



memorias



ECITEC

20 al 23 de Septiembre 2017
Tijuana, Baja California, México.



Información Legal

DERECHOS DE AUTOR Y DERECHOS CONEXOS

MEMORIAS ECITEC, año 1, no. 1, octubre de 2018, es una publicación bianual editada por la Universidad Autónoma de Baja California. Av. Reforma 1375. Col Nueva. C.P. 21100. Tel. (686)552-1056. Página electrónica de la revista: <https://cicitec2019.weebly.com>, y <https://citecuvp.tij.uabc.mx>. Editor responsable: Dr. Luis Jesús Villarreal Gómez (correo electrónico: luis.villarreal@uabc.edu.mx). Reserva de Derechos al Uso Exclusivo de Título No. 04-2018-083014323000-203, ISSN: 2594-245X, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número, Dr. Luis Jesús Villarreal Gómez, luis.villarreal@uabc.edu.mx, Escuela de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología, Blvd. Universitario 1000. Unidad Valle de las Palmas, Tijuana, Baja California. C.P. 21500. Fecha de la última modificación, 18 de octubre de 2018.

El contenido expresado por los autores no necesariamente refleja la postura del editor de la publicación.

CONGRESO INTERNACIONAL

DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

Queda prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización de la Universidad Autónoma de Baja California.

PATROCINADORES



RAJU INDUSTRIAL
S. DE R.L. DE C.V. RFC: RIN150219I66

San Francisco No. 40 Col. Las Torres C.P. 22470
Tijuana B.C. Tel. 664 315 1771 / 9012595



Logística y Tecnologías para Laboratorios S.A. de C.V.



TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	9
COMITÉ ORGANIZADOR	10
COMITÉ CIENTÍFICO	11
PROGRAMA CIENTÍFICO	14
CONFERENCISTAS MAGISTRALES	27
TALLERES	33
RESUMENES	40
BIOINGENIERIA APLICADA	41
CIENCIA DE LOS MATERIALES	72
DISEÑO MECÁNICO Y MANUFACTURA	86
ELECTRÓNICA Y BIOINSTRUMENTACIÓN	93
SISTEMAS ENERGÉTICOS	113
PEDAGOGÍA Y GESTIÓN EMPRESARIAL	128
BIOINGENIERIA APLICADA	130
OBA1- DETERMINACIÓN EN TIEMPO REAL DE LA CONCENTRACIÓN DE COMPUESTOS FENÓLICOS EN AGUA	131
MAGDA LORENA SERRANO BARRERA, JULIO ANDRÉS PEDRAZA AVELLA, FABIÁN ALIRIO RÍOS ANGARITA	131
OBA2-SÍNTESIS Y CARACTERIZACIÓN DE ANDAMIOS POLIMÉRICOS COMO APÓSITOS CUTÁNEOS BIOACTIVOS	135
DANIELLA ALEJANDRA POMPA MONROY, IRMA ESTHELA SORIA MERCADO, RICARDO VERA-GRAZIANO, SYED G. DASTAGER, ANA LETICIA IGLESIAS, AMELIA PORTILLO LÓPEZ, LUIS JESÚS VILLARREAL-GÓMEZ	135
OBA5- ACTIVIDAD ANTITUMORAL DE NANOPARTÍCULAS DE PLATA EN UN MODELO DE MELANOMA MURINO	141
YANIS TOLEDANO MAGAÑA, KARLA OYUKI JUÁREZ MORENO, JUAN CARLOS GARCÍA RAMOS, MARÍA EVARISTA ARELLANO GARCÍA, NAYELI GIRÓN VÁZQUEZ, LUCÍA MARGARITA VALENZUELA SALAS, ALEXEY PESTRYAKOV, NINA BOGDANCHIKOVA	141
OBA7-MATERIALES REABSORBIBLES EN EL TRATAMIENTO DE FRACTURAS MAXILOFACIALES PEDIÁTRICAS	145
ALEX BERNARDO PIMENTEL MENDOZA, LÁZARO RICO PÉREZ, LUIS JESÚS VILLARREAL GÓMEZ	145
OBA8-DIABETIC FOOT ULCERS TREATMENT WITH SILVER NANOPARTICLES	154
CÉSAR ALEJANDRO ALMONACI HERNÁNDEZ, ISIS MARION CABRERA TORRES, KARLA JUAREZ-MORENO MARTIN E. CASTAÑEDA-JUÁREZ, HORACIO ALMANZA-REYES, ALEXEY PESTRYAKOV, NINA BOGDANCHIKOVA	154
OBA11-LUMINESCENT NANOPARTICLES AS CANCER CELL BIOLABELS	157
KARLA JUAREZ-MORENO, DALIA CHÁVEZ-GARCÍA, CRISTIAN CAMPOS, JOEL ALDERETE, GUSTAVO A. HIRATA	157
OBA13-ELECTROLYTE SELECTION FOR ELECTROKINETIC EXTRACTION OF METALLIC POLLUTANT	161
EMIGDIA GUADALUPE SUMBARDA-RAMOS, MERCEDES TERESITA OROPEZA-GUZMÁN, RODOLFO SALGADO-RODRÍGUEZ, MARÍA MAURA MARGARITA TEUTLI-LEÓN, BAYARDO MURILLO-RIVERA, IGNACIO GONZÁLEZ-MARTÍNEZ	161

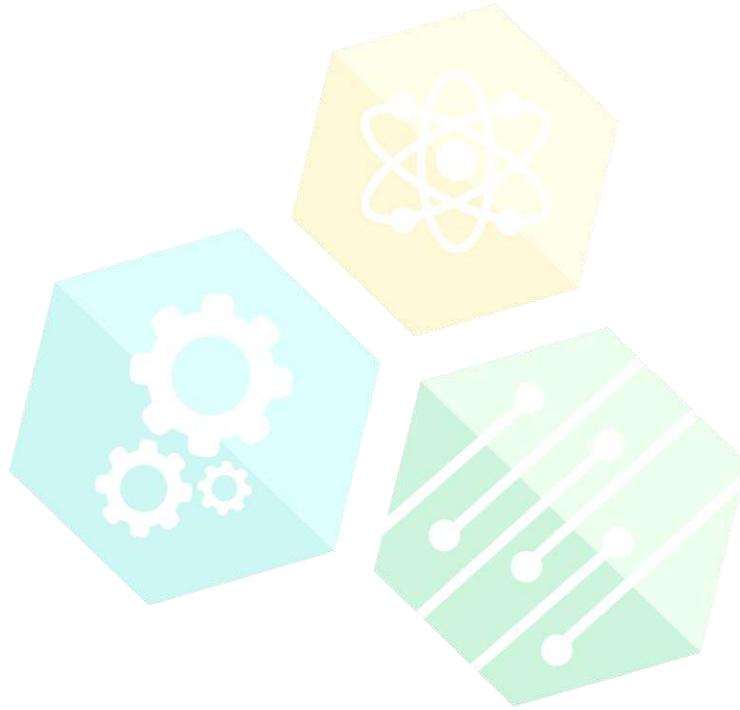
OBA14- MICRONÚCLEOS EN RETICULOCITOS DE RATONES BALB/C TRATADOS DE FORMA ORAL CON NANOPARTÍCULAS DE PLATA	166
IDALIA YAZMÍN CASTAÑEDA-YSLAS, BALAM RUIZ-RUIZ, MARÍA EVARISTA ARELLANO-GARCÍA, KARLA OYUKY JUÁREZ-MORENO, OLIVIA TORRES-BUGARÍN, NINA BOGDANCHIKOVA, ALEXEY PESTRYAKOV, PATRICIA RADILLA-CHÁVEZ	166
OBA15- SILVER NANOPARTICLES AS NANOANTIBIOTICS: A COMPARATIVE ANALYSIS OF THEIR TOXICITY ON BIOLOGICAL SYSTEMS OF DIFFERENT COMPLEXITY	170
ROBERTO VÁZQUEZ-MUÑOZ, BELÉN BORREGO RIVERO, KARLA JUÁREZ-MORENO, MARITZA R. GARCÍA-GARCÍA, JOSUÉ DAVID MOTA MORALES, NINA BOGDANCHIKOVA, ALEJANDRO HUERTA SAQUERO	170
CBA1- SILVER NANOPARTICLES EFFECT IN THE MANUFACTURING OF FOOTWEAR FOR PATIENTS WITH RISK OF ULCER DEVELOPMENT	174
MARÍA MALDONADO-VEGA, DORALINDA A. GUZMÁN-ORTIZ, DAVID A. CAMARENA-POZOS, ANDREA P. CASTELLANOS-ARÉVALO, ADRIANA SALINAS RAMÍREZ, KARLA JUAREZ-MORENO, MARITZA R. GARCÍA-GARCÍA, ALEXEY PESTRYAKOV, NINA BOGDANCHIKOVA	174
CBA2-PRUEBAS DE HEMÓLISIS DE SANGRE HUMANA CON NANOPARTÍCULAS DE PLATA ARGOVIT	178
ROBERTO LUNA VÁZQUEZ GÓMEZ, MARÍA EVARISTA ARELLANO GARCÍA, KARLA OYUKY JUÁREZ MORENO, NINA BOGDANCHIKOVA, ALEXEY PESTRYAKOV, PATRICIA RADILLA CHÁVEZ, DAVID SALAS VARGAS	178
CBA4- EFFECT ON ANTIMICROBIAL ACTIVITY OF ANTIFUNGAL AGENTS-SILVER NANOPARTICLES COMBINED TREATMENTS	181
YARITHZA PÉREZ ARRIOLA, ROBERTO VAZQUEZ-MUÑOZ, NINA BOGDANCHIKOVA, ALEJANDRO HUERTA SAQUERO	181
CBA5-FILMES DE PLGA/HAP CON POTENCIAL USO EN APLICACIONES BIOMÉDICAS	185
SUSANA FRAGOSO ANGELES, RICARDO VERA-GRAZIANO, ANA LETICIA IGLESIAS, LUIS ENRIQUE GÓMEZ PINEDA, LUIS JESÚS VILLARREAL-GÓMEZ	185
CBA6-NANOFIBRAS DE GELATINA/COLÁGENO PARA SU POTENCIAL USO EN BIORREACTORES	191
LORENA RAQUEL ROCHA JIMENEZ, DANIELLA ALEJANDRA POMPA MONROY, KARLA JUAREZ-MORENO, SYED G. DASTAGER, ANA LETICIA IGLESIAS, LUIS JESÚS VILLARREAL-GÓMEZ	191
CBA7-NANOFIBRAS DE POLI (VINIL PIRROLIDONA) /PROPANOLOL COMO POTENCIAL TRATAMIENTO EN HEMANGIOMA INFANTIL	196
PAOLA RACHEL RODRÍGUEZ MEDRANO, KAREN BELDAI ROBLES CAMPILLO, JOSÉ MANUEL CORNEJO-BRAVO, RICARDO VERA-GRAZIANO, HERMELINDA DE LA CRUZ-DURÁN, ANA LETICIA IGLESIAS, ARACELY SERRANO MEDINA, LUIS JESÚS VILLARREAL-GÓMEZ,	196
CBA12-DISEÑO DE LÁSER DE ESTADO SÓLIDO BASADO EN CRISTAL ER:YAG BOMBEADO POR DIODO PARA APLICACIONES EN BIOINGENIERÍA	200
ZAKIMY MEZA-ALANIS, LUIS ANTONIO RÍOS-OSUNA, JORGE OCTAVIO MATA-RAMÍREZ, NOEMÍ LIZÁRRAGA-OSUNA, ALLEN ALEXANDER CASTILLO-BARRÓN, NORMA ALICIA BARBOZA-TELLO	200
CBA14-DENOISING AND PRINCIPAL COMPONENT ANALYSIS FOR RAMAN SPECTRA AMPLIFIED BY SILVER NANOPARTICLES ADDITION INTO RED BLOOD CELLS	205
LISSET FERRER-GALINDO, ALEJANDRO DAVID SAÑU GINARTE, NORALVIS FLEITAS-SALAZAR, LÁZARO ALBERTO FERRER MORENO, RODRIGO ARTURO ROSAS BURGOS, MARTÍN RAFAEL PEDROZA-MONTERO, RAÚL RIERA AROCHE	205
CBA16-DISEÑO DE UN ELEMENTO MECÁNICO INSPIRADO EN EL FÉMUR DE UN INSECTO CALLIPTAMUS BARBARUS	218
JUAN ANTONIO PAZ GONZÁLEZ, EDGAR RICARDO MEZA, LUIS JESÚS VILLARREAL GÓMEZ, JAVIER ROSEL SOLÍS, EMILIO HERNÁNDEZ MARTÍNEZ, JOSÉ NAVARRO TORRES	218
CBA17-A FEEDFORWARD-MOMENT-GYRO-CONTROL FOR POSITIONING WIRELESSLY LIGHT-SOURCE AND WIRELESS-CAMERA IN LAPAROSCOPIC INSTRUMENTS	223

JOSÉ TORRES VENTURA, MARCO ANTONIO REYNA CARRANZA, RAÚL RASCÓN CARMONA, MIGUEL ENRIQUE BRAVO ZANOQUERA, ROBERTO LÓPEZ AVITIA	223
CBA18- DESAFÍOS DE LA TOXICIDAD DE NANOPARTÍCULAS DE PLATA PARA LA INDUSTRIA, APLICACIONES BIOMÉDICAS Y EL MEDIO AMBIENTE	233
BALAM RUIZ RUIZ, FRANCISCO CASILLAS FIGUEROA, ROBERTO LUNA VÁZQUEZ GÓMEZ, MARÍA EVARISTA ARELLANO GARCÍA, NINA BOGDANCHIKOVA, ALEXY PESTRYAKOV	233
CBA19- INNOVACIÓN PARA ENSAYOS DE CITO/GENOTOXICIDAD DE NANOPARTÍCULAS CON CÉLULAS MERISTEMALES	237
FRANCISCO CASILLAS FIGUEROA , MARÍA EVARISTA ARELLANO GARCÍA, NINA BOGDANCHIKOVA, BALAM RUIZ RUIZ, ROBERTO LUNA VÁZQUEZ GÓMEZ, ALEXY PESTRYAKOV	237
CBA20- ESTUDIO DE NANOFIBRAS DE POLI (VINIL PIRROLIDONA) Y POLI (VINIL ALCOHOL) CARGADOS CON SILDENAFIL COMO SISTEMAS DE LIBERACIÓN DE FÁRMACO	241
ERICK JOSÉ TORRES-MARTINEZ, JOSÉ MANUEL CORNEJO-BRAVO, RICARDO VERA-GRAZIANO, JOSÉ MANUEL CERVANTES-UC, EDUARDO ALBERTO LOPEZ-MALDONADO, ANA LETICIA IGLESIAS, ARACELY SERRANO MEDINA, LUIS JESÚS VILLARREAL-GÓMEZ	241
CIENCIA DE LOS MATERIALES	247
OCM1- ESTUDIO DFT A MOLÉCULAS DERIVADAS DE BENZIMIDAZOL Y PIRIDINA CON CAPACIDAD INHIBIDORA DE CORROSIÓN	248
JORGE REYES-CORRALES, JESÚS BALDENEBRO-LÓPEZ, RODY SOTO-ROJO, DANIEL GLOSSMAN-MIKNIT	248
OCM4- INFLUENCIA DEL MÉTODO DE SUJECCIÓN EN LA CARACTERIZACIÓN MECÁNICA A TENSIÓN DE UN MATERIAL COMPUESTO POLIMÉRICO	254
ENRIQUE ALCUDIA-ZACARÍAS, ARTURO ABÚNDEZ-PLIEGO, JUAN ANTONIO PAZ-GONZALEZ, JAN MAYÉN-CHAIRÉS, GILBERTO PIÑA-PIÑA	254
OCM5- REDUCTION OF FERRITE PHASE IN AUSTENITIC CHROMIUM-NICKEL STAINLESS STEELS BY CONTROLLING CONTENT OF CR-NI EQUIVALENT.	261
JUAN ANTONIO RUIZ OCHOA, MITSUO OSVALDO RAMOS AZPEITIA, IVÁN ERICK CASTAÑEDA ROBLES, JOSÉ LUIS HERNÁNDEZ RIVERA, JUAN ANTONIO PAZ GONZÁLEZ	261
OCM6- INFLUENCIA DE C1 A C4 EN LA SÍNTESIS DE CO3O4 CON ACTIVIDAD VARIABLE EN LA REDUCCIÓN DE NO/CO	267
JUAN MANUEL QUINTANA MELGOZA, LUIS ANTONIO FLORES SÁNCHEZ	267
OCM7- SÍNTESIS Y CARACTERIZACIÓN DE NiO.76CuO.24 CRISTALINO	271
LUIS ANTONIO FLORES SÁNCHEZ, JUAN MANUEL QUINTANA MELGOZA	271
OCM9- CONFINED BERYLLIUM ATOM ELECTRONIC STRUCTURE AND PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES	276
ALEJANDRO DAVID SAÑU GINARTE, RODRIGO ARTURO ROSAS BURGOS, ADALBERTO CORELLA MADUEÑO, RICARDO BETANCOURT RIERA, LÁZARO ALBERTO FERRER MORENO, RAÚL RIERA AROCHE	276
CCM1 ÁNODO DE RE/TIO2 NANOESTRUCTURADO PARA CELDAS SOLARES SENSIBILIZADAS (DSSC)	281
DANIEL RAMÍREZ ROSILLO, BALTER TRUJILLO NAVARRETE, VÍCTOR VERJAN GONZÁLEZ, ROSA MARÍA FÉLIX NAVARRO, EDGAR ALONSO REYNOSO SOTO	281
CCM2- ELECTROCHEMICAL SENSOR FOR DIRECT DETERMINATION OF NITROBENCENE IN AQUEOUS SOLUTION BASED ON RUTILE TIO2 NANOFLOWERS	286
MIRZA M. RUIZ-RAMÍREZ, JUAN J. HINOSTROZA-MOJARRO, BALTER TRUJILLO-NAVARRETE, CAROLINA SILVA-CARILLO, ROSA MARÍA FÉLIX-NAVARRO, EDGAR ALONSO REYNOSO-SOTO	286
CCM3- DETECCIÓN ELECTROQUÍMICA DE DOPAMINA POR NANOPARTÍCULAS BIMETÁLICAS CO@AU SOBRE NANOTUBOS DE CARBONO	290

CAROLINA SILVA-CARRILLO, ITAMAR J. ALVARADO-CHÁVEZ, KARELID GARCÍA-TAPÍA, BALTER TRUJILLO-NAVARRETE, EDGAR A. REYNOSO-SOTO, RAYMUNDO J. ZAPATA-FERNÁNDEZ, ROSA M. FÉLIX-NAVARRO	290
CCM6- CARACTERIZACIÓN EXPERIMENTAL DE E1 DE UN MATERIAL COMPUESTO LAMINADO CON MATRIZ POLIMÉRICA PARA APLICACIONES AEROESPACIALES Y BIOMECÁNICAS	294
JUAN ANTONIO PAZ GONZÁLEZ, ENRIQUE ALCUDIA ZACARIAS, ARTURO ABUNDEZ PLIEGO, LUIS JESÚS VILLAREAL GÓMEZ, JUAN ANTONIO RUIZ OCHOA, OSCAR ADRIAN MORALES CONTRERAS	294
DISEÑO MECÁNICO Y MANUFACTURA	299
ODMYM1- AUTOMATIZACIÓN EN LA CARGA DE MATERIAL DE FUNDICIÓN EN UNA LÍNEA DE MAQUINADO	300
MARIO HERNÁNDEZ NÚÑEZ, FRANCISCO JAVIER BARRAZA NAVARRO	300
ODMYM2- DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE PROTOTIPO DE MEDICIÓN DE FUERZA PARA TÚNEL DE VIENTO DE ECITEC	308
OSCAR ADRIÁN MORALES CONTRERAS, JUAN ANTONIO PAZ GONZÁLEZ, EMILIO HERNÁNDEZ MARTÍNEZ, MARÍA CORTES RODRÍGUEZ, GLEEN LUNA SERRANO	308
ODMYM3- LA MANUFACTURA ADITIVA Y LOS MATERIALES COMPUESTOS EN EL DISEÑO DE PRÓTESIS TRANSTIBIALES DE USO DEPORTIVO	312
MANUEL JAVIER ROSEL SOLÍS, JAVIER MOLINA SALAZAR, JUAN ANTONIO PAZ GONZÁLEZ, JUAN ANTONIO RUIZ OCHOA	312
ODMYM4- ANÁLISIS TERMOGRÁFICO EN PCI PARA SOLDADURA DE COMPONENTES ÓPTICO-ELECTRÓNICOS SMT UTILIZANDO FILSS BÁSICO	319
ROSA CITLALLI ANGUIANO COTA, LUIS KIYOSHI NATZU ANGUIANO, MAXIMILIANO VERA PÉREZ, IVÁN OLAF HERNÁNDEZ FUENTES	319
ODMYM5- IMPACTO DEL DISEÑO PARA CAMBIOS RÁPIDOS (DFC) EN LA MANUFACTURA MODERNA	323
YURIDIA VEGA, ROBERTO ROMERO LÓPEZ, MARCO ANTONIO JUÁREZ MENDOZA	323
ELECTRÓNICA Y BIOINSTRUMENTACIÓN	329
OEYB1- CIBERSEGURIDAD, EN LA INDUSTRIA AEROESPACIAL	330
VERÓNICA QUINTERO-ROSAS, CARLOS H. LÓPEZ, CLAUDIA MARTÍNEZ-CASTILLO, FRANCISCO IBAÑEZ-SALAS, MIGUEL A. MUÑOZ-LÓPEZ	330
OEYB2- DISEÑO DE CONTROL ÓPTIMO PARA EL PÉNDULO DE FURUTA	338
JOVÁN OSEAS MÉRIDA RUBIO, PAÚL ALEXANDRO CHÁVEZ VÁZQUEZ, LUIS NESTOR CORIA DE LOS RÍOS, CARLOS ALBERTO CHÁVEZ GUZMÁN	338
OEYB3- DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MICROPROCESADOR RISC DE 32 BITS EN UNA TARJETA CON FPGA Y COMUNICACIÓN INALÁMBRICA	342
GEOVANNI ZEPEDA ARCE, SERGIO VERGARA LIMÓN, MARÍA AURORA DIOZCORA VARGAS TREVIÑO, JOSÉ FERNANDO REYES CORTÉS, DAVID EDUARDO PINTO AVEDAÑO, DARNES VILARIÑO AYALA	342
OEYB4- TARJETA PARA CONTROLAR 3 GRADOS DE LIBERTAD DE ROBOTS VÍA WIFI	346
JOSÉ DE JESÚS MOYA MORA, SERGIO VERGARA LIMÓN, DAVID EDUARDO PINTO AVENDAÑO	346
OEYB5- DESARROLLO DE UN SISTEMA MECATRÓNICO PARA ROBOT HUMANOIDE QUE PERMITA EMULAR EL MOVIMIENTO DEL CUELLO DE LOS SERES HUMANOS	352
FRANCISCO JOSÉ LÓPEZ CORTÉS, SERGIO VERGARA LIMÓN, MARÍA AURORA DIOZCORA VARGAS TREVIÑO, A. PALOMINO, DAVID EDUARDO PINTO AVEDAÑO, DARNES VILARIÑO AYALA	352
OEYB6- CIRCUITOS RESONANTES Y TRANSMISIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA INALÁMBRICA	357
SERGIO ORENDAIN CASTRO, ALBERTO HERNÁNDEZ MALDONADO, EDUARDO MURILLO BRACAMONTES.	357

OEYB7- EFFECT OF A HYPERFINE FIELD ON THE (SWAP) [^] A QUANTUM GATE OPERATION	366
ROBERTO JAVIER GUERRERO MORENO, FERNANDO ROJAS	366
OEYB10- FABRICACIÓN DE UN PROTOTIPO PARA LA MEDICIÓN DE PROPIEDADES TÉRMICAS BASADO EN EL EFECTO FOTOACÚSTICO	372
DAVID GASCA FIGUEROA, FRANCISCO JAVIER GARCÍA RODRÍGUEZ, MICAEL GERARDO BRAVO SANCHEZ, MIGUEL ANGEL ESTRADA-ÁLVAREZ, JOSE GUADALUPE ZAVALA-VILLALPANDO	372
OEYB11- MODELO DINÁMICO Y CONTROL DE TRAYECTORIAS DE UN ROBOT MÓVIL PARA APLICACIÓN DE FISIOTERAPIA A RATAS TAIEP	382
DANIEL EDUARDO HERNÁNDEZ SANCHEZ, JOSÉ FERNANDO REYES CORTÉS, JOSÉ RAMÓN EGUIBAR CUENCA, MARICARMEN CORTÉS SÁNCHEZ	382
OEYB12- DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA SILLA DE RUEDAS MOTORIZADA CONTROLADA CON INTERFAZ INALÁMBRICA	387
RIGOBERTO CERINO JIMÉNEZ, PINTO AVENDAÑO, SERGIO VERGARA LIMÓN, MARÍA AURORA DIOZCORA VARGAS TREVIÑO, DARNES VILARIÑO AYALA	387
OEYB13- PROTOTIPO ÓPTICO PARA EXPERIMENTOS DE INTERACCIÓN LUZ-MATERIA	393
MIGUEL ÁNGEL PONCE-CAMACHO, JORGE VILLAVICENCIO, ROBERTO ROMO MARTÍNEZ	393
CEYB3- TUNELAJE CUÁNTICO EN POTENCIALES GRADUALES	401
CRISTIAN GABRIEL HERBERT GALARZA, ROGELIO OROZCO DUARTE, ROBERTO ROMO MARTÍNEZ	401
CEYB6- DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN CONTROLADOR PID PARA UN MOTOR CON ESCOBILLAS DE CORRIENTE DIRECTA EN HARDWARE DE BAJO COSTO	410
JOVÁN OSEAS MÉRIDA RUBIO, JUAN HIRAM JIMÉNEZ ORTEGA, JOSÉ LUIS RODRÍGUEZ VERDUZCO, SERGIO ALBERTO PUGA GUZMÁN, DIANA GAMBOA LOAIZA	410
CEYB8-FABRICACIÓN DE UN PROTOTIPO PARA LA MEDICIÓN DE PROPIEDADES TÉRMICAS BASADO EN EL EFECTO FOTOACÚSTICO	414
DAVID GASCA FIGUEROA, MICAEL GERARDO BRAVO SÁNCHEZ, FRANCISCO JAVIER GARCÍA RODRÍGUEZ, MARCON ANTONIO ESTRADA ÁLVARES, JOSÉ GUADALUPE ZAVALA VILLALPANDO	414
SISTEMAS ENERGÉTICOS	425
OSE5- PROYECTO DE ECO-EFICIENCIA EN ECITEC	426
LUIS ALVARADO ALGHER DANIEL, CASTAÑÓN BAUTISTA MARÍA CRISTINA, GARCÍA GÓMEZ ANA JOSELYNE, ZÚÑIGA CHÁVEZ ALICE JOSSELINE, VEGA RUBIO ALEJANDRA, ÁLVAREZ ELENES ARMANDO MANUEL	426
OSE6- EVALUATION OF COLBALT NANOPARTICLE DEPOSITED GRAPHENE OXIDE AND CARBON NANOTUBE SUPPORTS AS SUPERCAPACITOR ELECTRODES	430
DAVID RICARDO AGUILAR-MEZA, MOISÉS ISRAEL SALAZAR-GASTÉLUM, SERGIO PÉREZ-SICAÍROS, ROSA MARÍA FÉLIX-NAVARRO, MIGUEL ÁVALOS-BORJA, YADIRA GOCHI-PONCE	430
CSE3- FISIOLÓGÍA DE LA LOMBRIZ (EISENIA FETIDA) EN PROCESO DE VERMICULTURA DE ECITEC	436
ALICE JOSSELINE ZÚÑIGA CHÁVEZ, MARÍA CRISTINA CASTAÑÓN BAUTISTA, ALGHER DANIEL LUIS ALVARADO, ANA JOSELYNE GÓMEZ GARCÍA, NOHEMI OLGUIN MONROYOQUI	436
CSE4- DIMENSIONALITY AND GEOMETRY EFFECTS ON A QUANTUM CARNOT ENGINE EFFICIENCY	440
HIRAM KALID HERRERA ALCANTAR, JOSÉ CARLOS CARVAJAL GARCÍA, OSVALDO ROSALES PÉREZ, RUBÉN CÉSAR VILLARREAL SÁNCHEZ, PRISCILLA ELIZABETH IGLESIAS VÁZQUEZ	440
CSE5- TRANSPORTE ELECTRÓNICO A TRAVÉS DE MOLÉCULAS ORGÁNICAS	444
LUIS GERMÁN MORALES VALENZUELA, PRISCILLA ELIZABETH IGLESIAS VÁZQUEZ, RUBÉN CÉSAR VILLARREAL SÁNCHEZ.	444
CSE6-OPTIMIZACIÓN DEL USO DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES EN INDUSTRIAS MANUFACTURERAS DE MEXICALI, B.C	448

ALEJANDRA ANGUIANO SÁNCHEZ, J. ALEJANDRO SUÁSTEGUI MACÍAS, PEDRO F. ROSALES ESCOBEDO	448
PEDAGOGÍA Y GESTIÓN EMPRESARIAL	485
CPYGE2- THE RESEARCH SEMINAR AS A SELF-LEARNING MOTIVATIONAL	454
ROBERTO JAVIER GUERRERO MORENO, EILEN OVIEDO, DAVID ABDEL MEJÍA MEDINA	454



CONGRESO INTERNACIONAL DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

INTRODUCCIÓN

En el marco del 60 aniversario de la Universidad Autónoma de Baja California, la Escuela de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología tiene el agrado de invitarle a participar en el:

“1er Congreso Internacional de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología ECITEC 2017”

Celebrado del 20 al 23 de septiembre de 2017 en las instalaciones de Escuela de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología, Unidad Valle de la Palmas en la ciudad de Tijuana, Baja California.

El congreso tiene como objetivo generar un espacio de intercambio académico que permita divulgar los avances científicos y tecnológicos en las áreas temáticas de Bioingeniería Aplicada, Ciencia de los Materiales, Diseño Mecánico y Manufactura, Sistemas Energéticos y Electrónica e Instrumentación.

El evento incluyó conferencias magistrales, ponencias en mesas temáticas, sesiones de carteles, talleres y visitas industriales.



COMITÉ ORGANIZADOR

Mtro. Alonso Hernández Guitrón
Director ECITEC

Dr. David Abdel Mejía Medina
Subdirector ECITEC

Lic. Mary Cruz Granillo Montes
Administradora ECITEC

Dra. María de los Ángeles Zárate López
Coordinadora de Posgrado e Investigación ECITEC

Mtro. José Manuel Villegas Izaguirre
Coordinador de Formación Profesional y Vinculación Universitaria ECITEC

Dr. Luis Jesús Villarreal Gómez
Presidente Organizador del Congreso ECITEC 2017

Dra. Daniela Martínez Plata (Electrónica e Instrumentación)
Mtro. Bernabé Rodríguez Tapia (Diseño Mecánico y Manufactura)
Dra. Norma Alicia Barboza Tello (Bioingeniería Aplicada)
Dr. Juan Antonio Ruiz Ochoa (Ciencia de los Materiales)
Mtro. Eric Efrén Villanueva Vega (Sistemas Energéticos)

Coordinadores de Mesas Temáticas

Dr. Alberto Hernández Maldonado
Presidente del Comité Científico

COMITÉ CIENTÍFICO

Dr. Oscar Adrián Morales Contreras

Escuela de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología (ECITEC), Universidad Autónoma de Baja California (UABC)
Tijuana, Baja California, México

Dr. Allen Alexander Castillo Barrón

Escuela de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología (ECITEC), Universidad Autónoma de Baja California (UABC)
Tijuana, Baja California, México

Dr. Alberto Hernández Maldonado

Escuela de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología (ECITEC), Universidad Autónoma de Baja California (UABC)
Tijuana, Baja California, México

Dr. David Abdel Mejía Medina

Escuela de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología (ECITEC), Universidad Autónoma de Baja California (UABC)
Tijuana, Baja California, México

Dr. Luis Jesús Villarreal Gómez

Escuela de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología (ECITEC), Universidad Autónoma de Baja California (UABC)
Tijuana, Baja California, México

Dra. Daniela Martínez Plata

Escuela de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología (ECITEC), Universidad Autónoma de Baja California (UABC)
Tijuana, Baja California, México

Dra. Norma Alicia Barboza Tello

Escuela de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología (ECITEC), Universidad Autónoma de Baja California (UABC)
Tijuana, Baja California, México

Dr. Juan Antonio Ruiz Ochoa

Escuela de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología (ECITEC), Universidad Autónoma

Dr. Ricardo Chicurel Uziel

Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México
Ciudad de México, Distrito Federal, México

Dr. Enrique Chicurel Uziel

Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México
Ciudad de México, Distrito Federal, México

Dr. Jesús Arnoldo Bautista Corral

UNAM Tucson Centro de Estudios Mexicanos, Universidad Nacional Autónoma de México
Ciudad de México, Distrito Federal, México

Dr. Dariusz Szwedowicz Wasik

Ingeniería Mecánica, Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico
Cuernavaca, Morelos, México

Dr. Arturo Abundez Pliego

Ingeniería Mecánica, Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico
Cuernavaca, Morelos, México

Dr. José María Rodríguez Lelis

Ingeniería Mecánica, Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico
Cuernavaca, Morelos, México

Dra. Nelly Gordillo

Sociedad Mexicana de Ingeniería Biomédica
Ciudad de México, Distrito Federal, México

Dr. German Anibal Rodríguez

Sección de Estudios de Posgrado e Investigación, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica
Ciudad de México, Distrito Federal, México

Dr. Juan Gabriel Barbosa Saldaña

Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Instituto Politécnico Nacional
Ciudad de México, Distrito Federal, México

de Baja California (UABC)
Tijuana, Baja California, México

Dr. Francisco Mesa Linares

Escuela de Ciencias de la Ingeniería y
Tecnología (ECITEC), Universidad Autónoma
de Baja California (UABC)
Tijuana, Baja California, México

Dr. Juan Miguel Colores Vargas

Escuela de Ciencias de la Ingeniería y
Tecnología (ECITEC), Universidad Autónoma
de Baja California (UABC)
Tijuana, Baja California, México

Dr. Emilio Hernández Martínez

Escuela de Ciencias de la Ingeniería y
Tecnología (ECITEC), Universidad Autónoma
de Baja California (UABC)
Tijuana, Baja California, México

Dr. Jován O. Mérida

Escuela de Ciencias de la Ingeniería y
Tecnología (ECITEC), Universidad Autónoma
de Baja California (UABC)
Tijuana, Baja California, México

Dr. Edgar Armando Chávez

Escuela de Ciencias de la Ingeniería y
Tecnología (ECITEC), Universidad Autónoma
de Baja California (UABC)
Tijuana, Baja California, México

Dr. Luis Enrique Gómez Pineda

Escuela de Ciencias de la Ingeniería y
Tecnología (ECITEC), Universidad Autónoma
de Baja California (UABC)
Tijuana, Baja California, México

Dra. Ana Leticia Iglesias

Escuela de Ciencias de la Ingeniería y
Tecnología (ECITEC), Universidad Autónoma
de Baja California (UABC)
Tijuana, Baja California, México

Dr. Ángel Israel Soto Marrufo

Instituto de Ingeniería y Tecnología,
Universidad Autónoma de Ciudad Juárez
Ciudad Juárez, Chihuahua, México

Dra. Ma. Cruz Lozano Ramírez

Facultad de Turismo y Mercadotecnia, Universidad
Autónoma de Baja California
Tijuana, Baja California, México

Dr. Pedro Cruz Alcántar

Coordinación académica región altiplano COARA,
Universidad Autónoma de San Luis Potosí
Matehuala, San Luis Potosí, México

Dra. Josefa Morales Morales

Ingeniería mecatrónica, Universidad Autónoma de
San Luis Potosí
Matehuala, San Luis Potosí, México

Dr. Alejandro Alonzo García

Sede Campeche, Centro de Ingeniería y Desarrollo
Tecnológico (CIDESI-SEDE CAMPECHE)
Campeche, México

Dr. Lázaro Rico Pérez

Instituto de Ingeniería y Tecnología, Universidad
Autónoma de Ciudad Juárez
Ciudad Juárez, Chihuahua, México

Dr. Javier Molina Salazar

Instituto de Ingeniería y Tecnología, Universidad
Autónoma de Ciudad Juárez
Ciudad Juárez, Chihuahua, México

Dra. Soledad Vianey Torres Argüelles

Instituto de Ingeniería y Tecnología, Universidad
Autónoma de Ciudad Juárez
Ciudad Juárez, Chihuahua, México

Dra. Elsa Gabriela Ordoñez Casanova

Instituto de Ingeniería y Tecnología, Universidad
Autónoma de Ciudad Juárez
Ciudad Juárez, Chihuahua, México

Dr. Delfino Cornejo Monroy

Instituto de Ingeniería y Tecnología, Universidad
Autónoma de Ciudad Juárez
Ciudad Juárez, Chihuahua, México

Dr. Ricardo Vera Graziano

Instituto de Investigaciones en Materiales,
Universidad Nacional Autónoma de México
Ciudad de México, Distrito Federal, México

Dr. José Manuel Cornejo Bravo

Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería,
Universidad Autónoma de Baja California
Tijuana, Baja California, México

Dr. José Manuel Cervantes Uc

Materiales, Centro de Investigación Científica
de Yucatán, A.C.
Mérida, Yucatán, México

Dr. Ricardo Valdez Castro

Microscopia Electrónica, Centro de
Investigación y Desarrollo Tecnológico en
Electroquímica
Querétaro, Querétaro, México

Dr. Marco Antonio Reyna Carranza

Instituto de Ingeniería, Universidad Autónoma
de Baja California
Mexicali, Baja California, México

Dr. Fernando T. Wakida Kusunoki

Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería,
Universidad Autónoma de Baja California
Tijuana, Baja California, México

Dr. Diego Alfredo Tlapa Mendoza

Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Diseño,
Universidad Autónoma de Baja California
Ensenada, Baja California, México

Dr. Daniel Grande

Systèmes Polymères Complexes" team East
Paris Institute of Chemistry and Materials
Science
Thiais, Paris, Francia

Dr. Rafał Anyszka

Department of Mechanics of Solids, Surfaces
& Systems (MS3), Elastomer Technology and
Engineering, Faculty of Engineering
Technology, University of Twente
Twente, Países Bajos

Dr. Ricardo Antonio Salido Ruiz

Universidad de Guadalajara
Guadalajara, Jalisco, México

Dr. Emilio Bucio Carrillo

Departamento de Química de Radiaciones y
Radioquímica, Universidad Nacional Autónoma de
México Ciudad de México
Distrito Federal, México

Dra. Nina Bogdanchikova

Centro de Nanociencias y Nanotecnología,
Universidad Nacional Autónoma de México
Ensenada, Baja California, México

Dra. María Isabel Rocha Gazo

Universidad de Quintana Roo
Cancún, Quintana Roo, México

Dr. Edgar Benjamín Montufar Jiménez

Central European Institute of Technology
Brno University of Technology
Brno, Republica Checa

Dr. Álvaro Osornio Vargas

Department of Paediatrics, University of Alberta
Edmonton, Alberta, Canadá

Dr. Isaí Rosales Cadena

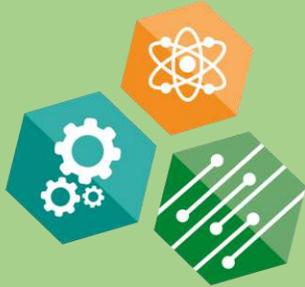
Centro de Investigación en Ingeniería y Ciencias
Aplicadas, Universidad Autónoma del Estado de
Morelos
Cuernavaca, Morelos, México

Dra. Maribel Gómez Franco

Instituto de Ingeniería y Tecnología
Universidad Autónoma de Ciudad Juárez
Ciudad Juárez, Chihuahua, México

Dr. Syed G Dastager

CSIR-National Chemical Laboratory, National
Collection of Industrial Microorganisms (NCIM)
Pune, Maharashtra, India

PROGRAMA CIENTÍFICO

**CONGRESO INTERNACIONAL
DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y
TECNOLOGÍA**
PROGRAMA CIENTÍFICO

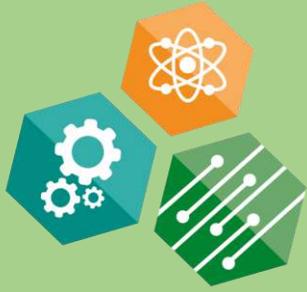
Hora	Miércoles 20 de Septiembre del 2017	Jueves 21 de Septiembre del 2017	Viernes 22 de Septiembre del 2017	Sábado 23 de Septiembre del 2017		
8:30-8:45	 <p>Inauguración</p>	<p>Conferencia Magistral Dr. Ricardo Vera Graziano Evaluación de Andamios Poliméricos en Biomedicina y Salud</p>	<p>Conferencia Magistral Dra. Olivia A. Graeve Control de Morfología y Superficies en Materiales Cerámicos: Fundamentos y Aplicaciones</p>	<p>Tour Ruta del Vino, Ensenada, Baja California</p>		
8:45-9:00						
9:00-9:15						
9:15-9:30						
9:30-9:45	<p>Conferencia Magistral Dra. Tara Javidi Large-scale Learning and Optimization for Next Generation Wireless Networks</p>	OBA1	OSE1		OEyB1	
9:45-10:00		OBA2	OSE2		OEyB2	
10:00-10:15	ODMyM1	OCM1	OBA3		OSE3	OEyB3
10:15-10:30	ODMyM2	OCM2	OBA4		OSE4	OEyB4
10:30-10:45	ODMyM3	OCM3	OBA5		OSE5	OEyB5
10:45-11:00	ODMyM4	OCM4	OBA6		OSE6	OEyB6
11:00-11:15	ODMyM5	OCM5	OBA7	OSE7	OEyB7	
				<p>Coloquio: Ingeniería Civil</p>		

11:15-11:30	IPN CITEDI	OCM6	OBA8	OSE8	OEyB9	y los retos en los análisis de riesgos naturales - percepción social	
11:30-11:45		OCM7	OBA9	OSE9	OEyB10		
11:45-12:00		OCM8	OBA10	OBA13	OEyB11		
12:00-12:15		OCM9	OBA11	OBA14	OEyB12		
12:15-12:30		DISMANT	OCM10	OBA12	OBA15		
12:30-12:45							
12:45-13:00	Conferencia Magistral		Conferencia Magistral		Conferencia Magistral		
13:00-13:15	Dr. Orlando Lastres Danguillecourt		Mtra. Ali Guarrneros Luna		Dr. Rafat Anyszka		
13:15-13:30	Experiencias en el Diseño de Aerogeneradores		Diseño y Construcción de Satélites en los experimentos TechEdSat Y SOAREX		Current trends in ceramifiable polymer composites development		
13:30-15:00	Comida		Comida		Comida		
15:00-17:00	Exposición de Carteles		Exposición de Carteles		Premiación de Carteles		
LUGAR	Aula Magna	Sala Audio Visual	Aula Magna	Sala Audio Visual	Aula Magna	Sala Audio Visual	Ensenada, Baja California

NOTA: Todas las conferencias Magistrales serán llevadas a cabo en el Aula Magna

NOTA: En los tiempos de Receso se contará con Servicio de Cafetería

CONGRESO INTERNACIONAL DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA



CONGRESO INTERNACIONAL DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

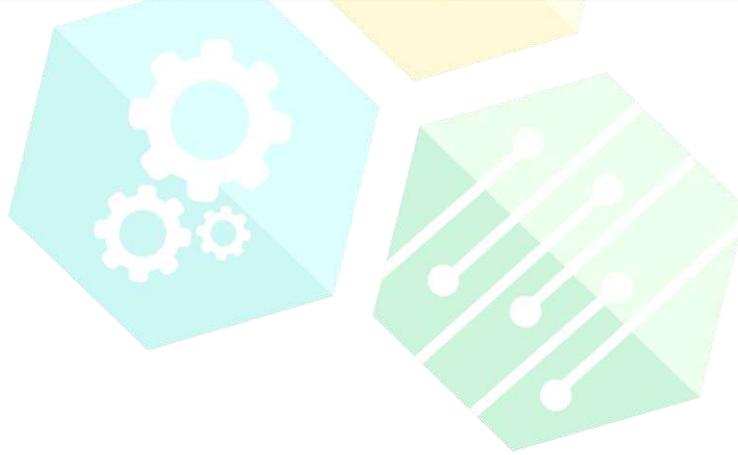
PROGRAMA CIENTÍFICO

Hora	Miércoles 20 de Septiembre del 2017	
8:30-8:45	 <p style="text-align: center;">Inauguración</p> <p style="text-align: center;">Conferencia Magistral</p> <p style="text-align: center;">Dra. Tara Javidi</p> <p style="text-align: center;">Large-scale Learning and Optimization for Next Generation Wireless Networks</p>	
8:45-9:00		
9:00-9:15		
9:15-9:30		
9:30-9:45		
9:45-10:00		
10:00-10:15		
10:15-10:30	<p>ODMyM2- Diseño y construcción de prototipo de medición de fuerza para túnel de viento de ECITEC</p> <p>Oscar Adrián Morales Contreras, Juan Antonio Paz González, Emilio Hernández Martínez, María Cortes Rodríguez, Gleen Luna Serrano</p>	<p>OCM2- Análisis de las propiedades optoelectrónicas y estructurales de una DSSC con unión ZnO/TiO₂ y su efecto en la eficiencia de conversión</p> <p>Guillermo Miguel Rosete Ortíz, Lizeth Rojas Blanco, Durvel De la Cruz Romero</p>
10:30-10:45	<p>ODMyM3- La Manufactura Aditiva y los Materiales Compuestos en el Diseño de Prótesis Transtibiales de Uso Deportivo</p>	<p>OCM3- XRD Anisotropic Broadening of Zn-doped SnO₂ Nanocrystallites</p>

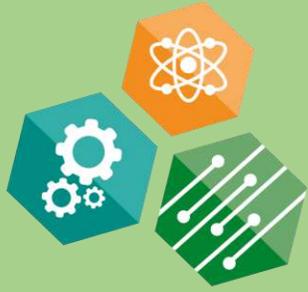
	<p>Manuel Javier Rosel Solís, Javier Molina Salazar, Juan Antonio Ruiz Ochoa, Juan Antonio Paz González</p>	<p>Balter Trujillo-Navarrete, Francisco Paraguay-Delgado</p>
10:45-11:00	<p>ODMyM4- Análisis Termográfico en PCI para Soldadura de Componentes Óptico-electrónicos SMT utilizando FILSS Básico</p> <p>Rosa Citlalli Anguiano Cota, Luis Kiyoshi Natzu Anguiano, Maximiliano Vera Pérez, Iván Olaf Hernández Fuentes</p>	<p>OCM4- Influencia del Método de Sujeción en la Caracterización Mecánica a Tensión de un Material Compuesto Polimérico</p> <p>Enrique Alcudia-Zacarías, Arturo Abúndez-Pliego, Juan Antonio Paz-González, Jan Mayén-Chaires, Gilberto Piña-Piña</p>
11:00-11:15	<p>ODMyM5- Impacto del Diseño para Cambios Rápidos (DFC) en la Manufactura Moderna</p> <p>Yuridia Vega, Roberto Romero López, Marco Antonio Juárez Mendoza</p>	<p>OCM5- Reduction of Ferrite Phase in Austenitic Chromium-Nickel Stainless Steels by controlling content of Cr-Ni Equivalent</p> <p>Juan Antonio Ruiz Ochoa, Mitsuo Osvaldo Ramos Azpeitia, Iván Erick Castañeda Robles, José Luis Hernández Rivera</p>
11:15-11:30	 <p>IPN CITED</p>	<p>OCM6- Influencia de C1 a C4 en la Síntesis de CO₃O₄ con Actividad Variable en la Reducción de NO/CO</p> <p>Juan Manuel Quintana Melgoza, Luis Antonio Flores Sánchez</p>
11:30-11:45		<p>OCM7- Síntesis y Caracterización De La Fase Cristalina Ni_{0.74} Cu_{0.26} por Descomposición Térmica en Atmósfera Reductora</p> <p>Luis Antonio Flores Sánchez, Juan Manuel Quintana Melgoza</p>
11:45-12:00		<p>OCM8- Metrología Óptica con el Interferómetro De Michelson: Medición De Sustancias Ópticamente Activas</p> <p>Ricardo D. López, Adriana Nava-Vega</p>
12:00-12:15		<p>OCM9- Variational Calculations of Electronic Structure and Physicochemical Properties of the Confined Beryllium Atom</p> <p>Alejandro David Sañu Ginarte, Rodrigo Arturo Rosas Burgos, Adalberto Corella Madueño, Ricardo Betancourt Riera, Lázaro Alberto Ferrer Moreno, Raúl Riera Aroche</p>
12:15-12:30		<p>OCM10- Análisis de Vibraciones para el Mantenimiento Predictivo Utilizando Instrumentación Virtual</p>

Francisco Javier Ramírez Arias, Mauricio Leonel Paz González,
Jován Francisco Castro Acosta

12:30-12:45	Conferencia Magistral Dr. Orlando Lastres Danguillecourt Experiencias en el Diseño de Aerogeneradores	
12:45-13:00		
13:00-13:15		
13:15-13:30		
13:30-15:00	Comida	
15:00-17:00	Exposición de Carteles	
LUGAR	Aula Magna	Sala Audio Visual



CONGRESO INTERNACIONAL
DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA



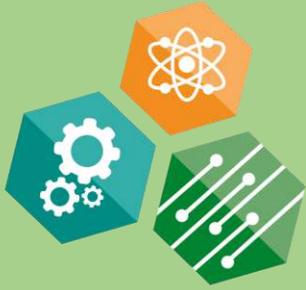
CONGRESO INTERNACIONAL DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

PROGRAMA CIENTÍFICO

Hora	Jueves 21 de Septiembre del 2017	
8:30-8:45	Conferencia Magistral Dr. Ricardo Vera Graziano Evaluación de Andamios Poliméricos en Biomedicina y Salud	
8:45-9:00		
9:00-9:15		
9:15-9:30		
9:30-9:45	OBA1- Determinación en- tiempo real de la concentración de compuestos fenólicos en agua Magda Lorena Serrano Barrera, J.A. Pedraza Avella, G.A. Garzón Losik, F.A. Ríos Angarita.	OSE1- Cálculo de Cortocircuito en un Sistema IEEE de 13 Buses con Taps no Nominales Allen Alexander Castillo Barrón, María Natalia Galván Osuna, Juan Antonio Paz González, Mauricio Leonel Paz González, Alejandra Jiménez Vega
9:45-10:00	OBA2-Síntesis y Caracterización de Andamios Poliméricos Como Apósitos Cutáneos Bioactivos Daniella Alejandra Pompa Monroy, Irma Esthela Soria Mercado, Ricardo Vera-Graziano, Syed G. Dastager, Ana Leticia Iglesias, Amelia Portillo López, Luis Jesús Villarreal-Gómez	OSE2- Diseño preliminar de una Pico-turbina hidráulica tipo Kaplan para redes de suministro de agua Mauricio Leonel Paz González, Emilio Hernández Martínez, Oscar Adrián Morales, Juan Antonio Paz González, Allen Alexander Castillo Barrón, Agraz Melero Carlos Daniel
10:00-10:15	OBA3- Características de la señal cardíaca utilizadas para la clasificación de arritmias: una revisión de literatura Nestor Alexander Zermeño Campos, Juan Pablo García Vázquez, Roberto López Avitia	OSE3- Fabricación de nanofibras de Óxido de Titanio por electrohilado con Aplicación a Celdas Solares Laura Soto Muñoz, Olivia A. Graeve, Luis Enrique Gómez Pineda, Luis Jesús Villarreal Gómez

<p>10:15-10:30</p>	<p>OBA4- Estudio de Precisión de Leap Motion para Medir las Articulaciones de la Mano</p> <p>Ricardo López Trejo, Juan Pablo García Vázquez, María Luisa González Ramírez, Luis E. Vizcarra Corral, Israel Rojas Márquez</p>	<p>OSE4- Diseño de central fototérmica con potencia nominal de 40MW en Urgell, España</p> <p>Algher Daniel Luis Alvarado, Alice Josseline Zúñiga Chávez, Ana Joselyne Gómez García, María Cristina Castañón Bautista, Francisco Estrany Coda</p>
<p>10:30-10:45</p>	<p>OBA5- Actividad Antitumoral de Nanopartículas de Plata en un Modelo de Melanoma Murino</p> <p>Yanis Toledano Magaña, Karla Oyuki Juárez Moreno, Juan Carlos García Ramos, María Evarista Arellano García, Nayeli Girón Vázquez, Lucía Margarita Valenzuela Salas, Alexey Pestryakov, Nina Bogdanchikova</p>	<p>OSE5- Proyecto de Eco-eficiencia en ECITEC</p> <p>Algher Daniel Luis Alvarado, Alice Josseline Zúñiga Chávez, Ana Joselyne Gómez García, Armando Manuel María Álvarez Elenes, Cristina Castañón Bautista</p>
<p>10:45-11:00</p>	<p>OBA6-Desde el Matraz hasta los Organismos Reguladores. Ensayos Preclínicos y Clínicos Requeridos para Compuestos o Dispositivos a Usarse en Humanos</p> <p>Juan Carlos García Ramos, Yanis Toledano Magaña, Karla Oyuki Juárez Moreno, María Evarista Arellano García, Alexey Pestryakov, Nina Bogdanchikova</p>	<p>OSE6- Evaluation of Graphene Oxide and Carbon Nanotubes with Cobalt Nanoparticles in Supercapacitors</p> <p>David Ricardo Aguilar-Meza, Moisés Israel Salazar-Gastélum, Sergio Pérez-Sicairos, Rosa María Félix-Navarro, Miguel Ávalos-Borja, Yadira Gochi-Ponce</p>
<p>11:00-11:15</p>	<p>OBA7-Materiales reabsorbibles en el tratamiento de fracturas maxilofaciales pediátricas</p> <p>Alex Bernardo Pimentel Mendoza, Lázaro Rico Pérez, Luis Jesús Villarreal Gómez</p>	<p>OSE7- Evaluación Energético-Económico de un Sistema Fotovoltaico de 18.81kWp</p> <p>Ricardo Erisel Guevara Loera, Eric Efrén Villanueva-Vega, René Delgado Rendón</p>
<p>11:15-11:30</p>	<p>OBA8-Diabetic foot ulcers treatment with silver nanoparticles</p> <p>Karla Juárez-Moreno, César Alejandro Almonaci Hernández, Roberto Luna Vázquez-Gómez, Rosa Alicia Luna V. Gómez, Isaac Valenciano Vega, Martin E. Castañeda-Juárez, Horacio Almanza-Reyes, Alexey Pestryakov and Nina Bogdanchikova</p>	<p>OSE8- Reducción de Consumo Energético en Lavandería y Uso de Energías Alternativas</p> <p>Luis Eduardo Márquez Tenorio, Jonathan Alejandro Raya Rivera, Eric Efrén Villanueva-Vega, María Cristina Castañón Bautista, Ivett Zavala Guillen</p>
<p>11:30-11:45</p>	<p>OBA9- Nuevas Bases de Schiff Derivadas de 3-amino-pirazoles Sustituídos: Síntesis, Caracterización y Actividad Biológica</p>	<p>OSE9- Uso de Techos Ventilados como Alternativa para Ahorro de Energía en Edificaciones</p>

	Ana Leticia Iglesias, Luis Jesús Villarreal-Gómez, Valentín Miranda-Soto, Daniella Alejandra Pompa-Monroy, Jaime G. Martínez-Ortiz, Gerardo Cesar Díaz-Trujillo	Rubí Esmeralda Gámez Martínez, Ivett Zavala Guillén
11:45-12:00	OBA10-Evaluación de la Citotoxicidad de Andamios Inteligentes con Células Troncales de Cerdos Vietnamitas Raúl Rosales-Ibáñez, Amairany Rodríguez-Navarrete, Fernando Soto-Castro, Luis Rojo-Del Olmo, María Leticia Flores-Sánchez, Tomás Ernesto Villamar-Duque, Rosario Morales-de la Luz	OBA13-Electrolyte Selection for Electrokinetic Extraction of Metallic Pollutant Emigdia Guadalupe Sumbarda-Ramos, Mercedes Teresita Oropeza-Guzmán, Rodolfo Salgado-Rodríguez, María Maura Margarita Teutli-León, Bayardo Murillo-Rivera, Ignacio González-Martínez
12:00-12:15	OBA11-Luminiscent Nanoparticles as Cancer Cell Biolabels Karla Juárez-Moreno, Dalia Chávez-García, Cristian Campos, Joel Alderete, Gustavo A. Hirata	OBA14-Micronúcleos en Reticulocitos de Ratones Balb/C Tratados de Forma Oral con Nanopartículas de Plata Idalia Yazmín Castañeda-Yslas, Balam Ruiz-Ruiz, María Evarista Arellano-García, Karla Oyuky Juárez-Moreno, Olivia Torres-Bugarín O., Nina Bogdanchikova, Alexey Pestryakov, Patricia Radilla Chávez
12:15-12:30	OBA12-Dispositivo Electrónico para la Detección Automática de Enfermedades del Corazón a través del Análisis Digital de Señales Electrocardiográficas Norma Alicia Barboza-Tello, Juan Miguel Colores-Vargas, Paul Medina-Castro, Miguel Alejandro Díaz-Hernández	OBA15-Silver Nanoparticles as Nanoantibiotics: A Comparative Analysis of their Toxicity on Biological Systems of Different Complexity Roberto Vázquez-Muñoz, Nina Bogdanchikova, Alejandro Huerta Saquero
12:30-12:45	Conferencia Magistral Mtra. Ali Guarrneros Luna Diseño y Construcción de Satélites en los experimentos TechEdSat Y SOAREX	
12:45-13:00		
13:00-13:15		
13:15-13:30		
13:30-15:00	Comida	
15:00-17:00	Exposición de Carteles	
LUGAR	Aula Magna	Sala Audio Visual



CONGRESO INTERNACIONAL DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

PROGRAMA CIENTÍFICO

Viernes 22 de Septiembre del 2017

Hora	Viernes 22 de Septiembre del 2017	
8:30-8:45	<p style="text-align: center;">Conferencia Magistral</p> <p style="text-align: center;">Dra. Olivia A. Graeve</p> <p style="text-align: center;">Control de Morfología y Superficies en Materiales Cerámicos: Fundamentos y Aplicaciones</p>	
8:45-9:00		
9:00-9:15		
9:15-9:30		
9:30-9:45	<p>OEyB1- Ciberseguridad, en la Industria Aeroespacial</p> <p>Verónica Quintero-Rosas, Carlos H. López, Claudia Martínez-Castillo, Francisco Ibañez-Salas, Miguel A. Muñoz-López</p>	
9:45-10:00	<p>OEyB2- Diseño de Control Óptimo para el Péndulo de Furuta</p> <p>Jován Oseas Mérida Rubio, Paúl Alejandro Chávez Vázquez, Luis Nestor Coria de los Ríos, Carlos Alberto Chávez Guzmán</p>	

<p>10:00-10:15</p>	<p>OEyB3- Diseño e implementación de un microprocesador RISC de 32 bits en una tarjeta con FPGA y comunicación inalámbrica</p> <p>Geovanni Zepeda Arce, Sergio Vergara Limón, María Aurora Diozcora Vargas Treviño, José Fernando Reyes Cortés, David Eduardo Pinto Avedaño, Darnes Vilariño Ayala</p>
<p>10:15-10:30</p>	<p>OEyB4- Diseño de una tarjeta de adquisición de datos para controlar un robot de tres grados de libertad</p> <p>José de Jesús Moya Mora, Sergio Vergara Limón, David Eduardo Pinto Avedaño</p>
<p>10:30-10:45</p>	<p>OEyB5- Desarrollo de un Sistema Mecatrónico para Robot Humanoide que permita Emular el Movimiento del Cuello de los Seres Humanos</p> <p>Francisco José López Cortés, Sergio Vergara Limón, María Aurora Diozcora Vargas Treviño, A. Palomino, David Eduardo Pinto Avedaño, Darnes Vilariño Ayala</p>
<p>10:45-11:00</p>	<p>OEyB6- Circuitos Resonantes y Transmisión de Energía Eléctrica Inalámbrica</p> <p>Sergio Orendain Castro, Alberto Hernández Maldonado, Eduardo Murillo Bracamontes</p>
<p>11:00-11:15</p>	<p>OEyB7- Efecto del Campo Hiperfino en la Compuerta Cuántica (swap) α Producida por Interacción de Intercambio</p> <p>Roberto Javier Guerrero Moreno, Fernando Rojas</p>
<p>11:15-11:30</p>	<p>OEyB9- Implementación de un Nanosatélite Tipo Cubesat para Propósitos Didácticos</p>

Coloquio: Ingeniería Civil y los retos en los análisis de riesgos naturales - percepción social

INTERNACIONAL
INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

	Francisco Javier Ramírez Arias, Juan Miguel Colores Vargas	
11:30-11:45	OEyB10- Una Revisión sobre la Técnica Fotoacústica Empleada en la Medición de Propiedades Ópticas y Térmicas David Gasca Figueroa, Francisco Javier García Rodríguez, Micael Sánchez Bravo	
11:45-12:00	OEyB11- Modelo Dinámico y Control de Trayectorias de un Robot Móvil para Aplicación de Fisioterapia a Ratas Taiep Daniel Eduardo Hernández Sánchez, José Fernando Reyes Cortés, José Ramón Eguibar Cuenca, Maricarmen Cortés Sánchez	
12:00-12:15	OEyB12- Diseño e Implementación de una Silla de Ruedas Motorizada Controlada con Interfaz Inalámbrica Rigoberto Cerino Jiménez, Sergio Vergara Limón, María Aurora Diozcora Vargas Treviño, Darnes Vilariño Ayala	
12:15-12:30	OEyB13- Prototipo Óptico para Experimentos de Interacción Luz-Materia Miguel Ángel Ponce-Camacho, Jorge Villavicencio, Roberto Romo Martínez	
12:30-12:45	Conferencia Magistral	
12:45-13:00	Dr. Rafał Anyszka	
13:00-13:15	Current trends in ceramifiable polymer composites	
13:15-13:30	development	
13:30-15:00	Comida	
15:00-17:00	Premiación de Carteles	
LUGAR	Aula Magna	Sala Audio Visual

Carteles	
Miércoles 20 de Septiembre del 2017	Jueves 21 de Septiembre del 2017
CCM1	CBA1
CCM2	CBA2
CCM3	CBA3
CCM4	CBA4
CCM5	CBA5
CCM6	CBA6
CEyB1	CBA7
CEyB2	CBA8
CEyB3	CBA9
CEyB4	CBA10
CEyB5	CBA11
CEyB6	CBA12
CEyB7	CBA13
CSE1	CBA14
CSE2	CBA15
CSE3	CBA16
CSE4	CBA17
CSE5	CBA18
CSE6	CBA19
CSE7	CBA20
CSE8	CPyGE2
CSE9	CPyGE1
22 CARTELES	22 CARTELES
EXPLANADA DEL PRISMA, PLANTA BAJA ECITEC	

CURSOS Y TALLERES DE CONGRESO

CURSO O TALLER	HORARIO	LUGAR
Curso: Flujo Compresible En Toberas	18 al 22 de Septiembre de 8:00 a 12:00 hrs.	Taller F03 de Ing. Aeroespacial
Curso: Diseño De Sistemas De Bombeo	18 al 22 de Septiembre de 13:00 a 17:00 hrs.	Taller E01 de Ing. Mecánica
Sistemas de Ingeniería aplicado a un satélite educativo CANSAT	18 al 22 de Septiembre de 9:00 a 15:00 hrs.	Usos Múltiples
Curso-taller: Análisis probabilístico de riesgos por deslizamiento de masas de terreno	18 al 21 de septiembre de 9:00 hrs a 14:00 hrs.	Actualización
Coloquio: Ingeniería Civil y los retos en los análisis de riesgos naturales - percepción social	22 de septiembre de 9:30 a 14:00 hrs.	Sala Audiovisual

NOMECLATURA

Claves	Ejes temáticos
CBA	Cartel en Bioingeniería Aplicada
CSE	Cartel en Sistemas Energéticos
CCM	Cartel en Ciencia de los Materiales
CDMyM	Cartel en Diseño Mecánico y Manufactura
CEyB	Cartel en Electrónica y Bioinstrumentación
CPyGE	Cartel en Pedagogía y Gestión Empresarial
OBA	Oral en Bioingeniería Aplicada
OSE	Oral en Sistemas Energéticos
OCM	Oral en Ciencia de los Materiales
ODMyM	Oral en Diseño Mecánico y Manufactura
OEyB	Oral en Electrónica y Bioinstrumentación

CONFERENCISTAS MAGISTRALES

Dr. Rafał Anyszka

University of Twente, Faculty of Engineering Technology,
Department of Mechanics of Solids, Surfaces & Systems
(MS3), Chair of Elastomer Technology & Engineering,
Enschede, The Netherlands, e-mail: r.p.anyszka@utwente.nl



Lodz University of Technology, Faculty of Chemistry, Institute
of Polymer and Dye Technology, Lodz, Poland. e-mail:
rafal.anyszka@p.lodz.pl



Lodz University
of Technology

UNIVERSITY
OF TWENTE.

El Dr. Rafał Anyszka realiza investigaciones en el Departamento de Mecánica de Sólidos, Superficies y Sistemas, Universidad de Twente, Holanda, así como en el Instituto de Tecnología de Polímeros y Tintes, Lodz University of Technology, Lodz, Polonia (Lodz, Poland). Ha recibido importantes distinciones internacionales, entre las que se destacan la recibida recientemente en abril 2016, distinción "Lodz Eureka 2015" otorgada por el "Consejo de la Enseñanza Superior y la Ciencia al Presidente de la Ciudad de Lodz" por su proyecto desarrollado acerca de la evaluación de polímeros compuestos para la protección contra incendios de instalaciones especiales. De igual modo, en diciembre 2015, obtuvo la Medalla de oro otorgada en la exposición "Innovaciones Latinoamericanas - Exposición Global de Inveniones para Ciudades Creativas, Felices, Humanas e Inteligentes", Foz do Iguacu, Paraná, Brasil. Ha logrado 29 publicaciones, 6 capítulos de libros y 6 solicitudes de patentes.

Dra. Olivia A. Graeve

Research-Professor

Mechanical and Aerospace Engineering

UCSD Jacobs School of Engineering

University of California

San Diego, Estados Unidos (United States)



UC San Diego
JACOBS SCHOOL OF ENGINEERING

La Dra. Graeve es profesor-investigador de Ingeniería Mecánica y Aeroespacial, Jacobs School of Engineering, Universidad de California, San Diego. Es una investigadora consagrada, con reconocimiento internacional, en el el área de fabricación de nanomateriales. Basándose en los principios fundamentales del procesamiento de materiales, sus investigaciones son centradas en atender necesidades específicas de ingeniería, asociadas al uso de materiales multifuncionales electromagnéticos para sensores y aplicaciones energéticas. Su labor científica ha sido reconocida y premiada por diversas fundaciones y sociedades en estados unidos, tales como: American Ceramic Society's en 2010 y Hispanic Educator of the Year award by the Society of Hispanic Professional Engineers (SHPE) en 2006.

Dra. Tara Javidi

Professor

Electrical and Computer Engineering

University of California

San Diego, Estados Unidos (United States)



UC San Diego
JACOBS SCHOOL OF ENGINEERING

La Dra. Javidi realiza investigaciones en la escuela de Ingeniería Eléctrica y Computación, Universidad de California, San Diego. Estudió ingeniería eléctrica en la Universidad Tecnológica de Sharif, Teherán, Irán (1992 a 1996). Recibió su maestría en Ingeniería Eléctrica y en Matemáticas Aplicadas, Universidad de Michigan, Ann Arbor (1998 y 1999, respectivamente). Recibió su Ph.D. en ingeniería eléctrica e informática de la Universidad de Michigan, Ann Arbor, en 2002. De 2002 a 2004. En la Universidad de California en San Diego, la Dra. Tara dirige al Advanced Networking Science Lab. Es Profesora Distinguida de la Sociedad de Teoría de la Información de la IEEE.

Mtra. Ali Guarneros Luna

Representative

Women's Influence Network, NASA Ames

San Jose, California, United States



La Mtra. Ali Guarneros es ingeniero aeroespacial de la NASA, que apoya el programa "Synchronized Position Hold, Engage, Reorient, Experimental Satellites (SPHERES)" y una serie de pequeños proyectos de vuelos espaciales por satélite dentro de la Dirección de Ingeniería del Centro de Investigación Ames de la NASA, en Moffett Field, CA. Fue la encargada de la misión del proyecto TechEdSat, un proyecto liderado por estudiantes que lanzó con éxito un pequeño satélite espacial de la Estación Espacial Internacional y recibió comunicaciones desde el satélite hasta el suelo. En octubre de 2013, Ali fue galardonada por Great Minds in STEM, con el Premio HENAAC Luminary.

Dr. Orlando Lastres Danguillecourt

Research Professor

Centro de Investigación en Desarrollo
Tecnológico en Energías Renovables

CIDTER

Tuxtla, Gutierrez, Chiapas, México



Experiencias en el diseño de aerogeneradores

Es profesor investigador del Centro de Investigación en Desarrollo Tecnológico en Energías Renovables CIDTER, Tuxtla, Gutierrez, Chiapas.

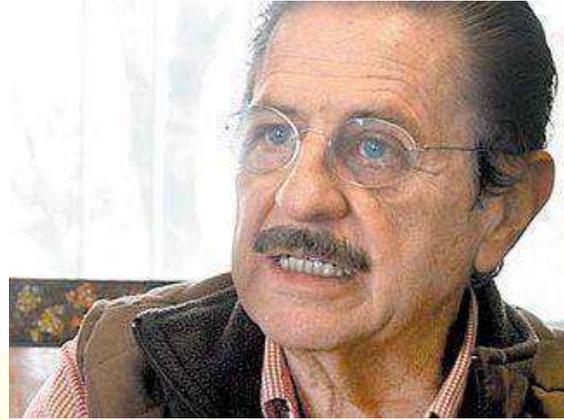
CONGRESO INTERNACIONAL
DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

Licenciatura en Cuba
Maestría y Doctorado en la UNAM

Dr. Ricardo Vera Graziano

Research Professor

Instituto de Investigaciones en Materiales
Universidad Nacional Autónoma de México
Distrito Federal, México.



El Dr. Ricardo Vera Graziano es ingeniero químico por la Universidad de Guanajuato. Fue becado por la Universidad Case Western Reserve, EU, en donde obtuvo la maestría y el doctorado en Ciencia de Polímeros. Actualmente es Investigador Titular del Instituto de Investigaciones en Materiales, UNAM, y miembro del Sistema Nacional de Investigadores. Sus investigaciones se enfocan a la síntesis y caracterización de materiales poliméricos. Ha publicado más de 120 artículos sobre síntesis, caracterización y desarrollo de materiales poliméricos en revistas científicas, libros, capítulos en libros y en memorias de congresos. Cuenta con 4 desarrollos tecnológicos, dos de ellos con patentes registradas. Desarrolló una tecnología para la fabricación de prótesis anatómicas de poliuretano para mujeres sometidas a mastectomía que ha permitido beneficiar a más de 80,000 pacientes.

CONGRESO INTERNACIONAL
DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

CURSOS DE CONGRESO

CURSO "FLUJO COMPRESIBLE EN TOBERAS"

Flujo estacionario adiabático e isentrópico
 Flujo isentrópico con cambio de área
 Operación de toberas convergentes y divergentes



M.C. José Luis Archiniega Martínez

Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

Unidad Azcapotzalco

Instituto Politécnico Nacional

CURSO "DISEÑO DE SISTEMAS DE BOMBEO"

Pérdidas de energía mecánica por elementos de tubería, cambio de sección y de dirección
 Flujo turbulento y su efecto en la pérdida de energía
 Diseño de tuberías y selección de bombas



Dr. Oscar Adrián Morales Contreras

Escuela de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología

Universidad Autónoma de Baja California

Tijuana, Baja California, México

Sistemas de Ingeniería aplicado a un satélite educativo Cansat

Horario:

Lunes a Viernes de 9 am a 3 pm
Taller de 30 hr.

Instructores:

Mtro. Antonio Gómez Roa

PTC del PE Ingeniería Aeroespacial
Escuela de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología

Dr. Oscar Adrián Morales Contreras

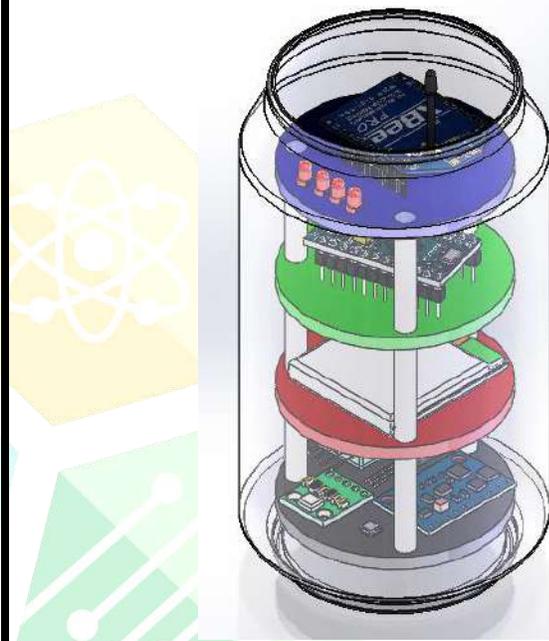
PTC del PE Ingeniería Aeroespacial
Escuela de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología

Mtro. Mauricio Leonel Paz González

Responsable Área de Educación Continua
Escuela de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología

M.C. Juan Antonio Paz González

Coordinador del PE Ingeniería Aeroespacial
Escuela de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología



Temario

MODULO I: Introducción al sistema CANSAT

- 1.1 ¿Qué es un CanSat?
- 1.2 Significado del entrenamiento CanSat
- 1.3 Misiones CanSat
- 1.4 Competencias CanSat
- 1.5 Programas CanSats en México
- 1.6 Similitudes y diferencias entre CanSats y Satélites
 - 1.6.1 Misiones espaciales
 - 1.6.2 Ambiente espaciales
 - 1.6.3 Arquitectura y subsistemas
 - 1.6.4 Estación terrena
- 1.7 ¿Por qué aprender con un CanSat?
- 1.8 Niveles de Desarrollo en un CanSat
- 1.9 Conjunto de Subsystemas CanSat
- 1.10 Formación de equipos de trabajo

MODULO II: Introducción a los Sistemas de Ingeniería para CanSat

- 2.1. Introducción sistemas de Ingeniería
- 2.2. Diversos Organigramas

MODULO III: Estructuras y desplegables de un satélite

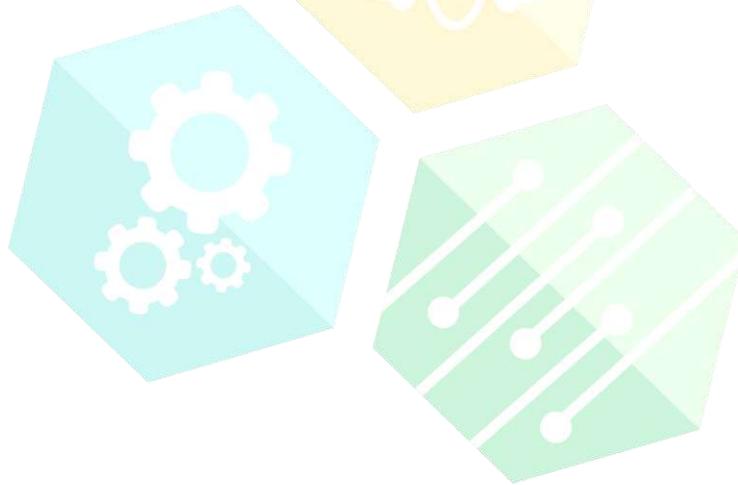
- 3.1 Estructuras mecánicas.
- 3.2 Estructuras desplegables
- 3.3 Requerimientos estructurales y desplegables en CanSat
- 3.4 Pruebas en los satélites educativos CanSat
 - 3.4.1 Vibración
 - 3.4.2 Impacto
 - 3.4.3 Aceleración
 - 3.4.4 comunicación
- 3.5. Apertura de paracaídas
- 3.6 Secuencia de estructura y desplegables
 - 3.6.1 Interacción entre subsistemas
 - 3.6.2 Accesibilidad
 - 3.6.3 Elementos de sujeción
 - 3.6.4 Paracaídas
 - 3.6.5 Sistema de separación
- 3.7 Pruebas de validación y verificación

MODULO IV: Construcción del sistema de potencia, computadora de vuelo, comunicación y lanzamiento.

- 4.1. Introducción al sistema de potencia

- 2.3. Sistema de Ingeniería NPR7120.5
- 2.4. Documentos de control por Fases
 - 2.4.1 Pre-fase: Estudio del Concepto
 - 2.4.2 Fase A: Desarrollo tecnológico del concepto
 - 2.4.3 Fase B: diseño preliminar y competencia tecnológica
 - 2.4.4 Fase C: Diseño final y fabricación
 - 2.4.5 Fase D: Ensamble, pruebas e integración del sistema y lanzamiento.
 - 2.4.6 Fase E: Operación y mantenimiento
 - 2.4.7 Fase F: Cierre (transferencia)
- 2.5 Modelo V aplicado a Sistemas Aeroespaciales.

- 4.1.1. Interface y construcción
- 4.1.2. baterías
- 4.2. Introducción al sistema de comunicación
 - 4.2.1. Tipo de Telemetría
 - 4.2.2. Construcción de la estación terrena y comunicación con el satélite.
- 4.3 Introducción al sistema de la computadora de vuelo.
 - 4.3.1. Tipos de microcontroladores
 - 4.3.2 Construcción de una computadora de vuelo
 - 4.3.3 Programación de sensores.
- 4.4 Plataformas de lanzamiento
 - 4.4.1 Aeromodelo
 - 4.4.2 Globo meteorológico
 - 4.4.3 Cohete
 - 4.4.4 Cuadruoptero



CONGRESO INTERNACIONAL
DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

Talleres de Ingeniería Civil

Programa de actividades:

Curso-taller: Análisis probabilístico de riesgos por deslizamiento de masas de terreno, impartido por el Dr. Mauro Pompeyo Niño Lázaro, profesor-investigador de la Facultad de Ingeniería de la UNAM. Los días del 19 al 21 de septiembre de 9:00 hrs a 14:00 hrs.

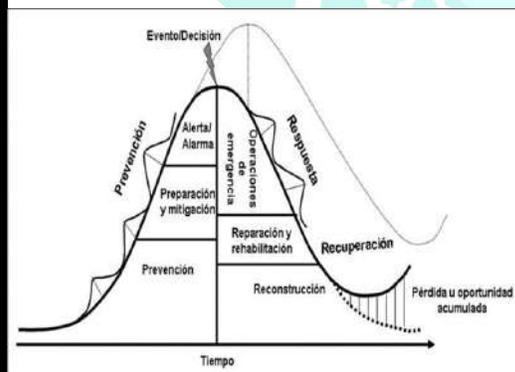


Dr. Eric Frost
San Diego State University

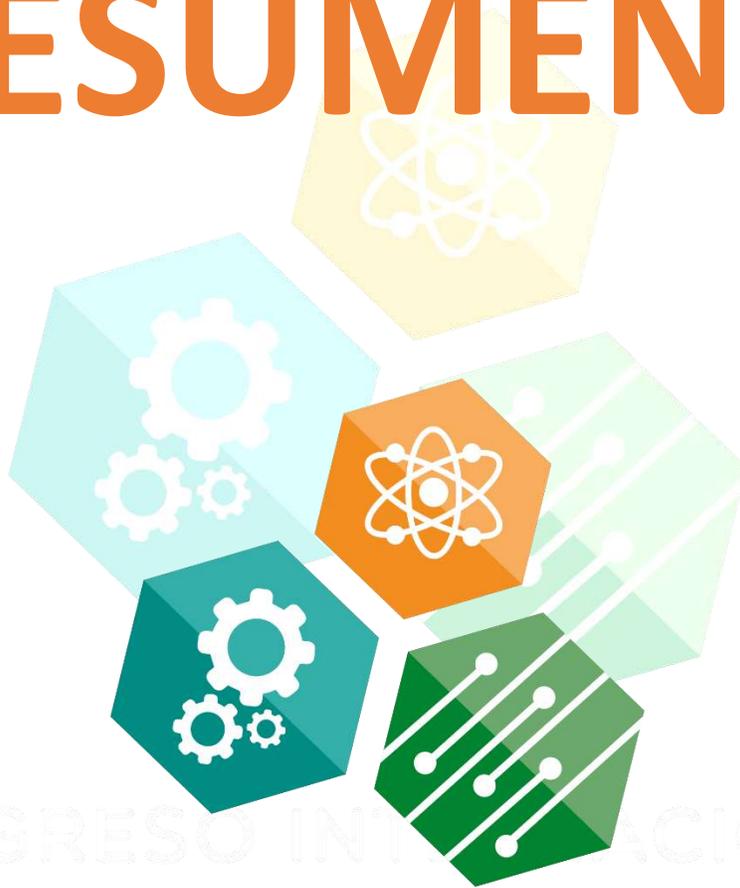
Coloquio denominado: Ingeniería Civil y los retos en los análisis de riesgos naturales - percepción social, con la participación de 2 ponencias magistrales y mesa redonda conformadas por autoridades e investigadores de la región, viernes 22 de septiembre de 10:00 a 14:00 hrs.



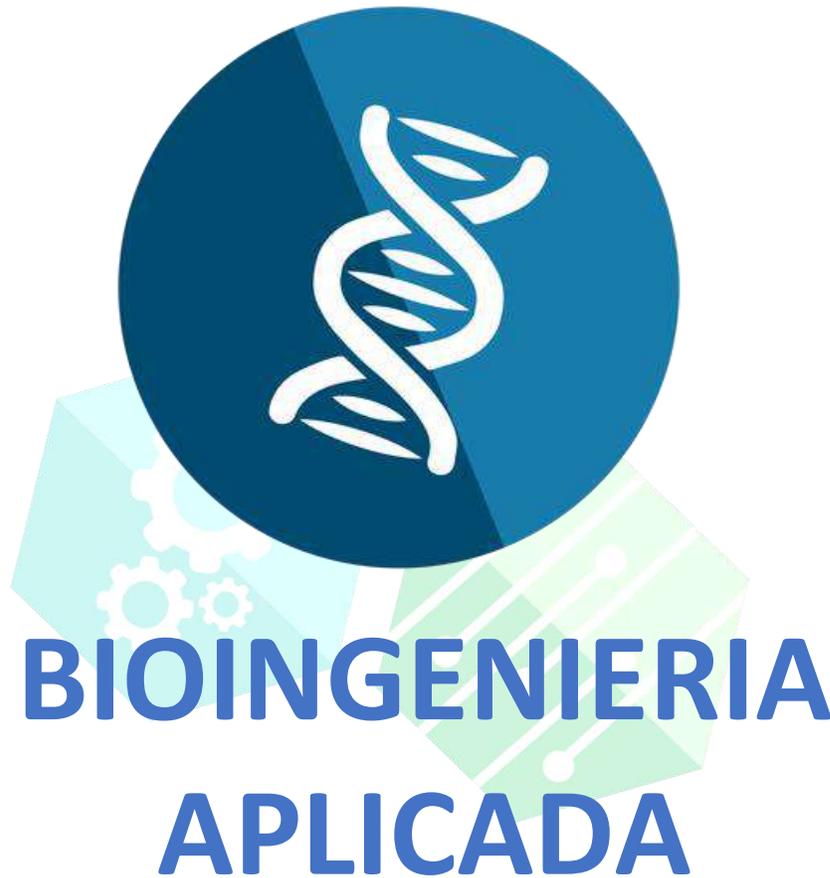
Dr. Mauro Pompeyo Niño Lázaro
Facultad de Ingeniería de la UNAM



RESUMENES



CONGRESO INTERNACIONAL
DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
CONGRESO INTERNACIONAL
DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA



**BIOINGENIERIA
APLICADA**

CONGRESO INTERNACIONAL
DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

OBA1- Determinación en Tiempo Real de la Concentración de Compuestos Fenólicos en Agua

Magda Lorena Serrano Barrera, Julio Andrés Pedraza Avella, Fabián Alirio Ríos Angarita

Universidad Industrial de Santander, km 2 vía El Refugio, Piedecuesta (Santander), Colombia,
magda.serranoorreo.uis.edu.co

Resumen. *—En el presente estudio se evalúa el uso de una microbalanza de cristal de cuarzo con un recubrimiento de polimetilmetacrilato (PMMA) sobre la superficie del electrodo del cristal de cuarzo para determinar la concentración de fenoles en soluciones acuosas. Las mediciones se realizaron a partir del cambio de frecuencia que experimenta el cristal de cuarzo debido a la adsorción de los fenoles en la superficie de los electrodos modificados. Se probaron varios solventes para diluir el PMMA y diferentes métodos de aplicación del recubrimiento, los resultados presentaron que con el 1,2 dicloroetano y con el método de spin coating, se obtuvieron las películas más uniformes. Los cambios de frecuencia resultaron lineales a la concentración de fenoles en las soluciones acuosas, el factor de sensibilidad fue de 2,4646 Hz/ppm.*

Palabras clave: Fenoles; QCM; polimetilmetacrilato; tiempo real.

CONGRESO INTERNACIONAL
DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

OBA2-Síntesis y Caracterización de Andamios Poliméricos Como Apósitos Cutáneos Bioactivos

Daniella Alejandra Pompa Monroy¹, Irma Esthela Soria Mercado¹, Ricardo Vera-Graziano², Syed G. Dastager³, Ana Leticia Iglesias⁴, Amelia Portillo López¹, Luis Jesús Villarreal-Gómez^{4,5}

¹Facultad de Ciencias Marinas, Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, Baja California, México

²Instituto de Investigaciones en Materiales, Universidad Nacional Autónoma de México, Distrito Federal, México

³ National Collection of Industrial Microorganisms (NCIM), CSIR-National Chemical Laboratory, Pune, Maharashtra, India

⁴Escuela de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología, Universidad Autónoma de Baja California, Valle de las Palmas, México

⁵Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería, Universidad Autónoma de Baja California, Tijuana, México

Resumen. - *Una de las principales complicaciones que puede presentar una persona con quemaduras de segundo y tercer grado es la posibilidad de infectarse por bacterias o virus oportunistas que se encuentran en el ambiente. En la actualidad la mayoría de los siniestros por quemaduras son tratados con gasas convencionales lo que involucra una alta probabilidad de infección y dolor para el paciente que es tratado con este método. El objetivo de este proyecto es la síntesis y caracterización de andamios poliméricos de origen natural elaborados mediante electrohilado. Con el propósito de obtener andamios de bajo costo se utilizaron polímeros que son abundantes y se consiguen mediante recursos naturales y renovables, como lo son la Gelatina (GEL) y el Colágeno (COL). Las soluciones poliméricas fueron electrohiladas con diversas mezclas de GEL y COL, y posteriormente se realizó una caracterización química de las membranas producidas mediante Microscopía Electrónica de Barrido (SEM), Espectroscopia Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR), Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC) y Análisis Termogravimétrico (TGA). Los resultados de este proyecto darán lugar a la producción de apósitos con baja adherencia, con actividad antimicrobiana y que promuevan la cicatrización en úlceras cutáneas y quemaduras, mejorando así el tratamiento de dichos siniestros.*

Palabras clave: Apósitos cutáneos; Electrohilado; Gelatina; Colágeno, Bioactividad.

OBA5- Actividad Antitumoral de Nanopartículas de Plata en un Modelo de Melanoma Murino

Yanis Toledano Magaña^{1}, Karla Oyuki Juárez Moreno¹, Juan Carlos García Ramos¹,
María Evarista Arellano García², Nayeli Girón Vázquez³, Lucía Margarita Valenzuela
Salas², Alexey Pestryakov⁴, Nina Bogdanchikova³*

¹ CONACYT - UNAM - Centro de Nanociencias y Nanotecnología - Km 107 Carretera Tijuana-Ensenada, Ensenada, B.C. México. C.P. 22860

² Universidad Autónoma de Baja California, Facultad de Ciencias, Km. 106 Carr. Tij-Ens, Ensenada, B. C. Mexico, CP 22800

³ Centro de Nanociencias y Nanotecnología - Km 107 Carretera Tijuana-Ensenada, Ensenada, B.C. México. C.P. 22860

⁴ Universidad Autónoma de Baja California, Escuela de Ciencias de la Salud, Unidad Valle de las Palmas. Tijuana, México.

⁵ Tomsk Polytechnic University, Tomsk Oblast, Russia

Resumen. — *El melanoma es uno de los tipos de cáncer de piel más agresivos y de peor pronóstico. Además, los tratamientos actuales contra el cáncer presentan un alto grado de toxicidad. Esto plantea la necesidad de generar nuevos tratamientos efectivos y con menores efectos adversos que los actualmente utilizados. Es por esto que en nuestro grupo se desarrollaron nanopartículas de plata con propiedades peculiares con el fin de proponer un tratamiento con menores efectos adversos. En el presente trabajo se realizó la determinación del efecto antitumoral de las nanopartículas de plata mencionadas y se encontró que, aunque no presentan un mejor efecto antitumoral que el cisplatino a las dosis administradas, se observa una mayor supervivencia de los animales con tumores de melanoma.*

Palabras clave: nanopartículas de plata, melanoma, modelo murino.

Desde el Matraz hasta los Organismos Reguladores. Ensayos Preclínicos y Clínicos Requeridos para Compuestos o Dispositivos a Usarse en Humanos

Juan Carlos García Ramos^{1}, Yanis Toledano Magaña¹, Karla Oyuki Juárez Moreno¹,
María Evarista Arellano García², Alexey Pestryakov³, Nina Bogdanchikova⁴.*

¹CONACYT - UNAM - Centro de Nanociencias y Nanotecnología - Km 107 Carretera Tijuana-Ensenada, Ensenada, B.C. México. C.P. 22860

²Universidad Autónoma de Baja California, Facultad de Ciencias, Km. 106 Carr. Tij-Ens, Ensenada, B. C. Mexico, CP 22800

³Tomsk Polytechnic University, Tomsk Oblast, Russia

⁴Centro de Nanociencias y Nanotecnología - Km 107 Carretera Tijuana-Ensenada, Ensenada, B.C. México. C.P. 22860

Resumen.- El desarrollo de nuevos medicamentos y dispositivos basados en nanotecnología para combatir padecimientos considerados como problemas de salud pública a nivel mundial genera la necesidad de producir la documentación mínima indispensable para conocer las características fisicoquímicas del producto así como los datos de eficacia y toxicidad asociados. De acuerdo a la Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios los estudios preclínicos son un conjunto de estudios para el desarrollo de un medicamento o dispositivo que se efectúan *in vitro* o en animales de experimentación y que se diseñan para obtener la información necesaria para decidir si se justifican estudios más amplios en seres humanos, sin exponerlos a riesgos injustificados y son indispensables para la generación de los protocolos que se utilizaran para evaluar el efecto de los nuevos compuestos en individuos voluntarios sanos o enfermos. El trabajo presenta una guía rápida de los requerimientos a cubrir para completar los estudios preclínicos y cómo organizar dicha información para poder generar los diferentes protocolos de fase clínica. Además, se indican las diferencias existentes en los diferentes protocolos en función de la aplicación del dispositivo o compuesto que se desee evaluar.

Palabras clave: Nanopartícula; Nanodispositivo; Estudio preclínico; Estudio clínico; Bioseguridad.

OBA7-Materiales reabsorbibles en el tratamiento de fracturas maxilofaciales pediátricas

Alex Bernardo Pimentel Mendoza^{1,2}, Lázaro Rico Pérez², Luis Jesús Villarreal Gómez^{2,3}

¹Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Ciudad Juárez, Chihuahua, larico@uacj.mx

²Escuela de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología, Universidad Autónoma de Baja California, Valle de las Palmas, México, alex.pimentel@uabc.edu.mx, luis.villarreal@uabc.edu.mx

³Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería, Universidad Autónoma de Baja California, Tijuana, México

Resumen. - *Las fracturas maxilofaciales en pacientes pediátricos tienen diferencias con los pacientes adultos debido a la etapa de desarrollo tanto física como psicológica en la que se encuentran, por ello es importante tratar los traumatismos con materiales y sistemas cuyo efecto negativo sea mínimo. El propósito de esta investigación es realizar una revisión del conocimiento sobre los materiales biodegradables y su aplicación como sistemas de fijación para la estabilización de fracturas óseas en el área maxilofacial de pacientes pediátricos.*

Palabras clave: Reabsorbible; fijación; fractura; pediátrico; sistema placa-tornillo.

CONGRESO INTERNACIONAL
DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

OBA8-Diabetic Foot Ulcers Treatment with Silver Nanoparticles

César Alejandro Almonaci Hernández¹, Isis Marion Cabrera Torres¹, Karla Juarez-Moreno^{1,3}, Martin E. Castañeda-Juárez⁴, Horacio Almanza-Reyes⁵, Alexey Pestryakov⁴, Nina Bogdanchikova²*

¹Integral and Advance Clinic, Ensenada, Baja California, Mexico. almonaci2000@hotmail.es; marion_ntc@hotmail.com; pink_reiver@hotmail.com

²Center of Nanoscience and Nanotechnology, National Autonomous University of Mexico. Km107 Carretera Tijuana-Ensenada, B.C. México. kjuarez@cnyn.unam.mx; nina@cnyn.unam.mx

⁴CONACYT Research Fellow at Center of Nanoscience and Nanotechnology, National Autonomous University of Mexico. Ensenada, Baja California, México. kojuaezmo@conacyt.mx;

⁵School of Medicine. National Autonomous University of Mexico. borre_lanudo@hotmail.com

⁶School of Medicine and Psychology, Campus Tijuana. Autonomous University of Baja California. almanzareyes@hotmail.com

⁷Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia. pestryakov2005@yandex.ru

*Corresponding author

Resumen. - *Las úlceras del pie diabético son altamente susceptibles a infecciones microbianas y son la principal causa de hospitalización y amputación de extremidades inferiores en pacientes diabéticos. Debido a sus propiedades antimicrobianas y anti-inflamatorias, las nanopartículas de plata (AgNPs) son el nanomaterial más utilizado en biomedicina. En este trabajo presentamos por primera vez el uso de AgNPs para el tratamiento de úlceras de pie diabético grado II de la clasificación de Wagner. Además del tratamiento con antibióticos convencionales, la úlcera fue tratada mediante la administración tópica de AgNPs a una concentración de 1.2 mg/mL de plata metálica. Los resultados obtenidos, revelan una mejora significativa en la evolución de la úlcera, en donde los bordes de la lesión se acercaron de manera efectiva, observándose tejido de granulación, disminución del edema y placas de fibrina. Estos resultados constituyen la base para nuevos estudios sobre el uso de AgNPs para el tratamiento de úlceras crónicas de diferentes orígenes.*

Palabras clave: úlceras del pie diabético, diabetes *mellitus*, nanopartículas de plata, nanomedicina, úlceras crónicas.

OBA9- Nuevas Bases de Schiff Derivadas de 3-amino-pirazoles Sustituidos: Síntesis, Caracterización y Actividad Biológica

Ana Leticia Iglesias^{1*}, Luis Jesús Villarreal-Gómez^{*1,4}, Valentín Miranda-Soto², Daniella Alejandra Pompa-Monroy³, Jaime G. Martínez-Ortiz⁴, Gerardo Cesar Díaz-Trujillo⁴

¹Escuela de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología, Universidad Autónoma de Baja California, Tijuana, Baja California, México

²Centro de Graduados e Investigación en Química, Instituto Tecnológico de Tijuana, Tijuana, Baja California, México,

³Facultad de Ciencias Marinas, UABC, campus Ensenada, Carretera Tijuana-Ensenada, No. 3917. Colonia Playitas 22860. Ensenada, B.C.

⁴Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería, Universidad Autónoma de Baja California, Tijuana, Baja California, México

Resumen

Una serie de Bases de Schiff derivadas de 3-amino-pirazoles sustituidos y dicarboxaldehidos fueron sintetizadas y caracterizadas por ¹H ¹³C RMN, FT-IR, UV-Vis, GC-MS y HRMS. La actividad antimicrobiana de estos compuestos fue evaluada contra las cepas bacterianas Gram-negativas *Escherichia coli*, *Pseudomona aeruginosa*, y la especie Gram-Positiva *Staphylococcus aureus*, utilizando a la gentamicina como un control estándar. La Mínima Concentración Inhibitoria (MIC) fue determinada por el método de micro-dilución. La actividad anticancerígena, fue evaluada contra las células de cáncer colorectal HCT116, con etopósido como control positivo, utilizando el ensayo MTS-PMS. Los resultados son reportados como valores IC₅₀. Los estudios farmacológicos muestran que los compuestos muestran actividad antimicrobiana de amplio espectro, que disminuye en el siguiente orden *E. coli* > *S. aureus* > *P. aeruginosa*. 2a exhibe una excelente actividad contra *S. aureus* varias veces más potente que el control estándar; mientras 2a y 3b muestran actividad patogénica contra *P. aeruginosa* con valores de MIC comparables con los de la gentamicina. El compuesto 3c presenta una mayor citotoxicidad que el etopósido con valores más bajos de IC₅₀.

Palabras Clave: Base de Schiff; Pirazole; Bis (imino) piridine; Bis (imino) bencene; Actividad antibacterial; Actividad anticancerígena.

OBA11-Luminescent Nanoparticles as Cancer Cell Biolabels

Karla Juarez-Moreno^{1,2}, Dalia Chávez-García¹, Cristian Campos³, Joel Alderete³,
Gustavo A. Hirata¹*

¹Centro de Nanociencias y Nanotecnología, Universidad Nacional Autónoma de México, Carretera Tijuana-Ensenada. Km. 107, Ensenada, Baja California, C.P. 22860, México. E-mail: kjuarez@cryn.unam.mx, hirata@cryn.unam.mx

³CONACYT Research Fellow at Centro de Nanociencias y Nanotecnología, Universidad Nacional Autónoma de México, Carretera Tijuana-Ensenada. Km. 107, Ensenada, Baja California, C.P. 22860, Mexico. E-mails: kjuarez@cryn.unam.mx

³Centro de Enseñanza Técnica y Superior. Campus Ensenada. Camino a Microondas Trinidad S/N Km. 1, Moderna Oeste, Ensenada, Baja California, C.P. 22860, México. E-mail: dalia.chavez@cetys.mx

⁴Facultad de Ciencias Químicas, Universidad de Concepción. Edmundo Larenas 129, Concepción, Chile. E-mails: ccampos@udec.cl; jalderet@udec.cl

Abstract. - *Luminescent nanoparticles (NPs) can be potentially used in biomedical applications for imaging studies as biolabels. A key feature to be considered during luminescent NPs synthesis is their biocompatibility, which can be improved by coating the NPs surface with an inert polymer. Functionalization of NPs is performed to allow the linkage of some molecules such as proteins, vitamins and other biological ligands. These allow the NPs to restrict their binding to specific cells, through their receptors expressed on the cell membrane. Among others, folic acid receptor has been extensively studied to be overexpressed preferentially on the cell membrane of some types of cancer cells such as cervical and breast cancer. Herein, we evaluated the cytotoxic and genotoxic effect of luminescent NPs on different cancer cells. These results indicate that these luminescent NPs can be used in biomedical application as biolabels.*

Key words: cancer, luminescent nanoparticles, biolabels, nanotoxicology, biomedicine.

OBA12-Dispositivo Electrónico para la Detección Automática de Enfermedades del Corazón a través del Análisis Digital de Señales Electrocardiográficas

Norma Alicia Barboza-Tello, Juan Miguel Colores-Vargas, Paul Medina-Castro, Miguel Alejandro Díaz-Hernández

Escuela de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología, Universidad Autónoma de Baja California, Tijuana, Baja California, México

Resumen.- Aunque actualmente existe una gran cantidad de dispositivos para detectar las señales electrocardiográficas (ECG) que permiten estudiar y determinar enfermedades del corazón de manera precisa, en realidad su lectura e interpretación depende de la experiencia de los médicos o especialistas, quienes normalmente no se encuentran todo el tiempo disponibles en los hospitales o clínicas; y ante una situación de emergencia podría ser muy tardía su intervención. Se ha demostrado que para ciertos grupos de individuos con características físicas similares por ejemplo edad, estatura, peso y complexión; las señales ECG presentan formas de onda parecidas. En este trabajo se propone el desarrollo de un dispositivo basado en MATLAB que compara patrones de señales ECG para determinar 3 tipos de enfermedades diferentes en individuos con intervalos de edad de entre 35 a 45 años. En caso de que se detecte una similitud con alguna de estas 3 enfermedades el dispositivo despliega una alerta. Este dispositivo consta de un circuito para adquirir la señal electrocardiográfica que luego es digitalizada a través de un microprocesador para ser enviada a un software desarrollado en Matlab con el fin de procesarla y obtener el resultado. Con este dispositivo la persona que atiende una emergencia podrá darse una idea de si la persona presenta o no una posible enfermedad del corazón permitiendo tomar decisiones oportunas.

Palabras Clave: Procesamiento digital de señales; ECG; Arritmias.

OBA13-Electrolyte Selection for Electrokinetic Extraction of Metallic Pollutant

Emigdia Guadalupe Sumbará-Ramos¹, Mercedes Teresita Oropeza-Guzmán², Rodolfo Salgado-Rodríguez², María Maura Margarita Teutli-León³, Bayardo Murillo-Rivera⁴, Ignacio González-Martínez⁴

¹Escuela de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología. UABC. Blvd Universitario 1000, Unidad Valle de Las Palmas, 22260 Tijuana, B.C.

²Centro de Graduados e Investigación del Instituto Tecnológico de Tijuana. Blvd. Industrial, s/n, Mesa de Otay, Tijuana B.C., C.P. 22500

³Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Facultad de Ingeniería, Edif. 123, C. U., Av. San Claudio y Blvd. Valsequillo, Puebla, Pue. México, C.P. 72570.

⁴Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, Depto. de Química, Av. San Rafael Atlixco 128, Col. Vicentina, México D.F. C.P. 09340

Resumen. - *La cantidad de sitios reportados como emergencias ambientales y su efecto dañino sobre la población aledaña, provoca la necesidad de aplicar la ciencia y la tecnología para generar soluciones. Ante esta problemática una posible solución es el tratamiento electrocinético, el cual es un proceso no destructivo que se realiza in-situ. Durante un proceso electrocinético se presentan tres fenómenos de transporte principales que son: Electro-ósmosis, electromigración y electroforesis, que actúan removiendo las especies que se encuentran en la solución de suelo. Sin embargo, en el suelo húmedo contaminado se encuentran también especies adsorbidas, las cuales deben ser desorbidas para que entonces puedan ser removidas por los fenómenos de transporte electrocinético. El estudio de los procesos de adsorción/desorción que ocurren en la interfase suelo-contaminante-solución de suelo permite analizar las condiciones químicas que provocarán la desorción de especies contaminantes. El ζ es un parámetro interconector de las propiedades fisicoquímicas de la interfase suelo-cación-solución de suelo que refleja en su valor los procesos de adsorción/desorción que ocurren en esta interfase, en este trabajo se presentan los valores de ζ en distintas soluciones electrolíticas. Se analizan muestras de suelos modelo caolín (C) y bentonita (B), así como de una muestra contaminada con metales procedente de Zimapán, Hidalgo. Los resultados indican que utilizar solución de citrato de amonio es la que provoca mayor desorción en las tres muestras de suelo.*

Palabras clave: Electrocinética, electrolito, potencial zeta, suelo.

OBA14- Micronúcleos en Reticulocitos de Ratones Balb/C Tratados de Forma Oral con Nanopartículas de Plata

Idalia Yazmín Castañeda-Yslas¹, Balam Ruiz-Ruiz¹, María Evarista Arellano-García¹, Karla Oyuky Juárez-Moreno², Olivia Torres-Bugarín³, Nina Bogdanchikova², Alexey Pestryakov⁴, Patricia Radilla-Chávez⁵

¹ Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de Baja California, KM. 106 Carr. Tij-Ens, 22800
idalia.castaneda@uabc.edu.mx, bruiz@uabc.edu.mx, evarista.arllano@uabc.edu.mx

² Centro de Nanociencias y Nanotecnología, Universidad Nacional Autónoma de México

³ Facultad de Medicina, Universidad Autónoma de Guadalajara

⁴ Universidad Politécnica de Tomsk, 634050, Rusia

⁵ Escuela de Medicina Ensenada, Universidad Autónoma de Baja California

Resumen. El estudio de la genotoxicidad en modelos murinos es útil para responder las dudas relacionadas con la seguridad por el uso de nanomateriales, sobre todo cuando se pretende el desarrollo de nuevas opciones terapéuticas. El propósito de este trabajo fue evaluar la capacidad genotóxica de nano partículas de plata a partir de la técnica de micronúcleos en reticulocitos de sangre periférica de ratones, prueba ampliamente utilizada para conocer el potencial genotóxico de diferentes agentes. Las nanopartículas de plata se suministraron en dosis terapéuticas por vía oral durante tres días a un grupo conformado por siete ratones y a otros dos grupos con igual número de ratones se administró respectivamente agua inyectable y arabinosa C. Los especímenes fueron medidos, pesados antes y después del experimento, también se tomaron diariamente muestras de sangre periférica mediante un corte en la punta de la cola para posteriormente realizar extendidos sobre portaobjetos para la prueba de micronúcleos en reticulocitos, los frotis se fijaron en etanol al 80% y se tiñeron con anaranjado de acridina para posteriormente leer en 1000 reticulocitos la presencia de micronúcleos con microscopio de fluorescencia. Los resultados preliminares muestran diferencias significativas en el número de micronúcleos en reticulocitos entre los tres grupos, por lo que se requiere comprobar este resultado con otro tipo de modelos *in vitro*.

Palabras clave Nanopartículas de plata, Micronúcleos, Reticulocitos, Genotoxicidad.

OBA15- Silver Nanoparticles as Nanoantibiotics: A Comparative Analysis of their Toxicity on Biological Systems of Different Complexity

Roberto Vázquez-Muñoz^{1,2}, Belén Borrego Rivero³, Karla Juárez-Moreno¹, Maritza R. García-García¹, Josué David Mota Morales^{1,4}, Nina Bogdanchikova¹, Alejandro Huerta Saquero^{1,}*

¹ Centro de Nanociencias y Nanotecnología, Universidad Nacional Autónoma de México, Km 107; Carretera Tijuana-Ensenada. CP 22860, Ensenada, Baja California, México.

² Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Carretera Tijuana-Ensenada; 3918. CP 22860, Ensenada, Baja California, México

³ Centro de Investigación en Sanidad Animal, INIA (National Research Institute for Agricultural and Food; Technology), Carretera Algete el Casar s/n. 28130. Valdeolmos, Madrid, Spain

⁴ Centro de Física Aplicada y Tecnología Avanzada, Universidad Nacional Autónoma de México, Querétaro, Querétaro 76230, México.

*corresponding autor: saquero@cnyn.unam.mx.

Abstract. - *Currently, silver nanoparticles (AgNPs) are extensively studied for biomedical applications, but although nanomaterials provide many benefits, recently their comparative toxicity have barely been explored. In the current work, AgNPs toxicity on biological systems of different levels of complexity was assessed in a comprehensive and comparatively way. The organisms included viruses, bacteria, microalgae, fungi, animal and human cells (including cancer cell lines). We found that growth of biological systems of different taxonomical groups –in vitro, at a cellular level- is inhibited at concentrations of AgNPs within the same order of magnitude ($10^1 \mu\text{g/ml}$). Thus, the AgNPs toxicity does not depend on the complexity of the organisms. The fact that cells and virus are inhibited with a concentration of AgNPs within the same order of magnitude could be explained considering that silver affects fundamental structures for cells and virus alike.*

Keywords: Silver nanoparticles; nanotoxicology; biological systems complexity; antimicrobial activity.

CBA1- Silver Nanoparticles Effect in the Manufacturing of Footwear for Patients with Risk of Ulcer Development

María Maldonado-Vega¹, Doralinda A. Guzmán-Ortiz², David A. Camarena-Pozos³,
Andrea P. Castellanos-Arévalo³, Adriana Salinas Ramírez⁴, Karla Juárez-Moreno^{5,6,*},
Maritza R. García-García^{5,6}, Alexey Pestryakov⁷, Nina Bogdanchikova^{5,*}

¹Hospital Regional de Alta Especialidad del Bajío. Dirección de Planeación, Enseñanza e Investigación. León, Guanajuato, México.

²Centro de Investigación y de Estudios Avanzados, Unidad Irapuato (CINVESTAV).

³Departamento de Investigación en Ambiental, Centro de Innovación Aplicada en Tecnologías Competitivas (CIATEC, AC), León, Guanajuato, Mexico.

⁴Comercializadora de Sistemas de Innovación (CSI), S.A. de C.V. León, Guanajuato.

⁵Centro de Nanociencias y Nanotecnología, Universidad Nacional Autónoma de México, 22800, Ensenada, Baja California, México.

⁶CONACYT Research Fellow at Centro de Nanociencias y Nanotecnología, Universidad Nacional Autónoma de México, 22800, Ensenada, Baja California, México.

⁷Tomsk Polytechnic University, 634050 Tomsk, Russia.

Abstract. – *Foot infections are difficult to eradicate, patients with diabetes mellitus are more susceptible to them, therefore preventive strategies and effective antimicrobial agents are needed. The antimicrobial properties of silver nanoparticles (AgNPs) are well known thus they are a trend for biomedical applications. The aim of this study was to investigate antibacterial and antifungal activity of leather coated with AgNPs against two bacteria species *Pseudomonas mendocina* and *Pseudomonas syringae* and the fungi *Tricophyton mentagrophytes* responsible for foot infections. It was found a diminishment in the growing of *T. mentagrophytes* in the leather coated with 2.5 mg/ml of AgNPs, however this concentration was not enough to abolish fungal growing. In conclusion, the application of AgNPs in porcine leather decreased its softness but added beneficial antibacterial properties to avoid bacterial foot infections. Leather coated with AgNPs could be used as a suitable material to prevent foot infections and provided additional value for shoes manufacturing.*

Key words: silver nanoparticles, antimicrobial, diabetic foot ulcers, bionanotechnology, nanotechnology, nanomaterials.

CBA2-Pruebas de Hemólisis de Sangre Humana con Nanopartículas de Plata Argovit™

Roberto Luna Vázquez Gómez¹, María Evarista Arellano García², Karla Oyuky Juárez Moreno³, Nina Bogdanchikova³, Alexey Pestryakov⁴, Patricia Radilla Chávez¹, David Salas Vargas¹

¹ Universidad Autónoma de Baja California, Escuela de Ciencias de la Salud, Ensenada B. C. Blvd. Zertuche s/n Ensenada, B.C. México. C.P. 22890

² Universidad Autónoma de Baja California, Facultad de Ciencias, Ensenada Baja California.

³ Universidad Nacional Autónoma de México, Centro de Nanociencias y Nanotecnología, Ensenada Baja California.

⁴ Universidad Politécnica de Tomsk, Tomsk Federación Rusa

Resumen. - Entre los nanomateriales bioactivos de mayor aplicación en el campo biomédico se encuentran las nanopartículas de plata (AgNPs); que se han venido utilizando exitosamente en la impregnación de materiales, instrumental quirúrgico y terapias tópicas y orales; no obstante; surge la preocupación respecto de su uso seguro por vía inyectable, particularmente su potencial uso intravenoso. Este último es de gran interés debido a las demostradas y poderosas propiedades antimicrobianas de las AgNPs. En la actualidad cada vez se descubren más cepas de microorganismos patógenos resistentes a los antibióticos convencionales. Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue verificar la capacidad de hemólisis in vitro de las AgNPs. El proceso de lisis consiste en la destrucción parcial o total de la membrana celular. Para abordar el probable efecto de hemólisis que las AgNPs pudieran tener; se realizaron pruebas de lisis in vitro en las que una alícuota de sangre se sometió a interacción con varias diluciones de nanopartículas de plata Argovit™ en varios ordenes de magnitud (de 0.5 a 0.00005 %). La ocurrencia de lisis se verificó mediante la observación macroscópica y mediante microscopía óptica (40X) con tinción Wright. Las diluciones de AgNPs se realizaron en dos series, una con agua inyectable y otra con solución salina fisiológica de NaCl 0.9% (SSF). Las observaciones macroscópicas y el registro microfotográfico revela que al exponerse sangre a AgNPs en diluciones acuosas de 0.5% y 0.05%, ocurre hemólisis de eritrocitos, lisis parcial de leucocitos y no así en linfocitos; en tanto que; en las diluciones en el rango de 0.005, a 0.00005% no se observó hemólisis alguna. La máxima concentración de no lisis se presentó entre 0.5% y 0.05% de AgNPs con agua inyectable. La lisis de eritrocitos se ve exacerbada en todas las diluciones hechas de AgNPs en SSF.

Palabras clave: nanopartículas de plata, hemólisis, Argovit™

CBA4- Effect on Antimicrobial Activity of Antifungal Agents-Silver Nanoparticles Combined Treatments

Yarithza Pérez Arriola¹, Roberto Vazquez-Muñoz^{2,3}, Nina Bogdanchikova², Alejandro Huerta Saquero²

¹Universidad Autónoma de Baja California (UABC); Carretera Tijuana-Ensenada 3917, Playitas, 22860 Ensenada, B.C., México

² Centro de Nanociencias y Nanotecnología (CNyN); Universidad Nacional Autónoma de México, Apartado Postal 14, CP 22800; Ensenada, B.C., México

³ Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Carretera Tijuana-Ensenada 3918; CP 22860, Ensenada, B.C., México

* Corresponding author: saquero@cnyun.unam.mx

Abstract. - *Infectious diseases are a global public health problem; they are among the leading causes of death worldwide and consume a significant amount of resources. Fungi are among the most common pathogens in humans and animals. Fungal infections are increasing in number, and their incidence has increased more than 200%. Currently, antifungal agents are used for combating fungal diseases, but there are many problems associated with their use, such as the emergence of resistant organisms, as well as the complexity related to the creation new antibiotics. Silver nanoparticles have proven to be an alternative solution to inhibit fungal growth. In this work, we studied the effect on the antimicrobial activity of silver nanoparticles –when combined with antifungal agents-, in the pathogenic dimorphic yeast Candida albicans. The antimicrobial tests were performed according to the CLSI's M27-A3 protocols. Combined AgNPs-antifungal treatments showed a different effect on activity. With some antibiotics, there is an enhancement of activity while with others no effect was observed.*

Keywords: Nanoantibiotics; silver nanoparticles; infectious diseases; synergy; *Candida albicans*.

CBA5-Filmes de PLGA/HAp con Potencial Uso en Aplicaciones Biomédicas

Susana Fragoso Angeles^{1,2}, Ricardo Vera-Graziano³, Ana Leticia Iglesias², Luis Enrique Gómez Pineda^{1,2}, Luis Jesús Villarreal-Gómez^{1,2}

¹Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería, Universidad Autónoma de Baja California, Tijuana, México

²Escuela de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología, Universidad Autónoma de Baja California, Valle de las Palmas, México

³Instituto de Investigaciones en Materiales, Universidad Nacional Autónoma de México, Distrito Federal, México.

Resumen. - *Para resolver una fractura de hueso, en la actualidad se cuentan con dispositivos como placas, agujas intramedulares, tachuelas y tornillos metálicos, a estos dispositivos se les conoce como implantes de fijación de fracturas, y sirven para estabilizar los fragmentos de hueso en su sitio correcto durante el proceso de reparación ósea, por ello; la importancia de estabilizar el sitio de fractura para lograr una vascularización temprana. El objetivo de este estudio es caracterizar fisicoquímicamente filmes de PLGA 50:50/HAp, a través de la técnica de espectroscopia infrarroja transformada de Fourier (FTIR) para buscar grupos funcionales principales. El análisis termogravimétrico (TGA) y la calorimetría diferencial de barrido (DSC) para evaluar el comportamiento de los filmes con respecto a la temperatura y caracterizar la superficie con microscopía electrónica de barrido (SEM). El espectro FTIR presentó tres zonas de gran importancia, la zona aromática entre 1600cm^{-1} - 1400cm^{-1} . Para C=O, en la región de los 1700cm^{-1} presentó la señal característica y fuerte para aldehídos aromáticos, otra señal importante fue de alquenos C=O alrededor de los 1300 - 1000cm^{-1} teniendo traslapes de señales -C-H, =C-H, adicionalmente se presentó una señal muy ancha en la zona de los 3400 - 2400cm^{-1} característica para OH. En lo que respecta a las micrografías de SEM las muestras presentan homogeneidad en la superficie. Con respecto, al análisis termogravimétrico observamos que presenta una pérdida de material a los 180°C del 5% aproximadamente y otra a 252°C del 10%. Finalmente, en nuestro termograma DSC, se observó alrededor de los 50 a 70°C , un ligero y amplio cambio que nos permite creer que ahí está la zona de transición vítrea del material, además se encontró un pico alrededor de los 52.07°C , donde se propone que ocurre la degradación de la formulación. Como trabajo futuro se realizarán pruebas de biocompatibilidad y degradación.*

Palabras clave: Fracturas óseas; Filmes; PLGA/HAp; Caracterización fisicoquímica.

CBA6-Nanofibras de Gelatina/Colágeno para su Potencial Uso en Biorreactores

Lorena Raquel Rocha Jimenez¹, Daniella Alejandra Pompa Monroy², Karla Juarez-Moreno³, Syed G. Dastager⁴, Ana Leticia Iglesias¹, Luis Jesús Villarreal-Gómez^{1,5}

¹Escuela de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología, Universidad Autónoma de Baja California, Valle de las Palmas, México

²Facultad de Ciencias Marinas, Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, Baja California, México

³Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería, Universidad Autónoma de Baja California, Tijuana, México

⁴CONACYT - UNAM - Centro de Nanociencias y Nanotecnología - Km 107 Carretera Tijuana-Ensenada, Ensenada, B.C. México. C.P. 22860

⁵National Collection of Industrial Microorganisms (NCIM), CSIR-National Chemical Laboratory, Pune, Maharashtra, India

Resumen. - Actualmente, existen en el mercado una gran variedad de productos farmacéuticos e industriales que pueden obtenerse a través de biorreactores. El objetivo de este trabajo fue caracterizar biológicamente nanofibras electrohiladas de Gelatina/Colágeno para aplicaciones biotecnológicas. A través de la técnica de electrohilado, se sintetizaron nanofibras de Gelatina al 15% con diferentes proporciones de Colágeno (1%, 5% y 10%) y se evaluaron a través del cultivo en células de fibroblastos humano HFF1 y en cultivos celulares bacterianos *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa*, y *Proteus mirabilis*. En el caso del cultivo celular en fibroblastos, las células al estar en presencia de las nanofibras por 2 días, presentaron una proliferación del 63 % en promedio entre todas las formulaciones, las nanofibras con mayor crecimiento fueron las formulaciones de Gelatina con mayor proporción de Colágeno (10%). En el caso, de las bacterias en todas se presentó un crecimiento eficiente, sobre todo en el caso de *Escherichia coli* y *Staphylococcus aureus*, en el resto de las bacterias el crecimiento no fue tan significativo. Estos resultados evidencian la eficiencia de las nanofibras de Gelatina/Colágeno como sustrato en el cultivo de células de fibroblasto humano y bacterias de interés biológico. Como trabajo futuro se pretende incorporar las nanofibras en las paredes de un biorreactor y comparar el crecimiento con y sin las nanofibras, para evaluar la cantidad de biomasa producida en ambas condiciones.

Palabras clave: Nanofibras; gelatina; colágeno; biorreactor; electrohilar.

CBA7-Nanofibras de Poli (vinil pirrolidona) /Propanolol como Potencial Tratamiento en Hemangioma Infantil

Paola Rachel Rodríguez Medrano¹, Karen Beldai Robles Campillo¹, José Manuel Cornejo-Bravo², Ricardo Vera-Graziano³, Hermelinda De la Cruz-Durán^{2,4}, Ana Leticia Iglesias¹, Aracely Serrano Medina², Luis Jesús Villarreal-Gómez^{1,2}

Rodríguez Medrano Paola Rachell¹, Karen Beldai Robles Campillo¹, José Manuel Cornejo-Bravo², Ricardo Vera-Graziano³, Hermelinda De la Cruz-Durán^{2,4}, Ana Leticia Iglesias¹, Aracely Serrano Medina², Luis Jesús Villarreal-Gómez^{1,2}

¹Escuela de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología, Universidad Autónoma de Baja California, Valle de las Palmas, México.

² Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería, Universidad Autónoma de Baja California, Tijuana, México

³Instituto de Investigaciones en Materiales, Universidad Nacional Autónoma de México, Distrito Federal, México

⁴Hospital Infantil de las Californias A.C. Tijuana, Baja California, México

Resumen. – *Los hemangiomas infantiles son los tumores vasculares benignos más frecuentes de la infancia, surgen a partir de una reproducción descontrolada de células endoteliales seguida de una etapa de lente involución, entre un 10% y 15% tienden a complicarse durante su fase proliferativa, en la cual pueden producir una deformación estética permanente y en casos más graves llegan a afectar funciones vitales. El objetivo de este trabajo fue el de sintetizar y caracterizar nanofibras de poli (vinil pirrolidona) cargadas con propanolol para su potencial uso en el tratamiento de hemangioma infantil. Se prepararon diferentes formulaciones de la solución polimérica y se cargaron diferentes proporciones del fármaco y se sintetizaron a través de la técnica de electrohilado.*

Palabras clave: Electrohilado; Hemangioma Infantil; Poli (vinil pirrolidona); Propanolol; Sistemas de liberación de fármaco.

Estudio de Nanofibras de Poli (Caprolactona)/Colágeno para Potencial Aplicación en Sistemas de Fijación de Fracturas Óseas

Diana Lizeth Acosta León¹, Ricardo Vera Graziano², Theodore Ng³, Eduardo Serena-Gómez⁴, Luis Jesús Villarreal Gómez^{1,5}

¹Escuela de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología, Universidad Autónoma de Baja California, Valle de las Palmas, México

²Instituto de Investigaciones en Materiales, Universidad Nacional Autónoma de México, Distrito Federal, México.

³Oakland Oral and Maxillofacial Surgery, Oakland, California, United States.

⁴Escuela de Ciencias de la Salud, Universidad Autónoma de Baja California, Tijuana, México.

⁵Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería, Universidad Autónoma de Baja California, Tijuana, México

Resumen.- Uno de los principales objetivos de la cirugía maxilofacial es conseguir que la consolidación ósea se desarrolle correctamente. La búsqueda de formulaciones adecuadas para ser utilizados en la fabricación de placas y tornillos reabsorbibles que puedan degradarse o reabsorberse convenientemente es uno de las áreas que un cirujano maxilofacial espera, ya que el tener a su disposición diferentes sistemas de fijación de fracturas óseas que pueda adecuarse al tipo de fractura del paciente, es algo primordial. Es por eso, que este proyecto tiene el objetivo de evaluar diferentes formulaciones de nanofibras de poli (caprolactona) con diferentes proporciones de colágeno (1%, 5% y 10%). Las nanofibras producidas se caracterizaron a través de la técnica de espectroscopia infrarroja transformada de Fourier (FTIR) para buscar sitios de interacción fármaco-polímero. El análisis termogravimétrico (TGA) y la calorimetría diferencial de barrido (DSC) para evaluar el comportamiento de las nanofibras con respecto a la temperatura y caracterizar el diámetro promedio de las fibras y porcentaje de porosidad con microscopia electrónica de barrido (SEM). Actualmente, los resultados están siendo procesados. Sin embargo; las nanofibras presentan propiedades mecánicas muy interesantes, evidenciando estabilidad y resistencia a la formación. Como trabajo futuro, se realizarán pruebas de degradación y biocompatibilidad. Los resultados obtenidos servirán para la toma de decisiones sobre que formulación será la adecuada para la manufactura de placas y tornillos reabsorbibles para la fijación de fracturas óseas.

Palabras clave: Electrohilado; Sistemas de fijación de fracturas óseas; Poli (caprolactona); Colágeno.

Aplicaciones de la Membrana Amniótica en Patologías de la Superficie Ocular a través de Ingeniería de Tejidos y Nanotecnología

Ma. De Los Ángeles Leal¹, Gilberto Quiñonez Palacio¹, José Román Chávez¹, Vilma Valdez Kim², Irma Zamudio Valderrama², Nina Bogdanchikova³, Blanca Camacho Domínguez⁴, Leslie Patrón Romero⁴, Horacio Almanza Reyes⁴

¹Universidad Autónoma de Baja California, Escuela de Ciencias de la Salud, Valle de las Palmas.

²Hospital Fray Junípero Serra del Instituto del ISSSTE de Tijuana Baja California.

³Universidad Nacional Autónoma de México, Centro de Nanociencias y Nanotecnología.

⁴Universidad Autónoma de Baja California, Facultad de Medicina y Psicología, Tijuana.

Resumen.- *Introducción: Las alteraciones de la conjuntiva y de la córnea representan una parte muy importante en la patología de la superficie ocular. Tras la resección de lesiones conjuntivales extensas, el lecho escleral expuesto, debe ser cubierto para evitar complicaciones importantes como la inflamación, infección, necrosis o cicatrización excesiva. En este sentido, la membrana amniótica con la aplicación de nanopartículas de plata parece ser un sustrato ideal para la regeneración conjuntival, con resultados en principio superiores a los que ofrecen otras alternativas quirúrgicas disponibles hasta ahora. Objetivo: Determinar la estabilidad del proceso de preparación y conservación de membrana amniótica con la aplicación de nanopartículas de plata para uso clínico en modelo animal. Metodología: Se utilizaron 30 piezas de ojos de conejo en el que se realizó el implante a manera de injerto en la superficie conjuntival que presentaba pérdida de continuidad, dándosele seguimiento postquirúrgico con la aplicación local de antiinflamatorios y antibiótico por siete días, además de los cuidados generales requeridos, junto con ello se dio seguimiento fotográfico del sitio de lesión. Posteriormente se realizó enucleación de las piezas atendidas a los 20, 40 y 60 días, para ser sometidas a estudio histopatológico. Resultados: A los veinte días se reportó en los estudios histopatológicos la presencia de tejido de granulación constituido por proliferación de vasos sanguíneos congestivos así como inflamación linfocítica moderado no atípica, en un estroma fibroso, en cuatro de las piezas estudiadas, así como datos de inflamación crónica con células gigantes tipo cuerpo extraño, en una de las piezas estudiadas. A los cuarenta y sesenta días pos-implante, no se encontraron alteraciones sugestivas de inflamación, ni de cuerpo extraño. Conclusión: Se encontró una gran estabilidad en la membrana amniótica después de la congelación tras los estudios histológicos.*

Palabras clave: Membrana amniótica; Superficie ocular; Nanopartículas de plata.

Membrana Amniótica con Nanopartículas de Plata como Antibacteriano Local en Lesiones de Superficie Corporal

Ma. De Los Ángeles Leal¹, Gilberto Quiñonez Palacio¹, José Román Chávez¹, Nina Bogdanchikova^{2,4}, Leslie Patrón Romero³, Blanca Camacho Domínguez³, Horacio Almanza Reyes^{3,4}

¹Universidad Autónoma de Baja California. Escuela de Ciencias de la Salud, Valle de las Palmas.

²Universidad Nacional Autónoma de México. Centro de Nanociencias y Nanotecnología.

³Universidad Autónoma de Baja California. Facultad de Medicina y Psicología, Tijuana.

⁴Red Internacional de Bionanotecnología con Impacto en Biomedicina, Alimentación y Bioseguridad

Resumen.- La inhibición microbiológica de nanopartículas de plata ha sido analizada contra agentes bacterianos Gram positivos y Gram Negativos, hongos como *Candida albicans*, el Virus de Inmunodeficiencia Humana, el Virus de Hepatitis B, entre otros. Su uso ha mostrado especial importancia en quemaduras extensas o heridas que involucran una pobre evolución clínica con tratamientos convencionales como en el pie diabético, o en heridas colonizadas por microorganismos farmacoresistentes. Por ello se sugiere que en lesiones extensas o complicadas de superficie corporal, que requieran el uso de un apósito con algún agente antibacteriano, dicho apósito sea de tipo biológico tratado con un agente con efecto antibacteriano y antiviral como la membrana amniótica tratada con nanopartículas de plata que además estimule la regeneración tisular y proporcione los beneficios de la ingeniería de tejidos y la nanotecnología para el manejo integral del paciente, ya que podría ser muy útil en diferentes padecimientos. Evaluar el efecto antibacteriano de membrana amniótica tratada con nanopartículas de plata en lesiones de superficie corporal. Metodología: Evaluación *in vitro* de la membrana amniótica recubierta con nanopartículas de plata para inhibir el crecimiento de bacterias de relevancia clínica de los grupos Gram positivas y Gram Negativas, así como en *Candida albicans*. Se determinó la Concentración Mínima Inhibitoria (CMI) y el efecto del halo de inhibición antibacteriana en tres concentraciones distintas. Las concentraciones de nanopartículas de plata que presento la CMI se encuentran entre 0.0195% y 1.25% a las 6 horas de exposición en todas las bacterias referidas. Las características anti-microbianas de la membrana amniótica impregnada con nanopartículas de plata han mostrado ser efectiva durante el estudio, lo que podría ser muy útil en lesiones de extensas o de difícil manejo en superficie corporal.

Palabras Clave: Membrana amniótica; Nanopartículas de plata; Concentración mínima inhibitoria.

Desarrollo de un Sistema de Adquisición y Pre-procesamiento de Señales Electrocardiográficas de Múltiples Derivaciones en Tiempo Real

*Miguel Ángel Betanzos Muñoz, Juan Miguel Colores Vargas, Vladimir Becerril Mendoza,
Norma Barboza Tello, Francisco Javier Ramírez Arias*

Escuela de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología, Universidad Autónoma de Baja California, Valle de las Palmas, México

Resumen.- Las enfermedades cardiovasculares son la principal causa de muerte en todo el mundo, algunas de estas condiciones suelen ser progresivas y manifiestan sintomatologías que permiten que los médicos puedan diagnosticar y proponer tratamientos para mejorar el estado de salud. En este sentido, los sistemas electrocardiográficos son utilizados para monitorear la condición del corazón en los pacientes y así proveer información útil y detallada que apoye la toma de decisiones en relación al diagnóstico. Por ello, el desarrollo de sistemas de adquisición de señales en tiempo real es un área de investigación importante pues existe una tendencia hacia la portabilidad en los instrumentos médicos, así como la reducción en los costos. Es este trabajo se aborda el diseño e implementación de un sistema de adquisición de señales de alta resolución para biopotenciales multicanal de hasta 10 derivaciones. El dispositivo se basa en un convertidor analógico-digital ADS1298 y un microcontrolador ATMEL ATMEGA328 que en su conjunto permiten cumplir con las normas internacionales establecidas en los estándares IEC60601-2-X para el desarrollo de equipos médicos. Se describen los módulos de suministro de energía, multiplexado de señales, filtrado analógico y diseño de la tarjeta de circuito impreso PCB. Para probar el funcionamiento del sistema se han realizado pruebas en torno a señales electrocardiográficas aun y cuando la solución es capaz de ser aplicada hacia la adquisición de diferentes señales de paciente; encefalográficas, mioeléctricas, entre otras. Además de ofrecer una gran flexibilidad para el desarrollo de aplicaciones de monitoreo inalámbrico e instrumentos del tipo portable.

Palabras clave: Adquisición de señales; Biopotencial eléctrico; Medición multicanal; ADS1298; EEG; EMG; ECG.

CBA14-Denoising and Principal Component Analysis for Raman Spectra Amplified by Silver Nanoparticles Addition into Red Blood Cells

Lisset Ferrer-Galindo¹, Alejandro David Sañu Ginarte¹, Noralvis Fleitas-Salazar², Lázaro Alberto Ferrer Moreno³, Rodrigo Arturo Rosas Burgos², Martín Rafael Pedroza-Montero², Raúl Riera Aroche²

¹Universidad de Sonora, Departamento de Física, P.O.B. 1626, 83000 Hermosillo, Sonora, México.

²Universidad de Sonora, Departamento de Investigación en Física, P.O.B. A-088, 83190 Hermosillo, Sonora, México.

³Instituto Tecnológico de Hermosillo. Departamento de Ciencias Básicas, 83170 Hermosillo, Sonora.

Abstract. - *Incubate erythrocytes with and without silver nanoparticles (AgNP) were analyzed by Raman Spectroscopy, resulting in two Raman spectra datasets. AgNP added to red blood cells (RBC) to enhance the Raman signals. This technic is known as Surface Enhanced Raman Scattering (SERS). A comparison is made between the Raman spectra with and without AgNP, to see if the SERS really occurs. Due to Raman and SERS spectra are cumbersome by the noises presented, we apply denoising criteria for detection and removal of noises like cosmic rays, shot and fluorescence contribution. After the pre-processing procedures (denoising), a multivariate analysis is introduced, the Principal Component Analysis (PCA), to reduce the studied spectra dimensions, by taking only the main key components necessary for a better interpretation of these spectra. All those noises must be removed prior to the statistical analysis, with the purpose of make certain that the analysis is really based on the Raman measurements and not on other effects. As result, RBC Raman spectra with and without AgNP get denoised, obtaining an improvement in its resolution for a better signal lecture and data interpretation. Also, the first principal components (PC) were selected from each dataset analyzed, due to the information percent they represent and its spectrum readability. In conclusion, we could represent the given reference system by a more affordable one of smaller dimension in which information lost was minimal.*

Keywords: Raman spectroscopy, SERS, Denoising, Multivariate Analysis, Principal Component Analysis.

CBA16-Diseño de un Elemento Mecánico Inspirado en el Fémur de un Insecto *Calliptamus Barbarus*

Juan Antonio Paz González¹, Edgar Ricardo Meza¹, Luis Jesús Villarreal Gómez^{1,2}, Javier Rosel Solís¹, Emilio Hernández Martínez¹, José Navarro Torres¹

¹Escuela de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología, Universidad Autónoma de Baja California. Blvd. Universitario #1000, Valle de las Palmas, Tijuana, Baja California, México.

²Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería, Universidad Autónoma de Baja California, Tijuana, México.

pazj@uabc.edu.mx, emeza47@uabc.edu.mx, luis.villarreal@uabc.edu.mx, mrosel@uabc.edu.mx, emilio.hernandez.martinez@uabc.edu.mx, jnavarro85@uabc.edu.mx,

Resumen. - *En este trabajo se presenta el diseño de un elemento mecánico, basado en la configuración geométrica del fémur del grillo *Calliptamus barbarus*, utilizando sistemas de medición de contorno y comparador óptico para la caracterización dimensional y la creación de un modelo basado en la geometría externa del fémur del insecto, para la implementación en exoesqueletos, o elementos estructurales sometidos a compresión o impacto.*

Palabras clave: *Calliptamus barbarus*; Diseño Mecánico; Femur de Grillo; Biomimética

CBA17-A Feedforward-Moment-Gyro-Control for Positioning Wirelessly Light-Source and Wireless-Camera in Laparoscopic Instruments

José Torres Ventura¹, Marco Antonio Reyna Carranza¹, Raúl Rascón Carmona², Miguel Enrique Bravo Zanoguera¹, Roberto López Avitia¹

¹Cuerpo Académico de Bioingeniería y Salud Ambiental de la Universidad Autónoma de Baja California, Mexicali, B.C., México.

²Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Baja California

Resumen. - *En este artículo se presenta un sistema mecatrónico giroscópico, que ayuda al cirujano laparoscópico a controlar de forma inalámbrica el zoom y la posición panorámica de una cámara y una fuente de luz, adaptadas a un manipulador para cirugía mínimamente invasiva. El giroscopio adaptado al manipulador, genera una señal de referencia utilizada por un control de avance directo. El sistema de cámara y fuente de luz, está montado sobre un dispositivo electromecánico (brazo robótico) de tres grados de libertad (3DOF). Los experimentos realizados con el sistema, muestran un buen rendimiento de la panorámica, inclinación y zoom de la cámara y fuente de luz.*

Palabras clave: Mínimamente invasivo; robot cirujano; adquisición de datos; control de giro de momento de avance; transceptor inalámbrico; laparoscopia.

CONGRESO INTERNACIONAL
DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

CBA18-Desafíos de la Toxicidad de Nanopartículas de Plata para la Industria, Aplicaciones Biomédicas y el Medio Ambiente

Balam Ruiz Ruiz^{1}, Francisco Casillas Figueroa¹, Roberto Luna Vázquez Gómez¹, María Evarista Arellano García², Nina Bogdanchikova³, Alexy Pestryakov⁴*

¹Escuela de Ciencias de la Salud, Universidad Autónoma de Baja California

²Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de Baja California

³Centro de Nanociencia y Nanotecnología, Universidad Nacional Autónoma de México

⁴Universidad Politécnica de Tomsk, Rusia

Resumen. – En la última década se ha incrementado la investigación y los artículos científicos sobre riesgos por el uso de nanomateriales. En el caso de las nanopartículas metálicas y específicamente las de plata, se presentan diversos y complejos desafíos para su uso seguro. El objetivo del presente trabajo fue analizar la evolución del enfoque en las publicaciones sobre la toxicidad de las nanopartículas de plata. Se utilizaron las bases de Scopus y Science Direct con las palabras clave: toxicity y silver nanoparticles. Los artículos recuperados se clasificaron a partir de las siguientes categorías: Síntesis de nanopartículas, Toxicidad no microbiana, Caracterización fisicoquímica, Antimicrobiano, Impactos ambientales, Cáncer, Fisiología y Otras aplicaciones médicas. Se localizaron 1790 registros en Scopus y 846 en Science Direct, de los cuales 571 artículos se consideraron relevantes después de leer el título, y solo 305 se analizaron en profundidad, descartando los duplicados y los de acceso restringido. Resultaron 249 artículos con el tema de toxicidad no microbiana; 133 fueron de fisiología; 111 de impactos ambientales, 50 de aplicaciones médicas, 51 de efectos antimicrobianos, 45 de caracterización fisicoquímica, 40 fueron de síntesis de nanopartículas y 17 de cáncer. Entre 2014 y 2015 se publicaron 169 artículos, casi el mismo número de artículos que los acumulados entre 2007 y 2013 (126 artículos). El incremento anual fue de 10.5 artículos por año. En los años con más publicaciones el énfasis de los temas cambió, de uno dirigido hacia la toxicidad causa-efecto a otro que destaca el impacto ambiental. Son 63 revistas las que publican sobre estos temas, con factor de impacto que oscila entre 0.65 y 15.1, de las cuales 11 contienen casi la mitad de las publicaciones analizadas. El análisis muestra que la preocupación por la toxicidad de nanopartículas de plata está más vinculada a temas ambientales que estrictamente médicos.

Palabras Clave: Nanomateriales; Toxicidad; Nanopartículas de plata.

CBA19- Innovación para Ensayos de Cito/Genotoxicidad de Nanopartículas con Células Meristemales

Francisco Casillas Figueroa^{1,}, María Evarista Arellano García², Nina Bogdanchikova³,
Balam Ruiz Ruiz¹, Roberto Luna Vázquez Gómez¹, Alexy Pestryakov⁴*

¹Universidad Autónoma de Baja California, Escuela de Ciencias de la Salud.

²Universidad Autónoma de Baja California, Facultad de Ciencias.

³Centro de Nanociencias y Nanotecnología, Universidad Nacional Autónoma de México

⁴Universidad Politécnica de Tomsk, Rusia.

Resumen. - *El uso de nanopartículas para aplicaciones industriales y biomédicas, requiere comprender las características de su toxicidad para garantizar la seguridad en la producción y uso. Una de las técnicas más utilizadas para monitorear la toxicidad ambiental es la prueba de micronúcleos y anormalidades nucleares en diferentes modelos vegetales especialmente en Allium cepa. El objetivo de este trabajo es presentar una innovación en el protocolo de tinción que mejora la identificación microscópica de diferentes anormalidades en el ciclo celular así como aberraciones cromosómicas, índice mitótico y otras anomalías nucleares. Estos modelos vegetales son de gran utilidad por ser pruebas de bajo costo, fácil manejo, relativamente rápidas y de gran aceptación en la comunidad científica; el punto crítico de esta técnica es la microscopía, que requiere de largas horas de entrenamiento y visualización para distinguir los contenidos citoplasmáticos del material nuclear. La técnica consiste en exponer las raíces in vivo con diferentes nanomateriales, después de transcurrido el tiempo de exposición experimental, se someten a hidrólisis de la pared celular con ácido clorhídrico, para posteriormente realizar los cortes con los que después de proceder a la tinción con orceína acética se realiza un squash sobre portaobjetos con la ayuda de un cubreobjetos, el cual se sella con esmalte para uñas transparente para evitar la desecación. La modificación consistió en agregar verde rápido como colorante de contraste, con lo cual se obtuvo una observación más nítida del contenido nuclear debido a que éste se tiñe de otro color con respecto al citoplasma, y esto ayuda a evaluar con mayor objetividad, porque reduce los eventos de falsos positivos y hace más diáfanos las diferentes etapas del ciclo celular y los biomarcadores de daño genotóxico y citotóxico, lo cual redundó en un acortamiento del tiempo de conteo y de efectividad de la técnica en general.*

Palabras clave: Células meristemales, Genotoxicidad, Nanopartículas de plata.

CBA20- Estudio de Nanofibras de poli (vinil pirrolidona) y poli (vinil alcohol) cargados con Sildenafil como Sistemas de Liberación de Fármaco

Erick José Torres-Martínez¹, José Manuel Cornejo-Bravo¹, Ricardo Vera-Graziano², José Manuel Cervantes-Uc³, Eduardo Alberto Lopez-Maldonado¹, Ana Leticia Iglesias⁴, Aracely Serrano Medina¹, Luis Jesús Villarreal-Gómez^{1,4}

¹Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería, Universidad Autónoma de Baja California, Tijuana, México

²Instituto de Investigaciones en Materiales, Universidad Nacional Autónoma de México, Distrito Federal, México.

³Centro de Investigación Científica de Yucatán, Mérida, Yucatán, México

⁴Escuela de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología, Universidad Autónoma de Baja California, Valle de las Palmas, México

Resumen. - La hipertensión arterial pulmonar (HAP) es uno de los principales factores de riesgo para padecer enfermedad cardiovascular, cerebrovascular e insuficiencia renal, que son importantes causas de mortalidad en México. En México existen únicamente dos medicamentos aprobados para HAP: Ilioprost (Ventavis®), Bosentan (Tracleer®) y uno disponible: Sildenafil Viagra®. El optimizar la absorción y eficacia del fármaco Sildenafil es el principal objetivo del proyecto. Por lo tanto, este trabajo tiene como propósito sintetizar y caracterizar nanofibras por electrohilado que contengan sildenafil de rápida disolución para el tratamiento de hipertensión pulmonar crónica. Para lograr esto, se cargó citrato de sildenafil en nanofibras de poli (vinil pirrolidona) (PVP) y poli (vinil alcohol) (PVA) a través de la técnica de electrohilado. Posteriormente, se caracterizó químicamente las fibras PVP y PVA (FTIR, DSC, SEM, TGA). Se realizó el cargado con sildenafil en las nanofibras de PVP y PVA a través de la técnica de mezcla de disoluciones y se evaluó la velocidad de liberación del fármaco en una solución y se cuantificó por espectrofotometría. Los resultados de la investigación servirán como base para estudios posteriores, utilizando cultivos celulares y modelos experimentales para evaluar la efectividad del sistema en animales pequeños, con el objetivo de que los datos sean útiles para su transferencia a pruebas clínicas.

Palabras clave: Poli (vinil alcohol); Poli (vinil pirrolidona); Sildenafil; Sistema de liberación de Fármacos, Nanofibras.



CIENCIA DE LOS MATERIALES

CONGRESO INTERNACIONAL
DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

OCM1- Estudio DFT a Moléculas Derivadas de Benzimidazol y Piridina con Capacidad Inhibidora de Corrosión

Jorge Reyes-Corrales¹, Jesús Baldenebro-López¹, Rody Soto-Rojo¹, Daniel Glossman-Miknit²

¹Facultad de Ingeniería Mochis, Universidad Autónoma de Sinaloa. Prol. Ángel Flores y Fuente de Poseidón, S/N, C.P. 81223, Los Mochis, Sinaloa; México

²NANOCOSMOS Virtual Lab, Centro de Investigación en Materiales Avanzados S.C. Miguel de Cervantes 120, C.P. 31136, Chihuahua, Chihuahua; México

Resumen. - *Los inhibidores basados en heteroátomos de nitrógeno han mostrado ser uno de los productos químicos eficaces en la inhibición de la corrosión de metales. Este estudio fue llevado a cabo con la teoría de funcionales de la densidad (DFT), utilizando distintos niveles de cálculo. Diversas propuestas fueron evaluadas para estimar los niveles de energía de los orbitales moleculares de frontera (HOMO-LUMO) y su isodensidad. Dichos parámetros fueron considerados para determinar la parte nucleofílica y electrofílica de las moléculas. Finalmente, se llevó a cabo un análisis de la reactividad química con los parámetros de afinidad electrónica, el potencial de ionización, la dureza química y el índice de electrofiliidad; el objetivo fue determinar el comportamiento de la dureza química cambiando la posición de los sustituyentes.*

Palabras clave: Inhibidores; DFT; Heterociclicos; Piridina; Bencimidazol; Corrosión.

OCM4- Influencia del Método de Sujeción en la Caracterización Mecánica a Tensión de un Material Compuesto Polimérico

Enrique Alcudia-Zacarías¹, Arturo Abúndez-Pliego¹, Juan Antonio Paz-Gonzalez², Jan Mayén-Chaires¹, Gilberto Piña-Piña³

¹Tecnológico Nacional de México/Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico (CENIDET), Interior Internado Palmira s/n Col. Palmira, Cuernavaca, Morelos, C.P. 62490, México.

²Escuela de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología, Universidad Autónoma de Baja California, Blvd. Universitario #1000 Unidad Valle de las Palmas, Tijuana, Baja California, C.P. 22260, México.

³Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Toluca, Av. Tecnológico s/n Col. Agrícola, Metepec,

Edo. México, C.P. 52149, México.

*alcudia@cenidet.edu.mx, abundez@cenidet.edu.mx, pazj@uabc.edu.mx, jmayen@cenidet.edu.mx, gpina@ittoluca.edu.mx

Resumen. – En este trabajo se reportan los resultados de la evaluación de la influencia de dos métodos de sujeción en la medición de las propiedades mecánicas a tensión del laminado de fibra de vidrio [tejido/dispersa/dispersa]s con matriz de resina poliéster. La influencia del método de sujeción en los ensayos de tensión se evaluó a través de especímenes con talones de bordes rectos y sin la presencia de talones. Los ensayos de tensión se realizaron utilizando las mordazas tipo cuña MWG-100kNA en la máquina de ensayos universales Shimadzu AG-X plus 100kN. Los resultados experimentales mostraron que la presencia de los talones durante los ensayos de tensión no influye de forma significativa en la resistencia última, ya que se obtuvo una variación del 3.21% entre ambos métodos de sujeción. Sin embargo, se obtuvo un incremento del 27.98% en el módulo de elasticidad y una disminución del porcentaje de elongación del 26.68% en comparación con los resultados obtenidos de los ensayos de tensión sin talones. Este comportamiento se puede explicar por la disminución del daño transversal causado por las mordazas tipo cuña en la zona de sujeción del laminado cuando los talones son utilizados durante el ensayo de tensión. Por lo tanto, se recomienda realizar los ensayos de tensión con talones, con el propósito de evitar el daño transversal en la zona de sujeción y por consiguiente su influencia en la caracterización de las propiedades mecánicas a tensión de los materiales compuestos.

Palabras clave: Ensayo de tensión; resistencia última; talón; fibra de vidrio.

OCM5- Reduction of Ferrite Phase in Austenitic Chromium-Nickel Stainless Steels by Controlling Content of Cr-Ni Equivalent.

Juan Antonio Ruiz Ochoa¹, Mitsuo Osvaldo Ramos Azpeitia², Iván Erick Castañeda Robles³, José Luis Hernández Rivera⁴, Juan Antonio Paz González¹

¹Escuela de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología. UABC. Blvd Universitario 1000, Unidad Valle de Las Palmas, 22260 Tijuana, B.C.

²Facultad de Ingeniería. UASLP. Av. Dr. Manuel Nava No.8 Edificio P, Zona Universitaria, 78290 San Luis Potosí, S.L.P.

³Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Ciudad del Conocimiento, Carretera Pachuca-Tulancingo Km. 4.5, 42184, Mineral de la Reforma, Hgo.

⁴CONACYT-Instituto de Metalurgia-Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Sierra Leona 550, Lomas 2da Sección. 78210. San Luis Potosí, S.L.P. México.

Resumen. – *Los aceros inoxidable austeníticos AISI 316L son muy comunes en la industria. Grandes cantidades de este material se desechan como chatarra y pueden utilizarse posteriormente como material reciclado para la colada. En ambientes marinos (altamente corrosivos), este tipo de acero presenta corrosión intragranular, específicamente en una de sus fases, en la ferrita, por lo que se prefiere mantenerla en la menor proporción posible (<1%), pero normalmente se encuentra alrededor del 12%. Si se requiere que una pieza de fundición de acero AISI 316L transporte un fluido presurizado, debe realizarse de acuerdo con las consideraciones descritas en la norma ASTM A351. En este trabajo, se encontró que el acero CF3M es el más similar en términos de proporciones químicas elementales de sus componentes. Por lo tanto, se utilizaron los diagramas de Schaeffler y Schoefer para reducir el contenido de "ferrita equivalente" en al menos el 90%, haciendo ajustes en la fundición modificando los porcentajes de Ni y Cr.*

Palabras clave: Aceros Inoxidable Austeníticos, Ferrita, Diagrama de Schaeffer, Diagrama de Schoefer.

Influencia de C1 a C4 en la Síntesis de Co_3O_4 con Actividad Variable en la Reducción de NO/CO

Juan Manuel Quintana Melgoza

Universidad Autónoma de Baja California, Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería,
Tijuana, Baja California, México.

Resumen.- Presentamos una nueva metodología para la síntesis de óxido cobaltosico (Co_3O_4). Los materiales se prepararon haciendo reaccionar alcoholes de un carbono (C1) a cuatro carbonos (C4) de cadena lateral con sodio metálico y nitrato de cobalto hexahidrato, respectivamente a 400 °C con flujo de helio. Como efecto de los hidrocarburos de cadena larga, C4 es el mejor precursor de Co_3O_4 , debido a su área superficial más alta que la obtenida por precursores C1, C2, C3. Y todos los catalizadores alcanzaron la conversión de NO a 400°C en el rango de 69.9 % a 97.5 %. Los materiales se caracterizaron por difracción de rayos X (XRD), tamaño medio de los cristales, área superficial, espectroscopia de dispersión de energía (EDS) y microscopía electrónica de barrido (SEM).

Palabras clave: Óxido cobaltosico; Alcoholes; Área superficial; Reducción de óxido nítrico.

CONGRESO INTERNACIONAL
DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

OCM7- Síntesis y Caracterización De La Fase Cristalina $\text{Ni}_{0.74}\text{Cu}_{0.26}$ por Descomposición Térmica en Atmósfera Reductora

Luis Antonio Flores Sánchez, Juan Manuel Quintana Melgoza

Universidad Autónoma de Baja California, Calzada Universidad 14418 Parque Industrial Internacional Tijuana, B.C., C.P. 22390, lflores94@uabc.edu.mx.

Resumen. - En este trabajo se propone la síntesis de una aleación de Níquel-Cobre por descomposición térmica en atmósfera reductora a partir de la mezcla estequiometría 3:1 de sales de Ni y Cu. La metodología utilizada es de bajo costo, sencilla, amigable con el medio ambiente y permite obtener una fase cristalina libre de contaminantes o remanentes de reacción con un tamaño de cristal de 33 nm y tamaño promedio de partícula de $659 \pm 123 \times 416 \pm 102$ nm, con morfología semiesférica y aglomerados no definidos. Adicionalmente al realizar un análisis comparativo de los parámetros de red experimental, teóricos reportados y calculados con la ley de Vegard, sugiere que el material sintetizado presenta un contenido diferente de Cu y puede estar compuesto por la fase $\text{Ni}_{0.83}\text{Cu}_{0.17}$ con respecto a la identificada con la base de datos $\text{Ni}_{0.76}\text{Cu}_{0.24}$. El material se caracterizó por difracción de rayos-X (XRD), espectroscopía de dispersión de energía (EDS) y microscopía electrónica de barrido (SEM), el tamaño de cristal se calculó con la ecuación de Scherrer y la fracción de Cu en la aleación con la ley de Vegard.

Palabras clave: Síntesis, descomposición térmica reductora, caracterización, aleación, níquel-cobre.

CONGRESO INTERNACIONAL
DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

Metrología Óptica Con El Interferómetro De Michelson: Medición De Sustancias Ópticamente Activas

Ricardo D. López López, Adriana Nava-Vega

Universidad Autónoma de Baja California, Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería,
Tijuana, Baja California, México.

Resumen.- Los interferómetros son dispositivos de alta precisión que juegan un papel importante para medir densidad, distancia, presión de diferentes materiales, así como propiedades de planicidad en superficies. Su relevancia radica en la precisión de los resultados y su carencia de invasión en el entorno de estudio. En este trabajo se reproduce el interferómetro de Michelson para medir el desplazamiento de las franjas de interferencia generadas. Con este dispositivo se tiene la herramienta para medir y determinar propiedades físicas a partir de la interpretación de las franjas de interferencia. Se estudia el caso particular de sustancias ópticamente activas.

Palabras Clave: Interferencia; Interferómetro; Luz.

CONGRESO INTERNACIONAL
DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

OCM9- Confined Beryllium Atom Electronic Structure and Physicochemical Properties

Alejandro David Sañu Ginarte, Rodrigo Arturo Rosas Burgos, Adalberto Corella Madueño, Ricardo Betancourt Riera, Lázaro Alberto Ferrer Moreno, Raúl Riera Aroche

^a Universidad de Sonora, Departamento de Física, Apartado Postal 1626, 83000 Hermosillo, Sonora, México.

^b Universidad de Sonora, Departamento de Investigación en Física, Apartado Postal 5-088, 83190 Hermosillo, Sonora, México.

^c Instituto Tecnológico de Hermosillo, Avenida Tecnológico S/N, Colonia Sahuaro, C.P.83170, Hermosillo, Sonora, México.

Abstract. - *Confined Beryllium atom ground and first excited state electronic structure are calculated by the direct variational method, taking into account the system asymmetric nature of the trial wave function, adding a cutoff function to ensure confinement boundary conditions. The trial wave function is built up from hydrogenic functions, which constitute an adequate basis for energies calculation. Physicochemical properties such as kinetic energy, pressure, and polarizability are also calculated from energy results previously obtained to different confined radii. Using different variational parameters in each hydrogenic function, the energy approximation obtained is improved. Another important result is that this method is computationally simpler and gives values inside the experimental precision.*

Key words: confined Beryllium atom, ground state, first excited state, direct variational method

CONGRESO INTERNACIONAL
DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

CCM1 Ánodo de RE/TiO₂ Nanoestructurado para Celdas Solares Sensibilizadas (DSSC)

Daniel Ramírez Rosillo, Balter Trujillo Navarrete, Rosa María Félix Navarro, Edgar Alonso Reynoso Soto

Centro de Graduados e Investigación en Química, Instituto Tecnológico de Tijuana, Boulevard Alberto Limón Padilla y AV. ITR Tijuana s/n, Mesa de Otay, Tijuana, Baja California C.P. 22510, México.

Resumen. - Actualmente resulta inherente la obtención de energía de fuentes alternas y renovables, dentro de estas, la energía solar se posiciona firmemente como una de las principales opciones para dar solución a esta problemática. La tercera generación de celdas solares, las sensibilizadas con colorante (DSSC), ofrece un amplio campo de oportunidad para la investigación. En este trabajo, se analiza el efecto, en el rendimiento de la celda, de la modificación estructural del semiconductor (TiO₂) y el dopaje con Neodimio. En tanto al semiconductor se optó por llevar a cabo la síntesis del mismo sobre el vidrio conductor (FTO), que posteriormente conformaría el foto-ánodo, con una estructura unidimensional (nano-varillas cristalinas de dióxido de titanio en fase rutilo), recientes publicaciones han reportado las ventajas para transportar los electrones de las mismas. Se ha decidido dopar las varillas con un elemento del grupo de los lantánidos, el Neodimio, teniendo dos propósitos, por una parte, aumentar la inyección de electrones excitados, y de igual forma, disminuir la tasa de recombinación del par electrón hueco dentro de la celda.

Palabras clave: Energías alternas; Celdas Solares; Nano-varillas; Neodimio; Dióxido de Titanio

CONGRESO INTERNACIONAL
DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

CCM2- Electrochemical Sensor for Direct Determination of Nitrobenzene in Aqueous Solution Based on Rutile TiO₂ Nanoflowers

Mirza M. Ruiz-Ramírez, Juan J. Hinostraza-Mojarro, Balter Trujillo-Navarrete, Carolina Silva-Carillo, Rosa María Félix-Navarro, Edgar Alonso Reynoso-Soto*

Centro de Graduados e Investigación en Química, Instituto Tecnológico de Tijuana, Blvd. Alberto Limón Padilla s/n, Mesa de Otay, Tijuana, B. C. CP 22510, México. E mail: balter.trujillo@tectijuana.mx

Resumen. -. El Nitrobenzeno (NB) es un COV que se produce en grandes cantidades para uso industrial, es altamente tóxico y a exposición repetida puede causar daños severos a la salud humana. Los métodos tradicionales para la determinación del NB alcanzan concentraciones en partes por millón, pero este contaminante en agua está por debajo de estas concentraciones. Debido a esto es importante desarrollar nuevos sensores para la determinación de NB en agua. En este trabajo, un sensor electroquímico fue desarrollado para la determinación de NB con nanovarillas de TiO₂ mono cristalinas en fase rutilo. Los parámetros de síntesis fueron modificados para obtener las morfologías deseadas y se caracterizaron por espectroscopía Raman, SEM, EDS y técnicas electroquímicas. La cuantificación de NB se realizó por VC. La sensibilidad y el intervalo de detección de las sondas incrementaron con el aumento de la apertura de las nanoflores de TiO₂, alcanzando concentraciones debajo de partes por billón. Como conclusión de este trabajo es que las propiedades electroquímicas de detección de NB por nanoflores de TiO₂ están directamente relacionadas con las condiciones de síntesis que se usaron. Los hallazgos de este estudio tienen una serie de implicaciones valiosas para estudios futuros de monitoreos de COV.

Palabras clave: TiO₂; nanoflores; sensor; electroquímico; nitrobenzeno.

CONGRESO INTERNACIONAL
DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

CCM3- Detección Electroquímica de Dopamina por Nanopartículas Bimetálicas Co@Au Sobre Nanotubos de Carbono

*Carolina Silva-Carrillo, Itamar J. Alvarado-Chávez, Karelid García-Tapia, Balter Trujillo-Navarrete, Edgar A. Reynoso-Soto, Raymundo J. Zapata-Fernández, Rosa M. Félix-Navarro**

¹Centro de Graduados e Investigación en Química, Instituto Tecnológico de Tijuana, C.P. 1166. Tijuana, B. C. México.

²Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada. C.P. 22860. Ensenada, B. C. México.

Resumen. - *La dopamina (DP) es un neuromodulador asociado con diversas enfermedades como esquizofrenia y Parkinson. Existen diversos problemas para la determinación de dopamina, ya que está presente en concentraciones muy pequeñas, además de interferencias que coexisten en muestras biológicas tales como ácido úrico (AU), ácido ascórbico (AA), epinefrina, noraepinefrina, etc. Este proyecto se centra en la preparación de nanopartículas de cobalto y oro sobre nanotubos de carbono de multipared (NTCs) mediante microemulsión inversa y desplazamiento galvánico. Se caracterizó por STEM, TGA, EDS y métodos electroquímicos, estos resultados evidenciaron pequeñas nanopartículas bimetalicas tipo núcleo-coraza (Co@Au) con tamaños por debajo de los 4 nm. El material mostró una alta sensibilidad incluso en presencia de diferentes interferencias (AA y AU).*

Palabras clave: Nanopartículas; cobalto; oro; bimetalicas; NTC; sensor; electroquímico, dopamina.

CCM4- Síntesis de TiO_2 Mesoporoso para su Uso Como Foto-Ánodo en una Celda Solar Sensibilizada con Colorante (DSSC)

Víctor Alfonso Verjan Gonzalez¹, Balter Trujillo-Navarrete¹, Edgar Alonso Reynoso-Soto¹, Rosa María Félix-Navarro¹, Noé Díaz de León²

¹Centros de Graduados e Investigación en Química, Instituto Tecnológico de Tijuana, Tijuana B.C. México, Apdo., balter.trujillo@tectijuana.edu.mx

²Centro de Nanociencias y Nanotecnología, Universidad Nacional Autónoma de México, Ensenada, B.C. México, Apdo., noejd@cny.n.unam.mx

Resumen. - Hoy en día existe la necesidad de desarrollar nuevos materiales para la generación de energía verde, limpia y sostenible. Una de estas alternativas es utilizar energía solar, a través del diseño y aplicación de nuevos materiales para la construcción de fotoelectrodos de celdas solares sensibilizadas con colorante (DSSC). En este trabajo se reporta el efecto de la variación de temperatura en el tamaño de poro y cristal del dióxido de titanio (TiO_2) mesoporoso fase anatasa sintetizado vía hidrotermal y su evaluación como foto-ánodo en una DSSC. Se utilizaron varias técnicas para caracterizar el material como espectroscopia Raman, por la teoría de superficie específica de Brunauer, Emmett and Teller (BET), impedancia electroquímica y pruebas de foto-corriente. Las condiciones óptimas se encontraron a 150 °C, en las que el material mostro la mayor eficiencia de foto-conversión (η) de 6.43% correspondiente al tamaño de cristal más pequeño de 10 nm con un tamaño de poro de 7 nm y una superficie de 170 m^2g^{-1} por comparación con el resto de las temperaturas. Estos hallazgos mejoran nuestra comprensión de la absorción del colorante que es esencial en eficiencia de una DSSC.

Palabras clave TiO_2 mesoporoso; método hidrotermal; celda solar; foto-ánodo.

Caracterización experimental de E₁ de un material compuesto laminado con matriz polimérica para aplicaciones aeroespaciales y biomecánicas.

Juan Antonio Paz González¹, Enrique Alcudia Zacarias², Arturo Abundez Pliego², Luis Jesús Villareal Gómez¹, Juan Antonio Ruiz Ochoa¹, Oscar Adrian Morales Contreras¹

¹Universidad Autónoma de Baja California, Escuela de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología, Ing. Aeroespacial.

²Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico, Departamento de Ingeniería Mecánica.

pazj@uabc.edu.mx, alcudia@cenidet.edu.mx, abundez@cenidet.edu.mx, luis.villarreal@uabc.edu.mx,
ruizj99@uabc.edu.mx, moraleso97@uabc.edu.mx.

Resumen. — *En este trabajo se presenta la caracterización experimental de un material compuesto de matriz polimérica, el laminado a estudiar esta conformado de seis laminas [tela/dispersa/dispersa]_s de fibra de vidrio y la matriz es de resina poliéster isoftálica utilizando el método de infusión de resina, se tomaron en cuenta las recomendaciones establecidas en la norma ASTM D3039 para la determinación del esfuerzo último y el módulo de elasticidad longitudinal.*

Palabras clave: Material Compuesto; Laminado; Infusión de resina; Módulo de Elasticidad.



DISEÑO MECÁNICO Y MANUFACTURA

ODMyM1- Automatización en la Carga de Material de Fundición en una Línea de Maquinado

Mario Hernández Núñez, Francisco Javier Barraza Navarro

CIATEQ Centro de Tecnología Avanzada, circuito de la industria poniente No 11 Lote 11 Mz. 3, parque industrial ex hacienda, Lerma de Villada, Estado de México, C.P 52004, posgrado@ciateq.mx.

Resumen. – *Este artículo describe la forma de como fue diseñado mecánicamente un manipulador cartesiano de tres grados de libertad, así como la manera de como fue diseñada la trayectoria y la determinación de las fuerzas necesarias para originar el movimiento. Se consideró estudiar la geometría del movimiento del manipulador con el fin de definir trayectorias, específicamente se uso el método de Denavit-Hartenberg también se empleó la ecuación de Euler-Lagrange para determinar las fuerzas internas que suceden dentro del sistema. Se determinaron las características técnicas de los componentes del manipulador empleando un software y mediante un proceso iterativo de análisis de esfuerzos, deformaciones y fatigas se eligieron las propuestas más viables.*

Palabras clave: Diseño de concepto, diseño de detalle, cinemática directa, dinámica, manipulador cartesiano, diseño mecánico usando software.

CONGRESO INTERNACIONAL
DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

ODMyM2- Diseño y Construcción de Prototipo de Medición de Fuerza para Túnel de Viento de ECITEC

*Oscar Adrián Morales Contreras, Juan Antonio Paz González, Emilio Hernández
Martínez, María Cortes Rodríguez, Gleen Luna Serrano*

Escuela de Ciencias de la Ingeniería y la Tecnología – UABC.
Boulevard universitario #1000, Unidad Valle de las Palmas, C.P.21500, Tijuana, Baja California, México.
moraleso97@uabc.edu.mx,pazj@uabc.edu.mx,emilio.hernandez.martinez@uabc.edu.mx,vianey.cortes@ua
bc.edu.mx,angel.luna@uabc.edu.mx

Resumen. - *Se diseñó y construyó un prototipo para medir la fuerza que ejerce el aire al impactar un modelo instalado en el túnel de viento subsónico de ECITEC. Con los datos obtenidos se determina el coeficiente de arrastre de los modelos utilizados, el cual tiene valores de 1.3 a 1.6 para los Reynolds analizados que fueron de 106367 a 221954.*

Palabras clave: Túnel de viento, Coeficiente de arrastre, Flujo turbulento, Perfil de velocidad, Tubo pitot.

ODMyM3- La Manufactura Aditiva y los Materiales Compuestos en el Diseño de Prótesis Transtibiales de Uso Deportivo

Manuel Javier Rosel Solís^{1,2}, Javier Molina Salazar¹, Juan Antonio Paz González², Juan Antonio Ruiz Ochoa²

¹Univesidad Autónoma de Ciudad Juárez, Cd. Juárez Chihuahua. jamolina@uacj.mx

²Escuela de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología UABC, Tijuana, B.C.,
mrosel@uabc.edu.mx, pazj@uabc.edu.mx, ruizj99@uabc.edu.mx

Resumen. - *En el presente trabajo se revisa el estado del arte que guarda la manufactura aditiva en cuanto a sus avances en la mejora de sus materiales, específicamente, a través de la incorporación de materiales compuestos, como la fibra de carbono. Además, se hace una revisión de los procesos convencionales de manufactura de materiales compuestos y se analiza el grado de aplicación de la manufactura aditiva y los materiales compuestos en la manufactura de prótesis transtibiales prostéticas y de uso deportivo, con el objetivo de identificar oportunidades de mejora.*

Palabras clave: Modelado por deposición fundida, Materiales compuestos, Manufactura, Prótesis.

ODMyM4- Análisis Termográfico en PCI para Soldadura de Componentes Óptico-electrónicos SMT utilizando FILSS Básico

Rosa Citlalli Anguiano Cota, Luis Kiyoshi Natzu Anguiano, Maximiliano Vera Pérez, Iván Olaf Hernández Fuentes

Universidad Autónoma de Baja California
Blvd. Benito Juárez S/N CP 21280.
+52 (686) 566-4270
rosacitlalli@uabc.edu.mx

Resumen. – *En el presente trabajo, se realiza un análisis termográfico en dos diferentes tipos de materiales: aluminio y cobre, siendo este último utilizado para el diseño de Placas de Circuitos Impresos (PCI), con la finalidad de determinar el comportamiento de la distribución de calor por dispersión o transferencia de calor que se obtiene en los PCI para componentes óptico-electrónicos utilizados en la Tecnología de Montaje Superficial (SMT), al ser utilizado un Sistema de Soldadura por medio de luz Infrarroja Enfocada (FILSS) básico. Para el análisis fueron utilizadas dos cámaras termográficas FLUKE: Ti400 y Ti450, las cuales se encontraban calibradas y sincronizadas para llevar a cabo las mediciones de temperatura. Los resultados obtenidos muestran la distribución de calor sobre la PCI, sirviendo de referencia para futuros experimentos en donde sean utilizados este tipo de elementos en áreas específicas.*

Palabras clave: Infrarrojo, SMT, termografía, transferencia de calor, PCI, componentes óptico-electrónicos

CONGRESO INTERNACIONAL
DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

ODMyM5- Impacto del Diseño para Cambios Rápidos (DFC) en la Manufactura Moderna

Yuridia Vega¹, Roberto Romero López², Marco Antonio Juárez Mendoza¹

¹Escuela de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología, Universidad Autónoma de Baja California.

vegay@uabc.edu.mx , juarez@uabc.edu.mx

²Instituto de Ingeniería y Tecnología, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. al164656@alumnos.uacj.mx,

rromero@uacj.mx

Resumen. - *El avance de las tecnologías en la industria de la manufactura y la necesidad de procesos más rápidos y eficientes que brinden un mejor desempeño en la calidad, mejores tiempos de respuesta, flexibilidad y rentabilidad, es un tema importante en la manufactura de clase mundial. Estos indicadores son claves para que una empresa pueda mantenerse en la competitividad de los mercados, que exige una alta diversidad en productos y de volúmenes de producción. En este sentido, uno de los factores claves que contribuye a que un proceso sea más rápido y eficiente; son los tiempos de preparación o de cambio que se dan entre un producto y otro en el proceso de fabricación; aunque existen herramientas de Lean Manufacturing enfocadas a acortar estos tiempos, se ha demostrado que, con el uso de la metodología "Design for Changeover" (DFC), la cual considera estos cambios desde el diseño del equipo, se pueden abatir en gran medida los tiempos de cambio e impactar de manera positiva la flexibilidad y fabricación de lotes pequeños. En este trabajo, se analiza la literatura existente del DFC y se muestra el impacto que han tenido las empresas al implementar esta metodología, así como los factores que han intervenido, al fin de aportar un marco de referencia al resto de las industrias interesadas en acortas sus tiempos de cambio en sus procesos productivos.*

Palabras clave: Diseño para cambios, DFC, manufactura flexible, cambios rápidos, Cambio de modelo, Diseño de equipo.

Determinación Experimental del Módulo Flexionante Para una Viga en Cantiliver de un Material Compuesto Lamido (90/45/90) s con Matriz Polimérica para Aplicaciones Aeroespaciales.

Juan Antonio Paz González, Mauricio Leonel Paz González, Allen Castillo Barrón, Oscar Adrián Morales Contreras, Antonio Gómez Roa, Miriam Siqueiros Hernández

Escuela de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología, Universidad Autónoma de Baja California, Unidad Valle de las Palmas, Tijuana, Baja California, México

Resumen.- En este trabajo se presenta la determinación experimental del módulo flexionante de un material compuesto laminado (90/45/90)s de fibra de carbono preimpregnada al 37 % con resina epoxica y 63 % de fibra entretejido bidireccional para una viga en cantiléver, utilizando el marco de estructuras STR13 vigas continuas e indeterminadas de TecQuipment.

Palabras clave: Modulo Flexionante; Material Compuesto; Fibra de Carbono.



ELECTRÓNICA Y BIOINSTRUMENTACIÓN

CONGRESO INTERNACIONAL
DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

OEyB1- Ciberseguridad, en la Industria Aeroespacial

Verónica Quintero-Rosas¹, Carlos H. López¹, Claudia Martínez-Castillo¹, Francisco Ibañez-Salas¹, Miguel A. Muñoz-López²

¹Instituto Tecnológico de Mexicali,
Av. Tecnológico s/n Col. Elías Calles, Mexicali B.C., México
veronicaquintero@itmexicali.edu.mx

²Centro de Bachillerato Tecnológico Industrial y de Servicios No. 21,
Calzada Cuauhtémoc y Río Elota s/n, Col Santa María, C. P. 21240, Mexicali B.C., México

Resumen. - *El desarrollo industrial ha tenido un crecimiento muy grande en los últimos años, debido a los saltos tecnológicos que se han desarrollado; y son tan enormes, que todo el proceso es etiquetado como la Cuarta Revolución Industrial. A la que a menudo se hace referencia como Industria 4.0. La industria Aeroespacial no ha sido la excepción, en México se ha incrementado en los últimos años los productos y servicios que se ofrecen en el país; incluyen componentes del sistema de propulsión, aeroestructuras, componentes de los sistemas de aterrizaje, sistemas de frenado, piezas de moldeo por inyección de plástico, partes eléctricas y electrónicas, diseño y servicios de ingeniería e interiores de aviones, entre otras. Hasta el día de hoy la mayoría de la industria aeroespacial no estaba conectada con el mundo exterior, por lo que la seguridad era más robusta. Con las nuevas tecnologías, ahora es necesario proteger tanto los instrumentos, el control, los programas numéricos de los robots; además de toda la plataforma de software de todo el corporativo. Debido a la gran penetración que tienen los equipos automatizados en la industria aeroespacial, principalmente en la asistencia para realizar tareas que resultan de alto riesgo para una persona; pero que requieren de la destreza humana para llevarse a cabo, la seguridad se considera un punto de mucha importancia a desarrollar. El objetivo de este trabajo, es analizar los robots de inserción automática mediante un algoritmo recurrente de seguridad y sistemas ciberfísicos de forma embebida. Es importante resaltar que la nueva industria aeroespacial, es ahora una e-industria automatizada; donde el internet táctil, los sistemas ciberfísicos y las aplicaciones basadas en la nube son una realidad. La caracterización se basa en sensores, un sistema de control y un sistema de comunicación interactuando con procesos de producción, protegiendo el buen funcionamiento todo el sistema industrial.*

Palabras clave: Industria Aeroespacial; Seguridad; Sistemas Ciberfísicos; Procesos de manufactura.

OEyB2- Diseño de Control Óptimo para el Péndulo de Furuta

Jován Oseas Mérida Rubio¹, Paúl Alexandro Chávez Vázquez¹, Luis Nestor Coria de los Ríos², Carlos Alberto Chávez Guzmán³

¹Universidad Autónoma de Baja California - Escuela de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología, Blvd Universitario 1000, Unidad Valle de Las Palmas, 22260 Tijuana, B. C., jován.merida@uabc.edu.mx

²Tecnológico Nacional de México – Instituto Tecnológico de Tijuana, Calzada del Tecnológico S/N, Tomas Aquino, 22414 Tijuana, B. C., luis.coria@gmail.com

³Universidad Autónoma de Baja California – Facultad de Ingeniería y Negocios Tecate, Blvd. Universidad, La Viñita, 21460 Tecate, B. C., cchavez@uabc.edu.mx

Resumen. - *En este artículo se aborda el diseño de un controlador para el péndulo de Furuta, que es un sistema subactuado, no lineal y altamente inestable, lo cual lo hace un reto tanto científico, como tecnológico. Este sistema es a menudo utilizado en el dominio de la teoría de control ya que ayuda entender conceptos de control de mecanismos. Las dinámicas que presenta el péndulo de Furuta pueden ser encontradas en diversos sistemas físicos de alta relevancia, tales como: robots de dos llantas, transportadores personales Segway, propulsores de cohetes, controles de vuelo, etc. El objetivo es resolver el problema de estabilización en la posición invertida inestable del péndulo mediante un controlador óptimo, haciendo uso del modelo dinámico del péndulo fabricado por Quanser®. Un regulador óptimo cuadrático fue diseñado, tal que, el sistema no perturbado es estable alrededor de la posición invertida inestable, mientras que la energía de la señal de entrada es apropiada. La existencia de las soluciones propias de la ecuación algebraica de Riccati aseguran estabilizabilidad y detectabilidad del sistema y éstas implican que el sistema en lazo cerrado es estable. Los resultados muestran que el controlador cumple satisfactoriamente los requerimientos de diseño del sistema. Como trabajo futuro queda por resolver el problema de control de balanceo y estabilización del péndulo mediante una estrategia de control híbrido.*

Palabras clave: Control Óptimo; Péndulo de Furuta; Sistema Subactuado; Electrónica e Instrumentación.

Clave: **OEyB3** Electrónica y Bioinstrumentación Viernes 22 de Septiembre del 2017

OEyB3- Diseño e Implementación de un Microprocesador RISC de 32 bits en una Tarjeta con FPGA y Comunicación Inalámbrica

*Geovanni Zepeda Arce¹, Sergio Vergara Limón¹, María Aurora Diozcora Vargas Treviño¹,
José Fernando Reyes Cortés¹, David Eduardo Pinto Avedaño¹, Darnes Vilariño Ayala²*

¹Facultad de Ciencias de la Electrónica, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. México.

gio140987@gmail.com, svergara2@hotmail.com, auroravargast@hotmail.com,
fernando.reyes@correo.buap.mx

²Facultad de Ciencias de la Computación, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. México.

dpinto@cs.buap.mx, darnes@cs.buap.mx

Resumen. — *En este trabajo se presenta el diseño e implementación de un microprocesador RISC de 32 bits con arquitectura Harvard. El microprocesador cuenta con 15 instrucciones las cuales incluyen operaciones aritméticas de punto flotante (suma, resta, multiplicación y división), transferencia de datos y control. Para implementar estas instrucciones el diseño incorpora los módulos de Unidad de Control (CU), Unidad de Punto Flotante (FPU), comparador y controladores de memoria. El diseño de cada elemento del microprocesador se desarrolló con el Lenguaje de Descripción de Hardware de Altera (AHDL). Para la instrumentación del sistema se diseñó una tarjeta electrónica que tiene como base un FPGA (Field Programmable Gate Array) de la familia Cyclone IV, una memoria RAM, una ROM y un módulo de interfaz inalámbrica Wi-Fi. Mediante la interfaz inalámbrica se validó el sistema completo, cargando un programa de prueba para ejecutar un algoritmo y visualizar el resultado desde un equipo de cómputo.*

Palabras clave: FPGA; Microprocesador RISC de 32 bits; memoria (RAM y ROM); Wi-Fi.

Clave: **OEyB4** Electrónica y Bioinstrumentación Viernes 22 de Septiembre del 2017

OEyB4- Tarjeta para Controlar 3 Grados de Libertad de Robots Vía Wifi

José de Jesús Moya Mora¹, Sergio Vergara Limón¹, David Eduardo Pinto Avendaño²

¹Facultad de Ciencias de la Electrónica, Maestría en Ciencias de la Electrónica opción Automatización,

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.

Av. San Claudio y 18 Sur S/N C.U. Edif. 109A Col. Jardines de San Manuel, C.P. 72570, Puebla, Pue. México.

moyamora@me.com

²Facultad de Ciencias de la Computación, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Av. San Claudio y 14 Sur S/N C.U. Col. Jardines de San Manuel, C.P. 72570, Puebla, Pue. México.

Resumen. - *El presente trabajo describe el desarrollo de un sistema para controlar un robot de tres grados de libertad utilizando un sistema embebido, la transferencia de información se realiza mediante el protocolo de comunicación WIFI. El robot que se utiliza es el tipo cartesiano. Se hace una descripción del diseño mecánico del robot, así como la obtención del modelo cinemático y dinámico. Se detalla el diseño de un sistema de adquisición, desarrollando un sistema embebido basado en FPGA de la marca altera de la familia Cyclone III el cual cuenta con un controlador interno, así como la interpretación del manejo de las señales del robot y comunicación WIFI, se explica el desarrollo del firmware que realiza el control y como se establece la comunicación. El controlador seleccionado es el de tangente hiperbólica. Dicho controlador es implementado en el firmware con el fin de controlar y analizar el comportamiento del sistema.*

Palabras clave: FPGA, Protocolo de comunicación WIFI, Control Tangente Hiperbólico.

DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

OEyB5- Desarrollo de un Sistema Mecatrónico para Robot Humanoide que permita Emular el Movimiento del Cuello de los Seres Humanos

Francisco José López Cortés¹, Sergio Vergara Limón¹, María Aurora Diozcora Vargas Treviño¹, A. Palomino¹, David Eduardo Pinto Avedaño², Darnes Vilariño Ayala²

¹Facultad de Ciencias de la Electrónica, Maestría en Ciencias de la Electrónica opción Automatización, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Av. San Claudio y 18 Sur S/N C.U. Col. Jardines de San Manuel, C.P. 72570, Puebla, Pue. México.

²Facultad de Ciencias de la Computación, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Av. San Claudio y 14 Sur S/N C.U. Col. Jardines de San Manuel, C.P. 72570, Puebla, Pue. México.

Resumen. - *En el presente trabajo se muestra el diseño de un sistema mecatrónico, el cual emula los movimientos del cuello humano, ya que sostendrá la cabeza de un robot humanoide (Arthur) desarrollado por la empresa Hanson Robotics. El diseño mecánico se basa en un robot esférico de 3 grados de libertad (3-GDL), se desarrolla el modelo dinámico a través de las ecuaciones de movimiento de Euler-Lagrange. La etapa de control es una tarjeta de desarrollo FPGA (arreglos de compuertas programables en campo) de la familia Cyclone IV, la etapa de potencia se basa en transistores BJT, se implementa el controlador Tangente hiperbólico y una interfaz de comunicación WiFi para configurar el robot desde una PC con ayuda del software Labview. Como resultado se muestra la integración del sistema mecatrónico, la interfaz desarrollada junto con la comunicación FPGA-PC y control de posición. El trabajo futuro será la implementación del sistema en el robot humanoide.*

Palabras clave: Sistema mecatrónico, Robot humanoide, Modelo dinámico, FPGA, WiFi.

Clave: **OEyB6** Electrónica y Bioinstrumentación Viernes 22 de Septiembre del 2017

OEyB6- Circuitos Resonantes y Transmisión de Energía Eléctrica Inalámbrica

Sergio Orendain Castro², Alberto Hernández Maldonado¹, Eduardo Murillo Bracamontes¹.

¹ Escuela de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología, UABC.

² Centro de Nanociencias y Nanotecnología, CNyN.

Sergio.orendain@uabc.edu.mx, hernandez.alberto@uabc.edu.mx, emurillo@cnyun.unam.mx

Resumen. - *Se realiza un estudio tanto teórico como experimental de los circuitos resonantes aplicados a la transmisión y recepción de energía eléctrica inalámbrica. Se construye una bobina de Tesla de estado sólido para lo cual, se calcula la frecuencia de resonancia y el voltaje máximo que se genera al tener una carga en la punta de la bobina secundaria. Mediante un receptor de ondas electromagnéticas diseñado para resonar a la misma frecuencia de la bobina de Tesla, se mide el voltaje emitido por el secundario y se demuestra que dicho voltaje inalámbrico decae con la distancia. Mediante un microcontrolador PSoC, se despliega en una pantalla LCD para medir el alcance, la frecuencia, la potencia y el voltaje efectivo del secundario.*

Palabras clave: Circuitos resonantes, bobina de Tesla.

CONGRESO INTERNACIONAL
DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

OEyB7- Effect Of A Hyperfine Field on the (Swap)^α Quantum Gate Operation

Roberto Javier Guerrero Moreno¹, Fernando Rojas²

¹Centro de Ingeniería y Tecnología, Universidad Autónoma de Baja California, rjgm76@uabc.edu.mx

²Departamento de Física Teórica, Centro Nanociencias y Nanotecnología, frojas@cnyn.unam.mx

Abstract. - *We have studied the effect of the hyperfine field (HF) in the (swap)^α quantum gate operation for a two spin electronic system. By considering a time-dependent exchange interaction, we have calculated dynamical properties for the probability of the two spin states, magnetization, concurrence, and fidelity of the required quantum gate to determine the effect of the HF on gate operation. Calculations were made in the quasi-static approximation and a Gaussian distribution modeled each nuclear realization. We found that the nuclear field will add an error polynomial error to each of the properties mentioned and that such error could not be corrected by a pulse reshaping scheme.*

Keywords: Quantum computation; Quantum gates; Exchange interaction; Quantum entanglement; Quantum dots.

Clave: **OEyB8** Electrónica y Bioinstrumentación Viernes 22 de Septiembre del 2017

OEyB8- Análisis de Vibraciones para el Mantenimiento Predictivo Utilizando Instrumentación Virtual

Francisco Javier Ramírez Arias, Mauricio Leonel Paz González, Jován Francisco Castro Acosta

Escuela de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología, Universidad Autónoma de Baja California, Unidad Valle de las Palmas, Tijuana, Baja California, México

Resumen.- El análisis de vibraciones mecánicas permite predecir el fallo de los componentes que integran sistemas mecánicos, también ayuda a identificar el momento adecuado para poder realizar mantenimiento predictivo o reemplazo de los elementos defectuosos dentro de equipos rotativos, procesos industriales y estructuras en general (puentes, edificios, estructuras, etc.). Por otro lado, evita paros en la maquinaria, tiempos muertos que generan inactividad que a su vez repercuten en pérdidas económicas. La detección, identificación y la corrección temprana de problemas en la maquinaria son de suma importancia para asegurar el funcionamiento continuo, seguro y productivo de la maquinaria, también disminuye las lesiones personales o las posibles pérdidas humanas. En este trabajo se presenta el diseño, implementación y análisis de los espectro de vibración en los componentes de las maquinas rotativas. Las partes que componen el sistema propuesto son: a) el sistema mecánico es cual está integrado por el motor, rodamientos, chumaceras, masas de desbalance, flechas y acoplamientos. b) los sensores utilizados en este trabajo que son; un acelerómetro de 3 ejes, un encoder óptico para determinar las revoluciones por minuto y un sensor de temperatura. c) Una tarjeta de adquisición de datos la cual es utilizada como interfaz entre los sensores y la computadora personal. d) El software de monitoreo y análisis que para nuestro caso es LabVIEW un ambiente de programación gráfico. La herramienta desarrollada permite realizar un análisis de los espectros de vibración obtenidas del sistema mecánico, caracterizando la desalineación de dos flechas y masas de desbalance. El trabajo desarrollado permite caracterizar la falla y generar un plan de mantenimiento predictivo basado en las vibraciones. Por otro lado observamos que el sistema es fácil de utilizar y expandir para poder trabajar con más sensores, los cuales pueden ser instalados rápidamente, también se cuenta con una interfaz gráfica amigable y económica, en comparación con las plataformas disponibles industrialmente.

Palabras Clave: Vibraciones; Mantenimiento; Predictivo; LabVIEW; Espectro de Vibración; Acelerómetros.

Implementación de un Nanosatélite Tipo Cubesat para Propósitos Didácticos

Francisco Javier Ramírez Arias, Juan Miguel Colores Vargas

Escuela de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología, Universidad Autónoma de Baja California, Unidad Valle de las Palmas, Tijuana, Baja California, México

Resumen.- Durante los últimos cincuenta años el desarrollo de satélites ha tenido gran relevancia en el ámbito internacional, estos han sido clave en el desarrollo de diversas tecnologías que actualmente son de uso comercial e incluso doméstico. Por ello distintas instituciones académicas, gubernamentales y comerciales han desarrollado proyectos en torno al tema de satélites alrededor del mundo. A principios de este siglo diferentes universidades a nivel internacional comenzaron a desarrollar los nanosatélites para introducir a sus estudiantes en temas relacionados con ciencia aeroespacial, estos nanosatélites tienen gran similitud con los satélites de larga escala (reales), respecto a las características y los módulos que lo integran. Sin embargo, los nanosatélites se desarrollan utilizando componentes y materiales más económicos, dando como resultado plataformas de estudio y práctica de bajo costo. Este trabajo presenta el diseño y construcción de un nanosatélite tipo CubeSat, el cual fue desarrollado bajo el estándar "CubeSat-1U", cuenta con cuatro módulos; un módulo de comunicación inalámbrica, un módulo de sensores para medir diferentes variables ambientales, un módulo de control y adquisición de datos basados en microcontrolador, además un módulo de suministro de energía. Aunado a lo anterior, se implementó un interfaz bajo el entorno gráfico de LabVIEW que permite monitorear y almacenar en tiempo real los diferentes sensores. Como trabajo futuro se pretende desarrollar diferentes módulos del tipo "Plug & Play" para hacer más eficiente la realización de experimentos académicos.

Palabras Clave: CubeSat; Microcontrolador; Nanosatélite; LabVIEW.

CONGRESO INTERNACIONAL
DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

OEyB10- Fabricación de un Prototipo para la Medición de Propiedades Térmicas basado en el Efecto Fotoacústico

*David Gasca Figueroa¹, Francisco Javier García Rodríguez^{3,**}, Micael Gerardo Bravo Sanchez², Miguel Angel Estrada-Álvarez⁴, Jose Guadalupe Zavala-Villalpando⁴*

¹ Estudiante del Programa Doctoral en Ingeniería del Instituto Tecnológico de Celaya, Av. Tecnológico S/N, Col. Fovissste, 38010 Celaya, Gto., México. david.gasca@itcelaya.edu.mx.

² Departamento de Ingeniería Bioquímica, Instituto Tecnológico de Celaya. Av. Tecnológico S/N, Col. Fovissste, 38010 Celaya, Gto., México.

³ Departamento de Ingeniería Industrial, Instituto Tecnológico de Celaya. Av. Antonio García Cubas 1200, Col. Fovissste, 38010 Celaya, Gto., México.

⁴ Departamento de Ingeniería Mecatrónica. Instituto Tecnológico de Celaya. Av. Tecnológico S/N, Col. Fovissste, 38010 Celaya, Gto., México.

** Estancia Sabática en la División de Estudios de Posgrado, Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Querétaro. Cerro de Las Campanas, s/n, Centro Universitario, 76010 Querétaro, Querétaro.

Resumen. - *Los fenómenos físicos derivados del efecto fotoacústico resultan de suma importancia en la determinación de propiedades térmicas. En el presente trabajo, se realiza una revisión del fenómeno, su desarrollo, aplicaciones y formas de mejorar la señal fotoacústica. Se fabricó e instrumentó un sistema experimental de lecturas fotoacústicas, con capacidad de hacer pruebas en un rango de frecuencia variable y constante. Primero, se realizó el diseño, código G y fabricación de la mesa óptica en una maquina CNC 3 ejes; luego, se estableció la comunicación del sistema experimental, utilizando la herramienta virtual LabView. Finalmente, se realizaron pruebas, los resultados obtenidos son consistentes con lo reportado en la literatura. El prototipo obtenido resulta ser muy compacto y práctico. Esto es posible, gracias a la eliminación de componentes mecánicas utilizadas en los sistemas tradicionales.*

Palabras clave: Efecto fotoacústico; propiedades ópticas; propiedades térmicas; Celda fotoacústica; Modelo de Rosencwaig y Gersho.

OEyB11- Modelo Dinámico y Control de Trayectorias de un Robot Móvil para Aplicación de Fisioterapia a Ratas Taiep

Daniel Eduardo Hernández Sanchez¹, José Fernando Reyes Cortés², José Ramón Eguibar Cuenca³, Maricarmen Cortés Sánchez³

¹Facultad de Ciencias de la Electrónica, Maestría en Ciencias de la Electrónica opción Automatización.

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Av. San Claudio y 18 Sur S/N C. U. Col. Jardines de San Manuel, C.P. 72570, Puebla, Pue., México.

²Instituto de Fisiología. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Av.14 Sur 6301, C. U. Col. Jardines de San Manuel, C.P. 72570, Puebla, Pue., México.

Resumen. — *En el presente trabajo se expone el diseño, la construcción, el modelado dinámico y el control de un robot móvil que permite abordar el problema motor que presenta el mutante de mielina denominada rata taiep. Con el uso del modelo dinámico desarrollado, se simula una trayectoria con dos algoritmos de control y los resultados obtenidos se muestran en gráficas que permiten comparar el desempeño de cada uno y, para finalizar se presentan imágenes del prototipo construido.*

Palabras clave: Robot móvil; dinámica; algoritmos de control; control de trayectoria; taiep; mielina.

Clave: **OEyB12** Electrónica y Bioinstrumentación Viernes 22 de Septiembre del 2017

OEyB12- Diseño e Implementación de una Silla de Ruedas Motorizada Controlada con Interfaz Inalámbrica

Rigoberto Cerino Jiménez¹, Pinto Avendaño², Sergio Vergara Limón¹, María Aurora Diozcora Vargas Treviño¹, Darnes Vilariño Ayala²

¹Facultad de Ciencias de la Electrónica, Maestría en Ciencias de la Electrónica opción Automatización, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Av. San Claudio y 18 Sur S/N C.U. Edif. 109A Col. Jardines de San Manuel, C.P. 72570, Puebla, Pue. México.

²Facultad de Ciencias de la Computación, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Av. San Claudio y 14 Sur S/N C.U. Col. Jardines de San Manuel, C.P. 72570, Puebla, Pue. México.

Resumen. - *En el presente documento se expone el proceso que se implementó para la construcción de una silla de ruedas motorizada, que tiene la versatilidad de ser controlada mediante diversos dispositivos inalámbricos y manuales. El sistema de dirección mecánica se basa en una configuración diferencial para mejorar la maniobrabilidad en escenarios pequeños. Se desarrolla la cinemática directa del robot móvil y para propósitos de estudio de un sistema de control se obtiene el modelo dinámico. Se instrumenta la electrónica de potencia con MOSFET. Para la etapa de control de movimiento se caracteriza un brazaletes inalámbrico que detecta señales electromiográficas (EMG) de nuestro brazo, para seleccionar movimientos específicos y enviar instrucciones a los actuadores, se diseña una aplicación móvil en el SO Android y dispone de un control manual mediante un joystick.*

Palabras clave: Brazaletes, Modelo dinámico, Robot móvil, Silla de ruedas.

Clave: **OEyB13** Electrónica y Bioinstrumentación Viernes 22 de Septiembre del 2017

OEyB13- Prototipo Óptico para Experimentos de Interacción Luz-Materia

Miguel Ángel Ponce-Camacho^{1,2}, Jorge Villavicencio², Roberto Romo Martínez²

CETYS Universidad, Campus Mexicali, Escuela de Ingeniería
Calzada CETYS s/n, fraccionamiento Rivera, C. P. 21259, Mexicali, Baja California, México,
miguel.ponce@cetys.mx.
2 Universidad Autónoma de Baja California, Facultad de Ciencias.
Carretera Transpeninsular Ensenada-Tijuana 3917, Fracc. Playitas, C. P. 22860 Ensenada, B.C., México.

Resumen. - *Se fabricó un prototipo óptico para realizar mediciones de plasmones polaritones de superficie en haces de luz difractados a ángulos menores a 90° . Se elaboraron experimentos para identificar el ángulo resonante de excitación de plasmones polaritones de superficie mediante una rejilla de difracción con un periodo espacial mayor a la longitud de la onda de la señal de luz. En los ensayos realizados en laboratorio se llevaron a cabo mediciones de la curva de intensidad de la señal de luz difractada en los órdenes +1 y -1. Los resultados experimentales fueron consistentes con lo planteado teóricamente. En virtud de lo anterior, se concluye que es posible excitar plasmones polaritones de superficie, utilizando la técnica de la rejilla de difracción metálica con una longitud de onda menor al periodo espacial de la rejilla. El prototipo óptico logrado resulta ser muy flexible para futuras aplicaciones en la medición de plasmones. Lo anterior es posible gracias a la rapidez con la que se pueden modificar las monturas y sus ensamblajes para la alineación de los elementos ópticos: diodo láser, superficie rugosa metálica, polarizador lineal. Así mismo, el control absoluto en el aparato del ángulo de incidencia, y la facilidad para intercambiar la fuente de luz y la superficie rugosa metálica, abren amplias posibilidades para probar nuevas hipótesis para las condiciones de excitación de plasmones polaritones de superficie.*

Palabras clave: plasmón polaritón de superficie, manufactura aditiva, nanotecnología.

Clave: **CEyB1** Electrónica y Bioinstrumentación Viernes 22 de Septiembre del 2017

Diseño y Construcción de un Equipo de Laboratorio Multipropósito de Bajo Costo para su Uso en los Laboratorios de Electrónica

Evelyn Cristina Rubio Ponciano, Juan Miguel Colores Vargas, Vladimir Becerril Mendoza, Francisco Javier Ramírez

Escuela de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología, Universidad Autónoma de Baja California, Unidad Valle de las Palmas, Tijuana, Baja California, México

Resumen.- En los programas educativos de ingeniería muchas de las asignaturas involucran escenarios de aprendizaje que se desarrollan en laboratorios de electrónica en donde es deseable disponer al menos 3 equipos básicos; generadores de señales, osciloscopio y fuente simétrica de voltaje. Las fuentes de voltaje son los equipos más imprescindibles pues permiten alimentar circuitos eléctricos y placas de prototipos electrónicos a bajos voltajes en corriente continua. Por otra parte, los generadores de señales proveen patrones eléctricos conocidos para probar el funcionamiento de circuitos y medir parámetros de interés. El objetivo de este proyecto fue desarrollar un equipo híbrido fuente-simétrica/generador de señales de muy bajo costo que permitiera dotar a los laboratorios de electrónica de un equipo confiable y seguro. Además de conseguir señales eléctricas valores de voltaje adecuado para los circuitos elaborados en las distintas asignaturas. En las pruebas con la última versión del prototipo se han conseguido regular los voltajes de salida en un rango de 0-20 Volts de manera simétrica y mantener una carga de 1.4 Amperes. El módulo generador de señales permite alcanzar frecuencias cercanas a 150Khz y mantener hasta 1.2 Amperes de carga, este módulo fue desarrollado sobre un microcontrolador ATMELE de bajo costo y un convertidor digital analógico ADC7228 que junto a amplificadores operaciones de potencia permiten manipular la amplitud, frecuencia y nivel de Offset. En el microcontrolador fueron cargadas las señales más utilizadas: senoidal, cuadrada, triangular y diente de sierra. Sin embargo, de manera sencilla pueden producirse diferentes formas de onda de manera sintética. Adicionalmente a fin de reducir costos en material, se desarrolló una aplicación Android para monitorear y controlar de manera inalámbrica vía Bluetooth los diferentes parámetros del dispositivo.

Palabras clave: Fuente simétrica; Generador de señales arbitrarias; Bajo costo; Monitoreo de parámetros.

Visualization of Quantum States in Electron Transport

Roberto Romo Martínez¹, Alberto Hernández Maldonado²

¹Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, Baja California, México

²Escuela de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología, Universidad Autónoma de Baja California, Unidad Valle de las Palmas, Tijuana, Baja California, México

Abstract.- The visualization of quantum states in electron transport in resonant structures is a valuable educational tool for teaching quantum physics. In this study, the behavior of electronic transport states is analyzed by two-dimensional maps of probability density in the space of energy and position, which provide visual images of the spatial localization of the electrons as a function of energy, both in the internal region of the system and along the transmission and reflection regions. In particular, these visuals allow us to explore states localized in the region of the barriers for special potential configurations. These states are uncommon and occur in systems with wide barriers, exhibiting a similarities with the states localized in the wells. The contribution of this work is aimed at facilitating the teaching of quantum phenomena that are not obvious and are not explored in textbooks.

Keywords: Electron Transport; Quantum States.

Clave: **CEyB3** Electrónica y Bioinstrumentación Viernes 22 de Septiembre del 2017

Quantum Tunneling in Gradual Potentials

Roberto Romo Martínez, Cristian Gabriel Herbert Galarza, Rogelio Orozco Duarte

Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, Baja California,
México

Abstract.- *One of the paradigmatic phenomena of quantum mechanics is undoubtedly the so-called tunnel effect, which manifests itself as the possibility of particles on the nanometer scale to traverse potential barriers. This phenomenon, although unintuitive, is so real that it plays a prominent role in current technology and constitutes the key mechanism of electronic transport in novel concepts of nanoelectronic devices. In this work, we use maps of electron density to illustrate the spatial and energetic distribution of electrons that propagates through gradual potential barriers, visualizing the wave nature of the electrons and the tunneling phenomenon. In particular, the effect of using gradual barriers rather than rectangular barriers is discussed.*

Keywords: Quantum Tunneling; Electronic transport; Nanoelectronic.

CONGRESO INTERNACIONAL
DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

Clave: **CEyB4** Electrónica y Bioinstrumentación Viernes 22 de Septiembre del 2017

Optimización del Cálculo de la Corriente Electrónica en Arreglos de Puntos Cuánticos

Feliciano Montes Gastelum, Erik Uziel Gallardo Romero, Jorge Villavicencio

Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, México

Resumen.- Los puntos cuánticos son estructuras artificiales, las cuales pueden restringir el movimiento de los electrones en todas las direcciones espaciales y confinarlos en un potencial que asemeja una caja. Este confinamiento ocasiona que los estados energéticos del sistema estén discretizados en forma similar a los estados en un átomo. Es por esto que también se les conoce a los puntos cuánticos como átomos artificiales. La principal ventaja que ofrecen los puntos cuánticos sobre los átomos reales es que, al poder fabricarlos a la medida, es posible controlar de manera muy precisa el tamaño del sistema, el número de electrones y la intensidad del potencial de confinamiento, lo que permite investigar una gran variedad de efectos. Dicha ventaja, así como sus potenciales aplicaciones en el contexto de la nanoelectrónica, como el transistor de un solo electrón, ha generado un gran interés en estos dispositivos artificiales. Una de las propiedades que es objeto de estudio en estos sistemas, es la corriente electrónica a través de puntos cuánticos. Esta puede calcularse mediante el formalismo del operador de la matriz de densidad reducida, cuya evolución temporal está determinada por la ecuación de Lindblad. El planteamiento de este problema nos conduce a un sistema de ecuaciones lineales acopladas de primer orden dependientes del tiempo para la matriz de densidad. En este trabajo se presenta el estudio de la corriente electrónica en arreglos de puntos cuánticos acoplados en serie. Lo anterior involucra la implementación de un programa computacional para resolver el sistema de ecuaciones resultante en forma numérica, utilizando el algoritmo de Runge-Kutta y evaluar así la corriente electrónica. Se discuten además las ventajas de las distintas formas de computación en paralelo para realizar un cálculo eficiente de esta cantidad como función de los parámetros relevantes del sistema.

Palabras clave: Puntos cuánticos; Corriente; Nanoelectrónica.

Clave: CEyB5 Electrónica y Bioinstrumentación Viernes 22 de Septiembre del 2017

Efectos de Decoherencia en la Corriente Electrónica a través de Puntos Cuánticos

Raúl Antonio Alvarado Aguilera, Jorge Villavicencio

Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, México

Resumen.- Los puntos cuánticos son estructuras artificiales similares a los átomos, en donde los electrones pueden ser confinados espacialmente en un potencial que asemeja una caja. En contraste con los átomos reales, en estos sistemas, también conocidos como átomos artificiales, es posible controlar su tamaño, el número de electrones, así como el potencial de confinamiento. Esto permite investigar una gran variedad de efectos con potenciales aplicaciones en el contexto de la nanoelectrónica, como lo es el caso del transistor de un solo electrón. Una de las propiedades que son estudiadas en estos sistemas, es el transporte de carga o corriente electrónica a través del dispositivo. En general, la presencia del ruido debido al ambiente, producido por la interacción de los electrones con su entorno e.g. la interacción electrón-fonón, es considerado como un obstáculo en la eficiencia del transporte de carga en dichos sistemas cuánticos. Sin embargo, se ha demostrado recientemente que el desfase (decoherencia) puede tener una influencia positiva en la corriente electrónica, fenómeno conocido como transporte asistido por desfase. En el presente trabajo, con base en el formalismo de la matriz de densidad reducida para sistemas abiertos, se estudian los efectos de decoherencia en la corriente electrónica en distintas configuraciones de puntos cuánticos en serie. Mediante la variación del parámetro relacionado con el desfase (que incluye los efectos disipativos asociados al ambiente), así como de los parámetros que caracterizan al sistema, se determina bajo qué condiciones es posible observar el efecto del transporte asistido por el desfase en dichos sistemas cuánticos.

Palabras clave: Puntos cuánticos; Decoherencia; Nanoelectrónica.

Clave: **CEyB6** Electrónica y Bioinstrumentación Viernes 22 de Septiembre del 2017

CEyB6- Diseño e Implementación de un Controlador PID para un Motor con Escobillas de Corriente Directa en Hardware de Bajo Costo

Jován Oseas Mérida Rubio¹, Juan Hiram Jiménez Ortega¹, José Luis Rodríguez Verduzco¹, Sergio Alberto Puga Guzmán², Diana Gamboa Loaiza²

¹Universidad Autónoma de Baja California - Escuela de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología, Blvd. Universitario 1000, Unidad Valle de Las Palmas, 22260 Tijuana, B.C., jovan.merida@uabc.edu.mx, hiram.jimenez@uabc.edu.mx, jlrodriguez@uabc.edu.mx

²Tecnológico Nacional de México – Instituto Tecnológico de Tijuana, Calzada del Tecnológico S/N, Tomas Aquino, 22414 Tijuana, BC, srgpuga@gmail.com, diana.gamboa@tectijuana.edu.mx

Resumen. - *El motor mismo es el fundamento de toda industria y sus principios de funcionamiento nos permiten entender conceptos fundamentales en el ámbito de la ingeniería, tales como: el movimiento, la fuerza, la velocidad y su relación. El motor de corriente directa (CD) se utiliza en casos en los que es de importancia el poder regular la velocidad del eje, cuando se necesita un torque elevado y para aplicaciones de posicionamiento. El problema a resolver es el de regulación de velocidad del motor cuando está sujeto a perturbaciones externas, haciendo uso de hardware que sea asequible. El objetivo es diseñar e implementar un controlador PID para resolver el problema de regulación de velocidad, mediante el uso de una plataforma de bajo costo. Se diseña un controlador PID utilizando el método de curva de reacción. Finalmente se presenta la implementación del controlador haciendo uso de Simulink para la solución del Sistema en lazo cerrado y la tarjeta Arduino Mega como elemento de manejo de señales. Los resultados muestran que el controlador regula la velocidad del motor con un error igual a cero.*

Palabras clave: Control; PID; Motor; Arduino; Simulink. Electrónica e Instrumentación



CONGRESO INTERNACIONAL
DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y TECNOLOGÍA

SISTÉMAS ENERGÉTICOS

OSE1- Cálculo de Cortocircuito en un Sistema IEEE de 13 Buses con Taps No Nominales

Allen Alexander Castillo Barrón, María Natalia Galván Osuna, Juan Antonio Paz González, Mauricio Leonel Paz González, Alejandra Jiménez Vega

Escuela de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología (ECITEC), Universidad Autónoma de Baja California (U.A.B.C.), Unidad Valle de Las Palmas, Blvd. Universitario 1000, 22260 Tijuana, B.C., México

Resumen. – *En este artículo se realiza el estudio de cortocircuito trifásico de un sistema industrial de 13 buses en el cual los taps de algunos transformadores no están en su posición nominal. El método analítico que se utiliza para el cálculo de corrientes de cortocircuito es el Zbus. Los resultados son validados a través de simulaciones realizadas en el software ETAP. En base a los resultados del estudio de cortocircuito se puede realizar un estudio de coordinación de protecciones.*

Palabras clave: Estudio de cortocircuito; Zbus; transformador con taps no nominales; ETAP.

Diseño preliminar de una Pico-turbina hidráulica tipo Kaplan para redes de suministro de agua

Mauricio Leonel Paz González, Emilio Hernández Martínez, Oscar Adrián Morales, Juan Antonio Paz González, Allen Alexander Castillo Barrón, Agraz Melero Carlos Daniel

Escuela de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología, Universidad Autónoma de Baja California, Unidad Valle de las Palmas, Tijuana, Baja California, México.

Resumen.- El trabajo se centra en el diseño preliminar de una micro turbina Kaplan con baja altura neta, se considera una tecnología económica y de bajo impacto ambiental, aprovecha la energía hidroeléctrica, potencializa la recuperación de energía las redes de suministro y distribución de agua. Para el estudio se realizan diferentes configuraciones geométricas utilizando el paquete computacional SolidWorks. La determinación del torque, el comportamiento del fluido y la determina la eficiencia hidráulica se realiza empleando el método de Dinámica de Fluidos Computacionales CFD.

Palabras Clave: Generación de energía; Conexión de tubería Hidráulica; Potencial Hidráulica; Pico Turbina Hidráulica; Diseño; Dinámica de Fluidos Computacionales.

Diseño de central fototérmica con potencia nominal de 40MW en Urgell, España.

Algher Daniel Luis Alvarado¹, Alice Josseline Zúñiga Chávez¹, Ana Joselyne Gómez García¹, María Cristina Castañón Bautista¹, Francisco Estrany Coda²

¹Universidad Autónoma de Baja California. Escuela de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología. Blvd. Universitario No. 1000 Unidad Valle de las Palmas, Tijuana, B. C., México, C.P. 22260

²Universitat Politècnica de Catalunya. Escuela de Ingeniería de Barcelona Este. Edificio A, Campus Diagonal Besòs, Carrer d'Eduard Maristany, 10-14, Barcelona, España, C.P. 08019

Resumen.- Las centrales fototérmicas pueden tener distintos fines, al transferir el calor aportado a un ciclo termodinámico, con esto se puede desde deshidratar alimentos, hasta llegar a generar grandes cantidades de energía eléctrica limpia. El objetivo de este trabajo, es permitir el recurso energético que ofrece el sol, para la producción de energía eléctrica, sin utilizar un combustible convencional de origen fósil. Se propone un diseño de central fototérmica con base en colectores cilíndricos parabólicos ubicados en Maldá, comarca Urgell, provincia Lérida, en la comunidad autónoma de Cataluña en España. Resultando en 616 colectores solares de tipo cilíndrico parabólico, dos tanques de almacenamiento para el fluido energético, cientos de válvulas estranguladoras, dos bombas en paralelo y un intercambiador de calor, para evaporar el agua en un ciclo Rankine y transformar la energía térmica a energía eléctrica. Debido a la buena irradiancia en el sitio de interés, se diseñó el prototipo de esta central fototérmica para lograr una potencia nominal de hasta 40MW para satisfacer a una parte de la provincia. El sistema energético planteado será capaz de producir hasta 40MW de potencia eléctrica en fechas de baja irradiancia solar, como lo son en los meses de septiembre y marzo, con orientación solar de Este-Oeste siendo más estable la irradiancia obtenida durante el trayecto del día en esta orientación. Solamente el mes de enero se estima que no se alcanzaría la irradiancia media propuesta en cuanto a su eje de orientación, utilizando estas fechas para mantenimiento.

Palabras clave: Sistemas Energéticos; Central Fototérmica; Energía Solar.

OSE5- Proyecto de Eco-eficiencia en ECITEC

*Luis Alvarado Algher Daniel, Castañón Bautista María Cristina, García Gómez Ana
Joselyne, Zúñiga Chávez Alice Josseline, Vega Rubio Alejandra, Álvarez Elenes Armando
Manuel*

Universidad Autónoma de Baja California. Escuela de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología. Blvd.
Universitario No. 1000 Unidad Valle de las Palmas, Tijuana, B.C., México, C.P. 22260
algher.luis@uabc.edu.mx

Resumen. - *La eco-eficiencia es una herramienta que permite a las organizaciones optimizar el uso de sus recursos y disminuir el impacto ambiental negativo que sus operaciones generan, además de obtener beneficios económicos. El objetivo de este trabajo es disminuir el consumo energético y de uso de agua en el mantenimiento de áreas verdes, a fin de aprovechar de forma eficiente dichos recursos y reducir la generación de gases de efecto invernadero y obtener un beneficio económico. Se realizó una evaluación diagnóstica de las actividades en la Escuela de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología (ECITEC) y los resultados muestran un consumo excesivo de agua en áreas de mantenimiento de áreas verdes, consumo de energía eléctrica por dispensadores de agua y máquinas expendedoras, debido al uso innecesario durante veinticuatro horas, elevado consumo de energía eléctrica en sistemas de AC en aulas de los edificios, debido a una operación poco eficiente del sistema AC y controles de temperatura. Con base en el diagnóstico, se establece una serie de buenas prácticas, donde se estima que se puede obtener un beneficio ambiental al año de 156.24 toneladas de CO₂ que se dejarán de emitir, lo que traduce en un ahorro económico de \$579,143.77M.N., para la ECITEC. Es importante mencionar, que la implementación de este proyecto de eco-eficiencia se realizó sin una inversión inicial, por lo tanto el tiempo de retorno de la misma no es aplicable, ya que el ahorro económico y el beneficio ambiental empezarán a obtenerse desde el primer día en el cual se realice el proyecto.*

Palabras clave: Eco-eficiencia; Eficiencia Energética; Buenas Prácticas; Medio Ambiente.

CONGRESO INTERNACIONAL
DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

OSE6- Evaluation of Graphene Oxide and Carbon Nanotubes with Cobalt Nanoparticles in Supercapacitors

David Ricardo Aguilar-Meza¹, Moisés Israel Salazar-Gastélum^{2}, Sergio Pérez-Sicairos^{1,2}, Rosa María Félix-Navarro², Miguel Ávalos-Borja³, Yadira Gochi-Ponce^{1,2*}*

¹Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Tijuana, Posgrado en Ciencias de la Ingeniería, Blvd. Industrial S/N Tijuana, B. C. México, C. P. 22500

²Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Tijuana, Centro de Graduados e Investigación en Química, Blvd. Industrial S/N Tijuana, B. C. México, C. P. 22500

³Laboratorio Nacional de Investigaciones en Nanociencias y Nanotecnología, Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, Camino a la Presa San José 2055, Col. Lomas 4 sección, S.L.P, México, C. P. 78216.

Abstract. – *In this work, the synthesis and the physicochemical characterization of carbon nanotubes (CNT) and graphene oxide (GO) were evaluated. The materials were tested as electrodes for supercapacitors applications. Cyclic voltammetry was used to calculate the integrated charge and calculate the specific capacitance (C_{sp}). Comparing the carbonaceous supports, GO showed higher C_{sp} than CNT, this result is attributed to a larger surface area. Furthermore, the incorporation of Co nanoparticles also promotes the enhancement of the C_{sp} in the supports.*

Key words: Supercapacitor, Graphene oxide, Carbon Nanotubes, Cobalt nanoparticles.

OSE7- Evaluación Energético-Económico de un Sistema Fotovoltaico de 18.81kWp

Ricardo Erisel Guevara Loera, Eric Efrén Villanueva-Vega, René Delgado Rendón.

Escuela de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología, Universidad Autónoma de Baja California, Unidad Valle de las Palmas, Tijuana, Baja California, México.

Resumen.- *El trabajo hace una evaluación energética y económicamente un sistema fotovoltaico de 18.81kWp interconectado a la red eléctrica a través del monitoreo vía internet mediante los programas SolarWeb, con el fin de comprobar los datos medidos en sistema y compararlos con los estimados en su diseño.*

Palabras clave: Irradiancia; Sistema Fotovoltaico; Eficiencia; Monitoreo.

OSE8- Reducción de Consumo Energético en Lavandería y Uso de Energías Alternativas

Luis Eduardo Márquez Tenorio, Jonathan Alejandro Raya Rivera, Eric Efrén Villanueva-Vega, María Cristina Castañón Bautista, Ivett Zavala Guillen

Escuela de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología, Universidad Autónoma de Baja California, Unidad Valle de las Palmas, Tijuana, Baja California, México.

Resumen.- *El presente trabajo da una propuesta de mejora de una lavandería con un sistema de gestión energética para un ajuste de ahorro y uso eficiente de energía. Para ello se implementa una nueva forma de gestionar el gasto energético en el local aplicando la instalación de nuevos equipos y mejoras en el mantenimiento. También se presentará una nueva propuesta de obtención de energía por medio de recursos naturales.*

Palabras clave: Eficiencia; Led; Irradiancia; Sistema Fotovoltaico.

OSE9- Uso de Techos Ventilados como Alternativa para Ahorro de Energía en Edificaciones

Rubí Esmeralda Gámez Martínez, Ivett Zavala Guillén

Escuela de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología, Universidad Autónoma de Baja California, Unidad Valle de las Palmas, Tijuana, Baja California, México.

Resumen.- Los techos ventilados son sistemas pasivos diseñados para disminuir la ganancia de calor a través del techo de una edificación, con el objetivo de mejorar las condiciones de confort dentro de la misma; por lo tanto, se consideran sistemas pasivos para enfriamiento. Un techo ventilado está formado por el techo de la edificación y una placa paralela a éste, formando un canal ventilado; de tal manera que la placa rechaza la radiación solar que incide en la parte superior, funcionando como un sombreado, y parte de la energía absorbida por la placa es removida por el aire ambiente circundante permitiendo una reducción en la ganancia de calor a través del techo. Por lo anterior, en este trabajo se presenta la evaluación térmica de una casa de interés social con y sin techo ventilado con el propósito de cuantificar el ahorro de energía debido al uso de este sistema pasivo. La evaluación térmica fue realizada bajo condiciones climáticas de verano, en términos de carga térmica y consumo de energía eléctrica.

Palabras clave: Techo ventilado; Enfriamiento pasivo; Carga térmica.

CSE1- Diseño de Central Fototérmica con Potencia Nominal de 40MW en Urgell, España.

Algher Daniel Luis Alvarado¹, Alice Josseline Zúñiga Chávez¹, Ana Joselyne Gómez García¹, María Cristina Castañón Bautista¹, Francisco Estrany Coda²

¹Universidad Autónoma de Baja California. Escuela de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología. Blvd. Universitario No. 1000 Unidad Valle de las Palmas, Tijuana, B. C., México, C.P. 22260

²Universitat Politècnica de Catalunya. Escuela de Ingeniería de Barcelona Este. Edificio A, Campus Diagonal Besòs, Carrer d'Eduard Maristany, 10-14, Barcelona, España, C.P. 08019

Resumen.- Las centrales fototérmicas pueden tener distintos fines, al transferir el calor aportado a un ciclo termodinámico, con esto se puede desde deshidratar alimentos, hasta llegar a generar grandes cantidades de energía eléctrica limpia. El objetivo de este trabajo, es permitir el recurso energético que ofrece el sol, para la producción de energía eléctrica, sin utilizar un combustible convencional de origen fósil. Se propone un diseño de central fototérmica con base en colectores cilíndricos parabólicos ubicados en Maldá, comarca Urgell, provincia Lérida, en la comunidad autónoma de Cataluña en España. Resultando en 616 colectores solares de tipo cilíndrico parabólico, dos tanques de almacenamiento para el fluido energético, cientos de válvulas estranguladoras, dos bombas en paralelo y un intercambiador de calor, para evaporar el agua en un ciclo Rankine y transformar la energía térmica a energía eléctrica. Debido a la buena irradiancia en el sitio de interés, se diseñó el prototipo de esta central fototérmica para lograr una potencia nominal de hasta 40MW para satisfacer a una parte de la provincia. El sistema energético planteado será capaz de producir hasta 40MW de potencia eléctrica en fechas de baja irradiancia solar, como lo son en los meses de septiembre y marzo, con orientación solar de Este-Oeste siendo más estable la irradiancia obtenida durante el trayecto del día en esta orientación. Solamente el mes de enero se estima que no se alcanzaría la irradiancia media propuesta en cuanto a su eje de orientación, utilizando estas fechas para mantenimiento.

Palabras clave: Sistemas Energéticos; Central Fototérmica; Energía Solar.

Clave: **CSE2**

Sistemas Energéticos

Jueves 21 de Septiembre del 2017

CSE2- Proyecto de Eco-eficiencia en ECITEC

*Luis Alvarado Algher Daniel, Castañón Bautista María Cristina, García Gómez Ana
Joselyne, Zúñiga Chávez Alice Josseline, Vega Rubio Alejandra, Álvarez Elenes Armando
Manuel*

Universidad Autónoma de Baja California. Escuela de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología.
Blvd. Universitario No. 1000 Unidad Valle de las Palmas, Tijuana, B.C., México, C.P. 22260

algher.luis@uabc.edu.mx

Resumen. - *La eco-eficiencia es una herramienta que permite a las organizaciones optimizar el uso de sus recursos y disminuir el impacto ambiental negativo que sus operaciones generan, además de obtener beneficios económicos. El objetivo de este trabajo es disminuir el consumo energético y de uso de agua en el mantenimiento de áreas verdes, a fin de aprovechar de forma eficiente dichos recursos y reducir la generación de gases de efecto invernadero y obtener un beneficio económico. Se realizó una evaluación diagnóstica de las actividades en la Escuela de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología (ECITEC) y los resultados muestran un consumo excesivo de agua en áreas de mantenimiento de áreas verdes, consumo de energía eléctrica por dispensadores de agua y máquinas expendedoras, debido al uso innecesario durante veinticuatro horas, elevado consumo de energía eléctrica en sistemas de AC en aulas de los edificios, debido a una operación poco eficiente del sistema AC y controles de temperatura. Con base en el diagnóstico, se establece una serie de buenas prácticas, donde se estima que se puede obtener un beneficio ambiental al año de 156.24 toneladas de CO₂ que se dejarán de emitir, lo que traduce en un ahorro económico de \$579,143.77M.N., para la ECITEC. Es importante mencionar, que la implementación de este proyecto de eco-eficiencia se realizó sin una inversión inicial, por lo tanto el tiempo de retorno de la misma no es aplicable, ya que el ahorro económico y el beneficio ambiental empezaron a obtenerse desde el primer día en el cual se realizó el proyecto.*

Palabras clave: Eco-eficiencia; Eficiencia Energética; Buenas Prácticas; Medio Ambiente.

CSE3- Fisiología de la Lombriz (*Eisenia fetida*) en Proceso de Vermicultura de ECITEC

Alice Josseline Zúñiga Chávez, María Cristina Castañón Bautista, Algher Daniel Luis Alvarado, Ana Joselyne Gómez García, Nohemi Olguin Moroyoqui

Universidad Autónoma de Baja California. Escuela de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología. Blvd. Universitario No. 1000 Unidad Valle de las Palmas, Tijuana, B. C., México, C.P. 22260

Resumen. — *El suelo es parte de la vida, un suelo que no tiene nutrientes no es capaz de sobrevivir, mediante la vermicultura la lombriz aporta nutrientes al suelo y ayuda a tener un uso adecuado de él, para preservarlo. La vermicultura es una alternativa de manejo y transformación de los desechos orgánicos, es un proceso de bio-oxidación y estabilización, en el que se presenta una de transformación de los materiales orgánicos, además de ser una actividad agropecuaria y alternativa para el manejo y uso de los residuos orgánicos que mediante la integración de la lombriz después de ser iniciada la actividad microbiana y mediada por su acción metabólica, la materia es modificada y como resultado se obtiene el humus un abono natural que contiene bastantes nutrientes y mejora la calidad del suelo. La intervención de la lombriz favorece a la ecología al reducir los problemas de contaminación generados por los desechos orgánicos al convertir estos residuos en productos de gran beneficio para el hombre. El objetivo de este trabajo es conocer sobre la anatomía de la lombriz Eisenia fétida, la cual es la encargada del proceso de vermicultura, abrir el conocimiento sobre su estructura, funcionamiento y forma de vida, para realizar mejores cuidados sobre ella y con ello obtener mayores resultados.*

Palabras clave: Vermicultura, Residuo Orgánico, Lombriz, Ecología.

Clave: CSE4

Sistemas Energéticos

Jueves 21 de Septiembre del 2017

CSE4- Efecto de la Dimensionalidad y la Geometría en una Máquina Cuántica de Carnot

*Hiram Kalid Herrera Alcantar¹, José Carlos Carvajal García¹, Osvaldo Rosales Pérez¹,
Rubén César Villarreal Sánchez², Priscilla Elizabeth Iglesias Vázquez^{1,*}*

¹Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de Baja California

²Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Diseño, Universidad Autónoma de Baja California
Carretera Transpeninsular Ensenada-Tijuana 3917, Colonia Playitas, Ensenada, B.C.

Abstract. – *We calculate the efficiency of a quantum Carnot cycle for a particle confined in three different infinite potential wells, a cylindrical potential well of variable radius and a pair of two-dimensional square potential wells where one of them has a periodicity in one of its sides. We find that the efficiency depends directly on the dimensionality and geometry of the well that confined the particle.*

Keywords: Carnot cycle, heat engine, quantum confinement.

CONGRESO INTERNACIONAL
DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

CSE5- Transporte Electrónico a través de Moléculas Orgánicas

Luis Germán Morales Valenzuela¹, Priscilla Elizabeth Iglesias Vázquez², Rubén César Villarreal Sánchez^{1,}*

¹ Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Diseño

² Facultad de Ciencias

Universidad Autónoma de Baja California. Carretera Tijuana- Ensenada Km 106, 22800 Ensenada, Baja California, México, german.morales5@uabc.edu.mx

Resumen. — *El uso de moléculas como componentes de dispositivos electrónicos mantendrá la tendencia de miniaturización de la electrónica, generando lo que se conoce como electrónica molecular. En este trabajo se realizan cálculos teóricos del coeficiente de transmisión cuántico y la corriente eléctrica a través de una molécula de benceno conectada a terminales eléctricas, las cuales son conectadas en posiciones orto, meta y para. El coeficiente de transmisión es obtenido mediante el cálculo recursivo de la función de Green del sistema. Se modela también la influencia de un electrodo móvil puntual (small movable gate SMG) sobre la transmisión eléctrica a través de la molécula. Los resultados muestran que el coeficiente de transmisión oscila como función de la energía incidente de los electrones, y la corriente eléctrica muestra que la molécula de benceno tiene un carácter semiconductor. La brecha energética prohibida (gap) puede ser manipulada por la posición de las terminales en la molécula y por la influencia del SMG en una región cercana a un átomo en particular.*

Palabras clave: transporte electrónico, función de Green, corriente eléctrica, benceno, electrónica molecular, electrodo móvil puntual

CSE6- Optimización del Uso de las Energías Renovables en Industrias Manufactureras de Mexicali, B.C.

Alejandra Anguiano Sánchez, J. Alejandro Suástegui Macías, Pedro F. Rosales Escobedo

¹Laboratorio de Energías Renovables, Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Baja California, Mexicali, México. Blvd. Benito Juárez s/n, C.P. 21280.

*e-mail: aanguiano@uabc.edu.mx

Resumen. - *A partir de los lineamientos establecidos por la Reforma Energética para el año 2018, el sector industrial de mayor consumo energético se verá obligado a que 5% de su consumo eléctrico provenga de fuentes de energía limpia o de bajo impacto ambiental. Particularmente en la ciudad de Mexicali, B.C. la industria manufacturera utiliza en gran medida el servicio eléctrico en sus procesos productivos y para el confort térmico de sus empleados. Sin embargo, a este sector les es difícil incorporar tecnologías limpias debido al poco conocimiento del tema y los largos periodos de recuperación de la inversión. En ese sentido, el presente trabajo propone acciones específicas para optimizar el uso de dichas tecnologías y mejorar su rentabilidad mediante la aplicación conjunta de diagnósticos energéticos, uso de energías renovables y de la eficiencia energética. Los resultados indican que es posible alcanzar la recuperación de la inversión en periodos menores a 4 años, reducir la demanda facturable en 28% y alcanzar ahorros en el consumo eléctrico de 32% en las áreas evaluadas.*

Palabras clave: Diagnósticos energéticos; energías renovables; eficiencia energética.

PEDAGOGÍA Y GESTIÓN



CONGRESO INTERNACIONAL
DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

CPyGE2- The Research Seminar as a Self-Learning Motivational Tool

Roberto Javier Guerrero Moreno¹, Eilen Oviedo², David Abdel Mejía Medina¹

¹Universidad Autónoma de Baja California, rjgm76@uabc.edu.mx, damejia@uabc.edu.mx

²Universidad Pedagógica Nacional, eoviedog@edubc.mx.

Abstract. - *The research seminar is a staple in many higher education schools, and normally serves as a link between the researchers and their work and the student body. But more than an outreach activity, we believe that is an excellent medium motivation, and rarely is there an effort to quantify the success of the program as it relates to the acceptance within the student body. In the following paper we will presents results of a 4-year poll in a multidisciplinary engineering/design/architecture school for a public state university in Mexico. The survey was designed with the intent of quantify the success of the activity in capturing the students attention and interest.*

Key words: Education, scientific research.



BIOINGENIERIA

APLICADA

CONGRESO INTERNACIONAL
DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

OBA1- Determinación en Tiempo Real de la Concentración de Compuestos Fenólicos en Agua

Magda Lorena Serrano Barrera, Julio Andrés Pedraza Avella, Fabián Alirio Ríos Angarita

Universidad Industrial de Santander, km 2 vía El Refugio, Piedecuesta (Santander), Colombia,
magda.serranoorreo.uis.edu.co

Resumen. –En el presente estudio se evalúa el uso de una microbalanza de cristal de cuarzo con un recubrimiento de polimetilmetacrilato (PMMA) sobre la superficie del electrodo del cristal de cuarzo para determinar la concentración de fenoles en soluciones acuosas. Las mediciones se realizaron a partir del cambio de frecuencia que experimenta el cristal de cuarzo debido a la adsorción de los fenoles en la superficie de los electrodos modificados. Se probaron varios solventes para diluir el PMMA y diferentes métodos de aplicación del recubrimiento, los resultados presentaron que con el 1,2 dicloroetano y con el método de spin coating, se obtuvieron las películas más uniformes. Los cambios de frecuencia resultaron lineales a la concentración de fenoles en las soluciones acuosas, el factor de sensibilidad fue de 2,4646 Hz/ppm.

Palabras clave: Fenoles; QCM; polimetilmetacrilato; tiempo real

1. Introducción

Los fenoles (fenol, o-cresol, m-cresol y p-cresol) son compuestos orgánicos que normalmente se encuentran disueltos en el agua de producción de la industria del petróleo [1] y debido a sus características de toxicidad, bioacumulación y persistencia en el ambiente se registran en la lista de sustancias peligrosas de la Agencia de Protección Ambiental [2,3].

Existen varias técnicas para cuantificar la concentración de fenoles en el agua, si bien, estas técnicas se caracterizan por su precisión, consumen largos tiempos de análisis y requieren equipos de alto costo [2].

Una de las técnicas que ha venido ganando importancia para determinar compuestos orgánicos en el agua es la Microbalanza de Cristal de Cuarzo (QCM) [1,2], lo que se debe principalmente a que permite obtener resultados en tiempo real y se utilizan equipos de bajo costo [2].

Una Microbalanza de Cristal de Cuarzo es un dispositivo que consiste en un cristal de cuarzo en medio de dos electrodos, al transferir una corriente alterna hacia los electrodos, éstos la conducen a través del cristal haciendo que éste oscile de manera estable a su frecuencia de resonancia [2].

Con el fin de mejorar la sensibilidad y selectividad en la técnica, se han venido estudiando diferentes tipos de recubrimientos afines con el analito de interés, los cuales son aplicados en la superficie de los electrodos de la QCM; en el presente trabajo se presenta el uso de PMMA para determinar la concentración de fenoles en soluciones acuosas.

2. Metodología

La estrategia experimental consistió en tres (3) etapas principales:

2.1 Selección de un solvente para diluir el PMMA.

Dado que la solubilidad del PMMA en el solvente y la presión de vapor de este último son factores que influyen en la uniformidad del recubrimiento, se buscaron en la literatura estos valores para 5 solventes a saber: diclorometano, acetona, cloroformo, etilacetato y 1,2 dicloroetano; la solubilidad se expresó considerando la proximidad del parámetro de Hansen entre el solvente y el polímero (22,683 [4]) y el solvente, dichos valores se presentan en la Tabla 1. Características de los solventes.

Tabla 1. Características de los solventes [4,5].

Solvente	1	2	3
Diclorometano	20.202	376	40
Acetona	19.935	194	56
Etilacetato	18.945	169	61
Cloroformo	18.154	78	77
1,2 dicloroetano	21.537	71	83.3

1. Parámetro de solubilidad de Hansen
2. Presión de vapor (mm Hg a 21°C)
3. Temperatura de ebullición (°C)

Se prepararon soluciones de PMMA con cada uno de los solventes a una concentración de 0,3%p/v, cada solución se llevó a ultrasonido durante dos (2) horas con el fin de homogeneizar. Cada recubrimiento fue aplicado sobre la superficie de los electrodos de la QCM y dejados en el horno a la temperatura de ebullición del solvente con el fin de mejorar la adhesión del polímero [6], finalmente se analizó la superficie de

cada recubrimiento empleando un microscopio óptico.

2.2 Selección de un método de aplicación del recubrimiento

A continuación, se presentan los métodos de aplicación del recubrimiento utilizados:

2.2.1 Aplicación por drop casting

La aplicación del recubrimiento por este método consistió en tomar 2ul de la solución PMMA/solvente, y posteriormente aplicarlos sobre la superficie del electrodo de la QCM.

2.2.2 Aplicación por spray coating

Se utilizó un aerógrafo de acción doble con depósito de succión; 2ul de la solución PMMA/solvente fueron rociados desde la boquilla del aerógrafo hasta superficie del electrodo de la QCM.

2.2.3 Aplicación por spin coating

La deposición del recubrimiento por spin coating, consistió en depositar con una micropipeta, 2 ul del recubrimiento sobre la superficie del electrodo de la QCM, posteriormente hacer girar la QCM en un equipo de spin coating xxx referencia, usando el siguiente método: paso 1. 200 rpm durante 1 minuto, paso 2. 150 rpm durante 1 minuto.

2.2 Determinación de la concentración de fenoles aplicando la técnica QCM

Se prepararon soluciones de una mezcla (54% fenol, 18% m-cresol, 18% p-cresol) con concentraciones de 0.1, 0.2, 0.3, 0.5, 0,7 y 1 ppm. Se recubrió el cristal de cuarzo con la solución de PMMA preparada con el solvente y el método de aplicación seleccionados. Para cada concentración fenólica, se determinó el cambio de frecuencia del cristal de cuarzo; en la figura 1. Se presenta el montaje experimental utilizado. En todas las mediciones primero se hizo pasar un flujo de agua constante a través de la celda de flujo con una

velocidad de 34 μ l/min y después de 20 minutos de estabilización del sistema, se inyectaron 200 μ l del analito de interés usando una válvula de seis vías.

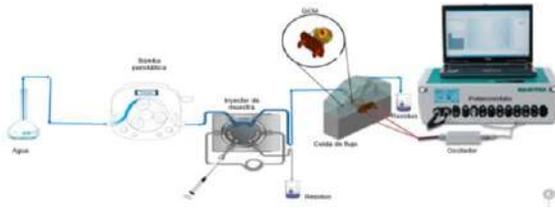


Figura 1. Montaje experimental

3. Resultados

Los resultados mostraron que los recubrimientos de PMMA presentaron la mayor uniformidad cuando se utilizó 1,2 dicloroetano como solvente, los resultados son presentados en la figura 2, lo cual podría obedecer a que el parámetro de Hansen de dicho solvente es el que más se aproxima al del polímero tal como se presenta en la Tabla 1, características de los solventes; adicionalmente, el 1,2 dicloroetano es el solvente que posee la presión de vapor más baja (71mm Hg at 21°C) lo cual permite una mayor dispersión del polímero antes que el solvente se evapore [7].

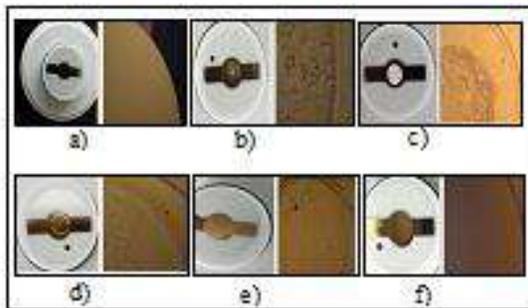


Figura 2. Micrografías de la superficie del cristal de cuarzo, a) sin recubrimiento, b) con PMMA/diclorometano, c) PMMA/acetona, d) PMMA/etilacetato, e) PMMA/cloroformo, f) PMMA/1,2 dicloroetano.

El método de spin coating permitió obtener películas más delgadas y uniformes que el drop casting y el spray coating; el espesor de las

películas medido por Microscopia Electrónica de Barrido (SEM, por sus siglas en inglés) fue de 122 nm con una desviación estándar de 4.6.

Una vez se seleccionó el solvente para preparar el recubrimiento y el método de aplicación, se puso en marcha el montaje presentado en la figura 1. Montaje experimental, los resultados presentaron una respuesta lineal del cambio de frecuencia del cristal de cuarzo y la concentración de fenoles en las soluciones acuosas, dichos resultados son presentados en la figura 3. Cambios de frecuencia registrados para diferentes concentraciones de las soluciones fenólicas.

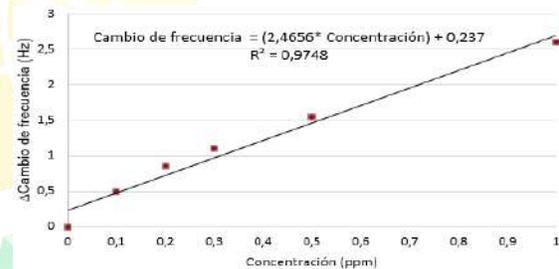


Figura 3. Cambios de frecuencia registrados para diferentes concentraciones de las soluciones fenólicas.

El coeficiente de regresión lineal fue de 0.9748 y el factor de sensibilidad de 2.4656 Hz ppm⁻¹.

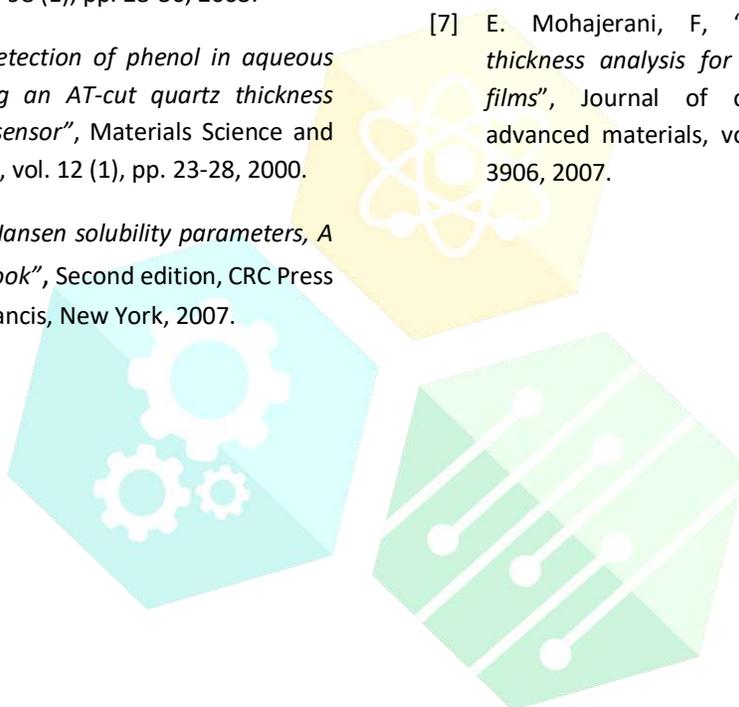
4. Conclusiones

Se usaron diferentes solventes para preparar un recubrimiento de PMMA homogéneo, el solvente y método de aplicación que permitieron la mayor uniformidad del recubrimiento, fueron el 1,2 dicloroetano y el método de spin coating, respectivamente. El espesor del recubrimiento tuvo un valor de 122nm con una desviación estándar de 4.6 lo cual evidenció su uniformidad.

La QCM con el recubrimiento de PMMA, permitió la detección de los fenoles en las soluciones con un factor de sensibilidad de 2.4656.

Referencias

- [1] J. Neef, "Produced water: Environmental risks and advances in mitigation technologies", Springer, vol. 1, pp. 3-56, 2011.
- [2] A. Mirmosheni, "Application of the quartz crystal microbalance for determination of phenol in solution", Sensors and Actuators, B: Chemical, vol. 98 (1), pp. 28-36, 2003.
- [3] S. Reddy, "Detection of phenol in aqueous solution using an AT-cut quartz thickness shear mode sensor", Materials Science and Engineering C, vol. 12 (1), pp. 23-28, 2000.
- [4] C. Hansen, "Hansen solubility parameters, A user's Handbook", Second edition, CRC Press Taylor and Francis, New York, 2007.
- [5] I. Smallwood, "Handbook of organic solvent properties". Americas by Halsted Press an imprint of John Wiley & Sons Inc, New York, 1996.
- [6] B. Pejic, E, "Using plasticizers to control the hydrocarbon selectivity of a poly (methyl metacrilate) - coated quartz crystal microbalance sensor", Analytical Chemistry, vol. 84, pp. 8564-8570, 2012.
- [7] E. Mohajerani, F, "Morphological and thickness analysis for PMMA spin coated films", Journal of optoelectronics and advanced materials, vol. 9 (12), pp. 3901-3906, 2007.



OBA2-Síntesis y Caracterización de Andamios Poliméricos Como Apósitos Cutáneos Bioactivos

Daniella Alejandra Pompa Monroy¹, Irma Esthela Soria Mercado¹, Ricardo Vera-Graziano², Syed G. Dastager³, Ana Leticia Iglesias⁴, Amelia Portillo López¹, Luis Jesús Villarreal-Gómez^{4,5}

¹Facultad de Ciencias Marinas, Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, Baja California, México

²Instituto de Investigaciones en Materiales, Universidad Nacional Autónoma de México, Distrito Federal, México

³ National Collection of Industrial Microorganisms (NCIM), CSIR-National Chemical Laboratory, Pune, Maharashtra, India

⁴Escuela de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología, Universidad Autónoma de Baja California, Valle de las Palmas, México

⁵Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería, Universidad Autónoma de Baja California, Tijuana, México

Resumen. - Una de las principales complicaciones que puede presentar una persona con quemaduras de segundo y tercer grado es la posibilidad de infectarse por bacterias o virus oportunistas que se encuentran en el ambiente. En la actualidad la mayoría de los siniestros por quemaduras son tratados con gasas convencionales lo que involucra una alta probabilidad de infección y dolor para el paciente que es tratado con este método. El objetivo de este proyecto es la síntesis y caracterización de andamios poliméricos de origen natural elaborados mediante electrohilados para su uso como apósitos cutáneos bioactivos. Con el propósito de obtener andamios de bajo costo se utilizaron polímeros abundantes y que se consiguen mediante recursos naturales y renovables, como lo son la Gelatina (GEL) y el Colágeno (COL). Las soluciones poliméricas fueron electrohiladas con diversas mezclas de GEL y COL, y posteriormente se realizó una caracterización química de las membranas producidas mediante Microscopía Electrónica de Barrido (SEM), Espectroscopia Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR), Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC) y Análisis Termogravimétrico (TGA), así como un estudio de viabilidad celular con Fibroblastos Humanos HFF-1. Los resultados obtenidos muestran membranas estables a temperaturas corporales, sin cambios significativos en los componentes de las mismas por el proceso de electrohilado, con una proliferación celular de hasta el 70% para las células HFF-1 a 5 días de contacto con las muestras.

Palabras clave: Apósitos cutáneos; Electrohilado; Gelatina; Colágeno, Bioactividad.

Abstract. - One of the main complications that can present a person with second and third-degree burns is the possibility of being infected by opportunistic bacteria or viruses that are in the environment. Nowadays most burn injuries are treated with conventional gauze, which involves a high probability of infection and pain for the patient being treated with this method. The objective of this project is the synthesis and characterization of polymeric scaffolds of natural nanofibers elaborated by electrospinning for their use as bioactive skin dressings. In order to obtain low cost scaffolds, polymers that are abundant and obtained through natural and renewable resources

were used, such as Gelatin (GEL) and Collagen (COL). The polymer solutions were electrospun with various GEL and COL solutions, followed by a chemical characterization of the membranes produced, using Scanning Electron Microscopy (SEM), Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR), Differential Scanning Calorimetry (DSC) and Thermogravimetric Analysis (TGA), as well as an analysis of cell viability in human fibroblasts HFF-1.

The results show stable membranes at body temperatures, without significant changes in the components caused by the electrospinning process, with a cell proliferation up to 70% for HFF-1 cells at 5 days of contact with the samples.

Key words: Skin dressings; Electrospinning; Gelatin; Collagen, Bioactivity.

1. Introducción

Las personas con quemaduras de segundo y tercer grado, así como las que sufren de ulceraciones cutáneas, sufren de infecciones bacterianas puesto que la piel y mucosas son la primera defensa del cuerpo a agentes extraños, y en estos casos se encuentra disminuida [1]. Los tratamientos para las quemaduras de segundo y tercer grado son variados, desde el cubrimiento con gasas convencionales de algodón a membranas más especializadas como Biobrane (membrana de nylon, recubierta de una membrana impermeable) [2]. Los apósitos terapéuticos avanzados que forman parte activa en la cicatrización de heridas crónicas para lograr una curación rápida y completa es un tema de investigación de gran interés en la actualidad. Existe un deseo de implementar estrategias novedosas para lograr una cicatrización rápida de las heridas debido al enorme gasto económico que representa. [3, 4]. El electrohilado es una técnica utilizada para la producción de fibras a escala nanométrica, que se ha utilizado con anterioridad para la producción de apósitos cutáneos y gran variedad de andamios con interés biomédico que consiste en la inyección de una solución polimérica debidamente homogeneizada en un solvente de preferencia polar, sobre una base de un material conductor aplicando una corriente del orden de los kilovoltios (kV) [5,6].

La GEL es un polímero altamente utilizado en la síntesis de nanofibras debido a la facilidad con la que se sintetizan andamios estables [7, 8, 9]; sin embargo el uso del COL en estas aplicaciones ha sido un poco más difícil teniendo que hacer mezclas con otros polímeros como el ácido hialurónico [10] o el poli(ácido láctico-co-glicólico) [11]. Ya que la GEL se obtiene derivada de la hidrólisis parcial del COL. El objetivo de este trabajo es sintetizar andamios electrohilados de Colágeno y Gelatina biocompatibles.

2. Metodología

2.1 Preparación de las soluciones

Se realizaron diversas pruebas para encontrar la concentración adecuada del GEL que resultó favorable para el electrohilado, por lo que se prepararon soluciones de GEL al 10 %, 15 %, 20 % y 25 %, con respecto al solvente ácido acético glacial. Las mezclas se prepararon en viales de borosilicato para solvente, adicionando la cantidad correspondiente de GEL para 5 ml de solvente, se taparon y se incubaron por 4 h a 35 °C, con agitación periódica. Después de disolver la mezcla se procedió a electrohilar a no más de 14 días de preparada la muestra. Analizando las propiedades físicas de las fibras y las condiciones ambientales se decidió elegir como control la solución de GEL al 15 % (GEL15). Posteriormente, se realizaron nuevas mezclas adicionando además COL. Se pesaron las cantidades necesarias de COL de manera que se obtuvieran soluciones de 1 %, 5

% y 10 % con respecto 5 ml del solvente ácido, se disolvió el COL mediante agitación y posteriormente se agregó la cantidad adecuada de GEL para tener soluciones con GEL al 15 %. Las soluciones fueron etiquetadas como sigue: GEL/COL1, GEL/COL5 y GEL/COL10.

2.2 Fabricación de las nanofibras

Se utilizó un sistema de electrohilado con un colector aleatorio, utilizando una jeringa plástica (con una aguja de calibre 21G x 40 mm) cargada con 1 mL de la solución a probar removiendo todas las burbujas formadas durante la carga de la jeringa. La prueba se condujo a 15 cm de separación entre el colector y la aguja, 20 kV, 0.80 ml/h, en un rango de temperatura del 20-32 °C y uno de humedad relativa del 20-40 %. Durante el tiempo de electrohilado se examinó constantemente la formación de gotas en la punta de la aguja.

2.4 Microscopia de Barrido (SEM)

La morfología y diámetro de las fibras de GEL/COL fueron determinadas por SEM, utilizando una pequeña sección del material fibroso. Utilizando un microscopio de emisión de campo JEOL JSM 7600F con un voltaje acelerado de 20 kV. Evaluando las micrografías mediante el software ImageJ.

2.5 Análisis Termogravimétrico (TGA)

El análisis termogravimétrico se realizó para determinar la pérdida de masa y descomposición de las membranas GEL/COL en función de la temperatura. Se realizó un estudio en un equipo TGA Q500, con una velocidad de calentamiento de 10 °C/min, a partir de una temperatura ambiente hasta 600 °C, en una atmósfera de nitrógeno, el termograma fue analizado por el software TA Universal Analysis.

2.6 Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC)

Las muestras fueron evaluadas en el equipo TA instruments DSC Q100, el estudio de muestra se realizó sobre una charola de aluminio para DSC, se utilizó una velocidad de calentamiento de 10 °C/min, en un intervalo de temperatura de 0 °C hasta los 250 °C y en una atmósfera de nitrógeno. El termograma fue analizado por el software "TA Universal Analysis".

2.7 Infrarrojo con Transformación de Fourier (FTIR)

Espectroscopia de infrarrojo por la transformada de Fourier por reflectancia total atenuada se empleó un equipo ATR-Thermo Scientific Nicolet 6700. El espectro de absorción del infrarrojo fue colectado a 20°C desde 4000 - 650 cm⁻¹ para las muestras de monómeros y copolímeros. Los espectros fueron grabados y almacenados en un espectrofotómetro Perkin Elmer spectrometer operating en el ATR (Attenuated Total Reflectance). Se realizaron 4 barridos a una resolución de 4 cm⁻¹. El análisis FTIR se llevó a cabo para investigar la presencia de monómeros residuales en los copolímeros de las formulaciones.

2.8 Proliferación Celular en Fibroblastos Humanos (HFF-1)

Con el fin de verificar la biocompatibilidad y proliferación celular en fibroblastos se realizó un ensayo de 2 y 5 días en fibroblastos humanos HFF-1, en placas de 96 pocillos, utilizando el método MTT.

3. Resultados

3.1 Microscopia de Barrido (SEM)

En la muestra de GEL15 (figura 1) puede apreciarse la formación de fibras sin defectos ni entrecruzamiento de las mismas. El diámetro promedio fue de 169 ± 30 nm, con un porcentaje de porosidad de 50.04 ± 1.52 %.

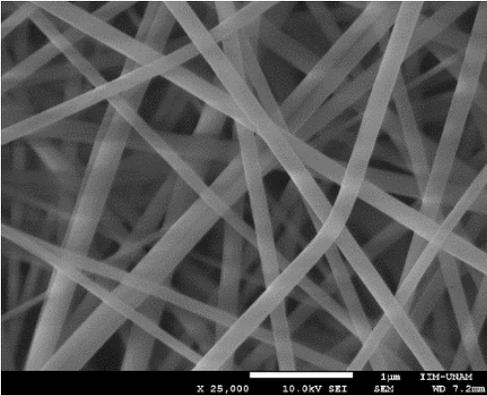


Figura 1. Micrografía con SEM de la muestra GEL15 a 25, 000 x.

Observaciones similares fueron hechas en las diferentes muestras.

3.2 Análisis termogravimétrico (TGA) y Calorimetría diferencial de barrido (DSC)

En el TGA se puede observar que la membrana GEL/COL10 supera incluso al control COL, perdiendo el 5 % de su peso hacia los 98.39 °C. Mientras que, con menos COL, la membrana pierde el mismo peso, pero mucho antes entre los 45.62 °C y 50.41 °C. Así mismo, se realizó la medición para la descomposición del 90 % del material y se encontró que para GEL15 esto ocurre a los 256.37 °C, para las muestras GEL/COL1, GEL/COL5 y GEL/COL10, se encontraron las temperaturas 189.90 °C, 155.24 °C y 234.35 °C respectivamente. Por último, la medición para el control de colágeno (COL) arrojó una temperatura de 249.68 °C. La pérdida de peso entre el 5 y 10 %, se debe a la evaporación del solvente, ya que tiene un punto de ebullición de 118 °C y a la humedad contenida en la muestra. Posteriormente, se realizó la medición de la pérdida de 50 % de la masa, se encontró para GEL15, 368.03 °C; GEL/COL1, 361.07 °C; GEL/COL5, 355.84 °C; GEL/COL10, 366.70 °C y COL 362.42 °C. Todas las muestras se condujeron hasta una temperatura de 700 °C donde la mayor parte de las muestras tienen un residuo del 3.83 % al 16.90 %, mientras

que los controles aún conservan aproximadamente el 17.6 % de su masa.

El análisis de calorimetría diferencial de barrido (DSC), lo que se puede apreciar es que alrededor de los 73 °C – 88 °C ocurre una evaporación, que puede atribuirse el fenómeno a la humedad del ambiente absorbida por la fibra. En el caso de las temperaturas de transición, todas fueron consistentes, encontrándose entre 182 °C – 197 °C, 207 °C – 212 °C y 258 °C – 270 °C. Por otro lado, el GEL15 tiene un comportamiento diferente a las muestras que presentaban COL, esta muestra una ligera deshidratación a los 36 °C, no muy notable debido al comportamiento de la muestra, y transiciones a los 125 °C, 280 °C, 212 °C y 259 °C.

3.3. Infrarrojo con Transformación de Fourier (FTIR)

Los espectros de FTIR de las muestras no tienen muestran diferencias significativas entre las diversas conformaciones estudiadas. Se obtuvieron señales en 3302 cm^{-1} y entre 1300-1450 cm^{-1} correspondientes al grupo funcional alcohol, presente a lo largo de la cadena aminoacídica de ambas estructuras proteicas, de igual manera aparecen los grupos carbonilo (C=O en 1742.27 cm^{-1}) de los ácidos carboxílicos. Por otro lado, el grupo amino (-NH₂) es apreciable en 1633.36 cm^{-1} y 1542.11 cm^{-1} , este grupo es abundante en la cadena aminoacídica del COL y la GEL pues el aminoácido Lisina es uno de sus componentes principales, y está encargado de crear la estructura en forma de fibras del COL. Por último, se observa la presencia de enlaces tipo C-O presentes en alcoholes secundarios en señales cercanas al 1100 cm^{-1} .

3.4 Proliferación Celular en Fibroblastos Humanos (HFF-1)

Se analizaron las muestras a los 2 días y se encontró que el control positivo (suspensión celular) nos da un porcentaje de 100 ± 2.19 %; el

control negativo (DMSO) obtuvo un 3.41 ± 1.79 %. Las muestras por otro lado obtuvieron los siguientes porcentajes: GEL15, 63.61 ± 0.88 %; GEL/COL1, 57.40 ± 14.83 %; GEL/COL5, 56.02 ± 10.15 %; GEL/COL10, 72.23 ± 12.41 %. Se observó que la muestra GEL/COL10 obtuvo una proliferación celular más grande que las demás muestras, sin embargo, mediante un análisis ANOVA, no se obtuvieron diferencias significativas entre ninguna de las muestras a los 2 y 5 días. A los 5 días se encontró que el control positivo tuvo un porcentaje de proliferación de 100 ± 5.93 %, mientras que el control negativo presentó un porcentaje de 1.68 ± 0.16 %, también se pudo observar que el control GEL15 obtuvo un porcentaje de proliferación considerablemente menor que las muestras con una proliferación de 61.1 ± 17.74 %. Las muestras con COL presentaron actividad de la siguiente manera: GEL/COL1, 75.44 ± 3.4 %; GEL/COL5, 73.13 ± 4.90 %; GEL/COL10, 74.00 ± 17.49 %. Por lo que se puede ver que, sin importar la concentración de COL en las membranas, la proliferación en fibroblastos se mantiene constante.

4. Conclusiones

Se logró realizar el electrohilado de membranas de GEL de uso bacteriológico y COL de uso cosmético bajo los parámetros de distancia de 15 cm, flujo 0.80 ml/h, con un rango de temperatura de 20-32 °C, humedad del ambiente entre 20 y 40 %. Con este procedimiento se obtuvieron nanofibras delgadas visualizadas bajo imágenes de SEM y con solubilidad, sin defectos mediante una disolución en ácido acético glacial. El análisis de espectroscopia FTIR mostró que no existen diferencias en la estructura química de los polímeros naturales que pudieran significar alguna reacción, por lo que se esperaba que las cadenas aminoácidas conservaran su estructura original. Por otro lado, los análisis de sus propiedades térmicas (DSC y TGA), mostraron que las membranas GEL/COL conservaban de igual manera sus propiedades solamente con ligeros

cambios dependiendo de la concentración de COL en cada muestra, por lo que es posible que a temperaturas corporales estas conservarán su forma y estructura. Y para finalizar el análisis de viabilidad celular mostró viabilidad celular en fibroblastos

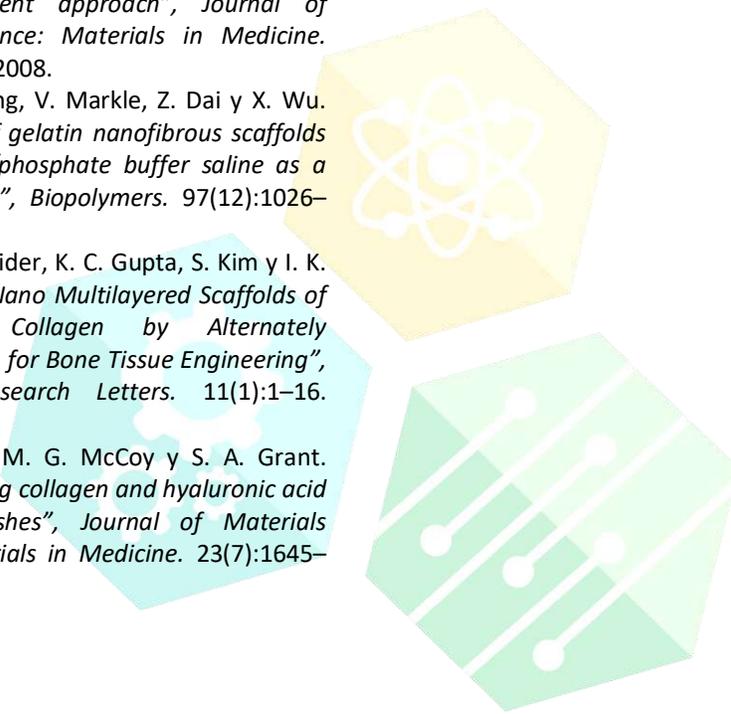
5. Agradecimientos

Los autores agradecen al Fondo de Cooperación Internacional en Ciencia y Tecnología (FONCICYT) de CONACYT por apoyar económicamente a este proyecto, con el número CAR 266380.

Referencias

- [1] Bahemia, I. A., A. Muganza, R. Moore, F. Sahid y C. N. Menezes. "Microbiology and antibiotic resistance in severe burns patients: A 5-year review in an adult burns unit", *Burns: Journal of the International Society for Burn Injuries*. 41(7):1536–1542. 2015.
- [2] Schiefer, J. L., E. Arens, P. Grigutsch, R. Rath, A. Hoffmann, P. C. Fuchs y A. Schulz. "A prospective intra-individual evaluation of silk compared to Biobrane for the treatment of superficial burns of the hand and face", *Burns*. 43(3):539–548. 2016.
- [3] Rojas-Cortés, M. G., B. M. Vallejo-Díaz y J. Ernesto-Perilla. "Los biopolímeros como materiales para el desarrollo de productos en aplicaciones farmacéuticas y de uso biomédico", *Revista Ingeniería e Investigación*. 28(1):57–71. 2008.
- [4] Boateng, J. y O. Catanzano. "Advanced Therapeutic Dressings for Effective Wound Healing", *Journal of Pharmaceutical Sciences*. 104(11):3653–3680. 2015.
- [5] Velázquez-Barraza R. D., A. S. Álvarez-Suarez, L. J. Villarreal-Gómez, J. A. Páz-González y R. Vera-Graziano. "Designing a Low-Cost Electrospinning Device for Practical Learning in a Bioengineering Biomaterials Course", *Revista Mexicana de Ingeniería Biomédica*. 37(1):27–36. 2016.
- [6] Mendes, A. C., K. Stephansen y I. S. C honakis. "Electrospinning of food proteins and polysaccharides", *Food Hydrocolloids*. 68:53–68. 2017.

- [7] Angarano M., S. Schulz, M. Fabritius, R. Vogt, T. Steinberg, P. Tomakidi, C. Friedrich, R. Mühlhaupt. "Layered gradient nonwovens of in situ crosslinked electrospun collagenous nanofibers used as modular scaffold systems for soft tissue regeneration", *Advanced Functional Materials*. 23(26):3277–3285. 2013.
- [8] Song, J. H., H. E. Kim y H. W. Kim. "Production of electrospun gelatin nanofiber by water-based co-solvent approach", *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*. 19(1):95–102. 2008.
- [9] Zha, Z., W. Teng, V. Markle, Z. Dai y X. Wu. "Fabrication of gelatin nanofibrous scaffolds using ethanol/phosphate buffer saline as a benign solvent", *Biopolymers*. 97(12):1026–1036. 2012.
- [10] Kwak, S., A. Haider, K. C. Gupta, S. Kim y I. K. Kang. "Micro/Nano Multilayered Scaffolds of PLGA and Collagen by Alternately Electrospinning for Bone Tissue Engineering", *Nanoscale Research Letters*. 11(1):1–16. 2016.
- [11] Fischer, R. L., M. G. McCoy y S. A. Grant. "Electrospinning collagen and hyaluronic acid nanofiber meshes", *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*. 23(7):1645–1654. 2012.



CONGRESO INTERNACIONAL
DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

OBA5- Actividad Antitumoral de Nanopartículas de Plata en un Modelo de Melanoma Murino

Yanis Toledano Magaña^{1*}, Karla Oyuki Juárez Moreno¹, Juan Carlos García Ramos¹, María Evarista Arellano García², Nayeli Girón Vázquez³, Lucía Margarita Valenzuela Salas², Alexey Pestryakov⁴, Nina Bogdanchikova³

¹ CONACYT - UNAM - Centro de Nanociencias y Nanotecnología - Km 107 Carretera Tijuana-Ensenada, Ensenada, B.C. México. C.P. 22860

² Universidad Autónoma de Baja California, Facultad de Ciencias, Km. 106 Carr. Tij-Ens, Ensenada, B. C. México, CP 22800

³ Centro de Nanociencias y Nanotecnología - Km 107 Carretera Tijuana-Ensenada, Ensenada, B.C. México. C.P. 22860

⁴ Universidad Autónoma de Baja California, Escuela de Ciencias de la Salud, Unidad Valle de las Palmas. Tijuana, México.

⁵ Tomsk Polytechnic University, Tomsk Oblast, Russia

Resumen. – *El melanoma es uno de los tipos de cáncer de piel más agresivos y de peor pronóstico. Además, los tratamientos actuales contra el cáncer presentan un alto grado de toxicidad. Esto plantea la necesidad de generar nuevos tratamientos efectivos y con menores efectos adversos que los actualmente utilizados. Es por esto que en nuestro grupo se desarrollaron nanopartículas de plata con propiedades peculiares con el fin de proponer un tratamiento con menores efectos adversos. En el presente trabajo se realizó la determinación del efecto antitumoral de las nanopartículas de plata mencionadas y se encontró que, aunque no presentan un mejor efecto antitumoral que el cisplatino a las dosis administradas, se observa una mayor supervivencia de los animales con tumores de melanoma.*

Palabras clave: nanopartículas de plata, melanoma, modelo murino.

Abstract. - *Melanoma is one of the most aggressive and worst prognostic types of skin cancer. In addition, current treatments against cancer present a high degree of toxicity. This raises the need to generate new treatments effective and with less adverse effects than those currently used. That's why our group developed silver nanoparticles with peculiar properties in order to propose a treatment with lower adverse effects. In the present work the determination of the antitumor effect of the mentioned silver nanoparticles was carried out and it was found that, although they do not present a better antitumor effect than cisplatin at the administered doses, a greater survival of the animals with melanoma tumors is observed.*

Key words: silver nanoparticles, melanoma, murine model.

1. Introducción

El cáncer es un problema de salud pública a nivel mundial y es responsable de 8.8 millones de muertes hasta 2015. De acuerdo a la Organización Mundial de la Salud, se pronostica un incremento del 70% del número de casos de cáncer en las siguientes dos décadas. [1]

En México la población se ve afectada principalmente por tumores del sistema digestivo, órganos genitales, del sistema nervioso central y periférico, sistema linfático y tejidos afines, mama, órganos hematopoyéticos, órganos respiratorios e intratorácicos. [2] Sin embargo, desde 2001 se ha identificado al cáncer de piel como el segundo más frecuente en la población mexicana. [3]

El melanoma es el menos frecuente con el 1.3% de incidencia en México, pero es uno de los más agresivos provocando el 75% de muertes por cáncer de piel y ha presentado un incremento alarmante con una evolución de casi el 500% respecto al número de casos reportados en los últimos años. [4]

Desde hace algunos años y con el gran avance alcanzado en el área de la nanotecnología, se ha explorado el uso de nanopartículas de diferente naturaleza y composición para el tratamiento y diagnóstico de diferentes enfermedades. Nuestro grupo ha enfocado gran parte de sus esfuerzos a estudiar la actividad biológica que presentan las nanopartículas de plata (NPAg) en diferentes sistemas biológicos. Dichas NPAg con propiedades peculiares son el producto del trabajo de la Red Internacional de Bionanotecnología con impacto en Biomedicina, Alimentación y Bioseguridad del CONACyT.

Nuestro grupo realizó un estudio donde se evaluó la capacidad de nuestras NPAg para inhibir la proliferación de distintos tipos de células tumorales humanas. Los resultados muestran que en todos los casos nuestras NPAg son capaces de inhibir la proliferación de los cultivos tumorales y en algunos de ellos fueron más efectivas que el

cisplatino. En el estudio también se muestra que la muerte de las células tumorales se da por apoptosis desencadenada por la producción de especies reactivas de oxígeno sin generar un daño genotóxico [5].

Este fenómeno recién descubierto de actividad antineoplásica del primer material sintético no genotóxico abre la oportunidad para desarrollar métodos de tratamiento de cáncer sin efectos secundarios y proporcionar una alternativa para el tratamiento de aquellos tumores clasificados como altamente agresivos y de difícil tratamiento.

Lo anterior nos llevan a plantear un cambio del paradigma actual ¿Todos los fármacos para el tratamiento de cáncer son genotóxicos y por esta razón causan efectos secundarios? a un nuevo paradigma ¿Existen fármacos no genotóxicos para el tratamiento de cáncer, lo que eliminará los efectos secundarios?

Es por esto que, en el presente trabajo se plantea evaluar el efecto antitumoral de NPAg en un modelo murino de melanoma.

2. Metodología

Se realizó la evaluación de la disminución del volumen tumoral en ratones C57BL/6 inoculados con células de melanoma B16F10 y tratados con nanopartículas de plata.

2.1 Mantenimiento de ratones

Se utilizaron 40 ratones C57BL/6 machos de 8 semanas de vida con un peso promedio de 30g que se mantuvieron en aclimatación durante 10 días. Se mantuvieron en el bioterio de la Escuela de Ciencias de la Salud de la UABC Unidad Valle de las Palmas. El protocolo fue aprobado por el comité de bioética de dicha entidad.

Se utilizaron condiciones estándar de bioterio y se suministró agua y comida *ad libitum*. En todo momento se cumplió con lo especificado en la

NORMA Oficial Mexicana NOM-062-ZOO-1999, Especificaciones técnicas para la producción, cuidado y uso de los animales de laboratorio.

Los ratones fueron seleccionados aleatoriamente y divididos en 4 grupos de 10 ratones cada uno:

- Grupo 1: Control sin tumor y sin tratamiento
- Grupo 2: Control con cisplatino
- Grupo 3: Control negativo
- Grupo 4: Tratados con nanopartículas de plata

2.2 Inoculación de células B16F10

Con el fin de generar el tumor de melanoma en los ratones previamente aclimatados. Para tal efecto, se aplicaron 200 000 células de la cepa B16F10 por vía subcutánea. Una vez transcurridos 10 días los animales presentaban tumores palpables y se inició el tratamiento.

2.3 Tratamiento con nanopartículas de plata

Una vez que los animales tuvieron tumores palpables se administró una dosis de 6 mg/kg de peso de plata metálica, tomando en cuenta que la disolución de nanopartículas de plata contiene 12 mg/ml de plata metálica. El esquema de administración fue de una dosis cada tercer día durante dos semanas. Se determinó el volumen tumoral en cada administración para determinar la evolución. Se utilizó un control positivo con cisplatino y un control negativo con polivinil pirrolidona que es un material considerado inocuo.

2.3 Análisis de datos

Se determinaron las dimensiones del tumor y se calculó el promedio entre los animales del mismo grupo.

3. Resultados

Una vez iniciado el ensayo los animales presentaron un buen estado de salud. No presentaban alteraciones evidentes de conducta, daño en el pelo, disminución en la ingesta de comida, diarrea o cualquier otro tipo de signo de enfermedad.

Transcurridos 10 días post-administración de las células de melanoma se palparon tumores de aproximadamente 10 mm de diámetro en los ratones inoculados. Los ratones del control sin tumor y sin tratamiento presentaron en todo momento un buen estado de salud tomando en cuenta los parámetros anteriormente mencionados.

Una vez iniciado el tratamiento, se determinó el diámetro tumoral cada tercer día. Se observó un menor crecimiento tumoral en el grupo de ratones tratados con cisplatino mientras que, los animales del grupo tratado presentaron un crecimiento intermedio entre los tratados con cisplatino y los controles negativos.

En los controles negativos se observó un mayor número de animales que presentaron tumores ulcerados y/o bilobulados. En el caso de los animales tratados con cisplatino o con nanopartículas de plata se observaron menos tumores ulcerados mientras que no hubo diferencia en la presencia de tumores bilobulados.

El 20% de los animales tratados con nanopartículas de plata sobrevivieron más y en mejores condiciones que los tratados con cisplatino, aunque no se observó efecto en cuanto al volumen tumoral.

Referencias

- [1] Cancer. Fact sheet. February 2017. <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs297/en/> Recuperada el 25/07/2017.
- [2] Instituto Nacional de Estadística y Geografía. "Estadísticas a propósito

- del...Día mundial contra el cáncer (4 de febrero)". Datos nacionales. www.inegi.org.mx/saladeprensa/aproposito/2017/cancer2017_Nal.pdf. Recuperada el 25/07/2017.
- [3] *Boletín UNAM-DGCS-237. Cáncer de piel, el segundo más frecuente en México, advierte investigador de la UNAM. Ciudad Universitaria. 6 de abril de 2017* http://www.dgcs.unam.mx/boletin/bdb/boletin/2017_237.html. Recuperada el 25/07/2017.
- [4] Herrera N. y Aco A. "El melanoma en México", *Revista de Especialidades Médico Quirúrgicas*. 15 (2010) 161–164.
- [5] Juárez-Moreno K., González E., Girón-Vázquez N., Chávez-Santoscoy R., Mota-Morales J., Pérez-Mozqueda L., García-García M., Pestryakov A., Bogdanchikova N. "Comparison of cytotoxicity and genotoxicity effects of silver nanoparticles on human cervix and breast cancer cell lines." *Human and Experimental Toxicology* (2016) 1–18. doi:10.1177/0960327116675206



CONGRESO INTERNACIONAL
DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

OBA7-Materiales reabsorbibles en el tratamiento de fracturas maxilofaciales pediátricas

Alex Bernardo Pimentel Mendoza^{1,2}, Lázaro Rico Pérez², Luis Jesús Villarreal Gómez^{2,3}

¹Universidad Autónoma de Baja California, Tijuana, Baja California,
alex.pimentel@uabc.edu.mx

²Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Ciudad Juárez, Chihuahua, larico@uacj.mx

Resumen. - *Las fracturas maxilofaciales en pacientes pediátricos tienen diferencias con los pacientes adultos debido a la etapa de desarrollo tanto física como psicológica en la que se encuentran, por ello es importante tratar los traumatismos con materiales y sistemas cuyo efecto negativo sea mínimo. El propósito de esta investigación es realizar una revisión del conocimiento sobre los materiales biodegradables y su aplicación como sistemas de fijación para la estabilización de fracturas óseas en el área maxilofacial de pacientes pediátricos.*

Palabras clave: Reabsorbible; fijación; fractura; pediátrico; sistema placa-tornillo.

Abstract. - *Maxillofacial fractures in pediatric patients have differences with adult patients due to the physical and psychological developmental stage in which they are found, so it is important to treat injuries with materials and systems whose negative effect is minimal. The purpose of this research is to perform a review of the knowledge about biodegradable materials and their application as fixation systems for the stabilization of bone fractures in the maxillofacial area of pediatric patients.*

Key words: Resorbable; fixation; fracture; pediatric; screw-plate system.

1. Introducción

Tanto los cambios en los hábitos de las personas, que incluyen una disminución importante de la actividad física, como la edad son factores que influyen en la calidad de los huesos, así como la fuerza muscular del individuo, estos cambios incrementan la posibilidad de fracturas. Al ocurrir la fractura de uno o varios huesos, éstas deben ser tratadas por medio de algún sistema de fijación, que tiene por objetivo estabilizar la lesión y permitir una

rápida recuperación para devolver las funciones y, en su caso, movilidad a la parte afectada [1], [2].

Estudios señalan que las causas más frecuentes de traumatismos maxilofaciales son accidentes de tránsito, agresiones y la práctica de algún deporte. Dentro de los tipos de fracturas más frecuentes se encuentran las del piso de la órbita, paredes del seno maxilar, fracturas nasales y las fracturas mandibulares [3], [4].

Por otro lado, un estudio llevado a cabo por Conti, Amadori, & Civili en [6] muestra que una causa común de fracturas maxilofaciales en menores de edad (entre los 0 y 17 años) se deben a actividades deportivas, caídas, accidentes en carretera y el uso de bicicletas. La zona más comúnmente afectada en el grupo de 1,122 menores fue la mandíbula.

2. Metodología

Se realizó la revisión de literatura utilizando las palabras clave reabsorbible, sistema placa tornillo, fijación, fractura maxilofacial, pediátrica. Además de los artículos encontrados, se consideraron algunas referencias de las publicaciones consultadas.

2.1 Sistemas de fijación para fracturas

Los sistemas para fijación de fracturas pueden dividirse en externas e internas, además de poder recurrir a tratamientos conservadores o cerrados [7].

En los dispositivos internos para fijación, los sistemas de tornillos y placas son ampliamente usados [11]–[13] y se les puede encontrar de diversos materiales. El uso de tornillos autoroscantes disminuyen el tiempo en cirugía al evitar el taladrado y roscado, además de disminuir los daños por cuestiones térmicas y escombros aunque provocan un micro daño mayor en el hueso cortical [14]. Migliatori et al. en 2012 [15] encontraron que existe una fuerte correlación entre el paso de la cuerda del tornillo y la fuerza de arranque con la fuerza de inserción, lo que indica que la geometría del tornillo y la técnica intraoperatoria influyen en el desempeño del implante. Gutwald, Büscher, Schramm, y Schmelzeisen, en 1999 [16] presentaron un mini sistema de bloqueo que proporcionaba una estabilidad 3 veces mayor que las mini placas convencionales.

La elección del sistema de fijación de fracturas depende del número de fracturas, su forma y las condiciones del paciente [17]. Los sistemas de fijación mencionados anteriormente se pueden aplicar al macizo facial [18] que puede dividirse de forma general en tercios o, visto anatómicamente, en cinco regiones. En la Figura 1 se puede observar

la división del área maxilofacial [19], [20].

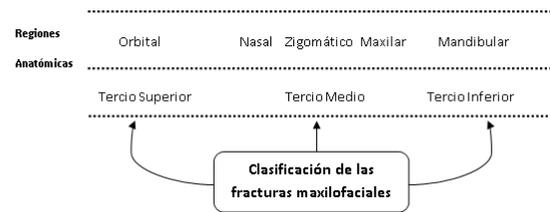


Figura 1. División del macizo facial. Adaptado de [19], [20]

2.2 Materiales para fijación interna

Dentro de los materiales usados para la fabricación de dispositivos de fijación interna de fracturas están los metálicos [22], polímeros [23] y cerámicos [24]. A estos materiales se les exigen propiedades mínimas de resistencia, ductilidad y biocompatibilidad [25].

Los materiales metálicos se han utilizado por mucho tiempo para estabilizar fracturas óseas siendo las aleaciones de acero, cromo y cobalto de los más populares hasta que fue divulgado el titanio como material de osteosíntesis con la principal ventaja de su biocompatibilidad [28], [29]. Esto permitió que los implantes quedaran en el cuerpo a menos que se observaran reacciones que obligaran a una segunda cirugía para retirarlos. Sin embargo, existen desventajas como la palpación del material por parte del paciente, hipersensibilidad al frío, liberación de iones metálicos y oxidación que han sido reportado en numerosos casos [30]–[33].

Los polímeros degradables son una opción que se ajusta a muchas necesidades de aplicaciones médicas y, de éstos, el ácido poliláctico (PLA), el poliglicólico (PGA), así como sus copolímeros son de los más importantes [34].

Éstos polímeros son los materiales más innovadores en los últimos años por su amplio rango de aplicación, lo que ha generado múltiples investigaciones en distintas ramas, no solo la médica [35]–[37], gracias a la facilidad de cambiar sus propiedades mediante refuerzos y rellenos [38], además de degradarse por hidrólisis en el cuerpo [39]. Sin embargo, a pesar de ser materiales biocompatibles, siempre se espera una respuesta



inflamatoria después de su implantación [40], aunque menor que en los materiales metálicos [41]. Los implantes generalmente producen una reacción de cuerpo extraño en el paciente [42] y, en ocasiones, presentan otras reacciones adversas que pueden llegar a ser importantes aunque éstas dependen, entre otras cosas, de la zona de fractura [43], por lo que es necesario tener un buen seguimiento a mediano y largo plazo ya que existe evidencia de respuestas de cuerpo extraño incluso un año después de la implantación [44]. Otra desventaja de éstos materiales es que la fuerza de fijación es menor que en los dispositivos mecánicos lo que puede provocar rotura del tornillo y daño en la rosca del mismo [45], [46], además de tener un costo superior respecto a los metálicos [47] y ser más complicados de manejar durante la cirugía [48]. Sin embargo, los materiales reabsorbibles tienen grandes ventajas como no interferir en el crecimiento del hueso, lo que es especialmente importante en pacientes pediátricos [49] y que lo ha posicionado como uno de los más usados en la cirugía craneofacial debido a que esas zonas no están expuestas a cargas importantes [25], aunque la mandíbula es un caso especial por su forma, lo que provoca que sea una región un tanto más problemática [50]. Algunas de las marcas comerciales de materiales reabsorbibles disponibles en el mercado se pueden observar en la Tabla 1, donde se describe su composición, el tiempo en que conservan al menos un 70% de sus propiedades mecánicas y el tiempo de reabsorción en el cuerpo.

Tabla 1. Características de materiales reabsorbibles usados en sistemas de fijación.
Fuente: Adaptado de [25]

Marca	Composición	Propiedades Mecánicas	Tiempo de reabsorción
Lactosorb® Walter Lorenz	P(L/DL)LA 82L:18DL	6-8 semanas	9-15 meses
BioSorb FX® LINVATEC	SRP(L/DL)L A 70L:30DL autorreforzado	18-36 semanas	2-4 años
BioSorb PDX® LINVATEC	PLGA 80L:20G autorreforzado	6-8 semanas	1-3 años
Resorb X® Martin	PDLLA 50L:50DL	8-10 semanas	12 meses

PolyMax Rapid® SYNTHESE	PLGA 85L:15G	8 semanas	70% en 6 meses 100% en 1 año
--	-----------------	-----------	---------------------------------------

Por su parte, los materiales cerámicos, particularmente las aleaciones de magnesio, han sido motivo de diversas investigaciones como material biodegradable en implantes [51]–[54] y, aunque hay reportes de su uso desde el año 1878, no hay implantes comerciales que integren al magnesio o sus aleaciones como material principal. Algunas aplicaciones reportadas del magnesio son como sustituto de ligamentos, tubos como conectores de nervios, bandas, flechas, placas y tornillos, entre otros [55]. Los materiales biocerámicos se pueden clasificar en tres grupos dependiendo de la reacción provocada entre el material y el tejido vivo donde los bioreabsorbibles son aquellos que se disuelven gradualmente en el cuerpo, los bioinertes son materiales que no provocan reacción como la alúmina y zirconia y, los bioactivos provocan una reacción del tejido en contacto [58]. Los cerámicos de fosfato de calcio son materiales bioactivos usados ampliamente en la reparación de tejido óseo [59]–[62] por tener características muy similares al hueso que permiten la proliferación de osteoblastos y estimulan la generación de hueso nuevo. Dentro de éstos materiales, la hidroxiapatita es ampliamente usada en aplicaciones para regeneración de tejido óseo y recubrimientos [63]–[68].

3. Conclusiones

Para el tratamiento de las fracturas en el hueso, los sistemas de fijación interna rígidos suelen ser los más convenientes [69], [70] aunque actualmente existen diversos sistemas de fijación [71]. Estos sistemas son fabricados de diversos materiales [1] donde los biodegradables han tenido un gran auge en los últimos años [72], en parte, gracias a diversos beneficios como permitir soportar las cargas durante el tiempo necesario para que la curación ósea ocurra y después transferirlas al hueso [73], que en la mandíbula pueden llegar a ser entre 400 y 450 kg [74], y la poca interferencia en el desarrollo óseo en éste tipo de pacientes, aunque a pesar de ellos los materiales metálicos siguen siendo muy

usados para la fijación de fracturas pediátricas, principalmente por su costo y facilidad de manipulación.

Sin embargo, existe todavía un gran nicho de oportunidad en la investigación de diseños y materiales que permitan su uso en aplicaciones donde las exigencias de las cargas mecánicas son elevadas [75], [76].

Especialmente en las aplicaciones pediátricas, la eliminación de la necesidad de una segunda cirugía, la transferencia de carga a la zona afectada de forma paulatina y no interferir con el crecimiento del hueso son características que hacen que los materiales reabsorbibles desplacen cada vez más a los materiales metálicos en el tratamiento de fracturas.

Referencias

- [1] R. Felipe, N. Restrepo, F. Levi, and D. Serna, "Comparación mecánica de dos sistemas de fijación interna rígida utilizados en la fijación de fracturas faciales (Estudio in vitro)," *262 Rev. Fac. Odontol. Univ. Antioquia*, vol. 27, no. 2, pp. 262–280, 2016.
- [2] O. Iribarren and M. Carvajal, "Complicaciones de la fijación interna con placas de titanio de las fracturas maxilofaciales," *Rev. Chil. Cirugía.*, vol. 54, no. 4, pp. 386–372, 2002.
- [3] G. Tomich, P. Baigorria, N. Orlando, M. Méjico, C. Costamagna, and R. Villavicencio, "Frecuencia y tipo de fracturas en traumatismos maxilofaciales: Evaluación con Tomografía Multislice con reconstrucciones multiplanares y tridimensionales," *Rev. argent. radiol.*, vol. 75, no. 4, pp. 305–317, 2011.
- [4] J. L. Munante-Cardenas, P. H. Facchina Nunes, and L. A. Passeri, "Etiology, Treatment, and Complications of Mandibular Fractures," *J. Craniofac. Surg.*, vol. 26, no. 3, pp. 611–615, 2015.
- [5] E. Ellis, "Treatment methods for fractures of the mandibular angle," *J. Craniomaxillofac. Trauma*, vol. 2, no. 1, pp. 28–36, 1996.
- [6] G. Conti, F. Amadori, and S. Civili, "Management of paediatric maxillofacial fractures: Conventional methods and resorbable materials," no. August 2016, 2015.
- [7] B. Mollon and J. W. Busse, "Low-intensity pulsed ultrasonography versus electrical stimulation for fracture healing: A systematic review and network meta-analysis," no. May, 2014.
- [8] S. M. Perren, "Evolution of the internal fixation of long bone fractures," *J. bone Jt. Surg.*, vol. 84–B, no. 8, pp. 1093–1110, 2002.
- [9] S. Pal, "The Design of a Bone Fracture-Fixation Device," in *Design of Artificial Human Joints {&} Organs*, Boston, MA: Springer US, 2014, pp. 101–121.
- [10] M. S. Taljanovic, M. D. Jones, J. T. Ruth, J. B. Benjamin, J. E. Sheppard, and T. B. Hunter, "Fracture fixation," *Radiographics*, vol. 23, no. 6, pp. 1569–1590, 2003.
- [11] A. A. A. Ali, M. M. Kabbash, S. M. A. Said, M. A. Shoeib, and M. H. Osman, "Use of biodegradable plates and screws in the treatment of pediatric facial bone fractures," *Egypt. J. Oral Maxillofac. Surg.*, vol. 7, no. 3, pp. 86–93, 2016.
- [12] E. A. Al-Moraissi and E. Ellis, "Surgical management of anterior mandibular fractures: A systematic review and meta-analysis," *J. Oral Maxillofac. Surg.*, vol. 72, no. 12, p. 2507.e1-2507.e11, 2014.



- [13] M. Oruç *et al.*, "Analysis of Fractured Mandible Over Two Decades," *J. Craniofac. Surg.*, vol. 27, no. 6, p. 1457–1461, 2016.
- [14] S. Son, M. Motoyoshi, Y. Uchida, and N. Shimizu, "Comparative study of the primary stability of self-drilling and self-tapping orthodontic miniscrews," *Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop.*, vol. 145, no. 4, pp. 480–485, 2014.
- [15] M. Migliorati *et al.*, "Miniscrew design and bone characteristics: An experimental study of primary stability," *Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop.*, vol. 142, no. 2, pp. 228–234, 2012.
- [16] R. Gutwald, P. Büscher, A. Schramm, and R. Schmelzeisen, "Biomechanical stability of an internal mini-fixation-system in maxillofacial osteosynthesis," *Med Biol Eng Comp*, vol. 37, no. Suppl 2, p. 280, 1999.
- [17] S. Sauerbier, R. Schön, J. E. Otten, R. Schmelzeisen, and R. Gutwald, "The development of plate osteosynthesis for the treatment of fractures of the mandibular body - A literature review," *J. Cranio-Maxillofacial Surg.*, vol. 36, no. 5, pp. 251–259, 2008.
- [18] F. Mendez T., D. Encalada S., and M. Torres M., "Prevalencia del trauma maxilofacial en el hospital Luis Vernanza, periodo Enero a Diciembre de 2010.pdf," *Rev. Médica HJCA*, vol. 4, no. 2, pp. 123–127, 2012.
- [19] A. B. Baltodano, "Trauma máxilofacial," *Rev. médica costa rica y Centroam.*, no. 620, pp. 731–737, 2016.
- [20] L. L. Avery, S. M. Susarla, and R. A. Novelline, "Multidetector and three-dimensional CT evaluation of the patient with maxillofacial injury," *Radiol. Clin. North Am.*, vol. 49, no. 1, pp. 183–203, 2011.
- [21] L. L. Avery, S. M. Susarla, and R. A. Novelline, "Multidetector and three-dimensional CT evaluation of the patient with maxillofacial injury," *Radiol. Clin. North Am.*, vol. 49, no. 1, pp. 183–203, 2011.
- [22] F. Witte and A. Eliezer, "Biodegradable metals," *Degrad. Implant Mater.*, no. March, pp. 93–109, 2012.
- [23] S. Bin Park, E. Lih, K. S. Park, Y. K. Joung, and D. K. Han, "Biopolymer-based functional composites for medical applications," *Prog. Polym. Sci.*, vol. 68, pp. 77–105, 2017.
- [24] J. Parthasarathy, "3D modeling, custom implants and its future perspectives in craniofacial surgery," *Ann. Maxillofac. Surg.*, vol. 4, no. 1, p. 9, 2014.
- [25] J. L. L. Cembranos, "Maxillofacial osteosynthesis with resorbable material," *Rev. Española Cir. Oral y Maxilofac.*, vol. 26, pp. 369–383, 2004.
- [26] M. Vert, S. M. Li, G. Spenlehauer, and P. Guerin, "Bioresorbability and biocompatibility of aliphatic polyesters," *J. Mater. Sci. Mater. Med.*, vol. 3, no. 6, pp. 432–446, 1992.
- [27] D. Eglin and M. Alini, "Degradable polymeric materials for osteosynthesis: Tutorial," *Eur. Cells Mater.*, vol. 16, pp. 80–91, 2008.
- [28] M. Kulkarni, A. Mazare, P. Schmuki, and A. Iglíč, "Biomaterial surface modification of titanium and titanium alloys for medical applications," *Nanomedicine*, pp. 111–136, 2014.
- [29] G. Manivasagam, D. Dhinasekaran, and A. Rajamanickam, "Biomedical Implants:

- Corrosion and its Prevention - A Review~!2009-12-22~!2010-01-20~!2010-05-25~!,” *Recent Patents Corros. Sci.*, vol. 2, no. 1, pp. 40–54, 2010.
- [30] H. D. Netto, S. Olate, J. Rodriguez-chessa, and L. Kluppel, “Selección de osteosíntesis en la reconstrucción maxilar con injerto óseo de cresta iliaca,” vol. 10, no. 2, pp. 161–165, 2013.
- [31] Nureddin Ashammakhi, N. Ashammakhi, R. Kontio, T. Waris, A. Salo, and C. Lindqvist, “The use of bioabsorbable osteofixation devices in craniomaxillofacial surgery,” *Oral Surgery, Oral Med. Oral Pathol. Oral Radiol. Endodontology*, vol. 94, no. 1, pp. 5–14, 2002.
- [32] A. Altan, İ. Damlar, and O. Şahin, “Can Resorbable Fixation Screws Replace Titanium Fixation Screws? A Nano-Indentation Study,” *J. Oral Maxillofac. Surg.*, vol. 74, no. 7, p. 1421.e1-1421.e5, 2016.
- [33] R. K. Bali, P. Sharma, S. Jindal, and S. Gaba, “To evaluate the efficacy of biodegradable plating system for fixation of maxillofacial fractures: A prospective study,” *Natl. J. Maxillofac. Surg.*, vol. 4, no. 2, pp. 167–72, 2013.
- [34] A. J. R. Lasprilla, G. A. R. Martinez, B. H. Lunelli, A. L. Jardim, and R. M. Filho, “Polylactic acid synthesis for application in biomedical devices - A review,” *Biotechnol. Adv.*, vol. 30, no. 1, pp. 321–328, 2012.
- [35] B. Gupta, N. Revagade, and J. Hilborn, “Poly(lactic acid) fiber: An overview,” *Prog. Polym. Sci.*, vol. 32, no. 4, pp. 455–482, 2007.
- [36] J. S. Bergstrom and D. Hayman, “An Overview of Mechanical Properties and Material Modeling of Polylactide (PLA) for Medical Applications,” *Ann. Biomed. Eng.*, vol. 44, no. 2, pp. 330–340, 2016.
- [37] S. Farah, D. G. Anderson, and R. Langer, “Physical and mechanical properties of PLA, and their functions in widespread applications: A comprehensive review,” *Adv. Drug Deliv. Rev.*, vol. 107, no. August, pp. 367–392, 2016.
- [38] M. Murariu and P. Dubois, “PLA composites: From production to properties,” *Adv. Drug Deliv. Rev.*, vol. 107, pp. 17–46, 2016.
- [39] C. M. Agrawal, G. G. Niederauer, and K. a Athanasiou, “Fabrication and Characterization of PLA-PGA Orthopedic Implants,” *Tissue Eng.*, vol. 1, no. 3, pp. 241–252, 1995.
- [40] A. Kolk, R. Köhnke, C. H. Saely, and O. Ploder, “Are Biodegradable Osteosyntheses Still an Option for Midface Trauma? Longitudinal Evaluation of Three Different PLA-Based Materials,” *Biomed Res. Int.*, vol. 2015, 2015.
- [41] X.-D. Qiu, “Effects of bioabsorbable miniplate versus miniature titanium fixation system on the stability of mandibular fractures,” *Chinese J. Tissue Eng. Res.*, vol. 19, no. 38, pp. 6155–6160, 2015.
- [42] H. B. Jeon, D. H. Kang, J. H. Gu, and S. A. Oh, “Delayed foreign body reaction caused by bioabsorbable plates used for maxillofacial fractures,” *Arch. Plast. Surg.*, vol. 43, no. 1, pp. 40–45, 2016.
- [43] L. Yang *et al.*, “Complications of Absorbable Fixation in Maxillofacial Surgery: A Meta-Analysis,” *PLoS One*, vol. 8, no. 6, pp. 1–10, 2013.

- [44] Y. Ramot, M. H. Zada, A. J. Domb, and A. Nyska, "Biocompatibility and safety of PLA and its copolymers," *Adv. Drug Deliv. Rev.*, vol. 107, pp. 153–162, 2015.
- [45] F. Pena, T. Grontvedt, G. A. Brown, A. K. Aune, and L. Engebretsen, "Comparison of failure strength between metallic and absorbable interference screws. Influence of insertion torque, tunnel-bone block gap, bone mineral density, and interference," *Am J Sport. Med.*, vol. 24, no. 3, pp. 329–334, 1996.
- [46] H. Lim *et al.*, "Comparison of resorbable plates and titanium plates for fixation stability of combined mandibular symphysis and angle fractures," no. December 2012, pp. 285–290, 2014.
- [47] M. J. Sánchez López, D. J.; Villegas Calvo, M.; Cambil, "Sistemas biodegradables de fijación y reconstrucción craneofacial," *Panor. Actual del Medicam.*, vol. 39, no. 381, pp. 237–240, 2015.
- [48] R. L. Reyes and G. V. Gracia, "Uso de tornillos bicorticales reabsorbibles como alternativa en cirugía ortognática de mandíbula: presentación de 2 casos y revisión de la literatura Use of resorbable bicortical screws as an alternative in mandibular orthognatic," vol. 15, pp. 239–243, 2011.
- [49] R. M. Laughlin, M. S. Block, R. Wilk, R. B. Malloy, and J. N. Kent, "Resorbable Plates for the Fixation of Mandibular Fractures: A Prospective Study," *J. Oral Maxillofac. Surg.*, vol. 65, no. 1, pp. 89–96, 2007.
- [50] F. Atik, M. S. Ataç, A. Özkan, Y. Kilingç, and M. Arslan, "Biomechanical analysis of titanium fixation plates and screws in mandibular angle fractures," *Niger. J. Clin. Pract.*, vol. 19, no. 3, pp. 386–390, 2016.
- [51] Y. Chen, Z. Xu, C. Smith, and J. Sankar, "Recent advances on the development of magnesium alloys for biodegradable implants," *Acta Biomater.*, vol. 10, no. 11, p. 4561–4573, 2014.
- [52] S. Agarwal, J. Curtin, B. Duffy, and S. Jaiswal, "Biodegradable magnesium alloys for orthopaedic applications: A review on corrosion, biocompatibility and surface modifications," *Mater. Sci. Eng. C. Mater. Biol. Appl.*, vol. 68, p. 948–963, 2016.
- [53] M. P. Staiger, A. M. Pietak, J. Huadmai, and G. Dias, "Magnesium and its alloys as orthopedic biomaterials: a review," *Biomaterials*, vol. 27, no. 9, p. 1728–1734, 2006.
- [54] G. Song and S. Song, "A possible biodegradable magnesium implant material," *Adv. Eng. Mater.*, vol. 9, no. 4, pp. 298–302, 2007.
- [55] F. Witte, "Reprint of: The history of biodegradable magnesium implants: A review," *Acta Biomater.*, vol. 23, no. 5, pp. S28–S40, 2015.
- [56] H. Waizy *et al.*, "In vivo study of a biodegradable orthopedic screw (MgYREZr-alloy) in a rabbit model for up to 12 months," *J. Biomater. Appl.*, vol. 28, no. 5, pp. 667–75, 2014.
- [57] M. Ettinger *et al.*, "The biomechanics of biodegradable versus titanium interference screw fixation for anterior cruciate ligament augmentation and reconstruction," *Int. Orthop.*, vol. 38, no. 12, pp. 2499–2503, 2014.
- [58] L. Tan, X. Yu, P. Wan, and K. Yang, "Biodegradable Materials for Bone Repairs: A Review," *J. Mater. Sci. Technol.*, pp. 503–

513, 2013.

- [59] R. A. Surmenev, M. A. Surmeneva, and A. A. Ivanova, "Significance of calcium phosphate coatings for the enhancement of new bone osteogenesis - A review," *Acta Biomater.*, vol. 10, no. 2, pp. 557–579, 2014.
- [60] I. Denry and L. T. Kuhn, "Design and characterization of calcium phosphate ceramic scaffolds for bone tissue engineering," *Dent. Mater.*, vol. 32, no. 1, p. 43–53, 2016.
- [61] S. Reddy, S. Wasnik, A. Guha, J. M. Kumar, A. Sinha, and S. Singh, "Evaluation of nano-biphasic calcium phosphate ceramics for bone tissue engineering applications: *In vitro* and preliminary *in vivo* studies," *J. Biomater. Appl.*, vol. 27, no. 5, pp. 565–575, 2013.
- [62] P. Wang, L. Zhao, J. Liu, M. D. Weir, X. Zhou, and H. H. K. Xu, "Bone tissue engineering via nanostructured calcium phosphate biomaterials and stem cells," *Bone Res.*, vol. 2, no. July, p. 14017, 2014.
- [63] S. Samavedi, A. R. Whittington, and A. S. Goldstein, "Calcium phosphate ceramics in bone tissue engineering: A review of properties and their influence on cell behavior," *Acta Biomater.*, vol. 9, no. 9, pp. 8037–8045, 2013.
- [64] T. Rios, E. López, and Al. Franco, "Biomateriales Compuestos De Matriz Polimérica Con Refuerzo De Cerámico Bioactivo Usados En Sistemas De Fijación Ósea Revision Del Estado Del Arte," *Rev. Colomb. Mater.*, pp. 93–99, 2012.
- [65] M. Šupová, "Substituted hydroxyapatites for biomedical applications: A review," *Ceram. Int.*, vol. 41, no. 8, pp. 9203–9231, 2015.
- [66] B. Aksakal, M. Kom, H. B. Tosun, and M. Demirel, "Influence of micro- and nano-hydroxyapatite coatings on the osteointegration of metallic (Ti6Al4 V) and bioabsorbable interference screws: An *in vivo* study," *Eur. J. Orthop. Surg. Traumatol.*, vol. 24, no. 5, pp. 813–819, 2014.
- [67] S. M. Kim *et al.*, "Hydroxyapatite-coated magnesium implants with improved *in vitro* and *in vivo* biocorrosion, biocompatibility, and bone response," *J. Biomed. Mater. Res. - Part A*, vol. 102, no. 2, pp. 429–441, 2014.
- [68] I. Antoniac, D. Laptoiu, D. Popescu, C. Cotrut, and R. Parpala, "Development of Bioabsorbable Interference Screws: How Biomaterials Composition and Clinical and Retrieval Studies Influence the Innovative Screw Design and Manufacturing Processes," in *Biologically Responsive Biomaterials for Tissue Engineering*, I. Antoniac, Ed. New York, NY: Springer New York, 2013, pp. 107–136.
- [69] A. Cortese, G. Savastano, M. Amato, G. Pantaleo, and P. P. Claudio, "Intraoral epimucosal fixation for reducible maxillary fractures of the jaws; surgical considerations in comparison to current techniques.," *J. Craniofac. Surg.*, vol. 25, no. 6, pp. 2184–7, 2014.
- [70] T. B. Dodson and R. C. Pfeffle, "Cost-effectiveness analysis of open reduction/nonrigid fixation and open reduction/rigid fixation to treat mandibular fractures," *Oral Surgery, Oral Med. Oral Pathol. Oral Radiol. Endodontology*, vol. 80, no. 1, pp. 5–11, 1995.
- [71] B. Guyuron and H. C. Vasconez, "Basic Principles of Bone Fixation," in



- Fundamentals of Maxillofacial Surgery*, J. W. Ferraro, Ed. New York, NY: Springer New York, 1997, pp. 169–185.
- [72] C. Carulli, F. Matassi, S. Soderi, L. Sirleo, G. Munz, and M. Innocenti, “Resorbable screw and sheath versus resorbable interference screw and staples for ACL reconstruction: a comparison of two tibial fixation methods,” *Knee Surgery, Sport. Traumatol. Arthrosc.*, vol. 25, no. 4, pp. 1264–1271, 2017.
- [73] Z. Sheikh, S. Najeeb, Z. Khurshid, V. Verma, H. Rashid, and M. Glogauer, “Biodegradable materials for bone repair and tissue engineering applications,” *Materials (Basel)*, vol. 8, no. 9, pp. 5744–5794, 2015.
- [74] S.-H. S. Licéaga-Reyes R, Montoya-Perez LA, “Incidencia de fracturas maxilofaciales en pacientes del Servicio de Cirugía Maxilofacial,” *Rev Odontol Latinoam*, vol. 2, pp. 1–3, 2010.
- [75] E. Y. Rha, H. Paik, and J. H. Byeon, “Bioabsorbable Plates and Screws Fixation in Mandible Fractures: Clinical Retrospective Research during a 10-Year Period,” *Ann. Plast. Surg.*, vol. 74, no. 4, pp. 432–436, 2015.
- [76] C. Gaball, S. Lovald, B. Baack, and G. Olson, “Minimally invasive bioabsorbable bone plates for rigid internal fixation of mandible fractures,” *Arch. facial Plast. Surg. Off. Publ. Am. Acad. Facial Plast. Reconstr. Surgery, Inc. Int. Fed. Facial Plast. Surg. Soc.*, vol. 13, no. 4, pp. 31–35, 2015.

OBA8-Diabetic Foot Ulcers Treatment with Silver Nanoparticles

César Alejandro Almonaci Hernández¹, Isis Marion Cabrera Torres¹, Karla Juarez-Moreno^{1,3*},
Martin E. Castañeda-Juárez⁴, Horacio Almanza-Reyes⁵, Alexey Pestryakov⁴, Nina
Bogdanchikova²

¹Integral and Advance Clinic, Ensenada, Baja California, Mexico. almonaci2000@hotmail.es;
marion_ntc@hotmail.com; pink_reiver@hotmail.com

²Center of Nanoscience and Nanotechnology, National Autonomous University of Mexico. Km107 Carretera
Tijuana-Ensenada, B.C. México. kjuarez@cnyn.unam.mx; nina@cnyn.unam.mx

⁴CONACYT Research Fellow at Center of Nanoscience and Nanotechnology, National Autonomous University of
Mexico. Ensenada, Baja California, México. kojuarezmo@conacyt.mx;

⁵School of Medicine. National Autonomous University of Mexico. borre_lanudo@hotmail.com

⁶School of Medicine and Psychology, Campus Tijuana. Autonomous University of Baja California.
almanzareyes@hotmail.com

⁷Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia. pestryakov2005@yandex.ru

*Corresponding author

Resumen. - *Las úlceras del pie diabético son altamente susceptibles a infecciones microbianas y son la principal causa de hospitalización y amputación de extremidades inferiores en pacientes diabéticos. Debido a sus propiedades antimicrobianas y anti-inflamatorias, las nanopartículas de plata (AgNPs) son el nanomaterial más utilizado en biomedicina. En este trabajo presentamos por primera vez el uso de AgNPs para el tratamiento de úlceras de pie diabético grado II de la clasificación de Wagner. Además del tratamiento con antibióticos convencionales, la úlcera fue tratada mediante la administración tópica de AgNPs a una concentración de 1.2 mg/mL de plata metálica. Los resultados obtenidos, revelan una mejora significativa en la evolución de la úlcera, en donde los bordes de la lesión se acercaron de manera efectiva, observándose tejido de granulación, disminución del edema y placas de fibrina. Estos resultados constituyen la base para nuevos estudios sobre el uso de AgNPs para el tratamiento de úlceras crónicas de diferentes orígenes.*

Palabras clave: úlceras del pie diabético, diabetes *mellitus*, nanopartículas de plata, nanomedicina, úlceras crónicas

Abstract. - *Diabetic foot ulcers are highly susceptible to microbial infections and are the leading cause of lower limb hospitalization and amputation in diabetic patients. Due to their antimicrobial and anti-inflammatory properties, silver nanoparticles (AgNPs) are the most widely used nanomaterial in biomedicine. Herein, we present for the first time the usage of AgNPs for the treatment of a diabetic foot ulcer with a grade II in Wagner classification. In addition to conventional antibiotic treatment, the ulcer was treated with topical administration of AgNPs at a concentration of 1.2 mg/ml of metallic silver. The results showed a significant improvement in the evolution of the ulcer, where the edges of the lesion were effectively approached, granulation tissue being observed, edema decreased and fibrin plaques. These results form the basis for further studies on the use of AgNPs for the treatment of chronic ulcers of different origins.*

Key words: Diabetic foot ulcers, diabetes *mellitus*, silver nanoparticles, nanomedicine, chronic ulcers

1. Introduction

Diabetes *mellitus* (DM) is one of the most common chronic and metabolic diseases. In Mexico DM is the second major cause of death [1]. In patients with DM, the most frequent complications of lower limbs are known as *diabetic foot* or *diabetic foot ulcers* (DFU) [2]. DFU affect between 12 and 25% of patients with DM, thus is the main cause of hospitalization and lower limbs amputation. DFU has been defined by the World Health Organization as the infection, ulceration and destruction of the deepest tissues of lower limbs, associated with neurologic alterations and diverse degrees of peripheral vascular disease.

Taking in consideration the well-studied antimicrobial properties of AgNPs, the aim of this study is to investigate the potential use of AgNPs for the treatment of DFU in patients. In this work, it is presented the case of DFU classified as Wagner ulcers II that was treated conventionally with an antibiotics schedule, and additionally AgNPs solution at 1.2 mg/ml was topically administered. The evolution of the wound healing during treatment was documented by photography, which clearly shows that the DFU significantly reduce its area without developing infection after treatment with AgNPs.

2. Methodology

2.1 Silver nanoparticle formulation

After comparison with different AgNPs commercially available, we concluded that only Argovit preparation resulted to have multiple certificates for their usage in veterinary and human applications [3]. Argovit is a preparation of highly dispersed AgNPs with an overall concentration of 200 mg/mL (20%) of PVP-coated AgNPs in water. The content of metallic silver in Argovit preparation is 12 mg/ml, stabilized with 188 mg/ml of polyvinylpyrrolidone (PVP). AgNPs dilutions were calculated according to metallic silver content in Argovit preparation.

2.2 Silver nanoparticle characterization

Size distribution and morphology of AgNPs were determined on the basis of the results obtained by TEM. Hydrodynamic radius and Zeta potential were measured by DLS. AgNPs were characterized by UV-Vis spectroscopy. Further characterization of

lyophilized Argovit was performed by FTIR-ATR analysis.

2.3 Method of topical AgNPs application

The method for topical administration of AgNPs for DFU treatment was developed by Med. César Alejandro Almonaci Hernández. The research protocol for this study was approved by the Bioethic Committee of the General Hospital of Tijuana, Baja California Mexico. All patients included in this study signed an informed consent letter.

2.4 Clinical case

Here it is presented a clinical case of diabetic patient with a DFU of grade II according to Wagner classification. The patient is a 46 years old male with a 10 years evolution of controlled type II diabetes. He presented a non-improved plantar ulcer in the right forefoot at metatarsus level without vascular involvement. DFU area is approximately 4 cm. After surgical cleaning protocol and treatment with conventional antibiotics, the surface area of the wound did not diminish and no significant improvement was noticed, therefore patient was included in this study. The treatment of DFU with AgNPs, started after the patient signed an informed consent letter given his approval to be included in the protocol. Afterwards, a complete exploration of the wound area, debridement when necessary and cleaning with surgical soap solution. Was performed. Then topical administration of AgNPs solution (with a metallic silver concentration of 1.2 mg/ml) was done firstly, and this treatment was repeated every 24 h for 12 days. The amount of metallic silver to be applied in the injury was calculated on the basis of the content of metallic silver present in the AgNPs solution Argovit, as mentioned in section 2.1. To record the evolution of the wound healing process, photographs were taken before and after the treatment with AgNPs.

3. Results

3.1 Silver nanoparticle characterization

Our group has recently reported the physicochemical characteristics of AgNPs [4].

3.2 Evolution of diabetic foot ulcer healing

The evolution of the wound healing process of DFU treated with AgNPs was documented by photography. In **figure 1** it is observed the chronological evolution of DFU from the patient. In **figure 1A** it is shown the initial appearance of a

Wagner II ulcer after the debridement process. The DFU is located in the forefoot and imposed on the metatarsal region of the rightfoot. The extended area of the DFU is approximately of 3 cm x 4 cm and 0.4 cm deep, with irregular contours and hyperkeratosis active edges. After 8 days of treatment with AgNPs solution (**figure 1B**), there was an improvement of the ulcer with reduction of edema. It exhibits a red coloration without signs of infection. The outer contour of the ulcer shows a progressive decrease of hyperkeratosis. It is clearly showed the presence of granular tissue and fibrin plaques at the center of the ulcer. **Figure 1C** depicts the evolution of the healing process after 12 days of topical administration of AgNPs solution, in this picture a progressive diminishment of the lesion extent is noticeable. An evident improvement of the coping is observed along the edges of the DFU while granulation tissue is depicted at the center of the ulcer. Indeed, the central zone of the ulcer shows a diminishment of its diameter with an evident improvement in the pigmentation that confirms the imminent re-epithelialization process with active edges that favoring closure of the injury.

4. Conclusions

To the best of our knowledge, we present for the first time a successful treatment of diabetic foot ulcer of II degree in Wagner classification with AgNPs administered topically into the wound. Daily topical administration of AgNPs solution with metallic silver concentration of 1.2 mg/mL causes an improvement of the wound healing in average in less than 12 days of treatment.

5. Acknowledgements

This work was supported by DGAPA PAPIIT-UNAM IT200114 project and CONACYT projects No. 279889 and 269071. Authors acknowledge the medical support given by Carmen Enriques Enriques, Willfred Cárdenas Acosta, Michel Natay Peraza Perales, Alejandra Rembao Hernández and Nora Inés Carricury Chequer. We are grateful to Dr. Leonel Cota (CNyN-UNAM) for the studentships given through the CONACYT-SNI 3 researcher fund.



Figure 1. Chronological evolution of the lesion of a diabetic foot ulcer classified as Wagner grade II of a 46 years-old male patient with type II diabetes
A) initial appearance of the ulcer. Evolution of the DFU after **B)** 8 days and **C)** 12 days of treatment with AgNPs solution.

References

- [1] J. P. Hernández-Ávila, Mauricio Gutiérrez and N. Reynoso-Noverón, "Diabetes mellitus en México. El estado de la epidemia," *Salud Pública de México*, vol. 55, no. 2, p. 129–S136., 2013.
- [2] S. Lopez-Antuñano and F. J. López-Antuñano, "Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=10640310>," *Salud Publica Mex.*, vol. 40, no. 4, pp. 281–292, 1998.
- [3] B. Borrego *et al.*, "Potential application of silver nanoparticles to control the infectivity of rift valley fever virus in vitro and in vivo.," *Nanomedicine*, vol. 12, no. 5, pp. 1185–1192, Mar. 2016.
- [4] K. Juarez-Moreno *et al.*, "Comparison of cytotoxicity and genotoxicity effects of silver nanoparticles on human cervix and breast cancer cell lines," *Hum. Exp. Toxicol.*, vol. Accepted, pp. 1–18, 2016.

OBA11-Luminescent Nanoparticles as Cancer Cell Biolabels

Karla Juarez-Moreno^{1,2*}, Dalia Chávez-García¹, Cristian Campos³, Joel Alderete³, Gustavo A. Hirata¹

¹Centro de Nanociencias y Nanotecnología, Universidad Nacional Autónoma de México, Carretera Tijuana-Ensenada. Km. 107, Ensenada, Baja California, C.P. 22860, México. E-mail: kjuarez@cnyn.unam.mx, hirata@cnyn.unam.mx

³CONACYT Research Fellow at Centro de Nanociencias y Nanotecnología, Universidad Nacional Autónoma de México, Carretera Tijuana-Ensenada. Km. 107, Ensenada, Baja California, C.P. 22860, Mexico. E-mails: kjuarez@cnyn.unam.mx

³Centro de Enseñanza Técnica y Superior. Campus Ensenada. Camino a Microondas Trinidad S/N Km. 1, Moderna Oeste, Ensenada, Baja California, C.P. 22860, México. E-mail: dalia.chavez@cetys.mx

⁴Facultad de Ciencias Químicas, Universidad de Concepción. Edmundo Larenas 129, Concepción, Chile. E-mails: ccampos@udec.cl; jalderet@udec.cl

Abstract. - Luminescent nanoparticles (NPs) can be potentially used in biomedical applications for imaging studies as biolabels. A key feature to be considered during luminescent NPs synthesis is their biocompatibility, which can be improved by coating the NPs surface with an inert polymer. Functionalization of NPs is performed to allow the linkage of some molecules such as proteins, vitamins and other biological ligands. These allow the NPs to restrict their binding to specific cells, through their receptors expressed on the cell membrane. Among others, folic acid receptor has been extensively studied to be overexpressed preferentially on the cell membrane of some types of cancer cells such as cervical and breast cancer. Herein, we evaluated the cytotoxic and genotoxic effect of luminescent NPs on different cancer cells. These results indicate that these luminescent NPs can be used in biomedical application as biolabels.

Key words: cancer, luminescent nanoparticles, biolabels, nanotoxicology, biomedicine.

1. Introduction

Cancer is the leading cause of death worldwide, according with the World Health Organization; and the GLOBOCAN, breast cancer is the leading cause of death among women and a major public health problem [1]. Traditional approaches for cancer detection are mammograms. However, the limitation of this technique is the high frequency of false negative results [2]. Thus, it is a necessity to

develop better and sensitive tools for cancer detection. In this sense nanotechnology is arising as a promising area for generation of novel and effective nanomaterials with wide biomedical applications, including both diagnosis and treatment.

There are several types of luminescent nanomaterials, for example, NPs synthesized based

on lanthanides and rare earths. These types of NPs can be classified as NPs with persistent luminescence or as up-conversion NPs [3,4] Up-conversion NPs can be excited at wavelengths in the near infrared (800-2500 nm) and their emission is observed in the wavelength of visible light, emitting in green or red colors (500- 700 nm), depending on the type of doping ions used.

Up-conversion NPs have the advantage that the wavelength at which they are excited falls within the biological window to avoid any damage to the cells. Thus, the obtained luminescence is easily detected at the wavelength of the visible light spectrum [5]. In addition, their luminescence does not exhibit a decay or photobleaching, which provides them an additional advantage over any other type of fluorophores.

The use of NPs for site-specific recognition of different cancer cells has been possible by their functionalization with biological ligands. Which are molecules capable of binding to membrane proteins overexpressed in cancer cells, known as biomarkers.

In our work group we have reported the synthesis, characterization and functionalization with folic acid of different luminescent NPs [6]. Herein it is reported the *in vitro* cytotoxic evaluation of up-conversion NPs in different breast and cervical cancer cell lines.

2. Methodology

2.1 Cell culture

Cells were obtained from the American Type Culture Collection (ATCC) the human cervix carcinoma HeLa cells (ATCC CCL-2) and breast cancer cells (MDA-MB-231 ATCC HTB-26). Cells were cultivated in DMEM media supplemented with 10% Fetal Bovine Serum (FBS, BenchMark, Gemini Bio Products), 1% Penicillin streptomycin (Sigma-Aldrich), 1% L-glutamine and 1.5 g/l sodium bicarbonate. Cells were propagated in growth medium and maintained at 37°C and 5% CO₂.

2.2 Cytotoxicity assay

Cell viability was determined by a colorimetric method, the assay is based on the reduction of the MTT reagent (methyl-3-(4,5-dimethylthiazol-2-yl)-5-(3,4-dimethylthiazol-2-yl)tetrazolium). Viable cells reduce the MTT reagent to a formazan product. The test was done in a 96-well plate containing 10,000 cells per well. The synthesis method of up-conversion NPs was previously described by our group [6]. Up-conversion NPs were ultrasonicated and diluted at 0.001 µg/mL to 1 µg/mL in DMEM media. Cancer cells were incubated for 24 hr at 37°C and 5% CO₂. Positive control was cells incubated with DMEM media but without NPs, simulating cell behavior under ideal conditions. Dimethyl sulfoxide was used to induce cell death for negative control. All data were normalized to data from positive control wells. All experiments were done in triplicate and the results were expressed as mean ± standard deviation of three independent experiments. The data were evaluated by analysis of variance (ANOVA), followed by Tukey's Multiple Comparison Test, using Graph Pad Prism 6.0 software. The results were considered statistically significant when $p < 0.05$.

2.3 Confocal microscopy cell imaging

To corroborate the binding and internalization of functionalized up-conversion NPs to cancer cells, it is necessary to determine their cellular localization thus confocal microscopy imaging was achieved. In this study, the nucleus of the fixed cells was stained with DAPI 4', 6-diamidino-2-phenylindole. Cancer cells (300,000) were seeded in DMEM media and incubated overnight at 37 °C and 5 % CO₂ into a culture Petri dishes coated with Poly-d-lysine (Mat-Tek P35GC1.5-10C). Cancer cells were incubated with 1 µg/mL of NPs for 24h at 37 °C and 5 % CO₂. After incubation, the cells were rinsed with PBS and fixed with 4 % formaldehyde-PBS solution at 4 °C for 15 min. Then they were permeabilized with 0.5 % Triton X/PBS 1x for 15 min at 4 °C. The nuclear staining was achieved by incubated the cells with DAPI at 0.5 ng/µL in darkness for 10 min at RT, followed by five washes with PBS. Nuclear staining with DAPI was also visualized with an inverted laser-scanning microscope Olympus Fluoview FV1000 (Japan) using an argon ion laser for excitation at 405

nm wavelength and filters for emission of DAPI. NPs fluorescent was detected using EGFP and RFP channels. The imaging parameters used produced no detectable background signal from any source other than from UCNPs and DAPI. The MetaMorph software for Olympus was used to capture the images.

3. Results and Discussions

3.1 Cytotoxicity assay and cellular imaging.

The cell viability of cancer cells incubated with different concentrations of luminescent NPs was measured by MTT reduction. Cytotoxicity of bare and functionalized luminescent NPs was evaluated in different cancer cell lines. The cell cytotoxicity results with the MTT assay for bare and functionalized are showed in **Figure 1** for breast cancer cells. It was clear that after functionalization with biological ligands such as folic acid, the cytotoxicity of the NPs reduced.

3.2 Cancer cell imaging with luminescent NPs

Luminescent NPs, in this case up-conversion NPs were excited with a 980 nm laser in cell culture medium with the characteristic green and red upconversion emissions. As it is shown in **Figure 2**, the nucleus is stained in blue with DAPI. Also, the up-conversion NPs were clearly localized in the cytoplasmic region as expected, since folic acid ligands were used for their internalization.

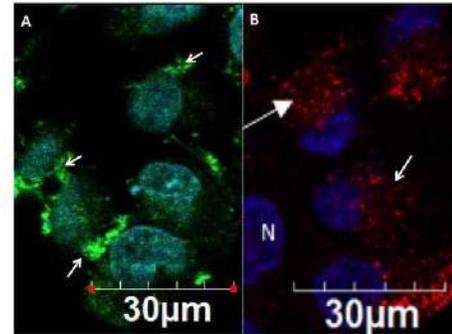


Figure 2. Confocal imaging detection of internalized luminescent nanoparticles (white arrows) inside breast cancer cells.

4. Conclusions

To pursuit the development for efficient biolabels, the cytotoxicity of up-conversion NPs was evaluated. The results revealed that after been functionalized with folic acid, NPs exhibited a null cytotoxicity effect on breast and cervical cancer cells. Moreover, by means of confocal microscopy, the luminescence of up-conversion NPs were observed in the cytoplasmic region of cancer cells, corroborating with this their cell bound. These results indicate that these luminescent NPs can be used in biomedical application as cancer cells biolabels.

References

- [1] J. Ferlay, H. R. Shin, F. Bray, D. Forman, C. Mathers, and D. M. Parkin, "Estimates of worldwide burden of cancer in 2008: GLOBOCAN 2008," *Int. J. Cancer*, vol. 127, no. 12, pp. 2893–2917, Dec. 2010.
- [2] D. Tomlinson, H. Martin, and L. Smith, "Multidrug-resistant breast cancer: current perspectives," *Breast Cancer Targets Ther.*, p. 1, Jan. 2014.
- [3] G. Blasse and B. Grabmaier, *Luminescent materials*, 1st ed. Telos, Berl: Springer-Verlag, 1994.

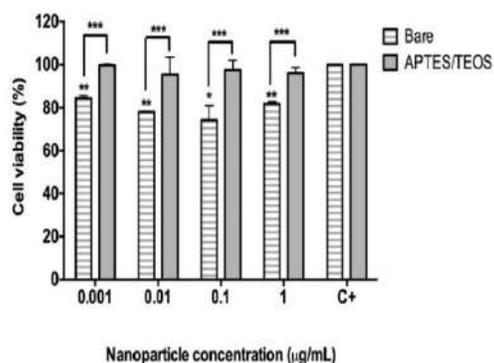
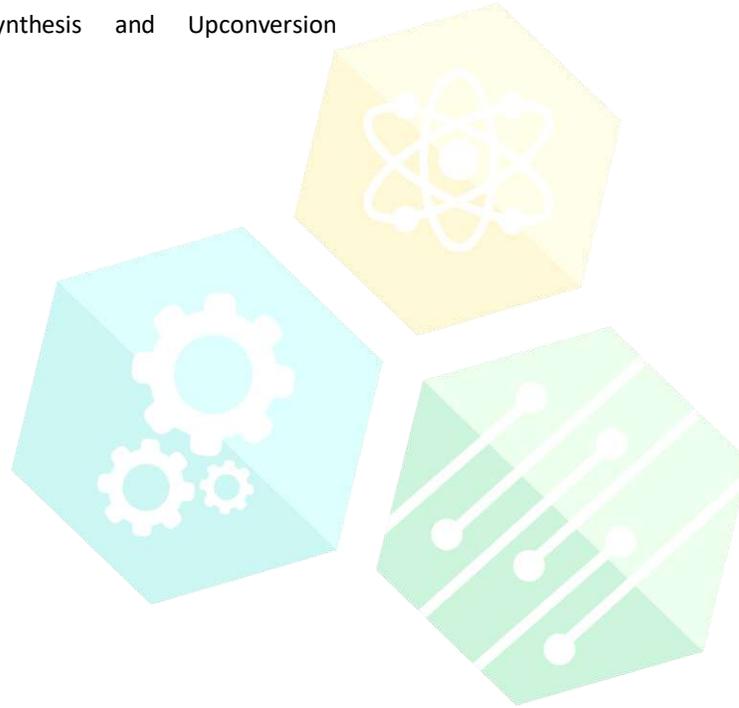


Figure 1. Cell viability test of up-conversion nanoparticles in breast cancer cell line.

- [4] J. Shen, L.-D. Sun, and C.-H. Yan, "Luminescent rare earth nanomaterials for bioprobe applications," *Dalt. Trans.*, vol. 0, no. 42, p. 5687, 2008.
- [5] R. R. Anderson and J. A. Parrish, "The optics of human skin," *J. Invest. Dermatol.*, vol. 77, no. 1, pp. 13–19, Jul. 1981.
- [6] D. H. Chávez, O. E. Contreras, and G. A. Hirata, "Synthesis and Upconversion

Luminescence of Nanoparticles Y₂O₃ and Gd₂O₃ Co-doped with Yb³⁺ and Er³⁺," *Nanomater. Nanotechnol.*, p. 1, 2016.



CONGRESO INTERNACIONAL
DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

OBA13-Electrolyte Selection for Electrokinetic Extraction of Metallic Pollutant

Emigdia Guadalupe Sumbarada-Ramos¹, Mercedes Teresita Oropeza-Guzmán², Rodolfo Salgado-Rodríguez², María Maura Margarita Teutli-León³, Bayardo Murillo-Rivera⁴, Ignacio González-Martínez⁴

¹Escuela de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología. UABC. Blvd Universitario 1000, Unidad Valle de Las Palmas, 22260 Tijuana, B.C.

²Centro de Graduados e Investigación del Instituto Tecnológico de Tijuana. Blvd. Industrial, s/n, Mesa de Otay, Tijuana B.C., C.P. 22500

³Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Facultad de Ingeniería, Edif. 123, C. U., Av. San Claudio y Blvd. Valsequillo, Puebla, Pue. México, C.P. 72570.

⁴Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, Depto. de Química, Av. San Rafael Atlixco 128, Col. Vicentina, México D.F. C.P. 09340

Resumen. - *La cantidad de sitios reportados como emergencias ambientales y su efecto dañino sobre la población aledaña, provoca la necesidad de aplicar la ciencia y la tecnología para generar soluciones. Ante esta problemática una posible solución es el tratamiento electrocinético, el cual es un proceso no destructivo que se realiza in-situ. Durante un proceso electrocinético se presentan tres fenómenos de transporte principales que son: Electro-ósmosis, electromigración y electroforesis, que actúan removiendo las especies que se encuentran en la solución de suelo. Sin embargo, en el suelo húmedo contaminado se encuentran también especies adsorbidas, las cuales deben ser desorbidas para que entonces puedan ser removidas por los fenómenos de transporte electrocinético. El estudio de los procesos de adsorción/desorción que ocurren en la interfase suelo-contaminante-solución de suelo permite analizar las condiciones químicas que provocarán la desorción de especies contaminantes. El ζ es un parámetro interconector de las propiedades fisicoquímicas de la interfase suelo-cación-solución de suelo que refleja en su valor los procesos de adsorción/desorción que ocurren en esta interfase, en este trabajo se presentan los valores de ζ en distintas soluciones electrolíticas. Se analizan muestras de suelos modelo caolín (C) y bentonita (B), así como de una muestra contaminada con metales procedente de Zimapán, Hidalgo. Los resultados indican que utilizar solución de citrato de amonio es la que provoca mayor desorción en las tres muestras de suelo.*

Palabras clave: Electrocinética, electrolito, potencial zeta, suelo.

Abstract. - *Do to the amount of polluted sites reported as environmental emergencies and its toxic effect on the surrounding population it is necessary to propose scientific and technologic solutions. One of the many possibilities it's to apply an electro kinetic treatment, which is a non-destructive in-situ process. During an electro kinetic treatment, the main transport phenomenon are: Electro osmosis, electro migration and electrophoresis, this phenomenon removes the species that are already present in the soil solution. However, they are also adsorbing species in the soil, which need to be desorbs so they can be removed by electro kinetic transport phenomenon. The study of the adsorption/desorption proces that occur at the soil-pollutant-soil solution interphase allow to analyze the chemicals conditions that will generate desorption of pollutant species. The ζ it's*

the parameter that interconnects the physicochemical properties of the soil-pollutant-soil solution interphase so the values of ζ reflect desorption/adsorption process that occurs in this interphase, in this work the ζ value in different electrolytic solutions is analyzed. The samples used for this study are two model soil kaolin (C) and bentonite (B), and a sample from the mining waste of Zimapan, Hidalgo. The results indicated that the used of ammonium citrate solution is the one that generated more desorption in the three soil samples.

Key words: Electrokinetic, electrolyte, zeta potential, soil.

1. Introducción

Para el tratamiento de suelos contaminados, existen diversas técnicas como son las de aislamiento y descontaminación. Las técnicas de aislamiento son el traslado, estabilización química y por último encapsular el suelo contaminado. Las técnicas de descontaminación se clasifican de la siguiente manera: Extracción por fluidos, tratamiento químico, tratamiento microbiológico y tratamiento térmico. Ante esta problemática ambiental el tratamiento electro-cinético es otra opción para la restauración de sitios contaminados, que dentro de sus ventajas se destaca que es un tratamiento que se realiza in-situ, no es destructivo y tiene costos promedio de 200 USD/m³ lo cual es equivalente a 90 USD/Tn. El tratamiento de suelos por electrocinética es un método fisicoquímico que requiere de la generación de campos eléctricos a fin de orientar el desplazamiento de los contaminantes. Se sabe que durante el proceso electrocinético se presentan tres fenómenos de transporte principales: electro-migración o movimiento de iones, electroforesis o movimiento de partículas coloidales en suspensión en solución de suelo y electro-osmosis o movimiento de agua. [1-6]

Los fenómenos de transporte electrocinético remueven especies que se encuentran en la fase acuosa de la solución de suelo (fase móvil), como es el caso de especies ocluidas y especies solubles pero no de las especies adsorbidas, lo anterior hace necesario estudiar los procesos de adsorción/desorción de especies sobre el suelo. El objetivo principal es determinar las condiciones que provoquen la desorción de especies metálicas

contaminantes del suelo, buscando que esto a su vez aumente la extracción y remoción de especies contaminantes. De igual manera es importante considerar condiciones en las cuales la especie desorbida se mantenga soluble. En este trabajo se estudian las interacciones de la interfase suelo-contaminante-solución de suelo mediante el análisis de un parámetro interconector de las propiedades de las tres matrices, este parámetro es el potencial Z (ζ). El cual se puede definir como una función de la superficie cargada de una partícula, cualquier capa adsorbida en la interfase y la naturaleza y composición del medio en el que la partícula está suspendida.

La extracción por electrocinética de contaminantes de suelo es un método ampliamente analizado e incluso aplicado ya a escala piloto en Europa y E.U. [2-4] Se han identificado y estudiado los factores que determinan la extracción de contaminantes por electrocinética, la aportación de este trabajo es la del uso de mediciones de ζ para primero seleccionar la solución electrolítica anódica y catódica, así como la solución humectante.

2. Metodología

La extracción de un contaminante del suelo húmedo por electrocinética requiere de condiciones de solución adecuadas para garantizar, primero la desorción de especies contaminantes e incorporación al medio fluido y posteriormente su remoción de la solución del suelo por los fenómenos de transporte electrocinético, principalmente por electroósmosis y electromigración. Es por esto que resulta necesario el estudio de los procesos de

adsorción/desorción en la interfase suelo-contaminante, analizando el efecto de la solución de suelo sobre estos procesos.

El estudio de los procesos de adsorción/desorción previo a las pruebas electrocinéticas al realizar mediciones de ζ reducirá la generación de residuos generados ya que no será necesario realizar las pruebas de electrocinética con diferentes soluciones electrolíticas en la celda OSMIC-I, solo será necesario realizarla con la solución que provoque mayor desorción, solubilidad y movilidad de la especie desorbida. La figura 1 describe la secuencia experimental general que fue propuesta con el fin de comprender y predecir los procesos de adsorción/desorción que ocurren en la interfase suelo-contaminante en diferentes soluciones electrolíticas.



Figura 1. Secuencia experimental para el estudio de la interfase suelo-contaminante-solución de suelo.

El análisis de las propiedades fisicoquímicas del suelo además de informar sobre las condiciones específicas de cada caso permite de antemano diferenciar el comportamiento que un suelo puede presentar durante un experimento electrocinético, ya que el conjunto de estas propiedades da información directa sobre la interacción suelo-contaminante inicial. Las mediciones de ζ se realizaron en el equipo Equipo Zeta-meter 3.0, utilizado para determinar ζ por medio de movilidad electroforética.

3. Resultados

Al conocer la textura de un suelo se tiene la primer expectativa sobre cómo puede ser la interacción suelo-contaminante, esto a consecuencia de la relación de sus propiedades fisicoquímicas con la textura. Las propiedades de mayor interés en este estudio son CIC, CE, pH, capacidad amortiguadora de pH y ζ . La Tabla 1 muestra los resultados de la caracterización fisicoquímica realizada a los suelos Bentonita (B) y caolín (C).

Tabla 1. Resultados de caracterización fisicoquímica de suelos B y C.

Etiqueta	CE (mScm ⁻¹)	pH	ζ (mV)	CIC (mol/kg)
B	13.0	9.09	-34.8	0.911
C	2.4	6.01	-35.6	0.261

Las muestras homoiónicas de suelo B y C que se obtienen se enlistan en la Tabla 2.

Tabla 2. Muestras homoiónicas de suelo B y C.

Etiqueta	Catión intercambiable	Co-lón
BS, CS	Cu ²⁺	SO ₄ ²⁻
BCl, CCl	Cu ²⁺	Cl ⁻
BNS, CNS	NH ₄ ⁺	SO ₄ ²⁻
BNCI, CNCI	NH ₄ ⁺	Cl ⁻
BNaS, CNaS	Na ⁺	SO ₄ ²⁻
BNaCl, CNaCl	Na ⁺	Cl ⁻

Los resultados de las mediciones realizadas a las muestras homoiónicas en diferentes soluciones electrolíticas se muestran en la Figura 2. El estudio de la interacción suelo-contaminante-solución de suelo, se realiza con el objetivo de conocer las condiciones de solución que provoquen mayor

desorción del contaminante del suelo, como se observa en la Figura 2 la mayor desorción de especies se logra cuando en la solución existe un medio con sales de amonio principalmente citrato de amonio, lo cual es trascendente porque esta solución no modifica las propiedades del suelo de manera negativa, ya que no es un medio agresivo como lo es utilizar soluciones de ácidos fuertes para remoción de metales en suelo. En la selección de electrolitos se consideró el tipo de interacción que provocaría la concentración 1 mM del electrolito realizando diagramas de especiación para simular la especiación del metal y lograr su solubilidad, por lo cual no se midió el pH de la solución

Se observa que aun cuando la adsorción de cobre por el suelo fue mayor comparada con la de sodio y amonio, el cobre es la especie que más se desorbe con estas soluciones por su afinidad con el amonio presente en solución lo cual indica que al encontrar condiciones de solución que desplacen la afinidad del contaminante por otra especie presente en solución se lograra su intercambio a esta matriz y su desorción del suelo.

El suelo de Zimapán está contaminado con metales como As, Se, Cd, Pb entre otros, los jales son residuos de la extracción de metales preciosos como oro y plata que fue una actividad muy productiva de la zona, las características fisicoquímicas de este suelo fueron simuladas con los suelos modelos B y C. La homoionización de las muestras permite estudiar de manera sistemática la adsorción de cationes sobre el suelo y simular la interacción suelo-cación, esperando obtener respuesta similar en el suelo del caso real de Zimapan. Por otra parte, se utiliza una muestra de suelo que interacciona con iones metálicos de radio iónico y carga similar al metal contaminado el suelo del Zimapan, pero sin su grado de toxicidad.

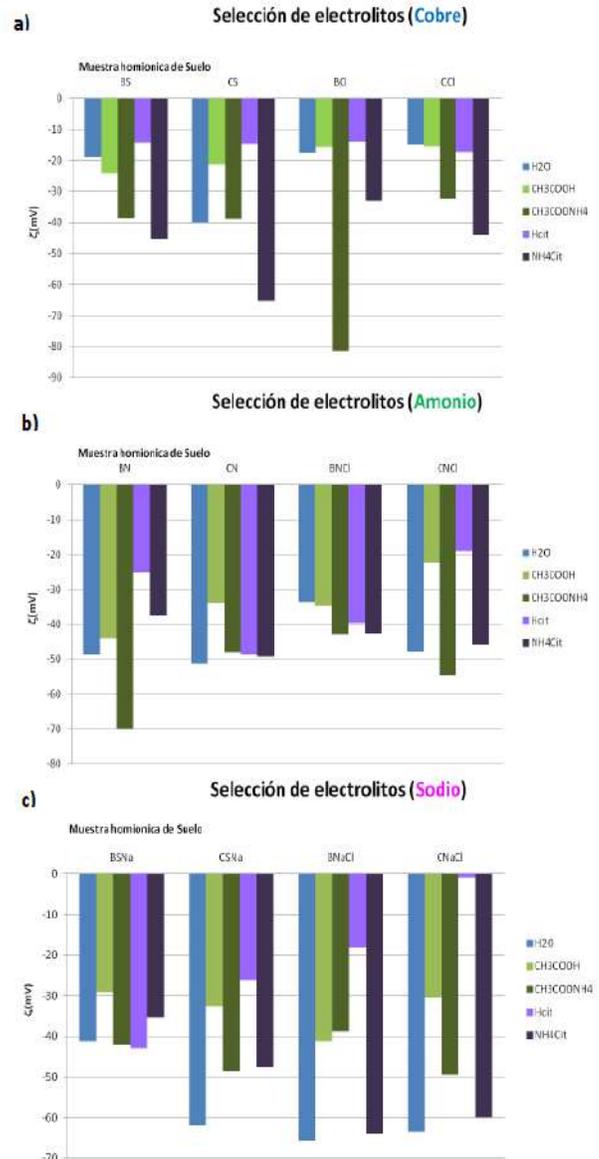


Figura 2. Valores de ζ obtenidos para las muestras de suelo homoiónicas dispersas en diferentes medios electrolíticos a) homoiónicas con cobre, b) homoiónicas con amonio, c) homoiónicas con sodio.

Los resultados de las mediciones de ζ determinadas en diferentes soluciones dispersantes a las muestras Bentonita (B), Caolín (C) y Zimapán (Z) se muestran en la Figura 3. Los resultados indican que el uso de soluciones con sales de amonio genera mayor intercambio de cationes lo cual se puede traducir en la desorción de metales contaminantes

del suelo. Los resultados muestran reproducibilidad en las mediciones, en base a estos la solución seleccionada para humectar el suelo en las pruebas de extracción de contaminantes por electrocinética es la de citrato de amonio 1 mM.

Los valores obtenidos de ζ son útiles para observar que cualquiera de las soluciones electrolíticas seleccionadas presentará un efecto sobre la desorción y por lo tanto sobre la remoción de especies al aplicar un tratamiento electrocinético. Lo interesante de elegir estas soluciones es que por ser ácidos y bases débiles no afectan la estructura del suelo, solo interaccionan con los iones presentes en la superficie de suelo o en los sitios de intercambio. A su vez no provocan cambios drásticos de pH que provoquen daño al suelo después de un tratamiento electrocinético.

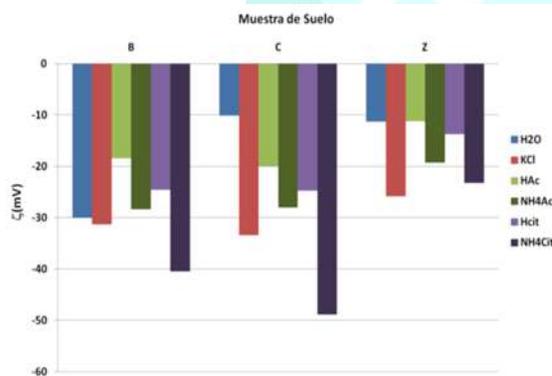


Figura 3. Valores de ζ obtenidos por movilidad electroforética determinado en dispersión en diferentes soluciones para las muestras B, C y Z.

4. Conclusiones

Utilizar soluciones con sales de amonio como citrato y acetato proporciona un medio adecuado para provocar la desorción de metales del suelo y su intercambio a la solución, además no es un medio agresivo que modifique las propiedades del suelo. Por otra parte, el uso de estas soluciones no genera un cambio de pH en la solución que afecte el proceso de extracción por electrocinética de contaminantes del suelo.

Referencias

- [1] Page M., Page C.; J. Environ. Eng. 2002; 259-272.
- [2] Yeung A., J. Hazard. Mater. 2005, 55, 221-237.
- [3] Virkutyte J., Sillanpaa M., Latostenmaa P.; the Sci. of the Total Environ. 2002, 289, 97-121.
- [4] Rutigliano L., Fino D., Saracco G., pecchia V., P. Spinelli; J. Appl. Electrochem. 2008, 38, 1035-1041.
- [5] Lima A. T., Kliingeld P., Heister K., Gustav-Loch J.P.; Separation and purification Technology, 2011, 79, 221-229.
- [6] Liaki C., Rogers C.D.F., Boardman D.I.; J. Appl. Electrochem. 2010, 40, 1225-1237.

OBA14- Micronúcleos en Reticulocitos de Ratones Balb/C Tratados de Forma Oral con Nanopartículas de Plata

Idalia Yazmín Castañeda-Yslas¹, Balam Ruiz-Ruiz¹, María Evarista Arellano-García¹, Karla Oyuky Juárez-Moreno², Olivia Torres-Bugarín³, Nina Bogdanchikova², Alexey Pestryakov⁴, Patricia Radilla-Chávez⁵

¹ Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de Baja California, KM. 106 Carr. Tij-Ens , 22800
idalia.castaneda@uabc.edu.mx, bruiz@uabc.edu.mx, evarista.arllano@uabc.edu.mx

² Centro de Nanociencias y Nanotecnología, Universidad Nacional Autónoma de México

³ Facultad de Medicina, Universidad Autónoma de Guadalajara

⁴ Universidad Politécnica de Tomsk, 634050, Rusia

⁵ Escuela de Medicina Ensenada, Universidad Autónoma de Baja California

Resumen. El estudio de la genotoxicidad en modelos murinos es útil para responder las dudas relacionadas con la seguridad por el uso de nanomateriales, sobre todo cuando se pretende el desarrollo de nuevas opciones terapéuticas. El propósito de este trabajo fue evaluar la capacidad genotóxica de AgNPs Argovit™ a partir de la técnica de micronúcleos en reticulocitos de sangre periférica de ratones, prueba ampliamente utilizada para conocer el potencial genotóxico de diferentes agentes. Las nanopartículas de plata se suministraron en dosis terapéuticas por vía oral (indicadas para perros como tratamiento para el moquillo) durante tres días a un grupo conformado por siete ratones y a otros dos grupos con igual número de ratones se administró respectivamente agua inyectable y arabinosa C. Los especímenes fueron medidos, pesados antes y después del experimento, también se tomaron diariamente muestras de sangre periférica mediante un corte en la punta de la cola para posteriormente realizar extendidos sobre portaobjetos para la prueba de micronúcleos en reticulocitos, los frotis se fijaron en etanol al 80% y se tiñeron con anaranjado de acridina para posteriormente leer en 1000 reticulocitos la presencia de micronúcleos con microscopio de fluorescencia. Los resultados preliminares muestran diferencias significativas en el número de micronúcleos en reticulocitos entre los tres grupos, por lo que se requiere comprobar este resultado con otro tipo de modelos *in vitro*.

Palabras clave Nanopartículas de plata, Micronúcleos, Reticulocitos, Genotoxicidad

Abstract. - *The purpose of this work was to evaluate the genotoxic capacity of AgNPs Argovit™ with the micronucleus technique in mouse peripheral blood reticulocytes. Argovit™ were given in therapeutic doses orally (indicated for dogs as treatment for distemper) for three days to a group consisting of seven mice and to two other groups with equal numbers of mice was respectively administrated injectable water and arabinose C. The specimens were measured, weighed before and after the experiment, peripheral blood samples were also taken daily by a cut at the tip of the tail and then extended on slides for micronucleus test in reticulocytes, the smears were fixed in ethanol at 80% and stained with acridine orange to later read in 1000 reticulocytes the presence of micronuclei with fluorescence microscopy. Preliminary results show significant differences in the number of*

micronuclei in reticulocytes between the three groups, so it's necessary to verify this result with another type Of in vitro models.

Key words: Silver nanoparticles, Micronuclei, Reticulocytes, Genotoxicity

1. Introducción

Las nanopartículas de plata (Ag-NPs) son muy utilizadas en aplicaciones biomédicas. El número de investigaciones sobre la toxicidad de las Ag-NPs va en aumento y poco se ha concluido sobre los factores que inciden en su toxicidad a nivel celular [1] [2], pero sigue persistiendo controversias respecto al entendimiento de las vías del daño en líneas celulares, en lo referente a las pruebas experimentales y el tamaño de las nanopartículas [3]. Desde 2004, las nanopartículas de plata Argovit™ se estudian por su actividad antiviral en contra de rinotraqueítis infecciosa y diarrea viral bovina [4]. Argovit™ usada para el tratamiento de otitis humana mostró remisión de los síntomas y reepitelización de los tejidos [5]. La administración oral en perros de Argovit™ registró una muy alta tasa de recuperación para tratar el moquillo [6]. En pruebas *in vivo* con modelos murinos se probó la eficacia de Argovit™ contra el virus de la fiebre del Rift, [7] y en cuanto a su efecto inmunológico, se reveló que no hay efecto tóxico en las células inmunes y los órganos de ratones [8]. Se ha mostrado que las nanopartículas de plata Argovit™, presenta efectos citotóxicos en ocho líneas de células de cáncer e induce la formación de especies reactivas de oxígeno (ROS) [9].

El presente trabajo explora la genotoxicidad de nanopartículas de plata Argovit™, y el antineoplásico arabinosa C. (Ara-C) el cual evita la reparación del ADN y causa citotoxicidad, en contraste con un control de agua. Aquí se presentan los resultados preliminares de estos experimentos que muestran en general una menor genotoxicidad de las AgNPs en comparación con Ara-C.

2. Metodología

Tres grupos de ratones balb/c se usaron para probar el efecto genotóxico mediante la prueba de micronúcleos en reticulocitos de sangre periférica de ratón posterior a la administración de AgNPs de la marca Argovit™ y el fármaco antineoplásico arabinosa-C.

2.1 Diseño experimental

21 ratones balb/c de 5-6 semanas de edad, con peso de $\bar{X}=19.94$ gramos, formaron aleatoriamente 3 grupos de 7 ratones cada uno. Al primer grupo se le administro solamente agua inyectable intraperitonealmente, el segundo se trató con 6mg/kg de Arabinosa-C intraperitoneal y al tercero Argovit™ 6 mg/kg con cánula de alimentación vía oral estos tratamientos se repitieron por tres días consecutivos. Se prepararon frotis de sangre caudal por duplicado cada día después del segundo día posterior a la aplicación, y se practicó eutanasia al séptimo día [10].

2.2 La prueba de micronúcleos

A cada uno de los organismos de cada grupo se les tomó una muestra de sangre diariamente mediante el corte de la punta de la cola a partir de las 48 horas de iniciados los experimentos. Se realizaron dos frotis con la sangre de cada animal y se analizaron para determinar el daño acumulado con el número de reticulocitos con micronúcleo (EPCMN) en 1000 EPC para observar el efecto del tratamiento probado después de 24 a 48 horas post-tratamiento, se toma en cuenta que los EPCMN demostrarían que existe genotoxicidad reciente (en las últimas 24 horas). Los conteos de diferentes tratamientos se

codificaron y se analizaron estadísticamente mediante la prueba H de Kruskal-Wallis.

3. Resultados

Las AgNPs Argovit™ produjeron menos genotoxicidad que el aneoplásico Ara-C ya que indujeron menos EPCMN. En los primeros tres días después de tratar a los ratones con AgNPs, se produjo menos daño incluso que el grupo control al que solo se le administró agua ($p < 0.05$), aunque se advierte un ligero aumento en el día 5, (Fig 1).

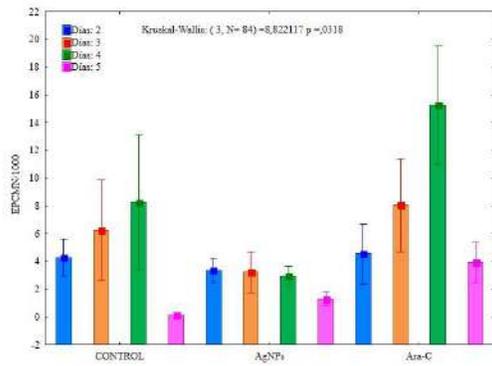


Figura 1. Eritrocitos policromáticos micronucleados en 1000 eritrocitos policromáticos.

El efecto de la genotoxicidad acumulada se muestra en la figura 2 y conforme a la prueba H de Karuskal-Wallis las AgNPs Argovit™ no incrementaron significativamente el número de micronúcleos en 10000 eritrocitos, en comparación con el grupo control y el tratamiento con Ara-C, después del sexto día de aplicación, en cambio el antineoplásico Ara-C, si muestra efectos genotóxicos acumulativos al sexto día de aplicación ($p < 0.05$).

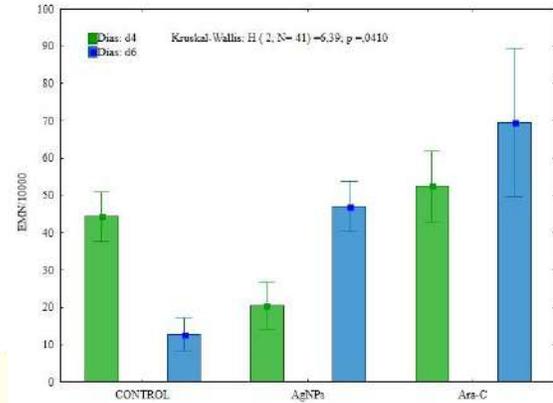


Figura 2. Eritrocitos micronucleados en 10 000 eritrocitos totales.

4. Conclusiones

La administración de Arabinosa-C produce mayor genotoxicidad, ya que causa daños morfológicos en el núcleo y fragmentación en el ADN, que pueden atribuirse a la formación de especies reactivas de oxígeno.

De acuerdo con la prueba de Kruskal Wallis los resultados indican que el fármaco Ara-C induce mayor genotoxicidad que las AgNPs después de 24 horas de administrarlas, al igual que el efecto acumulativo después de 5 días de aplicación. Aunque estos resultados son preliminares se advierte como se esperaba que las AgNPs Argovit™ en las concentraciones probadas son potencialmente no genotóxicas para este modelo de ratón. Lo que ofrece las primeras evidencias de la seguridad toxicológica de las AgNPs Argovit™.

Referencias

- [1] B. Nowack, H. F. Krug, y M. Height, "120 years of nanosilver history: Implications for policy makers", *Environ. Sci. Technol.*, vol. 45, núm. 4, pp. 1177–1183, 2011.
- [2] L. Ge, Q. Li, M. Wang, J. Ouyang, X. Li, y M. M. Q. Xing, "Nanosilver particles in medical applications: Synthesis, performance, and toxicity", *International*

- Journal of Nanomedicine*, vol. 9, núm. 1. pp. 2399–2407, 2014.
- [3] Y. Li *et al.*, “Genotoxicity of silver nanoparticles evaluated using the Ames test and in vitro micronucleus assay”, *Mutat. Res. - Genet. Toxicol. Environ. Mutagen.*, vol. 745, núm. 1–2, pp. 4–10, 2012.
- [4] A. G. Glotov, T. I. Glotova, A. A. Sergeev, T. V. Belkina, y A. N. Sergeev, “[Antiviral activity of different drugs in vitro against viruses of bovine infectious rhinotracheitis and bovine diarrhea]”, *Vopr Virusol*, vol. 49, núm. 5, pp. 43–46, 2004.
- [5] F. V. Semenov y K. M. Fidarova, “[The treatment of the patients presenting with chronic inflammation of the trepanation cavity with a preparation containing silver nanoparticles following sanitation surgery of the open type]”, *Vestn. Otorinolaringol.*, núm. 6, pp. 117–119, 2012.
- [6] N. Bogdanchikova *et al.*, “Silver nanoparticles composition for treatment of distemper in dogs”, *Int. J. Nanotechnol.*, vol. 13, núm. 1/2/3, p. 227, 2016.
- [7] B. Borrego *et al.*, “Potential application of silver nanoparticles to control the infectivity of Rift Valley fever virus in vitro and in vivo”, *Nanomedicine Nanotechnology, Biol. Med.*, vol. 12, núm. 5, pp. 1185–1192, 2016.
- [8] O. V. Kalmantaeva *et al.*, “Silver-nanoparticle exposure on immune system of mice depending on the route of administration”, *Nanotechnologies Russ.*, vol. 9, núm. 9–10, pp. 571–576, 2014.
- [9] K. Juarez-Moreno *et al.*, “Comparison of cytotoxicity and genotoxicity effects of silver nanoparticles on human cervix and breast cancer cell lines.”, *Hum. Exp. Toxicol.*, p. 960327116675206, 2016.
- [10] Committee, *Guide for the Care and Use of Laboratory Animals: Eighth Edition*. 2011.

Agradecimientos: a todas las instituciones involucradas, así como a los proyectos PAPIIT-UNAM IT200114, Proyecto CONACYT 270242, Proyecto del CONACYT de Redes No. 279889. En especial Vector-Vita Ltd., por proporcionar las nanopartículas de plata.

OBA15- Silver Nanoparticles as Nanoantibiotics: A Comparative Analysis of their Toxicity on Biological Systems of Different Complexity

Roberto Vázquez-Muñoz^{1,2}, Belén Borrego Rivero³, Karla Juárez-Moreno¹, Maritza R. García-García¹, Josué David Mota Morales^{1,4}, Nina Bogdanchikova¹, Alejandro Huerta Saquero^{1,*}

¹Centro de Nanociencias y Nanotecnología, Universidad Nacional Autónoma de México, Km 107; Carretera Tijuana-Ensenada. CP 22860, Ensenada, Baja California, México.

²Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Carretera Tijuana-Ensenada; 3918. CP 22860, Ensenada, Baja California, México

³Centro de Investigación en Sanidad Animal, INIA (National Research Institute for Agricultural and Food Technology), Carretera Algete el Casar s/n. 28130. Valdeolmos, Madrid, Spain

⁴Centro de Física Aplicada y Tecnología Avanzada, Universidad Nacional Autónoma de México, Querétaro, Querétaro 76230, México.

*corresponding autor: saquero@cnyunam.mx

Abstract. - *Currently, silver nanoparticles (AgNPs) are extensively studied for biomedical applications, but although nanomaterials provide many benefits, recently their comparative toxicity have barely been explored. In the current work, AgNPs toxicity on biological systems of different levels of complexity was assessed in a comprehensive and comparatively way. The organisms included viruses, bacteria, microalgae, fungi, animal and human cells (including cancer cell lines). We found that growth of biological systems of different taxonomical groups –in vitro, at a cellular level- is inhibited at concentrations of AgNPs within the same order of magnitude ($10^1 \mu\text{g/ml}$). Thus, the AgNPs toxicity does not depend on the complexity of the organisms. The fact that cells and virus are inhibited with a concentration of AgNPs within the same order of magnitude could be explained considering that silver affects fundamental structures for cells and virus alike.*

Keywords: Silver nanoparticles; nanotoxicology; biological systems complexity; antimicrobial activity.

1. Introduction

Silver nanoparticles (AgNPs) are among the most studied nanomaterials due to all their applications. In the medical field, AgNPs display antimicrobial and antiviral activity[1]. Although their many benefits, their relative toxicity has not been appropriately

addressed. The few published studies of toxic effects of AgNPs on biological systems, i.e. viruses, bacteria or human cells, report different and even contradictory results. The research of the AgNPs comparative toxicity on different biological systems has become a priority task.

It is generally assumed that the toxicity of AgNPs decreases as the complexity of biological systems rises [2]–[6]; but some studies suggest there is no such a difference [7], [8]. Still, comparative analyses of the toxic effects of a single silver nanoparticle on biological systems of different level of complexity are scarce and are not extensive [5], [9]. Also, antimicrobial tests for AgNPs are not standardized leading to limited capacity to assess the toxic effect of AgNPs on different taxa.

In this work, we performed a comparative analysis of the toxic effects of a specific AgNPs on biological systems of different complexity levels, from viruses to human cancer cell lines. Also, the implications of such analysis are discussed.

2. Methodology

2.1 Virus, microorganisms, cells and culture conditions

For the systematic, comparative analysis, we used the following biological models: Rift Valley Fever Virus (RVFV) MP12 strain from the National Research Institute of Agricultural and Food Technology, Spain; The bacteria *Escherichia coli* DH5 α (Gram-negative) and *Staphylococcus aureus* (Gram-positive), from the Centro de Nanociencias y Nanotecnología – Universidad Nacional Autónoma de México; the microalgae *Rhodomonas* sp., from the Faculty of Marine Sciences of the Universidad Autónoma de Baja California; The fungi *Candida albicans* ATCC SC5614 (dimorphic yeast) and *Fusarium oxysporum*, Race III, (filamentous), from the Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada; the mammalian cells were Dendritic Cells from Murine models and Vero cells (ATCC CCL-81); the human cancer cells lines HeLa and MDA-MB-231 from the ATCC.

2.2 AgNPs preparation and characterization

The AgNPs are stabilized with Polyvinylpyrrolidone (PVP). These PVP-AgNPs were obtained from Vector Vita Ltd® (Russia). AgNPs were analyzed by UV-Vis spectrophotometry (Multiskan Go, Thermo Scientific), λ = 200-800 nm. Also, an FT-IR spectroscopy analysis was performed λ =4000-400 cm^{-1} (Nicolet 6700; Thermo Scientific). The morphology was examined by Transmission Electron Microscopy in a Jeol JEM 2100. AgNPs dilutions were prepared in a range from 0.001 to 100 $\mu\text{g/ml}$ of silver

2.3 Toxicological assays

For the virus infection assays, 0.3 to 3×10^2 plaque-forming units (PFU) of RVFV were incubated with AgNPs. After, viruses were inoculated onto Vero cells grown in MW6 plates for 1 h, washed; and then semi-solid medium with agar was added. Plates were incubated until infection plaques were clearly developed, then were fixed and stained with crystal violet dye. For bacteria and fungi, the M09 and M27 microdilution assays, respectively, from the Clinical Laboratory Standard Institute were used, with some modifications (YPD culture media for fungi). Microbial cultures were exposed to AgNPs. Inhibition was measured by UV-Vis spectrophotometry. Microalgae inoculum was adjusted to an optical density of 0.065 at λ =670 nm in a Jenway 6505 UV-Vis spectrophotometer. Microalgae were cultured in F2 media, and exposed to AgNPs, for 24 h, at room temperature, and under continuous light conditions. Murine bone marrow derived dendritic cells were grown in RPMI culture media, supplemented with 10% FBS, 1% of streptomycin-penicillin G, at 37°C with 5% CO $_2$ atmosphere. Cytotoxicity was evaluated with the dual fluorescein diacetate /ethidium bromide test after 24 h of cell incubation with AgNPs. Vero cells were seeded in 96-multiwell plates with DMEM media, and 24 h later, the AgNPs were added to the medium, then incubated for 24 h more, at 37°C. Viability was evaluated by the MTS Cell Proliferation Assay (Promega). HeLa and MDA-MB-231 cancer cell lines were cultured in RPMI-1640 or DMEM

media supplemented with 10% FBS, 1% penicillin-streptomycin, 1% L-glutamine and 1.5 g/l sodium bicarbonate. Cells were maintained at 37°C and 5% CO₂. Cell viability was assessed by the MTT method reported by Mosmann [10].

3. Results and Discussions

3.1 AgNPs characterization

AgNPs are spheroids of 35 ± 15 nm in diameter (fig. 1a). UV-Vis analysis shows a peak at 410 nm, which is typical for metallic silver nanoparticles (fig. 1b). FT-IR measurements of lyophilized AgNPs presented a profile similar to the PVP standard.

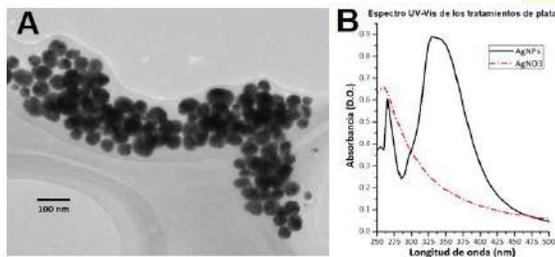


Figure 1. AgNPs characterization. TEM micrography and UV-Vis profile.

3.2 Toxicological assays

Plaque-forming units of RVFV were reduced by 98% at a concentration of 12 µg/ml of silver. The minimum inhibitory concentration (MIC) for the bacterial strains *E. coli* and *S. aureus*, was 12 µg/ml of Ag. The Effective Lethal Concentration for the microalgae *Rhodomonas* sp. was 4 µg/ml of Ag. In fungi, the MIC was 42 µg/ml for *C. albicans*, and, 20 µg/ml for *F. oxysporum*. The Lethal Dose in all animal and cancer cells ranged from 10 to 12 µg/ml of Ag. In summary, AgNPs exerted inhibitory effects in all biological models tested in vitro (figure 1). We also performed an exhaustive literature revision regarding the toxicity of AgNPs in organisms of different taxonomic groups (included in figure 2). We only considered those studies with an adequate characterization of the AgNPs. AgNPs toxicity is not

related to the complexity of the cell (structural or physiological).

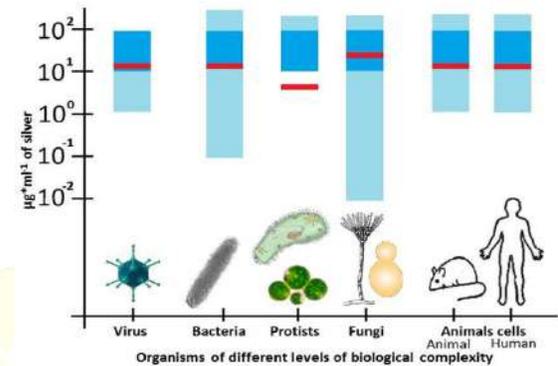


Figure 2. Inhibition range (light blue bars) of the AgNPs inhibitory concentrations in literature. Most studies report an inhibitory concentration of 10^1 µg/ml of silver – AgNPs- (dark blue bars). The other 36% falls in the range from 10^{-2} to 10^2 µg/ml. The red lines show the concentration range found in our study, using the same nanomaterial (PVP-AgNPs) in all the biological systems tested.

4. Conclusions

To the best of our knowledge, this is the first time that a single nanomaterial is tested in such a wide spectrum of BS of different levels of complexity, ranging from virus to human cell lines. Our experimental analysis showed that viruses and cells of different complexity are inhibited *in vitro* at similar concentrations of silver – 10^1 µg/ml. Also, the meta-analysis supports our results. Despite the differences between the different AgNPs, the lethal concentration in the majority of the studies for both viruses and cells occurs within narrow concentration range around 10^1 µg/ml of Ag.

References

- [1] H. H. Lara, E. N. Garza-Treviño, L. Ixtepan-Turrent, and D. K. Singh, "Silver nanoparticles are broad-spectrum bactericidal and virucidal compounds.," *J. Nanobiotechnology*, vol. 9, p. 30, 2011.

- [2] G. Franci, A. Falanga, S. Galdiero, L. Palomba, and M. Rai, "Silver nanoparticles as potential antibacterial agents," *Molecules*, 2015.
- [3] J. Il Kwak and Y.-J. An, "Trophic transfer of silver nanoparticles from earthworms disrupts the locomotion of springtails (Collembola)," *J. Hazard. Mater.*, May 2016.
- [4] F. Martinez-Gutierrez, P. L. Olive, A. Banuelos, E. Orrantia, N. Nino, E. M. Sanchez, F. Ruiz, H. Bach, and Y. Av-Gay, "Synthesis, characterization, and evaluation of antimicrobial and cytotoxic effect of silver and titanium nanoparticles," *Nanomedicine Nanotechnology, Biol. Med.*, vol. 6, no. 5, pp. 681–688, 2010.
- [5] A. Panáček, M. Kolář, R. Večeřová, R. Pucek, J. Soukupová, V. Kryštof, P. Hamal, R. Zbořil, and L. Kvítek, "Antifungal activity of silver nanoparticles against *Candida* spp.," *Biomaterials*, vol. 30, no. 31, pp. 6333–6340, 2009.
- [6] F. Seitz, R. R. Rosenfeldt, K. Storm, G. Metreveli, G. E. Schaumann, R. Schulz, and M. Bundschuh, "Effects of silver nanoparticle properties, media pH and dissolved organic matter on toxicity to *Daphnia magna*," *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, vol. 111, pp. 263–270, 2015.
- [7] C. Greulich, D. Braun, A. Peetsch, J. Diendorf, B. Siebers, M. Epple, and M. Köller, "The toxic effect of silver ions and silver nanoparticles towards bacteria and human cells occurs in the same concentration range," *RSC Advances*, vol. 2, no. 17. p. 6981, 2012.
- [8] J. You, Y. Zhang, and Z. Hu, "Bacteria and bacteriophage inactivation by silver and zinc oxide nanoparticles," *Colloids Surfaces B Biointerfaces*, vol. 85, no. 2, pp. 161–167, 2011.
- [9] S. Ghosh, R. Kaushik, K. Nagalakshmi, S. L. Hoti, G. a. Menezes, B. N. Harish, and H. N. Vasan, "Antimicrobial activity of highly stable silver nanoparticles embedded in agar-agar matrix as a thin film," *Carbohydr. Res.*, vol. 345, no. 15, pp. 2220–2227, 2010.
- [10] T. Mosmann, "Rapid colorimetric assay for cellular growth and survival: application to proliferation and cytotoxicity assays.," *J. Immunol. Methods*, vol. 65, no. 1–2, pp. 55–63, Dec. 1983.

CBA1- Silver Nanoparticles Effect in the Manufacturing of Footwear for Patients with Risk of Ulcer Development

María Maldonado-Vega¹, Doralinda A. Guzmán-Ortiz², David A. Camarena-Pozos³, Andrea P. Castellanos-Arévalo³, Adriana Salinas Ramírez⁴, Karla Juarez-Moreno^{5,6,*}, Maritza R. García-García^{5,6}, Alexey Pestryakov⁷, Nina Bogdanchikova^{5,*}

¹Hospital Regional de Alta Especialidad del Bajío. Dirección de Planeación, Enseñanza e Investigación. León, Guanajuato, México.

²Centro de Investigación y de Estudios Avanzados, Unidad Irapuato (CINVESTAV).

³Departamento de Investigación en Ambiental, Centro de Innovación Aplicada en Tecnologías Competitivas (CIATEC, AC), León, Guanajuato, México.

⁴Comercializadora de Sistemas de Innovación (CSI), S.A. de C.V. León, Guanajuato.

⁵Centro de Nanociencias y Nanotecnología, Universidad Nacional Autónoma de México, 22800, Ensenada, Baja California, México.

⁶CONACYT Research Fellow at Centro de Nanociencias y Nanotecnología, Universidad Nacional Autónoma de México, 22800, Ensenada, Baja California, México.

⁷Tomsk Polytechnic University, 634050 Tomsk, Russia.

Abstract. – *Foot infections are difficult to eradicate, patients with diabetes mellitus are more susceptible to them, therefore preventive strategies and effective antimicrobial agents are needed. The antimicrobial properties of silver nanoparticles (AgNPs) are well known thus they are a trend for biomedical applications. The aim of this study was to investigate antibacterial and antifungal activity of leather coated with AgNPs against two bacteria species *Pseudomonas mendocina* and *Pseudomonas syringae* and the fungi *Tricophyton mentagrophytes* responsible for foot infections. It was found a diminishment in the growing of *T. mentagrophytes* in the leather coated with 2.5 mg/ml of AgNPs, however this concentration was not enough to abolish fungal growing. In conclusion, the application of AgNPs in porcine leather decreased its softness but added beneficial antibacterial properties to avoid bacterial foot infections. Leather coated with AgNPs could be used as a suitable material to prevent foot infections and provided additional value for shoes manufacturing.*

Key words: silver nanoparticles, antimicrobial, diabetic foot ulcers, bionanotechnology, nanotechnology, nanomaterials.

1. Introduction

Foot infections are a damaging and costly health problem that varies from local fungal infections of

the foot nails to necrotizing limb. This condition is frequent in people who have athlete's foot, peripheral arterial disease and *diabetes mellitus* [1]. Foot infections are a common complication in

diabetic patients and contribute to the apparition of diabetic foot ulcers (DFU). This represents the major cause of hospitalization and limbs amputation among diabetic patients, from all the amputation cases, 85% was preceded by microbial infection and foot ulceration [2]. According with the World Health Organization, in 2014 there were 422 million of diabetic people and 1.5 million of people have died due to this illness in 2012 [3,4]. In Mexico DM is the second major cause of death [5]. The lifetime risk of patients with DM to develop DFU is 25% and it is estimated that every 30 seconds a lower limb is lost somewhere in the world as a consequence of DM [6,7].

Dermatophytosis is recognized as a common foot infection in the keratin layer of the skin that is caused by microorganisms such as *Trichophyton*, *Epidermophyton* and *Microsporum*.

It is well known that footwear can be a promoter of foot infection by their contribution to skin injuries and to provide a microenvironment suitable for the proliferation of microorganisms.

Therefore, preventive strategies to avoid foot infections are needed in addition to therapeutic approaches. Recently special footwear manufactured with soft materials to reduce skin injuries and foot pressure has been developed. However, after the use of this commercial footwear, low satisfaction by users is reported because protection against foot infections is poor [8]. In this sense nanotechnology offers promising solutions for biomedical applications. AgNPs is the most studied nanomaterial by their potent microbicide activity [9]. It has been reported that the AgNPs can inhibit the growth of bacteria linked to foot infections and that had developed multidrug resistance such as *Bacillus circulans*, *Acinetobacter baumannii*, *Pseudomonas aeruginosa* and *Staphylococcus aureus*.

Taking in consideration the antimicrobial properties of AgNPs, the aim of this study was to develop leather coated with AgNPs and to investigate their influence in its texture properties. Additionally, the antibacterial and antifungal activity of AgNPs presented in the coated leather was evaluated against microorganisms responsible

for foot infections such as *Trichophyton mentagrophytes*, *Pseudomonas mendocina* and *Pseudomonas syringae*.

2. Methodology

2.1 Silver nanoparticle formulation

After comparison with different AgNPs commercially available, only Argovit preparation resulted to have multiple certificates for their usage in veterinary and human applications [10]. Argovit is a preparation of highly dispersed AgNPs with an overall concentration of 200 mg/mL (20%) of PVP-coated AgNPs in water. The content of metallic silver in Argovit preparation is 12 mg/ml, stabilized with 188 mg/ml of polyvinylpyrrolidone (PVP). AgNPs dilutions were calculated according to metallic silver content in Argovit preparation [11]

2.2 Development and preparation of leather coated with AgNPs

Porcine leather was cut off to take pieces of 225 cm². Then, the square pieces were sprinkled with 7 ml of dissolutions of AgNPs in order to obtain the leather-coated with different concentrations of AgNPs as mentioned above. Subsequently, the leather was allowed to dry 20 minutes at room temperature.

2.3 Analysis of the metallic silver concentration in the leather coated with AgNPs

After drying, the leather coated with AgNPs was prepared to assessment the concentration of metallic silver on the leather by inductively coupled plasma/atomic emission spectrometry (ICP-AES) method.

2.4 Texture analysis in the leather coated with AgNPs

Texture and softness changes after the AgNPs application were evaluated with a TA.XTPlus® Texture Analyzer (Hamilton, MA). The test was performed with a speed of 40 mm/s and load handling for 4 and 30 Kg, with a minimum speed of 0.01 mm/s, to determine the final smoothness of the leather.

2.5 Antibacterial and antifungal analysis

For microbiological assays, the leather was cut off to obtain 1 cm² pieces. Then, the antimicrobial activity of AgNPs impregnated in the leather was investigated against the bacteria *Pseudomonas mendocina* and *Pseudomonas syringae* and the fungi *Trichophyton mentagrophytes*. The antibacterial activity of AgNPs impregnated in the leather was evaluated by the zone of inhibition (Zoi) test.

3. Results and Discussions

3.1 Preparation of the leather coated with AgNPs

In this study, growth inhibition by leather coated with AgNPs on bacterial and fungal microorganisms responsible of foot infections was evaluated. In addition, the effect of AgNPs on the leather texture was analyzed.

In order to develop a leather footwear material coated with AgNPs, a simple method was developed based on sprinkling AgNPs directly in the material and let it dried. Thus, the ICP-AES results showed that the metallic silver content in the leather was not proportional to the AgNPs concentration used (Table 1).

Table 1. Characterization of the leather coated with AgNPs.

Applied concentration of AgNPs (%)	Applied concentration of AgNPs (mg/mL)	Obtained concentration of metallic silver (mg/cm ²)
0	0	0.006
0.0025	0.025	1.260
0.005	0.05	2.810
0.05	0.5	2.840
0.25	2.5	2.300

3.2 Effect of the AgNPs in the leather texture

Textural changes in the leather were evaluated after AgNPs application through a texturimeter. The data represent the penetration distance in the leather.

As it is shown in Figure 1, the texture analysis showed a decrement in the softness on the leather coated with AgNPs. The decreased of leather softness was inversely proportional to the AgNPs concentration.

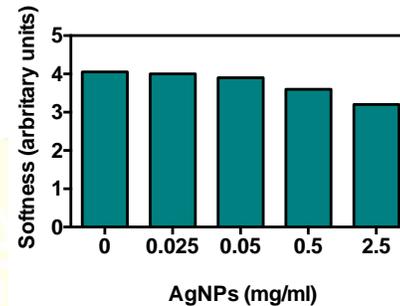


Figure 1. Texture characterization of leather coated with AgNPs. The data showed an arbitrary value associated with the softness of the material. Data were obtained with the TA.XTPlus® Texture Analyzer.

3.3 Antibacterial and antifungal activity of AgNPs impregnated in leather

Leather sprinkled with AgNPs was used to assess Zoi tests to investigate their antimicrobial properties against major bacterium and fungi present in footwear. The results from the Zoi tests showed that the antibacterial effect of AgNPs-coated leather against *P. mendocina* and *P. syringae* was evident when the content of metallic silver was 0.5 mg/mL, after this amount of AgNPs no differences in bacterial growth were evident (Table 2).

4. Conclusions

The microorganisms tested herein are considered to be the main responsible pathogens in foot infections of diabetic patients. Antimicrobial activity against them showed that content of AgNPs from 0.025 to 0.05 mg/mL of metallic silver is not enough to abolish the microbial growth in footwear leather but practically does not affect its softness.

AgNPs at a concentration of 0.5 mg/mL of metallic silver or higher, are an excellent antibacterial and fungistatic agent but diminished the softness of the

leather necessary for footwear adequate for diabetic patients. It is recommendable to apply lower concentrations of AgNPs into shoes leather to maintain its softness and to add a mild protective effect against bacteria and fungi.

Table 2. Effect of leather coated with AgNPs on the ZoI of *P. mendocina* and *P. syringae*. After 24 hours. The 0-0 data represents entire bacterial growth in the entire dish.

AgNPs (mg/mL)	<i>Pseudomonas mendocina</i> ZoI (cm)	<i>Pseudomonas syringae</i> ZoI (cm)
0	0-0	0-0
0.025	0-0	0-0
0.05	0-0	0-0
0.5	0.2	0.1
2.5	0.2	0.1

References

- [1] I. Uckay, K. Gariani, Z. Pataky, and B. A. Lipsky, "Diabetic foot infections: State-of-the-art," *Diabetes, Obes. Metab.*, vol. 16, no. 4, pp. 305–316, 2014.
- [2] E. J. Boyko, J. H. Ahroni, V. Stensel, R. C. Forsberg, D. R. Davignon, and D. G. Smith, "A prospective study of risk factors for diabetic foot ulcer. The Seattle Diabetic Foot Study.," *Diabetes Care*, vol. 22, no. 7, pp. 1036–42, Jul. 1999.
- [3] World Health Organization, "Global Report on Diabetes," 2016.
- [4] R. L'Heveder and T. Nolan, "International Diabetes Federation," *Diabetes Res. Clin. Pract.*, vol. 101, no. 3, pp. 349–351, Sep. 2013.
- [5] J. P. Hernández-Ávila, Mauricio Gutiérrez and N. Reynoso-Noverón, "Diabetes mellitus en México. El estado de la epidemia," *Salud Pública de México*, vol. 55, no. 2, p. 129–S136., 2013.
- [6] K. Bakker, W. H. van Houtum, and P. C. Riley, "2005: The International Diabetes Federation focuses on the diabetic foot," *Curr Diab Rep*, vol. 5, no. 6, pp. 436–440, Nov. 2005.
- [7] A. J. Boulton, L. Vileikyte, G. Ragnarson-Tennvall, and J. Apelqvist, "The global burden of diabetic foot disease," *Lancet*, vol. 366, no. 9498, pp. 1719–1724, Nov. 2005.
- [8] S. J. Otter *et al.*, "Protective socks for people with diabetes: a systematic review and narrative analysis.," *J. Foot Ankle Res.*, vol. 8, p. 9, Jan. 2015.
- [9] L. Ge, Q. Li, M. Wang, J. Ouyang, X. Li, and M. M. Q. Xing, "Nanosilver particles in medical applications: synthesis, performance, and toxicity.," *Int. J. Nanomedicine*, vol. 9, no. 1, pp. 2399–407, Jan. 2014.
- [10] B. Borrego *et al.*, "Potential application of silver nanoparticles to control the infectivity of rift valley fever virus in vitro and in vivo.," *Nanomedicine*, vol. 12, no. 5, pp. 1185–1192, Mar. 2016.
- [11] K. Juárez-Moreno *et al.*, "Comparison of cytotoxicity and genotoxicity effects of silver nanoparticles on human cervix and breast cancer cell lines," *Hum. Exp. Toxicol.*, vol. 36, no. 9, pp. 931–948, 2016.

CBA2-Pruebas de Hemólisis de Sangre Humana con Nanopartículas de Plata Argovit™

Roberto Luna Vázquez Gómez¹, María Evarista Arellano García², Karla Oyuky Juárez Moreno³, Nina Bogdanchikova³, Alexey Pestryakov⁴, Patricia Radilla Chávez¹, David Salas Vargas¹

¹ Universidad Autónoma de Baja California, Escuela de Ciencias de la Salud, Ensenada B. C. Blvd. Zertuche s/n Ensenada, B.C. México. C.P. 22890

² Universidad Autónoma de Baja California, Facultad de Ciencias, Ensenada Baja California.

³ Universidad Nacional Autónoma de México, Centro de Nanociencias y Nanotecnología, Ensenada Baja California.

⁴ Universidad Politécnica de Tomsk, Tomsk Federación Rusa.

Resumen. - Entre los nanomateriales bioactivos de mayor aplicación en el campo biomédico se encuentran las nanopartículas de plata (AgNPs); que se han venido utilizando exitosamente en la impregnación de materiales, instrumental quirúrgico y terapias tópicas y orales; no obstante; surge la preocupación respecto de su uso seguro por vía inyectable, particularmente su potencial uso intravenoso. Este último es de gran interés debido a las demostradas y poderosas propiedades antimicrobianas de las AgNPs. En la actualidad cada vez se descubren más cepas de microorganismos patógenos resistentes a los antibióticos convencionales. Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue verificar la capacidad de hemólisis in vitro de las AgNPs. El proceso de lisis consiste en la destrucción parcial o total de la membrana celular. Para abordar el probable efecto de hemólisis que las AgNPs pudieran tener; se realizaron pruebas de lisis in vitro en las que una alícuota de sangre se sometió a interacción con varias diluciones de nanopartículas de plata Argovit™ en varios ordenes de magnitud (de 0.5 a 0.00005 %). La ocurrencia de lisis se verificó mediante la observación macroscópica y mediante microscopía óptica (40X) con tinción Wright. Las diluciones de AgNPs se realizaron en dos series, una con agua inyectable y otra con solución salina fisiológica de NaCl 0.9% (SSF). Las observaciones macroscópicas y el registro microfotográfico revela que al exponerse sangre a AgNPs en diluciones acuosas de 0.5% y 0.05%, ocurre hemólisis de eritrocitos, lisis parcial de leucocitos y no así en linfocitos; en tanto que; en las diluciones en el rango de 0.005, a 0.00005% no se observó hemólisis alguna. La máxima concentración de no lisis se presentó entre 0.5% y 0.05% de AgNPs con agua inyectable. La lisis de eritrocitos se ve exacerbada en todas las diluciones hechas de AgNPs en SSF.

Palabras clave: nanopartículas de plata, hemólisis, Argovit™

1. Introducción

El uso diseminado de nanopartículas de plata (AgNPs) en el campo biomédico por ahora se ha limitado a la impregnación de material e

instrumental quirúrgico y a las aplicaciones terapéuticas tópicas y orales; no obstante; surge la preocupación respecto de su uso seguro por vía inyectable, particularmente su potencial uso intravenoso. Este último es de gran interés debido a las demostradas y poderosas propiedades

antimicrobianas de las AgNPs. En la actualidad se vive una crisis global de antibióticos, en la que cada vez se descubren más cepas de microorganismos patógenos resistentes a los antibióticos convencionales. El uso intravenoso de AgNPs podría protagonizar o coadyuvar en opciones terapéuticas antimicrobianas inyectables en un futuro próximo.

El proceso de lisis consiste en la destrucción parcial o total de la membrana celular por ruptura de la bicapa lipídica que les da contención e integridad a las células. Los agentes bioactivos de interés biomédico como los fármacos y los nanomateriales; suelen ejercer presiones osmóticas e interacciones químicas que dañan considerablemente las células y los tejidos tratados; al tiempo que ejercen sus efectos benéficos en profilaxis y terapias aceptadas en la práctica médica. Por lo que es necesaria la valoración inicial de los efectos nocivos potenciales que los nuevos fármacos y nanomateriales pudieran tener sobre los tejidos sanos en los seres vivos.

2. Metodología

Se realizaron una serie de pruebas de lisis in vitro en las que una alícuota de sangre entera humana se sometió a interacción con varias diluciones de nanopartículas de plata Argovit™ en varios ordenes de magnitud: 0.5, 0.05, 0.005, 0.0005, 0.00005 % equivalentes a 0.3, 0.03, 0.003, 0.0003, 0.00003 mg/mL respectivamente.

La ocurrencia de lisis se verifico mediante la observación directa macroscópica y mediante microscopia óptica (40X) con tinción Wright. Las diluciones de AgNPs se realizaron en dos series, una con agua inyectable y otra con solución salina fisiológica de NaCl 0.9% (SSF), ambas series corresponden a las concentraciones de uso tópico terapéutico.

3. Resultados

Al exponerse sangre total a AgNPs en diluciones acuosas de 0.5% y 0.05%, ocurre hemólisis de eritrocitos, lisis parcial de leucocitos y no así en linfocitos; en tanto que; en las diluciones en el rango de 0.005, a 0.00005% no se observó hemólisis alguna. Además, al exponerse sangre total con AgNPs en diluciones de SSF del 0.5% al 0.00005%, ocurre lisis de eritrocitos, lisis parcial de leucocitos y no ocurre lisis alguna de linfocitos. La máxima concentración de no lisis se presentó entre 0.5% y 0.05% de AgNPs con agua inyectable.

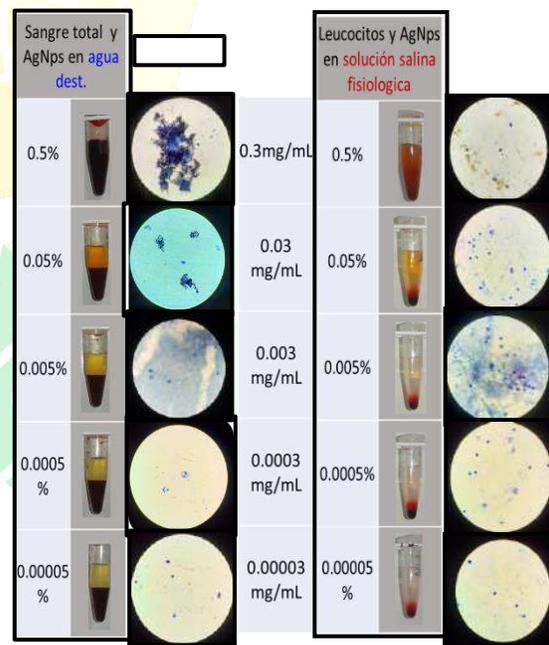


Fig. 1. Aspecto microscópico de la hemólisis y leucocitos bajo la acción de AgNPs a diferentes concentraciones.

4. Conclusiones

La interacción de la SSF y las AgNPs parecen estar implicadas en una mayor liberación de iones de plata Ag⁺, incrementándose repentinamente la osmolaridad a la que quedan expuestas las células sanguíneas produciéndose así la destrucción de la membrana celular o lisis. En el caso de las diluciones en agua inyectable, la hemólisis se ve limitada a las diluciones de mayor concentración de AgNPs (0.5 y 0.05%) en las que los procesos de

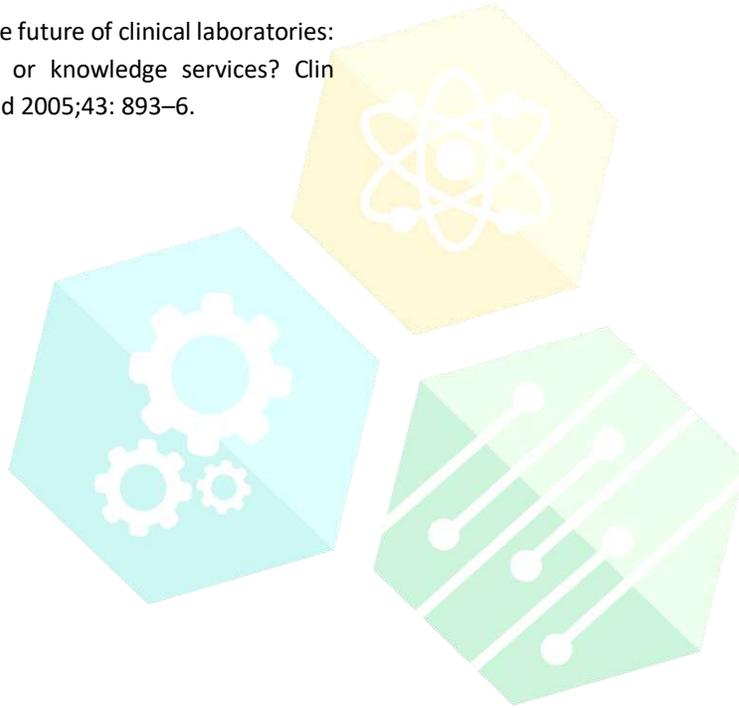
aglomeración de AgNPs alrededor de las células parecen ejercer una mayor presión osmótica local. La resistencia de los linfocitos a la lisis en todas las diluciones de AgNPs ensayadas, incluso en las de SSF, podría ser un factor que permita explorar el uso intravenoso futuro de alguna dilución óptima de AgNPs.

Referencias

[1] Plebani M. The future of clinical laboratories: more testing or knowledge services? Clin Chem Lab Med 2005;43: 893–6.

[2] Huisman W, Horvath AR, Burnett D, Blaton V, Czikkely R, Jansen RT, et al. Accreditation of medical laboratories in the European Union. Clin Chem Lab Med 2007;45:268– 75.

[3] Lippi G. Wisdom of theragnostics, other changes. MLO Med Lab Obs 2008;40:6.



CONGRESO INTERNACIONAL
DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

CBA4- Effect on Antimicrobial Activity of Antifungal Agents-Silver Nanoparticles Combined Treatments

Yarithza Pérez Arriola¹, Roberto Vazquez-Muñoz^{2,3}, Nina Bogdanchikova², Alejandro Huerta Saquero²

¹Universidad Autónoma de Baja California (UABC); Carretera Tijuana-Ensenada 3917, Playitas, 22860 Ensenada, B.C., México

² Centro de Nanociencias y Nanotecnología (CNYN); Universidad Nacional Autónoma de México, Apartado Postal 14, CP 22800; Ensenada, B.C., México

³ Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Carretera Tijuana-Ensenada 3918; CP 22860, Ensenada, B.C., México

* Corresponding author: saquero@cnyun.unam.mx

Abstract. - Infectious diseases are a global public health problem; they are among the leading causes of death worldwide and consume a significant amount of resources. Fungi are among the most common pathogens in humans and animals. Fungal infections are increasing in number, and their incidence has increased more than 200%. Currently, antifungal agents are used for combating fungal diseases, but there are many problems associated with their use, such as the emergence of resistant organisms, as well as the complexity related to the creation new antibiotics. Silver nanoparticles have proven to be an alternative solution to inhibit fungal growth.

In this work, we studied the effect on the antimicrobial activity of silver nanoparticles –when combined with antifungal agents-, in the pathogenic dimorphic yeast *Candida albicans*. The antimicrobial tests were performed according to the CLSI's M27-A3 protocols. Combined AgNPs-antifungal treatments showed a different effect on activity. With some antibiotics, there is an enhancement of activity while with others no effect was observed.

Keywords: Nanoantibiotics; silver nanoparticles; infectious diseases; synergy; *Candida albicans*.

1. Introduction

Infectious diseases represent one of the most relevant health problems worldwide due to their social and economic impact and are among the leading causes of death in the world. In addition, both their incidence and number (emerging diseases) increase with the passage of time [1]. In recent years, fungal infections have contributed to increased morbidity and mortality

in immunocompromised patients requiring intensive treatment, including broad-spectrum antibiotics.

Candida sp. represents one of the most common pathogens that are responsible for fungal infections with an associated mortality rate of up to 40%. Currently, most of the effective antifungal agents available are based on polyenes (amphotericin B), triazoles (fluconazole,

itraconazole, voriconazole, posaconazole) or echinocandins (caspofungin, micafungin, and anidulafungin). Silver nanoparticles (AgNPs), which exhibit very high bactericidal activity strong against gram-positive and gram-negative bacteria including multiresistant strains, can be considered as a potential antifungal agent [2].

In this work, we studied the effect on the antimicrobial activity of silver nanoparticles – when combined with antifungal agents-, in the pathogenic dimorphic yeast *Candida albicans*. Understanding the effect of combined treatments, and the mechanisms underlying the synergy effects may lead to improving current treatments.

2. Methodology

2.1 Silver nanoparticles (AgNPs)

AgNPs were obtained from Vector Vita Ltd (Russia). AgNPs are synthesized by chemical reduction and the initial concentration of metallic silver is $12,000 \mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$. AgNPs are functionalized with polyvinylpyrrolidone (PVP). A stock solution of silver nitrate (AgNO_3) (Sigma-Aldrich®), in sterile deionized water, was prepared at an initial silver concentration of $12,000 \mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$. AgNO_3 was used as the reference solution. AgNPs and AgNO_3 were diluted in sterile culture medium, in a final concentration range of $0.01\text{-}1 \mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$.

2.2 Antifungal agents

Commercial antifungals agents were used: Amphotericin B and Fluconazole (Sigma-Aldrich®). For antimicrobial testing, antifungals were diluted in sterile culture medium, in a concentration range of $0.1\text{-}20 \mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$. The criteria for selecting antifungal drugs were based on their family and mode of action.

2.3 Fungal strains and culture conditions

The pathogenic, dimorphic *Candida albicans* strain (ATCC SC5614) was obtained from the laboratory of the Department of Microbiology, Division of Experimental and Applied Biology, Center for Scientific Research, and Higher Education of Ensenada (CICESE). The yeast was

grown at the Roswell Park Memorial Institute (RPMI) 1640. For the experiments, the standard culture conditions were 48 h at 37°C at 180 rpm.

2.4 Determination of Inhibitory Concentrations of AgNPs and antimicrobials in *C. albicans*

The antimicrobial capacity of the treatments - AgNPs, AgNO_3 , and antifungals was performed according to the protocols of the Clinical Laboratory Standard Institute (CLSI), with some modifications. The M27-A3 protocol was used for the MIC assessment [3]. Partial inhibitory concentrations were determined by UV-Vis spectrophotometry.

2.5 Effect on the growth of AgNPs-antifungal combined treatments

The effect of AgNPs-Antifungal agents combined treatments on antimicrobial activity was evaluated. *C. albicans* cells were exposed to sub-lethal concentrations of AgNPs, antifungal agents, and the combination of these. The microorganisms exposed to the treatments were inoculated into multiwell plates and incubated at standard conditions. The inhibitory effect of growth treatments was evaluated by UV-Vis spectrophotometry in a Multiskan Go (Thermo Scientific®) spectrophotometer at $\lambda = 530 \text{ nm}$.

2.6 Effect on the dimorphic transition of *C. albicans* in combined AgNPs-antifungal treatments

The effect of AgNPs-antifungal agents combined treatments on dimorphic transition – from yeast to hyphae- was evaluated. *C. albicans* was exposed to treatments at sub-lethal concentrations of AgNPs, antifungals, and the combination of these. The microorganisms exposed to the treatments were inoculated into test tubes and incubated under standard conditions. The effect on the dimorphic transition of the treatments was evaluated by bright-field optical microscopy.

3. Results and Discussions

The MIC values for the different treatments are shown in Table 1. We found that AgNPs are similar to those of ionic silver.

Table 1. Minimal Inhibitory Concentrations (MIC)

Treatments	MIC ($\mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$)
AgNPs	1
AgNO ₃	0.5
Flu	10
ApB	10

The AgNPs MIC values reported for *C. albicans*, cultured in RPMI 1640 at similar culture conditions, range from 10^{-1} - 10^0 $\mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$. Our results fit in the MIC range found in other works.

Regarding the antimicrobial activity of combined treatments, we found different effects. For AgNPs/Flu, we found an antagonistic effect, while for AgNPs/ApB, we found a synergistic effect (figure 1). In other works, For AgNPs- antifungal combined treatments, has been reported. Some report that for AgNPs/Flu and for AgNPs/ApB improves antifungal activity [4], [5]

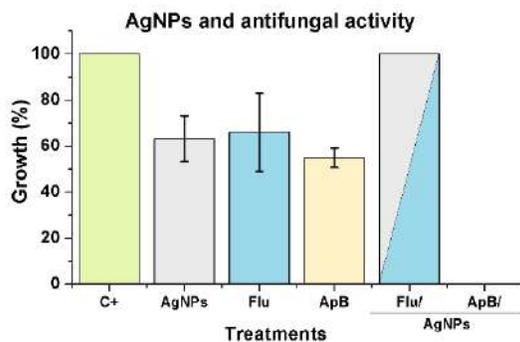


Figure 1. Antimicrobial activity of combined treatments. There is a synergistic effect in the AgNPs+ApB combined treatment, but not in the AgNPs+Flu combined treatment.

We observed that no treatment had an effect on the dimorphic capacity of *C. albicans*. The cells treated with the AgNPs and the antifungals –combined and not-combined- kept

their capacity to turn into hyphae or pseudohyphae (figure 2).

There are few works that evaluate the effect of AgNPs on the *C. albicans* dimorphic transition. Some report that the transition is inhibited [5].

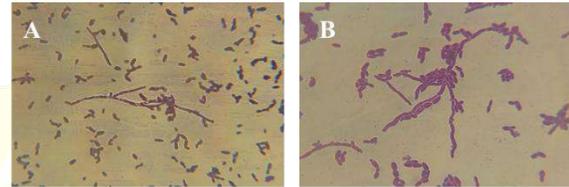


Figure 2. The effect on the dimorphic capacity of *C. albicans*. A) Normal cells B) cells influenced by 0.25 $\mu\text{g}\cdot\text{ml}^{-1}$ concentration of AgNPs

4. Conclusions

A synergistic effect was found in the combined treatment of silver nanoparticles and Amphotericin B, but not with Fluconazole. The presence of AgNPs on the culture media do not affect the dimorphic capacity of *C. albicans*.

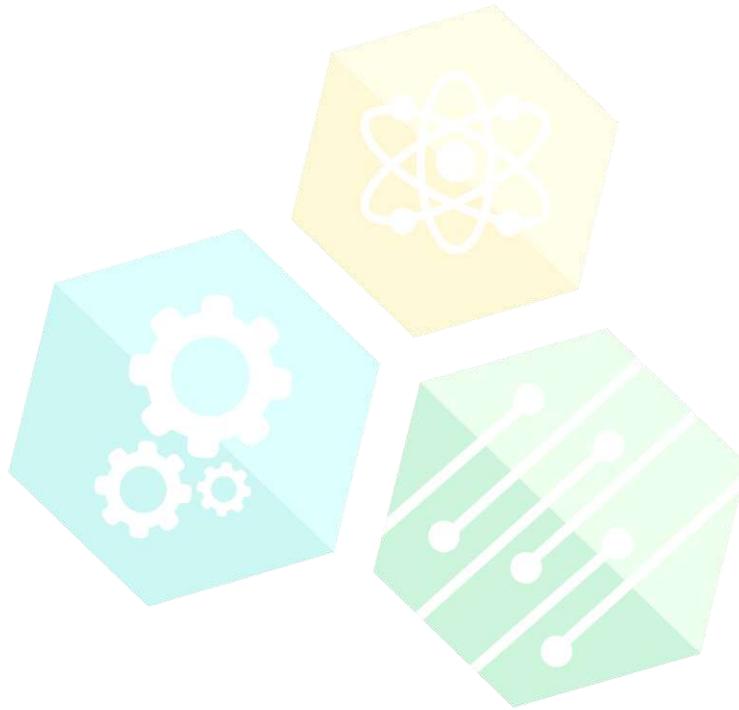
References

- [1] R. Vazquez-Muñoz and A. Huerta-Saquero, "Nanomateriales con actividad microbica: una alternativa al uso de antibióticos," *Mundo Nano. Rev. ...*, vol. 7, no. 13, pp. 37–47, 2014.
- [2] A. Panáček *et al.*, "Antifungal activity of silver nanoparticles against *Candida* spp.," *Biomaterials*, vol. 30, no. 31, pp. 6333–6340, Oct. 2009.
- [3] R. John H. and G. Mahmoud A., *M27-A3: Reference Method for Broth Dilution AST of Yeasts*, 3rd ed. AstraZeneca; Case Western Reserve University, 2008.
- [4] M. Gajbhiye, J. Kesharwani, A. Ingle, A.

Gade, and M. Rai, "Fungus-mediated synthesis of silver nanoparticles and their activity against pathogenic fungi in combination with fluconazole," *Nanomedicine Nanotechnology, Biol. Med.*, vol. 5, no. 4, pp. 382–386, 2009.

Silver Nanoparticles on Dermatophytes,"
vol. 18, pp. 1482–1484, 2008.

- [5] K. Keuk-Jun, S. Sung, S. Moon, J. Choi, J. G. Kim, and D. G. Lee, "Antifungal Effect of



CONGRESO INTERNACIONAL
DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

CBA5-Filmes de PLGA/HAP con Potencial Uso en Aplicaciones Biomédicas

Susana Fragoso Angeles^{1,2}, Ricardo Vera-Graziano³, Ana Leticia Iglesias², Luis Enrique Gómez Pineda^{1,2}, Luis Jesús Villarreal-Gómez^{1,2}

¹Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería, Universidad Autónoma de Baja California, Tijuana, México

²Escuela de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología, Universidad Autónoma de Baja California, Valle de las Palmas, México

³Instituto de Investigaciones en Materiales, Universidad Nacional Autónoma de México, Distrito Federal, México.

Resumen. - Para resolver una fractura de hueso, en la actualidad se cuentan con dispositivos como placas, agujas intramedulares, tachuelas y tornillos metálicos, a estos dispositivos se les conoce como implantes de fijación de fracturas, y sirven para estabilizar los fragmentos de hueso en su sitio correcto durante el proceso de reparación ósea, por ello; la importancia de estabilizar el sitio de fractura para lograr una vascularización temprana. El objetivo de este estudio es caracterizar fisicoquímicamente filmes de PLGA 50:50/HAp, a través de la técnica de espectroscopia infrarroja transformada de Fourier (FTIR) para buscar grupos funcionales principales. El análisis termogravimétrico (TGA) y la calorimetría diferencial de barrido (DSC) para evaluar el comportamiento de los filmes con respecto a la temperatura y caracterizar la superficie con microscopía electrónica de barrido (SEM). El espectro FTIR presentó tres zonas de gran importancia, la zona aromática entre 1600cm^{-1} - 1400cm^{-1} . Para C=O, en la región de los 1700cm^{-1} presentó la señal característica y fuerte para aldehídos aromáticos, otra señal importante fue de alquenos C=O alrededor de los 1300 - 1000cm^{-1} teniendo traslapes de señales -C-H, =C-H, adicionalmente se presentó una señal muy ancha en la zona de los 3400 - 2400cm^{-1} característica para OH. En lo que respecta a las micrografías de SEM las muestras presentan homogeneidad en la superficie. Con respecto, al análisis termogravimétrico observamos que presenta una pérdida de material a los 180°C del 5% aproximadamente y otra a 252°C del 10%. Finalmente, en nuestro termograma DSC, se observó alrededor de los 50 a 70°C , un ligero y amplio cambio que nos permite creer que ahí está la zona de transición vítrea del material, además se encontró un pico alrededor de los 52.07°C , donde se propone que ocurre la degradación de la formulación. Como trabajo futuro se realizarán pruebas de biocompatibilidad y degradación.

Palabras clave: Fracturas óseas; Filmes; PLGA/HAP; Caracterización fisicoquímica.

Abstract. - At the present time, to resolve a bone fracture, it is used devices such as plaques, intramedullary needles, tacks and metal screws. These devices are known as fracture fixation implants and serve to stabilize the bone fragments in their correct location during the bone repair process, therefore; the importance of stabilizing the fracture site for early vascularization. The objective of this study is to perform a physicochemical characterization of PLGA/Hap films, through a Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) was used to search

for main functional groups. Thermogravimetric analysis (TGA) and differential scanning calorimetry (DSC) were used to evaluate the behavior of the films with respect to temperature. Finally, to characterize the surface of the film, a scanning electron microscopy (SEM) was used. The FTIR spectrum presented three zones of great importance, the aromatic zone between 1600cm^{-1} - 1400cm^{-1} . For $\text{C} = \text{O}$, the characteristic and strong signal for aromatic aldehydes were present in the 1700cm^{-1} region, another important signal was $\text{C} = \text{O}$ alkenes around $1300\text{-}1000\text{cm}^{-1}$ with signal overlaps $-\text{CH} = \text{CH}$, a very wide signal was also present in the area of the $3400\text{-}2400\text{cm}^{-1}$ characteristic for OH. Regarding the SEM micrographs, the samples show homogeneity on the surface. With respect to the thermogravimetric analysis, it was observed a loss of material at 180°C of approximately 5% and another 10% at 252°C . Finally, in our DSC thermogram, a slight and wide change was observed around 50 to 70°C , which allows us to believe that there is the glass transition zone of the material; in addition, a peak was found around 52.07°C , where degradation of the formulation is proposed. Future work will include biocompatibility and degradation tests.

Key words: Bone fractures; Films; PLGA/HAp; Physicochemical characterization.

1. Introducción

Con el propósito de fijar una fractura de hueso para permitir su propia reparación, se han utilizado diversos dispositivos como placas, agujas intramedulares, tachuelas y tornillos metálicos. A dichos implantes se les conoce como Sistemas de Fijación de Fracturas Óseas, y sirven para estabilizar los fragmentos de hueso en su sitio correcto durante el proceso de reparación ósea, por ello la importancia de estabilizar el sitio de fractura para lograr una vascularización temprana.

La búsqueda de formulaciones es de gran importancia para buscar una adecuada reabsorción y degradación en el tiempo requerido. Por lo anterior, las investigaciones en el área relacionada a la regeneración ósea han tomado interés en el uso de polímeros que pueden reabsorberse en el hueso y promover un proceso de regeneración ósea más rápida. Se pueden enlistar una gran variedad de polímeros biodegradables naturales y sintéticos, sin embargo, solo unos pocos son adecuados para ser utilizados como implantes de regeneración de tejido duro gracias a sus propiedades mecánicas. Los polímeros más estudiados para este tipo de aplicaciones son los pertenecientes a la familia de lactida/glicolida y los estudios realizados en ellos han llevado a la aprobación de su uso por la FDA (por sus siglas en inglés, Federal Drugs Administration).

La Hidroxiapatita es un compuesto inorgánico de fosfato de calcio, de amplio uso en el área biomédica como: reemplazo de pequeñas porciones de hueso, relleno de cavidades en odontología, recubrimiento de superficies metálicas, refuerzo de materiales compuestos, entre otros. La Hidroxiapatita presenta características de biocompatibilidad, estabilidad química, osteoinducción y bioactividad.

2. Metodología

2.1. Elaboración de Film

Se disolvió PLGA 50:50 en cloroformo en agitación continua a diferentes proporciones. Alternadamente, se disolvió Hidroxiapatita en cloroformo a diferentes concentraciones. Posteriormente, se realizaron mezclas de soluciones PLGA/HAp como se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Relación de concentraciones

No. Formulación	PLGA 50:50	Hidroxiapatita
PLGA/HAp1	100	0
PLGA/HAp2	95	5
PLGA/HAp3	80	20
PLGA/HAp4	65	35
PLGA/HAp5	45	55

2.2. Infrarrojo con Transformación de Fourier (FTIR)

El espectro de absorción del infrarrojo fue colectado a 20°C desde 4000 - 650 cm⁻¹ para las muestras. Los espectros fueron grabados y almacenados en un espectrofotómetro Perkin Elmer spectrometer operating en el ATR (Attenuated Total Reflectance). Se realizaron 4 barridos a una resolución de 4 cm⁻¹ [1].

2.3. Microscopia Electrónica de Barrido (SEM)

En un portamuestras metálico, se colocó un poco de cinta adhesiva de grafito. Se recortó una pequeña porción de la muestra a analizar y se colocó sobre la cinta adhesiva. Después, estas muestras se recubrieron con una fina capa de oro por deposición asistida, a un voltaje alrededor de 1 kV por 8 minutos. Después de esto, las muestras se colocaron en una bandeja para microscopio electrónico y se capturaron imágenes en diferentes áreas a diferentes magnitudes de amplificación.

2.4. Análisis Termogravimétrico (TGA)

El análisis termogravimétrico se realizó midiendo el cambio de masa al incrementar la temperatura, la estabilidad térmica, y la temperatura máxima de degradación de todas las muestras. El ensayo se llevó a cabo utilizando un periodo de calentamiento de 10°C/min de temperatura ambiente (±20°C) a 300°C en un frasco de platino sin sellar utilizando una atmósfera de Nitrógeno con un flujo de 20 mL/min. El equipo utilizado fue un Shimadzu model TGA-50 [1].

2.5. Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC)

Las muestras fueron caracterizadas utilizando el equipamiento de DSC Shimadzu model DSC-50 y fue programado a un calentamiento des temperatura ambiente (±20°C) hasta 150°C en un periodo 10°C/min (primera corrida. La masa de las muestras que se analizaron varió entre los 5 a 10 mg. Al finalizar la corrida, el horno se enfrió con nitrógeno

líquido hasta llegar a una temperatura de -20°C o -30°C [1].

3. Resultados

3.1. Espectroscopia Infrarroja de Fourier (FTIR).

En este espectro comparativo (figura 1), se muestran las señales obtenidas del polímero PLGA (línea azul) y Hidroxiapatita (línea roja). El objetivo de este análisis es determinar la presencia de ambos reactivos en la muestra sin modificar al polímero. Por lo tanto, no se observan diferencias significativas en el espectro, salvo que algunas señales más anchas en la región de los 1500 a 1000 cm⁻¹. Esto lo adjudicamos al traslape de señales por las mezclas realizadas. En la concentración PLGA/HAp5 45:55 (línea verde) se observan señales más anchas en la región de los 1100 a 900 cm⁻¹, con respecto a PLGA/HAp4 65:35 (línea morada), esto se debe al aumento de la concentración de la hidroxiapatita, dichas señales se pueden observar en hidroxiapatita (línea verde). En la región de los 3600 a 3400 cm⁻¹, observamos la presencia de un valle pronunciado para la muestra con mayor concentración de Hidroxiapatita.

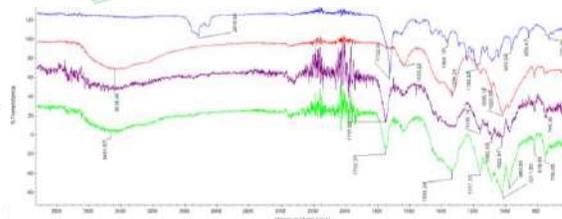


Figura 1. FTIR comparativo de la serie PLGA:HAp

En el espectro podemos observar señales muy fuertes para alcanos, alquenos, aromáticos, aldehídos y ácidos carboxílicos. De acuerdo a la literatura [2,3], el espectro presenta tres zonas de gran importancia, la zona aromática entre 1600 cm⁻¹ -1400 cm⁻¹. Para C=O, en la región de los 1700 cm⁻¹ presenta la señal característica y fuerte para

aldehídos aromáticos, otra señal importante es la de alquenos C=O alrededor de los 1300-1000 cm^{-1} tenemos traslapes de señales -C-H, =C-H, adicional presenta una señal muy ancha en la zona de los 3400- 2400 cm^{-1} característica para OH.

3.2. Microscopía Electrónica de Barrido (SEM)

En un porta muestras metálico, se colocó un poco de cinta adhesiva de grafito. Se recortó una pequeña porción de la muestra a analizar y se colocó sobre la cinta adhesiva. Después, estas muestras se recubrieron con una fina capa de oro por deposición asistida, a un voltaje alrededor de 1 kV por 8 minutos. Después de esto, las muestras se colocaron en una bandeja para microscopio electrónico y se capturaron imágenes en diferentes áreas a diferentes magnitudes de amplificación.

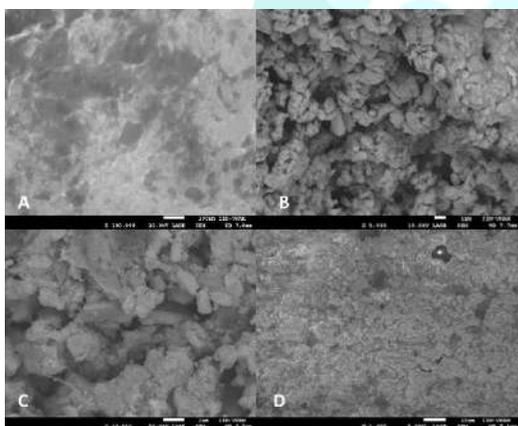


Figura 2. Microscopía electrónica de barrido para la serie PLGA: Hidroxiapatita. A) PLGA (100,000 x). B) Hidroxiapatita (5,000 x). C) PLGA/HAp4 65:35 (10,000 x). D) PLGA/HAp5 45:55 (1,000 x).

En esta otra serie de micrografías, observamos el sistema PLGA: Hidroxiapatita con dos concentraciones conocidas, PLGA/HAp4 65:35 y PLGA/HAp5 45:55. En este sistema, se empleó un PLGA 50:50 del tipo amorfo, los films obtenidos fueron casi heterogéneos en su totalidad, se observó una polimerización muy lenta, comparada con el PLGA cristalino. Esto último, afecto a la

distribución de hidroxiapatita dentro del polímero. En la micrografía PLGA/HAp3, observamos conglomerados de la hidroxiapatita, mientras que en PLGA/HAp4 observamos una distribución superficial con mayor homogeneidad. Igual que en las muestras anteriores, desconocemos como influye la hidroxiapatita en las propiedades mecánicas del material resultante.

3.3. Análisis Termogravimétrico (TGA)

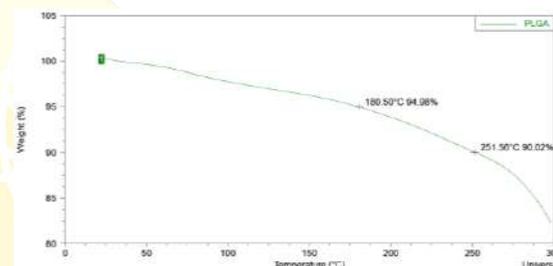


Figura 3. Termograma PLGA50:50 (TGA).

Como se observa en esta imagen, se muestra el comportamiento del PLGA 50:50 del tipo cristalino. Observamos que presenta una pérdida de material a los 180°C del 5% aproximadamente y otra a 252°C del 10%. Es importante mencionar, que el análisis no se corrió correctamente, puesto que la temperatura final se programó a 300°C y como se observa en la imagen, aún no había una degradación completa del material.

3.4. Calorimetría Diferencial de Barrido para PLGA 50:50

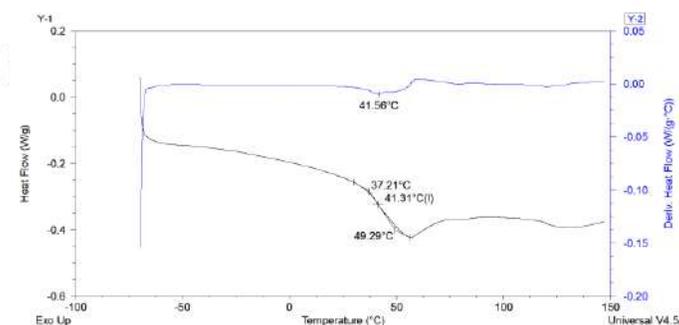


Figura 4. Termograma PLGA.

El DSC, nos muestra el comportamiento del material durante un periodo de tiempo a diversas temperaturas. Igual que en TGA, los análisis no se completaron, pero se puede observar que hubo una evaporación entre los 50°C y 60°C, la forma de esta curva es característica de una evaporación de humedad o solvente. Asumimos que la transición vítrea ocurrió alrededor de los 55°C y 56°C como se tenía esperado.

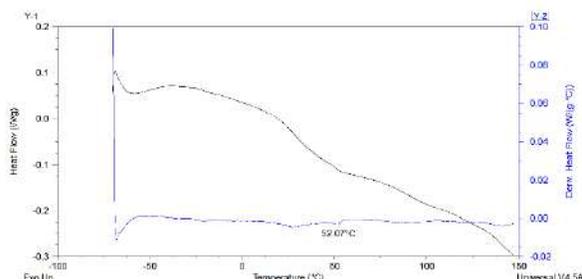


Figura 5. Termograma PLGA: Hidroxiapatita (65:35)

De acuerdo con *Cecen et al., 2016*, al utilizar, hidroxiapatita, celulosa y PLLA; en el termograma se observa la hidroxiapatita alrededor de los 64°C, y en un proceso exotérmico se puede observar otro a los 345.19°C. Para procesos con entalpías endotérmicas, la hidroxiapatita muestra un pico a los 71°C, mientras que el pico exotérmico se desplaza hasta los 71°C. En nuestro termograma, se observa alrededor de los 50 a 70 °C, un ligero y amplio cambio, nos permite creer que ahí está la zona de transición vítrea del material, por lo tanto, encontramos que nuestra muestra presenta un pico alrededor de los 52.07°C, creemos que probablemente solo estemos viendo la degradación del polímero. De acuerdo a la literatura citada, se puede asumir, que además de ampliar el parámetro para análisis, de -30 hasta 500°C, ahora si se pudiera observar el segundo pico para la hidroxiapatita que nos confirme la presencia de este [4].

4. Conclusiones

El espectro FTIR presentó tres zonas de gran importancia, la zona aromática entre 1600 cm^{-1} -1400 cm^{-1} , dichas señales muy anchas representan el traslape de hidroxiapatita con el polímero. En lo que respecta a las micrográficas de SEM las muestras presentan homogeneidad en la superficie. Con respecto, al análisis termogravimétrico observamos que presenta una pérdida de material a los 180°C del 5% aproximadamente y otra a 252°C del 10%. Finalmente, en nuestro termograma DSC, se observó alrededor de los 50 a 70 °C, un ligero y amplio cambio que nos permite creer que ahí está la zona de transición vítrea del material, además se encontró un pico alrededor de los 52.07 °C, donde se propone que ocurre la degradación de la formulación. Como trabajo futuro se realizarán pruebas de biocompatibilidad y degradación.

5. Agradecimientos

Los autores agradecen al Programa de Mejoramiento del Profesorado (PRODEP), a través del fondo de "Apoyos a la incorporación de NPTC" con el no. de proyecto 180167 y SICASPI-UABC 351/360/E.

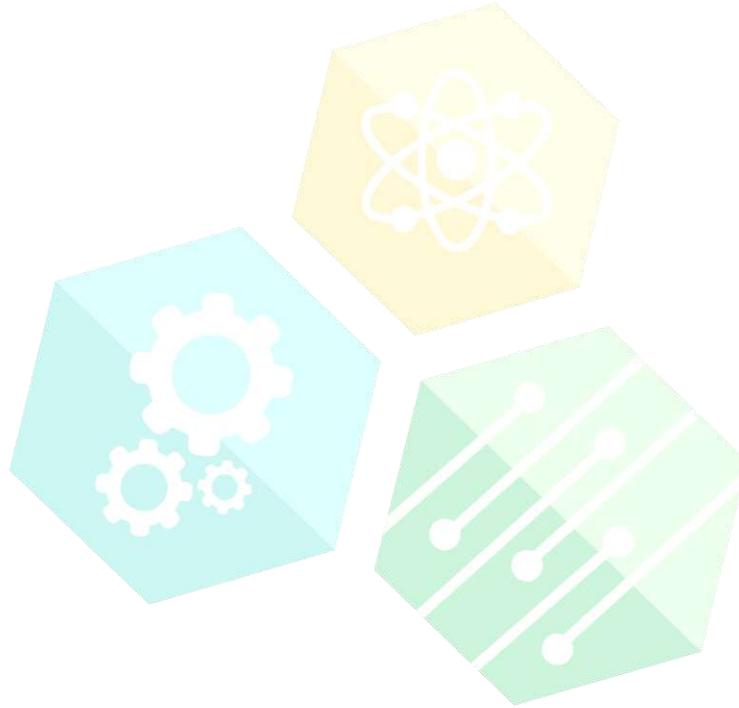
Referencias

- [1] Carvalho-Erbetta, C.D., Alves, R.J., Magalhães-Resende, J., Fernando de Souza-Freitas, R., Geraldo de Sousa, R. "Synthesis and Characterization of Poly (D, L-Lactide-co-Glycolide) Copolymer". *Journal of Biomaterials and Nanobiotechnology*. 3, 208-225. 2012.
- [2] Gasami H., Williard J.F., Danede F, Hamoudi M.C., Siepmann J, Siepmann F. "Importance of PLGA microparticle swelling for the control of prilocaine release". *Journal of Drug Delivery Science and Technology*. 30, 123-132. 2015.
- [3] Gasami H., Siepmann F., Hamoudi M.C., Danede F., Verin J., Williard J.F. Siepmann J. "Towards a better understanding of the different release phases from PLGA microparticles: Dexamethasona-Loaded

systems". *International Journal of Pharmaceutics*. 514, 186-199. 2016.

- [4] Cecen B., Kozaki L.D., Yuksel M., Ustun O, Ergur B.U., Havitcioglu H. "Biocompatibility and biomechanical characteristics of loofah

based scaffolds combined with hydroxyapatite, cellulose, poly-L-lactid acid with chondrocyte-like cells". *Materials Science and Engineering C*. 69, 437-446. 2016.



CONGRESO INTERNACIONAL DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

CBA6-Nanofibras de Gelatina/Colágeno para su Potencial Uso en Biorreactores

Lorena Raquel Rocha Jimenez¹, Daniella Alejandra Pompa Monroy², Karla Juarez-Moreno³, Syed G. Dastager⁴, Ana Leticia Iglesias¹, Luis Jesús Villarreal-Gómez^{1,5}

¹Escuela de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología, Universidad Autónoma de Baja California, Valle de las Palmas, México

²Facultad de Ciencias Marinas, Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, Baja California, México

³Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería, Universidad Autónoma de Baja California, Tijuana, México

⁴CONACYT - UNAM - Centro de Nanociencias y Nanotecnología - Km 107 Carretera Tijuana-Ensenada, Ensenada, B.C. México. C.P. 22860

⁵National Collection of Industrial Microorganisms (NCIM), CSIR-National Chemical Laboratory, Pune, Maharashtra, India

Resumen. - Actualmente, existen en el mercado una gran variedad de productos farmacéuticos e industriales que pueden obtenerse a través de biorreactores. El objetivo de este trabajo fue caracterizar biológicamente nanofibras electrohiladas de gelatina/colágeno para aplicaciones biotecnológicas. A través de la técnica de electrohilado, se sintetizaron nanofibras de gelatina al 15% con diferentes proporciones de colágeno (1%, 5% y 10%) y se evaluaron a través del cultivo en células de fibroblastos humano HFF1 y en cultivos celulares bacterianos *escherichia coli*, *staphylococcus aureus* y *pseudomona aeruginosa*. En el caso del cultivo celular en fibroblastos, las células al estar en presencia de las nanofibras por 2 días presentaron una proliferación del 63 % en promedio entre todas las formulaciones, las nanofibras con mayor crecimiento fueron las formulaciones de gelatina con mayor proporción de colágeno (10%). En el caso, de las bacterias en todas se presentó un crecimiento eficiente, sobre todo en el caso de *escherichia coli* y *etaphylococcus aureus*, en el resto de las bacterias el crecimiento no fue significativo. Estos resultados evidencian la eficiencia de las nanofibras de gelatina/colágeno como sustrato en el cultivo de células de fibroblasto humano y bacterias de interés biológico. Como trabajo futuro se pretende incorporar las nanofibras en las paredes de un biorreactor y comparar el crecimiento con y sin las nanofibras, para evaluar la cantidad de biomasa producida en ambas condiciones.

Palabras clave: Nanofibras; gelatina; colágeno; biorreactor; electrohilar.

Abstract. - Currently, there are a large variety of pharmaceutical and industrial products on the market that can be obtained through bioreactors. The objective of this work is to biologically characterize gelatin/collagen electrospun nanofibers for biotechnological applications. Through the electrospinning technique, 15% Gelatin nanofibers with different proportions of collagen (1%, 5% and 10%) were synthesized and evaluated through cell culture in HFF1 human fibroblast cells and in bacterial cell cultures of *escherichia coli*, *staphylococcus aureus* and

pseudomona aeruginosa. In the case of cell culture in fibroblasts, the cells exposed in the presence of nanofibers for 2 days, presented a 63% average proliferation among all the formulations. Nanofibers that presented the highest growth were gelatin formulations with the highest collagen ratio (10%). In the case of bacteria growth in all cases nanofibers were efficient to promote bacteria growth, especially in the case of escherichia coli and staphylococcus aureus. Pseudomona aeruginosa does not show a statistically significant difference of its growth with and without the presence of the nanofibers. These results demonstrate the efficiency of gelatin/collagen nanofibers as a substrate in the culture of fibroblast cells and bacteria of biological interest. As future work, we intend to incorporate the nanofibers in the walls of a bioreactor to compare the growth with and without the nanofibers, to evaluate the amount of biomass produced in both conditions.

Key words: Nanofibers; gelatin; collagen; bioreactor; electrospinning.

1. Introducción

Es evidente que los seres humanos hemos presentado nuevas y diferentes necesidades conforme enfrentamos una nueva era en la historia, de igual forma queda claro que la ciencia ha hecho todo lo posible por dar soluciones a dichas problemáticas, sin embargo, a pesar de los constantes avances que se hacen día con día, aún existe espacio para innovar.

En la actualidad en el mercado existe una gran demanda por productos farmacéuticos e industriales que pueden obtenerse a partir de biorreactores, por lo que en conjunto las distintas ramas de la bioingeniería han exteriorizado nuevos descubrimientos, como lo son nanofibras de distintos biomateriales para su potencial uso en biorreactores.

Para lograr que las nanofibras sean ideales para su posterior aplicación en biorreactores es necesario que este cumpla con ciertos criterios, dependiendo para que se utilice debe presentar cierto grosor, elasticidad, degradabilidad, pero sobre todo deben ser biocompatibles. [1]

El propósito de este proyecto es evaluar biológicamente nanofibras electrohiladas de gelatina/colágeno para aplicaciones biotecnológicas.

Entre los ensayos de biocompatibilidad *in vitro*, para evaluar la adhesión celular y citotoxicidad bacteriana se llevaron a cabo distintas pruebas utilizando las líneas de bacterias *escherichia coli*, *staphylococcus aureus* y *pseudomona aeruginosa*, además, para evaluar si los materiales provocan citotoxicidad en células HFF1 se utilizaron los ensayos de reducción de MTT. [1] Estos resultados evidencian la eficiencia de las nanofibras de gelatina/colágeno como sustrato en el cultivo de células de fibroblasto humano y bacterias de interés biológico. [2]

Como trabajo futuro se pretende incorporar las nanofibras en las paredes de un biorreactor y comparar el crecimiento con y sin las nanofibras, para evaluar la cantidad de biomasa producida en ambas condiciones. Ninguna de las distintas membranas que se desarrollaron indujeron un efecto tóxico en la viabilidad celular, y de hecho aumentaron la proliferación celular en los ensayos.

2. Metodología

2.1 Cultivo de fibroblastos humanos HFF-1

Se cultivaron células de fibroblastos humanos HFF-1 en un suplemento DMEM (Dulbecco's Modified Eagle's Medium), con 15% de suero fetal bovino, 1% v/v penicilina/streptomycin, 1% L-glutamina y 1g/l de bicarbonato de sodio lo cual se incubo a 37°C con 5% de CO₂. Posteriormente la

concentración celular fue contada y ajustada a 10,000 células/ml.

2.2 Citotoxicidad celular

100 μ l de células fueron agregadas a las membranas de gelatina/colágeno previamente cortadas y esterilizadas colocadas en el fondo de microplacas de 96 pozos. Después de 2 y 5 días de incubación, se retiró la media y se agregaron 135 μ l de media nueva, al igual que 15 μ l de solución 3-[4,5-dimethylthiazol-2-yl]-2,5-diphenyl bromuro de tetrazolio (MTT) (Sigma-Aldrich Corp., St. Louis, MO, USA) a cada pozo con el fin de medir la actividad mitocondrial de las células. Se midió la absorbancia después de 4h de contacto con MTT salada a 490nm utilizando un lector de placa (ThermoScientific Multiskan). Los resultados se expresaron como el promedio de los valores de absorbancia que fueron arrojados a partir de realizar las pruebas por triplicado.

2.3 Número y crecimiento celular

En una microplaca de 96 pozos se ubicaron las membranas de gelatina/colágeno previamente cortadas y esterilizadas en el fondo, se adicionaron 150 μ l de medio inoculado con cada una de las bacterias *E. coli*, *S. aureus*, *P. auriginosa*, se realizaron las pruebas por triplicado para corroborar una medición adecuada y confiable. Se pasó a incubar a una temperatura de 35°C. Posteriormente utilizando el lector de microplacas (ThermoScientific Multiskan), se midió la absorbancia a 24 h, 48 h y 72 h de incubación. Los resultados obtenidos fueron promediados.

3 Resultados

Las muestras utilizadas en este estudio son nanofibras de gelatina/colágeno, preparadas a partir de la técnica de electrohilado, la membrana obtenida tiene fibras distribuidas de forma aleatoria.

En total se tienen 4 distintas muestras, cada una con distinta concentración de colágeno, pero con la misma concentración de gelatina, las muestras se muestran a continuación en la Tabla 1.

Tabla 1. Diferentes muestras estudiadas

Clave de la Muestra	Descripción
G15	Membrana gelatina al 15% en a. acético
G15C1	Membrana gelatina al 15% colágeno 1% en a. acético
G15C5	Membrana gelatina al 15%, colágeno al 5% en a. acético
G15C10	Membrana gelatina al 15%, colágeno al 10% en a. acético

Estas membranas de gelatina/colágeno fueron recortados y colocadas en cajas petri estériles para posteriormente esterilizarlos en una campana de seguridad biológica híbrida tipo II marca Lumistell) donde fueron expuestas con luz ultravioleta por 15 minutos por ambos lados (protocolo de esterilización tomado de la Dra. Lizeth Fuentes del Hospital GEA González, Distrito Federal, México), experimento en donde los materiales fueron expuestos con diferentes tiempos en presencia de luz ultravioleta y después fueron utilizados como sustrato para el cultivo de células eucariotas no diferenciadas.

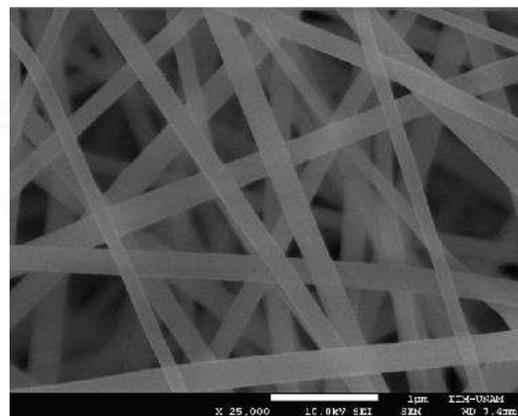


Figura.1 Micrografías con SEM de la muestra a 25,000 x

Con el propósito de evaluar si los andamios de gelatina/colágeno tienen una propiedad absorbente y/o adsorbente se realizó un ensayo en donde las diferentes membranas de los materiales se ubicaron en el fondo de una microplaca de 96 pozos previamente cortadas y esterilizadas, se adicionaron 150 μ l de medio inoculado con cada una de las bacterias *E. coli*, *S. aureus* y *P. aeruginosa*, se realizaron las pruebas por triplicado para corroborar una medición adecuada y confiable. Se pasó a incubar a una temperatura de 35°C. Posteriormente utilizando el lector de microplacas (ThermoScientific Multiskan), se midió la absorbancia a 24 h, 48 h y 72 h de incubación. Los resultados obtenidos fueron promediados.

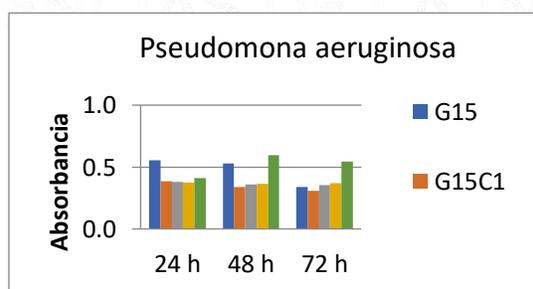
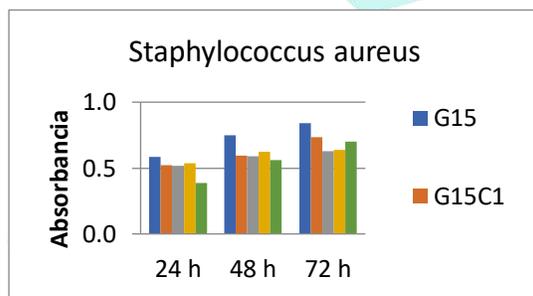
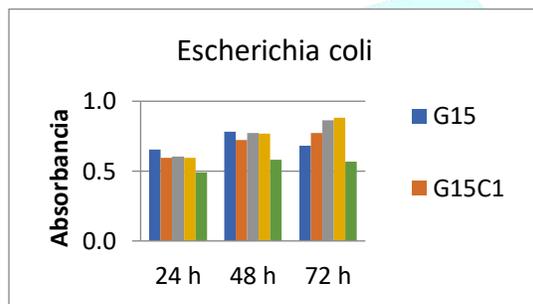


Figura 2. Absorbancia de *escherichia coli*, *staphylococcus aureus* y *pseudomona aeruginosa*.

Se puede observar en la Figura 2, donde las barras corresponden a la nanofibras G15, G15C1, G15C5, G15C10 respectivamente tanto de *escherichia coli*, *staphylococcus aureus* como *pseudomona aeruginosa*, que a mayor absorbancia obtenida en las lecturas mayor número de células fueron retenidas en el material, por lo que el material tiene más capacidad de absorción y retención celular.

Analizando primeramente el grafico que corresponde *escherichia coli* podemos observar que existe una mayor proliferación con la membrana de G15C10, de igual forma en todas las nanofibras prolifero más el crecimiento de la bacteria por sobre el medio.

En el segundo grafico donde se observa la absorbancia de *staphylococcus aureus* se ve que el crecimiento en la membrana G15 tuvo un papel muy favorable pues incremento su crecimiento conforme pasaban los días y siempre por sobre el medio inoculado lo que implica que las fibras tampoco afectan negativamente a esta línea de bacteria.

Por último, en el tercer grafico existió una proliferación favorable a corto plazo pues al llegar a las 72 h. se distingue una menos proliferación en todas las nanofibras en comparación con el medio

3 Conclusiones

Las fibras promovieron proliferación de fibroblastos y estimularon el crecimiento bacteriano.

En el caso del cultivo celular en fibroblastos, las células al estar en presencia de las nanofibras por 2 días, presentaron una proliferación del 63 % en promedio entre todas las formulaciones, las nanofibras con mayor crecimiento fueron las formulaciones de gelatina con mayor proporción de

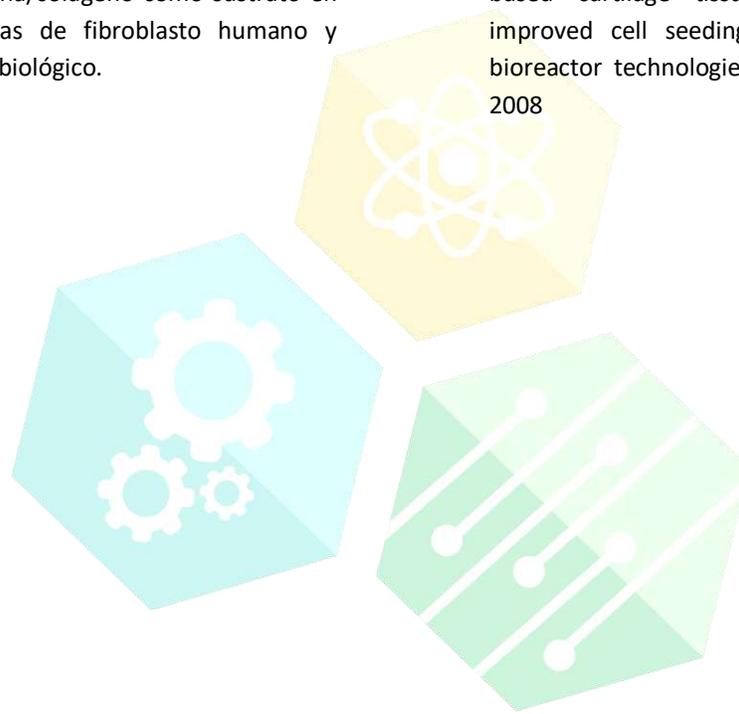
colágeno (10%). Ahora bien en el caso, de las bacterias, en las 3 líneas se presentó un crecimiento considerable, sobre todo en el caso de *escherichia coli* y *staphylococcus aureus*, en el resto de las bacterias el crecimiento no fue tan significativo.

[1] Castillo, D. "Efecto del GEN fadH1 en la producción de PHA conteniendo monómeros insaturados por *Pseudomonas putida*". Pontificia Universidad Javeriana, Facultad de ciencias, Noviembre 2008, Brasil.

Estos resultados evidencian la eficiencia de las nanofibras de gelatina/colágeno como sustrato en el cultivo de células de fibroblasto humano y bacterias de interés biológico.

[2] Wan-Ju, L., Yi Jen J. y Rocky, T. "Cell-nanofiber-based cartilage tissue engineering using improved cell seeding, growth factor and bioreactor technologies". *Tissue Eng Part A*. 2008

.Referencias



CONGRESO INTERNACIONAL
DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

CBA7-Nanofibras de Poli (vinil pirrolidona) /Propanolol como Potencial Tratamiento en Hemangioma Infantil

Paola Rachel Rodríguez Medrano¹, Karen Beldai Robles Campillo¹, José Manuel Cornejo-Bravo², Ricardo Vera-Graziano³, Hermelinda De la Cruz-Durán^{2,4}, Ana Leticia Iglesias¹, Aracely Serrano Medina², Luis Jesús Villarreal-Gómez^{1,2}

Rodríguez Medrano Paola Rachell¹, Karen Beldai Robles Campillo¹, José Manuel Cornejo-Bravo², Ricardo Vera-Graziano³, Hermelinda De la Cruz-Durán^{2,4}, Ana Leticia Iglesias¹, Aracely Serrano Medina², Luis Jesús Villarreal-Gómez^{1,2}

¹Escuela de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología, Universidad Autónoma de Baja California, Valle de las Palmas, México.

² Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería, Universidad Autónoma de Baja California, Tijuana, México

³Instituto de Investigaciones en Materiales, Universidad Nacional Autónoma de México, Distrito Federal, México

⁴Hospital Infantil de las Californias A.C. Tijuana, Baja California, México

Resumen. – *Los hemangiomas infantiles son los tumores vasculares benignos más frecuentes de la infancia, surgen a partir de una reproducción descontrolada de células endoteliales seguida de una etapa de lenta involución, entre un 10% y 15% tienden a complicarse durante su fase proliferativa, en la cual pueden producir una deformación estética permanente y en casos más graves llegan a afectar funciones vitales. El objetivo de este trabajo fue el de sintetizar y caracterizar nanofibras de poli (vinil pirrolidona) cargadas con propanolol para su potencial uso en el tratamiento de hemangioma infantil. Se prepararon diferentes formulaciones de la solución polimérica y se cargaron diferentes proporciones del fármaco y se sintetizaron a través de la técnica de electrohilado.*

Palabras clave: Electrohilado; Hemangioma Infantil; Poli (vinil pirrolidona); Propanolol; Sistemas de liberación de fármaco.

Abstract. – *Infantile hemangiomas are the most frequent benign vascular tumors of childhood, arise from an uncontrolled reproduction of endothelial cells followed by a stage of involution lens, between 10% and 15% tend to complicate during their proliferative phase in which can cause a permanent aesthetic deformation and in more serious cases they affect vital functions. The objective of this work was to synthesize and characterize poly (vinyl pyrrolidone) nanofibers loaded with propranolol for their potential use in the treatment of infantile hemangioma. Different formulations of the polymer were prepared and different proportions of the drug were charged and synthesized through the electrospinning technique.*

Key words: Electrospinning; Infantile Hemangioma; Poly (vinyl pyrrolidone); Propranolol; Pharmaceutical Release Systems

1. Introducción

Los hemangiomas infantiles son tumores dados por la proliferación de células endoteliales cuya fase proliferativa inicial es seguida por una fase de involución lenta. Son más comunes en el sexo femenino, prematuros, caucásicos y en productos de embarazos múltiples. Este tipo de hemangiomas se dividen en tres fases de vida: proliferativa, meseta e involución. En la primera, estos tumores crecen rápidamente (hasta un año), en la fase de meseta el crecimiento tiende a desacelerar (1 a 8 años) y finalmente en la fase de involución ocurre apoptosis y desaparición de las células que formaban el tumor (hasta 10 años). Las características clínicas son variables de acuerdo a la profundidad de las lesiones, si son superficiales, tienden a ser pápulas o nódulos rojos, en caso de ser profundas, son nódulos suaves de color azulado y pueden tener telangectasias en la superficie. [1]

Como primera línea terapéutica se considera la prednisolona y metilprednisolona iv, los corticoides sistémicos se consideran efectivos para HI de alto riesgo, con respuesta variable y efectos secundarios difíciles de monitorizar. [2] El propranolol es un fármaco bloqueador beta sin actividad simpaticomimética intrínseca, tiene una biodisponibilidad oral cercana al 26%, se elimina por vía hepática casi en su totalidad y tiene una vida media de 4 a 5 horas. Su seguridad ha quedado demostrada en diferentes estudios [3], por lo cual es utilizado en pediatría para el manejo de diversas patologías tales como hipertensión arterial, taquicardia supra ventricular, insuficiencia cardiaca, hipertiroidismo y para la prevención de crisis anoxémicas en la tetralogía de Fallot. Estudios sugieren su uso para el manejo de los HI como una alternativa de tratamiento ya que actúa frenando la fase de crecimiento y disminuye el tamaño tumoral en la fase proliferativa con mayor efectividad que los corticoides.

2. Metodología

En este proyecto las muestras analizadas son un grupo de muestras compuestas por una mezcla de Poli (vinil-pirrolidona) con distintas concentraciones de propranolol utilizando como solvente etanol.

2.1 Membranas de Poli (vinil-pirrolidona) con propranolol

Las muestras analizadas se especifican de acuerdo a su concentración en la tabla 1.

Tabla 1. Nomenclatura y conformación de muestras

Nombre de la muestra	Conformación Poli(vinil-pirrolidona)	Conformación Propranolol
PVP30	30%	-
PVPPRO10	30%	10%
PVPPRO20	30%	20%
PVPPRO30	30%	30%
PVPPRO40	30%	40%
PVPPRO50	30%	50%
PROControl	-	Polvo puro

2.2 Análisis Termogravimétrico (TGA)

Para el análisis termogravimétrico se colocó una pequeña cantidad de muestra en una charola de platino, que fue limpiada al exponerse a fuego de mechero, se colocó en el automuestreador y se corrió el análisis desde temperatura ambiente hasta 700°C en una atmosfera de nitrógeno con aumentos de 10°C/min

2.3 Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC)

Para esta prueba las muestras se colocan en una charola prensada, primero una bandeja de aluminio se coloca en una balanza y se tara, en esta se coloca la muestra y se vuelve a pesar para registrar el peso de la muestra, finalmente se coloca la tapa de la primera charola y se cierra a presión, se perfora con un alfiler, se pesa nuevamente y se registra ese valor. Posteriormente, las charolas se colocaron en el automuestreador y se analizaron una corrida desde 0°C hasta 300°C, con una atmósfera de nitrógeno en aumentos de 10°C/min

2.4 Espectrometría Infrarroja de Fourier (FTIR)

Para efectos de esta prueba se obtuvo un espectro de referencia al descubrir el lente y captando luz del medio ambiente, después se colocó una pequeña cantidad de muestra y se presionó contra la lente con una prensa. La captura del espectro se llevó desde 4000 a 400cm⁻¹

2.5 Microscopia Electrónica de Barrido (SEM)

Debido a que las muestras no son conductoras, requieren previa preparación para poder analizarse. En un porta muestras metálico, se colocó cinta adhesiva de grafito, sobre la cual se colocó una pequeña porción de la muestra. Estas muestras se recubrieron con una fina capa de oro por deposición asistida, a un voltaje de 1kV por 2 minutos. Terminado el procedimiento, las muestras se colocaron en una bandeja para microscopio electrónico y se capturaron imágenes en diferentes áreas a diferentes magnitudes de amplificación.

3. Resultados

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en las pruebas realizadas.

3.1 Análisis Termogravimétrico (TGA)

Para el control de propranolol, se encontró que el 5 y 10% de su masa se pierde a los 270.83 y 282.56°C, el 50% de su masa se pierde a los 311.72°C y su masa total se pierde a los 354.02°C. Para el control de PVP el 5% de su masa se perdió a los 34.17°C, el 10% a los 316.13°C, el 50% de su masa se pierde a los 458.6°C y a los 589.18°C su masa se ha perdido por completo.

3.2 Calorimetría Diferencial de Barrido

En la Figura 1, se muestran las distintas formulaciones para las muestras de PVP y propranolol. El control de propranolol muestra un pica que representa el punto de fusión del propranolol a los 165.37°C, y una transición al finalizar el termograma a los 287.93°C, el control de PVP al 30% en negro, muestra una deshidratación a los 50.92°C y transiciones a los 98.72, 175.81, 219.83

y 282.64°C. Para las diversas muestras se encontraron igualmente deshidrataciones entre los 57.87 y 64.59°C.

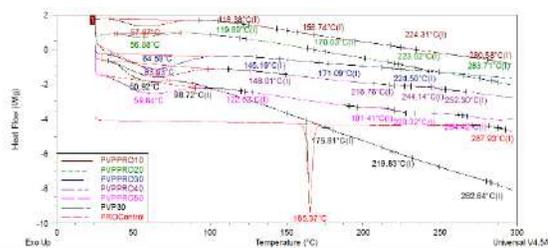


Figura 1. DSC muestras de PVP con Propranolol

3.3 Espectroscopia Infrarroja por Transformada de Fourier

En este espectro comparativo (Figura 2), se muestran las señales obtenidas de muestras de PVP al 30% (azul marino), PVP en polvo (naranja), PVP al 30% propranolol al 10% (azul), PVP al 30% propranolol al 20% (morado), PVP al 30% propranolol al 30% (verde), PVP al 30% propranolol al 40% (cian), PVA al 30% propranolol al 50% (rosa) y un control de paracetamol en polvo (rojo). El objetivo era determinar si la presencia de propranolol en las muestras modificaba el polímero. Sin embargo, no se aprecian diferencias significativas.

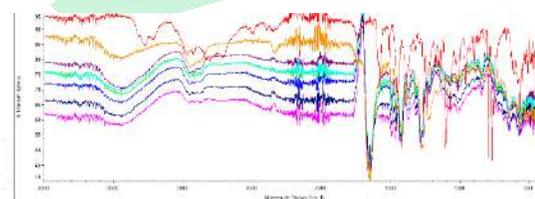


Figura 2. FTIR comparativo para muestras de PVP con Propranolol

4. Conclusiones

Las nanofibras poliméricas cargadas con el fármaco mostraron fibras homogéneas además de demostrar evidencia de la incorporación del fármaco. Actualmente se están realizando estudios en bacterias y en fibroblastos humanos HFF1 para

determinar la biocompatibilidad de las fibras, además de ensayos de liberación y degradación.

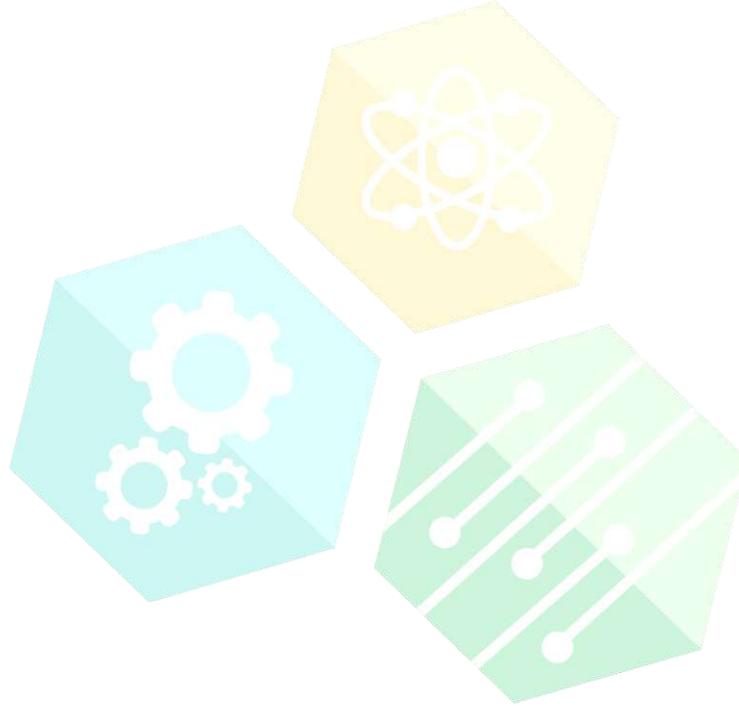
Referencias

[1] Balma A. Lara I. *“Clasificación, manejo y complicaciones de los Hemangiomas de la infancia”*, Acta pediátrica Costarricense.

Asociación Costarricense de Pediatría, Volumen 22, Número 1, Enero-Abril 2010.

[2] Bernabeu J. Pereyra J. Mantrana M. Fernández I. Agustin J. Cornejo J. *“Tratamiento con propranolol oral para hemangiomas infantiles graves”*, Elsevier Doyma, 4 de Abril de 2010.

[3] Tan S, Itinteang T. *“Low-dose Propranolol for infantile hemangioma”*. Junio 2010. Página 40



CONGRESO INTERNACIONAL
DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

CBA12-Diseño de láser de estado sólido basado en cristal Er:YAG bombeado por diodo para aplicaciones en Bioingeniería

Zakimy Meza Alanis¹, Luis Antonio Ríos Osuna², Jorge Octavio Mata Ramírez³, Noemí Lizárraga Osuna⁴, Allen Alexander Castillo Barrón¹, Norma Alicia Barboza Tello¹

¹Escuela de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología, Universidad Autónoma de Baja California, Blvd. Universitario No. 1000, 21500, Valle de las Palmas Tijuana B.C.

²Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Carr Tijuana-Ensenada 3918, Fraccionamiento Zona Playitas, 22860, Ensenada B.C.

³Facultad de Ingeniería Arquitectura y Diseño, Universidad Autónoma de Baja California, Carr Tijuana-Ensenada 3917, Fraccionamiento Zona Playitas, 22860, Ensenada B.C.

⁴Facultad de Ingeniería Mexicali, Universidad Autónoma de Baja California, Blvd. Benito Juárez S/N, Parcela 44, 21280, Mexicali, B. C.

norma.barboza@uabc.edu.mx

Resumen. – *Las fuentes de luz monocromática y coherente, -como es el caso de la luz que emite un láser- tienen muchas aplicaciones en diferentes áreas de conocimiento, se utiliza en procedimientos médicos u odontológicos, en la caracterización de materiales, en investigación biológica y en espectroscopia, por mencionar solo algunos. La aplicación de los láseres depende de sus características de emisión, como por ejemplo la longitud de onda, la potencia óptica y la forma de emisión temporal (luz pulsada, casi continua o continua). Estas características dependen entre otras cosas del medio activo que se utilice para fabricar el láser y del tipo de fuente de bombeo que se esté utilizando para que éste funcione. Aunque existen muchos tipos de láseres comerciales estos suelen ser muy costosos y debido a su construcción, es muy complicado cambiar sus características de emisión para adaptarlo a diferentes aplicaciones o necesidades. En este trabajo se presenta el diseño de un láser de estado sólido bombeado por diodo basado en cristal de Er:YAG que emite alrededor de 2940nm de longitud de onda, para su utilización en temas de investigación relacionados con la bioingeniería tales como la caracterización de materiales biológicos y el desarrollo de técnicas de procesamiento de imágenes para diagnóstico médico. A través de este diseño se propone mejorar la eficiencia de conversión con respecto a otros láseres de este tipo encontrados en la literatura.*

Palabras clave: Láser de estado sólido, Er:YAG, Bioingeniería.

Abstract. – *Monochromatic and coherent light sources such as laser have many applications in different areas of knowledge, are used in medical or dental procedures, in material characterization, in biological research and in spectroscopy, to name a few. The application of laser depends on their emission characteristics, such as emission wavelength, optical power and temporal emission form (pulsed, quasi continuous or continuous light). These characteristics depend among other things, on the active medium of laser and its pump source. Although there*

are many types of commercial lasers they are usually very expensive, and due to its construction, is complicate to change their emissions characteristics to adapt it to different research applications or needs. This paper presents the design of an Er:YAG crystal-based diode pumped solid state laser emitting about 2940nm wavelength, for its use in research topics relates to bioengineering such as the material characterization and the development of imaging techniques for medical diagnosis. Through this design, it is proposed to improve the conversion efficiency with respect to other lasers of this type found in the literature.

Key words: Solid state laser, Er:YAG, Bioengineering.

1. Introducción

Los láseres han sido tema de investigación de interés desde hace muchos años ya que debido a las propiedades físicas de la luz que emiten, son muchas sus aplicaciones en diferentes áreas. Un láser basa su funcionamiento en el fenómeno de amplificación de luz por emisión estimulada, este proceso consiste en estimular a través de una fuente externa un medio activo que emitirá luz de determinada longitud de onda dependiendo de sus propiedades físicas, para lograr la amplificación de luz estimulada debe ocurrir un fenómeno llamado “Inversión de población” y se convierte en un proceso eficiente colocando el medio activo entre dos espejos altamente reflejantes a la longitud de onda de emisión del láser, es decir se construye una cavidad óptica. Según su medio activo los láseres pueden ser de gas (e.g. He-Ne o Argón), de estado sólido (se utiliza un cristal dopado como Nd:YAG, Er:YAG o Nd:YVO₄) o de semiconductor (e.g. GaAs) entre otros. El medio activo de un láser se elige según la longitud de onda de emisión y de las características temporales y de potencia que se requieran, y éstas van a depender de la aplicación para la que se esté diseñando. Este trabajo se enfocará en el desarrollo de láseres de estado sólido, particularmente aquellos que emiten a longitudes de onda en el medio infrarrojo (2.5 a 50 μ m) ya que se ha demostrado que éstos tienen amplias aplicaciones en la Bioingeniería por ejemplo se ha reportado que el agua de los tejidos absorbe luz infrarroja produciendo fuertes efectos [1], que pueden ser utilizados en una gran

variedad de aplicaciones médicas por ejemplo en cirugía y radiología [2-5]. Específicamente se diseñará un láser de estado sólido bombeado por diodo que emita a 2940nm, basado en cristal Er:YAG [6].

Metodología

En la fabricación de un láser, la cavidad óptica determina las principales características de la emisión láser, su geometría establece las longitudes de onda de emisión y los modos de “laseo” así como la dirección de la emisión láser; y el medio activo básicamente proporciona la ganancia cuando se le hace incidir una fuente externa. Idealmente se desea que el modo transversal espacial (TEM) de un láser se comporte de manera gaussiana o TEM₀₀ con el fin de facilitar su manipulación en posteriores aplicaciones (i.e. enfoque, expansión o colimación). Sin embargo es algo complicado de lograr cuando se trata de láseres bombeados por diodo debido a la distribución espacial del haz que éstos emiten. Por eso es muy importante diseñar una cavidad que optimice la salida del láser.

Para el diseño de este instrumento se utilizó la técnica de análisis de propagación de haces por matrices ABCD [7]. Esta técnica consiste en asignar una matriz característica a cada uno de los elementos ópticos que conforman el láser, y luego obtener la matriz que representa a todo el sistema óptico a partir del producto de éstas, en orden inverso a su ubicación espacial en el sistema láser; de esta forma se puede analizar el

comportamiento de la distribución espacial del haz o los haces involucrados cuando viajan a través de la cavidad óptica. Si se elige una configuración de cavidad óptica que cumpla con las condiciones de estabilidad y que además haga que los anchos de los haces interactuando dentro del medio activo sean muy parecidos, entonces logrará extraerse gran cantidad de la energía del haz de bombeo que se convertirá en luz emitida, mejorando así la eficiencia del láser. El diseño de la cavidad se realizó utilizando un software desarrollado en el laboratorio de Láseres y Óptica No lineal del Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada (CICESE), este software permite modificar las distancias y las especificaciones (e.g. índice de refracción, dimensiones, longitud de onda de bombeo, etc.) de los componentes ópticos del láser que se desea construir de tal manera que se encuentren las distancias adecuadas para que se cumplan dichas condiciones y mejorar la eficiencia de conversión sin necesidad de realizar la multiplicación de matrices cada que se hace una modificación de la distancia entre los componentes o de sus características físicas. Se eligió una cavidad lineal simple con el objetivo de facilitar su manipulación y obtener un sistema estable, está formada por un espejo plano el cual es una de las caras del cristal y un espejo cóncavo con radio de curvatura de 100mm. El bombeo es un diodo láser que emite a 970nm de longitud de onda y está acoplado a una fibra multimodo de 400 μ m de apertura numérica; para colimar el haz de bombeo se utilizó una lente plano-convexa de 25mm de distancia focal y para enfocarlo se utilizó una lente plano-convexa de 50mm de distancia focal. En la Figura 1, se muestra el diseño obtenido a través de este software, el cual simula una mesa óptica donde los círculos grises representan los huecos para atornillar los componentes ópticos y tienen una distancia de 25mm entre ellos. El haz verde representa el bombeo y el haz rojo el láser.

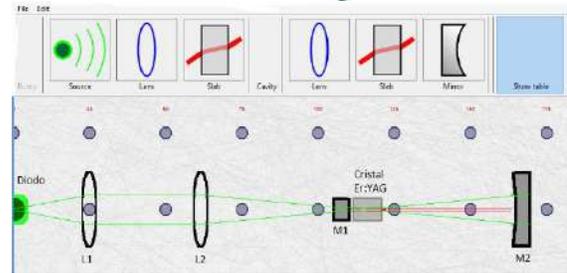
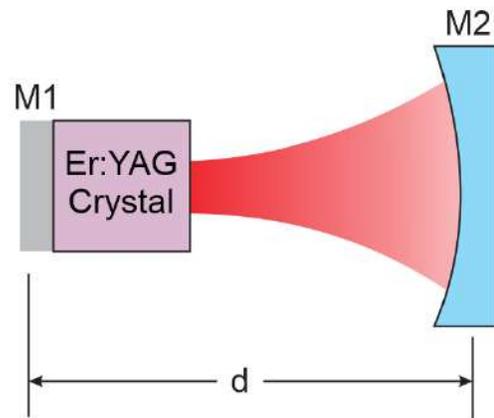


Figura 1. Diseño del láser bombeado por diodo, basado en cristal de Er:YAG; L1 y L2 representan las lentes colimadora y enfocadora respectivamente; M1 es el espejo acoplador de entrada y M2, el espejo acoplador de salida.

2. Resultados

A través de la simulación y los componentes ópticos seleccionados se obtuvo una cavidad plano-cóncava de una longitud d , igual a 52.9mm, tal como se muestra en la Figura 2, donde M1 y M2 son el espejo acoplador de entrada y acoplador de



salida respectivamente; ambos espejos son altamente reflejantes a la longitud de onda de 2900nm, específicamente M1 es 99.9% reflejante y M2 90% reflejante.

Figura 2. Cavidad óptica láser, se encuentra formada por un espejo plano (M1), el cual es una de las caras del cristal y es altamente reflejante (>99%) a $\lambda=2900$ nm y un espejo cóncavo acoplador de salida con radio de curvatura de 100mm y es 90% reflejante a $\lambda=2900$ nm.

Con el diseño de esta cavidad se logró que los anchos de los haces de bombeo y de laseo sean de valores muy parecidos, lo que permitirá obtener una buena eficiencia de conversión, aprovechando al máximo la potencia del diodo de bombeo. En la Figura 3, se muestra una gráfica de la variación de los radios de curvatura de los haces de bombeo y de laseo conforme se propagan a través del láser diseñado.

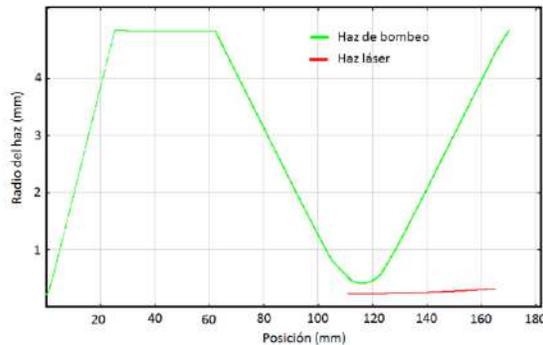


Figura 3. Simulación del comportamiento espacial de los haces que interactúan en el láser de Er:YAG. Puede observarse que la diferencia entre radios en el foco del haz de bombeo (aproximadamente en la posición 115mm) es menor a 50 μ m, lo que favorece la obtención de una buena eficiencia de conversión.

Una vez simulado el láser se procede con la construcción del mismo, siendo el primer paso la caracterización de la potencia de salida del diodo de bombeo con el fin de posteriormente calcular la eficiencia de conversión del láser, para esto se realizan mediciones de potencia de emisión a diferentes corrientes de bombeo. Se utilizó un sensor de potencia piroeléctrico de Thorlabs y se observó que se tendría potencia de bombeo de casi 70W como se muestra en la Figura 4.

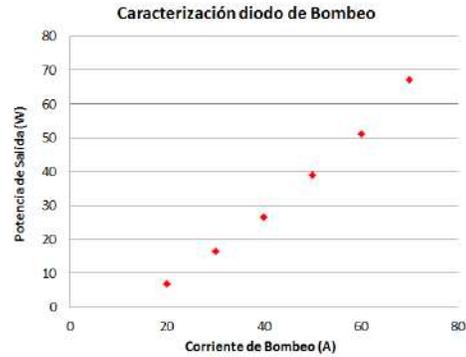


Figura 4. Potencia de salida para el diodo láser que se utilizará para fabricar el láser de Er:YAG. Está acoplado a fibra con apertura numérica de 400 μ m y emite a 970nm de longitud de onda.

Como trabajo futuro se propone fabricar el láser aquí propuesto para su aplicación en la caracterización de materiales biológicos.

3. Conclusiones

Utilizando la teoría de diseño de láseres se ha propuesto un láser compacto que emite en el medio infrarrojo, del cual se espera obtener una buena eficiencia de conversión para su aplicación en la caracterización de materiales. Una ventaja de este láser es que permite la modificación de sus componentes con el fin de adecuarlo a las diferentes necesidades de investigación que pudieran surgir.

Referencias

- [1] Waynant, R.W., Ilev I. I., I. Gannot, "Mid-infrared laser applications in medicine and biology", Phil. Trans. R. Soc. Lond. A. **359**, 635-644, 2010.
- [2] Azadgoli, B., Baker, R. Y., "Laser applications in surgery", Annals of Translational Medicine, **4**, 23, 452, 2016
- [3] Lalayan, A.A., Israelyan, S.S., "Metal nanoparticles and IR laser applications in medicine for biotissue ablation and welding", Walsh, L.J., "The current status of laser applications in dentistry", Aust. Dent. J. **48**, 3, 146-155, 2003. Laser Physics, **26** (5), 2016.

- [5] Lee, H.W., Kang, J.M.H., Teichman, J., Oh, Welch, A.J., "Urinary calculi fragmentation during Ho:YAG and Er:YAG lithotripsy", *Lasers Surg. Med*, **38**, 1, 39-51, 2006. 1er.
- [6] Zajac, A., Skorczakowski M., Swiderski J., P. Nyga "Electrooptically Q-switched mid-infrared Er:YAG laser for medical applications", *Optics Express. OSA*, **12**, 21, 5125-5130, 2004.
- [7] España Boquera, M.C., "Comunicaciones ópticas, Conceptos esenciales y resolución de ejercicios. Ed. Díaz de Santos, **1**, 95, 2005.



CONGRESO INTERNACIONAL DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

CBA14- Denoising and Principal Component Analysis of Amplified Raman Spectra from Red Blood Cells with added Silver Nanoparticles

Lisset Ferrer-Galindo¹, Alejandro David Sañu Ginarte¹, Noralvis Fleitas-Salazar², Lázaro Alberto Ferrer Moreno³, Rodrigo Arturo Rosas Burgos², Martín Rafael Pedroza-Montero², Raúl Riera Aroche²

¹Universidad de Sonora, Departamento de Física, P.O.B. 1626, 83000 Hermosillo, Sonora, México

²Universidad de Sonora, Departamento de Investigación en Física, P.O.B. A-088, 83190 Hermosillo, Sonora, México.

³Instituto Tecnológico de Hermosillo. Departamento de Ciencias Básicas, 83170 Hermosillo, Sonora.

⁴Universidad de Sonora, Departamento de Investigación en Física, P.O.B. A-088, 83190 Hermosillo, Sonora, México.

Abstract

Incubated erythrocytes with and without *silver nanoparticles (AgNP)* were analyzed by Raman Spectroscopy, resulting in two Raman spectra datasets. AgNP were added to *red blood cells (RBC)* in order to enhance the Raman signals. This technique is known as *Surface Enhanced Raman Scattering (SERS)*. A comparison was made between the Raman spectra with and without AgNP, to test if the SERS had taken place. Since Raman and SERS spectra are considered to be cumbersome due to the noises presented, we applied denoising criteria for detection and removal of noises like cosmic rays, shot and fluorescence contribution. After this, the *Principal Component Analysis (PCA)* was performed, in order to reduce the dimensions of the spectra being studied. Only the main key components necessary for a better interpretation of these spectra were considered. All of those noises had to be removed prior to the statistical analysis, to make sure the analysis was really based on the Raman measurements and not on other effects. As a result, RBC Raman spectra with and without AgNP got denoised, obtaining an improvement in its resolution for a better signal reading and data interpretation. Also, the first *principal components (PC)* were selected from each dataset under scrutiny, based on the weight of their information and their spectrum readability. In conclusion, we were able to represent the given reference system with a more affordable and smaller dimension in which information loss was minimal.

Keywords: Raman spectroscopy, pre-processing, multivariate analysis, principal component analysis, denoising.

1. Introduction

The use of Raman spectroscopy for biological purposes has increased the need to interpret large datasets resulting from applying this spectroscopic technique especially due to its high sensitivity to subtle molecular changes. Although Raman spectroscopy is a powerful technique, its signals are inherently weak in biological systems. In order

to record these weak signals, SERS(Campion & Kambhampati, 1998; Kukushkin, Van'kov, & Kukushkin, 2013; Lombardi & Birke, 2008) can be used. This is a technique that provides a signal increment of some orders of magnitude, where the enhancement factor can be as high as 10^{10} or 10^{11} .

As the Raman and SERS spectra are cumbersome by the noises presented, criteria application for detection and removal of these noises for better data interpretation is necessary. Those noises that corrupt data are very common, we can see cosmic rays or “spikes”(Sala, 1996) that are produced by external sources, the “Shot”(Sala, 1996) is a result of random nature of light, and there is another one generated by the sample, which is known as fluorescence(Sala, 1996). All these noises affect the real data from RBC Raman spectra with and without AgNP(Fleitas-Salazar et al., 2017), masking bands that contains valuable information and must be removed.

After denoising the data, it is necessary to correct the variability and reject redundant variables. To do that, we need statistical/chemo-metrical methods(Pérez, 2004). The use of multivariate analysis techniques allows the process development and interpretation of multiple data spectra amplified by AgNP (SERS reporters)(Lerner & Thevenon, 2013) in RBC, associated to a point or cell. For a better data analysis, spectra should not show any signs of noise.

In this work, we apply denoising techniques and PCA(Cuadras, 2014; Pérez, 2004) as an alternative mathematical–statistical technique to improve relevant Raman signal reading (e.g. SERS), for a better interpretation of biological systems. Here, we propose an original theoretical/experimental method to enhance Raman spectra resolution in biological systems making it possible to obtain inferences and predictions about the resulting data that help with disease diagnostic and treatment.

2. Materials and Methods

2.1. Experiment

Certain noises were removed and a multivariate analysis was applied to Raman spectra from an experiment that consisted in the incubation of erythrocytes with and without AgNP. Fresh cells obtained by blood extraction from a healthy volunteer were used. Two Raman spectra datasets were analyzed, the first one without AgNP, used as cells control and a second one with the nanoparticles added to enhance the Raman signal.

Cells Control: A 10 μL aliquot of blood was diluted 1:100 (V:V) in buffer phosphate saline (BPS). Figure 1 shows 94 spectra of red blood cells without nanoparticles, which were taken as Control in the experiment.

Cells with AgNP: A small aliquot of blood was diluted 1:100 (V:V) in BPS solution. The AgNP solution was added in a final dilution 1:10. Figure 2 shows 89 RBC spectra with AgNP, to be analyzed and compared with the Control spectra.

The samples were incubated for 2 h at $25 \pm 4^\circ\text{C}$. Cell samples were then prepared for Raman spectrum measurement. A drop of the cell suspension was added to a silicon substrate previously coated with poly-L-Lysine. The cells in the substrate were allowed to settle for 15 minutes to promote the immobilization of the RBC for measurement.

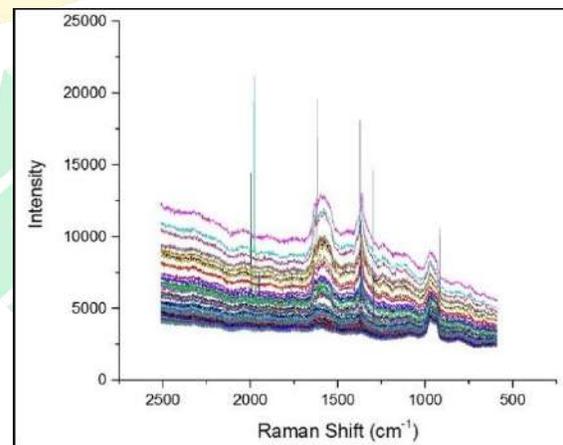


Figure 1. RBC Raman spectra without AgNP.

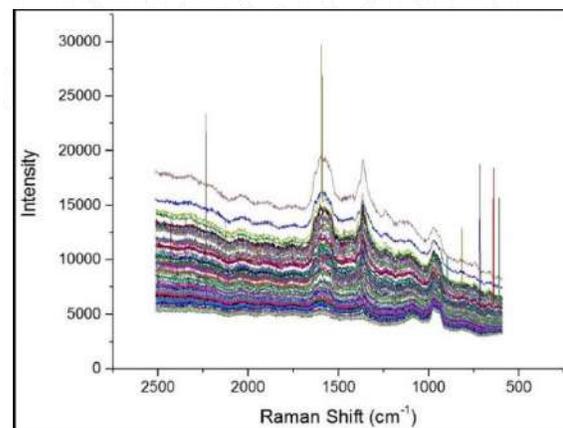


Figure 2. RBC Raman spectra with AgNP.

2.2. Instrumentation and data acquisition

Measurements were performed with a Raman micro-spectrometer (LabRam HR Horiba), equipped with a refrigerated CCD camera. Multiple scans were conducted; each cell was irradiated five times at different points. The excitation wavelength was 488 nm, with a 100X objective, in "non-confocal" conditions (1000 μm aperture). Each measurement was performed with a single exposure of 20 seconds and spectra were collected in the 2500-550 cm^{-1} range.

The Raman spectra were acquired with LabSpec software. The spectra denoising was performed using a self-created software, named *My Raman Data Processing (MyRDP)*. The multivariate analysis was implemented using the Wolfram Mathematica 9 software.

2.3. Pre-processing methods

Data was then loaded to MyRDP to remove the principal noises: spikes (cosmic rays), shot (background) and fluorescence, as shown in Figure 3. Since this was manually performed, the program was developed in NetBeans IDE 7.0.1, which is a free integrated development environment, made mainly for the Java programming language.

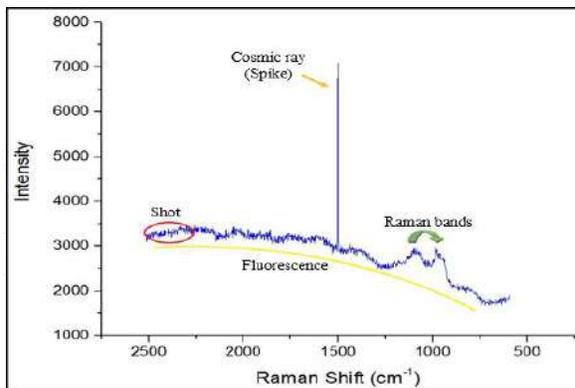


Figure 3. Principal noises in Raman Spectra (consider explaining the sample).

The programming of this data treatment was made considering the needs for this experiment, always trying to yield the greatest possible

robustness and allowing a user-friendly interaction. From the spectra, only a specific region is needed, the program allows the user to select the region of interest, which ranges from 1800 cm^{-1} to 599 cm^{-1} (it may be different depending on what is being looked for). After the range of interest was selected, we moved on to the detection and elimination of spikes (cosmic ray beams).

2.3.1. Cosmic Rays (Spikes)

An external non-optical source of noise is generated by high-energy particles such as cosmic rays, which reach the equipment detector. Cosmic rays release many electrons that are indistinguishable from photoelectrons. Electrons generated by cosmic rays are concentrated in one or two of the elements of the detector. The result is a very narrow peak of high intensity in the Raman scattering spectrum. These peaks occur infrequently, in random time and at random positions of the spectrum. It is difficult to confuse a cosmic peak with a Raman band, because of the disparity in its characteristics, unless several cosmic rays fall into adjacent pixels of the detector, which is unlikely (Sala, 1996).

Cosmic rays or spikes are characterized by being intense and narrow peaks, generally three or four points with intensities n -times greater than the adjoining points. It is known that hemoglobin (Hb) spectrum shows intense peaks in the 1380-1330 cm^{-1} and 1630-1530 cm^{-1} regions. As the sample was measured on a silicon substrate, the peak was found around 960 cm^{-1} in the 990-930 cm^{-1} region. Knowing where the characteristic bands are, is very useful, because if a spike is detected on one of these bands, the whole spectrum is discarded.

Once this is known, a spike can be detected scanning the spectrum point by point. As each point in the spectrum is scanned, it is checked that the absolute value of the difference between the current point and the next point does not exceed the value of 500, if so we are in the presence of a spike. The elimination process is described in the following way:

The current point, which is not more than the previous point where the spike begins, is

subtracted from the following points when the difference is greater than 500 in order to determine the spectral width of the spike called "n" (it can be between 1 and 4 points). After determining the width of the spike, the current point becomes the point where the spike begins, then the average of the point that is "n" positions before the current point and "n" positions after the current point is calculated and replaced by the value that is in the current point. This procedure of replacing spike values is repeated "n" times.

2.3.2. Shot (Smooth: FFT Filter)

Shot noise is the result of the random nature of light. Its intensity is equal to the square root of the number of photons detected. It is an inevitable source of noise in the measurement of Raman spectra (Sala, 1996).

Shot noise can be eliminated from free-spike data. So we smoothed the spectra implementing the filter method of the Fast Fourier Transform (FFT)(Press, Teukolsky, Vetterling, & Flannery, 1992). The algorithm places some limitations on the signal and on the resulting spectrum, for example: the signal from which samples were taken and to be transformed must consist of a number of samples equal to a power of two (Kraniauskas, 1994).

The idea that allows this optimization is the transformed decomposition to get to transformations of 2 elements where "k" can take the values 0 and 1. Once the simplest transformations have been resolved, they must be grouped into higher-level transformations, which must be solved again and so on until the highest level is reached. At the end of this process, the results obtained must be rearranged. The algorithm of the Fast Fourier Transform was popularized by Cooley and Tukey in 1965(Cooley & Tukey, 1965).

This smoothness consists of six steps:

- ✓ Calculation of the mean value of the first 1% of the data and the last 1% of the spectrum data.

- ✓ Construction of a straight line through these two points and subtraction of the data from this line.
- ✓ Development of the FFT in the set of data acquired in the previous step.
- ✓ Application of the filtrate with the low-pass parabolic filter.
- ✓ Development of the IFFT in the filtered spectrum.
- ✓ Addition of a baseline to the set of data purchased in the previous step.

FFT:

$$F_n = \sum_{i=0}^{N-1} x_i e^{-\frac{2\pi j}{N} ni} \quad (1)$$

Where x_i is a sequence of length N.

IFFT:

$$x_i = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} F_n e^{-\frac{2\pi j}{N} ni} \quad (2)$$

Low-pass parabolic filter:

Let f_{c1} be the pass frequency and f_{c2} be the stop frequency. The window function can be expressed by $w(f)$:

$$w(f) = \begin{cases} 1, & \text{si } f \leq f_{c1} \\ 1 - \frac{(f - f_{c1})^2}{(f_{c2} - f_{c1})^2}, & f_{c1} < f < f_{c2} \\ 0, & \text{si } f \geq f_{c2} \end{cases} \quad (3)$$

2.3.3. Fluorescence (Spectra normalization)

The noise generated by the sample includes unwanted optical and sample-generated emissions, as is the case of fluorescence, a phenomenon that occurs if a photon hits the

molecule, it is absorbed and the molecule goes to an electronic excited state where it remains tenths of nanoseconds, to jump to another excited state but of lower energy, releasing a photon of frequency lower than the incident one. In Raman spectra, fluorescence usually presents as a gentle curvature of the baseline and it can reach an intensity that completely masks the intensity of the Raman bands. The noise generated by the sample also includes Raman intensity changes due to non-concentration-related changes in the sample. Both the intensity of the bands and the position may vary depending on the temperature of the sample, although these changes tend to be small. The heterogeneity of the sample can also create noise, since the analysis performed at one point in the sample need not be representative of the whole sample(Sala, 1996).

Because the signal from different spectra does not share the same intensity value, we need to reduce funds. To homogenize the spectra, it is first checked that the background is not linear. This is possible to determine by comparing two specific regions that we defined as: lower flat region and upper flat region. Where the lower flat region was 640-599 cm^{-1} and the upper flat region ranges from 1800-1750 cm^{-1} .

- The mean of the lower flat region (640-599 cm^{-1}) is compared with the mean of the upper flat region (1800-1750 cm^{-1}).
 - If the average of the upper flat region (1800-1750 cm^{-1}) is greater than the subtraction of the averages of the upper and lower flat region plus the average of the lower flat region, then the background is non-linear.
 - The correction consists of normalizing each spectrum by the line equation given by two points $(x_1, y_1), (x_2, y_2)$

$$\frac{y - y_1}{y_2 - y_1} = \frac{x - x_1}{x_2 - x_1} \quad (4)$$

2.4. Multivariate Analysis

After "denoising" the spectra we are ready to do the PCA statistical analysis. This multivariate analysis can be done in a program that was also self-made in the software Wolfram Mathematica 9, following the algorithm of the Multivariate Analysis, PCA(Pérez, 2004). Multivariate Analysis is one of the main techniques of data analysis when there are many variables to be considered at the same time for its interpretation.

The first step in multivariate data analysis is to have the data matrix X , from which the vector of mean value \bar{x} (Cuadras, 2014) can be computed. From there, we could proceed to obtain the matrix of covariance (of dispersion) and the correlation matrix and from there we can begin to obtain the main components in order to typify the data. This typification process affects the variance of all variables to be the same and equal to 1.

2.4.1. Principal Component Analysis (PCA)

PCA is a descriptive technique of dimension reduction, which seeks to study the relationships of interdependence between groups of variables and individual variables. This analysis has its origins in the works of Pearson published in 1901, in the Philosophical Magazine with the title "On lines and plans of closest fit to systems of points in space"(Pearson, 1901).

It allows the decomposition of the original data in a model consisting of a part of the signal and a part of noise. The analysis is oriented to model a variance-covariance structure of a data matrix from which the eigenvalues corresponding to the principal components are extracted. Each main component is a linear combination of the original variables. The first major component represents the largest variance, and thus corresponds to the higher eigenvalue. The second main component is orthogonal to the first one, with each successive main component being either orthogonal to all of the above, and constituting a decreasing proportion of the variance(Pearson, 1901).

In summary, in the main components analysis, a sample of size n on p variables X_1, X_2, \dots, X_p ,

initially correlated, is used to obtain a number $k \leq p$ of uncorrelated variables Z_1, Z_2, \dots, Z_p which are a linear combination of the original variables and which explain most of their variability. The main components will be as follows: $Z_1 = a_1 X_1$; $Z_2 = a_2 X_2$; ...; $Z_p = a_p X_p$. Where a_p are, the eigenvectors associated with the covariance matrix. Only the main p components that explain a high percentage of the variability of the original variables being preserved (Pearson, 1901).

Raman spectra are n -coordinate vectors defined in what is known as the "signal space of normalized wave numbers":

$$E_i = [e_{i1}, \dots, e_{ij}, \dots, e_{in}] \quad (5)$$

Where e_{ij} are, the Raman intensities of the spectrum E_i for a wave number (Raman shift).

The routine for performing the Raman spectra is performed with Wolfram Mathematica 9 software and is as follows:

1. Creation of the data matrix E with e_{ij}

$$\text{coordinates: } E = \begin{bmatrix} e_{11} & e_{12} & \dots & e_{1p} \\ e_{21} & e_{22} & \dots & e_{2p} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ e_{n1} & e_{n2} & \dots & e_{np} \end{bmatrix}$$

2. Typification of the variables:

It is necessary to obtain the mean vector from E :

$$\bar{e} = (\bar{e}_1, \dots, \bar{e}_j, \dots, \bar{e}_p) \quad (6)$$

Where

$$\bar{e}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n e_{ij} \quad (7)$$

is, the mean of each variable.

Then it is necessary to obtain the standard deviation from each variable:

$$\sigma_k = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (e_{ij} - \bar{e}_j)^2}{n}} \quad (8)$$

Since typification consists of subtracting each variable from its mean value and dividing the result by the standard deviation. Thus, obtaining new values for the data matrix.

$$x_{ij} = \frac{e_{ij} - \bar{e}_j}{\sigma_i} \quad (9)$$

Where the typified data matrix will be:

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1p} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2p} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{np} \end{bmatrix} \quad (10)$$

We calculated the mean and the variance of the data to make sure that the typing was successful. These must be 0 and 1 respectively.

3. After typing the data and forming a new matrix of data X with these, we proceed to obtain the covariance matrix S , which will be given by:

$$S = \frac{1}{n} X^T X \quad (11)$$

Where the components of S are going to be proportional to the correlation coefficients, because the typing process does not affect the correlation between the variables.

So, we can say that the covariance matrix S is proportional to the correlation matrix R of the

original or typified variables. We are now ready for main component analysis.

4. We proceed to obtain the values and eigenvectors. The eigenvalues are the roots of the equation:

$$|S - \lambda I| = 0 \quad (12)$$

The eigenvectors associated with the eigenvalues λ_i are the result of solving the equation:

$$S a_i = \lambda_i a_i \quad (13)$$

5. Once the eigenvectors have been obtained in matrix a , we proceed to extract the main components:

$$Z = a \cdot X \quad (14)$$

For the preservation or retention of the main components, the most logical criterion is to retain the least number of components that explain a certain percentage of variability, which is generally between 90% and 80% of the total. Another criterion would be to preserve the components whose eigenvalues are greater than or equal to 1 (Pérez, 2004). Finally, it is up to the researcher to decide what the best choice is.

The variability percentages were obtained in the following way:

$$\text{Var}Z_i = \frac{\lambda_i}{n} \times 100 \quad (15)$$

3. Results and Discussion

3.1. Denoising Raman spectra

An intensity difference is visible in Figure 1 and Figure 2 spectra. This difference occurs because the AgNP addition into the RBC. 10^3 was the intensity increment and we know that the enhancement factor for SERS can be as much as 10^{10} to 10^{11} , this result allows us to say that even

when the intensity increment was small, SERS was a success.

Then, we analyze the RBC Raman spectra incubated with and without AgNP in order to remove the specified noises, as it is described in section 2.3. In Figure 4-7, we can observe the denoising process gradually. For this process we take in consideration the order to remove noises, because if we remove shot noise before removing spikes, these get masked as Raman bands (Yúfera, Soneira, Ruiz-Moreno, & Sedó, 1996). Figure 4 shows the scientists desired region between $1800-599 \text{ cm}^{-1}$, which is full of noises, we can clearly see the huge spikes, the shot noise and the fluorescence contribution.

Figure 5 shows the Raman spectra after removing spikes. Those spikes were removed by implementing a criteria sequence that allowed us to identify and remove them, best described in section 2.3.1. In Figure 6, we can observe spectra after smoothing. The smooth is done applying the FFT Filter, which is an efficient algorithm that allows to calculate the discrete Fourier transform (DFT) and its inverse. It is of great importance in a wide variety of applications, from digital signal processing and digital filtering, among others.

In Figure 7, we see the spectra in the denoising process final state, where the fluorescence has been removed by creating a grade one polynomial function, a straight line, from two specific regions. We selected the lowest region from the lower section and the lowest region from the upper section for each spectrum. At the end, a spectral correction was made using the line equation given by two points $(x_1, y_1), (x_2, y_2)$. With these two points, we construct a line, which we subtract from each spectrum for its normalization (equation 4). Then the spectra can be processed using multivariate analysis.

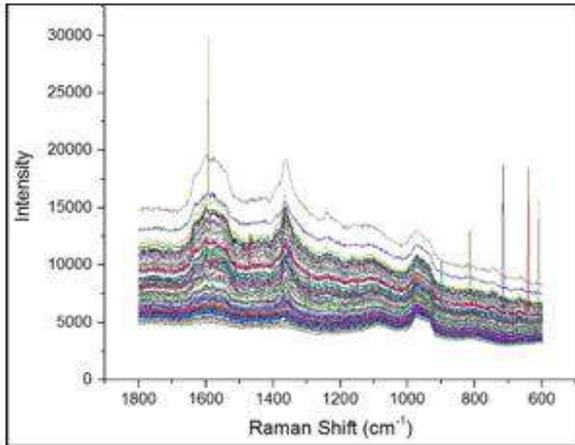


Figure 4. RBC Raman spectra with AgNP, with selected interest region 800 – 599 cm^{-1} . (Spikes can be observed).

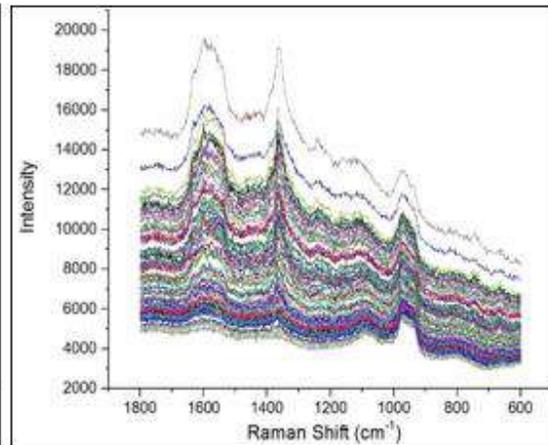


Figure 5. RBC Raman spectra with AgNP after removing the spikes.

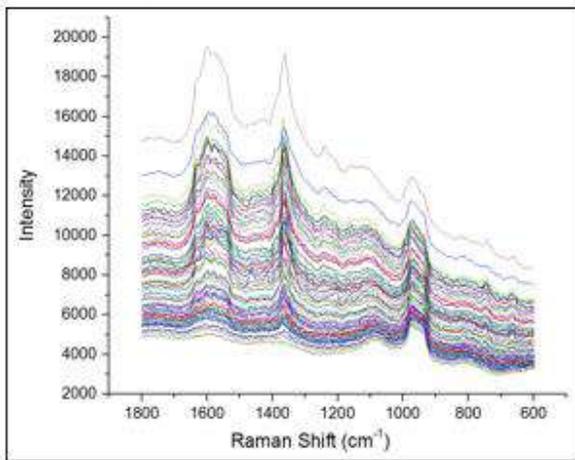


Figure 6. RBC Raman spectra with AgNP after softening.

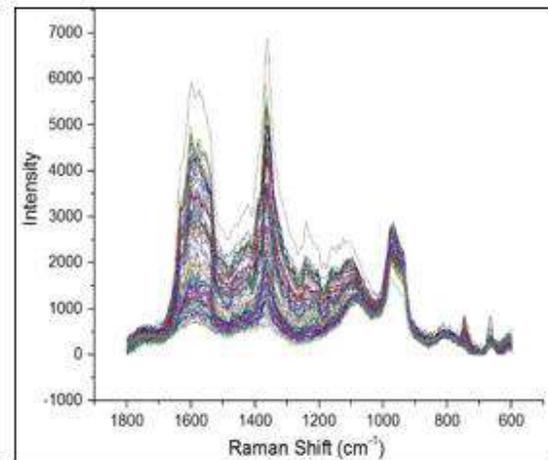


Figure 7. RBC Raman spectra with AgNP Normalized (without fluorescence).

3.2. Statistical Analysis (PCA)

After denoising all RBC Raman spectra with and without AgNP, we moved on to perform the PCA. From the equipment (LabRam HR Horiba), we obtained a data matrix consisting of n spectra with 1201 values each. These factors express the relationships between the wave number variables (1800-599 cm^{-1}). So, the spectra had $n = 615$ values. All the data was typed and a complete PCA cross validation was performed using one or two principal components.

After applying PCA over the denoised Raman spectra, we obtained statistical results shown in Table 1, where the PC variability percent shows that the first two PC explain 98.86% of the information from RBC Raman spectra without AgNP and 98.94% of the information from RBC Raman spectra with AgNP. PC selection was made applying components retention criteria, as we explained in section 2.4.1, we took the fewest components that explain a percentage of variability between 80 - 90% of the total; to preserve components whose eigenvalues are greater than or equal to 1.

In this case, we obtain two strong principal components, but we can see in Figure 8 – 9, where we show the two PC spectra from each dataset,

that only the first PC in both cases gives readable information.

Table 1. Principal Component Analysis results from RBC Raman spectra with and without AgNP

RBC Raman spectra without AgNP								
Mean	Standard deviation	Eigenvalues	PC1 Coef.	CP2 Coef.	Variability %	Cumulative	PC 1	PC 2
435.95	313.05875	79.03374	0.11001	-0.04796	83.19%	83.19%	-7.50495	-3.14694
481.68	358.32162	14.88045	0.10944	0.03865	15.66%	98.86%	-7.56427	-3.15832
417.55	331.27881	0.25699	0.11141	-0.00945	0.27%	99.13%	-7.35318	-3.22056
473.72	332.63329	0.10526	0.11058	0.02211	0.11%	99.24%	-7.00289	-3.28952
490.56	341.39515	0.07569	0.11131	0.01602	0.08%	99.32%	-6.71021	-3.31462
500.20	339.27534	0.0405	0.1097	0.04543	0.04%	99.36%	-6.58359	-3.31285
819.22	605.57175	0.02471	0.08893	0.15731	0.03%	99.39%	-6.62827	-3.30024
421.03	297.20846	0.02142	0.10817	-0.06154	0.02%	99.41%	-6.82522	-3.26039
371.24	294.55975	0.01972	0.10645	-0.08063	0.02%	99.43%	-7.16513	-3.17401
356.21	301.66804	0.01873	0.10604	-0.08307	0.02%	99.45%	-7.60888	-3.05894
...
RBC Raman spectra with AgNP								
Mean	Standard deviation	Eigenvalues	PC1 Coef.	CP2 Coef.	Variability %	Cumulative	PC 1	PC 2
838.76	466.44873	77.80994	0.10796	0.0767	86.46%	86.46%	-9.0323	1.7079
589.22	390.11247	11.23373	0.09223	0.1709	12.48%	98.94%	-9.0674	1.74138
1237.61	1002.19047	0.29913	0.10315	-0.102	0.33%	99.27%	-9.0429	1.78999

727.51	460.3899	0.1151	0.1116	0.0472	0.13%	99.40%	-8.9426	1.85733
1116.57	756.02231	0.08343	0.10916	-0.0762	0.09%	99.49%	-8.8108	1.92021
801.73	519.32077	0.0572	0.11248	0.0167	0.06%	99.55%	-8.7346	1.93386
1486.09	1157.09662	0.04709	0.10314	-0.1222	0.05%	99.61%	-8.7759	1.87638
1171.28	850.75433	0.02201	0.10681	-0.0959	0.02%	99.63%	-8.9351	1.77626
740.12	474.83072	0.01593	0.11229	0.0261	0.02%	99.65%	-9.1801	1.67912
700.17	435.21653	0.01309	0.11164	0.0424	0.01%	99.66%	-9.4829	1.59353
...

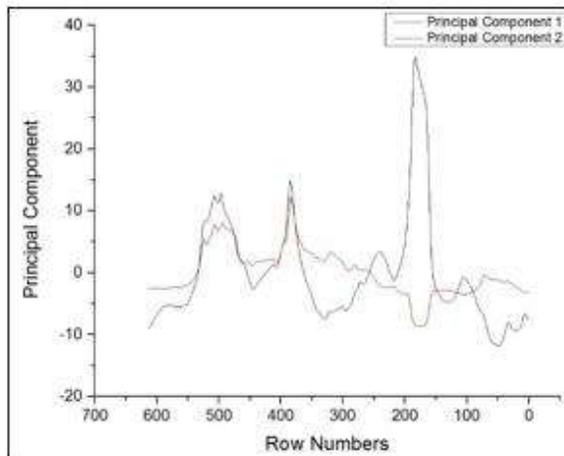


Figure 8. Two principal components spectra with the highest variability percentage from RBC Raman spectra without AgNP.

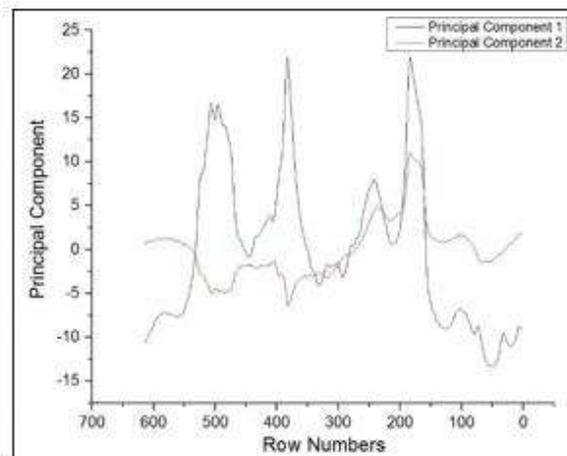


Figure 9. Two principal components spectra with the highest variability percentage from RBC Raman spectra with AgNP.

By making a correlation between the original variables and the retained components, we can also discard the second component, as shown in Table 2.

Table 2. Correlation between original variables and components retained from RBC Raman spectra with and without AgNP.

RBC Raman spectra without AgNP			RBC Raman spectra with AgNP	
Spectra	Principal Component 1	Principal Component 2	Principal Component 1	Principal Component 2
1	-0.978001	-0.424367	-0.94774	-0.360109
2	-0.972961	-0.42218	-0.81615	-0.310112
3	-0.990444	-0.429766	-0.90712	-0.344673
4	-0.983093	-0.426576	-0.98619	-0.374718
5	-0.989591	-0.429396	-0.9614	-0.365299
6	-0.975209	-0.423155	-0.99189	-0.376884
7	-0.790572	-0.343039	-0.910368	-0.345909
8	-0.961614	-0.417256	-0.945826	-0.359381
9	-0.946343	-0.41063	-0.989432	-0.37595
10	-0.942681	-0.409041	-0.982628	-0.373365
11	-0.982285	-0.426225	-0.921893	-0.350288
12	-0.893712	-0.387793	-0.792295	-0.301045
13	-0.720864	-0.312792	-0.859795	-0.326693
14	-0.902113	-0.391438	-0.947023	-0.359836
...

In Figure 10, we have the PC retained from both datasets, from which we can say that the characteristic peaks are distinguished, but they need more treatment to, for example, remove the silicon band and see intensities difference better

between the spectra, to achieve similar results to those spectra selected by hand work (Figure 11). Always remembering that PC are the ones obtained in this communication, that's why spectra in Figure 10 – 11 differ so much.

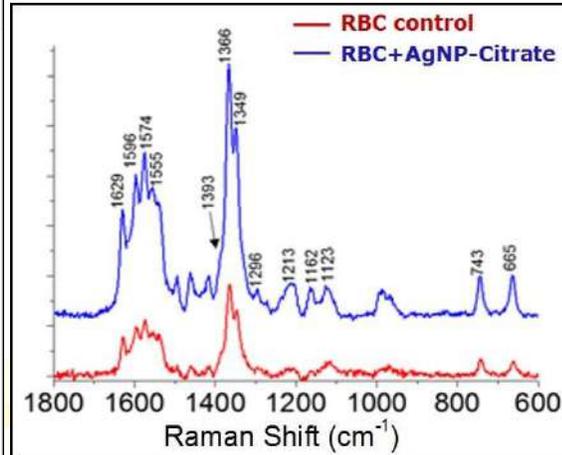
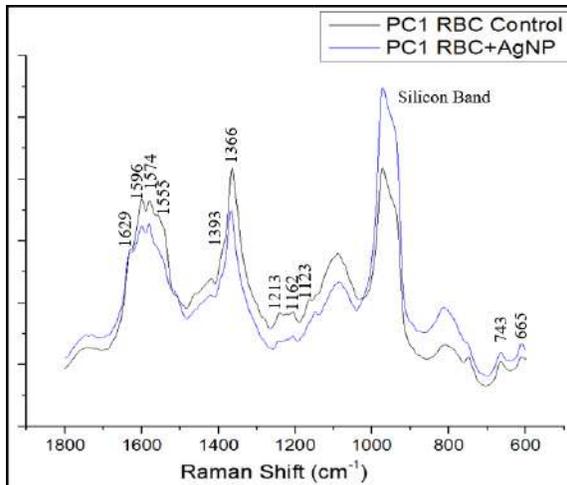


Figure 10. PC Spectra from data set analyzed.

Figure 11. Spectra selected by manual work.

Conclusions

In this work, RBC Raman spectra noises from two representative independent tests were eliminated, one incubated without AgNP and a second one with AgNP. During the Raman signal process, cosmic rays (spikes) were eliminated by detection and elimination criteria (mathematical method), the data smoothing was performed using the FFT Filter method and fluorescence elimination by normalizing the data by the line

equation given two points. More visible and manageable results were obtained for a better handling in the statistical analysis, the PCA, being able to represent the given referenced system, by a more affordable and smaller dimension, in such a way that information loss was minimal. This reduced the data analysis time, which was done by hand and was very cumbersome. In fact, the spectra denoising lasted for a month, before the statistical analysis was carried out.

4.004

Acknowledgments

This work was supported in part by CONACYT (Mexico) under contract 564940/297799.

References

- Campion, A., & Kambhampati, P. (1998). Surface-enhanced raman scattering. *Chemical Society Reviews*, 27, 241–250. <https://doi.org/10.1063/1.2812122>
- Cooley, J. W., & Tukey, J. W. (1965). An Algorithm for Machine Calculation of Complex Fourier Series. *Mathematics of Computation*, 19(90), 297-. <https://doi.org/10.2307/2003354>
- Cuadras, C. M. (2014). Nuevos Métodos De Análisis Multivariante. *CMC Editions*, 304. <https://doi.org/10.1017/CBO978110741532>

- Fleitas-Salazar, N., Silva-Campa, E., Pedrosa-Santana, S., Tanori, J., Pedroza-Montero, M. R., & Riera, R. (2017). Effect of temperature on the synthesis of silver nanoparticles with polyethylene glycol: new insights into the reduction mechanism. *Journal of Nanoparticle Research*, 19(3). <https://doi.org/10.1007/s11051-017-3780-3>

- Kraniauskas, B. P. (1994). A Plain Man's Guide to the FFT. *IEEE Signal Processing Magazine*, 11(2), 24–35. <https://doi.org/10.1109/79.273892>

- Kukushkin, V. I., Van'kov, A. B., & Kukushkin, I. V. (2013). Relationship between the giant enhancement of the Raman scattering and luminescence on nanostructured metallic surfaces. *JETP Letters*, 98(6), 342–347.

<https://doi.org/10.1134/S0021364013190089>

Lerner, J. M., & Thevenon, a. (2013). Optics of Spectroscopy Tutorial - HORIBA. 1996-2013 HORIBA, Ltd. Retrieved from <http://www.horiba.com/us/en/scientific/products/optics-tutorial/>

Lombardi, J. R., & Birke, R. L. (2008). A Unified Approach to Surface-Enhanced Raman Spectroscopy. *Journal of Physical Chemistry C*, 112(14), 5605–5617. <https://doi.org/10.1021/jp800167v>

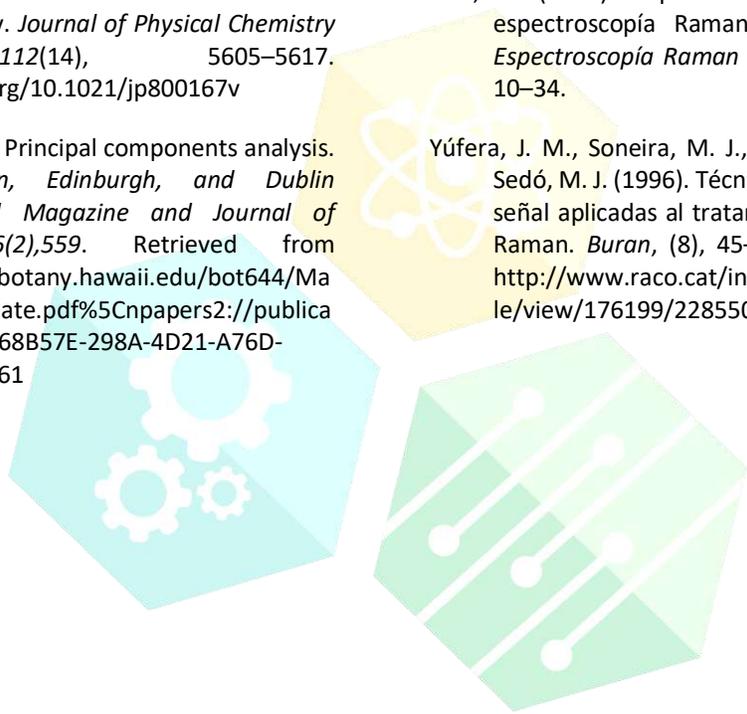
Pearson, K. (1901). Principal components analysis. *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science*, 6(2), 559. Retrieved from http://www.botany.hawaii.edu/bot644/Mainly_multivariate.pdf%5Cpapers2://publication/uuid/8268B57E-298A-4D21-A76D-CE842083AA61

Pérez, C. (2004). *Técnicas de análisis multivariante de datos. Aplicaciones con SPSS*.

Press, W. H., Teukolsky, S. a, Vetterling, W. T., & Flannery, B. P. (1992). *Numerical Recipes in C: The Art of Scientific Computing. Numerical Recipes in C The Art of Scientific Computing* (Vol. 1). <https://doi.org/10.2277/0521431085>

Sala, O. (1996). Capítulo 1: Fundamentos de espectroscopía Raman. *Fundamentos Da Espectroscopía Raman E No Infravermelho*, 10–34.

Yúfera, J. M., Soneira, M. J., Ruiz-Moreno, S., & Sedó, M. J. (1996). Técnicas de procesamiento de señal aplicadas al tratamiento de espectros Raman. *Buran*, (8), 45–48. Retrieved from <http://www.raco.cat/index.php/Buran/article/view/176199/228550>



CONGRESO INTERNACIONAL
DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

CBA16-Diseño de un Elemento Mecánico Inspirado en el Fémur de un Insecto *Calliptamus Barbarus*

Juan Antonio Paz González¹, Edgar Ricardo Meza¹, Luis Jesús Villarreal Gómez^{1,2}, Javier Rosel Solís¹, Emilio Hernández Martínez¹, José Navarro Torres¹

¹Escuela de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología, Universidad Autónoma de Baja California. Blvd. Universitario #1000, Valle de las Palmas, Tijuana, Baja California, México.

²Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería, Universidad Autónoma de Baja California, Tijuana, México.

pazj@uabc.edu.mx, emeza47@uabc.edu.mx, luis.villarreal@uabc.edu.mx, mrosel@uabc.edu.mx, emilio.hernandez.martinez@uabc.edu.mx, jnavarro85@uabc.edu.mx,

Resumen. - *En este trabajo se presenta el diseño de un elemento mecánico, basado en la configuración geométrica del fémur del grillo *Calliptamus barbarus*, utilizando sistemas de medición de contorno y comparador óptico para la caracterización dimensional y la creación de un modelo basado en la geometría externa del fémur del insecto, para la implementación en exoesqueletos, o elementos estructurales sometidos a compresión o impacto.*

Palabras clave: *Calliptamus barbarus*; Diseño Mecánico; Femur de Grillo; Biomimética

Abstract. - *This paper presents the design of a mechanical element, based on the geometric configuration of the *Calliptamus barbarus* cricket femur, using contour and optical comparator systems for dimensional characterization and the creation of a model based on the external geometry of the femur of the insect, for the implementation in exoskeletons, or structural elements subjected to compression or impact*

Key words: *Calliptamus barbarus*, Mechanical Design; Cricket femur; Biomimetic.

1. Introducción

El movimiento de los insectos puede inspirar el desarrollo de extremidades protésicas. En la Universidad de Leicester, en Reino Unido, han demostrado que las extremidades de los insectos pueden proporcionar a los ingenieros nuevas formas para mejorar el control de las extremidades robóticas y prótesis. Los insectos

controlan sus movimientos mediante una estrecha interacción de control neuronal y biomecánico [1-4].

Los exoesqueletos existen en la naturaleza, en diferentes tipos de configuraciones, donde la amplificación de potencia y soporte del cuerpo, son las principales funciones de los exoesqueletos, animales. De acuerdo con este principio se han

hecho investigaciones robóticas alrededor del mundo, trayendo ventajas que se pueden aprovechar de este tipo de sistemas [5].

En lo que respecta, a los saltamontes o langostas de alas rojas, existen alrededor de 13000 de especies descritas a nivel mundial, la mayoría tropicales, pero distribuidas por todo el planeta. En Norteamérica se encuentran 1800 especies, mientras que en México existen aproximadamente 920 especies pertenecientes a 274 géneros [6].

El insecto *Calliptamus barbarus* es un género de insectos ortópteros caelíferos perteneciente a la familia Acrididae. Es originario de Europa, África y Asia. *Calliptamus barbarus*, especie a la cual se le asigna el nombre de saltamontes o langosta de alas rojas, es una langosta de tamaño mediano, de unos 2.5 cm de longitud que se encuentra abundantemente en prados, matorrales y zonas. El abdomen es corto, con las alas igualmente cortas que apenas llegan a cubrirlo por completo. Las alas posteriores tienen un matiz de color rojizo, visible solo cuando las abre. También son características de *Calliptamus barbarus* (figura 1), sus patas posteriores con fémures con dos franjas oscuras y tibias con la cara interior del mismo color rojizo que las alas.



Figura 1. Insecto *Calliptamus barbarus*.

Este insecto tiene la capacidad de dar grandes saltos y de resistir grandes impactos por esto este trabajo tiene como finalidad determinar la configuración geométrica del fémur del insecto *Calliptamus barbarus*, teniendo una base bidimensional para la construcción de elementos estructurales principalmente en exoesqueletos.

2. Metodología

2.1 Perfilometría mecánica

Por medio del dimensionamiento se obtuvieron las medidas como longitudes y ángulos para obtener el perfil exacto del fémur de grillo, con esto se realizó el modelado tridimensional, contando con las dimensiones reales de los insectos seleccionados. A partir de estos resultados se realizó el p elemento mecánico.

Se seleccionaron especímenes que posteriormente fueron analizados, y en base a cada medida, se realizó una media para contar con el prototipo, ya que los tamaños del fémur varían con el tamaño del grillo, pero la estructura es la misma. Teniendo en cuenta esta consideración se procede con la medición del perfil de cada fémur para sacar un valor intermedio, el cual se está considerando para estandarizar una medida con un valor medio, obtenido de la medición de los diferentes especímenes seleccionados [8-9].

El perfilómetro (CONTRACER CV-2000Series 218 de la marca MITUTOYO) con una presión de 4 μm .

2.2 Comparador óptico

En base a las mediciones que se realizaron, se pudo comprender mucho mejor la composición de la estructura del fémur de una muestra de diez grillos y la estructura del grillo está diseñada para que se distribuyan los esfuerzos en esta, ya que teniendo entre cada soporte un ángulo de desviación igual al soporte interior, podemos suponer que la carga se distribuye hacia los costados del fémur que es en donde se encuentra

unidos todos los segmentos del fémur. De esta manera se podría comprender como es que los grillos soportan la caída de sus saltos, claro está, que las escamas con las que cuentan ayudan a mantener todo en su lugar y amortiguar el impacto junto con sus patas traseras [10].

2.3 Levantamiento en 2D.

El programa que se utilizó para realizar tanto el levantamiento 2D, como el modelado en 3D, fue Solidworks. Este software ofrece una funcionalidad de diseño potente con la intuitiva interfaz de usuario de SolidWorks, de este modo se agilizará el proceso de diseño.

3. Resultados

A través de la perfilometría mecánica, se adquirieron dimensiones como longitudes y ángulos para obtener el perfil del fémur de grillo, con esto se realizó un modelo bidimensional con el tamaño del grillo y su configuración geométrica. El contorno del perfil se muestra en la figura 4, la cual tiene una longitud total de 13.1 mm de largo en el eje x.

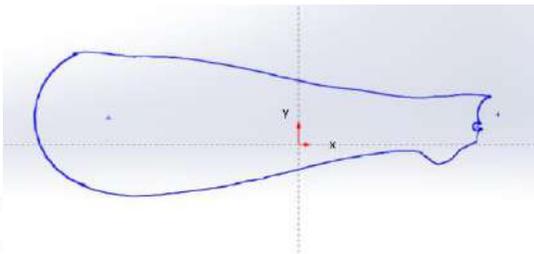


Figura 4. Contorno del fémur

Mediante el comparador óptico, Swift-Duo V2.0, se pudo observar el ángulo con el que cuenta cada una de las escamas que completan la estructura del fémur como lo muestra la figura 5 el cual presenta la imagen del fémur con un aumento de 50 x.

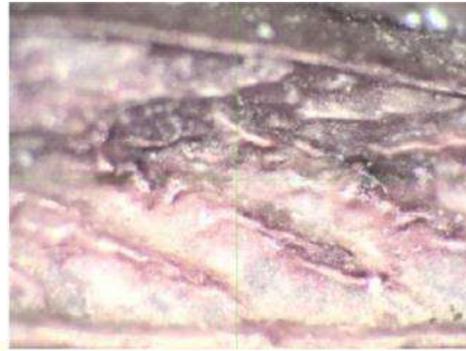


Figura 5. Fémur del grillo (50 x comparador óptico)

En la figura 6 se aprecia que la distribución de las flechas del fémur cuenta con 2 secciones una parte inferior y una superior dividida por un eje, la parte superior con un ángulo de 26.03° la cual conecta con el contorno superior del fémur. Mientras que la parte inferior cuenta con un ángulo de 29.35° que conecta con el contorno inferior del fémur.

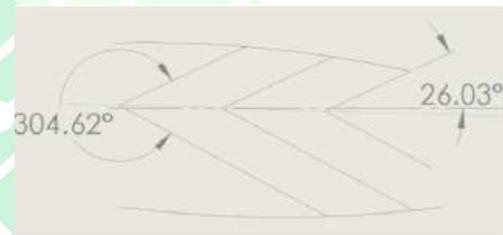


Figura 6. Líneas trazadas comparadas con el comparador óptico.

De acuerdo a los levantamientos del perfilómetro y comparador óptico se tiene la base para el diseño del prototipo, como levantamiento 2D Figura 7, que es el bosquejo preliminar, el cual cuenta con las dimensiones y las características más significativas del elemento en cuestión.

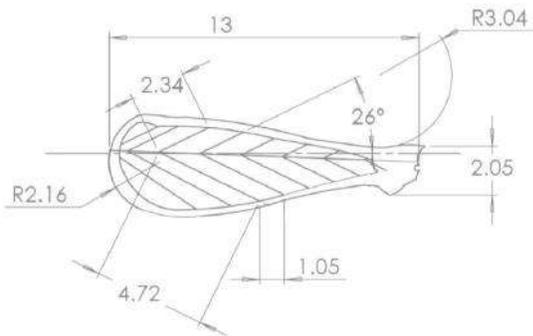


Figura 7. Levantamiento 2D. Medidas reales del fémur en milímetros.

Para la elaboración del modelo se utilizó la técnica de estereotomía como lo muestra la figura 8, para la manufactura del modelo propuesto se determina que se utilizaría la simetría con respecto a la parte inferior del fémur y únicamente sería de interés la configuración del contorno del fémur. El modelo está constituido por cartón, espuma de poliuretano y gel coat, en la parte superficial se escaló en una relación de 26/1 en sus dimensiones.



Figura 8. Estereotomía

Después de realizar el modelo se realizó un prototipo, fabricado de fibra de carbono, el cual se implementará para sustituir el fémur de los exoesqueletos como lo muestra la figura 9.

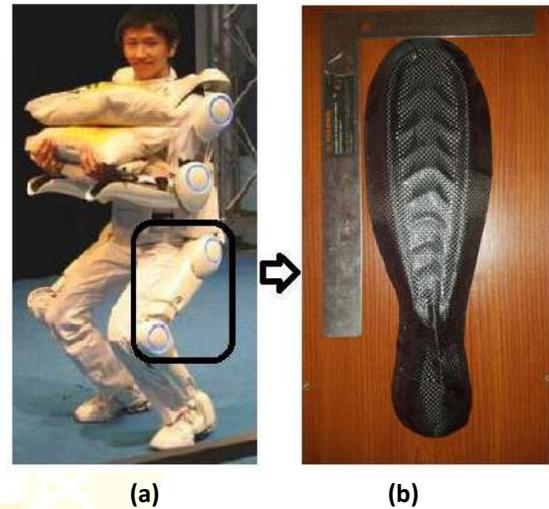


Figura 9. (a) Sistema HAL-5 [5] (b) Prototipo del fémur.

4. Conclusiones

El fémur tiene una medida de 13.1 mm en su parte longitudinal y un radio de 2.16 mm en su parte más ancha. Las flechas con las que cuenta el fémur tienen un Angulo de 26.03° en la parte superior, mientras que en la parte inferior se tiene un ángulo de 29.35°. Se aprecia que en la parte inferior existe mayor área del fémur además de mayor ángulo esto posiblemente se deba a que es la parte que soporta mayor esfuerzo durante su funcionamiento. Mejorar el proceso de manufactura para la generación del modelo y el prototipo como la realización de pruebas mecánicas.

Referencias

- [1] D. Goldman, "Introducción a Biomimesis – La tecnología como mímico de la naturaleza." [Online]. Available: <http://www.innmentor.com/2012/11/30/introduccion-a-biomimesis-la-tecnologia-como-mimico-de-la-naturaleza/>. [Accessed: 19-Jun-2017].

- [2] DTI Global Watch Mission, "Biomimetics: strategies for product design inspired by nature – a mission to the Netherlands and Germany," *Watch. Glob. Report, Mission*, no. January, p. 8, 2007.
- [3] "Shinkansen Train - AskNature." [Online]. Available: <https://asknature.org/idea/shinkansen-train/#.WV2IT4SGPIU>. [Accessed: 19-Jun-2017].
- [4] G. P. Sutton, "Animal Biomechanics: A New Silent Partner in the Control of Motion," *CURBIO*, vol. 23, pp. R651–R652, 2013.
- [5] C.-J. Yang, J.-F. Zhang, Y. Chen, Y.-M. Dong, and Y. Zhang, "A review of exoskeleton-type systems and their key technologies," *Proc. Inst. Mech. Eng. Part C J. Mech. Eng. Sci.*, vol. 222, no. 8, pp. 1599–1612, 2008.
- [6] "Saltamontes, grillos, chapulines y langostas." [Online]. Available: http://www.biodiversidad.gob.mx/especies/gran_familia/animales/insectos/grillos_saltamontes/grillos_saltamontes.html. [Accessed: 19-Jun-2017].
- [7] Ferran Turmo, "Calliptamus barbarus ? 2/2 - 436615 - Biodiversidad Virtual / Invertebrados." [Online]. Available: <http://www.biodiversidadvirtual.org/insectari> um/Calliptamus-barbarus-2-2 img436615.html. [Accessed: 19-Jun-2017].
- [8] "Perfilometría Mecánica | Telstar Instruments for Solutions." [Online]. Available: http://www.telstar-instrument.com/productos/metrologia_de_superficies/perfilometria_mecanica.htm. [Accessed: 19-Jun-2017].
- [9] "Contracer CV-2100 Series 218-Contour Measuring Instruments." [Online]. Available: <http://ecatalog.mitutoyo.com/Contracer-CV-2100-Series-218-Contour-Measuring-Instruments-C1599.aspx>. [Accessed: 19-Jun-2017].
- [10] "MITUTOYO | Notes on Use | Exemptions." [Online]. Available: <http://www.mitutoyo.com.mx/Newsletter/Articulo6.html>. [Accessed: 26-Jun-2017].
- [11] "Swift-Duo, revolucionario sistema doble de medición óptica y en vídeo." [Online]. Available: <http://www.visioneng.com/es/productos/medicion-sin-contacto/swift-duo-sistema-de-medicion-de-optica-y-video>. [Accessed: 26-Jun-2017].

CBA17-A Feedforward-Moment-Gyro-Control for Positioning Wirelessly Light-Source and Wireless-Camera in Laparoscopic Instruments

José Torres Ventura¹, Marco Antonio Reyna Carranza¹, Raúl Rascón Carmona², Miguel Enrique Bravo Zanoguera¹, Roberto López Avitia¹

¹ Cuerpo Académico de Bioingeniería y Salud Ambiental de la Universidad Autónoma de Baja California, Mexicali, B.C., México.

² Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Baja California.

Resumen. – *En este artículo se presenta un sistema mecatrónico giroscópico, que ayuda al cirujano laparoscópico a controlar de forma inalámbrica el zoom y la posición panorámica de una cámara y una fuente de luz, adaptadas a un manipulador para cirugía mínimamente invasiva. El giroscopio adaptado al manipulador, genera una señal de referencia utilizada por un control de lazo abierto. El sistema de cámara y fuente de luz, está montado sobre un dispositivo electromecánico (brazo robótico) de tres grados de libertad (3DOF). El éxito se mide haciendo una comparación de una señal de entrada a partir de los niveles de voltaje generados por un transductor con tecnología de sistemas micro-electro-mecánicos (MEMS), versus las señales para las posiciones angulares de dos servomotores (trayectoria panorámica e inclinación) y el acercamiento o alejamiento de la cámara por un motor DC.*

Palabras clave: Mínimamente invasivo; robot cirujano; adquisición de datos; control de giro de momento de avance; transceptor inalámbrico; laparoscopia.

Abstract. - *This article presents a gyroscopic mechatronic system, which helps the laparoscopic surgeon to wirelessly control the zoom and panoramic position of a camera and a light source, adapted to a manipulator for minimally invasive surgery. The gyroscope adapted to the manipulator generates a reference signal used by an open loop control. The camera and light source system is mounted on an electromechanical device (robotic arm) with three degrees of freedom (3DOF). Experiments performed with the system show good pan, tilt and zoom performance of the camera and light source. Success is measured by comparing an input signal from the voltage levels generated by a transducer with micro-electro-mechanical systems (MEMS), versus the signals for the angular positions of two servo-motors (pan and tilt) and zooming in or out of the camera by a DC motor*

Key words: Minimally invasive; Robot surgeon; Data acquisition; Feedforward-moment-gyro-control; Wireless transceiver; Laparoscopy.

1. Introduction

Mechatronics has actively participated in the rehabilitation of patients in about 10 % of the total world population according to the World Health Organization (WHO) [1–3]. One of the elements widely used in medical applications are transducers [4], [5], which are proposed to support surgeons in the laparoscopic field. An important topic addressed by this field is to move a laparoscopic camera and light into abdominal cavity; the camera provides continuous video images taken from the pelvic abdominal cavity of the patient. Nowadays, the position control of camera and light is achieved by using vision, voice and mechanical interfaces. Some solutions to manipulate position in this kind of instruments came from mechatronics assistance with three degrees of freedom (PMAT) [6], where a mechanical harness is placed over the shoulders of the surgeon and provides the position for the camera view. Another system is the robotic camera assistant (EndoAssist) [7], where the surgeon moves the laparoscopic camera through a helmet equipped with an infrared light emitting diode (IR LED) transmitter, which is in contact with an LED receiver placed on a remote monitor. This system allows changing the angle of a camera placed inside the pelvic cavity of the patient. Other methods, like those used in the automated endoscopic system for optimal position (AESOP) and the KAIST laparoscopic assistant robot systems (KALAR) use voice commands issued by the surgeon [8], [9]. Another alternative used is the single port access (SPA) [10], which consists of making a hole of 26 mm of diameter below the navel through which an independent camera is introduced and then controlled from the outside by an electromagnetic field [11]. Another minimally invasive surgical robot is the insertable robotic effectors platform (IREP) [12], which is a wire-actuated wrist with a passive flexible component arm that is introduced to manipulate the trajectory of the laparoscopic camera and light

[13]. Finally, the robotic cameraman is an industrial robotic arm, whose end tip was adapted to provide video images as it moves into the abdominal cavity of a patient [14].

This paper presents a prototype mechatronic system (i.e. a feedforward-moment-gyro-control) to move wirelessly a laparoscopic wireless-camera and light-source inside the abdominal cavity of a patient [15], [16].

2. Methodology

2.1 Principles of the system

A feedforward-control is implemented to achieve the reference position of the camera; this reference signal is given by an electronic gyroscope mounted on a laparoscopic grasper instrument. The surgeon decides when to start or stop this task by pressing with the thumb a force sensor (FSR) installed in the instrument (i.e. grasper of 5 mm of diameter).

The mechanical prototype is supported on transducer technology of micro-electro-mechanical systems (MEMS), which involves a conversion of energy into a voltage. Moreover, the output of the angular rate sensor (i.e. gyroscope) is amplified and used as reference signal to move the camera on three different axes: pan, tilt (both are rotational) and zoom (translational). The gyroscope has a sensitivity of 300 $mV/^\circ/s$ as reported by their manufacturers. Some of these control applications in the medical field can be consulted in [17], [18]. Concerning the issue of security related to radiate power levels for medical instruments in the operating room, there are some previous works that give some recommendations [19–22].

As shown in Figure 1, the process begins when the surgeon presses with the thumb the FSR (Mod. FSR 402). If the surgeon does not press the FSR, the laparoscopic instrument (i.e. the master

manipulator) is used as an instrument of standard surgery.

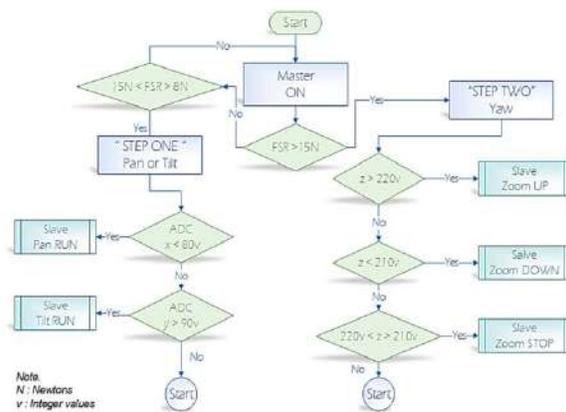


Figure 1. Master/slave feedforward control process to position laparoscopic camera and light.

2.2 Laparoscopic vision system

Figure 2 represents in blocks: (1) transceiver [23] gyroscope board (ADXL335), which is mounted on a laparoscopic instrument (disposable monopolar scissor, 17 mm blade); (2) 3DOF robotic arm, which is composed by a control board (ATmega2560), two servomotors (SA-1283SG), and one gear motor (MTS50-Z8); (3) wireless white-light mini-camera (type: pin hold lens, 12 volts, 2.4 GHz, 628 x 582 pixels) mounted on the tip of a laparoscopic instrument (type: 5 mm needle driver, Mod. Da Vinci 400117 Endowrist instrument) as shown in Figures 3 and 4; and (4) Liquid Cristal Display (LCD) monitor (Mod: 32" HD Plano TV FH4005 Series 4) with wireless video input (AV IN) for reception of images that come from the wireless laparoscopic camera. The images are transmitted from the laparoscopic camera to the LCD monitor using the radio frequency (RF) channel 2 at 2.49 GHz. The laparoscopic instrument (master manipulator) communicates with the 3DOF robotic arm (slave manipulator) using the standard IEEE 802.15.4 [24 – 26] by the RF channel 1 at 2.68 GHz.

2.3 Laparoscopic master manipulator

Figure 3 shows a traditional laparoscopic instrument (5 mm scissor), which was modified by adding a gyroscope on it. When the instrument rotates, the transducer detects the angle of motion and converts it into a voltage signal command, as shown in Figure 4.

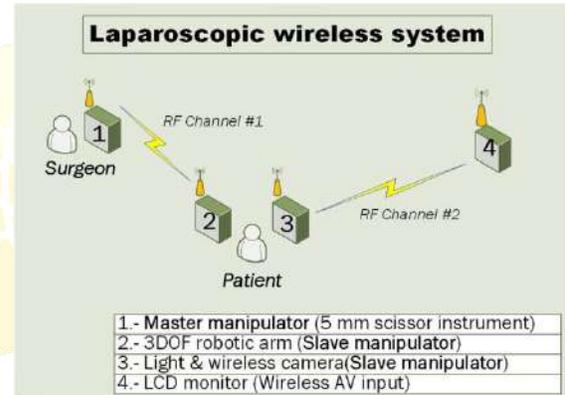


Figure 2. The surgeon controls the orientation of the master manipulator (1), which sends wirelessly the commands to the robotic arm (2) via the RF channel 1; at the same time the wireless-camera (3), which is inside the patient, sends the video images to the LCD monitor (4) via the RF channel 2.

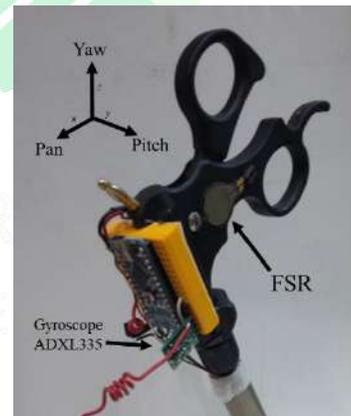


Figure 3. The master manipulator was modified to insert an FSR. The surgeon can press using the thumb to start or stop the remote position of the trajectory of the laparoscopic wireless-camera.

2.4 Slave manipulator dynamic model

Given that the manipulator of 3DOF is represented by the rectilinear motion $q_1 \in \mathbb{R}$ and 2 angular motions $q_2 \in \mathbb{R}, q_3 \in \mathbb{R}$, where q_1 stands for the zoom, q_2 is the tilt displacement and q_3 is the pan displacement as depicted in Figure 5, according to the modelling procedure of the Lagrange equations of motion [27]. Firstly, let us compute the kinetic energy of the manipulator, which is given by:

$$k(q, \dot{q}) = \frac{1}{2} [m_1 \dot{q}_1 + m_2 \dot{q}_2 + m_3 \dot{q}_3] \quad (1)$$

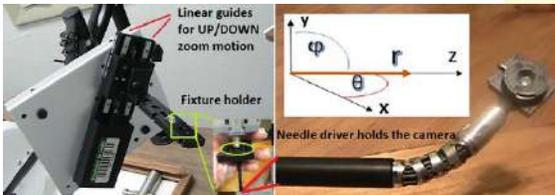


Figure 4. A 3DOF mechanical arm (left). The spherical coordinate system was introduced to better illustrate the motion of pan, tilt and zoom within the abdomen of the patient. It is not necessary any conversion between coordinate systems (right).

Moreover, the manipulator is not affected by gravity, therefore the potential energy is:

$$U(q) = 0 \quad (2)$$

From eq. (1) and (2) we can compute the Lagrangian

$$\begin{aligned} L(q, \dot{q}) &= K(q, \dot{q}) - U(q) \\ &= \frac{1}{2} [m_1 \dot{q}_1 + m_2 \dot{q}_2 + \dot{q}_3] \end{aligned} \quad (3)$$

We have that

$$\partial L / (\partial q_1) = \partial L / (\partial q_2) = \partial L / (\partial q_3) = 0$$

$$\partial L / (\partial \dot{q}_1) = m_1 \dot{q}_1$$

$$\partial L / (\partial \dot{q}_2) = m_2 \dot{q}_2$$

$$\partial L / (\partial \dot{q}_3) = m_3 \dot{q}_3$$

$$d/dt [\partial L / (\partial \dot{q}_1)] = m_1 \ddot{q}_1$$

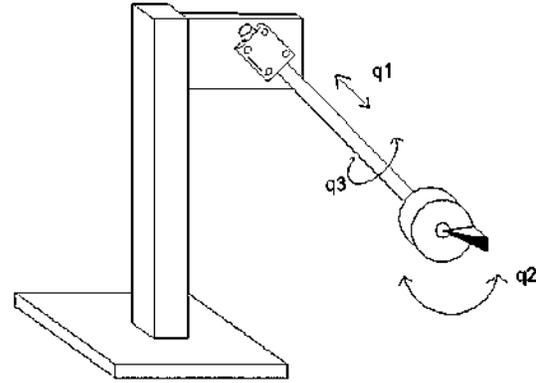


Figure 5. The slave manipulator: 3DOF robotic arm with camera on the end effector.

$$d/dt [\partial L / (\partial \dot{q}_2)] = m_1 \ddot{q}_2$$

$$d/dt [\partial L / (\partial \dot{q}_3)] = m_1 \ddot{q}_3$$

The Lagrange equations of motion for the manipulator are given by:

$$d/dt [\partial L(q, \dot{q}) / (\partial \dot{q})] - \partial L(q, \dot{q}) / \partial q = \tau \quad (4)$$

where $q = [q_1 \ q_2 \ q_3]^T \in \mathbb{R}^3$ and the control input is $\tau = [\tau_1 \ \tau_2 \ \tau_3]^T \in \mathbb{R}^3$, or equivalently

$$d/dx [\partial L(q, \dot{q}) / (\partial \dot{q}_i)] - \partial L(q, \dot{q}) / (\partial q_i) = \tau_i, \quad i = 1, 2, 3. \quad (5)$$

The dynamic model of the system in joint space coordinates is as follows:

$$d/dt \begin{bmatrix} q \\ \dot{q} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{q} \\ \tau/m \end{bmatrix} \quad (6)$$

with $q = [q_1, q_2, q_3]^T \in \mathbb{R}^3$, $\tau = [\tau_1, \tau_2, \tau_3]^T \in \mathbb{R}^3$ and $[m_1, m_2, m_3]^T \in \mathbb{R}^3$, we will have an infinite number of equilibrium points:

$$[q_1 \ q_2 \ q_3 \ \dot{q}_1 \ \dot{q}_2 \ \dot{q}_3]^T = [S_1 \ S_2 \ S_3 \ 0 \ 0 \ 0]^T$$

Being $S_1 = q_1(0)$, $S_2 = q_2(0)$, $S_3 = q_3(0) \in \mathbb{R}$, the control input $\tau \in \mathbb{R}^3$ is given by the gyroscope and the strain gauge mounted on the laparoscopic grasper as is shown in Figure 3.

2.5 Feedforward control

The surgeon, when using the master manipulator instrument, would have a limited working space due to the wrist of the hand plus the small dimension of the 5 mm diameter hole of the patient. Hence, the rotation over coordinates x , y and z are restricted from 0 to 90 degrees for each axis ($-\alpha$ to α , $-\beta$ to β , and $-\theta$ to θ respectively). Furthermore, the slave manipulator (i.e. laparoscopic wireless-camera) has a working space in spherical coordinates restricted from 0 to 90 ($-\phi$ to ϕ , $-\theta$ to θ) as depicted in Figure 3; the differences and restrictions are shown in Table 1A. The relationship between the z axis in Cartesian system and the r axis in Spherical system is shown in Table 1B.

Table 1. Relationship of Cartesian and Spherical system: (A) Pan and tilt trajectory. (B) Zoom trajectory.

A				B			
Master Manipulator (5mm scissors)				Slave manipulator (needle driver)			
Direction (Axes)	Displacement (Radians)	Orientation (Spinning)	Position (Degrees)	Angle	Position (Degrees)	Camera (Direction)	
x (roll)	q_2	Turn right	0 to 45	ϕ	0 to 45	Pan to right side	
x (roll)	$-q_2$	Turn left	0 to -45	$-\phi$	0 to -45	Pan to left side	
y (pitch)	q_3	Turn right	0 to 45	θ	0 to 45	Tilt to right side	
y (pitch)	$-q_3$	Turn left	0 to -45	$-\theta$	0 to -45	Tilt to left side	
z (yaw)	q_1	Turn right	0 to 45	r	0 to 50	Zoom up	
z (yaw)	$-q_1$	Turn left	0 to -45	r	50 to 0	Zoom down	

2.6 Master manipulator board

The gyroscope was adjusted to measure the orientation around the x axis from -45 to 45 degrees, around the y axis from -45 to 45 degrees and around the z axis from 45 to -45. An algorithm was developed to position the wireless-camera and light considering protocol shown in Table 2 and Table 3.

Table 2. Encoding structure to position servomotors on 3DOF robotic arm.

Gyroscope (Axes orientation)	Master manipulator			Command (Direction)	Slave manipulator Position (Degrees)
	Orientation (Degrees)	Encoding data (Integer value)	FSR (Step)		
x (roll)	-45 to 45	0 to 80	One	Pan	-45 to 45
y (pitch)	-45 to 45	90 to 170	One	Tilt	-45 to 45

Table 3. Encoding structure to position the dc gear motor on 3DOF robotic arm

Gyroscope (Axis orientation)	Master manipulator			Command (Direction)	Slave manipulator Position (Logic state)
	Orientation (Degrees)	Encoding data (Integer value)	FSR (Step)		
z	45 to 25	180 to 210	Two	Zoom down	ON
z	-45 to -25	221 to 254	Two	Zoom up	ON
z	-24 to 24	211 to 220	Two	Stop	OFF

2.7 Data acquisition system for master manipulator

To assess the matches of the position of laparoscopic wireless-camera and light versus the orientation of the gyroscope, we collected the proportional output voltage from the x , y and z axes of the gyroscope and converted this into digital signal with a microcontroller [28]. The ATmega326 supports 10 bits of resolution, and was adjusted to 3.3 V as reference voltage. Therefore, 3.29 V (LSB * 1023) is in theory the maximum voltage available. Thus, the error can be expressed as 0.097 % ($0.00323 \text{ V} * 100 / 3.3 \text{ V}$).

3. Results

Figure 6 shows how the trajectory position of the servomotor is controlled. These results are representative for both angular displacements q_2 and q_3 , but only one (pan) is reported.

3.1 Servomotor rotation degrees for pan and tilt

The servomotors that control the movement of pan and tilt properly do not have an encoder, so a mechanism was adapted to take the readings, using an incremental type DC encoder with resolution of 100 rpm at 5 V. In the same way in Figure 6 it is observed that the operating voltage of the x-axis of the gyroscope lies within the limits of the aforesaid theoretical voltage.

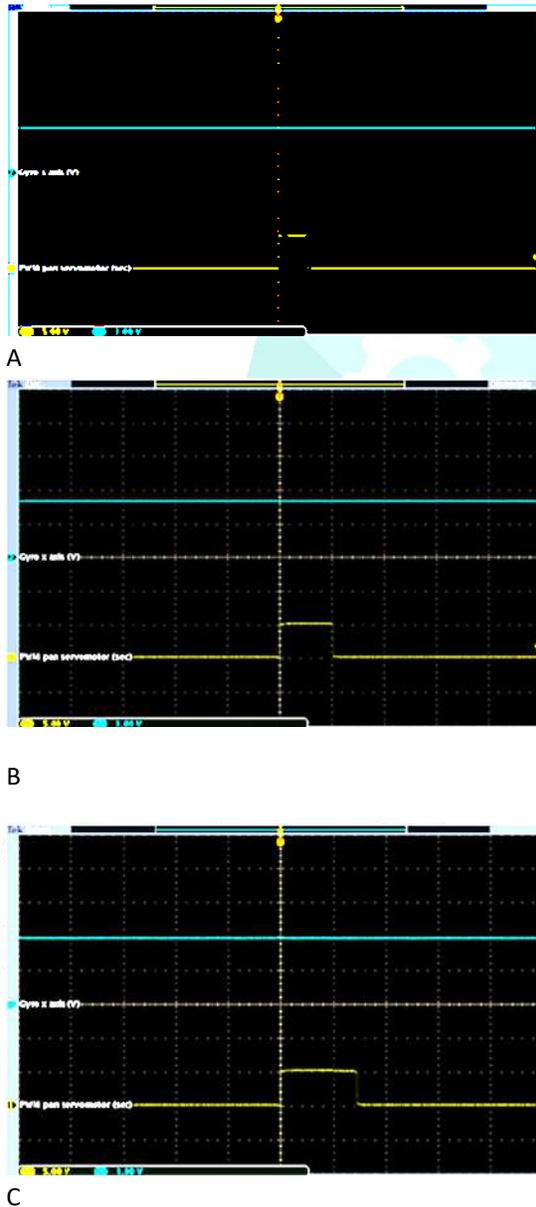


Figure 6. (A) Upper line is the voltage level from gyroscope output (1.4 V). Lower line is the pulse

width (0.6 ms) at the ADC output, which positions the servomotor on the -13 degrees. (B) Upper line is the voltage level from gyroscope output (1.0 V). Lower line is the pulse width (1.0 ms) at the ADC output, which positions the servomotor on the 13 degrees. (C) Upper line is the voltage level from gyroscope output (1.98 V). Lower line is the pulse width (1.5 ms) at the ADC output, which positions the servomotor on the 42 degrees.

3.2 The zoom trajectory from DC gear motor

The data logger records the voltage signal around the z axis. Figure 7 shows that when the orientation of the gyroscope is less than 75 degrees, the zoom is moving down; when the gyroscope is greater than 125 degrees, the zoom is moving up; and when the gyroscope rotates between 76 and 124 degrees, the zoom is stopping. The rectilinear motion q_1 zooms the laparoscopic wireless-camera.

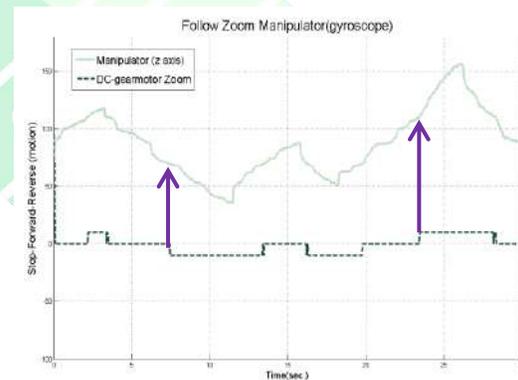


Figure 7. Data logging for reference tracking using the linear motor MTS50-Z8, which was used for the zooming motion q_1 .

4. Discussion

According to the results obtained by the DAQ system to assess the position of the laparoscopic camera and light, we analyzed and displayed the error through the process of conversion by the ADC system. Como se muestra en la Figura 8, En la Figura 5 por ejemplo se indica un voltaje de 1.98 V

en el eje x del giroscopio y la respuesta a 45° por el servomotor.

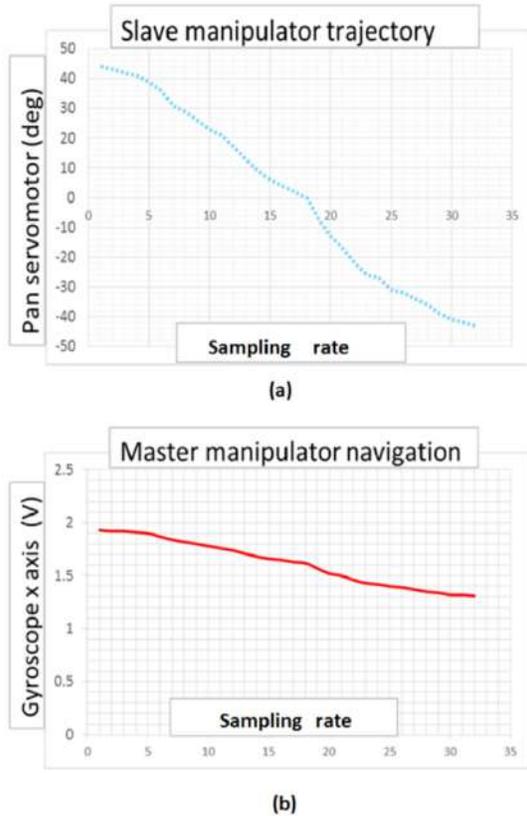


Figure 8. (a) Data logger for response of servomotor rotation degree, the vertical axis is the position in degrees; it can be seen how it decreases as sampling rate increases. (b) Gyroscope x axis output signal, it can be observed that voltage corresponding to the x axis decrease as sampling rate increases.

The present study showed that the position of a laparoscopic camera and light (slave manipulator) inside the abdomen of a patient can be controlled by the surgeon with a laparoscopic instrument (master manipulator). Also showed that 300 $mV/^\circ/s$ of gyroscope sensitivity is enough to guide the pan and tilt view of the camera and light. Considering that at lower sensitivity we get lower resolution, we will estimate with Eq. 7 the absolute error and with Eq. 8 the scientific error.

$$e = \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{X}|}{N} \quad (7)$$

$$X = \bar{X} \pm e \quad (8)$$

Where:

x_i = Sensitivity $mV/^\circ/s$

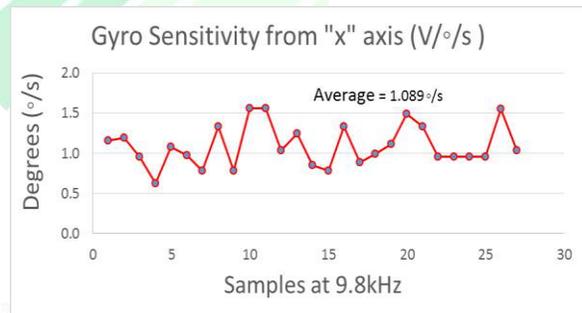
\bar{X} = Mean.

n = Total Reading.

X = Scientific Error.

In this way the absolute error $e = 0.20$ is estimated; which represented in terms of scientific error has an error in the range of 1,089 – 1,289, which represents a degree of positive sensitivity. The behavior of the experiment is shown in Figure 9.

Figure 9. Readings taken by the DAQ as a function



of the proportional voltage of the x-axis in degrees.

In addition, the results of the experiments show that when entering an FSR sensor to select between two different steps that represent two different spatial planes (with x and y coordinates), we can send information in the first step to the servomotors for pan and tilt motion, and the second step to send information to gear dc motor for the zoom motion.

Finally, the accuracy of the digitizing process of the output voltage for the x axis of the gyroscope, versus the response of the electromechanical actuators (servomotors and gear motor), was demonstrated by the data record that represent the output voltage at the microcontroller AT mega328. The signal sent through the path of wireless communication by the module RF NRF24L01 does not affect the response of the gear dc motor and the servomotor, due to the fact that this signal is used as reference for both actuators.

5. Conclusion

In this work, it was shown that a surgeon can modify the trajectory of a laparoscopic camera and light using a laparoscopic instrument with an embedded board containing a gyroscope. The surgeon decides when to move the laparoscopic camera in three axes (pan, tilt and zoom). The three axes can move back and forward. Although a feedforward control system cannot correct the errors that could be generated, nor compensate the perturbations affecting the system, nonetheless, some advantages of using this type of control are its simplicity of implementation and low cost.

Acknowledgments

Thanks to Universidad Autónoma de Baja California and CONACYT for the support of this work.

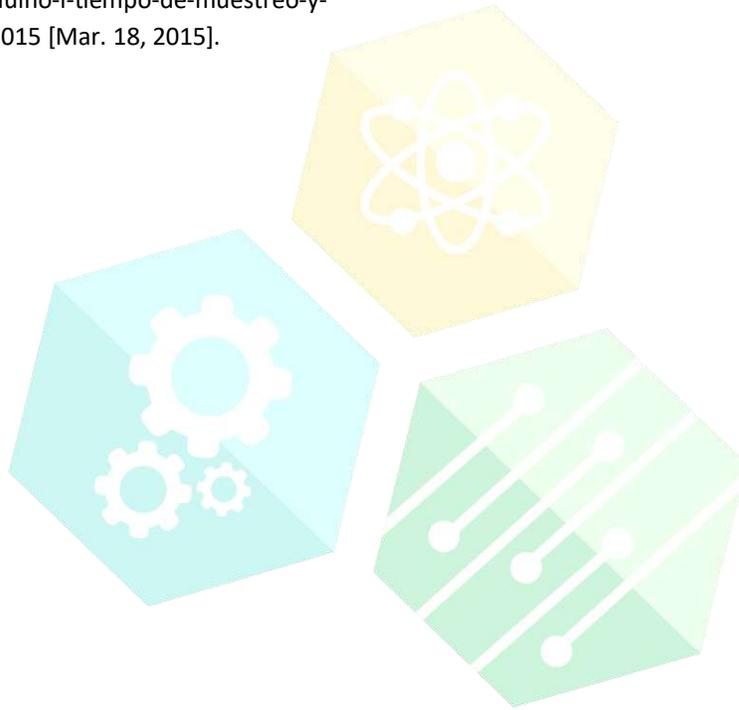
Referencias

- [1] Meng W, Liu Q, Zhou Z, Ai Q, Sheng B, & Xie SS. "Recent development of mechanisms and control strategies for robot-assisted lower limb rehabilitation," *Mechatronics*. 31:132-145, 2015.
- [2] Ouyang X, Ding S, Fan B, Li PY, & Yang H. "Development of a novel compact hydraulic power unit for the exoskeleton robot," *Mechatronics*. 38: 68-75, 2016.
- [3] Wu J, Gao J, Song R, Li R, Jiang L. "The design and control of a 3DOF lower limb rehabilitation robot," *Mechatronics*, vol. 33, pp. 13-22, 2016.
- [4] Blanes C, Mellado M, Beltrán P. "Tactile sensing with accelerometers in prehensile grippers for robots," *Mechatronics*, vol. 33, pp. 1-12, 2016.
- [5] Abir J, Longo S, Morantz P, Shore P. "Optimized estimator for real-time dynamic displacement measurement using accelerometers." *Mechatronics*, vol.39, pp.1-11, 2016.
- [6] Mishra R, Lorias D, Minor A. "Comparison of PMAT camera holder with human camera holder," *World Journal of Laparoscopic*, vol. 1, no. 2, pp. 1-5, 2008.
- [7] Wagner A, Varkarakis I, Link R, Sullivan W, Su L. "Comparison of surgical performance during laparoscopic radical prostatectomy of two robotic camera holders," *EndoAssist and AESOP; a pilot study*, vol. 68, no. 1, pp. 70-74, 2006.
- [8] Pugin F, Bucher P, Morel P. "History of robotic surgery: from AESOP and Zeus to da Vinci," *Journal of visceral surgery*, vol. 148, no. 5, pp. 3-8, 2011.
- [9] Kim J, Lee Y, Ko S, Kwon D. "Compact camera assistant robot for minimally invasive surgery: KaLAR," in Proc. IEEE/RSJ International Conference, 2004, pp. 2587-2592.
- [10] Pugin F, Bucher P, Morel P. "History of robotic surgery. AESOP and Zeus to da Vinci," *Journal of visceral surgery*, vol. 148, no. 5, pp. 3-8, 2011.
- [11] Liu X, Mancini G, Tan J. "Design and analysis of a magnetic actuated capsule camera robot for single incision laparoscopic surgery," in

- Proc. IEEE/RSJ International Conference, 2015, pp. 229-234.
- [12] Bajo A, Goldman R, Wang L. *"Integration and preliminary evaluation of an insertable robotic effectors platform for single port access surgery,"* in Proc. IEEE International Conference, 2012, pp. 3381-2287.
- [13] Luo R, Wang J, Tsai J, Lee K. *"Robotic Flexible Laparoscope with position retrieving system for assistive minimally invasive surgery,"* IEEE/RSJ International Conference, 2015, pp. 2014-2029.
- [14] Hurteau R, DeSantis S, Begin E. *"Laparoscopic surgery assisted by a robotic cameraman: concept and experimental results,"* in Proc. IEEE International Conference Robotics and Automation, 1994, pp. 2286-2289.
- [15] Yoshida M, Furukawa T, Morikawa Y, Kitagawa Y. *"The developments and achievements of endoscopic surgery, robotic surgery and function-preserving surgery,"* Japanese Journal of clinical oncology, vol. 40, no. 9, pp. 863-869, 2010.
- [16] García O, Olvera H, Beltrán J. *"Telemedicina y cirugía robótica en ginecología,"* Ginecol Obstet Mex, vol. 76, no. 3, pp. 161-166, 2008.
- [17] Cavusoglu M. *"Intelligent control algorithms for robotic-assisted beating heart surgery,"* Robotics, vol. 23, no. 3, pp. 468-480, 2007.
- [18] Feng Y, Fuentes D. *"Model-based planning and real-time predictive control for laser-induced thermal therapy,"* International Journal of Hyperthermia, vol. 27, no. 8, pp. 751-761, 2011.
- [19] Ardavan M, Schmitt K. *"A preliminary assessment of EMI control policies in hospitals,"* in Proc. Antenna Technology and Applied Electromagnetics, 2010, pp.1-6.
- [20] Tan K, Hinberg I. *"Radiofrequency susceptibility tests on medical equipment,"* in Proc. 16th Annual International Conference of the IEEE, 1994, pp. 998-999.
- [21] Van Der Togt R, Van Lieshout EJ, Hensbroek R, Beinat E, Binnekade JM, Bakker PJM. *"Electromagnetic interference from radio frequency identification inducing potentially hazardous incidents in critical care medical equipment,"* Jama, vol. 299 no. 24, pp. 2884-2890, 2008.
- [22] Chang M, Cheng C, Huang H. *"Wireless multi-channel near-infrared spectroscopy for monitoring middle cerebral artery occlusion,"* IEEE/SICE International Symposium System Integration, 2011, pp. 1072-1077.
- [23] Cavusoglu M, Rotella J, Newman W. *"Control algorithms for active relative motion cancelling for robotic assisted off-pump coronary artery bypass graft surgery,"* in Proc. 12th International Conference, 2005, pp. 431-436.
- [24] Ting K, Ee G, Ng C, Noordin N. *"The performance evaluation of IEEE 802.11 against IEEE 802.15. 4 with low transmission power,"* in Proc. 17th Asia-Pacific Conference Communication, 2011, pp. 850-855.
- [25] Chen CH, Chang H, Liu TP, Huang CH. *"Application of wireless electrical non-fiberoptic endoscope: Potential benefit and limitation in endoscopic surgery,"* International Journal of Surgery, vol. 19, pp. 6-10, 2015.
- [26] Periyasamy M, Dhanasekaran R. *"Electromagnetic interference on critical medical equipments by RFID system,"* in Proc. Communications and Signal Processing (ICCSP), 2013, pp. 668-672.

[27] Agrawal OP. “Formulation of Euler–Lagrange equations for fractional variational problems” *Journal of Mathematical Analysis and Applications*, vol. 272, no. 1, pp. 368-379, 2002.

[28] Carlos J. “Adquisición de datos con Arduino I: Tiempo de muestreo y Resolución”: <http://www.booleanbite.com/web/adquisicion-de-datos-con-arduino-i-tiempo-de-muestreo-y-resolucion/>, 2015 [Mar. 18, 2015].



CONGRESO INTERNACIONAL
DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

CBA18-Desafíos de la Toxicidad de Nanopartículas de Plata para la Industria, Aplicaciones Biomédicas y el Medio Ambiente

Balam Ruiz Ruiz^{1*}, Francisco Casillas Figueroa¹, Roberto Luna Vázquez Gómez¹, María Evarista Arellano García², Nina Bogdanchikova³, Alexy Pestryakov⁴

¹Escuela de Ciencias de la Salud, Universidad Autónoma de Baja California

²Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de Baja California

³Centro de Nanociencia y Nanotecnología, Universidad Nacional Autónoma de México

⁴Universidad Politécnica de Tomsk, Rusia

Resumen. – *En la última década se ha incrementado la investigación y los artículos científicos sobre riesgos por el uso de nanomateriales. En el caso de las nanopartículas metálicas y específicamente las de plata, se presentan diversos y complejos desafíos para su uso seguro. El objetivo del presente trabajo fue analizar la evolución del enfoque en las publicaciones sobre la toxicidad de las nanopartículas de plata. Se utilizaron las bases de Scopus y Science Direct con las palabras clave: toxicity y silver nanoparticles. Los artículos recuperados se clasificaron a partir de las siguientes categorías: Síntesis de nanopartículas, Toxicidad no microbiana, Caracterización fisicoquímica, Antimicrobiano, Impactos ambientales, Cáncer, Fisiología y Otras aplicaciones médicas. Se localizaron 1790 registros en Scopus y 846 en Science Direct, de los cuales 571 artículos se consideraron relevantes después de leer el título, y solo 305 se analizaron en profundidad, descartando los duplicados y los de acceso restringido. Resultaron 249 artículos con el tema de toxicidad no microbiana; 133 fueron de fisiología; 111 de impactos ambientales, 50 de aplicaciones médicas, 51 de efectos antimicrobianos, 45 de caracterización fisicoquímica, 40 fueron de síntesis de nanopartículas y 17 de cáncer. Entre 2014 y 2015 se publicaron 169 artículos, casi el mismo número de artículos que los acumulados entre 2007 y 2013 (126 artículos). El incremento anual fue de 10.5 artículos por año. En los años con más publicaciones el énfasis de los temas cambió, de uno dirigido hacia la toxicidad causa-efecto a otro que destaca el impacto ambiental. Son 63 revistas las que publican sobre estos temas, con factor de impacto que oscila entre 0.65 y 15.1, de las cuales 11 contienen casi la mitad de las publicaciones analizadas. El análisis muestra que la preocupación por la toxicidad de nanopartículas de plata está más vinculada a temas ambientales que estrictamente médicos.*

Palabras clave: Nanomateriales, Toxicidad, Nanopartículas de plata

Abstract. - *Research and scientific papers on nanomaterial risks have increased in the last decade. In the case of metallic nanoparticles and specifically silver nanoparticles, there are several and complex challenges for their safe use. The objective of the present work was to analyze the evolution of the approach in the publications on the toxicity of silver nanoparticles. The databases of Scopus and Science Direct were used with*

the key words: toxicity and silver nanoparticles. The recovered articles were classified from the following categories: Synthesis of nanoparticles, Non-microbial toxicity, Physical chemistry characterization, Antimicrobial, Environmental impacts, Cancer, Physiology and Other medical applications. There were 1790 records in Scopus and 846 in Science Direct, of which 571 articles were considered relevant after reading the title, and only 305 were analyzed in depth, discarding duplicates and restricted access. There were 249 articles with the theme of non-microbial toxicity; 133 were of physiology; 111 of environmental impacts, 50 of medical applications, 51 of antimicrobial effects, 45 of physical chemistry characterization, 40 were of nanoparticle synthesis and 17 of cancer. Between 2014 and 2015 169 articles were published, this is almost the same number of articles that accumulated between 2007 and 2013 (126 articles). The annual increase was 10.5 articles per year. In the years with more publications, the emphasis of the subjects changed, from one directed towards cause-effect toxicity to another that emphasizes the environmental impact. There are 63 journals publishing papers on these subjects, with impact factor ranging from 0.65 to 15.1, of which 11 contain almost half of the publications analyzed. The analysis shows that the main concern about the toxicity of silver nanoparticles is more linked to environmental issues than strictly medical.

Key words: Nanomaterials, Toxicity, Silver nanoparticles.

1. Introducción

Las revisiones bibliográficas de diversos tópicos de interés son una práctica común en el ambiente de la ciencia, un metaanálisis es una revisión sistemática en la cual se combinan los resultados de varios estudios que examinan una misma pregunta. Sánchez-Meca (2010) ^[1] menciona que el metaanálisis o la revisión sistemática es un tipo de investigación científica mediante la cual se revisa la literatura sobre un tema partiendo de una pregunta formulada, utilizando métodos sistemáticos y explícitos para localizar, seleccionar y valorar críticamente las investigaciones relevantes, uno de los objetivos de realizar una investigación metanalítica es integrar estudios individuales para conocer la relación entre variables ^[2].

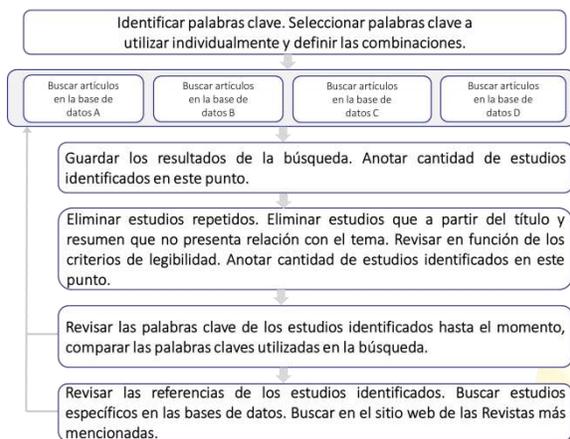
La literatura sobre riesgos por el uso de nanomateriales se ha incrementado en la última década, se consideran como nanomaterial, aquel que en uno o más de sus componentes presenta al menos una estructura dimensional de un diámetro entre 1 a 100 nanómetros ^[3]. En el caso específico de las nanopartículas de plata (NPAg) las preocupaciones sobre el uso seguro son diversas y complejas, existen estudios que han tratado de

demostrar los efectos tóxicos de las nanopartículas, sin embargo, hasta el momento no se han encontrado investigaciones que prueben dichos efectos de manera concluyente ^[4]. Entre los nanomateriales, las NPAg son de los productos comerciales más utilizados.

2. Metodología

El método para llevar a cabo esta investigación consistió en la identificación de palabras claves con la finalidad de realizar una búsqueda bibliográfica de las publicaciones que presentan en su contenido dichas palabras claves, a continuación, se presenta un diagrama en donde se explica el método que se siguió para este trabajo.

2.1 Diagrama del método



3. Resultados

Se localizaron **1790 registros en Scopus y 846 en Science Direct**, de los cuales **571 artículos se consideraron relevantes** después de leer el título, y solo **305 se analizaron en profundidad**, descartando los duplicados y los de acceso restringido.

Los artículos recuperados con las palabras clave se clasificaron a partir de las siguientes categorías: Síntesis de nanopartículas (*Sint*), Toxicidad no microbiana (*Tox*), Caracterización fisicoquímica (*Caract fis*), Antimicrobiano (*Antmicrob*), Impactos ambientales (*Amb*), Cáncer (*Cancer*), Fisiología (*Fisio*) y Otras aplicaciones médicas (*Med*).

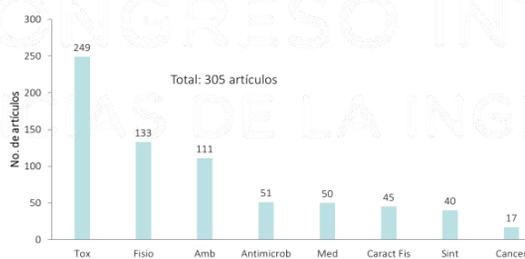


Figura 1. Cantidad de publicaciones por tema

Entre 2014 y 2015 se publicaron 169 artículos, casi el mismo número de artículos que los

acumulados entre 2007 y 2013 (126 artículos). El incremento anual fue de 10.5 artículos por año. En los años con más publicaciones el énfasis de los temas cambió, de uno dirigido hacia la **toxicidad causa-efecto** a otro que destaca el **impacto ambiental**.

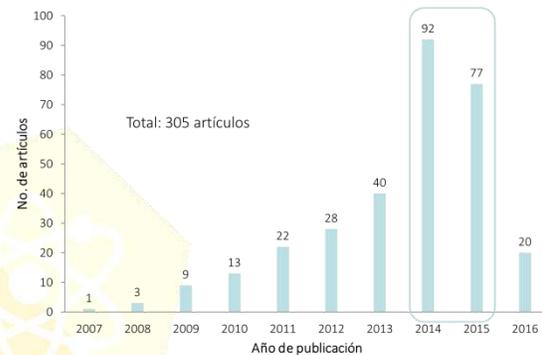


Figura 2. Cantidad de publicaciones por año

Conclusiones

El análisis muestra que la preocupación por la toxicidad de nanopartículas de plata está más vinculada a temas ambientales que estrictamente médicos. Lo anterior da indicios de que existe una preocupación generalizada sobre el impacto ambiental que pudieran representar nanopartículas de plata.

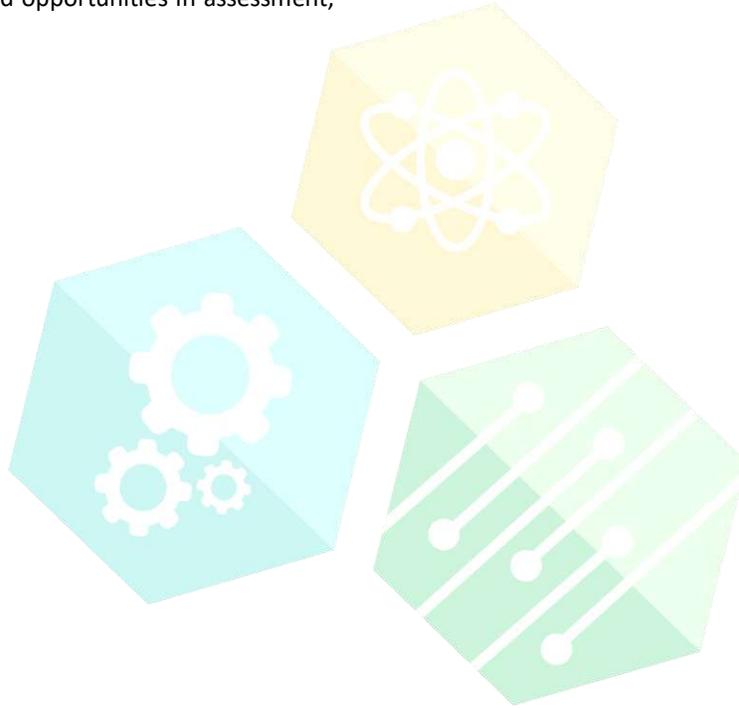
Referencias

- [1] Sánchez-Meca, J. Cómo realizar una revisión sistemática y un meta-análisis. *Aula Abierta*, 38 (2), pp. 53-64, 2010.
- [2] Cooper, H., Hedges, L. V., & Valentine, J. C. *Handbook of research synthesis and meta-analysis*. Russell Sage Foundation. Recuperado a partir de http://books.google.com/books?hl=es&lr=&id=LUGd6B9eyc4C&oi=fnd&pg=PR11&dq=handbook+of+research+synthesis+Harris+Cooper&ots=5MFKwVi7O&sig=_sW0knYAWkIS5Nu6dJYOZmiEWuk

- [3] Albanese A., Tang P. S., Chan W.C.W. The Effect of Nanoparticle Size, Shape, and Surface Chemistry on Biological Systems. Annual Review of Biomedical Engineering, Vol. 14, pp. 1–16, 2012.
- [4] Stensberg M. C., Wei Q., Mclamore E.S., Porterfield D.M., Wei A., Sepúlveda M.S. Toxicological studies on silver nanoparticles: challenges and opportunities in assessment,

monitoring and imaging. Nanomedicine (Lond), Vol. 6(5), pp. 879-898, 2011.

Agradecimientos: Agradecemos el apoyo del Proyecto del CONACYT de Redes No. 279889



CONGRESO INTERNACIONAL
DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

CBA19- Innovación para Ensayos de Cito/Genotoxicidad de Nanopartículas con Células Meristemales

Francisco Casillas Figueroa^{1,*}, María Evarista Arellano García², Nina Bogdanchikova³,
Balam Ruiz Ruiz¹, Roberto Luna Vázquez Gómez¹, Alexy Pestryakov⁴

¹Universidad Autónoma de Baja California, Escuela de Ciencias de la Salud.

²Universidad Autónoma de Baja California, Facultad de Ciencias.

³Centro de Nanociencias y Nanotecnología, Universidad Nacional Autónoma de México

⁴Universidad Politécnica de Tomsk, Rusia.

Resumen. - *El uso de nanopartículas para aplicaciones industriales y biomédicas, requiere comprender las características de su toxicidad para garantizar la seguridad en la producción y uso. Una de las técnicas más utilizadas para monitorear la toxicidad ambiental es la prueba de micronúcleos y anomalías nucleares en diferentes modelos vegetales especialmente en Allium cepa. El objetivo de este trabajo es presentar una innovación en el protocolo de tinción que mejora la identificación microscópica de diferentes anomalías en el ciclo celular así como aberraciones cromosómicas, índice mitótico y otras anomalías nucleares. Estos modelos vegetales son de gran utilidad por ser pruebas de bajo costo, fácil manejo, relativamente rápidas y de gran aceptación en la comunidad científica; el punto crítico de esta técnica es la microscopía, que requiere de largas horas de entrenamiento y visualización para distinguir los contenidos citoplasmáticos del material nuclear. La técnica consiste en exponer las raíces in vivo con diferentes nanomateriales, después de transcurrido el tiempo de exposición experimental, se someten a hidrólisis de la pared celular con ácido clorhídrico, para posteriormente realizar los cortes con los que después de proceder a la tinción con orceína acética se realiza un squash sobre portaobjetos con la ayuda de un cubreobjetos, el cual se sella con esmalte para uñas transparente para evitar la desecación. La modificación consistió en agregar verde rápido como colorante de contraste, con lo cual se obtuvo una observación más nítida del contenido nuclear debido a que éste se tiñe de otro color con respecto al citoplasma, y esto ayuda a evaluar con mayor objetividad, porque reduce los eventos de falsos positivos y hace más diáfanos las diferentes etapas del ciclo celular y los biomarcadores de daño genotóxico y citotóxico, lo cual redundando en un acortamiento del tiempo de conteo y de efectividad de la técnica en general. .*

Palabras clave: Células meristemales, Genotoxicidad, Nanopartículas de plata

Abstract. - *The use of nanoparticles for industrial and biomedical applications requires understanding the characteristics of their toxicity to ensure safety in production and use. One of the most used techniques to monitor the environmental toxicity is the test of micronuclei and nuclear abnormalities in different vegetal models especially in Allium cepa. The objective of this work is to present an innovation in the staining protocol that improves the microscopic identification of different abnormalities in the cell cycle as well as chromosomal aberrations, mitotic index and other nuclear abnormalities. These vegetable models are very useful because*

they are tests of low cost, easy to handle, relatively fast and of great acceptance in the scientific community; The critical point of this technique is microscopy, which requires long hours of training and visualization to distinguish the cytoplasmic contents of nuclear material. The technique consists in exposing the roots in vivo with different nanomaterials, after the time of experimental exposure, they are subjected to hydrolysis of the cell wall with hydrochloric acid, to later obtain sections stained with orcein Acetic acid and carry out a squash preparation on slides with the aid of a coverslip, which then are sealed with clear nail polish to prevent drying. The modification consisted in adding fast green as a contrast dye, which gave a clearer observation of the nuclear content because it is stained with another color with respect to the cytoplasm, and this helps to evaluate with more objectivity, because it reduces false positives events and makes the different stages of the cell cycle and the biomarkers of genotoxic and cytotoxic damage more clearly distinguishable, which results in a shortening of counting time and of the effectiveness of the technique in general.

Key words: Meristem cells, Genotoxicity, Silver nanoparticles.

1. Introducción

La técnica de Allium tests se ha utilizado desde la década de los 30's, introducida por Levan, A. 1938 ^[1] estudiando los efectos de la cochicina en la raíz de Allium cepa y a partir de ahí se ha utilizado en muchas investigaciones con una visión de evaluar los efectos de diferentes agentes que se consideran cito y genotóxico.

Por su parte Fiskesjö, G, en 1969^[2] evaluó el efecto del mercurio halogenado orgánico encontrando alta toxicidad del mercurio, midiendo la elongación de las raíces, así como la observación de las diferentes etapas de la mitosis. Diez años más tarde Fiskesjö^[3] realizó una modificación a la técnica, la cual consistía en la inmersión desde el inicio de la solución a evaluar documentando el crecimiento de la raíz y posteriormente observando micronúcleos y anormalidades nucleares.

De igual manera 1978 Grant, W.F. ^[4]. Realizo estudios de aberraciones cromosómicas en plantas como un sistema de monitoreo, concluyo que existe un gran potencial de las plantas como sistema de monitoreo de aberraciones cromosómicas.

Los estudios realizados por Fiskesjö, G, desde 1969 así como otros investigadores fueron

fundamentales para que en 1984 este autor publicara el artículo "The Allium test as a standard in environmental monitoring" y señala que la técnica de Allium test en su forma actual es una valiosa herramienta que se puede utilizar como un estándar para el monitoreo ambiental.

Las plantas superiores son reconocidas como excelentes modelos para detectar mutágenos ambientales y son utilizados con frecuencia en estudios de monitoreo, se caracterizan como pruebas de bajo costo, fácil manejo, pruebas a corto plazo, entre otros [5 y 4].

Una de las técnicas más utilizadas para monitorear la toxicidad ambiental es la prueba de micronúcleos y anormalidades nucleares en diferentes modelos vegetales especialmente en Allium cepa. La técnica ó Test de Allium es una técnica que sirve para medir daño citotóxico y genotóxico, siendo esta una de las técnicas más utilizada en las últimas décadas [5].

El Test de Allium sirve para identificar diferentes anormalidades en el ciclo celular, así como aberraciones cromosómicas, índice mitótico y otras anomalías nucleares. El punto crítico de esta técnica es el conteo al microscopio, que requiere de largas horas de entrenamiento y visualización para distinguir los contenidos citoplasmáticos del material nuclear.

2. Metodología

Preparado de material biológico y sacar raíz

Se lavan las cebollas y se recortan las raíces hasta la base del bulbo, consecutivamente los bulbos se estimulan para el crecimiento de las células, mediante la hidratación sumergiendo los bulbos en agua destilada filtrada o la solución a evaluar.

Técnica de Allium test

La técnica consiste en los siguientes pasos: 1) exponer las raíces in vivo con diferentes nanomateriales, después de transcurrido 72 horas de exposición experimental, 2) se realiza un corte de 3 mm, 3) se someten a hidrólisis con ácido clorhídrico 1 N por 10 minutos para la eliminación de la pared celular, 4) posteriormente se realiza la tinción con orceína acética por inmersión de la raíz por 20 minutos, 5) se lava la raíz con ácido acético 45 % para la eliminación del colorante, 6) se pone la raíz sobre un portaobjetos subsiguientemente se coloca un cubreobjetos y se realiza un extendido del tejido vegetal "squash" con la ayuda de la goma del lápiz, 7) por último se sella la preparación con esmalte para uñas transparente con la finalidad de evitar la desecación.

Modificación de la técnica de Allium test

Nuestra modificación consistió en: una vez que se lavó la raíz con el ácido acético al 45 % esta misma la raíz se sumerge en colorante verde rápido por 10 minutos, y posteriormente se siguen los pasos 5 al 7 para fijar y ser observada en el microscopio.

3. Resultados

Se obtuvo una observación más nítida del contenido nuclear debido a que éste se tiñe de otro color con respecto al citoplasma y apreciar

perfectamente las diferentes estructuras celulares que facilitan el conteo y evita falsos positivos en la determinación de daño genotóxico y citotóxico, esto lo podemos observar en la figura 1.

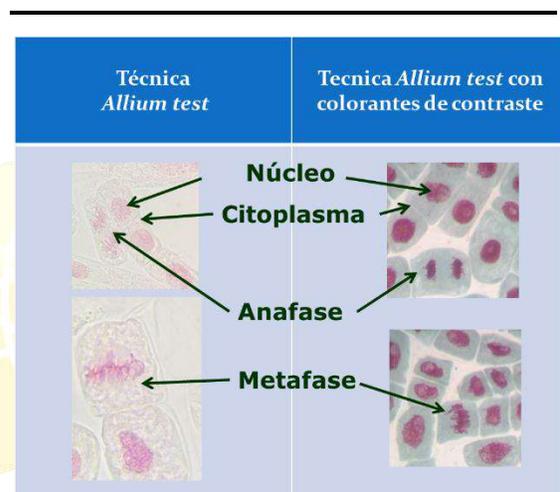


Figura 1. Comparación de imágenes de la técnica de Allium test y su modificación con colorante de contraste.

4. Conclusiones

Existe una mayor objetividad, ya que reduce los eventos de falsos positivos, hace más diáfanos las diferentes etapas del ciclo celular y permite determinar con mayor exactitud los biomarcadores de daño genotóxico y citotóxico. Reduce el tiempo de conteo y de efectividad de la técnica en general.

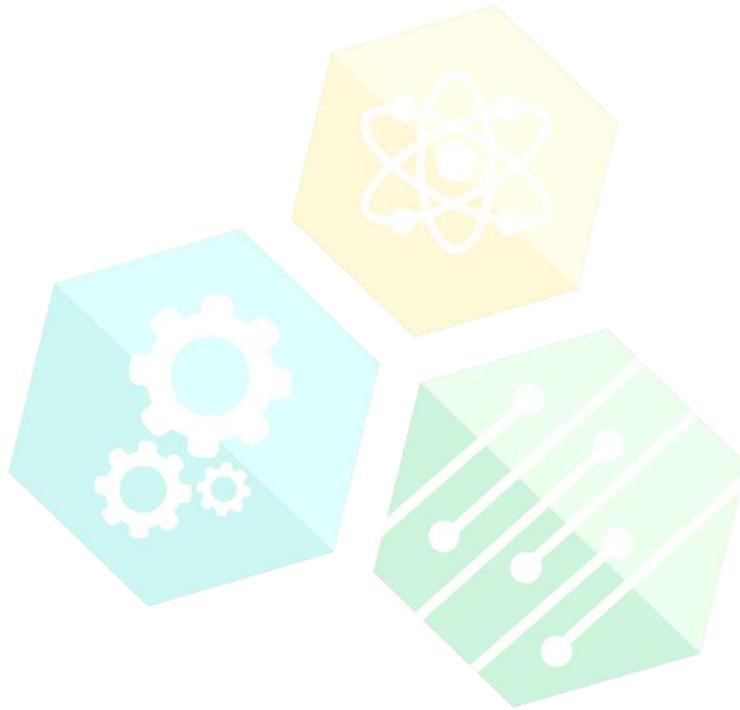
Referencias

- [1] Levan, A. The effect of colchicine on root mitoses in Allium. Hereditas 24:471. 1938.
- [2] Fiskesjö, G. Some results with Allium tests with organic mercury halogenides. Hereditas 62:14-322. 1969.

[3] Fiskesjö. G. Mercury and selenium in a modified Allium test. Heredifas 9/: 169-178. Lund, Sweden. ISSN 0018-0661. 1979.

[4] Grant, W.F. "Chromosome Aberrations in Plants as a Monitoring System". Environ. Health Perspect., 27(12): 37-43. 1978.

[5] Fiskesjö. G. The Allium test as a standard in environmental monitoring. Hereditas 102: 99-112. Lund, Sweden. ISSN 0018-0661. 1985.



CONGRESO INTERNACIONAL
DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

CBA20- Estudio de Nanofibras de poli (vinil pirrolidona) y poli (vinil alcohol) cargados con Sildenafil como Sistemas de Liberación de Fármaco

Erick José Torres-Martínez¹, José Manuel Cornejo-Bravo¹, Ricardo Vera-Graziano², José Manuel Cervantes-Uc³, Eduardo Alberto Lopez-Maldonado¹, Ana Leticia Iglesias⁴, Aracely Serrano Medina¹, Luis Jesús Villarreal-Gómez^{1,4}

¹Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería, Universidad Autónoma de Baja California, Tijuana, México

²Instituto de Investigaciones en Materiales, Universidad Nacional Autónoma de México, Distrito Federal, México.

³Centro de Investigación Científica de Yucatán, Mérida, Yucatán, México

⁴Escuela de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología, Universidad Autónoma de Baja California, Valle de las Palmas, México

Resumen. - La hipertensión arterial pulmonar (HAP) es uno de los principales factores de riesgo para padecer enfermedad cardiovascular, cerebrovascular e insuficiencia renal, que son importantes causas de mortalidad en México. En México existen únicamente dos medicamentos aprobados para HAP: Ilioprost (Ventavis®), Bosentan (Tracleer®) y uno disponible: Sildenafil Viagra®. El optimizar la absorción y eficacia del fármaco Sildenafil es el principal objetivo del proyecto. Por lo tanto, este trabajo tiene como propósito fabricar y caracterizar nanofibras por electrohilado que contengan sildenafil de rápida disolución para el posible tratamiento de hipertensión pulmonar crónica. Para lograr esto, se cargó citrato de sildenafil en nanofibras de poli (vinil pirrolidona) (PVP) y poli (vinil alcohol) (PVA) a través de la técnica de electrohilado. Posteriormente, se caracterizó químicamente las fibras PVP y PVA (FTIR, DSC, SEM, TGA). Se realizó el cargado con sildenafil en las nanofibras de PVP y PVA a través de la técnica de mezcla de disoluciones y se evaluó la velocidad de liberación del fármaco en una solución y se cuantificó por espectrofotometría. Los resultados de la investigación servirán como base para estudios posteriores, utilizando cultivos celulares y modelos experimentales para evaluar la efectividad del sistema en animales pequeños, con el objetivo de que los datos sean útiles para su transferencia a pruebas clínicas.

Palabras clave: Poli (vinil alcohol); Poli (vinil pirrolidona); Sildenafil; Sistema de liberación de Fármacos, Nanofibras.

Abstract. - Pulmonary arterial hypertension (PAH) is one of the main risk factors for cardiovascular disease, cerebrovascular disease and renal failure, which are important causes of mortality in Mexico. In Mexico, there are only two drugs approved for HAP: Ilioprost (Ventavis®), Bosentan (Tracleer®) and one available: Sildenafil Viagra®. Optimizing the absorption and efficacy of the drug Sildenafil is the main objective of the project. Therefore, the purpose of this paper is to fabricate and characterize electrospun nanofibers containing fast dissolving sildenafil for the possible treatment of chronic pulmonary hypertension. To achieve this, sildenafil citrate was loaded to poly (vinyl pyrrolidone) (PVP) and poly (vinyl alcohol) (PVA) nanofibers through the electrospinning technique. Subsequently, the PVP and PVA fibers (FTIR, DSC, SEM, TGA) were chemically characterized. Loading with sildenafil was performed on the PVP and PVA nanofibers through the solution mixing technique and the rate of drug release was evaluated in a solution and quantified by spectrophotometry. The results of the research will serve as a basis for further studies, using cell cultures and experimental models to evaluate the effectiveness of the system in small animals, with the aim of making the data useful for transfer to clinical trials.

Key words: Poly (vinyl alcohol); Poly (vinyl pyrrolidone); Sildenafil; Drugs Delivery Systems; Nanofibers.

1. Introducción

La hipertensión arterial pulmonar (HAP) es una complicación usual en lo que son las cardiopatías congénitas (CC). Se sabe que las CC son las malformaciones más frecuentes al nacimiento con una prevalencia que va de 6 a 8 por cada 1,000 recién nacidos vivos. En nuestro país se calcula que cada año nacen de 12,000 a 16,000 niños con algún tipo de malformación cardíaca. En los pacientes no corregidos existe un aumento en la presión pulmonar, por lo que puede provocar un incremento en las resistencias pulmonares y desencadenar una disfunción endotelial y exista una remodelación vascular, esto puede conllevar a alteraciones en los mediadores vasoactivos, que a su vez provocan vasoconstricción, inflamación, trombosis, proliferación, apoptosis celular y fibrosis. Como resultado, existe un aumento progresivo en lo que son las resistencias pulmonares y de la presión del ventrículo derecho. Si no se trata esto, ocurre que el flujo sanguíneo se invierte y se desarrolla el síndrome de Eisenmenger, la forma más avanzada de HAP consecutiva a CC [1].

La técnica de electrohilado ha sido usada como un método eficiente y accesible para la fabricación de nanofibras con una gran variedad de aplicaciones como lo son los campos de la farmacéutica y medicina, con más razón en la regeneración de tejidos. Tales aplicaciones podrían ser: apósito para heridas, filtración, sistema de administración de fármacos o andamios de ingeniería de tejidos [2,3].

Al conocer todo esto se dio la tarea de fabricar y caracterizar nanofibras por electrohilado que contengan sildenafil (CS) de rápida disolución para el posible tratamiento de hipertensión pulmonar crónica.

2. Metodología

2.1 Materiales

Poli (vinil alcohol) PVA (PM = 89,000-98,000 hidrolizado 98%-99% de Sigma Aldrich) fue utilizado. No se le aplicó tratamiento previo. Poli (vinil pirrolidona) PVP K40 (PM = 40,000, de Sigma Aldrich) fue utilizado. No se le aplicó tratamiento previo. Se utilizó agua desionizada, etanol absoluto (99.8% de Sigma Aldrich), N, N-

dimetilformamida (DMF anhídrido al 99.8% de Sigma Aldrich).

2.2 Preparación de nanofibras de PVA y PVP

Una solución al 10% (p/v) de PVA en agua destilada se preparó en baño maría a 80°C con agitación constante. Una vez disuelta, se dejó asentar la solución en el refrigerador a 3°C durante la noche para remover posibles burbujas. Por otro lado, una solución al 30% (w/v) de PVP en etanol absoluto fue preparada a temperatura ambiente con agitación constante. Posteriormente, se dejó asentar la solución en el refrigerador a 3 °C durante la noche para remover posibles burbujas [4]. A estas soluciones se les añadió 25, 50 y 100 mg de sildenafil mezclado por agitación constante hasta alcanzar una solución homogénea.

2.3 Fabricación de las nanofibras

Una jeringa plástica (22G) se cargó con las soluciones de PVA y PVP, removiendo todas las burbujas formadas durante la carga de la jeringa. Dos pruebas fueron conducidas. La primera a 10 cm, 15 kV y 0.2 ml/hr. La segunda a 15 cm, 20 kV y 0.2 ml/hr. En ambas, se observó la formación de fibras.

2.4 Microscopia de Barrido (SEM)

La morfología y diámetro de las fibras de PVA y PVP fueron determinadas por SEM, una pequeña sección del material fibroso se colocó en SEM. Un microscopio de emisión de campo JEOL JSM 7600F con un voltaje acelerado de 20 kV fue empleado para las imágenes.

2.5 Análisis Termogravimétrico (TGA)

El análisis termogravimétrico se realizó para determinar la pérdida de masa del PVA en función de la temperatura, para observar su proceso de descomposición. Se realizó un estudio en un equipo TGA Q500, con una velocidad de

calentamiento de 10 C/min, a partir de una temperatura ambiente hasta 600 °C, en una atmósfera de nitrógeno, el termograma fue analizado por el software TA Universal Analysis.

2.6 Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC)

Las muestras fueron evaluadas en el equipo TA instruments DSC Q100, el estudio de muestra se realizó sobre una charola de aluminio para DSC, se utilizó una velocidad de calentamiento de 10 °C/min, en un intervalo de temperatura de 0 °C hasta los 250 °C y en una atmósfera de nitrógeno. El termograma fue analizado por el software "TA Universal Analysis".

2.7 Infrarrojo con Transformación de Fourier (FTIR)

Espectroscopia de infrarrojo por la transformada de Fourier por reflectancia total atenuada se empleó un equipo ATR-Thermo Scientific Nicolet 6700. El espectro de absorción del infrarrojo fue colectado a 20°C desde 4000 - 650 cm⁻¹ para las muestras de monómeros y copolímeros. Los espectros fueron grabados y almacenados en un espectrofotómetro Perkin Elmer spectrometer operating en el ATR (Attenuated Total Reflectance). Se realizaron 4 barridos a una resolución de 4 cm⁻¹. El análisis FTIR se llevó a cabo para investigar la presencia de monómeros residuales en los copolímeros de las formulaciones.

3. Resultados

3.1 Microscopia de Barrido (SEM)

Las fibras de PVA, han sido electrohiladas con anterioridad, en nuestro caso las nuestras fueron más gruesas, esto debido al fármaco de alto peso molecular que tenemos. En la formación de las nanofibras, la presencia de sales mejora el electrohilado de los polímeros; convenientemente el citrato de sildenafil es una sal, por lo que ayudó a promover un porcentaje de porosidad adecuado

y provocó la síntesis de fibras más estables. En el caso de las nanofibras de PVP, las fibras mostraron buena morfología. (Tabla 1).

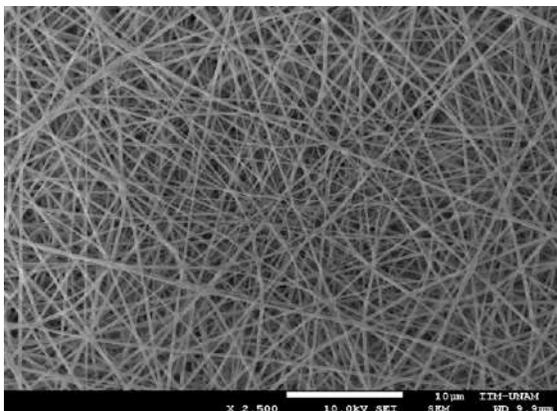


Figura 1. Ejemplo de fibras con buena morfología.

Tabla 1. Diámetro promedio de las nanofibras y porcentajes de porosidad

Muestras	Diámetro promedio	% porosidad
PVP	371±128 nm	44%
PVP/CS 25 mg	452±144 nm	49%
PVP/CS 50 mg	2583± 640 nm	59%
PVP/CS 100 mg	411±142 nm	41%
PVA	103±31 nm	60%
PVA/CS 25 mg	628±250 nm	45%
PVA/CS 50 mg	481±142 nm	44%
PVA/CS100 mg	423±146 nm	42%

3.2 Análisis termogravimétrico (TGA) y Calorimetría diferencial de barrido (DSC)

El TGA del PVA se puede apreciar que de los 20°C a los 100°C solo existe una pérdida de componentes (aprox. a los 60 °C), ya sean disolventes orgánicos de bajo peso molecular o desorción de gases, que en el caso del solvente con el que se formaron las fibras fue agua destilada. Al ir avanzando a los 150 °C las fibras comienzan a tener una pérdida muy mínima de peso, esto significa que las fibras son estables a estas temperaturas y pueden ser esterilizadas, la cual la temperatura de esterilización es a los 121°C. Al aumentar la temperatura se puede ver ya la degradación del material arriba de los 200 °C. Esto

se puede comprobar con el estudio de calorimetría diferencial de barrido (DSC), debido a que la deshidratación de la muestra se encuentra a los 60 °C, que en el TGA es donde se estabiliza, por lo que igual, es pérdida de solventes. Finalmente, a los 220 °C aproximadamente empieza a ocurrir una degradación de la fibra. Tal y como se muestra en la literatura, en el análisis termogravimétrico, el proceso tiene una pérdida de calor aproximadamente a los 280°C, y en el proceso de calorimetría muestra dos pérdidas de calor, después de los 50°C y 200°C, por lo que podemos compararlos y saber que si es efectivamente PVA [5]. El TGA del PVP se puede apreciar que de los 20°C a los 100°C solo se encuentra pérdida de agua, disolventes orgánicos de bajo peso molecular o desorción de gases, que en el caso el solvente con el que se formaron las fibras fue etanol. Al ir avanzando se ve que a los 150 °C las fibras comienzan a tener una pérdida mínima de peso, esto significa que las fibras son estables a estas temperaturas y pueden ser esterilizadas, la cual la temperatura de esterilización son los 121°C. Al seguir la gráfica solo se puede ver ya la degradación del material. Esto se puede comprobar con el estudio de calorimetría diferencial de barrido, debido a que la deshidratación de la muestra se encuentra a los 77 °C, que en el TGA es donde se estabiliza, por lo que igual, es pérdida de solventes. Finalmente, aproximadamente a los 150 °C empieza a ocurrir su temperatura de transición [6].

3.2. Infrarrojo con Transformación de Fourier (FTIR)

Los picos característicos del PVA están presentes (figura 1): Aproximadamente entre los 3400-3200 cm^{-1} se encuentra el pico característico de los alcoholes (OH) en el PVA; Por los 2900 cm^{-1} se encuentran los enlaces C-H en el PVA; Entre los 1150-1050 cm^{-1} se encuentra el enlace C-O alcoxy. La segunda banda fue una muestra para identificar si se encontraban grupos por alguna traza de DMF,

pero al parecer no se presentan grupos funcionales que secunden esta idea. Cabe resaltar que, a diferencia de los dos primeros espectros, los demás espectros se encuentra un pico característico en los valores entre $1810-1640\text{ cm}^{-1}$, que es un pico característico para un enlace carbonilo, lo cual se presentan varios grupos carbonilos en el Citrato de Sildenafil (CS). A diferencia del PVA, el PVP junto con el citrato de sildenafil, tiene grupos parecidos, los picos en aproximadamente 3800 cm^{-1} y 2900 cm^{-1} indican los múltiples enlaces C-H; los picos entre 1465 cm^{-1} dan a lugar los CH_2 que se pueden encontrar en el ciclo del polímero, la ausencia de un pequeño pico alrededor de los 1600 cm^{-1} podría explicarse debido a los múltiples enlaces del fármaco presente; También alrededor de los 1700 cm^{-1} , los pronunciados picos del enlace carbonilo ($\text{C}=\text{O}$) pueden explicarse que entre mayor es la concentración de Citrato de Sildenafil, mayor es pronunciado este pico, por lo que explicaría su comportamiento.

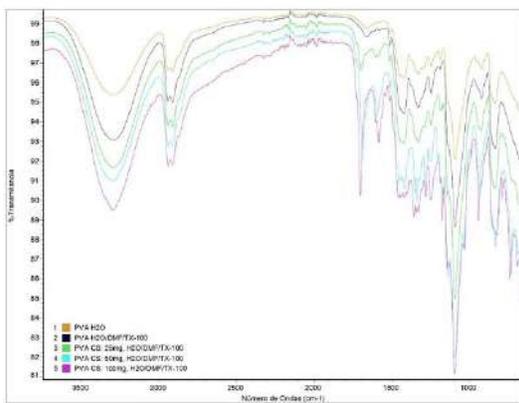


Figura 2. Espectro de IR de Poli (vinil alcohol)

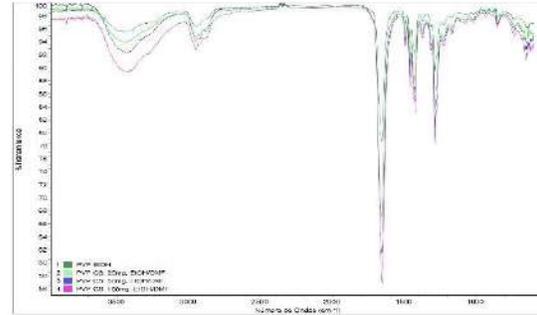


Figura 3. Espectro IR de Poli (vinil pirrolidona)

3.4. Pruebas de liberación.

Para medir la liberación del fármaco se optó por recuperar cuidadosamente las nanofibras electrohiladas de la hoja de aluminio y pesadas exactamente usando una balanza digital. Cada muestra se cortó en tiras 2 cm^2 , se pesó y se sumergió en 40 ml de agua destilada a temperatura ambiente, con agitación magnética a 300 rpm por 5 min . Por lo tanto, la concentración de citrato de sildenafil se determinó mediante un espectrofotómetro de UV-Vis (modelo) a una longitud de onda óptica de 290 nm después de ser sumergido en agua destilada. La cantidad total del fármaco en cada muestra de la membrana de electrohilada se determinó mediante espectrofotometría de UV-Vis después de haber sido sumergido en agua destilada [7].

Tabla 2. Cantidad de CS en nanofibras de 2 cm^2 en fibras de PVA.

Muestras	PVA CS (mg)	ABS
PVA/CS25 1	1.04	0.533
PVA/CS25 2	1.41	0.716
PVA/CS25 3	2.42	1.217
Promedio	1.62	
PVA/CS50 1	3.79	1.904
PVA/CS50 2	4.71	2.361
PVA/CS50 3	5.32	2.665
Promedio	4.61	
PVA/CS100 1	4.91	2.463
PVA/CS100 2	2.91	1.46
PVA/CS100 3	2.8	1.406
Promedio	3.54	

Referencias

Tabla 3. Cantidad de CS en nanofibras de 2 cm² en fibras de PVP.

Muestras	PVA CS (mg)	ABS
PVP/CS25 1	1.07	0.545
PVP/CS25 2	0.67	0.345
PVP/CS25 3	0.55	0.285
Promedio	0.76	
PVP/CS50 1	1.95	0.987
PVP/CS50 2	1.81	0.917
PVP/CS50 3	0.84	0.436
Promedio	1.53	
PVP/CS100 1	0.95	0.485
PVP/CS100 2	1.71	0.865
PVP/CS100 3	1.32	0.669
Promedio	1.33	

4. Conclusiones

El electrohilado es una tecnología antigua para la fabricación de nanofibras continuas con una configuración relativamente simple. Sin embargo, en los últimos años atrajo mucha atención debido a su potencial en aplicaciones biomédicas y otras aplicaciones nanotecnológicas. Se electrohilan PVA y PVP con concentraciones del fármaco de 25, 50 y 100 mg. Todas mejoran hasta cierto grado el proceso de electrohilado, debido a que, como ya se mencionó antes, las sales mejoran el proceso de electrohilado, lo cual, convenientemente, el citrato de sildenafil es una sal. Las fibras que mostraron mejores resultados fueron las de PVP con 50 mg de citrato de sildenafil. Esto abre las puertas a la oportunidad de mayor estudio de las fibras y el comportamiento del fármaco en ellas para su uso como posible tratamiento para la hipertensión arterial pulmonar.

5. Agradecimientos

Los autores agradecen al Fondo Sectorial de Investigación en Salud y Seguridad Social (FOSSIS) de CONACYT por apoyar económicamente a este proyecto, con el número 272310 y SICASPI UABC 351/376/E.

- [12] Calderón-Colmenero, J., Sandoval Zárate, J., & Beltrán Gámez, M. "Hipertensión pulmonar asociada a cardiopatías congénitas y síndrome de Eisenmenger", *Archivos de Cardiología de México*, 85(1), 32–49. 2015.
- [13] Sajeev, U. S., Anoop Anand, K., Menon, D., & Nair, S. "Control of nanostructures in PVA, PVA/chitosan blends and PCL through electrospinning", *Bulletin of Materials Science*, 31(3), 343–351. 2008.
- [14] Villarreal-Gómez LJ, Cornejo-Bravo JM, Vera-Graziano R, Grande D. "Electrospinning as a powerful technique for biomedical applications: a critically selected survey", *J Biomater Sci Polym Ed.* 27(2):157–76. 2016.
- [15] Marani, D., Sudireddy, B. R., Kiebach, W.-R., Nielsen, L., & Ndoni, S. "Rheological properties of poly (vinyl pyrrolidone) as a function of molecular weight", *Nordic Rheology Society. Annual Transactions*, 22. 2014.
- [16] Won, J. J., Nirmala, R., Navamathavan, R., & Kim, H. Y., "Electrospun core-shell nanofibers from homogeneous solution of (vinyl alcohol) /bovine serum albumin", *Int. J. Biol. Macromol.*, 50(5), 1292–1298. 2012.
- [17] Yu, D.-G., Zhu, L.-M., White, K., & Branford-White, C. "Electrospun nanofiber-based drug delivery systems", *Health*, 1(2), 67–75. 2009.
- [18] Li, X., Kanjwal, M.A., Lin L., & Chronakis, I.S., "Electrospun polyvinyl-alcohol nanofibers as oral fast-dissolving delivery system of caffeine and riboflavin", *Colloids Surfaces B. Biointerfaces*, 103, 182–188. 2009.



CIENCIA DE LOS MATERIALES

CONGRESO INTERNACIONAL
DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

OCM1- Estudio DFT a Moléculas Derivadas de Benzimidazol y Piridina con Capacidad Inhibidora de Corrosión

Jorge Reyes-Corrales¹, Jesús Baldenebro-López¹, Rody Soto-Rojo¹, Daniel Glossman-Miknit²

¹Facultad de Ingeniería Mochis, Universidad Autónoma de Sinaloa. Prol. Ángel Flores y Fuente de Poseidón, S/N, C.P. 81223, Los Mochis, Sinaloa; México

²NANOCOSMOS Virtual Lab, Centro de Investigación en Materiales Avanzados S.C. Miguel de Cervantes 120, C.P. 31136, Chihuahua, Chihuahua; México

Resumen. - *Los inhibidores basados en heteroátomos de nitrógeno han mostrado ser uno de los productos químicos eficaces en la inhibición de la corrosión de metales. Este estudio fue llevado a cabo con la teoría de funcionales de la densidad (DFT), utilizando distintos niveles de cálculo. Diversas propuestas fueron evaluadas para estimar los niveles de energía de los orbitales moleculares de frontera (HOMO-LUMO) y su isodensidad. Dichos parámetros fueron considerados para determinar la parte nucleofílica y electrofílica de las moléculas. Finalmente, se llevó a cabo un análisis de la reactividad química con los parámetros de afinidad electrónica, el potencial de ionización, la dureza química y el índice de electrofiliidad; el objetivo fue determinar el efecto sobre la dureza química al cambiar la posición de los sustituyentes.*

Palabras clave: Inhibidores; DFT; Heterociclicos; Piridina; Benzimidazol; Corrosión.

Abstract. - *Inhibitors based on nitrogen heteroatoms have been shown to be one of the effective chemicals in inhibiting metal corrosion. This study was carried out with the theory of functional density (DFT), using different levels of calculation. Several proposals were evaluated to estimate the energy levels of the border molecular orbitals (HOMO-LUMO) and their isodensity. These parameters were considered to determine the nucleophilic and electrophilic part of the molecules. Finally, an analysis of the chemical reactivity parameters was carried out with electronic affinity, ionization potential, chemical hardness and electrophilicity index; The objective was to determine the effect about chemical hardness by changing the position of the substituents...*

Key words: Inhibitors; DFT; Heterocyclic; Pyridine; Benzimidazole; Corrosion.

1. Introducción

Una de las principales pérdidas millonarias en las industrias (principalmente petroleras), se debe a la corrosión de los materiales, tales como tuberías, codos, equipos y cualquier otro material metálico que se encuentre en contacto con un medio agresivo [1]. Para detener el avance de la corrosión en los materiales metálicos a causa de los medios ácidos, se han desarrollado diferentes métodos para

su control y prevención. El uso de inhibidores es uno de los métodos tradicionales más utilizados para disminuir la velocidad de corrosión, que a través de bajas concentraciones controlan los efectos de la corrosión [2]. En la Figura 1 se pueden observar distintas propuestas utilizadas en esta investigación basadas en derivados de benzimidazol y piridina. Dichos derivados han demostrado ser buenos

inhibidores de corrosión en diferentes tipos de metales tales como acero y aluminio, en medios acuosos de HCl [3, 4].

En este trabajo de investigación, se realizó un estudio teórico a distintos derivados de

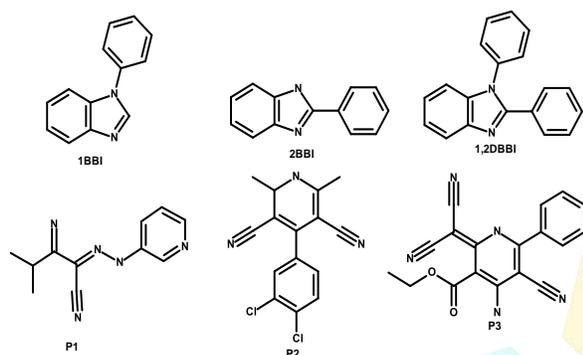


Figura 1. Derivados de benzimidazol y piridina.

2. Detalles computacionales

Las optimizaciones de las estructuras moleculares del estado fundamental se llevaron a cabo con los funcionales de la densidad: M11-L [5], PBE0 [6], MN12-SX [7] y M06-2X [8]. Los funcionales fueron combinados usando los conjunto base 6-311G(d), 6-311G+(d), 6-311G+(d,p) [9] y MIDIY [10]. Todos los niveles de cálculo mostraron la misma tendencia de los resultados obtenidos, por lo tanto, el funcional PBE0 fue elegido para mostrar los parámetros de reactividad química [11–13] tales como: dureza química (η), índice de electrofilicidad (ω), poder electrodonador (ω^-) y poder electroceptor (ω^+).

3. Resultados

a. Orbitales moleculares de frontera y niveles de energía HOMO y LUMO

Los orbitales de frontera HOMO-LUMO y su distribución de isodensidades de la estructura de mínima energía están relacionados con la actividad del inhibidor [14], es decir, estos orbitales de frontera pueden dar un indicio de la parte nucleofílica (atribuida al HOMO) y electrofílica (atribuida al LUMO) de la molécula.

benzimidazol y piridina con potencial aplicación como inhibidores de corrosión. Las estructuras se evaluaron con diferentes niveles de teoría. Tales como, híbridos GGA (PBE0), híbridos meta-GGA (M06-2X), meta-NGA (MN12-SX) y meta-GGA de rango separado (M11-L).

La

Figura 2 muestra la distribución de los orbitales HOMO y LUMO, donde se denota una concentración del orbital HOMO tanto para 1BBI y 2BBI preferentemente sobre el benzimidazol mientras que el orbital LUMO se encuentra distribuido sobre toda la molécula. Estos resultados nos indican que la molécula tendería principalmente a anclarse a la superficie metálica a través del benzimidazol, puesto que, de acuerdo con Turcio-Ortega et al. el HOMO de la molécula está involucrado en la reacción de quimisorción con el LUMO del metal, y la eficiencia de absorción depende de cómo se traslapan estos orbitales [15].

Los orbitales HOMO y LUMO para P1 se observan distribuidos sobre toda la molécula a excepción del grupo carbonilo, que pueden actuar como la parte hidrofóbica de la molécula. Por otro lado, en la propuesta P2 la isodensidad HOMO se localiza mayormente concentrada sobre el anillo aromático de la piridina y los grupos -ciano, esto nos indica que las propuestas P1 y P2 se anclaran a la superficie metálica a través de la piridina o alguno de los heteroátomos de nitrógeno distribuidos sobre las propuestas de piridina.

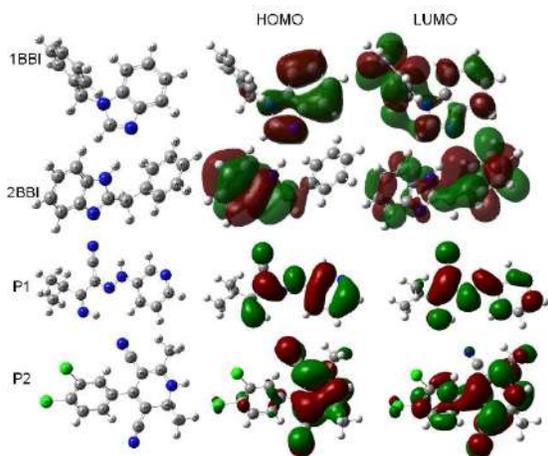


Figura 2. Orbitales moleculares de frontera calculados con el funcional PBE0/6-311G(d,p).

Los cálculos de los niveles de energía de los orbitales moleculares en fase gas se realizaron utilizando únicamente el nivel de cálculo PBE0/6-31G(d), esto se debe a que la literatura reporta que un funcional con un 20-30% de la energía intercambio exacto Hartree-Fock representa una buena aproximación en la diferencia de energía HOMO y LUMO [16]–[18]; además, la propuesta del funcional representa un menor costo computacional respecto de otras metodologías.

La Figura 3 muestra los niveles de energía y band gap de derivados de bencimidazol, donde se puede observar que sin importar el conjunto base utilizado tienen una aproximación del band gap muy similar, por lo tanto, cualquiera de los conjuntos base estudiados puede ser utilizado para este fin. Además, la posición del grupo fenil (1BBI y 2BBI) o inclusión de otro fenil (1,2DBBI) al bencimidazol no disminuye o aumenta el valor del band gap de manera significativa.

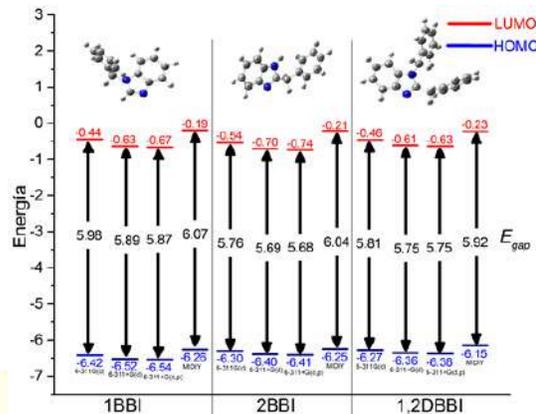


Figura 3. Predicción de niveles de energía HOMO-LUMO con el nivel de cálculo PBE0/6-311G(d).

Para el caso de los derivados de piridina, en la Figura 4, se observa, al igual que 1BBI, 2BBI y 2DBBI, el conjunto base no es relevante en el cálculo del band gap, por lo cual puede utilizarse cualquiera de ellos.

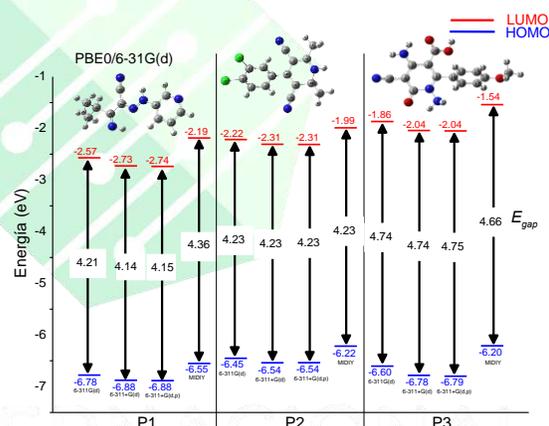


Figura 4. Predicción de niveles de energía HOMO-LUMO con el nivel de cálculo PBE0/6-311G(d).

Por otro lado, se puede observar que P1 presenta el band gap más pequeño y sus niveles de energía HOMO y LUMO se encuentran desplazados a valores más negativos. Algunos autores, relacionan este parámetro con la eficiencia de inhibición, es decir, cuanto más bajo es el nivel de energía HOMO existe una mayor

eficiencia de inhibición. Además, valores con signo negativo en el nivel de energía HOMO indica que el modo de adsorción de la molécula al metal se da por quimisorción y no por fisorción [19]. Lo anterior sugiere que P1 es la molécula con mayor eficiencia de inhibición, seguida por P2.

Por otro lado, es sabido que el band gap está directamente relacionado con la dureza química e inversamente relacionado con la blandura química de las moléculas inhibidoras [20], así, valores altos de band gap nos indican moléculas duras y no polarizables, mientras que bajos band gap nos indican moléculas blandas y polarizables. Debido a lo anterior se realizó un estudio de los parámetros de reactividad química.

2.2 Parámetros de reactividad química

Tabla 1. Parámetros de reactividad química para derivados de benzimidazol.

Conjunto base	η	ω	ω^-	ω^+	
1BBI	6-311G(d)	8.988	0.703	3.747	0.190
		9	7	5	8
	6-311+G(d)	8.678	0.819	4.065	0.295
		2	1	8	3
	6-311+G(d,p)	8.667	0.828	4.093	0.304
	3	6	9	0	
MIDIY	9.267	0.590	3.415	0.106	
	2	8	3	2	
2BBI	6-311G(d)	8.742	0.719	3.759	0.212
		6	7	4	1
	6-311+G(d)	8.552	0.800	3.984	0.284
		6	0	1	9
	6-311+G(d,p)	8.539	0.810	4.015	0.294
	6	8	9	7	
MIDIY	9.104	0.621	3.492	0.129	
	8	1	7	7	
1,2DBBI	6-311G(d)	8.594	0.725	3.753	0.222
		4	5	7	4
	6-311+G(d)	8.326	0.799	3.942	0.294
		4	2	8	7
	6-311+G(d,p)	8.391	0.817	4.012	0.307
	8	7	3	6	
MIDIY	8.758	0.632	3.475	0.147	
	2	2	6	9	

Para el estudio de reactividad química se calcularon las energías moleculares de las especies iónicas y neutras de todas las estructuras propuestas. Se obtuvieron el potencial de ionización (IP) y la afinidad electrónica (EA) y a partir de estos valores se calcularon algunos parámetros de reactividad química, tales como:

poder electrodonador (ω^-), electroceptor (ω^+), dureza química (η) e índice de electrofilicidad (ω).

La Tabla 1 muestra los resultados obtenidos para los derivados de benzimidazol. Se observa que al cambiar la posición del fenil ubicado en el heteroátomo N13 (1BBI) al C7 (2BBI) el valor de la η no disminuye. Por lo tanto, para este caso, la posición del fenil o incluso agregar otro fenil como se muestra en la propuesta 1,2DBBI, el valor de η no sufre cambio. Además, en la Figura 3, se observa que el band gap no disminuye de manera significativa al cambiar de posición el grupo fenil o al agregar un fenil más a la molécula, tal como ocurre con la dureza química.

Tabla 2. Parámetros de reactividad química para derivados de piridina.

Conjunto base	η	ω	ω^-	ω^+	
P1	6-311G(d)	7.1452	1.5180	5.8112	1.1538
	6-311+G(d)	6.9947	1.6453	6.1264	1.3289
	6-311+G(d,p)	6.9887	1.6537	6.1481	1.3403
	MIDIY	7.4265	1.2735	5.1857	0.8365
P2	6-311G(d)	6.9420	1.3673	5.3470	0.9900
	6-311+G(d)	6.8614	1.4418	5.5364	1.0884
	6-311+G(d,p)	6.8540	1.4446	5.5426	1.0926
	MIDIY	7.0930	1.2047	4.9198	0.7857
P3	6-311G(d)	7.4168	1.2121	5.0079	0.7676
	6-311+G(d)	7.3330	1.3307	5.3285	0.9109
	6-311+G(d,p)	7.3431	1.3377	5.3506	0.9182
	MIDIY	7.4994	1.0109	4.4375	0.5436

En la Tabla 2 se muestran los valores obtenidos de los parámetros de reactividad química para los derivados de piridina, donde puede observarse que las propuestas P1 y P2 muestran una menor η , por lo tanto, estas moléculas tienden a ser más blandas y por ello tenderían a una mejor transferencia de carga entre la molécula y el metal.

Por otro lado, de acuerdo con Kaya et al. [20], un índice de electrofilicidad alto sugiere una mejor transferencia de carga de la molécula hacia el metal, por lo tanto, una mayor eficiencia de inhibición. Así, P1 y P2 muestran mayor índice de electrofilicidad y consecuentemente tendrían mayor eficiencia de inhibición.

4. Conclusiones

El estudio de los orbitales moleculares de frontera muestra que la densidad electrónica del HOMO se localiza principalmente sobre los anillos heterocíclicos, específicamente sobre los heteroátomos de N, a excepción del Cl, mientras que el LUMO se encuentra distribuido en toda la molécula a excepción de los feniles y grupos carbonilos. Así, puede concluirse que las moléculas inhibitoras estudiadas aquí se anclarían al metal por el átomo de N.

Se determinaron los niveles de energía y band gap a todos los inhibidores estudiados observando que los sistemas P1 y P2 tienen menor band gap y sus niveles de energía están más desplazados hacia valores más negativos, lo cual sugiere que estas moléculas tendrían una mejor eficiencia de inhibición.

De acuerdo a los parámetros de reactividad química, tanto valores bajos de dureza química como valores altos del índice de electrofilicidad nos dan un indicio que P1 y P2 podrán tener una mejor transferencia y una mejor eficiencia de inhibición, además coincide con los resultados obtenidos en el estudio de HOMO-LUMO gap.

Agradecimientos

Se le agradece a la Universidad Autónoma de Sinaloa por prestar sus instalaciones para la realización del proyecto; a CONACYT por la beca otorgada con el número 443166; al Dr. Daniel Glossman-Mitnik, responsable del laboratorio de NANOCOSMOS ubicado en el Centro de Investigación en Materiales Avanzados (CIMA) por su contribución al trabajo; a los doctores Jesús Baldenebro-López y Rody Soto-Rojo por su colaboración en la asesoría y dirección del proyecto.

Referencias

[1] I. B. Obot and A. Madhankumar,

“Synergistic effect of iodide ion addition on the inhibition of mild steel corrosion in 1 M HCl by 3-amino-2-methylbenzylalcohol,” *Mater. Chem. Phys.*, vol. 177, pp. 266–275, Jul. 2016.

[2] M. Lashgari, M. R. Arshadi, G. a Parsafar, and V. S. Sastri, “Cluster/Polarized Continuum Models for Density Functional Theory Investigations of Benzimidazole Corrosion Inhibitors at Metal/Solution Interface,” *Corrosion*, vol. 62, no. 3, pp. 199–206, Mar. 2006.

[3] E. Garcia-Ochoa, S. J. Guzmán-Jiménez, J. G. Hernández, T. Pandiyan, J. M. Vázquez-Pérez, and J. Cruz-Borbolla, “Benzimidazole ligands in the corrosion inhibition for carbon steel in acid medium: DFT study of its interaction on Fe₃₀ surface,” *J. Mol. Struct.*, vol. 1119, pp. 314–324, Sep. 2016.

[4] O. Krim, A. Elidrissi, B. Hammouti, A. Ouslim, and M. Benkaddour, “SYNTHESIS, CHARACTERIZATION, AND COMPARATIVE STUDY OF PYRIDINE DERIVATIVES AS CORROSION INHIBITORS OF MILD STEEL IN HCl MEDIUM,” *Chem. Eng. Commun.*, vol. 196, no. 12, pp. 1536–1546, Aug. 2009.

[5] R. Peverati and D. G. Truhlar, “M11-L: A Local Density Functional That Provides Improved Accuracy for Electronic Structure Calculations in Chemistry and Physics,” *J. Phys. Chem. Lett.*, vol. 3, no. 1, pp. 117–124, Jan. 2012.

[6] C. Adamo and V. Barone, “Toward reliable density functional methods without adjustable parameters: The PBE0 model,” *J. Chem. Phys.*, vol. 110, no. 13, p. 6158, 1999.

[7] R. Peverati and D. G. Truhlar, “Screened-exchange density functionals with broad

- accuracy for chemistry and solid-state physics," *Phys. Chem. Chem. Phys.*, vol. 14, no. 47, p. 16187, 2012.
- [8] Y. Zhao and D. G. Truhlar, "The M06 suite of density functionals for main group thermochemistry, thermochemical kinetics, noncovalent interactions, excited states, and transition elements: two new functionals and systematic testing of four M06-class functionals and 12 other function," *Theor. Chem. Acc.*, vol. 120, no. 1–3, pp. 215–241, May 2008.
- [9] L. A. Curtiss, P. C. Redfern, V. Rassolov, G. Kedziora, and J. A. Pople, "Extension of Gaussian-3 theory to molecules containing third-row atoms K, Ca, Ga–Kr," *J. Chem. Phys.*, vol. 114, no. 21, p. 9287, 2001.
- [10] C. J. Cramer, *Essentials of Computational Chemistry: theories and models*, 2nd ed. John Wiley & Sons, Inc., 2013.
- [11] R. G. Parr and R. G. Pearson, "Absolute hardness: companion parameter to absolute electronegativity," *J. Am. Chem. Soc.*, vol. 105, no. 26, pp. 7512–7516, Dec. 1983.
- [12] J. L. Gázquez, A. Cedillo, and A. Vela, "Electrodonating and Electroaccepting Powers," *J. Phys. Chem. A*, vol. 111, no. 10, pp. 1966–1970, Mar. 2007.
- [13] R. G. Parr, L. v. Szentpály, and S. Liu, "Electrophilicity Index," *J. Am. Chem. Soc.*, vol. 121, no. 9, pp. 1922–1924, Mar. 1999.
- [14] J. Cruz, R. Martínez, J. Genesca, and E. García-Ochoa, "Experimental and theoretical study of 1-(2-ethylamino)-2-methylimidazole as an inhibitor of carbon steel corrosion in acid media," *J. Electroanal. Chem.*, vol. 566, no. 1, pp. 111–121, 2004.
- [15] D. Turcio-Ortega, T. Pandiyan, J. Cruz, and E. García-Ochoa, "Interaction of Imidazole Compounds with Fe_n (n = 1–4 Atoms) as a Model for Corrosion Inhibition: DFT and Electrochemical Studies," *J. Phys. Chem. C*, vol. 111, no. 27, pp. 9853–9866, Jul. 2007.
- [16] T. M. McCormick *et al.*, "Conjugated polymers: Evaluating DFT methods for more accurate orbital energy modeling," *Macromolecules*, vol. 46, pp. 3879–3886, 2013.
- [17] R. V. Solomon, A. P. Bella, S. A. Vedha, and P. Venuvanalingam, "Designing benzosiloles for better optoelectronic properties using DFT & TDDFT approaches," *Phys. Chem. Chem. Phys.*, vol. 14, no. 41, pp. 14229–37, 2012.
- [18] U. Salzner, J. B. Lagowski, P. G. Pickup, and R. a. Poirier, "Comparison of geometries and electronic structures of polyacetylene, polyborole, polycyclopentadiene, polypyrrole, polyfuran, polysilole, polyphosphole, polythiophene, polyselenophene and polytellurophene," *Synth. Met.*, vol. 96, no. 3, pp. 177–189, Aug. 1998.
- [19] M. J. Bahrami, S. M. A. Hosseini, and P. Pilvar, "Experimental and theoretical investigation of organic compounds as inhibitors for mild steel corrosion in sulfuric acid medium," *Corros. Sci.*, vol. 52, no. 9, pp. 2793–2803, Sep. 2010.
- [20] S. Kaya, B. Tüzün, C. Kaya, and I. B. Obot, "Determination of corrosion inhibition effects of amino acids: Quantum chemical and molecular dynamic simulation study," *J. Taiwan Inst. Chem. Eng.*, vol. 58, pp. 528–535, Jan. 2016.

OCM4- Influencia del tipo de agarre sobre la caracterización mecánica a tensión de un material compuesto polimérico

Enrique Alcudia-Zacarías¹, Arturo Abúndez-Pliego¹, Juan Antonio Paz-Gonzalez², Jan Mayén-Chaires¹, Gilberto Piña-Piña³

¹Tecnológico Nacional de México/Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico (CENIDET), Interior Internado Palmira s/n Col. Palmira, Cuernavaca, Morelos, C.P. 62490, México.

²Escuela de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología, Universidad Autónoma de Baja California, Blvd. Universitario #1000 Unidad Valle de las Palmas, Tijuana, Baja California, C.P. 22260, México.

³Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Toluca, Av. Tecnológico s/n Col. Agrícola, Metepec, Edo. México, C.P. 52149, México.

*alcudia@cenidet.edu.mx, abundez@cenidet.edu.mx, pazj@uabc.edu.mx, jmayen@cenidet.edu.mx, gpina@ittoluca.edu.mx

Resumen. — En este trabajo se reportan los resultados de la evaluación de la influencia de dos tipos de agarre en la medición de las propiedades mecánicas a tensión del laminado de fibra de vidrio [tejido/dispersa/dispersa], con matriz de resina poliéster. La influencia del tipo de agarre en los ensayos de tensión se evaluó a través de especímenes con talones de bordes rectos y sin la presencia de talones. Los ensayos de tensión se realizaron utilizando las mordazas tipo cuña MWG-100kNA en la máquina de ensayos universales Shimadzu AG-X plus 100kN. Los resultados experimentales mostraron que la presencia de los talones durante los ensayos de tensión no influye de forma significativa en el valor calculado de la resistencia última, ya que se obtuvo una variación del 3.21% entre ambos tipos de agarre. Sin embargo, se obtuvo un incremento del 27.98% en el valor calculado del módulo de elasticidad y una disminución en el valor calculado de la elongación a la ruptura del 26.68% en comparación con los resultados obtenidos de los ensayos de tensión sin talones. Este comportamiento se puede explicar por la disminución del daño transversal causado por las mordazas tipo cuña en la zona de agarre del laminado cuando los talones son utilizados durante el ensayo de tensión. Por lo tanto, se recomienda realizar los ensayos de tensión con talones, con el propósito de evitar el daño transversal en la zona de agarre y por consiguiente su influencia en la caracterización de las propiedades mecánicas a tensión de los materiales compuestos.

Palabras clave: Ensayo de tensión; resistencia última; talón; fibra de vidrio.

Abstract. — In this work, it was assessed the influence of two gripping methods on the measurement of the tensile properties of a glass fiber laminate [fabric/mat/mat], with a matrix of polyester resin. The influence of the gripping method in tensile tests was assessed by testing both square-cut-tabbed and untabbed specimens. The tensile tests were carried out using a MWG-100kNA wedge-type grips in a Shimadzu AG-X plus 100kN testing machine. The experimental results showed that the presence of the tabs during the tensile test has a negligible influence on the calculated value of the ultimate strength, since a variation of 3.21% was obtained between both gripping methods. However, it was obtained an increase of 27.98% on the calculated value of the elastic modulus and a decrease of 26.68% in the calculated value of the ultimate elongation when compared to those results obtained from tensile tested untabbed specimens. This behavior can be explained by the decrease of the

transversal damage caused by the wedge-type grips on the laminate gripping zone when tabs are used during the tensile test. Therefore, it is recommended to perform the tensile tests using tabs, in order to avoid the transversal damage in the gripping zone and its consequent influence on the characterization of the composite tensile properties.

Key words: Tensile test; ultimate strength; tab; glass fiber

1. Introducción

El diseño de estructuras y elementos mecánicos de material compuesto polimérico requiere conocer de forma precisa las propiedades mecánicas y los modos de fallas del compuesto, lo cual se logra a través de la caracterización por medio de ensayos mecánicos, por lo tanto, es de suma importancia la adecuada realización de estas pruebas.

Las pruebas de tensión permiten caracterizar un material a través de la aplicación de una carga unidireccional. En materiales considerados isotrópicos, las probetas usadas en las pruebas de tensión pueden tener la geometría *dog-bone* o *hourglass*, las cuales llevan a que la falla ocurra dentro de la zona de sección transversal reducida. Sin embargo, en el caso de los materiales compuestos, diferentes normas estandarizadas recomiendan evitar las probetas de sección transversal reducida, ya que esta configuración puede ocasionar una discontinuidad en la orientación de las fibras [1-4].

Por lo tanto, en materiales compuestos se recomienda que las probetas de tensión tengan una geometría rectangular y como tipo de agarre colocar talones en los extremos de las probetas [1, 5, 6]; no obstante, el diseño y la presencia de los talones dependen propiamente de los resultados experimentales, si modos de falla aceptables ocurren con una frecuencia razonable, entonces no hay necesidad de cambiar el tipo de agarre de las probetas [1]. Dentro de la literatura se han encontrado diversas investigaciones sobre los

efectos del diseño de los talones y las condiciones de agarre de las probetas en las propiedades mecánicas a tensión [3,7-9]. M. Hojo *et al.* [8] investigaron la influencia de dos configuraciones de talones en las propiedades mecánicas de un compuesto unidireccional carbono/epoxi. Las configuraciones de agarre en las pruebas de tensión fueron con talones biselados a 10° y de bordes rectos. Los resultados experimentales mostraron variaciones en el valor de la resistencia última entre 3% y 4% en ambas configuraciones de talones, además, no se presentaron diferencias significativas en el comportamiento de la fractura macroscópica. Por otra parte, G. Belingardi *et al.* [3] investigaron la influencia de los materiales y tipos de biseles de los talones en la resistencia última de un laminado cross-ply de fibra de vidrio/epoxi. No obstante, ellos consideraron que, para resaltar los efectos de las diferentes configuraciones de agarre, es necesario comparar los resultados experimentales con un valor de referencia, es decir, realizar la comparación con los resultados de los ensayos de tensión sin la presencia de talones. Los materiales del talón que se seleccionaron fueron el aluminio, acero y fibra de vidrio/epoxi y para los biseles se consideró el ángulo de 30° y bordes rectos. Los mejores resultados se obtuvieron de las probetas con talones de biseles de 30° de aluminio, ya que se obtuvo un aumento en el valor de la resistencia última de aproximadamente el 8% en comparación con los resultados experimentales de las probetas sin talones.

En el presente trabajo se estudió la influencia de dos configuraciones de agarre en las propiedades

mecánicas a tensión de un laminado [tejido/dispersa/dispersa]_s. Los dos tipos de agarre seleccionados son los ensayos con talones de bordes rectos y sin la presencia de los talones, ya que ambos tipos de agarre son los que generan menores costos en la realización de los ensayos para la caracterización mecánica. La investigación se centra en los cambios que se puedan registrar en los valores de la resistencia última, elongación a la ruptura y módulo de elasticidad, así como los modos de fallas que se presenten en ambos tipos de agarre.

2. Procedimiento experimental

2.1 Materiales y configuración

El material compuesto utilizado tiene la configuración [tejido/dispersa/dispersa]_s, por lo cual se constituye de seis láminas. En cada superficie superior e inferior se coloca una capa de tejido bidireccional (0°/90°) en forma de tela de fibra de vidrio con una densidad superficial de 203.438 g/m² y las otras cuatro láminas son de fibra de vidrio dispersa con una densidad superficial de 457.728 g/m². El material de la matriz es resina de tipo poliéster isoftálica PolyLite® 31424-00. El laminado se fabricó por medio del método de manufactura por infusión de resina a temperatura ambiente. La fracción de volumen de fibras fue de 0.57 y se presentó un espesor promedio del laminado de 2mm.

Las probetas del laminado tienen una geometría de 250x25mm de acuerdo a la norma ASTM D3039 [1], las cuales se obtuvieron a través de una fresadora multiusos KNUTH MF1V con un cortador vertical de 4mm de 2 gavilanes de carburo, a una velocidad de trabajo de 1400rpm. Se utilizaron cinco probetas sin talones y cuatro probetas con talones como una muestra representativa con propósitos de investigación, de acuerdo a la norma ASTM D3039 [1]. Los talones tienen la geometría 50x25mm y el material utilizado es aluminio 6061-T6 con un espesor de 2mm, para la

unión entre el material compuesto y los talones se utilizó el adhesivo epoxi SY-SS®.

2.2 Ensayos de tensión

Los ensayos de tensión se realizaron en la máquina de ensayos universales Shimadzu AG-X plus 100kN a una velocidad de prueba de 2 mm/min del travesaño de la máquina de ensayos, de acuerdo a la norma ASTM D3039 [1]. La sujeción de las probetas del laminado [tejido/dispersa/dispersa]_s se realizó a través de las mordazas de tipo cuña MWG-100kNA, por lo cual, la zona de agarre en cada extremo de las probetas tiene una longitud de 50mm. En la figura 1 se muestran las zonas de agarre en las probetas de tensión para el laminado [tejido/dispersa/dispersa]_s, en la figura 1a y 1b se observan las configuraciones utilizadas en las probetas sin talones y con talones, respectivamente.

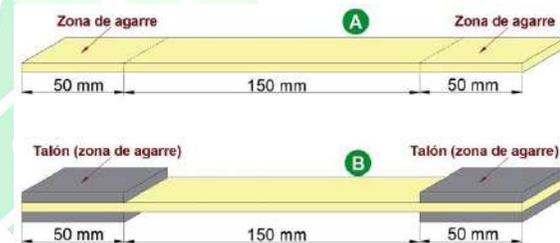


Figura 1. Zonas de agarre en las probetas de tensión para el laminado [tejido/dispersa/dispersa]_s.

Durante la preparación de la prueba, se midió el área de la sección transversal de la zona calibrada (150 mm) en siete zonas para cada probeta. La resistencia a la tensión y el módulo de elasticidad se determinaron de acuerdo a la norma ASTM D3039 [1]. El registro de la deformación de las probetas se realizó a través del seguimiento del travesaño de la máquina de ensayos con una resolución de medición de 1×10^{-3} mm.

3. Resultados experimentales y discusión

En la figura 2 se presentan las curvas esfuerzo-elongación de las probetas que pertenecen al laminado [tejido/dispersa/dispersa]_s, donde “s” y “t” indican que la probeta fue ensayada sin talón o con talón, respectivamente. Se muestran dos comportamientos en la curva esfuerzo-elongación; las líneas de las probetas 1s a 5s describen una pendiente menor que las líneas de las probetas 6t a 9t. La diferencia entre estos dos comportamientos se atribuye al uso de diferentes tipos de agarre para los ensayos de tensión, es decir, probetas con talones y sin talones.

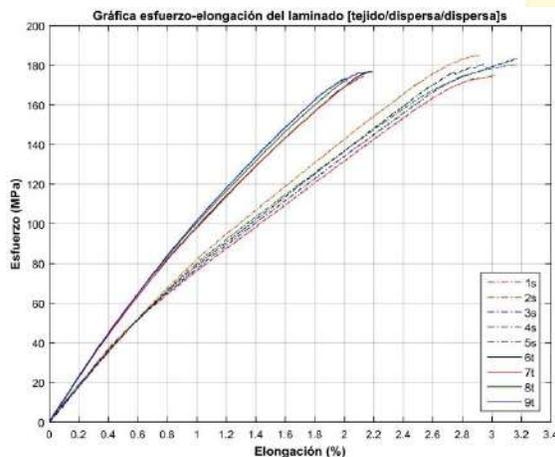


Figura 2. Gráfica esfuerzo-elongación del laminado [tejido/dispersa/dispersa]_s

Tabla 1. Propiedades mecánicas de las probetas del laminado [tejido/dispersa/dispersa]_s

Propiedades mecánicas (sin talones)			
Muestra	E (GPa)	σ_u (MPa)	ϵ_u (%)
1s	9.009	174.992	3.017
2s	8.697	185.022	2.913
3s	8.666	183.539	3.169
4s	8.813	180.624	3.163
5s	9.115	180.835	2.188
promedio	8.860	181.002	2.890
D.E.	0.196	3.837	0.407
Propiedades mecánicas (con talones)			
Muestra	E (GPa)	σ_u (MPa)	ϵ_u (%)
6t	11.446	176.962	2.188
7t	11.139	174.435	2.125
8t	11.408	172.625	2.017
9t	11.361	176.719	2.146
promedio	11.339	175.185	2.119
D.E.	0.137	2.051	0.073

3.1 Propiedades mecánicas

En la tabla 1 se presentan las propiedades mecánicas que se calcularon a través de las recomendaciones de la norma ASTM D3039 [1]. Al utilizar el tipo de agarre por talones se obtuvo un aumento del 27.98% en el valor calculado del módulo de elasticidad (E) y una disminución en el valor calculado de la elongación a la ruptura (ϵ_u) del 26.68% en comparación con el ensayo de probetas sin talones.

La diferencia registrada en los valores calculados del módulo de elasticidad y la elongación a la ruptura entre ambos tipos de agarre permite comprender lo que sucede en la zona de agarre de las probetas. En los ensayos de tensión se utilizaron mordazas de tipo cuña con placas dentadas. El principio de funcionamiento de estas mordazas permite que el apriete horizontal de las placas dentadas aumente proporcionalmente a la carga aplicada; este aumento evita que se generen fuerzas verticales en la zona de agarre que puedan provocar el deslizamiento de la probeta. Sin embargo, en las probetas sin talones del laminado [tejido/dispersa/dispersa]_s, las fuerzas horizontales generadas por el principio de funcionamiento de las mordazas ocasionan un daño transversal mayor en la región de agarre en comparación con las probetas que utilizan talones.

Con respecto al valor calculado de la resistencia última (σ_u), se obtuvieron valores similares con una variación del 3.21% entre ambos tipos de agarre. Aunque la presencia de los talones se puede considerar una concentración de esfuerzos y así generar una falla temprana con valor de σ_u diferente en comparación con los ensayos realizados sin talones, en el laminado [tejido/dispersa/dispersa]_s la presencia de los talones no influye de forma significativa en el valor de la resistencia última.

3.2 Modos de falla

En la figura 3 se muestran los modos de falla de las probetas del laminado [tejido/dispersa/dispersa], después de realizado los ensayos de tensión. En las probetas 1s-5s que se ensayaron sin talones, no se presentaron los modos de falla dentro de la zona de agarre y para las probetas 6t-9t que se ensayaron con talones, no se presentaron fallas por desunión entre los talones y las probetas. Por lo tanto, todas las probetas se consideran ensayos válidos, ya que los modos de falla ocurrieron dentro de la zona calibrada, por lo cual, las nueve probetas se utilizaron para el cálculo de las propiedades mecánicas

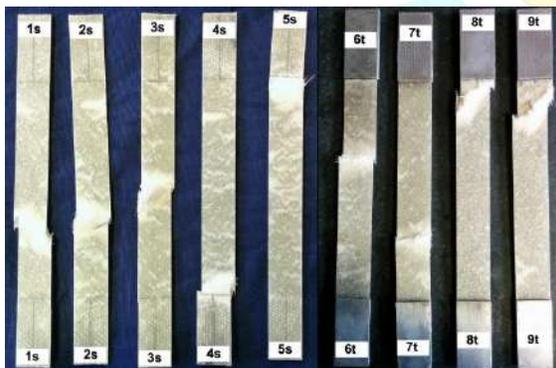


Figura 3. Fotografía de los modos de falla en las probetas de tensión del laminado [tejido/dispersa/dispersa].

4. Conclusiones

El laminado de fibra de vidrio [tejido/dispersa/dispersa], con matriz de resina poliéster se caracterizó mecánicamente a través de dos tipos de agarre durante los ensayos de tensión. Este estudio se realizó con el propósito de determinar la influencia del tipo de agarre en las propiedades mecánicas del material compuesto. Los resultados mostraron lo siguiente:

- a) Las curvas esfuerzo-elongación de los ensayos de tensión mostraron dos diferentes comportamientos de acuerdo al tipo de agarre

de las probetas. En el tipo de agarre por talones se obtiene un aumento del 27.98% en el valor calculado del módulo de elasticidad y una disminución en el valor calculado de la elongación a la ruptura del 26.68% en comparación con los ensayos realizados sin talones. Este fenómeno se puede atribuir a que la presencia de los talones disminuye el daño transversal en la zona de agarre a diferencia de lo que se presentó en los ensayos sin talones, este daño transversal es causado por la penetración de los dientes de la mordaza en el material de la probeta.

- b) Si bien la presencia de los talones se puede considerar una causa de concentración de esfuerzos en la zona de agarre, y ocasionar una falla temprana con valor de resistencia última diferente en comparación con los ensayos realizados sin talones, en el laminado bajo estudio, la presencia de los talones no influye de forma significativa en el valor calculado de la resistencia última, ya que mostró una variación del 3.21% entre ambos tipos de agarre.

- c) Aunque se obtuvieron modos de falla aceptables en ambos tipos de agarre, se recomienda realizar los ensayos de tensión usando probetas con talones, para evitar el daño transversal en la zona de agarre y, consecuentemente, valores de las propiedades mecánicas influenciadas por el daño inicial causado por las mordazas.

Con base en la diferencia encontrada en las propiedades mecánicas del material compuesto, el cual se caracterizó a través de dos tipos de agarre se recomienda que, cuando se reporten las propiedades mecánicas, se debe describir si en el ensayo se utilizaron talones, con el propósito de evitar controversias entre la caracterización mecánica y el diseño de estructuras/elementos mecánicos de material compuesto polimérico.

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) en su programa de becas mixtas/movilidad nacional (No de becario: 294884) y al Programa para el Desarrollo Profesional Docente (PRODEP) No. CENIDET-PTC-005 por permitir la realización de este proyecto de investigación.

Referencias

- [1] ASTM D3039 "Standard test method for tensile properties of polymer matrix composite materials", ASTM International, 2008.
- [2] ISO 527-4 "Plastics-Determination of tensile properties-Part 4: Test conditions for isotropic and orthotropic fibre-reinforced plastic composites", International Organization for Standardization, 1997.
- [3] G. Belingardi, D. S. Paolino y E. G. Koricho, «Investigation of influence of tab types on tensile strength of E-glass/epoxy fiber reinforced composite materials,» *Engineering Procedia*, pp. 3279-3284, 2011.
- [4] JIS K7073 "Testing method for tensile properties of carbon fiber reinforced plastics", *Japan Industrial Standard*, 1988.
- [5] N. Becerra, «Flight mission. Testing, testing,» *Materials World*, vol. 22, pp. 26-27, 2014.
- [6] P. Bailey y A. Lafferty, «Specimen gripping effects in composites fatigue testing- Concerns from initial investigation,» *eXPRESS Polymer Letters*, vol. 9, nº 5, pp. 480-488, 2015.
- [7] L. Hart-Smith, «Generation of higher composite material allowables using improved test coupons,» *Proceedings of the 36th International SAMPE Symposium, San Diego, USA*, pp. 1029-1045, 1991.
- [8] M. Hojo, Y. Sawada y H. Miyairi, «Influence of clamping method on tensile properties of unidirectional CFRP in 0° and 90° directions-round robin activity for international standardization in Japan,» *Composites*, vol. 25, nº 8, pp. 786-796, 1994.
- [9] A. Zureick y A. T. Nettles, «Composite Materials: Testing, Design, and Acceptance Criteria,» *ASTM International 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA*, pp. 19428-2959, 2002.

OCM5- Reduction of Ferrite Phase in Austenitic Chromium-Nickel Stainless Steels by Controlling Content of Cr-Ni Equivalent.

Juan Antonio Ruiz Ochoa¹, Mitsuo Osvaldo Ramos Azpeitia², Iván Erick Castañeda Robles³,
José Luis Hernández Rivera⁴, Juan Antonio Paz González¹

¹Escuela de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología. UABC. Blvd Universitario 1000, Unidad Valle de Las Palmas, 22260 Tijuana, B.C.

²Facultad de Ingeniería. UASLP. Av. Dr. Manuel Nava No.8 Edificio P, Zona Universitaria, 78290 San Luis Potosí, S.L.P.

³Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Ciudad del Conocimiento, Carretera Pachuca-Tulancingo Km. 4.5, 42184, Mineral de la Reforma, Hgo.

⁴CONACYT-Instituto de Metalurgia-Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Sierra Leona 550, Lomas 2da Sección. 78210. San Luis Potosí, S.L.P. México.

Resumen. – *Los aceros inoxidable austeníticos AISI 316L son muy comunes en la industria. Grandes cantidades de este material se desechan como chatarra y pueden utilizarse posteriormente como material reciclado para la colada. En ambientes marinos (altamente corrosivos), este tipo de acero presenta corrosión intragranular, específicamente en una de sus fases, en la ferrita, por lo que se prefiere mantenerla en la menor proporción posible (<1%), pero normalmente se encuentra alrededor del 12%. Si se requiere que una pieza de fundición de acero AISI 316L transporte un fluido presurizado, debe realizarse de acuerdo con las consideraciones descritas en la norma ASTM A351. En este trabajo, se encontró que el acero CF3M es el más similar en términos de proporciones químicas elementales de sus componentes. Por lo tanto, se utilizaron los diagramas de Schaeffler y Schoefer para reducir el contenido de "ferrita equivalente" en al menos el 90%, haciendo ajustes en la fundición modificando los porcentajes de Ni y Cr.*

Palabras clave: Aceros Inoxidables Austeníticos, Ferrita, Diagrama de Schaeffer, Diagrama de Schoefer.

Abstract. - *AISI 316L austenitic stainless steels are very common in the industry. Large amounts of this material are discarded as a chisel and can subsequently be used as recycled material for casting. In marine environments (highly corrosive), this type of steel presents intragranular corrosion, specifically in one of its phases, in the ferrite, so it is preferred to keep it at the lowest possible proportion (<1%), but usually it is found around the 12% of it. If a casting is required to transport a pressurized fluid from AISI 316L steel, it should be performed according to considerations described in ASTM A351 Standard. We find that CF3M steel is the most similar in terms of elemental chemical proportions of its components. Therefore, the Schaeffler and Schoefer diagrams were used to reduce the content of "equivalent ferrite" by at least 90%, making adjustments in the casting by modifying the Ni and Cr percentages.*

Key words: Austenitic Stainless Steels, Ferrite, Schaeffler Diagram, Schoefer Diagram.

1. Introducción

Cuando es necesario proveer de buena protección a la corrosión intragranular, con un buen comportamiento mecánico en piezas de aceros inoxidable austeníticas sujetas a ambientes altamente corrosivos, como lo es el marino, se requiere tener especial cuidado de la composición química, así como de la tasa de enfriamiento durante la solidificación [1], por lo que podemos obtener aceros austeníticos con baja presencia de la fase delta ferrita, en el orden de 1 % o menor, lo cual representa un valor muy bajo, considerando que estas aleaciones contienen alrededor del 10 % de esta fase dañina [2]. Esto es posible en una aleación de acero inoxidable austenítico procesado 316L [3-4] o en su similar de fundición, el acero CF3M [5] teniendo cuidado, como se mencionó antes, en la tasa de enfriamiento y controlando la relación entre el cromo y el níquel equivalente, los cuales promueven la formación de la fase ferrítica. Utilizando los Diagramas de Schaeffler [6] y Schoefer [7], podemos correlacionar esta interacción para predecir la formación de la fase delta ferrita. Adicionalmente, se compara los valores de ferrita calculados con los que se proponen en una aleación, que, finalmente, se obtiene físicamente para corroborar tanto la fase ferrita obtenida como las propiedades mecánicas que determinarán el comportamiento para su aplicación en específico.

2. Metodología

Se realizó una investigación documental sobre el acero inoxidable austenítico 316L, y sobre la aleación CF3M, que es la aleación de fundición equivalente al 316L. Tomando en cuenta la composición de ambas aleaciones, según sus respectivas normas, se estimó el contenido de ferrita, de acuerdo a la metodología en su obtención mediante los Diagramas de Schaeffler y Schoefer. Se calcularon los valores teóricos de propiedades mecánicas en aleaciones hipotéticas

y se obtuvieron los valores reales de una muestra propuesta. Se corroboraron los datos obtenidos mediante Espectrometría de Chispa y Microscopía Óptica.

2.1 Estimación del contenido de Ferrita Equivalente de acuerdo a Schaeffler.

Para la estimación de la Ferrita Equivalente, se obtienen los valores de Cr equivalente (Cr_{eq}) y de Ni equivalente (Ni_{eq}), mediante las siguientes ecuaciones:

$$Ni_{eq} = \% Ni + 30 (\% C) + 0.5 (\% Mn) \quad (1)$$

$$Cr_{eq} = \% Cr + \% Mo + 1.5 \% Si + 0.5 (\% Cb) \quad (2)$$

Nótese que los valores obtenidos dependerán de las concentraciones de otros elementos químicos, tales como el C y/o el Mo.

Una vez estimados ambos valores, se ubican en el “diagrama de Schaeffler” y se observa en qué recta diagonal se localiza el punto de intersección, el cual representa la predicción del % aproximado de la(s) Fase(s) en la aleación.

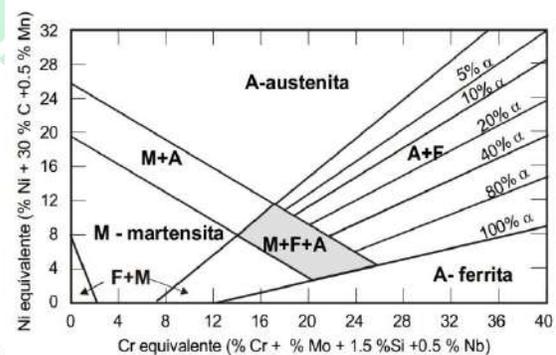


Figura 1. Diagrama Schaeffler.

La importancia de dicho diagrama reside en el hecho de que podemos ubicar la Ferrita α .

2.2 Estimación del contenido de Ferrita Equivalente de acuerdo a Schoefer.

Schoefer propone una manera similar a la metodología llevada a cabo en la estimación de la Ferrita Equivalente propuesta por Schaeffler, en

este caso, el factor C_{req}/N_{ieq} se obtiene mediante las siguientes ecuaciones:

$$N_{ieq} = \%Ni + 30\%C + 0.5\%Mn + 26(\%N-0.02) + 2.77 \quad (3)$$

$$C_{req} = \%Cr + 1.4\%Mo + 1.5\%Si + \%Cb - 4.99 \quad (4)$$

Una vez estimados ambos valores, se realiza la operación aritmética para obtener el factor C_{req}/N_{ieq} , el cual se ubica directamente en el “diagrama de Schoefer” y se observa horizontalmente el punto donde corta la curva, la cual representa específicamente la predicción del % aproximado de la fase Ferrita (volumen de ferrita).

2.3 Estimación del contenido de Ferrita Equivalente de los aceros CF3M y 316L.

En la Tabla 1 se muestra tanto los porcentajes elementales como el cálculo de los % de Ferrita de los aceros austeníticos CF3M y 316L, de acuerdo a los rangos porcentuales de los elementos químicos que pueden variarse.

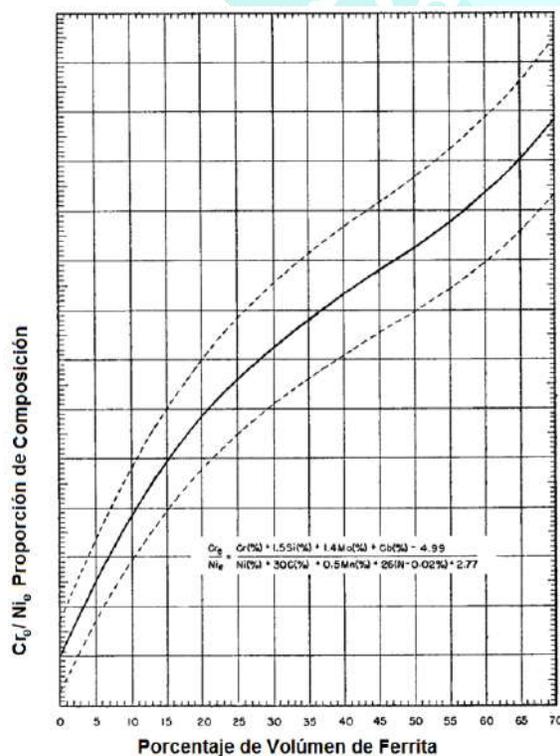


Figura 2. Diagrama Schoefer.

En ella se observa que los valores son mayores para los aceros CF3M que en los del acero 316L.

Con base al diagrama de Schoefer se estimó que para obtener los valores de ferrita inferiores al 0.6%, la relación C_{req}/N_{ieq} debe de ser preferentemente igual o menor a 0.9. Considerando un valor promedio en los elementos químicos del CF3M que pueden variarse, la relación C_{req}/N_{ieq} es del orden de 1.208, lo cual representa un 11 % Ferrita. Para disminuir la relación C_{req}/N_{ieq} es necesario disminuir los contenidos de los elementos Cr, Mo y Si y aumentar los contenidos de los elementos C, Ni y Mn.

Como parte de la estrategia de mantener los porcentajes de Ferrita bajos, se predice que las propiedades mecánicas de dichas aleaciones deben de mejorarse, por lo tanto, en la literatura existen diversas ecuaciones para predecir las propiedades mecánicas en función de la composición, entre ellas se encuentran las siguientes:

$$\sigma_{ced} (0.2\%) = 120 + 2Mn + 2Cr + 14Mo + (6.15 - (0.054\%Ferrita)) \%Ferrita \quad (5)$$

$$\sigma_{m\acute{a}x} = 470 + 14Mo + 1.5\%Ferrita \quad (6)$$

$$\sigma_{ced} = 15.4 (4.4 + 23C + 1.3Si + 0.24Cr + 0.94Mo + 0.16\%Ferrita) \quad (7)$$

$$\sigma_{m\acute{a}x} = 15.4 (29 + 35C + 2.4Si + 0.11Ni + 1.2Mo + 0.14\%Ferrita) \quad (8)$$

σ_{ced} = Esfuerzo cedencia

$\sigma_{m\acute{a}x}$ = Esfuerzo máximo

Tomando en cuenta las ecuaciones anteriores y los datos de las composiciones químicas de la Tabla 1 junto con la composición química de la propuesta hecha, se realizó el cálculo del esfuerzo máximo y el esfuerzo de cedencia de las aleaciones CF3M, 316L. Los resultados se presentan en la Tabla 2.

Se procedió a realizar una fundición con la composición propuesta para corroborar los datos mediante ensayos en una Máquina Universal de Ensayos de Tensión Shimadzu AG-X 100 kN.

Se realizó la caracterización microestructural de la aleación propuesta, y se comparó con una muestra de un acero comercial CF3M. Las muestras de ambas piezas fueron preparadas metalográficamente con etapas de desbaste con lijas de SiC y pulido con pastas de diamante de 3 y 1 mm. Posteriormente fueron atacadas con el reactivo Murakami (10g K₃Fe(CN)₆, 7g de NaOH, 100 ml agua destilada) durante 3 minutos y se obtuvieron sus respectivas metalografías en un microscopio óptico Nikon Eclipse MA-100.

3. Resultados

Se propuso la siguiente composición para la aleación de acero austenítico: C=0.03, Si=0.6, Mn=1.5, Cr=17, Ni=13 y Mo=2.0. Con esta composición la relación Creq/Nieq calculada es de 0.90, con lo cual se obtiene de 1.0-2.0% aproximado de ferrita según el diagrama de Schoefer. Considerando que generalmente las cuantificaciones de ferrita son menores a los valores predichos por los diagramas de Shaeffler y Shoefler, se pensó que esta propuesta sería la adecuada.

Respecto a las propiedades mecánicas, de la Tabla 2 se observa que en la aleación propuesta presenta valores de σ_{ced} (calculados por las ecuaciones) menores a los que deben obtenerse, de acuerdo a la norma, sin embargo, el $\sigma_{máx}$ calculado por ambas ecuaciones es mayor al especificado por la norma.

Se procedió a la obtención de la muestra mediante el proceso de fundición en un horno de inducción, buscando obtener los porcentajes antes mencionados. La Tabla 3 presenta la composición final obtenida en una probeta, los porcentajes se obtuvieron del análisis en un Espectrómetro de chispa Spectrolab. Posteriormente, se calcularon

sus propiedades mecánicas, las cuales también se incorporan en la Tabla 2.

Las micrografías obtenidas a 100X en las Figura 3 y 4, muestran que la microestructura está formada por una matriz de austenita (área blanca) con islas de ferrita (fases color café) y carburos finos dispersos homogéneamente en la matriz (puntos negros). La cantidad de ferrita fue mucho menor en el acero modificado en comparación con el acero CF3M convencional, como se puede observar ambas imágenes.

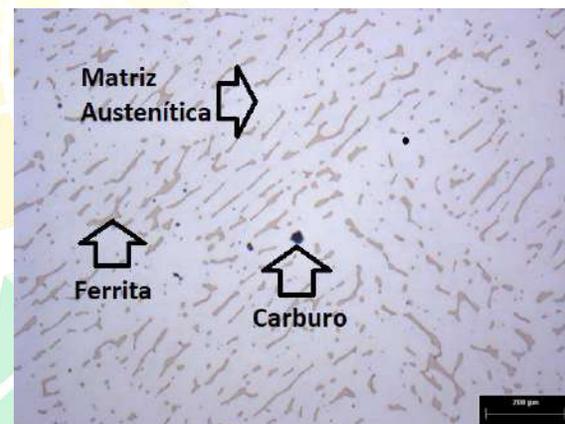


Figura 3. Micrografía de muestra de acero comercial CF3M.



Figura 4. Micrografía de Acero Propuesto con menor contenido de Fase Ferrita.

Se realizó una cuantificación del contenido de ferrita en ambas microestructuras utilizando el

método descrito en la norma ASTM E562-08. Se utilizó una malla cuadrículada con 100 puntos. El arreglo utilizado fue de 10 campos por línea y se usaron 3 líneas (30 campos). El espaciamiento fue de 2mm en la dirección horizontal y de 5mm en la dirección vertical. Una vez obtenidos los datos se procedió a realizar la cuantificación de la cantidad de ferrita utilizando las ecuaciones descritas en dicha norma. Los resultados se presentan en la Tabla 4.

Ni	12.67
P	0.015
S	0.0019
Creq/Nieq	0.96
%Ferrita Estimada	3

Tabla 4. Resultados de la cuantificación de ferrita para la aleación CF3M con composición convencional y la aleación propuesta.

Aleación	Volumen de ferrita estimado (intervalo de confianza 95%)	% de precisión relativa
CF3MConvencional	12.783 ± 0.948	7.412
Aleación Propuesta	0.317 ± 0.218	68.774

3.1 Tablas

Tabla 1. Composición química y cálculo de ferrita para el acero 316L y su equivalente CF3M.

% Elemental	316L (ASTM A213)	CF3M (ASTM)
% C	0.035	0.03
% Si	1.0	1.5
% Mn	2.0	1.5
% Cr	16–18.5	17–21
% Ni	10–14	9–13
% Mo	2–3	2–3
% S	0.03	0.04
% P	0.045	0.04
% Ferrita (Shaeffler)	5–8	12–18
% Ferrita (Shoefler)	6–7	10–16
% Ferrita medido		

Tabla 2. Resultados de los cálculos de los esfuerzos de cedencia y máximo en función de la composición química para el acero 316L y su equivalente CF3M.

Aleación	σ_{ced} (ec. 5) [Mpa]	σ_{ced} (ec. 7) [Mpa]	$\sigma_{m\acute{a}x}$ (ec. 6) [Mpa]	$\sigma_{m\acute{a}x}$ (ec. 8) [Mpa]
316L	Mayor a 205		Mayor a 485	
CF3M	Mayor a 205		Mayor a 485	
PROPUESTA (Ecuaciones)	194.1	185.9	500.25	547.16
PROPUESTA (Real)		318.5		531

Tabla 3. Porcentajes de Elementos Químicos en Fundición de Aleación Propuesta

Elemento Químico	%
C	0.0198
Si	0.568
Mn	1.4
Cr	17.42
Mo	2.01

4. Conclusiones

La modificación de la composición química propuesta para el acero CF3M (C=0.03, Si=0.6, Mn=1.5, Cr=17, Ni=13 y Mo=2.0), cumple con los requerimientos de la norma ASTM para este tipo de acero y permite obtener microestructuras con un contenido de ferrita menor a 0.5%

La modificación de la composición propuesta permite obtener propiedades mecánicas iguales o superiores a las especificadas por la norma ASTM correspondiente a piezas de fundición.

Referencias

- [1] Padhilha A. F. and Rios P.R *Decomposition of austenite in austenitic stainless steels*, ISIJ International 42 325 – 337, 2002.
- [2] ASTM A800/A800M-10, *Standard practice for steel casting, austenitic alloy, estimating ferrite content thereof*, American Society for Testing and Material, International, West Conshohocken, PA, 2014, www.astm.org
- [3] ASTM A240 / A240M-16a, *Standard Specification for Chromium and Chromium-Nickel Stainless Steel Plate, Sheet, and Strip for Pressure Vessels and for General*

Applications, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2016, www.astm.org

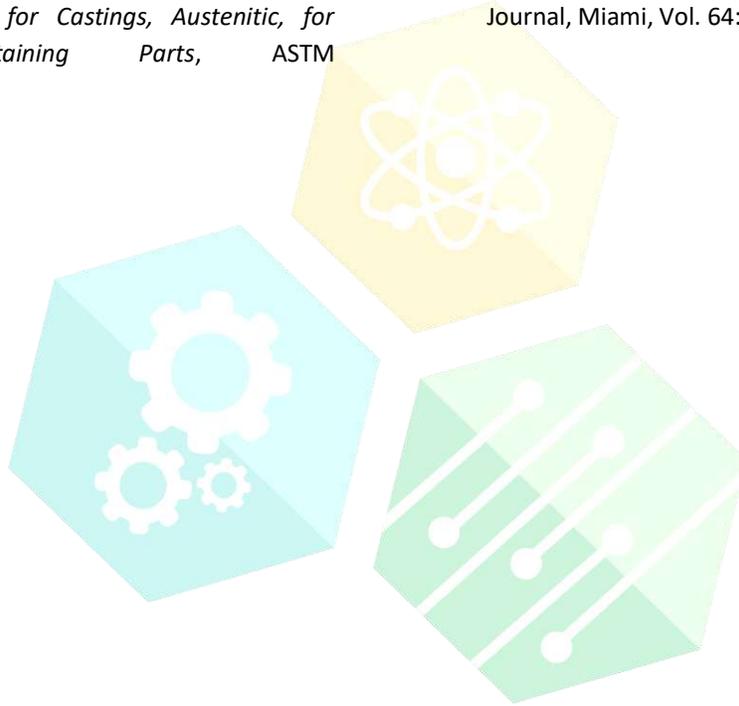
[4] ASTM A666-15, *Standard Specification for Annealed or Cold-Worked Austenitic Stainless Steel Sheet, Strip, Plate, and Flat Bar*, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2016, www.astm.org

[5] ASTM A351 / A351M-16, *Standard Specification for Castings, Austenitic, for Pressure-Containing Parts*, ASTM

International, West Conshohocken, PA, 2016, www.astm.org

[6] Long C. J and DeLong W. T, *The Ferrite Content of Austenitic Stainless Steel Weld Metal*, Welding Research, AWS and WRC, 281–291, 1973.

[7] Olson, D.L., *Prediction of austenitic weld metal microstructure and properties*, Weld Journal, Miami, Vol. 64:10, 281–295, 1984.



CONGRESO INTERNACIONAL
DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

OCM6- Influencia de C1 a C4 en la Síntesis de Co_3O_4 con Actividad Variable en la Reducción de NO/CO

Juan Manuel Quintana Melgoza, Luis Antonio Flores Sánchez

Universidad Autónoma de Baja California, Calzada Universidad 14418 Parque Industrial Internacional Tijuana, B.C., C.P. 22390, quintana@uabc.edu.mx

Resumen. - Presentamos una nueva metodología para la síntesis de óxido cobaltoso (Co_3O_4). Los materiales se prepararon haciendo reaccionar alcoholes de un carbono (C1) a cuatro carbonos (C4) de cadena lateral con sodio metálico y nitrato de cobalto hexahidrato, respectivamente a 600 °C con flujo de helio. Como efecto de los hidrocarburos de cadena larga, C4 es el mejor precursor de Co_3O_4 , debido a su área superficial más alta que la obtenida por precursores C1, C2, C3. Y todos los catalizadores alcanzaron la conversión de NO a 400 °C en el intervalo de 69.9 % a 97.5 %. Los materiales se caracterizaron por difracción de rayos X (XRD), tamaño promedio de los cristales, área superficial, espectroscopia de dispersión de energía (EDS) y microscopía electrónica de barrido (SEM).

Palabras clave: Óxido cobaltoso, alcoholes, área superficial, reducción de óxido nítrico.

Abstract. - We present a new methodology for **cobaltous oxide** (Co_3O_4) synthesis. The materials were prepared by reacting alcohols of one-carbon (C_1) to four-carbons (C_4) of lateral chain with metallic sodium and cobalt nitrate hexahydrate, respectively at 600 °C under helium stream. As effect of long chain hydrocarbons, C_4 is the best precursor of Co_3O_4 , because of its higher surface area than the obtained by C_1 , C_2 , C_3 precursors. And all the catalysts achieved NO conversion at 400 °C in the range of 69.9 % to 97.5 %. The materials were characterized by X-ray diffraction (XRD), average crystal size, surface area, energy dispersive spectroscopy (EDS), and scanning electron microscopy (SEM).

Key words: Cobaltous oxide, C1-C4 alcohols, surface area, nitric oxide reduction.

1. Introducción

La estructura tipo espinela de Co_3O_4 se ha estudiado en sus posibles aplicaciones como depósito sobre películas semiconductoras y ferromagnéticas [1], soporte en la mezcla $\text{CuO}/\text{Co}_3\text{O}_4$ para la producción de hidrógeno [2], como soporte en el sistema $\text{TiO}_2/\text{Co}_3\text{O}_4$ para la degradación compuestos orgánicos tóxicos presentes en agua [3], como soporte catalítico de óxido de cerio $\text{CeO}_2/\text{Co}_3\text{O}_4$ para la oxidación de CO [4]. Además, se han reportado algunos métodos para la síntesis de Co_3O_4 , por ejemplo:

descomposición térmica del hidrato de cobalto [1, 3], co-precipitación [2], impregnación húmeda incipiente de Co_3O_4 en un soporte catalítico [5], precipitación [6], sol-gel [3] e hidrotérmico [7]. Como podemos ver en este trabajo, la síntesis de óxidos de cobalto por reacción de desplazamiento de Na por Co, seguido de tratamiento térmico se puede obtener Co_3O_4 por un método fácil, barato y con posible actividad en la reducción de óxido nítrico NO con monóxido de carbono CO, los contaminantes mayoritarios del aire (72 %) [8].

El objetivo de este trabajo es sintetizar Co_3O_4 por reacción de desplazamiento de Na por Co en metóxido de Na, etóxido de Na, propóxido de Na y butóxido de Na, seguido de tratamiento térmico para obtener 4 materiales con actividad variable en la reducción de NO con CO a CO_2 y N_2 .

2. Metodología

2.1. Síntesis de óxidos de cobalto

Los óxidos de cobalto se sintetizan a partir de 3.0 g de los compuestos: metóxido, etóxido, propóxido y butóxido de cobalto a $600\text{ }^\circ\text{C}$, respectivamente, durante 1 h en flujo de helio a 20 mL/min . Los materiales obtenidos se etiquetan como catalizadores: Co_1 , Co_2 , Co_3 y Co_4 .

2.2. Caracterización del material

La composición elemental y estructura morfológica de las partículas sintetizadas se analizan por EDS y SEM en un JEOL 5300. Las muestras se recubren con oro para evitar los efectos de acumulación de carga sobre la superficie. XRD se utiliza para identificar las fases cristalinas y para medir sus tamaños de cristal, para ello, se emplea un difractómetro Philips con radiación $\text{Cu}_{K\alpha}$ (40 kV , 30 mA), con una longitud de onda de 0.154 nm . Las fases cristalinas se corroboran en la base de datos cristalográficos JCPDS-ICDD de difracción de polvo [9]. El tamaño promedio cristalino de los catalizadores Co_1 , Co_2 , Co_3 y Co_4 se estima a partir del ancho medio de pico (311), respectivamente, utilizando un análisis estándar de Scherrer [10]. La superficie se mide con un equipo Gemini 2360 de Micromeritics por adsorción de N_2 a $-196\text{ }^\circ\text{C}$ utilizando la isoterma BET [11].

3. Resultados

3.1. Difracción por rayos-X

En la Figura 1 se presenta los patrones por XRD del material Co_1 , Co_2 , Co_3 y Co_4 y el patrón por XRD

de Co_3O_4 (T) de referencia cristalográfica en la base de datos JCPDS-ICDD 42-1467 [9]. Como se puede ver, la concordancia de señales entre los espectros de síntesis $\text{Co}_1 - \text{Co}_4$ y reportado T es excelente y conduce a la confirmación de la fase cristalina de Co_3O_4 sintetizado. En la Figura 2 se muestra la celda unitaria cúbica centrada de cara del Co_3O_4 tipo espinela normal, simulada en el programa PCW versión 2.4 [12].

3.2. Características de los cristales Co_3O_4

El tamaño cristalino, la área superficial, el tamaño de partícula y la actividad catalítica en la reducción de NO con CO en relación $\text{NO/CO} = 1/5$ a $400\text{ }^\circ\text{C}$ correspondiente a los materiales sintetizados se muestran en Tabla 1. Los resultados de área superficial, tamaño de cristal y actividad catalítica son consistentes con la longitud de la cadena del grupo alquilo de 1 carbono a 4 carbonos usando metanol, etanol, propanol, butanol como intermediarios de cadena lateral para la síntesis de Co_3O_4 . Porque al aumentar el número de carbonos en el precursor de Co_3O_4 se obtiene catalizadores más activos, con mayor área y con menor tamaño cristalino en el siguiente orden: $\text{Co}_1 < \text{Co}_2 < \text{Co}_3 < \text{Co}_4$, tal como se indica en la Tabla 1. Las etapas del mecanismo para la reducción catalítica de NO con CO a CO_2 y N_2 sobre la superficie de Co_3O_4 (ads) se propone en el esquema 1 de reacciones parciales.

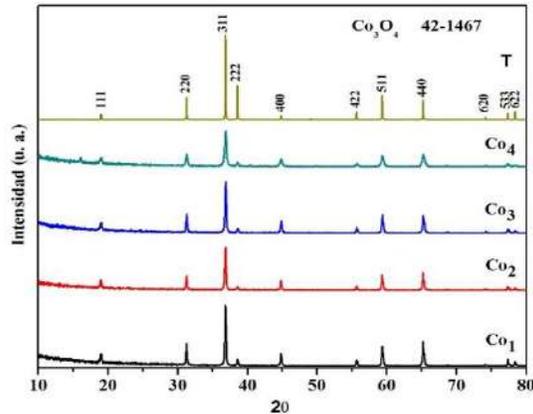


Figura 1. Patrones por XRD indexados de los materiales Co₁, Co₂, Co₃, Co₄ sintetizados en este trabajo y Co₃O₄ reportado (T) en JCPDS-ICDD 42-1467 [9].

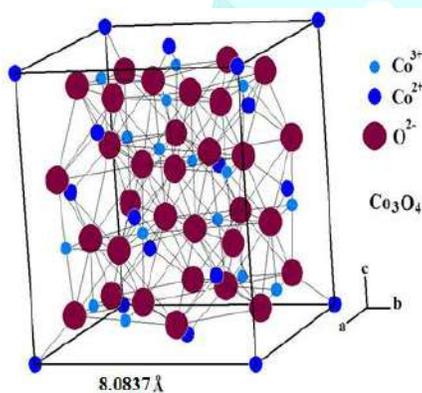


Figura 2. Celda unitaria cubica centrada de cara del Co₃O₄ tipo espinela normal.

Tabla 1 Tamaño de cristal (C_{XRD}), área superficial (S_{BET}), tamaño de partícula (P_{SEM}) y grado de conversión de NO (%) determinado en los materiales sintetizados (M).

M	C_{XRD}	S_{BET}	P_{SEM}	Conversión NO
Co ₁	1580	2.2	2.35x1.58	69.9
Co ₂	1250	3.9	4.90x3.94	74.5
Co ₃	947	8.6	0.44x0.33	78.5
Co ₄	429	17.1	3.22x2.47	97.5



Esquema 1. Reacciones parciales de la reducción catalítica de NO con CO a los productos CO₂ y N₂.

4. Conclusiones

Se confirmó la síntesis de Co₃O₄ por variación de la cadena lateral desde 1 carbono a 4 carbonos, obteniéndose materiales a base cobalto Co₁, Co₂, Co₃ y Co₄ con diferencias físicas significativas en área superficial (2.2 – 17.1) m²/g, tamaño de cristal (1580 – 429) Å y actividad (69.9 – 97.5) %, en ese orden. Por lo anterior, se recomienda el método de 4 carbonos para sintetizar Co₃O₄ con mejor actividad en la reducción de NO con CO a N₂ y CO₂ con potencial aplicación para control de NO_x industrial.

Agradecimientos

Los autores agradecen la financiación de esta investigación con los proyectos 300/1377, **300/1474** y **300/6/N/84/19** de las convocatorias internas UABC. Además, se agradece a UABC y CNYN por proporcionar soporte de laboratorio en síntesis y caracterización de los materiales. Estamos muy agradecidos con M. en C. Martha Eloísa Aparicio Ceja, M. en C. Israel Gradilla Martínez, Antonio Gómez y Gabriela Díaz por sus contribuciones a este trabajo de investigación.

Referencias

- [1] Shuxiang M., Zhanpeng W., Yue W., Shengli Q., Xiaoping Y., Dezhen W. *Formation and characterization of cobalt oxide layers on polyimide films via surface modification and ion-exchange technique*. Thin Solid Films 518, 4175–4182, 2010.
- [2] Yusuke Y., Kentaro Y., Qiang X. and Shunichi F. *Cu/Co₃O₄ Nanoparticles as Catalysts for Hydrogen Evolution from Ammonia Borane by Hydrolysis*. J. Phys. Chem. C 114, 16456–16462, 2010.

- [3] Alanís R. and Jiménez J. *Titanium Oxide Modification with Oxides of Mixed Cobalt Valence for Photocatalysis*. J. Mex. Chem. Soc. 54(3), 164–168, 2010.
- [4] Chih T., Ming K., Chin L., Chen W., Shu C. *Evaluation of carbon monoxide oxidation over CeO₂/Co₃O₄ catalysts: Effect of ceria loading*. Catalysis Today. 131, 520–525 (2008).
- [5] Rausch K., Steen., V., Roessner F. *New aspects for heterogeneous cobalt-catalyzed hydroamination of ethanol*. Journal of Catalysis. 253, 111–118, 2008.
- [6] Wu H., Pantaleo G., Di Carlo G., Guo S., Marci G., Concepción P., Venezia. M. and Liotta F. *Co₃O₄ particles grown over nanocrystalline CeO₂: influence of precipitation agents and calcination temperature on the catalytic activity for methane oxidation*. Catal. Sci. Technol. 5, 1888–1901, 2015.
- [7] Sun S., Zhao X., Yang M., Ma L. and Shen X. *Facile and Eco-Friendly Synthesis of Finger-Like Co₃O₄ Nanorods for Electrochemical Energy Storage*. Nanomaterials 5, 2335–2347, 2015.
- [8] National Emissions Inventory (2008) version 2 U.S. Environmental Protection Agency 2012, North Carolina.
- [9] *Joint Committee on Powder Diffraction Standards (JCPDS)-International Centre for Diffraction Data. (ICDD)*. 15–0755, 44–1159, 43–1035, 1996.
- [10] Cullity D. *Elements of X-ray Diffraction*, second edition, Addison-Wesley Publishing Company, Inc. Notre Dame, Indiana, U.S.A. 1978.
- [11] Brunauer S., Emmett P. H. and Teller E. *Adsorption of Gases in Multimolecular Layers*. J. Amer. Chem. Soc., 60, 309–319, 1938.
- [12] W. Kraus and G. Nolze. *Federal Institute for Materials Research and Testing Rudower Chausse 5, 12489 Berlin, Germany*. Powder Cell for Windows version 2.4. 2000.

CONGRESO INTERNACIONAL
DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

OCM7- Síntesis y Caracterización De Ni_{0.76}Cu_{0.24} Cristalino

Luis Antonio Flores Sánchez, Juan Manuel Quintana Melgoza

Universidad Autónoma de Baja California, Calzada Universidad 14418 Parque Industrial Internacional Tijuana,
B.C., C.P. 22390, lflores94@uabc.edu.mx.

Resumen. – En este trabajo se propone la síntesis de una aleación de níquel-cobre por descomposición térmica en atmósfera reductora a partir de la mezcla estequiométrica 3:1 de sales de Ni y Cu. La metodología utilizada es de bajo costo, sencilla, amigable con el medio ambiente y permite obtener una fase cristalina libre de contaminantes o remanentes de reacción con un tamaño de cristal de 33 nm y tamaño de partícula de $659 \pm 123 \times 416 \pm 102$ nm, con morfología semiesférica y aglomerados heterogéneos. Adicionalmente al realizar un análisis comparativo de los parámetros de red experimental, teóricos reportados y calculados con la ley de Vegard, sugiere que el material sintetizado presenta una fracción diferente de Cu con respecto a la identificada por la base de datos Ni_{0.76}Cu_{0.24}, sin embargo en el parámetro de red no se observa un cambio significativo ($\approx 0.1\%$). El material se caracterizó por difracción de rayos-X (XRD), espectroscopía por dispersión de energía (EDS) y microscopía electrónica de barrido (SEM), el tamaño de cristal se calculó con la ecuación de Scherrer y la fracción de Cu en la aleación con aplicando la ley de Vegard.

Palabras clave: Síntesis, descomposición térmica reductora, caracterización, aleación, níquel-cobre.

Abstract. – In this work we synthesized the alloy of nickel-copper by thermal treatment in reductive-flow of hydrated salts based on Ni and Cu used the stoichiometric 3:1 respectively. The methodology proposed is low-cost, simple, friendly to environment, and obtain a crystalline phase free of contaminants or remnants of reaction with crystal size of 33 nm and particle size of $659 \pm 123 \times 416 \pm 102$ nm, the particles exhibit like-spherical morphology and heterogeneous agglomerates. In addition we compared the experimental lattice parameters by theoretical reported and calculated by Vegard's law. The results by Vegard's law suggest that the composition of copper (X_{Cu}) in the alloy is different with respect to the phase identified Ni_{0.76}Cu_{0.24} by XRD database, but this result don't affected the lattice parameter. The material was characterized by X-ray diffraction (XRD), energy dispersive spectroscopy (EDS), scanning electron microscopy (SEM), and crystal size and copper fraction in alloy was estimated using the Scherrer equation, and Vegard's law respectively.

Key words: Synthesis, reductive thermal decomposition, characterization, alloy, nickel-copper.

1. Introducción

El estudio de materiales a base de metales de transición de bajo costo como Ni-Cu, ha sido y sigue siendo de interés en diversos campos de la catálisis, electroquímica, síntesis y control de emisiones, debido a las aplicaciones que presentan estos materiales como producción de

H₂ vía: catalítica, electrolisis y reformación [1–4], también se reporta su uso en el control de emisiones de NO_x y CO [5–6], producción de combustibles a partir de CO₂ [7] y en sensores de compuestos tóxicos [8]. Por lo anterior, se han reportado metodologías de síntesis como calcinación, molienda, combustión,

coprecipitación, impregnación húmeda, método de fusión y electrodeposición [2–3]. A pesar de esto algunas metodologías no reportan una fase específica de Ni–Cu o se asume la identificación de la misma en función de la ley de Vegard [9]. Por lo cual esto nos impulsa a realizar investigación de nuevas rutas de síntesis que permitan obtener una fase definida de níquel–cobre por lo que en este trabajo se realiza la síntesis y caracterización de una aleación de Ni–Cu por descomposición térmica.

2. Materiales y métodos

a. Síntesis de materiales

La aleación de Ni–Cu se sintetizó a partir de la descomposición a 600 °C durante 1 hora en atmósfera reductora de la mezcla estequiométrica 3:1 de Ni(NO₃)₂·6H₂O Aldrich 244074 y Cu(NO₃)₂·2.5H₂O Aldrich 223395 dentro de un horno eléctrico en posición horizontal marca Lindberg Blue.

b. Caracterización de materiales

La identificación de las fases cristalinas se realizó utilizando un XRD BRUKER D8 ADVANCE con radiación Cu_{Kα} (40 kV, 30 mA), para la identificación la fase cristalina se utilizó la base de datos JCPDS-ICCD [10]. El tamaño de cristal (TC) se calculó con la ecuación de Scherrer usando el pico (111) [11], los patrones de difracción teóricos se simularon el software PowderCell for Windows [12]. El parámetro de red (a) de la fase sintetizada se obtuvo del pico (200), la fracción de cobre (X_{Cu}) en la aleación se determinó de acuerdo a la ley de Vegard con la siguiente relación:

$$X_{Cu} = \frac{a_{100} - a_{Ni}}{a_{Cu} - a_{Ni}} \quad (1)$$

donde 'a_{Ni}' 3.5238 Å y 'a_{Cu}' 3.6077 Å son los parámetros de red de Ni y Cu, respectivamente. La composición elemental y la morfología superficial del material sintetizado se llevaron a cabo en un

microscopio electrónico de barrido ESEM FEI QUANTA 200 (20–25) KV sobre cinta de carbono. El tamaño promedio de partícula (TP) y la desviación estándar (σ) se realizó por medición directa de 100 partículas de cada micrografía.

3. Resultados y discusión

a. Síntesis de materiales

En la figura 1 se muestra los patrones de difracción de la fase sintetizada (E) y teóricos (T) de referencia, donde se identificó la fase Ni_{0.76}Cu_{0.24} con tarjeta de referencia 03-2249 en la base de datos cristalográficos [10]. Se agrega los difractogramas de Ni (04–0850) y Cu (01–1241) metálico, para corroborar la no presencia de las fases como remanentes de reacción. El TC de la fase de Ni_{0.76}Cu_{0.24} es 33 nm y contiene una X_{Cu}= 0.19 en la aleación, ver Tabla 1. Lo anterior de acuerdo con lo calculado por la ley de Vegard, la cual corresponde de buena manera con la fase identificada en la base de datos, si bien hay una diferencia en el contenido de la X_{Cu} de 0.05, el parámetro de red tiene una diferencia de 0.003 Å, lo cual no es significativo (0.14 %). El parámetro de red (a) (Figura 2) se modifica de acuerdo a la X_{Cu} en la aleación, tanto en lo obtenido con la ley de Vegard (■) y el obtenido de acuerdo a las 9 tarjetas reportadas en la base de datos. Se logró observar que de acuerdo a la estequiometría utilizada en la síntesis la aleación debía ser Ni_{0.75}Cu_{0.25}, sin embargo bajo las condiciones de síntesis utilizadas y metodología propuesta favorecen la fase cristalina identificada como Ni_{0.76}Cu_{0.24} (E).

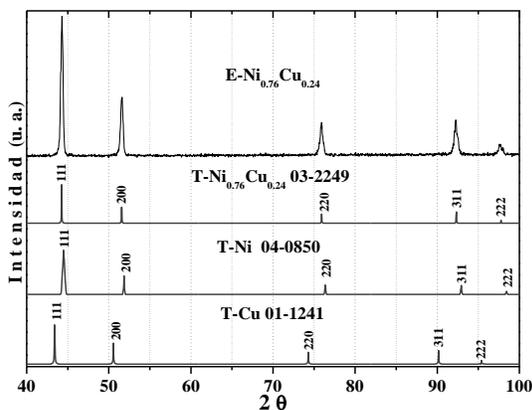


Figura 1. Espectros por XRD obtenidos experimentalmente (E) y teóricos (T) de las fases de Ni_{0.76}Cu_{0.24}, Ni y Cu [10, 12], donde se confirma solo la presencia de la aleación Ni_{0.76}Cu_{0.24}.

El % Wt y σ (Tabla 1) se obtuvo de diversas mediciones puntuales de la muestra. Los espectros obtenidos por EDS muestran únicamente señales características de Ni y Cu con % At Ni= 0.72 y Cu= 0.28, no se encontraron otros elementos como agentes contaminantes o remanentes de reacción, esto concuerda con lo obtenido por XRD, ya que solo hay una fase presente en la muestra. Al comparar la X_{Cu} de las aleaciones obtenidas por XRD, EDS y por ley de Vegard, podemos mencionar que hay mayor diferencia entre el resultado de X_{Cu} obtenido por XRD (V) y EDS (A), que el comparativo de XRD con el calculado por la ley de Vegard (Figura 2), lo que deja de manifiesto que la ley de Vegard explica de buena forma el contenido de cobre en las aleaciones con Ni. En las imágenes por SEM, se observa una morfología semiesférica que al aglomerarse genera formas heterogéneas en la aleación de Ni_{0.76}Cu_{0.24}.

Tabla 1. Propiedades físicas y composición de la fase Ni_{0.76}Cu_{0.24} sintetizada vía descomposición térmica.

TC (nm)	X_{Cu}	TP (nm) l x h ± σ	Wt ± σ (%)	At ± σ (%)
33	0.1	659 ± 123	Ni: 70.3 ± 1.3	Ni: 71.9 ± 1.3
	9	416 ± 102	Cu: 29.7 ± 1.3	Cu: 28.1 ± 1.3

X_{Cu} : Por ley de Vegard, Wt: % en peso elemental, At: % atómico por EDS y σ : Desviación estándar.

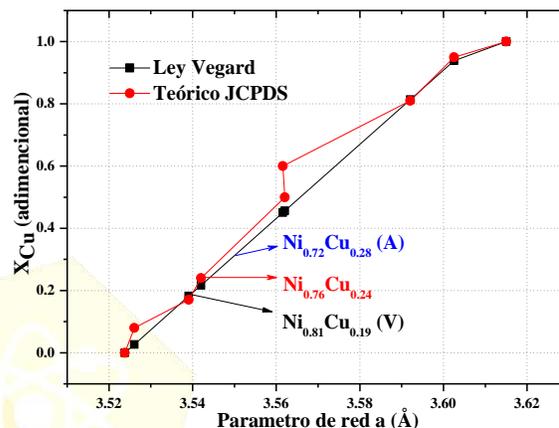


Figura 2. Parámetro de red con respecto a la fracción de Cu en aleaciones Ni-Cu, calculado por ley de Vegard (■) (V) y reportado en JCPDS-ICDD (●), así como la aleación esperada de acuerdo al % atómico por EDS (▲).

4. Conclusiones

En este trabajo se sintetizó la fase Ni_{0.76}Cu_{0.24} a partir de la descomposición térmica de los hidratos de Ni y Cu. El material se obtuvo puro, con TC: 33 nm y TPP: 659 x 416 nm, por lo anterior, se recomienda la metodología propuesta para obtener la fase de Ni_{0.76}Cu_{0.24} con posible aplicación en el campo de la catálisis industrial.

Agradecimientos

Agradecemos el apoyo financiero a través de los proyectos CB-2010-01-151551 (CONACYT) y 300-1377 (UABC). Estamos muy agradecidos con G. Labrada y B. Rivera por su asistencia técnica en el análisis de las muestras, así como a las instituciones FCQI-UABC y LINAN-IPICYT por proporcionar servicios de laboratorio.

Referencias

- [1] Pinilla J, Suelves I, Lázaro M, Moliner R, Palacios J. *Parametric Study of the Decomposition of Methane Using a NiCu/Al₂O₃ Catalyst in a Fluidized Bed*

- Reactor. *International Journal of Hydrogen Energy*. 35, 9801–9809, 2010.
- [2] Pinilla J, Suelves I, Lázaro M, Moliner R, Palacios J. *Influence of Nickel Crystal Domain Size on the Behaviour of Ni and NiCu Catalysts for the Methane Decomposition Reaction*. *Applied Catalysis A: General*. 363, 199–207, 2009.
- [3] Ahn S, Park H, Choi I, Yoo S, Hwang S, Kim H, Cho E, Yoon C, Park H, Son H, Hernandez J, Nama S, Lim T, Kim S, Jang J. *Electrochemically Fabricated NiCu Alloy Catalysts for Hydrogen Production in Alkaline Water Electrolysis*. *International Journal of Hydrogen Energy*. 38, 13493–13501, 2013.
- [4] Homs N, Llorca J, Ramírez de la Piscina P. *Low-temperature Steam-Reforming of Ethanol Over ZnO-Supported Ni and Cu Catalysts the Effect of Nickel and Copper Addition to ZnO-Supported Cobalt-Based Catalysts*. *Catalysis Today*. 116, 361–366, 2006.
- [5] Illán Gómez M, Brandán S, Salinas M, Linares A. *Improvements In NOx Reduction by Carbon Using Bimetallic Catalysts*. *Fuel*. 80, 2001–2005, 2001.
- [6] Fujita T, Abe H, Tanabe T, Ito Y, Tokunaga T, Arai S, Yamamoto Y, Hirata A, Chen M. *Earth Abundant and Durable Nanoporous Catalyst for Exhaust-Gas Conversion*. *Adv Funct Mater*. 26, 1609–1616, 2016.
- [7] Vesselli E, Monachino E, Rizzi M, Furlan S, Duan X, Dri C, Peronio A, Africh C, Lacovig P, Baldereschi A, Comelli G, Peressi M. *Steering the Chemistry of Carbon Oxides on a NiCu Catalyst*. *ACS Catalysis*. 3, 1555–1559, 2013.
- [8] Yan Z, Xu Z, Zhang W, Zhao S, Xu Y. *A Novel Electrochemical Nitrobenzene Sensor Based on NiCu Alloy Electrode*. *Int J Electrochem Sci*. 7, 2938–2946, 2012.
- [9] Vegard V. *Die Konstitution der Mischkristalle und die Raumfüllung der Atome*. *Zeitschrift für Physik*. Bd V, 17–26, 1921.
- [10] Joint Committee on Powder Diffraction Standards International Centre for Diffraction Data. 2012.
- [11] Patterson A. *The Scherrer Formula For X-Ray Particle Size Determination*. November 15, *Physical Review*. 56, 978–982, 1939.
- [12] Kraus W, Nolse G. *PowderCell for Windows*. Federal Institute for Materials Research and Testing Rudower Chausse 5. Germany, 2000.

OCM9- Confined Beryllium Atom Electronic Structure and Physicochemical Properties

Alejandro David Sañu Ginarte, Rodrigo Arturo Rosas Burgos, Adalberto Corella Madueño,
Ricardo Betancourt Riera, Lázaro Alberto Ferrer Moreno, Raúl Riera Aroche

^a Universidad de Sonora, Departamento de Física, Apartado Postal 1626, 83000 Hermosillo, Sonora, México.

^b Universidad de Sonora, Departamento de Investigación en Física, Apartado Postal 5-088, 83190 Hermosillo, Sonora, México.

^c Instituto Tecnológico de Hermosillo, Avenida Tecnológico S/N, Colonia Sahuaro, C.P.83170, Hermosillo, Sonora, México.

Abstract. - *Confined Beryllium atom ground and first excited state electronic structure are calculated by the direct variational method, taking into account the system asymmetric nature of the trial wave function, adding a cutoff function to ensure confinement boundary conditions. The trial wave function is built up from hydrogenic functions, which constitute an adequate basis for energies calculation. Physicochemical properties such as kinetic energy, pressure, and polarizability are also calculated from energy results previously obtained to different confined radii. Using different variational parameters in each hydrogenic function, the energy approximation obtained is improved. Another important result is that this method is computationally simpler and gives values inside the experimental precision.*

Key words: confined Beryllium atom, ground state, first excited state, direct variational method.

1. Introduction

Nowadays, it is of great interest to control and manipulate different systems properties, one way to achieve this is reducing space. Confined quantum systems study began gaining importance around the 1930s, through a model proposal to study confined hydrogen atom, located at a spherical box center with impenetrable walls; in order to determine its polarizability [1] variation as a pressure function. It is well known that some system properties change when they are under spatial constraints effects. In this work, we present a theoretical characterization of Beryllium atom confined in a box with impenetrable walls spherical symmetry via its electronic structure to determine behavior changes due to confinement,

and how they affect some of their physicochemical properties. We proposed the direct variational method to do this calculation, which is computationally much simpler in comparison with FDT or Hartree-Fock, due to it requires fewer operations and it does not need a specialized software, pointing that we use a four-element basis; giving energy values inside the experimental precision.

2. Variational study of the ground state and the first excited state of the beryllium atom into a spherical potential

The time-independent Schrödinger equation is given by:

$$\hat{H}\Psi = E\Psi \quad (1)$$

where E , is the atom electron energy, Ψ is the wavefunction, and \hat{H} is the Hamiltonian operator. Using Born-Oppenheimer approximation and dismissing spin-orbit interaction, \hat{H} is given by:

$$\hat{H} = -\frac{1}{2} \sum_{i=1}^4 \nabla_i^2 - Z \sum_{i=1}^4 \frac{1}{r_i} + \sum_{i=1}^4 \sum_{j>i}^4 \frac{1}{r_{ij}} + V_c(r) \quad (2)$$

Where V_c , is the ansatz potential.

A trial wave function will be used, in Slater's determinant form. From previously performed variational approaches [2], we know that a better energy values approximation is obtained using different effective atomic numbers for different each orbital.

$$\varphi_1(r) = n_1 e^{-\alpha r} * f_c \quad (3)$$

$$\varphi_2(r) = n_2 e^{-\beta r} * f_c \quad (4)$$

$$\varphi_3(r) = n_3 (2 - \gamma r) e^{-\frac{1}{2}\gamma r} * f_c \quad (5)$$

$$\varphi_4(r) = n_4 (2 - \delta r) e^{-\frac{1}{2}\delta r} * f_c \quad (6)$$

where $f_c = (1 - \frac{r}{r_0})$ is the cutoff function; $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ are variational parameters and n_i are normalization constants.

Making direct variational method use, it is possible to obtain the energy functional:

$$E(\alpha, \beta, \gamma, \delta) = \frac{1}{[S_{11}S_{33}(S_{22}S_{44} - S_{24}^2) + S_{13}^2(S_{24}^2 - S_{22}S_{44})] \times [(S_{22}S_{44} - S_{24}^2)(S_{33}H_{11} + S_{11}H_{33} - 2S_{13}H_{13}) + (S_{11}S_{33} - S_{13}^2)(S_{44}H_{22} + S_{22}H_{44} - 2S_{24}H_{24}) + S_{33}S_{44}J_{12} + (S_{22}S_{44} - S_{24}^2)J_{13} + S_{22}S_{33}J_{14} + S_{11}S_{44}J_{23} + (S_{11}S_{33}S_{13}^2)J_{24} + S_{11}S_{22}J_{34} + (S_{24}^2 - S_{22}S_{44})K_{13} + (S_{13}^2 - S_{11}S_{33})K_{24} + 4S_{13}S_{24}M_{1234} - 2S_{33}S_{24}M_{1214} - 2S_{11}S_{24}M_{2343} - 2S_{13}S_{44}M_{1232} - 2S_{22}S_{13}M_{1434}]}$$

After integrals calculation and plugged them into Eq(7), it follows a numerical minimization process for each variational parameter, namely:

$$\frac{\partial E(\omega_i, r_0)}{\partial \omega_i} = 0 \quad (8)$$

where ω_i are variational parameters.

A slight modification was considered for the 2s functions, adding a different variational parameter to each of them, to give them more flexibility, being as follows:

$$\varphi_3(r) = n_3 (2 - \lambda r) e^{-\frac{1}{2}\lambda r} * f_c \quad (9)$$

$$\varphi_4(r) = n_4 (2 - \mu r) e^{-\frac{1}{2}\mu r} * f_c \quad (10)$$

It is worth to remember that the variational method can be used to estimate excited states energy value, as long as it is ensured that the trial wave function is normalized and orthogonal to lowest states [3] wave function. The hydrogenic function for $2p_z$ state is:

$$\varphi_4(r) = n_4 r e^{-\frac{1}{2}\delta r} \cos \theta * f_c \quad (11)$$

Average pressure exerted by system boundaries is given by the expression:

$$P(r_0) = -\frac{dE}{dV} = -\frac{1}{4\pi r_0^2} \frac{dE}{dr_0} \quad (12)$$

where V is the sphere volume and E is the atom ground state total energy.

To calculate kinetic energy, which relates kinetic energy K and pressure P with r_0 , as given by the Virial Theorem:

$$K(r_0) = 4\pi r_0^3 P(r_0) - E(r_0) \quad (13)$$

An important physical quantity to calculate is polarizability, Kirkwood's [4] approximation was used:

$$\alpha = \frac{4}{9a_0} \sum_i (r_i^2)^2 \quad (14)$$

where a_0 , is Bohr radius, and α is polarizability.

3. Results and Discussions

Ground-State Energy

Energy values comparison is shown in Figure 1 using four parameters E_{H-4p} , six parameters E_{H-6p} and those obtained by Ludeña [5] E_{SCF-HF} , using a self-consistent field calculation. As

confinement radius decreases, system energy increases as expected. A significant correction is observed in the energy using six variational parameters. This is due to new parameters included in 2s hydrogenic functions, which allow for greater flexibility when energy value minimization is looked for.

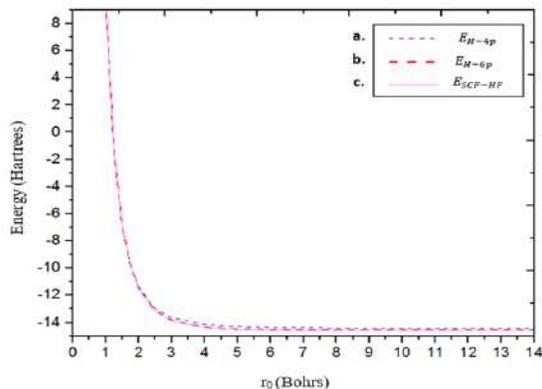


Figure 1. Energy values comparison: a. four variational parameters b. six variational parameters c. those reported by Ludeña [5]

Compared to Ludeña's work [5], there was a 0.72% and 0.09% difference when $r_0 \rightarrow \infty$. For remaining r_0 difference fluctuates between 1.12% and 2.85% using four parameters. Using six variational parameters, they fluctuate between 0.11% and 2.67%. This difference has to do with the use of SCF approximation to the Hartree-Fock method, where the use of a sufficient number of basis functions is needed in order to calculate the analytical wave function precisely and, at the same time, to optimize orbital exponents. In contrast, in this work, we obtained sufficient energies to study a confined atom behavior with only six parameters. The use of such small base, dramatically reduces calculation difficulty and execution time. Considering four ionization energies for Beryllium atom, ground state energy is -14.6693 Hartrees, where a 1.31% difference was obtained for four variational parameters, and 0.69% for six when $r_0 \rightarrow \infty$. As expected, as confinement radius r_0 decreases, kinetic energy

system increases due to the system pressure effect.

Table 3. Pressure [a. u.] and kinetic energy [a. u.] using (a) four variational parameters and (b) six variational parameters.

	(a)		(b)	
r_0	$P(r_0)[H/a_0^3]$	$K(r_0)$	$P(r_0)[H/a_0^3]$	$K(r_0)$
∞	3.878×10^{-11}	14.4682	2.079×10^{-13}	14.5588
10	5.482×10^{-6}	14.4957	6.014×10^{-7}	14.5642
9	9.530×10^{-6}	14.5059	1.395×10^{-6}	14.5684
8	0.00001	14.5229	3.840×10^{-6}	14.5782
7	0.00003	14.5534	0.00001	14.6036
6	0.00009	14.6151	0.00005	14.6719
5	0.00029	14.7572	0.00023	14.8428
4	0.00124	15.1352	0.00124	15.3231
3	0.00789	16.3245	0.00829	16.6589
2	0.09811	21.2517	0.10137	21.6801

Excited State $1s^2 2s 2p_z$

First excited state experimental value for Beryllium atom is unknown, therefore data obtained in this work will be compared to approximate results. First excited state energy values are shown in Table 4. Its energy also rises when confinement radius decreases, same as ground state case. It is the largest, as well.

Table 4. Direct variational calculation for the excited state using four variational parameters.

α	β	γ	δ	λ	r_0	E_H
3.63925	3.60624	2.59711	0.90000	3.25932	∞	-14.50918
3.74210	3.70145	2.97901	0.90000	3.52917	10	-13.32581
3.74692	3.70616	3.00712	0.90000	3.53685	9	-13.19181
3.75280	3.71212	3.04174	0.90000	3.54196	8	-13.02697
3.76014	3.71987	3.08483	0.90000	3.54361	7	-12.81912
3.76956	3.73027	3.13842	0.90000	3.54152	6	-12.54842
3.78225	3.74484	3.20308	0.90000	3.53780	5	-12.17998
3.80086	3.76656	3.26764	0.90000	3.55234	4	-11.64598
3.83609	3.80395	2.91121	0.90000	9.9999	3	-10.80105
3.87549	3.86590	2.57087	0.90000	9.9999	2	-9.26402

Lower energy values obtained in this work have a 0.063% difference compared to those obtained by Hibbert [6], 0.064% compared to Weiss [7], and 0.392% compared to Chao Chen [8]. Hibbert and Weiss reported a set of large-scale configuration

interaction (CI) calculations for the $1s^2 2snp$ ($n = 2,3$) 3P states, which can give an accurate approximation for each state. On the other hand, energies and wave functions for the beryllium atom are calculated with the full-core plus correlation wave functions by Chao Chen, obtaining a better approximation because of the use of many relevant angular and spin couplings which greatly contribute to the final energy values. Besides, Hibbert and Weiss did not include any intra-shell correlation in the $1s$ shell, because their calculations were those of transitions in outer subshells. The purposes of these works were to obtain the energy values in a precise way though in our case we tried to find acceptable energy values to calculate atomic properties which were energy-dependent, plus, we consider the case of the non-free confined atom as Chao Chen, Hibbert y Weiss did. All of which adds an additional potential due to confinement, which in turn influences on the difference among the values with respect to those ones already mentioned.

Beryllium atom polarizability

To calculate polarizability, Kirkwood's approximation [4] is used (equations 9 and 10). Values obtained for free Beryllium atom using different confinement radii r_0 and other reported results given by Komasa [9], B. K. Sahoo and B. P. Das [10] and S. G. Porsev and A. Derevianko [11], are shown in Table 5. Polarizability is measured in units of a_0^3 . For free atom case, we obtained a difference of 7.665%. Polarizability depends only on the box radius and varies monotonously with its radius as well. For a precise polarizability description, electronic correlation to a very high level must be taken into account. Plus, a good outer region description is essential, thus electron density distribution becomes less important. Those authors calculated polarizability values with these aspects in mind. These requisites are met by very flexible wave functions that are explicitly

correlated. In our case, we used a test function that is not the system's wave function.

Table 5. Polarizability results obtained in this work and the ones reported by Komasa et al.[9], B. K. Sahoo - B. P. Das [10] and S. G. Porsev and A. Derevianko [11]

r_0	$\alpha_{K,6p}$	State	Ref.
∞	34.861	1S	37.755 [Ref 9]
		1S_0	37.80 [Ref 10]
		1S_0	37.71 [Ref 11]
10	33.218		
9	32.523		
8	31.324		
7	29.159		
6	25.328		
5	19.462		
4	12.512		
3	6.400		
2	2.410		
1	0.095		

4. Conclusions

The direct variational method, regardless of its complexity, turned out to be a simple and suitable approach from physicochemical and computational points of view. It is a method that allows saving computing time. Using six variational parameters we obtained better results than using four parameters, where the difference in energy values compared with Ludeña [5] results is 0.097% in case that the atom is not under any confinement potential ($r_0 \rightarrow \infty$), and between 0.114% and 2.672% in remaining cases. In our work, with only one basis formed by four elements we obtained a difference below 3.0%, which reduce computing time considerably. In comparison with the Beryllium atom experimental energy value, we obtained a 0.69% difference.

We report here energy values to different confinement radii. The difference between reported energy values by cited author and ours for free atom, or non-confined, is 0.063% and 0.392%. No polarizability values have been reported for confined Beryllium atom.

In this work are reported values for this property with different confinement radii, where the difference between reported values for free atom and ours is 7.66%. We confirmed, as it was expected, that decreasing the confinement radii, energy, kinetic energy, pressure, and polarizability increased.

References

- [1] Michels, A., De Boer, J. & Bijl, A. Remarks concerning molecular interaction and their influence on the polarisability. *Physica* **4**, 981–994 (1937).
- [2] Francisco Adrián Duarte Alcaraz. ‘Estudio de sistemas cuánticos confinados de tres electrones usando el método variacional directo y DFT,’. *Master’s thesis, DIFUS, Univ. Son. Son. México* (2013).
- [3] Levine, I. N. *Quantum Chemistry*. *Quantum* (2000). doi:10.1007/s13398-014-0173-7.2
- [4] Marin, J. L. *et al.* Use of the direct variational method for the study of one- and two-electron atomic systems confined by spherical penetrable boxes. *J. Phys. B At. Mol. Opt. Phys.* **25**, 4365–4371 (1992).
- [5] Ludeña, E. *SCF Hartree-Fock calculations of ground state wavfunctions of compressed atoms*. *Journal of Chemical Physics* **69**, (1978).
- [6] Hibbert, A. Oscillator strengths of transitions involving $2s3l3L$ states in the beryllium sequence. *J. Phys. B At. Mol. Opt. Phys.* **9**, 2805–2813 (1976).
- [7] Weiss, A. W. Calculations of the $2s\ n\ s\ S\ 1$ and $2\ p\ 3\ p\ P\ 3$, 1 Levels of Be i. *Phys. Rev. A* **6**, 1261–1266 (1972).
- [8] Chen, C. Energies, Fine Structures, and Hyperfine Structures of the $1s22snp\ 3P$ ($n=2-4$) States for the Beryllium Atom. *J. At. Mol. Opt. Phys.* **2012**, 1–6 (2012).
- [9] Komasa, J. Dipole and quadrupole polarizabilities and shielding factors of beryllium from exponentially correlated Gaussian functions. **65**, 125061–1250611 (2001).
- [10] Sahoo, B. K. & Das, B. P. Relativistic coupled-cluster studies of dipole polarizabilities in closed-shell atoms. *Phys. Rev. A* **77**, 62516 (2008).
- [11] Porsev, S. G. & Derevianko, A. High-accuracy calculations of dipole, quadrupole, and octupole electric dynamic polarizabilities and van der Waals coefficients $C\ 6$, $C\ 8$, and $C\ 10$ for alkaline-earth dimers. *J. Exp. Theor. Phys.* **102**, 195–205 (2006).

Daniel Ramírez Rosillo, Balter Trujillo Navarrete, Víctor Verjan González, Rosa María Félix Navarro, Edgar Alonso Reynoso Soto

Centro de Graduados e Investigación en Química, Instituto Tecnológico de Tijuana, Boulevard Alberto Limón Padilla y AV. ITR Tijuana s/n, Mesa de Otay, Tijuana, Baja California C.P. 22510, México.

Resumen. - Actualmente resulta inherente la obtención de energía de fuentes alternas y renovables, dentro de estas, la energía solar se posiciona firmemente como una de las principales opciones para dar solución a esta problemática. La tercera generación de celdas solares, las sensibilizadas con colorante (DSSC), ofrece un amplio campo de oportunidad para la investigación. En este trabajo, se analiza el efecto, en el rendimiento de la celda, de la modificación estructural del semiconductor (TiO_2) y el dopaje con Neodimio. En tanto al semiconductor se optó por llevar a cabo la síntesis del mismo sobre el vidrio conductor (FTO), que posteriormente conformaría el foto-ánodo, con una estructura unidimensional (nano-varillas cristalinas de dióxido de titanio en fase rutilo), recientes publicaciones han reportado las ventajas para transportar los electrones de las mismas. Se ha decidido dopar las varillas con un elemento del grupo de los lantánidos, el Neodimio, teniendo dos propósitos, por una parte, aumentar la inyección de electrones excitados, y de igual forma, disminuir la tasa de recombinación del par electrón hueco dentro de la celda.

Palabras clave: Energías alternas; Celdas Solares; Nano-varillas; Neodimio; Dióxido de Titanio

Abstract. - At present, it is inherent to obtain energy from alternative and renewable sources, within these, solar energy is firmly positioned as one of the main options to solve this problem. The third generation of solar cells, sensitized with dye (DSSC), offers a wide field of opportunity for research. In this work, the effect of the structural modification of the semiconductor (TiO_2) and the doping with Neodymium in the cell performance is analyzed. In the semiconductor, it was chosen to carry out the synthesis of the same on the conducting glass (FTO), which would later conform the photo-anode, with a one-dimensional structure (nano-crystalline rods of titanium dioxide in rutile phase), recent publications have reported the advantages to transport electrons from them. It has been decided to dope the rods with one element of the lanthanide group, Neodymium, having two purposes, on the one hand, to increase the injection of excited electrons, and likewise, to decrease the recombination rate of the electron pair hollow within the cell.

Key words: Renewable energy; Solar Cells; Nano-rods; Neodymium; Titanium Dioxide.

1. Introducción

La falta de energía es una de las problemáticas que definirán el destino de México y el mundo en el siglo que comienza. Lo que hagamos o dejemos de hacer a partir de ahora determinará nuestra capacidad para satisfacer los requerimientos energéticos del país en el futuro[1]. Se proyecta que las reservas de combustibles fósiles en todo el mundo sólo podrían

durar 40 años para el petróleo, 60 años para el gas natural y 200 años para el carbón[2].

Atendiendo a esta problemática, una opción viable son las celdas solares (CS). Actualmente, se han desarrollado tres generaciones de CS. Donde sobresalen las celdas solares sensibilizadas por colorante (DSSC) de la última generación. Las cuales son un convertidor de energía solar a electricidad de

bajo costo y eficiencia alta[3]. La investigación ha avanzado a un ritmo rápido y se ha hecho una cantidad considerable de trabajo para mejorar la eficiencia del dispositivo que va desde 7.1% en 1991 a 13% en 2014[2].

Las investigaciones iniciales se centraron en las nanopartículas de TiO_2 0-D (materia puntual) y mostraron excelentes resultados en celdas solares debido a su gran área superficial y a una brecha de banda ampliada. Desventajas tales como recombinación rápida de electrones y agujeros, transferencia de portadores de carga lenta y alto coste de reciclaje[4]. Aunque actualmente se han llevado a cabo investigaciones con estructuras 1-D, la motivación detrás de la síntesis de este tipo de materiales viene del hecho de que su forma 1-D da lugar a la aparición de nuevas propiedades ópticas y eléctricas que los hacen aún más beneficiosos para el uso mencionado anteriormente [5].

En este trabajo, nanovarillas de TiO_2 fase rutilo fueron sintetizadas por el método hidrotérmico. Los materiales sintetizados fueron caracterizados por espectroscopia Raman, microscopia electrónica de barrido (SEM) y espectroscopia dispersiva de energía (EDS). Aunado, las curvas de corriente-voltaje permitieron conocer los parámetros característicos de la DSSC.

2. Metodología

2.1 Síntesis de nanovarillas de TiO_2

La síntesis de los materiales de TiO_2 se llevó a cabo por el método hidrotérmico, mismo que consiste en elevar la temperatura de un sistema cerrado por encima del punto de ebullición del solvente (agua), elevando la presión y facilitando la interacción del solvente y el precursor. La proporción agua/ácido clorhídrico (HCl, 37%) fue 1:1 (v/v) para obtener condiciones súper ácidas. A la solución obtenida se agregó isopropóxido de titanio (IV) ($\text{Ti}[\text{OCH}(\text{CH}_3)_2]_4$, 99.9%) a temperatura ambiente con agitación magnética constante durante 10 minutos. La adición de los dopantes se

realizó disolviendo el precursor de $\text{Nd}(\text{Nd}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O})$ manteniendo una agitación constante. La suspensión resultante se transfirió a un vial de teflón colocado dentro de una autoclave de acero inoxidable a una temperatura de 150°C durante 2 horas. Previamente, se colocó un soporte de vidrio (1.25×2) recubierto con una película de conductor transparente de óxido de estaño (SnO_2) dopado con flúor (FTO) fueron comprados a Solaronix®. Donde, el área de trabajo fue de 0.2 cm^2 . El resultado obtenido fue una película sobre FTO que se dejó enfriar a temperatura ambiente.

En el proceso de síntesis la interfaz epitaxial del FTO puede favorecer la formación de las nanovarillas, donde se irán depositando cadenas de octaedros de TiO_6 , siendo naturalmente favorecida la estructura rutilo. Para esta estructura la tasa de crecimiento es mayor en la dirección (001), favoreciendo la formación de cristales anisótropos sobre el eje c, exhibiendo facetas (110). La presencia del ion Cl^- en la solución restringe el crecimiento ecuatorial de las facetas (110) actuando como un inhibidor [5][6].

2.2 Fabricación de la celda

Los FTO recubiertos se utilizaron como fotoánodos. Estos se sumergieron en el colorante ditetrabutylamonio cis-bis (isotiocianato) bis (2,2'-bipiridil-4,4'-dicarboxilato) rutenio (II) ($\text{C}_{58}\text{H}_{86}\text{N}_8\text{O}_8\text{RuS}_2$, N719) durante 24 horas. La sensibilización es un paso importante del ensamble de la DSSC, ya que permite ampliar el espectro de absorción se luz por parte del semiconductor. Los fotocátodos se prepararon con una pasta comercial a base de platino de nombre comercial PLASTISOL®. A continuación, los fotoelectrodos se ensamblaron por medio de un arreglo tipo "sándwich". El electrolito de yoduro/triyoduro (par redox, I^-/I_3^-) fue inyectado para posteriormente sellarlas.

2.3 Caracterización

El análisis por medio de espectroscopia Raman se llevó a cabo directamente sobre la superficie del vidrio conductor donde se encontraba el material sintetizado. En un espectrómetro Thermo Scientific® DXR SmartRaman. Se utilizó un SEM marca Tescan® modelo Vega3, el cual permitió estudiar la morfología de las Nv-TiO₂, dimensiones tales como espesor de la capa, diámetro y espacio entre varillas. Finalmente, se realizó un análisis elemental por EDS utilizando un detector de estado sólido marca Bruker®, el cual se encuentra acoplado al SEM.

2.4 Caracterización electroquímica

La evaluación de la DSSC, se realizó en un potencióstato/galvanostato (EC-Lab, VMP300). El cual fue acoplado a un simulador solar Solar (Oriol, LCS-100) con calibrador Newport bajo irradiación 100 mWcm² y un 1 sol de distancia. Los parámetros analizados fueron la densidad de corriente (J_{sc}), potencial de circuito abierto (V_{oc}), porcentaje de eficiencia (η) y el factor de llenado (FF).

3. Resultados

En la Figura 1 se muestra el espectro Raman de los materiales sintetizados. Donde los picos más prominentes están asociados a tres de los cuatro modos activos en Raman para el TiO₂ fase rutilo nanocrystalino: 113 cm⁻¹ (B_{1g}), 449 cm⁻¹ (E_g) y 613 cm⁻¹ (A_{1g}) (Típicamente 447 cm⁻¹ para E_g y 612 cm⁻¹ para A_{1g}), expresados como $B_{1g} + E_g + A_{1g}$ [7][8]. Los desplazamientos en las bandas (con respecto a estudios similares) y el ensanchamiento de los picos puede asociarse con modificaciones en la morfología, tales como variaciones en el modo A_{1g} asociado al eje c y el modo B_{1g} asociado con variaciones sobre el eje a[9].

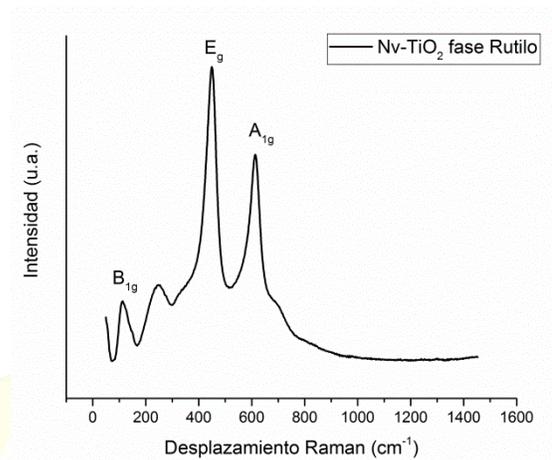


Fig. 1 Espectro Raman de las Nanovarillas de TiO₂ sobre el FTO mostrado los picos característicos de la fase rutilo de la Titania.

La Figura 2 muestra las micrografías de SEM. Se puede observar nanovarillas de TiO₂ que se han formado con orientación perpendicular a la superficie. Esto verifica el crecimiento unidimensional del material sobre el sustrato. Cabe mencionar que se observa un crecimiento mínimo de nano flores.

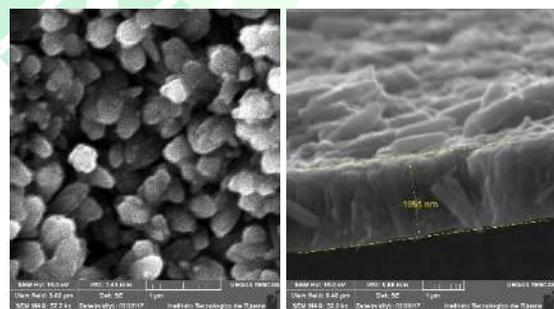


Fig.2 Arreglo de nanovarillas de TiO₂ vista superior (izq), longitud de una nanovarilla aislada(der).

El rango del espesor de la capa es aproximadamente 2-3 μm , y una longitud de las nanovarillas de $1.5 \pm 0.3 \mu\text{m}$. Por medio del análisis EDS fue posible corroborar la presencia del dopante en la muestra y descartar la presencia de material contaminante tal como podemos observar en la Figura 3.

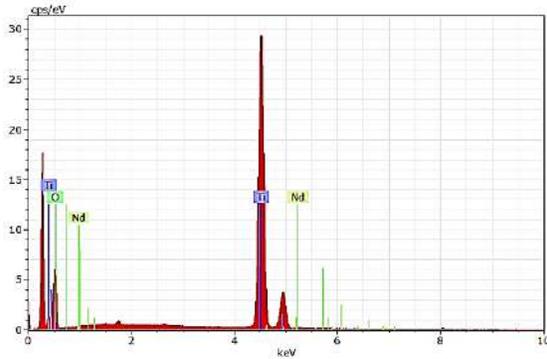


Fig. 3 Espectro de EDS de las nanovarillas.

En la Tabla 1 se presentan los resultados de las mediciones obtenidas del equipo de simulación solar: densidad de corriente (J_{sc}), potencial de circuito abierto (V_{oc}), porcentaje de eficiencia (η) y el factor de llenado (FF), donde η es uno de los parámetros más importantes, ya que es la eficiencia de conversión fotoeléctrica de la DSSC. Todas las mediciones se han realizado considerando como estándar la energía solar superficial de 1000.0 W/m^2 , un área superficial de 0.20 cm^2 y un tiempo de 10 minutos.

Tabla 1. Medición de las DSSC.

Muestra	J_{SC} (mA)	V_{oc} (V)	FF (%)	Eficiencia (%)
Nv-TiO ₂	0.154	0.655	---	0.222
Nv-TiO ₂ (0.25% Nd)	0.139	0.673	---	0.187
Nv-TiO ₂ (0.50% Nd)	0.115	0.657	81.4	0.306
Nv-TiO ₂ (0.75% Nd)	0.189	0.664	41.8	0.263
Nv-TiO ₂ (1.00% Nd)	0.027	0.643	51.4	0.046

El efecto del dopaje con Nd³⁺ sobre el mismo y conservando la morfología deseada del material, obteniendo como resultado la mayor eficiencia en la muestra con un dopaje del 0.5 %. Uno de los inconvenientes que ha presentado el material es la pobre adsorción de colorante, atribuyendo a esto, una de las causas del rendimiento pobre que ha presentado.

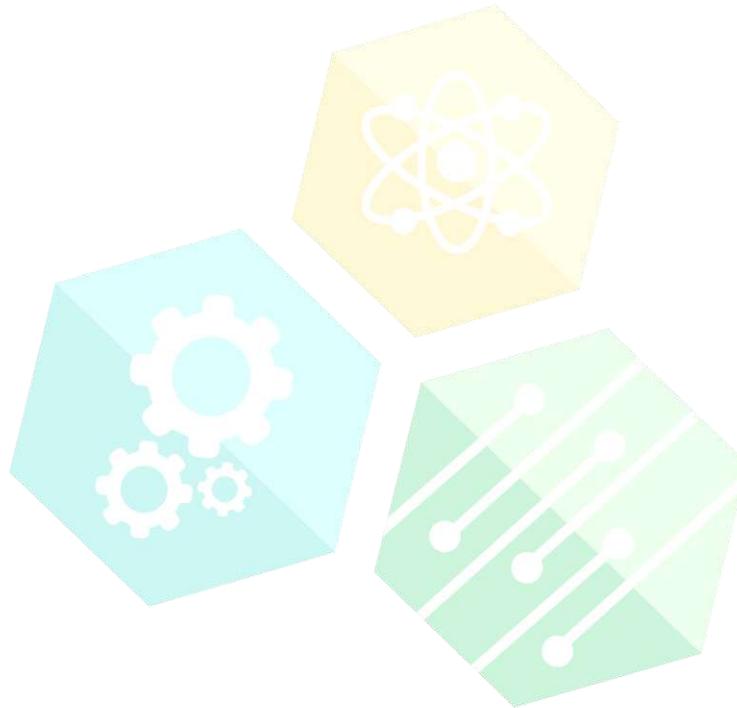
4. Conclusiones

Se sintetizó exitosamente un arreglo ordenado de nanovarillas de TiO₂ fase rutilo en un área delimitada sobre un vidrio FTO, para el ensamble de una DSSC. Existe un efecto significativo del dopaje con Nd³⁺ en el desempeño de la DSSC. Los hallazgos de este estudio permitirán continuar con trabajos futuros que involucren el uso de nanovarillas y material mesoporoso de TiO₂.

Referencias

- [1] C. A. Estrada and C. A. Arancibia, "Las Energías Renovables : la Energía Solar y sus Aplicaciones," *Rev. Digit. Univ.*, pp. 1–27, 2010.
- [2] J. Gong, K. Sumathy, Q. Qiao, and Z. Zhou, "Review on dye-sensitized solar cells (DSSCs): Advanced techniques and research trends," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 68, no. December 2015, pp. 234–246, 2017.
- [3] F. Bella, C. Gerbaldi, C. Barolo, and M. Grätzel, "Aqueous dye-sensitized solar cells," *Chem. Soc. Rev.*, vol. 44, no. 11, pp. 3431–3473, 2015.
- [4] M. Ge *et al.*, "A Review of One-dimensional TiO₂ Nanostructured Materials for Environmental and Energy Applications," *J. Mater. Chem. A*, vol. 4, pp. 6772–6801, 2016.
- [5] and C. Z. Akshay Kumar, Anuj R. Madaria, "Growth of Aligned Single-Crystalline Rutile TiO₂ Nanowires on Arbitrary Substrates and Their Application in Dye-Sensitized Solar Cells," *J. Phys. Chem. C*, vol. 114, no. 17, pp. 7787–7792, 2010.
- [6] Y. Li, M. Guo, M. Zhang, and X. Wang, "Hydrothermal synthesis and characterization of TiO₂ nanorod arrays on glass substrates," vol. 44, pp. 1232–1237,

- 2009.
- [7] M. K. Ahmad *et al.*, "Raman investigation of rutile-phased TiO₂ nanorods / nanoflowers with various reaction times using one step hydrothermal method," *J. Mater. Sci. Mater. Electron.*, pp. 2–8, 2016.
- [8] T. Mazza, E. Barborini, P. Piseri, and P. Milani, "Raman spectroscopy characterization of TiO₂ rutile nanocrystals," pp. 1–5, 2007.
- [9] W. Yue, Y. Yue-tao, and L. I. U. Xiao-jun, "Nd-Doping Induced Lattice Distortion in TiO₂ Nanoparticles," vol. 28, no. 2, pp. 1–4, 2011.



CONGRESO INTERNACIONAL
DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

CCM2- Electrochemical Sensor for Direct Determination of Nitrobenzene in Aqueous Solution Based on Rutile TiO₂ Nanoflowers

Mirza M. Ruiz-Ramírez, Juan J. Hinojosa-Mojarro, Balter Trujillo-Navarrete*, Carolina Silva-Carillo, Rosa María Félix-Navarro, Edgar Alonso Reynoso-Soto

Centro de Graduados e Investigación en Química, Instituto Tecnológico de Tijuana, Blvd. Alberto Limón Padilla s/n, Mesa de Otay, Tijuana, B. C. CP 22510, México. E mail: balter.trujillo@tectijuana.mx

Resumen. - El Nitrobenzeno (NB) es un Compuesto orgánico volátil (COV) que se produce en grandes cantidades para uso industrial, es altamente tóxico y a exposición repetida puede causar daños severos a la salud humana. Los métodos tradicionales para la determinación del NB alcanzan concentraciones en partes por millón, pero este contaminante en agua está por debajo de estas concentraciones. Debido a esto es importante desarrollar nuevos sensores para la determinación de NB en agua. En este trabajo, un sensor electroquímico fue desarrollado para la determinación de NB con nanovarillas de TiO₂ mono cristalinas en fase rutilo. Los parámetros de síntesis fueron modificados para obtener las morfologías deseadas y se caracterizaron por espectroscopía Raman, SEM, EDS y técnicas electroquímicas. La cuantificación de NB se realizó por Voltamperometría cíclica (VC). La sensibilidad y el intervalo de detección de las sondas incrementaron con el aumento de la apertura de las nanoflores de TiO₂, alcanzando concentraciones debajo de partes por billón. Como conclusión de este trabajo es que las propiedades electroquímicas de detección de NB por nanoflores de TiO₂ están directamente relacionadas con las condiciones de síntesis que se usaron. Los hallazgos de este estudio tienen una serie de implicaciones valiosas para estudios futuros de monitoreos de COV.

Palabras clave: TiO₂; nanoflores; sensor; electroquímico; nitrobenzeno.

Abstract. - Nitrobenzene (NB) is a Volatile organic compound (VOCs) produced in large quantities for industrial use, is highly toxic and repeated exposure can cause severe damage to human health. The traditional methods for the determination of NB reach concentrations of parts per million, but this pollutant in water is below these concentrations. Due to this it is important the development of new sensors for the determination of NB in water. In this work an electrochemical sensor was developed for the determination of NB with single crystal rutile TiO₂ nanorods. Synthesis parameters were modified to obtain desired morphologies and were characterized by Raman spectroscopy, SEM, EDS and electrochemical techniques. Quantification of NB was performed by Cyclic voltammetry (VC). The sensitivity and detection interval of the probes increase with increasing the opening of the TiO₂ nanoflowers, reaching concentrations below the parts per billion. As conclusion of this work is that the electrochemical properties in the detection of NB by TiO₂ nanoflowers are directly related to the conditions of synthesis used. The findings of this study have a number of valuable implications for future studies of VOC monitoring

Key words: TiO₂, nanoflower; sensor; electrochemical; nitrobenzene

1. Introducción

Nitrobenzeno (NB) es un compuesto orgánico aromático volátil, ampliamente utilizado en la producción de anilina y en la manufactura de medicinas y pinturas. El cual es un compuesto tóxico, fácilmente absorbido a través de la piel o por inhalación, donde su exposición periódica puede

causar daños severos a la salud humana [1]. La Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos de América (EPA USA) establece que las aguas residuales (AR) con NB son declaradas como residuos peligrosos, si la concentración es mayor a 2 ppm [2]. Es por esto la importancia de realizar el monitoreo descargas AR.

Una solución es la utilización de un sensor. Los sensores electroquímicos son una opción viable en la detección de COV, ya que pueden trabajar en soluciones concentradas o diluidas y detectar analitos en diferentes estados (sólido, líquido o gaseoso) [3]. El óxido de titanio (TiO_2) es uno de los soportes más versátiles e ideales debido a su estabilidad química, durabilidad, resistencia a la corrosión y rentabilidad [4].

En el presente trabajo investigación, nanovarillas prismáticas alongadas de TiO_2 fase rutilo fueron sintetizadas por el método hidrotérmico. Los parámetros de síntesis fueron modificados para obtener diferentes morfologías de nanoflores altamente abiertas o cerradas. Las cuales fueron caracterizadas por espectroscopia Raman, SEM y EDS. Los materiales sintetizados fueron evaluados como un sensor electroquímico para la determinación de NB.

2. Metodología

a. Síntesis de nanomateriales

Todos los productos químicos se usaron tal como se recibieron sin purificación adicional y se compraron a Sigma-Aldrich: isopropóxido de titanio (IV) ($\text{Ti}[\text{OCH}(\text{CH}_3)_2]_4$, 99.9%) conocido como TIP, ácido clorhídrico (HCl, 37%) y óxido de titanio (IV) fase rutilo (TiO_2 , 99.9%) como material de referencia. Los soportes de vidrio recubierto con película de conductor transparente de óxido de estaño (SnO_2) dopado con flúor (FTO) fueron comprados a Solaronix®. Todas las disoluciones se prepararon usando agua MilliQ® (18 M Ω , Millipore).

La síntesis de los materiales de TiO_2 se llevó a cabo por el método hidrotérmico. Se varió la proporción agua/HCl (v/v) para obtener mediciones de pH negativo, i.e., condiciones súper ácidas. A la solución se agregó TIP a temperatura ambiente con agitación magnética constante durante 30 minutos. La mezcla se transfirió a un vial de teflón colocado dentro de una autoclave de acero inoxidable a 150°C durante 3 h. Previamente, se colocó un vidrio FTO (5x5 cm). El material obtenido fue lavado para eliminar los residuos de Cl. Los materiales fueron etiquetados como TiO_2 -1.0, TiO_2 -0.75, TiO_2 -0.50 y TiO_2 -0.25 acorde a la razón de HCl, respectivamente.

b. Caracterización fisicoquímica

La estructura e identificación de la fase cristalina fue analizada por espectroscopia Raman (Thermo Scientific, SMART DXR) con una longitud de onda de excitación de láser de diodo de 780 nm. Los espectros fueron colectados desde 50 a 1000 cm^{-1} y normalizado utilizando el pico mayor. La morfología de los materiales de TiO_2 fue estudiada por SEM (Tescan, Vega) modo alta resolución, operando a 15 kV. La composición química elemental fue determinada por espectroscopia de energía dispersiva (EDS) utilizando un detector de silicio Quantax (Bruker, Nano GmbH).

c. Caracterización electroquímica

Las mediciones electroquímicas se realizaron en un potenciostato/galvanostato (Epsilon, EC). La celda consta de tres electrodos: un electrodo de carbón vítreo como electrodo de trabajo con un área geométrica de 0.33 cm^2 , un electrodo de referencia de Ag/AgCl y un espiral de Pt como contra-electrodo. El área fue modificada utilizando 120 μL de una tinta catalítica del polvo de TiO_2 en Nafion®/etanol/agua (0.02:1:1 v/v/v). Los experimentos se realizaron en una solución acuosa de Na_2SO_4 a 0.1 M. desaireada.

3. Resultados

Los modos activos de TiO_2 fase rutilo son $A_{1g} + B_{1g} + B_{2g} + E_g$. La Figura 1 muestra espectros por espectroscopia Raman de los polvos sintetizados. Los cuales están en línea con el material de referencia. Donde se observa un abatimiento de los modos A_{1g} y B_{1g} , esto puede ser atribuido a la morfología del nanocrystal.

La Figura 2 exhibe las micrografías SEM de los materiales sintetizados. Se puede observar claramente los diferentes grados de empaquetamiento de las nanoflores que van desde altamente cerradas a totalmente abiertas. Así mismo, el diámetro de las nanoflores incrementó desde 3 hasta 9 μm aumentando el área de superficie expuesta de los planos (110) y (111) de la nanovarilla [5].

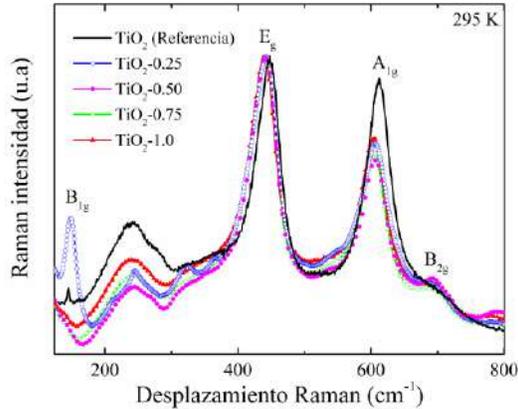


Figura 1. Espectro Raman con los modos vibracionales característicos de TiO₂ fase rutilo.

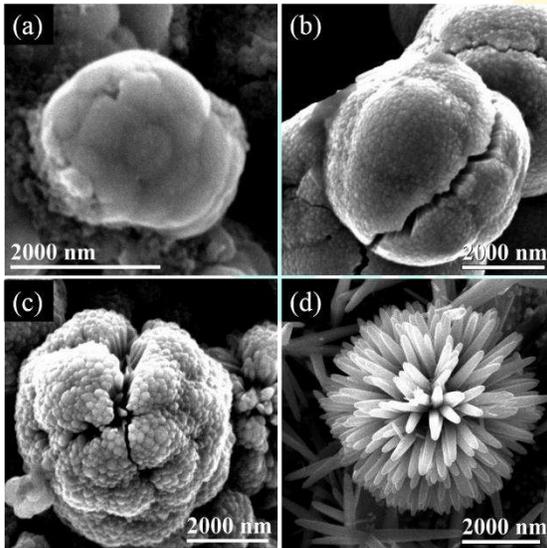


Figura 2. Micrografías SEM de nanovarillas de TiO₂ fase rutilo. (a) TiO₂-0.25, (b) TiO₂-0.50, (c) TiO₂-0.75 y (d) TiO₂-1.0

En la Tabla 1 se puede observar que la sensibilidad de las sondas incrementó con el aumento de la apertura de las nanoflores de TiO₂, alcanzando concentraciones debajo de partes por billón. El R² fue mayor a 0.98 para todos. En la figura 3 se muestra la magnificación de la VC de TiO₂-1.0, y se observa un decremento en la corriente al incrementar la concentración de NB. El inserto de la Figura 3 muestra la curva de calibración de este nanomaterial como sensor de NB.

Tabla 1. Valores de sensibilidad de los materiales.

Material	Intervalo de detección (ppb)	Sensibilidad (μA/ppb)
TiO ₂ -0.25	30-60	0.0174
TiO ₂ -0.50	10-100	0.0112
TiO ₂ -0.75	10-40	0.0240
TiO ₂ -1.0	0-40	0.1080

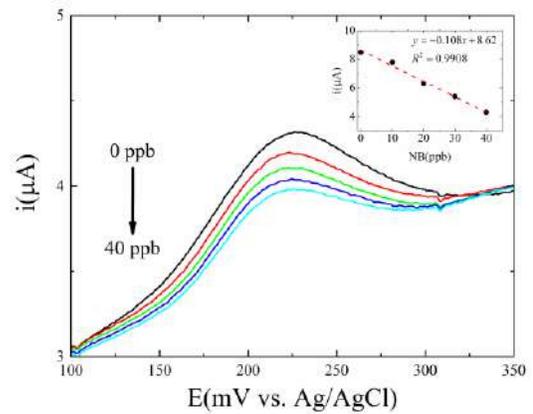


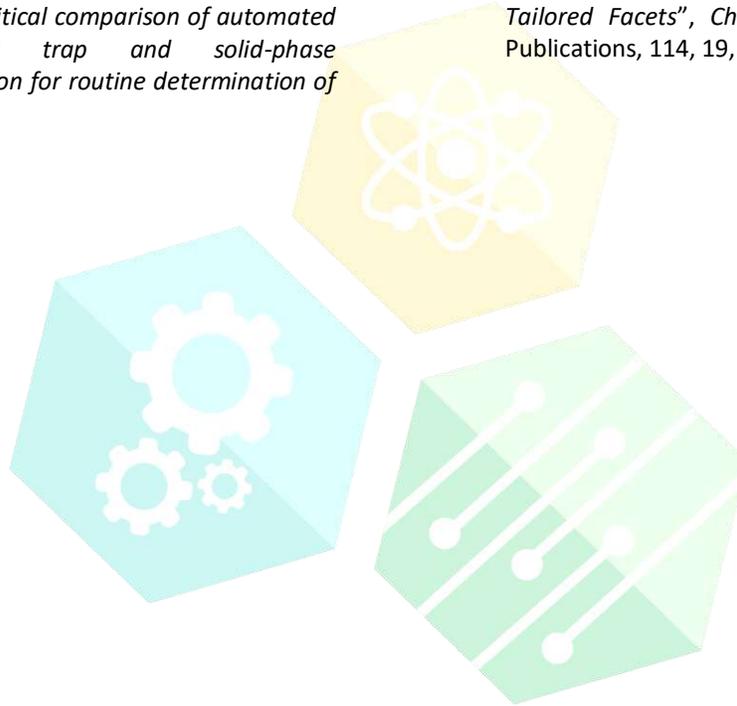
Figura 3. VC de nanovarillas de TiO₂-1.0 en presencia de diferentes concentraciones de NB a 260 mV s⁻¹ en Na₂SO₄.

4. Conclusiones

Este estudio presenta una investigación detallada de la detección de nitrobeneno por nanovarillas prismáticas alargadas de TiO₂ fase rutilo. El arreglo de nanoflores con el menor grado de empaquetamiento presenta la mayor sensibilidad. Esto puede ser atribuido a la exposición mayor del plano (110) que interactúa con el nitrobeneno generando una mayor señal eléctrica. Los hallazgos de este estudio tienen una serie de implicaciones importantes para estudios futuros de monitoreo de COV's.

Referencias

- [1] Pérez S. y col. "Photochemical degradation of nitrobenzene by $S_2O_8^{2-}$ ions and UV radiation" *Rev. Int. Contam. Ambient.* 32, 2, 227-236, 2016.
- [2] EPA, *Nitroorganic and Nitroamines by High Performance Liquid Chromatography (HPLC), 8300 Method*, USA, 1994.
- [3] Lara A. y col. "Critical comparison of automated purge and trap and solid-phase microextraction for routine determination of volatile organic compounds in drinking waters by GC-MS", *Talanta*. ELSEVIER, 74, 5, 1455-1462, 2008.
- [4] Sedghi R. y col. "Synthesis, characterization and application of poly(acrylamide-co-methylbisacrylamide nanocomposite as a colorimetric chemosensor for visual detection of trace levels of Hg and Pb ions", *J. Hazard. Mater.* ELSEVIER, 285, 109-116, 2015.
- [5] Liu Gang y col. "Titanium Dioxide Crystals with Tailored Facets", *Chemical Reviews*. ACS Publications, 114, 19, 9559-9612, 2014.



CONGRESO INTERNACIONAL
DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

CCM3- Detección Electroquímica de Dopamina por Nanopartículas Bimetálicas Co@Au Sobre Nanotubos de Carbono

Carolina Silva-Carrillo, Itamar J. Alvarado-Chávez, Karelid García-Tapía, Balter Trujillo-Navarrete, Edgar A. Reynoso-Soto, Raymundo J. Zapata-Fernández, Rosa M. Félix-Navarro*

¹Centro de Graduados e Investigación en Química, Instituto Tecnológico de Tijuana, C.P. 1166. Tijuana, B. C. México.

²Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada. C.P. 22860. Ensenada, B. C. México.

Resumen. - La dopamina (DP) es un neuromodulador asociado con diversas enfermedades como esquizofrenia y Parkinson. Existen diversos problemas para la determinación de dopamina, ya que está presente en concentraciones muy pequeñas, además de interferencias que coexisten en muestras biológicas tales como ácido úrico (AU), ácido ascórbico (AA), epinefrina, noraepinefrina, etc. Este proyecto se centra en la preparación de nanopartículas de cobalto y oro sobre nanotubos de carbono de multipared (NTCs) mediante microemulsión inversa y desplazamiento galvánico. Se caracterizó por STEM, TGA, EDS y métodos electroquímicos, estos resultados evidenciaron pequeñas nanopartículas bimetalicas tipo núcleo-coraza (Co@Au) con tamaños por debajo de los 4 nm. El material mostró una alta sensibilidad incluso en presencia de diferentes interferencias (AA y AU).

Palabras clave: Nanopartículas; cobalto; oro; bimetalicas; NTC; sensor; electroquímico, dopamina.

Abstract. - Dopamine (DP) is a neuromodulator associated with various diseases such as schizophrenia and Parkinson's. There are several problems for the determination of dopamine, since it is present in very small concentrations, in addition to interferences that coexist in biological samples such as uric acid (AU), ascorbic acid (AA), epinephrine, noraepinefrina, etc. This project focuses on the preparation of cobalt and gold nanoparticles on multipared carbon nanotubes (NTCs) by inverse microemulsion and galvanic displacement. It was characterized by STEM, TGA, EDS and electrochemical methods, these results evidenced small bimetallic nanoparticles core-shell type (Co @ Au) with sizes below 4 nm. The material showed high sensitivity even in the presence of different interferences (AA and AU).

Key words: Nanoparticles; cobalt; gold; bimetallic; CNTs; sensor; electrochemistry; dopamine.

1. Introducción

Dopamina (DP) es un neurotransmisor del sistema nervioso central. Los altos niveles de catecolaminas en la sangre están asociados con el estrés. Mientras que los niveles bajos de este

neurotransmisor pueden dar lugar a trastornos neurológicos, como la enfermedad de esquizofrenia o Parkinson [1]. Diferentes métodos han sido empleados para la determinación de DP, tales como cromatografía líquida de alto

rendimiento (HPLC) [2], electroquímica [3], colorimetría [4] y espectrofotometría de detección [5]. El método electroquímico para la determinación de DP tiene buena sensibilidad, pero su selectividad se ve afectada por las interferencias de las moléculas análogas a DP, tales como ácido úrico (UA) y ácido ascórbico (AA) [3]. Para ello es necesario nuevos sensores electroquímicos capaces de separar las señales proporcionadas por la oxidación de las moléculas de interferencia.

Oro (Au) es un metal altamente activo para la oxidación-reducción de moléculas orgánicas, cabe destacar que este metal es altamente empleado en diferentes procesos y por lo tanto es uno de los más caros [6]. Debido a esto se ha despertado un gran interés en las nanopartículas bimetalicas núcleo@coraza (Au@M), empleando núcleos de metales de transición menos costosos, tales como Ni, Fe, Cu y Co.

En su trabajo se informa la preparación de nanopartículas bimetalicas Co@Au sobre nanotubos de carbono de multipared (NTC) mediante las técnicas de microemulsión inversa y desplazamiento galvánico. Este material fue evaluado como sensor electroquímico para la determinación de dopamina en presencia de diferentes interferencias (AA y AU).

2. Metodología

a. Síntesis de NPs Co@Au/NTCs

Las NPs Co se sintetizaron mediante el método de microemulsión inversa como lo hemos reportado en otra publicación [7]. Se empleó una solución de cloruro de cobalto 18 mM. Una vez obtenida la plantilla NPs Co/NTCs, se procede a dispersar este material en una solución acuosa de tetracloroaurato de potasio 5 mM por 30 minutos a 0 °C. Se filtra y lava con agua y cetona. Finalmente se seca en un horno a 80 °C.

b. Caracterización fisicoquímica

El tamaño y forma de las Nps Co@Au sobre NTCs fue estudiada por microscopia electrónica de transmisión de alta resolución (HRTEM) por modo STEM. La estabilidad térmica y la cantidad de metal depositados sobre el soporte de carbono fue caracterizado mediante el sistema de análisis termogravimétrico (TA-Instruments, Q500) de 20 °C a 900 °C empleando una velocidad de calentamiento de 20 °C min⁻¹ en una atmósfera de aire (60 ml min⁻¹).

c. Determinación electroquímica de DP

Para la determinación electroquímica de DP se realizó empleando una celda de tres electrodos: un electrodo de trabajo de grafito (0.35 cm²), electrodo de referencia Ag/AgCl y un espiral de platino como contraelectrodo. Se empleó la técnica de voltametría de pulso diferencial en un intervalo de 0 a 1.3 V con una velocidad de escaneo de 20 mV s⁻¹.

3. Resultados

En la Figura 1a se muestran la micrografía STEM del nanomaterial Co@Au/NTCs, donde se observan pequeñas agrupaciones de nanopartículas dispersas sobre la superficie del NTCs con diámetros de partículas por debajo de los 4 nm. La gráfica de EDS confirma la formación de nanopartículas núcleo-coraza, ya que desaparece la señal de cobalto, debido a que está obstaculizado por la coraza de oro.

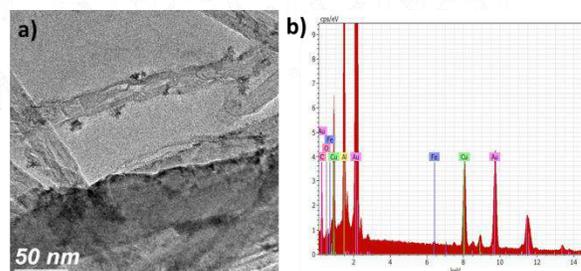


Figura 1. Micrografía STEM (a) y gráficas EDS (b) del Co@Au/NTCs

En la Figura 2 se muestran las curvas de voltametría de pulso diferencial del nanomaterial Co@Au/NTCs para la determinación de DP. Se observan dos picos a 0.18 V y 0.95 V vs Ag/AgCl, asociados a la oxidación de los grupos catecoles de la DP, estos picos aumentan la corriente al aumentar la concentración de DP. La sensibilidad del sistema fue 23 mA μM^{-1} de DP en un intervalo de detección de 0-20 μM .

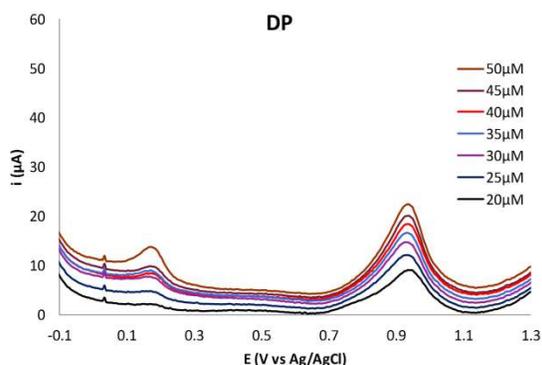


Figura 2. Voltametría de pulso diferencial de Co@Au/NTCs en una solución de PBS 0.1M y diferentes concentraciones de DP a 20 mV s^{-1} .

a. Determinación de DP en presencia de AA y AU.

La tabla 1 muestra la sensibilidad y el intervalo de detección en la determinación de DP por el nanomaterial Co@Au/NTCs en presencia de AA y AU. Aun en presencia de las interferencias, no hay un cambio significativo en la sensibilidad, ni en el intervalo de trabajo. Por lo que se concluye que el sensor es selectivo en la detección de DP.

Tabla 1. Resumen de desempeño del sensor para la determinación de DP en presencia de las interferencias.

Analito + interferencia	Rango de detección (μM)	Sensibilidad ($\mu\text{A } \mu\text{M}^{-1}$)
DP	20-50	0.28
DP + AA	20-45	0.26
DP + AU	20-45	0.26

Estos resultados se pueden atribuir a las propiedades electrónicas generadas por la interacción de Co y Au que producen un aumento en la transferencia de carga en la oxidación de DP, así como un sinergismo de en las propiedades electroquímicas mediante la incorporación de NTCs.

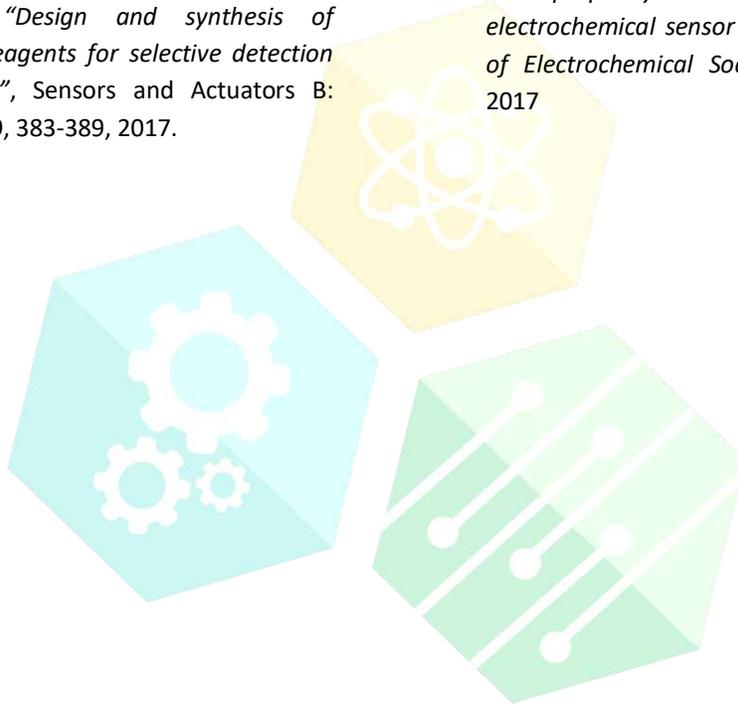
4. Conclusiones

Se obtuvieron las nanopartículas núcleo-coraza Co@Au sobre la superficie de NTCs mediante microemulsión inversa, seguida del método de desplazamiento galvánico. Este nanomaterial mostró excelentes propiedades y buenos intervalos de detección para la detección de DP en presencia de sus principales interferencias, AA y AU.

Referencias

- [2] Avada C., Toru U., Korkut Y. "The relationship of stress and blood pressure effectors", *Hippokratia*. 19, 2, 99-108, 2015.
- [2] Carrera V., Sabater E., Vilanova E., Sogorb M. "A simple and rapid HPLC-MS method for the simultaneous determination of epinephrine, norepinephrine, dopamine and 5-hydroxytryptamine: Application to the secretion of bovine chromaffin cell cultures", *Journal of Chromatography B*. 847, 2, 88-94, 2007.
- [3] Ferapontova E. "Electrochemical Analysis of Dopamine: Perspectives of Specific In Vivo

- Detection*", *Electrochimica Acta*. 245, 664-671, 2017.
- [4] Gao W., Qi L., Liu Z., Majeed S., Xu G. "Efficient lucigenin/thiourea dioxide chemiluminescence system and its application for selective and sensitive dopamine detection", *Sensors and Actuators B: Chemical*. 238, 468-472, 2017.
- [5] Suzuki Y., "Design and synthesis of fluorescent reagents for selective detection of dopamine", *Sensors and Actuators B: Chemical*. 239, 383-389, 2017.
- [6] Chen A., Chatterjee S. "Nanomaterials based electrochemical sensors for biomedical applications", *Chemical Society Reviews*. 42, 12, 5425-5438, 2013.
- [7] Silva-Carrillo C., Reynoso-Soto E. A., Paraguay-Delgado F., Alonso-Núñez G., Félix-Navarro R. M. "Synthesis of PtNPs/MWCNT functionalized with 4-mercaptophenylboronic acid for an electrochemical sensor of fructose", *Journal of Electrochemical Society*. 164, B86-B91, 2017



CONGRESO INTERNACIONAL
DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

CCM6- Caracterización Experimental de E1 de un Material Compuesto Laminado con Matriz Polimérica para Aplicaciones Aeroespaciales y Biomecánicas

Juan Antonio Paz González, Enrique Alcudia Zacarías, Arturo Abundez Pliego, Luis Jesús Villareal Gómez, Juan Antonio Ruiz Ochoa, Oscar Adrián Morales Contreras

¹Universidad Autónoma de Baja California, Escuela de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología, Ing. Aeroespacial.

²Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico, Departamento de Ingeniería Mecánica.

pazi@uabc.edu.mx, alcudia@cenidet.edu.mx, abundez@cenidet.edu.mx, luis.villarreal@uabc.edu.mx, ruizj99@uabc.edu.mx, moraleso97@uabc.edu.mx.

Resumen. – En este trabajo se presenta la caracterización experimental de un material compuesto de matriz polimérica, el laminado a estudiar está conformado de seis laminas [tela/dispersa/dispersa]_s de fibra de vidrio y la matriz es de resina poliéster isoftálica utilizando el método de infusión de resina, se tomaron en cuenta las recomendaciones establecidas en la norma ASTM D3039 para la determinación del esfuerzo último y el módulo de elasticidad longitudinal.

Palabras clave: Aeroespacial, biomecánica, material compuesto, matriz polimérica

1. Introducción

Los materiales compuestos se han diversificado a diferentes aplicaciones, por ejemplo, se pueden encontrar en prótesis, dispositivos ortopédicos, exoesqueletos y esto se debe a la excelente relación resistencia/peso [1]. Por otro lado también se han implementado en componentes de aerolíneas comerciales ejemplos de ello se encuentran en el Boeing 777 y el 787, o en componentes elementales de aeronaves militares F-22 Raptor y el F-35 JSF, en componentes primarios de helicópteros [2]

Los materiales compuestos de matriz polimérica reforzadas con fibras son dos o más materiales constituido por fibras, embebidas en un matriz como se muestran en la figura 1., de las cuales las fibras aportan las siguientes propiedades; resistencia a la tracción, rigidez, fragilidad, por otro lado la matriz

presenta; resistencia a la compresión, cizallamiento interlaminar, control de forma, control de densidad, (proporciones razonables >5%) que trabajan juntos y cada uno contribuye estructuralmente a un nivel macroscópico con sus propias propiedades. Esto resulta en un material con aumento de resistencia, rigidez, dureza, baja densidad en comparación con los metales, entre otras propiedades.



Figura 1. Componentes de un material compuesto [2]

Los laminados de materiales compuestos reforzados con fibras, consisten normalmente de

diversas capas de material para formar un laminado, cada capa es delgada y puede tener una orientación de fibra diferente como lo muestra la figura 2, que consiste de 4 láminas con diferente orientación [3].

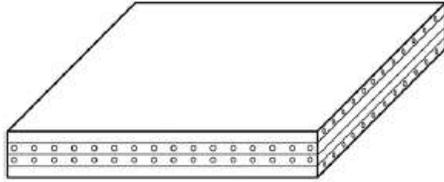


Figura 2. Ilustración de un laminado [3]

La distribución y la cantidad de capas así como de la matriz en el material compuesto crean diversas propiedades mecánicas, algunas variables que influyen en las propiedades mecánicas de un material compuesto laminado son:

- Fracción de volumen.
- Orientación de los refuerzos.
- Materiales constituyentes.
- Forma de los refuerzos.

De tal forma que es posible diseñar un material con propiedades mecánicas específicas controlando las variables anteriores.

1. Metodología

El laminado a estudiar está conformado de seis láminas [*tela/dispersa/dispersa*]_s, el termino **tela** hace referencia a una lámina de tejido bidireccional (0/90) en forma de tela de fibra de vidrio de 6 onzas y para el termino **dispersa** se hace referencia a una lámina de fibra de vidrio dispersa. La resina a utilizar es de tipo poliéster isoftálica PolyLite® 31424-00.

Utilizando el proceso de manufactura de infusión de resina la cual se caracteriza por ser de bajo costo gracias a que se emplean técnicas de molde abierto y disminuye la emisión de estireno el cual es dañino para la salud [4], se construyó el laminado C1D del cual se obtienen 9 probetas como se aprecia en la figura 3.

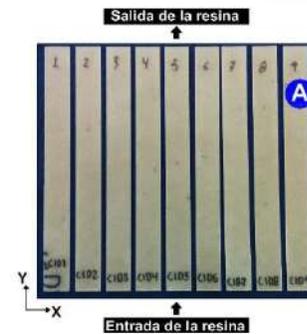


Figura 3. Probetas obtenidas del laminado C1D.

Las probetas se fabricaron con las dimensiones basadas en la norma ASTM D3039 las cuales son probetas rectangulares de 25mm x 250mm, del laminado solo se tomaron 5 probetas para estimar las propiedades mecánicas las dimensiones de cada probeta se muestran en la tabla 1. [5].

Tabla 1. Dimensiones Probetas

Probetas	Dimensiones de la zona calibrada			
	longitud (mm)		ancho prom. (mm)	espesor prom. (mm)
	máquina	extensómetro		
C1D1	150	50	25.199	2.039
C1D2	151	50	25.073	2.027
C1D3	150	50	25.117	2.026
C1D4	150	50	25.026	2.026
C1D5	150	50	25.190	2.063

Las probetas sometieron a pruebas de tensión axial en la máquina universal Shimadzu 100kN en el Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico, con la finalidad de obtener el módulo de elasticidad longitudinal efectivo (E_1), la resistencia última (σ_u) así como el porcentaje de elongación.

2. Resultados

En la figura 4 se muestra la gráfica (σ vs ϵ) de las cinco probetas, en el cual se puede observar el

comportamiento elástico, así como el esfuerzo último del laminado.

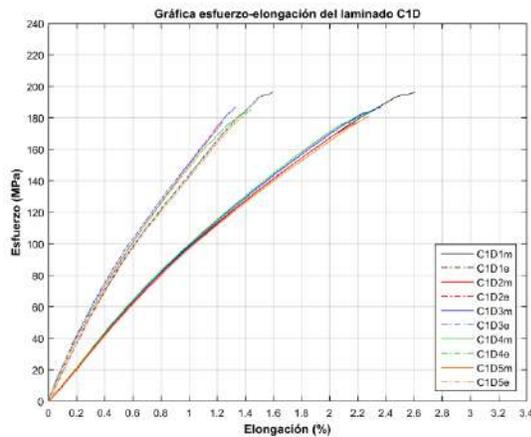


Figura 4. Gráfica esfuerzo-elongación de laminado C1D, donde “m” indica el registro de la elongación a través de la máquina de ensayos y “e” indica el registro de la elongación a través del extensómetro.

En la tabla 2 se muestran las propiedades mecánicas obtenidas después de ser tratados los resultados proporcionados por la máquina universal Shimadzu, el módulo de elasticidad se determinó de acuerdo a los parámetros establecidos en la norma ASTM D3039 (ASTM, 2008). En la prueba de tensión se utilizó un extensómetro Epsilon® 3542-050M-050-ST como medio alternativo para determinar el módulo de elasticidad y el porcentaje de elongación de las probetas.

Propiedades mecánicas longitudinales del laminado C1D					
Probetas	σ_u (MPa)	Máquina		Extensómetro	
		E_m (GPa)	Elongación _m (%)	E_e (GPa)	Elongación _e (%)
C1D1	196.0	10.7	2.606	17.82	1.595
	98	81		6	
C1D2	177.1	10.6	2.196	17.90	1.240
	60	95		0	
C1D3	186.5	10.8	2.346	18.35	1.325
	84	09		1	
C1D4	185.5	11.0	2.330	17.84	1.446
	45	90		6	
C1D5	181.2	10.6	2.279	17.62	1.385
	04	59		5	
promedio	185.3	10.8	2.351	17.91	1.398
	18	07		0	

3. Conclusiones

Los resultados que se obtienen por la máquina de tensión para las propiedades mecánicas del laminado C1D, módulo de elasticidad longitudinal efectivo promedio de $E = 10.807 \text{ GPa}$, resistencia última promedio de $\sigma_u = 185.31 \text{ MPa}$, y porcentaje de elongación promedio de 2.351.

Las propiedades mecánicas que se obtienen con el extensómetro son: Módulo de elasticidad longitudinal $E = 17.901 \text{ GPa}$, el porcentaje de elongación promedio 1.398.

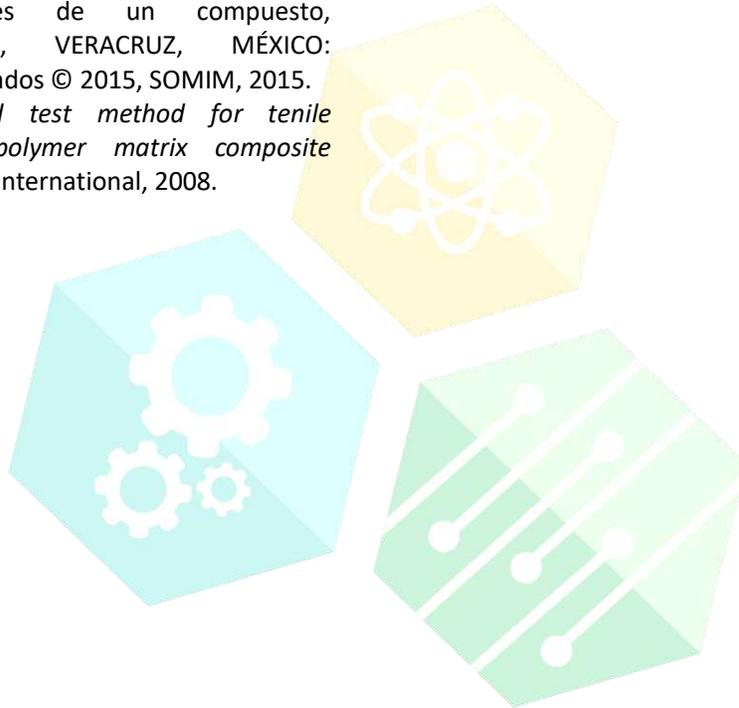
Se recomienda solo considerar las propiedades mecánicas calculadas a través del registro de la deformación por medio del extensómetro, ya que la sección de medición por este medio se encuentra libre de la influencia del método de sujeción de las probetas durante las pruebas de tensión.

Por la configuración de los laminados [tejido/dispersa/dispersa]s y las presentaciones textiles de la fibra de vidrio se puede considerar que las propiedades mecánicas son similares en la dirección del módulo longitudinal E_1 y transversal E_2 .

Tabla 2. Propiedades mecánicas de tensión

Referencias

- [1] R. M. Jones, *Mechanics of composite materials*, E.U.: Taylor & Francis, 1999.
- [2] L. C. Dorworth, *Essentials of Advanced Fabrication and Repair*, Newclaste WA: Aviation Supplies and Academics, Inc., 2009.
- [3] G. Z. V. P. I. Kattan, *Mechanics of Composite Materials with MATLAB*, Baton Rouge, LA: Springer, 2005.
- [4] P. G. J. A. A. P. A. G. Alcutia Zacarías Enrique, "Influencia del método de infusión de resina en las propiedades de un compuesto, COATZACOALCOS, VERACRUZ, MÉXICO: Derechos Reservados © 2015, SOMIM, 2015.
- [5] ASTM, *Standard test method for tenile properties of polymer matrix composite materials*, ASTM International, 2008.



CONGRESO INTERNACIONAL DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA



DISEÑO MECÁNICO Y MANUFACTURA

CONGRESO INTERNACIONAL
DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

ODMyM1- Automatización en la Carga de Material de Fundición en una Línea de Maquinado

Mario Hernández Núñez, Francisco Javier Barraza Navarro

CIATEQ Centro de Tecnología Avanzada, circuito de la industria poniente No 11 Lote 11 Mz. 3, parque industrial ex hacienda, Lerma de Villada, Estado de México, C.P 52004, posgrado@ciateq.mx.

Resumen. – Este artículo describe la forma de cómo fue diseñado mecánicamente un manipulador cartesiano de tres grados de libertad, también de la manera de cómo fue diseñada la trayectoria y la determinación de las fuerzas necesarias para originar el movimiento. Se consideró estudiar la geometría del movimiento del manipulador con el fin de definir trayectorias, específicamente se usó el método de Denavit-Hartenberg también se empleó la ecuación de Euler-Lagrange para determinar las fuerzas internas que suceden dentro del sistema. Se determinaron las características técnicas de los componentes del manipulador empleando un software y mediante un proceso iterativo de análisis de esfuerzos, deformaciones y se eligieron las propuestas más viables.

Palabras clave: Diseño de concepto, diseño de detalle, cinemática directa, dinámica, manipulador cartesiano, diseño mecánico usando software.

Abstract. – This article describes the way how a cartesian manipulator of three degrees of freedom was mechanically designed, as well as the way in which the trajectory was designed and the forces needed to originate the movement. It was considered to study the geometry of the manipulator's movement in order to define trajectories, specifically the Denavit-Hartenberg method was used, the Euler-Lagrange equation was also used to determine the internal forces that occur within the system. The technical characteristics of the components of the manipulator were determined using software and through an iterative process of analysis of stress, deformations and fatigue, the most viable proposals were chosen.

Key words: Concept design, detail design, direct kinematics, dynamic, cartesian manipulator, mechanical design using software.

1. Introducción

En una línea de maquinado de cabezas de cilindros para motores de combustión interna, existe una persona en la entrada de la línea que se encarga de abastecerla de material casting de una forma totalmente manual. Se pretende automatizar la actividad mediante el empleo de un manipulador. Para el diseño del manipulador es

necesario el estudio de su movimiento empleando expresiones matemáticas con el fin de diseñar trayectorias en un contexto formal que a su vez servirán como base para la programación de su controlador; el empleo de la metodología Denavit-Hartenberg [1] es un método muy conveniente para lograrlo. Dentro del diseño mecánico para determinar las características técnicas de los

componentes se requiere encontrar todas las fuerzas presentes, para lo cual se emplean los análisis estáticos y dinámicos, para este último el uso de la ecuación de Euler-Lagrange [1] es un método muy adecuado. El empleo de un software de diseño nos ayuda a ahorrar tiempo y el nivel de efectividad dependerá de la calidad de los datos que se ingresen al sistema para la ejecución de las simulaciones de esfuerzos, deformaciones y fatigas.

2. Diseño de concepto

Se construye la idea de la automatización a nivel de concepto. Se inicia enlistando los requerimientos del cliente y se continúa con la identificación de las funciones que debe de cumplir el manipulador. La figura 1 es una representación física de la condición actual.

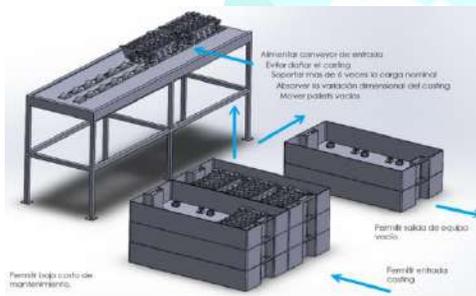


Figura 1. Representación física de la condición actual.

La propuesta que se ajusta al cumplimiento de las funciones consiste en un manipulador que se moverá en tres ejes de forma lineal para abarcar todo el espacio de trabajo desde la toma del casting hasta el posicionamiento en la banda transportadora de la entrada al proceso.

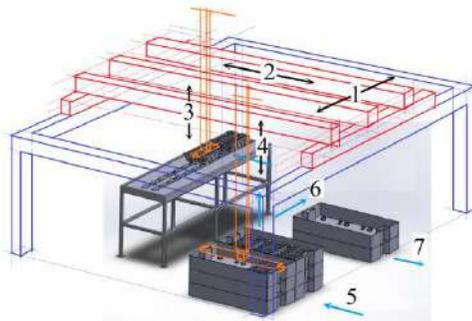


Figura 2. Banda transportadora de entrada.

Una agarradera (“gripper”) con la geometría adecuada, tomará el casting en el área de material almacenado y lo dejará en la banda transportadora de entrada al proceso (ver la flecha identificada con el número 3 en la figura 2). Una segunda agarradera con la geometría adecuada tomará las charolas vacías del casting y las dejará en el área de equipo vacío (ver las flechas identificadas con los números 4 y 5 de la figura 2). La entrada y salida del casting será por los lugares identificados con las flechas 5 y 7 respectivamente.

3. Diseño de detalle

Para determinar las características técnicas de los componentes del manipulador, se realiza un análisis de los esfuerzos, deformaciones y fatigas mediante el software SolidWorks. Se realizan un mínimo de tres propuestas en CAD para cada componente mecánico, posteriormente se desarrolla el análisis CAE de cada propuesta, se generan gráficos de esfuerzo, deformación unitaria, desplazamiento y factor de seguridad los cuales emplean el criterio de Von Mises [2]. Para el análisis de fatiga se toman las propuestas CAD y se simulan a los ciclos de vida pronosticados, se generan gráficos de ciclos de vida y porcentaje de daño. Al final de los análisis CAE y para cada componente, se elabora una tabla comparativa que incluye las propuestas CAD, los resultados de esfuerzos, desplazamientos, factores de seguridad y ciclos de vida. En la misma tabla se valora si la propuesta es o no viable tomando como referencia los requerimientos del cliente.

En este artículo solo se muestran las simulaciones y la determinación de las características técnicas de un solo componente que son las de la base de la agarradera que toma las piezas casting. De la figura 3 a la figura 6 se muestran las simulaciones CAE para las 4

propuestas que se plantearon, la tabla 1 muestra la recopilación de los resultados.

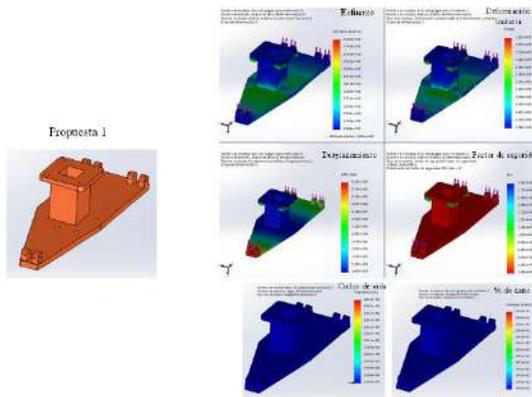


Figura 3. CAE para la propuesta 1.

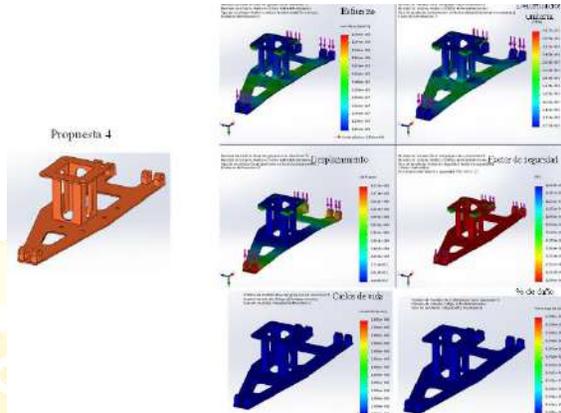


Figura 6. CAE para la propuesta 4.

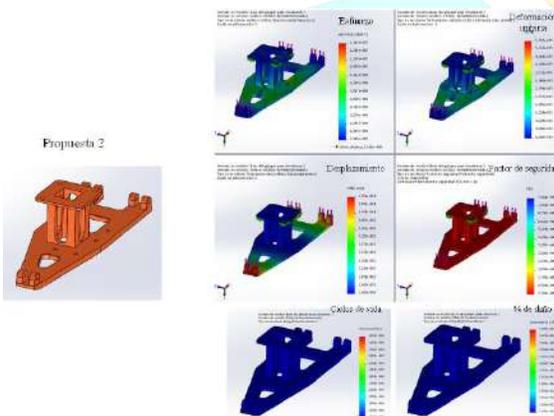


Figura 4. CAE para la propuesta 2.

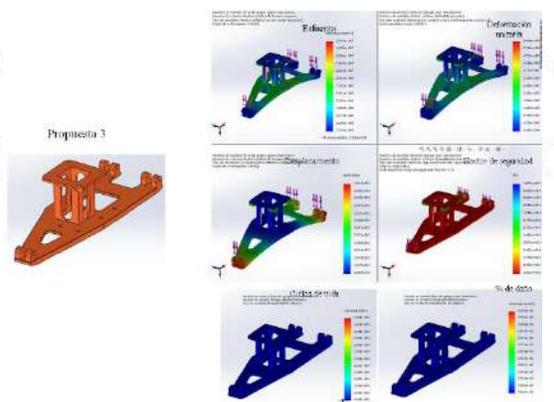


Figura 5. CAE para la propuesta 3.

Tabla 1. Resultados del CAE.

	Esfuerzo mayor (N/m²)	Desplazamiento mayor (mm)	Factor mínimo de seguridad	Ciclos de vida (x10 ⁶)	¿Cumple con los requerimientos del cliente?	Observaciones
Propuesta 1	8.117	0,00223	30,66	Vida infinita	Parcialmente	Factor de seguridad alto y deformación aceptable.
Propuesta 2	71,0	0,1254	17,69	Vida infinita	SI	Factor de seguridad y deformación aceptables.
Propuesta 3	15,43	0,1917	16,2	Vida infinita	SI	Factor de seguridad y deformación aceptables, menor peso que propuesta no. 2.
Propuesta 4	198,9	4,336	1,68	Vida infinita	NO	Factor de seguridad no cumple requerimiento.

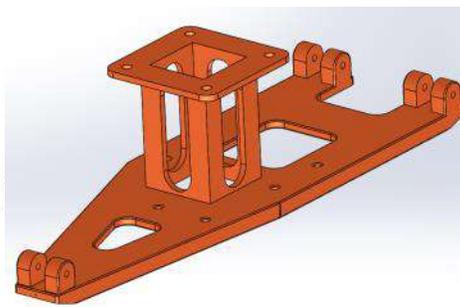


Figura 7. Resultado del diseño de la parte.

Al observar los resultados de la propuesta 1, se puede notar que el desplazamiento o deformación mayor es de 62 micras y que además el componente nunca se romperá porque alcanzará los 1×10^6 ciclos de trabajo, lo que significa que la

propuesta 1 es una buena alternativa de diseño, sin embargo el factor de seguridad está muy elevado lo que se traduce en mayor peso y mayores costos. Los resultados de las propuestas 2 y 3 son muy parecidos, estas opciones cumplen con los requerimientos del cliente en cuanto a deformación, factor de seguridad y ciclos de vida; la propuesta 3 por tener menor peso se considera una propuesta de diseño más viable que la propuesta 2. La propuesta 4 queda descartada por la excesiva deformación con un valor máximo de 4.33 mm. Por lo tanto, la propuesta 3 es la opción de diseño más viable y la figura 7 muestra el CAD de la parte.

4. Cinemática directa del manipulador

El principal objetivo de este análisis es el de poder diseñar trayectorias para la programación en el controlador [1]. En esta parte se estudia la geometría del movimiento sin considerar las fuerzas que lo producen. Usando los datos de la figura 8 y la tabla 2 además de emplear el método Denavit-Hartenberg, la definición del movimiento queda determinado por la matriz (1).

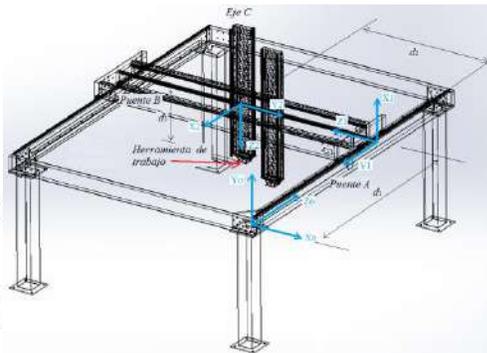


Figura 8. Diagrama para el análisis cinemático

Tabla 2. Parámetros de los eslabones.

Variable	α_i	θ_i	d_i	l_i
Eslabón 1	$-\pi/2$	$\pi/2$	d_1	Eje puente A
Eslabón 2	$-\pi/2$	$\pi/2$	d_2	Eje puente B
Eslabón 3	0	0	d_3	Eje C

$$H_0^3 = H_0^1 H_1^2 H_2^3 = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & -d_2 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & -d_2 \\ 0 & 0 & -1 & -d_3 \\ -1 & 0 & 0 & d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (1)$$

La cinemática directa para el robot cartesiano de tres grados de libertad que nos dice de la posición espacial de la herramienta de trabajo respecto al origen ("Home") (x_o, y_o, z_o) de la figura 8, es la expresión (2).

$$d_{13} = \begin{bmatrix} x_{13} \\ y_{13} \\ z_{13} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -d_2 \\ -d_3 \\ d_1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

5. Dinámica del manipulador

El estudio de la dinámica del manipulador nos ayuda a determinar la capacidad de los motores que moverán los ejes. En este análisis usaremos un enfoque energético mediante la ecuación de Euler-Lagrange [1].

$$\frac{d}{dt} \left[\frac{\partial L(q, \dot{q})}{\partial \dot{q}} \right] - \frac{\partial L(q, \dot{q})}{\partial q} + v(\dot{q}, \tau) = \tau \quad (3)$$

Tomando como referencia la figura 9, el Lagrangiano queda definido mediante la ecuación (4).

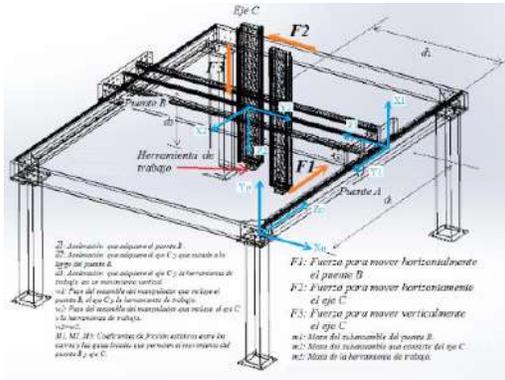


Figura 9. Diagrama para el análisis dinámico.

$$L = \frac{1}{2}m_1\dot{d}_1^2 + w_1\mu_1d_1 + \frac{1}{2}m_2(\dot{d}_2^2 + \dot{d}_1^2) + w_2\mu_2d_2g + \frac{1}{2}m_3(\dot{d}_3^2 + \dot{d}_2^2 + \dot{d}_1^2) + w_3\mu_3d_3 - m_3d_1g \quad (4)$$

Al desarrollar la ecuación (4) de acuerdo a la ecuación (3), quedan las ecuaciones (5), (6) y (7).

$$F_1 = (m_1 + m_2 + m_3)\ddot{d}_1 + w_1\mu_1 \quad (5)$$

$$F_2 = (m_2 + m_3)\ddot{d}_2 + w_2\mu_2 \quad (6)$$

$$F_3 = (m_3)\ddot{d}_3 + w_3\mu_3 - m_3g \quad (7)$$

Sustituyendo los valores de las masas, pesos (encontrados en la simulación CAE) y coeficientes de fricción en las ecuaciones (5), (6) y (7) se tiene:

$$F_1 = 396.24\ddot{d}_1 + 19.43 \quad (8)$$

$$F_2 = 58.84\ddot{d}_2 + 2.88 \quad (9)$$

$$F_3 = 15.21\ddot{d}_3 - 149.21 \quad (10)$$

Donde F_1 y F_2 son las fuerzas necesarias para mover el puente B y eje C en sentido horizontal y F_3 es la fuerza para mover el eje C de forma vertical. Todas las fuerzas son una función de las aceleraciones d_1 , d_2 y d_3 .

6. Resultados

Después de realizar los análisis CAE de todos los componentes y de seleccionar las mejores propuestas de diseño, se llegó a los datos mostrados en la tabla 3 y al CAD final del manipulador el cual es mostrado en la figura 10.

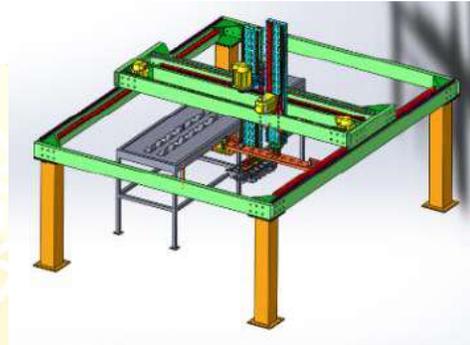


Figura 10. CAD final del manipulador.

Se considera que un componente mecánico fallará cuando existe alguna de las siguientes condiciones: a) el esfuerzo que se genera dentro del componente mecánico cuando está trabajando sobrepasa el esfuerzo de fluencia del material del que está hecho, b) la máxima deformación del componente alcanza un valor que impide la correcta función de la parte, c) vida finita del componente con un valor por abajo de lo pronosticado. Para el caso específico del manipulador, el cliente necesita que las piezas tengan un factor de seguridad por arriba de 6 unidades, la deformación máxima permitida para que no exista interferencia con el casting debe ser menor de .200 mm, y finalmente todos los componentes deben tener vida infinita. Los factores de seguridad y las deformaciones mostradas en la tabla 3 están dentro de los requerimientos del cliente, lo mismo sucede con los ciclos de vida ya que se encuentran dentro del rango de vida infinita.

Tabla 3. Resultados CAE de las mejores propuestas de diseño.

Componente	Esfuerzo max (MPa)	Desplazamiento max (mm)	Factor mínimo de seguridad	Ciclo de vida (Cycles)
Módulo 1 de sujeción del casting	12.67	0.0284	11.74	Indefinido
Módulo 2 de sujeción del casting	8.23	0.0579	21.09	Indefinido
Módulo 3 de sujeción del casting	3.45	0.06246	72.79	Indefinido
Cilindro de sujeción para cables	16.43	0.107	6.2	Indefinido
Cable anti-grupo vicio vertical movimiento casting	1.88	0.01537	218	Indefinido
Eje vertical de movimiento casting	11.74	0.00934	21.09	Indefinido
Cilindro de movimiento casting	1.19	0.0085	23	Indefinido
Piñón para el movimiento del casting	23.14	0.00027	45.55	Indefinido
Placa de soporte del motor para el movimiento vertical del casting	21.53	0.05278	15.53	Indefinido
Eje horizontal de soporte para eje de movimiento vertical del casting	16.11	0.00076	20.09	Indefinido
Placa soporte del motor para el movimiento horizontal del casting	15.34	0.07579	15.56	Indefinido
Módulo 4 del soporte vicio	16.3	0.00748	24.28	Indefinido
Carro para el movimiento de grupo vicio	8.21	0.1762	20.09	Indefinido
Cable anti-grupo vicio anti movimiento de charrinos	9.74	0.08	27	Indefinido
Eje vertical de movimiento charrinos	15.95	0.00044	16.1	Indefinido
Piñón para el movimiento de eje de casting	27.01	0.00076	11.35	Indefinido
Placa de engastamiento a base del motor con cables charrinos	8.41	0.0045	17.74	Indefinido
Eje horizontal de soporte para el movimiento de eje de los charrinos	33.16	0.18	7.99	Indefinido
Eje motor con eje vertical y cable para eje movimiento del casting	22.03	0.0045	16.35	Indefinido
Placa de resaca de grupo de eje con cables charrinos	4.78	0.01011	52.51	Indefinido
Soporte lateral horizontal para eje de los charrinos	16.99	0.00077	16.1	Indefinido
Soporte lateral horizontal 2 que une los 2 ejes horizontales	17.72	0.0101	16.1	Indefinido
Vite horizontal entre que suelta columnas	4.929	0.0099	16.72	Indefinido
Placa de unión de ejes horizontales charrinos y carro que suelta columnas	0.2479	0.00242	73.7	Indefinido
Cilindro pericardio de la estructura	17.2	0.0025	11.54	Indefinido
Eje del cilindro para movimiento de módulo de charrino	6.1	0.020	30.06	Indefinido
Eje del cilindro para movimiento de módulo del casting	15.83	0.001	11.08	Indefinido
Eje del cilindro para movimiento de módulo de eje del casting	6.13	0.0009	30.03	Indefinido
Manija de eje de cables charrinos	5.73	0.0075	43.83	Indefinido
Soporte lateral y base del motor	3.89	0.0171	30.22	Indefinido
Vite horizontal entre que suelta columnas	4.929	0.0099	16.72	Indefinido
Perno de unión de eje para casting	7.232	0.0076	34.57	Indefinido
Perno de unión de eje para casting	16.91	0.0025	31.72	Indefinido
Perno de unión de eje para charrinos y base	1.196	0.008	43.4	Indefinido
Perno suspensión base del grupo y módulo de charrinos	3.79	0.00201	16.96	Indefinido

Los resultados de la dinámica del manipulador se explican mediante las ecuaciones (8), (9) y (10). Estas ecuaciones son lineales y las fuerzas necesarias para originar el movimiento están en función de las aceleraciones d_1 , d_2 y d_3 . Tomando como referencia la figura 9 y las ecuaciones anteriores, se puede saber que a mayor aceleración del puente B o eje C, mayor será la fuerza requerida para originar el movimiento. Conociendo el valor de las fuerzas y el valor de los radios de los piñones de los motores, podemos saber los torques generados. La figura 11 muestra el torque requerido por un motor para poner en movimiento horizontal al puente B a una determinada aceleración d_1 , de igual forma, la figura 12 muestra el torque necesario para poner en movimiento horizontal al eje C y finalmente la figura 13 para poner en movimiento vertical el mismo eje C.

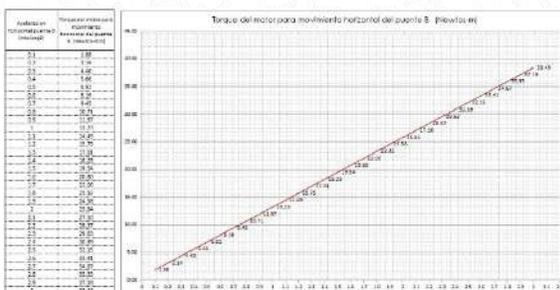


Figura 11. Torque del motor del puente B.

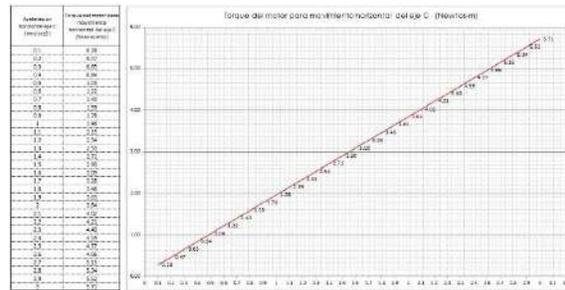


Figura 12. Torque del motor del eje C

(Movimiento horizontal).



Figura 13. Torque del motor del eje C

(Movimiento vertical).

7. Conclusiones

Para el diseño de un elemento mecánico del manipulador, se deben considerar el factor de seguridad, deformación y ciclos de trabajo pronosticados. Para el caso específico de los componentes del manipulador los requerimientos del cliente se cumplieron.

Las capacidades de los motores del manipulador estarán en función de las aceleraciones del puente B y eje C.

A mayor aceleración se necesitará mayor fuerza y por lo tanto mayor torque de los motores.

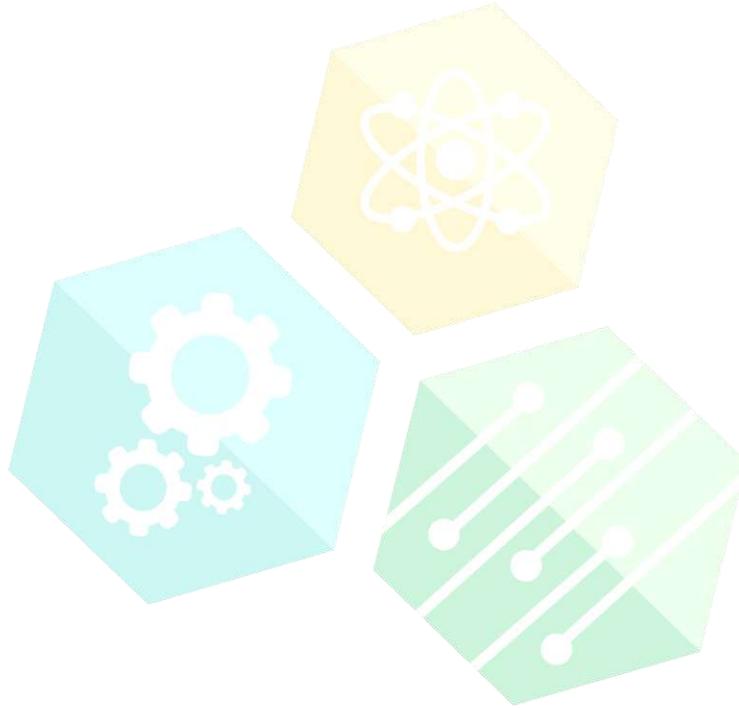
La fuerza mínima y necesaria para mantener el movimiento del puente B y eje C es la indicada por las ecuaciones (5), (6) y (7) en ausencia de aceleración.

Para la programación del controlador en cuanto a la posición de la pinza o ("gripper") respecto a la posición "home", se debe mantener la relación de las coordenadas cartesianas conforme a la expresión (2).

Referencias

[1] Reyes Cortes Fernando. “Robótica, control de robots manipuladores”, Editorial Alfa Omega, México, primera edición, 2011.

[2] Robert L. Norton. “Diseño de máquinas un enfoque integrado”, Editorial Pearson, México, cuarta edición, 2011.



CONGRESO INTERNACIONAL
DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

ODMyM2- Diseño y Construcción de Prototipo de Medición de Fuerza para Túnel de Viento de ECITEC

Oscar Adrián Morales Contreras, Juan Antonio Paz González, Emilio Hernández Martínez,
María Cortes Rodríguez, Gleen Luna Serrano

Escuela de Ciencias de la Ingeniería y la Tecnología – UABC.
Boulevard universitario #1000, Unidad Valle de las Palmas, C.P.21500, Tijuana, Baja California, México.
moraleso97@uabc.edu.mx, pazj@uabc.edu.mx, emilio.hernandez.martinez@uabc.edu.mx,
vianey.cortes@uabc.edu.mx, angel.luna@uabc.edu.mx

Resumen. - Se diseñó y construyó un prototipo para medir la fuerza que ejerce el aire al impactar un modelo instalado en el túnel de viento subsónico de ECITEC. Con los datos obtenidos se determina el coeficiente de arrastre de los modelos utilizados, el cual tiene valores de 1.3 a 1.6 para los Reynolds analizados que fueron de 106367 a 221954.

Palabras clave: Túnel de viento, Coeficiente de arrastre, Flujo turbulento, Perfil de velocidad, Tubo pitot.

Abstract. - A prototype was designed and constructed to measure the force exerted by the air by impacting a model installed in the ECITEC subsonic wind tunnel. With the obtained data the coefficient of drag of the used models is determined, which has values of 1.3 to 1.6 for the Reynolds analyzed that were of 106367 to 221954.

Key words: Wind tunnel, Drag coefficient, Turbulent flow, Speed profile, Pitot probe.

1. Introducción

El arrastre es la fuerza sobre un cuerpo ocasionada por el fluido que opone resistencia en la dirección del movimiento del cuerpo. Las aplicaciones más familiares que requieren el estudio del arrastre se dan en el campo del transporte. La resistencia al viento es el término que se emplea con frecuencia para describir los efectos del arrastre sobre las aeronaves, automóviles, camiones y trenes [1]. La fuerza de arrastre se expresa como:

$$F_D = C_D A \left(\frac{\rho u^2}{2} \right)$$

Dónde: F_D es la fuerza de arrastre, C_D es el coeficiente adimensional de arrastre, ρ es la densidad del fluido, A es el área del objeto que choca contra el fluido y finalmente u es la velocidad promedio [1].

El estudio clásico de coeficiente de arrastre se realiza en objetos de formas sencillas y regulares tales como placas, esferas, prismas y cilindros. Los resultados obtenidos por Anderson [2], quien analizó el comportamiento del coeficiente en esferas y cilindros a medida que fluye aire alrededor de los mismos, indican que el valor del coeficiente disminuye si el número de Reynolds aumenta.

Para determinar el coeficiente de arrastre debe medirse la fuerza de arrastre, para esto se utiliza el instrumento conocido como dinamómetro. Un estudio reciente que trata esta problemática es el realizado por Ortega [3], quien construyó un sistema de medición de fuerza de arrastre mediante el uso de un sensor analógico, y analizó el flujo de aire sobre prismas rectangulares, los modelos tienen diferentes relaciones de aspecto $D/L = 0.6, 0.8$ y 1 , para Reynolds = 30000. Los resultados para el coeficiente de arrastre

encontrado fueron $C_D = 2.92, 2.55$ y 2.22 respectivamente.

Así como las investigaciones mencionadas, existen compañías que desarrollan prototipos que permiten la determinación del coeficiente de arrastre como Armfield [4] y Didactic [5], éstos deben instalarse en túneles de viento que también comercializan dichas marcas, sin embargo, sus costos son muy elevados; por lo que en esta investigación se desarrolla un prototipo para medir la fuerza de arrastre y determinar el coeficiente.

2. Metodología

Para determinar el coeficiente de arrastre se construye un prototipo que se instala en el túnel de viento de ECITEC. Los modelos utilizados para el análisis son dos círculos y dos cuadrados, cuyas dimensiones se indican en la matriz experimental (tabla 1).

Tabla 1. Matriz experimental.

Modelo/Resultado	Fuerza de arrastre	Perfiles de velocidad
Circular $\varnothing_1 = 0.1m$ $\varnothing_2 = 0.15m$	Prototipo	Tubo pitot
Cuadrado $L_1 = 0.09m$ $L_2 = 0.13m$	Prototipo	Tubo pitot

El prototipo se instaló en la zona de pruebas que tiene 1m de longitud y una sección transversal de 0.3m por lado, está construida de acrílico de 0.009m de espesor. Los modelos se instalan en dos posiciones diferentes en el interior de la zona de pruebas, el primer caso al 50% de la distancia del ancho de la zona de pruebas ($w/2$) y el segundo al 25% ($w/4$). Los perfiles de velocidad se determinan en la parte posterior del modelo.

El medidor de fuerza mostrado en la figura 1, está constituido por: a) una báscula digital de 0.15 x 0.10 x 0.03m, que tiene una capacidad máxima de 150kg, una graduación de 0.05kg y una exactitud en la medición de +/- 0.15% de su capacidad total, b) disco de policarbonato de 0.12m de diámetro,

que permite fijar el sistema a la zona de pruebas del túnel de viento y c) varilla roscada de acero de 0.003m de diámetro que se utiliza para soportar los modelos, la longitud de la varilla es de 0.225m y se desplaza a lo largo del eje z. el disco y la varilla son maquinados en el taller de ECITEC. Los modelos utilizados se construyen en la máquina de impresión 3D instalada en el laboratorio de metrología de ECITEC.

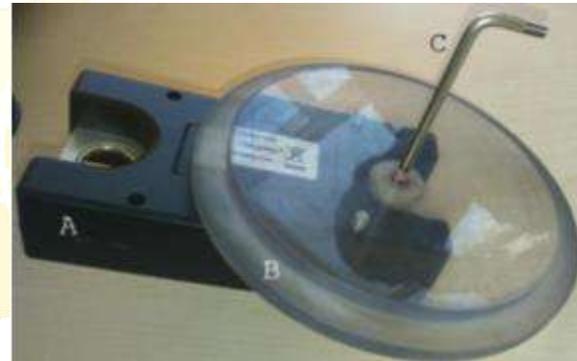


Figura 1. Medidor de fuerza

Para medir la velocidad (u_x) en el interior del túnel de viento se utiliza un tubo pitot y un anemómetro digital de la marca Extech con una resolución de 1Pa, y una precisión de $\pm 0.3\%$ de la escala total. Las condiciones atmosféricas son medidas con la estación meteorológica Vantage pro2 instalada en ECITEC.

3. Resultados

Las investigaciones realizadas se llevaron a cabo para dos valores de velocidad, $u' = 19m/s \pm 1.14m/s$ y $u' = 23m/s \pm 1.3m/s$.

El valor del coeficiente de arrastre obtenido se muestra en la tabla 2, para estos resultados los modelos estaban colocados al centro de la sección.

Tabla 2. Resultado para modelo colocado en $w/2$.

Modelo	Coeficiente de arrastre	
Circular	$u = 19\text{m/s}$	$u = 23\text{m/s}$
a) $\varnothing_1 = 0.1\text{m}$	$C_D = 1.3$	$C_D = 1.6$
b) $\varnothing_2 = 0.15\text{m}$	$C_D = 1.5$	$C_D = 1.5$
Cuadrado	$u = 19\text{m/s}$	$u = 23\text{m/s}$
c) $L_1 = 0.09\text{m}$	$C_D = 1.3$	$C_D = 1.6$
d) $L_2 = 0.13\text{m}$	$C_D = 1.4$	$C_D = 1.4$

En la tabla 3 se presenta el valor del coeficiente de arrastre obtenido con los modelos colocados cerca de la pared, para esta prueba se utilizan los modelos de menores dimensiones debido a consideraciones geométricas.

Tabla 3. Resultado para modelo colocado en $w/4$.

Modelo	Coeficiente de arrastre	
Circular	$u = 19\text{m/s}$	$u = 23\text{m/s}$
e) $\varnothing_1 = 0.1\text{m}$	$C_D = 1.6$	$C_D = 1.7$
Cuadrado	$u = 19\text{m/s}$	$u = 23\text{m/s}$
f) $\varnothing_2 = 0.09\text{m}$	$C_D = 1.6$	$C_D = 1.7$

De la tabla 2 se establece que para modelos de menores dimensiones (resultados a y c) la velocidad influye en el comportamiento del coeficiente de arrastre, ya que al aumentar la velocidad de 19m/s a 23m/s , el valor del coeficiente se eleva en un 19%; mientras que en los modelos de mayor tamaño (resultados b y d) el valor del coeficiente de arrastre no cambia, con el incremento de la velocidad. Esto se debe a la conservación de momento y a la relación entre el modelo y el ancho de la zona de pruebas (w).

Por otro lado, la influencia de la posición del modelo al interior de la zona de pruebas se presenta en los resultados a y b de la tabla 2, junto con los incisos e y f de la tabla 3. Cuando se tiene un modelo colocado en el centro de la zona de pruebas ($w/2$) el coeficiente de arrastre tiene un valor promedio

menor en 12% del valor del coeficiente de arrastre promedio cuando se coloca el modelo cerca de la pared ($w/4$). Esto se debe a la influencia de la capa límite cerca de la pared, lo que produce zonas de recirculación de mayor intensidad cerca de las paredes y posteriores al modelo.

En las figuras 2 y 3, se muestran los perfiles de velocidad posteriores a los modelos, para figuras de menor dimensión (figura 2) los perfiles tienen diferente forma según es el modelo, y la velocidad máxima es diferente, sin embargo, para los modelos de mayor dimensión (figura 3) los perfiles de velocidad no cambian y las variaciones en las velocidades máximas son despreciables.

4. Conclusiones

El valor promedio del C_D obtenido para figuras de forma cuadrada es 1.4, y para las de forma circular de 1.5.

El valor del C_D se incrementa en un 12% si el modelo se coloca cerca de la pared en lugar del centro de la zona de pruebas.

El comportamiento del flujo posterior al modelo es uniforme cuando la sección transversal es mayor.

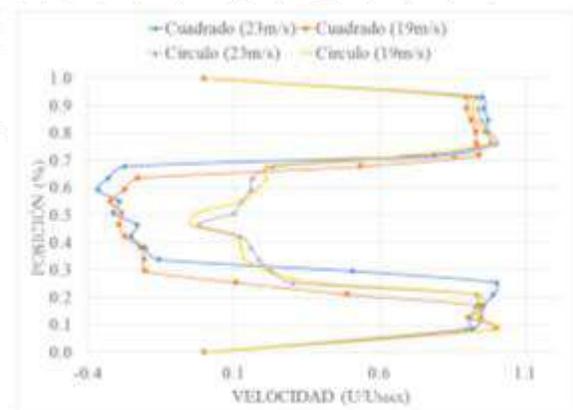


Figura 2. Perfil de velocidad posterior a modelos de menor dimensión.

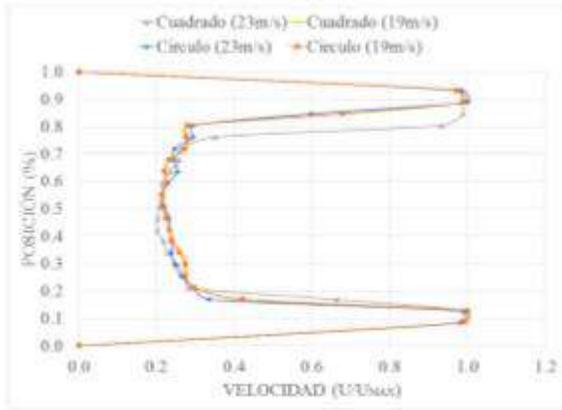
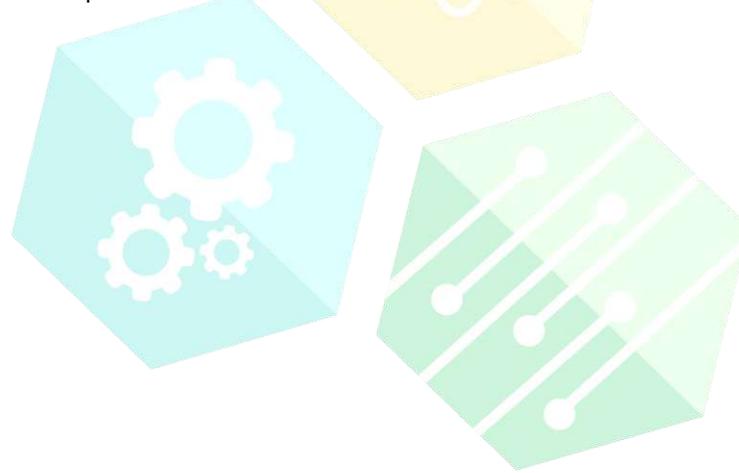


Figura 3. Perfil de velocidad posterior a modelos de mayor dimensión.



Referencias

- [1] White F. “Mecánica de fluidos”, Ed. McGrawHill, México, 6ª edición, 2008.
- [2] Anderson J. “Fundamentals of aerodynamics”, Ed. McGraw-Hill, Nueva York, 3ª edición, 2001.
- [3] Ortega R. “Estudio experimental del coeficiente de arrastre en prismas rectangulares en un flujo confinado”, Tesis de Maestría de la UNAM, México, 2016.
- [4] www.discoverarmfield.com
- [5] www.lddidactic.de/en/catalogues/physics.com

ODMyM3- La Manufactura Aditiva y los Materiales Compuestos en el Diseño de Prótesis Transtibiales de Uso Deportivo

Manuel Javier Rosel Solís^{1,2}, Javier Molina Salazar¹, Juan Antonio Paz González², Juan Antonio Ruiz Ochoa²

¹Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Cd. Juárez Chihuahua. jamolina@uacj.mx

²Escuela de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología UABC, Tijuana, B.C.,
mrosel@uabc.edu.mx, pazj@uabc.edu.mx, ruizj99@uabc.edu.mx

Resumen. - En el presente trabajo se revisa el estado del arte que guarda la manufactura aditiva en cuanto a sus avances en la mejora de sus materiales, específicamente, a través de la incorporación de materiales compuestos, como la fibra de carbono. Además, se hace una revisión de los procesos convencionales de manufactura de materiales compuestos y se analiza el grado de aplicación de la manufactura aditiva y los materiales compuestos en la manufactura de prótesis transtibiales protéticas y de uso deportivo, con el objetivo de identificar oportunidades de mejora.

Palabras clave: Modelado por deposición fundida, Materiales compuestos, Manufactura, Prótesis.

Abstract. - In the present work the state of the art that preserves the additive manufacturing is reviewed in terms of the advances in the improvement of its materials, specifically, through the incorporation of composite materials, such as carbon fiber. In addition, a review of the conventional processes of the manufacture of composites and analyzes the degree of the application of the manufacture and the composite materials in the manufacture of the transtibial prosthesis for sport use, with the objective of identifying improvement opportunities.

Key words: Fused modeling deposition, Composite materials, Manufacturing, Prostheses.

1. Introducción

La manufactura aditiva es un proceso que presenta grandes ventajas para la fabricación de productos personalizados y producción a baja escala [1], reduciendo los ciclos de diseño [2]. La aplicación de este proceso está dirigida a diversas áreas, teniéndose especial énfasis en el área médica, por ejemplo, en la manufactura de prótesis y órtesis humanas [3] que requieren de un alto grado de personalización para la adecuada adaptación al paciente por lo que la manufactura aditiva

representa un buen alternativa [4]. Sin embargo, los materiales utilizados para la impresión tridimensional presentan propiedades mecánicas que limitan su uso [5] por lo cual es necesario buscar la mejora de dichos materiales, a través de la combinación con otros de mayor resistencia.

Los materiales compuestos a base de fibra de carbono presentan características de mayor resistencia y menor peso, comparados con materiales metálicos, que pueden ser aplicadas a la manufactura de prótesis [6]. Para su aplicación,

estos materiales deben ser analizados para conocer sus características y así poder identificar las posibilidades de mejora, así como la posibilidad de ser usados en los nuevos procesos como la manufactura aditiva.

2. Metodología

Esta investigación se enfocó en la búsqueda de información sobre tres principales tópicos: la manufactura aditiva, los materiales compuestos y la manufactura de prótesis, con el objetivo principal de encontrar literatura que relacionara estos tópicos con el fin de identificar oportunidades de mejora en el proceso de fabricación de una prótesis transtibial de uso deportivo.

Para la búsqueda de información se consultaron las bases de datos de Elsevier, Springer, Scopus y Emerald y se utilizaron las siguientes palabras clave: Manufactura aditiva, materiales compuestos, prótesis, procesos, abs, y modelado por deposición fundida.

3. Manufactura Aditiva

La manufactura aditiva es un proceso de manufactura que utiliza información de modelos tridimensionales para construir objetos capa por capa a diferencia de los procesos de maquinado convencional [7].



Figura 1. Clasificación de procesos de manufactura aditiva según la norma ISO/ASTM 529000:2015 [8].

Son varias las técnicas utilizadas para la fabricación de prototipos rápidos a base de polímeros y resinas de las cuales se pueden obtener piezas funcionales que pueden utilizarse en la revisión y verificación del diseño. Algunas de éstas técnicas (Figura 1) incluyen la estereolitografía o SLA (por sus siglas en inglés), que utiliza un polímero fotosensible [9]; la manufactura de objetos por laminado (LOM) utilizando láminas de plástico [10]; la sinterización selectiva por láser (SLS) que utiliza en su proceso de manufactura polímeros en polvo [11]; el modelado por deposición de aglutinante (BJ) que inyecta un líquido aglutinante en cada capa de polvo para solidificarlo [12]; el modelado por fusión de polvo (PBF) que a través de una luz de láser puede fundir capas material en polvo metálico [13]; el modelado por chorro de material (MJ), va depositando capas de líquido que inmediatamente pasa por un proceso de curado con luz ultravioleta [14], y por último el modelado por deposición de plástico fundido (FDM). Este último método (Figura 2), es de los más utilizados ya que tiene como ventajas el bajo costo, poco desperdicio y rápido cambio de materiales, además de su fácil manejo [15].

La manufactura aditiva ofrece gran flexibilidad para la fabricación de geometrías complejas y ahorro de tiempos de fabricación [16], sin embargo, un producto fabricado con este proceso, presenta un comportamiento anisotrópico [5], lo que hace necesaria la búsqueda de materiales con propiedades mecánicas superiores. Dado lo anterior se han reportado investigaciones enfocadas a lograr una mejora en las propiedades de los materiales modificando las trayectorias de trabajo de los equipos de impresión tridimensional para minimizar su anisotropía [17], [18], además de expandir sus aplicaciones en el campo de la biotecnología, buscando el desarrollo de biomateriales que pudieran sustituir partes internas del cuerpo humano [19]–[22] y la biocompatibilidad de estos materiales con tejidos orgánicos. Otras investigaciones se han dirigido a la incorporación de materiales orgánicos, como las células madre, para

la impresión tridimensional de huesos humanos [23]. Sin embargo, para aplicaciones de alto impacto como en el caso de las prótesis deportivas, se identifica como principal alternativa a la combinación de los plásticos usados en la manufactura aditiva con los materiales compuestos.

4. Materiales compuestos

Los materiales compuestos han cobrado gran importancia en la industria, para la fabricación de objetos cuyas características requeridas son el poseer muy bajo peso, con una alta resistencia [24] pues ofrecen mejores ventajas comparados con el acero [25].

Existen diferentes métodos para trabajar con materiales compuestos y pueden clasificarse en dos grupos, métodos de molde cerrado y abierto. Entre los métodos de molde cerrado, se encuentran el moldeo por laminado de componentes [10], el moldeo por transferencia de resina [26], moldeo centrífugo [27], moldeo por inyección [28], moldeo por pultrusión [29] y por pérdida de molde [30]. Los métodos por molde abierto son el moldeo a mano, devanado de filamentos, con autoclave y por infusión de resina (Tabla 1).

Tabla 1. Métodos de procesamiento de materiales compuestos.

Molde Cerrado	Molde Abierto
Por laminado de componentes	Por colocación manual
Por transferencia de resina	Devanado de filamentos
Moldeo centrífugo	A presión con autoclave
Moldeo por inyección	Por infusión de resina
Moldeo por pultrusión	
Proceso por molde perdido	

Las variables que distinguen a cada uno de los métodos de conformado de materiales compuestos, además del tipo de molde son: el tiempo de procesamiento, la ocurrencia de defectos internos y

superficiales, el uso de fibra seca o impregnada de resina, el control sobre la orientación de las fibras y el uso de temperatura y presión [24].

5. Manufactura de prótesis

Una prótesis es un dispositivo u artefacto artificial que reemplaza o provee una parte del cuerpo que falta por diversas razones, tales como accidentes, malformaciones congénitas y enfermedades [4].

En 1979 el Comité Internacional de la Cruz Roja creó un programa de rehabilitación física que promueve el uso de tecnología para dar respuesta a las necesidades de los discapacitados, creando directrices para la fabricación de prótesis con materiales ligeros y duraderos [31], [32]. Un caso similar sucede en la India en la que se utiliza tecnología que data del año 1968 utilizando materiales simples como el caucho micro celular, madera de sauce, cuerdas de nylon y caucho adicional, para la fabricación de prótesis de pie, que ayuden a mejorar la calidad de vida de los amputados a un bajo costo [33], [34]. También se han estudiado las características más importantes a considerar en el diseño y construcción de prótesis para su mejor adaptación [35] y actualmente existen patentes sobre el desarrollo de prótesis para pies [36]–[39], que describen métodos de fabricación, usando materiales metálicos y recubrimientos que mejoren la estética del pie [36]. Además, utilizan diferentes mecanismos para el accionamiento de la articulación del tobillo, así como formas de elementos que dan soporte al cuerpo. Se mencionan dispositivos para la sujeción del pie al resto del cuerpo [40], y hacen referencia a prótesis cosméticas para uso cotidiano. También se han desarrollado patentes para la fabricación de prótesis de uso deportivo de la cual la compañía Óssur®, actualmente aparece como cesionaria de la patente US 20150209160 A1, Prosthetic sport feet (Prótesis de pies deportiva) [41].

Según el censo de población y vivienda del 2010, del porcentaje total de personas con discapacidad, el 58.3% se refiere a personas que no pueden caminar ni moverse, siendo el tipo de discapacidad con mayor incidencia en la población (INEGI, 2013), encontrándose en esta clasificación las amputaciones de miembros inferiores. Con base en lo anterior, existe la oportunidad para beneficiar a personas con amputaciones transtibiales [42], permitiéndoles realizar actividades deportivas, logrando una mejor integración y calidad de vida, debido a que las prótesis deportivas comerciales que actualmente se encuentran en el mercado, pueden tener un costo que oscila entre los \$15,000 y \$18,000 dólares (Josh Mchugh, 2007), quedando fuera del alcance de la mayor parte de la población.

6. Conclusiones

La manufactura aditiva ofrece grandes ventajas en el desarrollo de nuevos productos, sin embargo, presenta características que limitan su uso en aplicaciones que exigen el cumplimiento de requerimientos de esfuerzos y otras propiedades mecánicas importantes. Por otro lado, los materiales compuestos exceden las propiedades mecánicas de los materiales metálicos como el acero. La tendencia observada en el presente trabajo es la combinación de ambas tecnologías, para aprovechar sus ventajas individuales en aplicaciones específicas, teniendo como resultado un proceso aún más eficiente.

Se considera importante realizar investigaciones que aporten nuevos y mejores métodos de trabajo para combinar la flexibilidad y rapidez que ofrece la manufactura aditiva, con la resistencia al esfuerzo, rigidez y ligereza de los materiales compuestos para la optimización de los procesos de manufactura de prótesis, contribuyendo así, a la mejora de la calidad de vida de los pacientes amputados.

Referencias

[1] M. K. Thompson, G. Moroni, T. Vaneker, G.

Fadel, R. I. Campbell, I. Gibson, A. Bernard, J. Schulz, P. Graf, B. Ahuja, and F. Martina, "Design for Additive Manufacturing: Trends, opportunities, considerations, and constraints," *CIRP Ann. - Manuf. Technol.*, vol. 65, no. 2, pp. 737–760, 2016.

[2] W. Gao, Y. Zhang, D. Ramanujan, K. Ramani, Y. Chen, C. B. Williams, C. C. L. Wang, Y. C. Shin, S. Zhang, and P. D. Zavattieri, "The status, challenges, and future of additive manufacturing in engineering," *Comput. Des.*, vol. 69, pp. 65–89, Apr. 2015.

[3] C. Lunsford, G. Grindle, B. Salatin, and B. E. Dicianno, "Innovations With 3-Dimensional Printing in Physical Medicine and Rehabilitation: A Review of the Literature," *PM&R*, vol. 8, no. 12, pp. 1201–1212, 2016.

[4] R. K. Chen, Y. Jin, J. Wensman, and A. Shih, "Additive manufacturing of custom orthoses and prostheses—A review," *Addit. Manuf.*, vol. 12, Part A, pp. 77–89, Oct. 2016.

[5] S. Ahn, M. Montero, D. Odell, S. Roundy, and P. K. Wright, "Anisotropic material properties of fused deposition modeling ABS," *Rapid Prototyp. J.*, vol. 8, no. 4, pp. 248–257, Oct. 2002.

[6] B. A. Newcomb, "Processing, structure, and properties of carbon fibers," *Compos. Part A Appl. Sci. Manuf.*, vol. 91, Part 1, pp. 262–282, Dec. 2016.

[7] ASTM Standard, "F2792. 2012. Standard Terminology for Additive Manufacturing Technologies," *West Conshohocken, PA ASTM Int. See www.astm.org.(doi 10.1520/F2792-12)*, 2015.

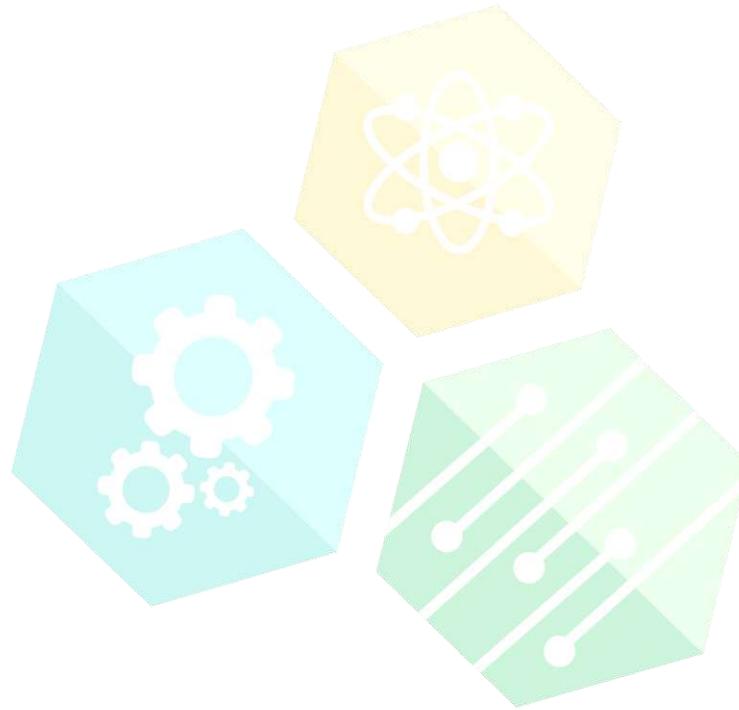
[8] J.-Y. Lee, J. An, and C. K. Chua,

- “Fundamentals and applications of 3D printing for novel materials,” *Appl. Mater. Today*, vol. 7, pp. 120–133, Jun. 2017.
- [9] D. Eyers and K. Dotchev, “Technology review for mass customisation using rapid manufacturing,” *Assem. Autom.*, vol. 30, no. 1, pp. 39–46, Feb. 2010.
- [10] J. Park, M. J. Tari, and H. T. Hahn, “Characterization of the laminated object manufacturing (LOM) process,” *Rapid Prototyp. J.*, vol. 6, no. 1, pp. 36–50, Mar. 2000.
- [11] J. P. Kruth, X. Wang, T. Laoui, and L. Froyen, “Lasers and materials in selective laser sintering,” *Assem. Autom.*, vol. 23, no. 4, pp. 357–371, Dec. 2003.
- [12] S. Meteyer, X. Xu, N. Perry, and Y. F. Zhao, “Energy and Material Flow Analysis of Binder-jetting Additive Manufacturing Processes,” *Procedia CIRP*, vol. 15, pp. 19–25, 2014.
- [13] W. E. King, H. D. Barth, V. M. Castillo, G. F. Gallegos, J. W. Gibbs, D. E. Hahn, C. Kamath, and A. M. Rubenchik, “Observation of keyhole-mode laser melting in laser powder-bed fusion additive manufacturing,” *J. Mater. Process. Technol.*, vol. 214, no. 12, pp. 2915–2925, 2014.
- [14] I. Gibson, D. Rosen, and B. Stucker, “Material Jetting,” in *Additive Manufacturing Technologies: 3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing*, New York, NY: Springer New York, 2015, pp. 175–203.
- [15] Y. Tang and Y. F. Zhao, “A survey of the design methods for additive manufacturing to improve functional performance,” *Rapid Prototyp. J.*, vol. 22, no. 3, pp. 569–590, 2016.
- [16] H. G. Lemu and S. Kurtovic, “3D Printing for Rapid Manufacturing: Study of Dimensional and Geometrical Accuracy,” in *Advances in Production Management Systems. Value Networks: Innovation, Technologies, and Management: IFIP WG 5.7 International Conference, APMS 2011, Stavanger, Norway, September 26–28, 2011, Revised Selected Papers*, J. Frick and B. T. Laugen, Eds. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2012, pp. 470–479.
- [17] B. Ezair, F. Massarwi, and G. Elber, “Orientation analysis of 3D objects toward minimal support volume in 3D-printing,” *Comput. Graph.*, vol. 51, pp. 117–124, Oct. 2015.
- [18] Y. Jin, Y. He, J. Fu, W. Gan, and Z. Lin, “Optimization of tool-path generation for material extrusion-based additive manufacturing technology,” *Addit. Manuf.*, vol. 1–4, pp. 32–47, Oct. 2014.
- [19] E. J. McCullough and V. K. Yadavalli, “Surface modification of fused deposition modeling ABS to enable rapid prototyping of biomedical microdevices,” *J. Mater. Process. Technol.*, vol. 213, no. 6, pp. 947–954, Jun. 2013.
- [20] S. J. Kalita, *Biointegration of Medical Implant Materials*. Elsevier, 2010.
- [21] X. Wang, M. Jiang, Z. Zhou, J. Gou, and D. Hui, “3D printing of polymer matrix composites: A review and prospective,” *Compos. Part B Eng.*, vol. 110, pp. 442–458, Feb. 2017.
- [22] S. Bose, S. Vahabzadeh, and A. Bandyopadhyay, “Bone tissue engineering using 3D printing,” *Mater. Today*, vol. 16, no. 12, pp. 496–504, 2013.

- [23] B. Leukers, H. Gülkan, S. H. Irsen, S. Milz, C. Tille, M. Schieker, and H. Seitz, "Hydroxyapatite scaffolds for bone tissue engineering made by 3D printing," *J. Mater. Sci. Mater. Med.*, vol. 16, no. 12, pp. 1121–1124, 2005.
- [24] B. A. Newcomb, "Processing, structure, and properties of carbon fibers," *Compos. Part A Appl. Sci. Manuf.*, vol. 91, pp. 262–282, 2016.
- [25] D. Calestani, M. Villani, M. Culiolo, D. Delmonte, N. Coppedè, and A. Zappettini, "Smart composites materials: A new idea to add gas-sensing properties to commercial carbon-fibers by functionalization with ZnO nanowires," *Sensors Actuators B Chem.*, vol. 245, pp. 166–170, Jun. 2017.
- [26] T. Okabe, Y. Oya, G. Yamamoto, J. Sato, T. Matsumiya, R. Matsuzaki, S. Yashiro, and S. Obayashi, "Multi-objective optimization for resin transfer molding process," *Compos. Part A Appl. Sci. Manuf.*, vol. 92, pp. 1–9, Jan. 2017.
- [27] C.-H. Chen, K. Takita, S. Ishiguro, S. Honda, and H. Awaji, "Fabrication on porous alumina tube by centrifugal molding," *J. Eur. Ceram. Soc.*, vol. 25, no. 14, pp. 3257–3264, Sep. 2005.
- [28] S. P. Magalhães da Silva, P. S. Lima, and J. M. Oliveira, "Rheological behaviour of cork-polymer composites for injection moulding," *Compos. Part B Eng.*, vol. 90, pp. 172–178, Apr. 2016.
- [29] P. J. Novo, J. F. Silva, J. P. Nunes, and A. T. Marques, "Pultrusion of fibre reinforced thermoplastic pre-impregnated materials," *Compos. Part B Eng.*, vol. 89, pp. 328–339, Mar. 2016.
- [30] K. Cai, D. Guo, Y. Huang, and J. Yang, "Solid freeform fabrication of alumina ceramic parts through a lost mould method," *J. Eur. Ceram. Soc.*, vol. 23, no. 6, pp. 921–925, May 2003.
- [31] International Comitee of the Red Cross, "Manufacturing Guidelines, Partial Foot Prosthesis," *Phys. Rehabil. Program.*, 2006.
- [32] International Comitee of the Red Cross, "Manufacturing Guidelines, Push-Fit Syme Prosthesis," *Phys. Rehabil. Program.*, 2013.
- [33] H. Mysore, "The Jaipur Foot," *IEEE Pulse*, 2016.
- [34] A. P. Arya and L. Klenerman, "The Jaipur foot," *Bone Joint J.*, vol. 90–B, no. 11, pp. 1414–1421, 2008.
- [35] D. Rihs and I. Polizzi, *Prosthetic foot design*. Rehab Tech-Monash Rehabilitation Technology Research Unit, 1996.
- [36] B. W. Townsend and B. K. Claudino, "Prosthetic foot with tunable performance." Google Patents, 2011.
- [37] R. E. Arbogast and C. J. Arbogast, "Prosthetic foot." Google Patents, 1989.
- [38] V. L. Phillips, "Symes foot prosthesis." Google Patents, 1996.
- [39] U. Wellershaus, "Jointless prosthetic foot." Google Patents, 1992.
- [40] O. F. Halldorsson, D. Sandahl, B. Gunnarsson, and E. S. Egilsson, "Prosthetic device, system and method for increasing vacuum attachment." Google Patents, 2013.
- [41] A. V Clausen, C. Lecomte, D. S. Marlin, and L. Gunnsteinsson, "Prosthetic sport feet." Google Patents, 2015.

- [42] V. María José Espinoza and S. Daniela García, "Niveles de amputación en extremidades inferiores: repercusión en el futuro del paciente," *Rev. Médica Clínica*

Las Condes, vol. 25, no. 2, pp. 276–280, 2014.



CONGRESO INTERNACIONAL DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

ODMyM4- Análisis Termográfico en PCI para Soldadura de Componentes Óptico-electrónicos SMT utilizando FILSS Básico

Rosa Citlalli Anguiano Cota, Luis Kiyoshi Natzu Anguiano, Maximiliano Vera Pérez, Iván Olaf Hernández Fuentes

Universidad Autónoma de Baja California
Blvd. Benito Juárez S/N CP 21280.
+52 (686) 566-4270
rosacitlalli@uabc.edu.mx

Resumen. – *En el presente trabajo, se realiza un análisis termográfico en dos diferentes tipos de materiales: aluminio y cobre, siendo este último utilizado para el diseño de Placas de Circuitos Impresos (PCI), con la finalidad de determinar el comportamiento de la distribución de calor por dispersión o transferencia de calor que se obtiene en los PCI para componentes óptico-electrónicos utilizados en la Tecnología de Montaje Superficial (SMT), al ser utilizado un Sistema de Soldadura por medio de luz Infrarroja Enfocada (FILSS) básico. Para el análisis fueron utilizadas dos cámaras termográficas FLUKE: Ti400 y Ti450, las cuales se encontraban calibradas y sincronizadas para llevar a cabo las mediciones de temperatura. Los resultados obtenidos muestran la distribución de calor sobre la PCI, sirviendo de referencia para futuros experimentos en donde sean utilizados este tipo de elementos en áreas específicas.*

Palabras clave: Infrarrojo, SMT, termografía, transferencia de calor, PCI, componentes óptico-electrónicos

Abstract. - *In this work, we present a thermography analysis at two different materials: aluminum and cooper, being the cooper used in Printed Circuit Board (PCB), to determine the heat dispersion or heat transfer in the PCB used for optic-electronic components of Surface Mount Technology (SMT) for basic Focused Infrared Light Soldering System (FILSS). We use two thermography cameras Fluke Ti400 and Ti450, both calibrated and synchronized to obtain temperature measures.*

The results have shown the heat distribution in the PCB which will be useful as a reference for future experiments where these kinds of elements are used over specific areas.

Key words: Infrared, SMT, thermography, heat transfer, PCB, optic-electronic components

1. Introducción

La demanda de una mayor velocidad de transferencia de datos y la miniaturización de los componentes electrónicos, ha llevado a la creación de nuevas tecnologías que nos permitan contar con estas y otras características, entre las

cuales encontramos el desarrollo de diferentes tipos de Circuitos Integrados (CI) como los SMT (por sus siglas en inglés Surface Mount Technology), componentes que son colocados sobre las Placas de Circuito Impreso (PCI) para ser soldados, en donde los BGA (por sus siglas en

inglés Ball Grid Array), es uno de los componentes más utilizados en el áreas de las comunicaciones. Recientemente, se ha buscado el desarrollo de tecnología, que además incluya componentes ópticos para la transferencia de datos, por medio de luz, teniendo las ventajas de aumentar en el ancho de banda y la transferencia de datos dentro de las PCI. Por tal motivo, en los últimos años, se han creado a nivel mundial consorcios dedicados a la implementación de componentes óptico-electrónicos, que utilicen luz para la transferencia de datos [1]. La fibra óptica ha sido el mejor ejemplo de la implementación de transmisión de información por medio de luz debido a las características que presenta, como son la transmisión de datos a grandes distancias con muy poca distorsión por pérdidas y ruido ambiental [2]. Debido a las modificaciones que se ha tenido que ir desarrollando en el proceso de soldado de componentes electrónicos [1,3-5], en el presente trabajo se realizara un análisis de la distribución de calor en una PCI obtenida al ser utilizado el Sistema FILSS básico [4], en donde se hace incidir luz IR sobre 2 distintos materiales, aluminio y una placa de cobre en la que se fabrican los PCI (FR4), con circuito impreso y sin circuito impreso.

2. Disipación térmica

Tomando como base el estudio de transferencia de calor en Aletas [6] también llamadas superficies extendidas, se tomaron las aletas de sección transversal uniforme mostradas en la figura 1, área roja, para determinar la transferencia de calor por conducción Q que puede suceder en las PCI.

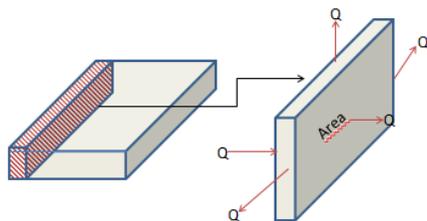


Figura 1. Diagrama del flujo de la transferencia de calor en un elemento.

$$\frac{d^2T}{dx^2} + \frac{1}{A_c} \frac{dA_c}{dx} \frac{dT}{dx} - \frac{h}{kA_c} \frac{dA_s}{dx} (T_s - T_\infty) = 0 \quad (1)$$

Donde A_c es el área normal a la dirección de flujo y A_s es el área superficial del área extendida en nuestro caso la placa bajo estudio

3. Metodología

Fueron tomadas las temperaturas e imagen de distribución de calor, en una placa de aluminio, cobre y una placa de cobre con material dieléctrico (FR4) y circuito impreso, ya que este último es utilizado en el diseño de las PCI. Una cámara termográfica Fluke Ti450 fue utilizada para la medición y captura de dichas imágenes, y en el programa SmartView de Fluke fueron analizados los resultados obtenidos. La cámara termográfica fue colocada a un ángulo de 15° con respecto a la normal de la superficie de la PCI en la cual se estaba llevando a cabo la medición, ubicada en la parte donde incidía la luz infrarroja (IR).

3.1 Experimentación.

Mediante el sistema FILSS básico, se realizaron una serie de experimentos a diferentes voltajes, haciendo incidir la mancha de luz sobre las placas durante un lapso de 4 minutos, tiempo aproximado que tarda en desarrollarse el perfil de reflujo [6] utilizado en los métodos de soldadura convencionales.

El sistema FILSS básico está conformado por una fuente de luz infrarroja (IR), la cual es una lámpara QTH como fuente térmica, seleccionada debido a las características presentadas en [7], una lente condensadora la cual colecta la luz de la fuente IR y la colima para dirigirla a la lente secundaria además de eliminar aberraciones esféricas, una lente secundaria con la cual se controla el tamaño de la mancha de luz IR y la placa sobre la cual se realizará el estudio térmico.

Por motivos de reflexión de luz sobre las placas, estas fueron recubiertas por una pintura negro

mate resistente al calor, para evitar las reflexiones de la luz infrarroja.

Para la realización de estos experimentos se colocaron cada elemento uno de los elementos ópticos de FILSS básico, a las distancias proporcionadas por [4] para obtener tamaño de la mancha de luz IR con las dimensiones de un BGA de 30x30 mm.

4. Resultados

En la tabla 1 se muestran los resultados de las temperaturas máximas registradas por la cámara termográfica en la parte en donde incide la luz IR en las placas de aluminio, cobre y cobre con material dieléctrico (FR4) y circuito impreso del sistema FILSS básico, durante 4 minutos, con distintos voltajes aplicados a la lámpara QTH del sistema. Se observa un incremento en las temperaturas de las placas al incrementar el voltaje en la lámpara QTH. Sin embargo, se tiene un mayor incremento de temperatura en la placa que tiene el circuito impreso ya que al no ser fabricada exclusivamente de cobre la disipación de calor se ve afectada por el material dieléctrico (FR4), el cual disipa el calor a un ritmo menor que los metales obteniendo este resultado.

Debido a que en un voltaje de 10 V de alimentación a la lámpara QTH, las temperaturas alcanzadas en las placas eran suficientes para lograr soldar CI en las PCI (210°C - 260°C), no se llevaron a cabo los experimentos de 11V a 15V, voltajes a los cuales la lámpara QTH puede operar.

Tabla 1. Mediciones térmicas máximas de las diferentes placas: Aluminio (Al), Cobre (Cu), Cobre con Circuito Impreso (CuIm)

Voltaje	Temperaturas °C		
	Al	Cu	CuIm
7v	67.1	135.1	169.8
8v	80	168.1	208
9v	90.5	200.8	245
10v	101.8	234.4	275.4

La Figura 2 muestra la distribución de calor obtenida por la cámara termográfica Fluke Ti450 al incidir luz del sistema FILSS sobre las placas de aluminio, cobre y cobre con circuito impreso durante un tiempo de 4 minutos.

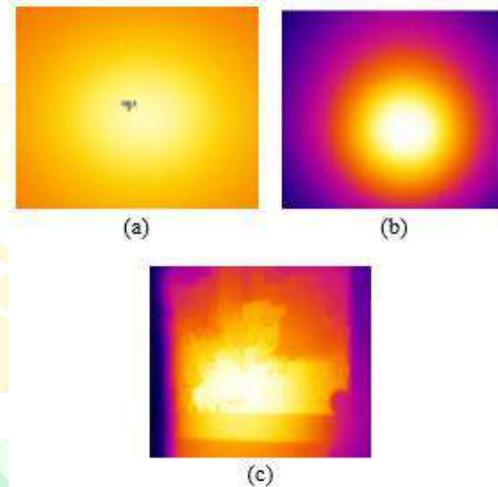


Figura 2. Imagen de distribución de calor. (a) Placa de aluminio, (b) Placa de cobre, (c) Placa de cobre con circuito impreso.

La distribución de calor en la placa de aluminio es mostrada en la figura 2(a), donde es observado como el calor se extiende a través de toda la placa. En la figura 2 (b) se muestra la distribución de calor en la placa de cobre, donde se observa que el calor se extiende hacia el resto de la placa, sin embargo, este es mucho menor comparada con la placa de aluminio, observándose así mayor concentración de calor en la placa de cobre en un área más delimitada. En la figura 2(c) la distribución de calor es interrumpida por los cortes realizados para la creación de circuito impreso cambiando la distribución térmica, observándose ligeramente el contorno de las pistas en la imagen termográfica y teniendo mayores valores de temperatura comparadas con las placas de aluminio y cobre.

5. Conclusiones

La distribución de calor en placas de diferentes materiales pueden llegar a ser muy similar, sin embargo en las placas que son utilizadas para el diseño de pistas en placas de circuito impreso, donde son colocados componentes electrónicos, la distribución de calor cambia, provocando que las temperaturas en estos puntos sean mayores que en el resto de la placa, debiéndose tomar en cuenta en el proceso de soldadura de nuevos componentes óptico-electrónicos, ya que esta distribución de calor pudiera afectar a los elementos añadidos en estos componentes.

Referencias

- [1] <http://cobo.azurewebsites.net/>
- [2] E. Bradley, C. Handwerker, J. Bath, R. Parker, and R. Gedney, *Lead-Free Electronics* (John Wiley & Sons Inc., 2007), Chap. 1,5 and 10.
- [3] Anguiano C., Félix M., Medel A., Bravo M., Salazar D., and Márquez H. “*Study of heating capacity of focused IR light soldering systems*”, Optics Express. OSA, Vol. 21, No. 20, 15 paginas, año 2003.
- [4] Bath J., “*Lead-Free Soldering*”, Chap. 3 and 5, 2007.
- [5] Andocilla J., Carrera A. “*Modelación Matemática y Simulación de la Ecuación Diferencial de Transferencia de Calor de una Aleta Rectangular de Area Constante y Longitud “L” con Simulink*” Tesis para obtención del grado de licenciatura en Ingeniero Mecánico por la Universidad Politécnica Salesiana. Capítulo 2 y 3. Año 2015.
- [6] Product information Bulletin, “64635 HLX Tungsten Halogen Lamp”.

ODMyM5- Impacto del Diseño para Cambios Rápidos (DFC) en la Manufactura Moderna

Yuridia Vega¹, Roberto Romero López², Marco Antonio Juárez Mendoza¹

¹Escuela de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología, Universidad Autónoma de Baja California.

vegay@uabc.edu.mx , juarez@uabc.edu.mx

²Instituto de Ingeniería y Tecnología, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. al164656@alumnos.uacj.mx,

rromero@uacj.mx

Resumen. - *El avance de las tecnologías en la industria de la manufactura y la necesidad de procesos más rápidos y eficientes que brinden un mejor desempeño en la calidad, mejores tiempos de respuesta, flexibilidad y rentabilidad, es un tema importante en la manufactura de clase mundial. Estos indicadores son claves para que una empresa pueda mantenerse en la competitividad de los mercados, que exige una alta diversidad en productos y de volúmenes de producción. En este sentido, uno de los factores claves que contribuye a que un proceso sea más rápido y eficiente; son los tiempos de preparación o de cambio que se dan entre un producto y otro en el proceso de fabricación; aunque existen herramientas de Lean Manufacturing enfocadas a acortar estos tiempos, se ha demostrado que, con el uso de la metodología "Design for Changeover" (DFC), la cual considera estos cambios desde el diseño del equipo, se pueden abatir en gran medida los tiempos de cambio e impactar de manera positiva la flexibilidad y fabricación de lotes pequeños. En este trabajo, se analiza la literatura existente del DFC y se muestra el impacto que han tenido las empresas al implementar esta metodología, así como los factores que han intervenido, al fin de aportar un marco de referencia al resto de las industrias interesadas en acortas sus tiempos de cambio en sus procesos productivos.*

Palabras clave: *Diseño para cambios, DFC, manufactura flexible, cambios rápidos, Cambio de modelo, Diseño de equipo.*

Abstract. - *The progress of technologies in the manufacturing industry and the need for faster and more efficient processes that provide better quality performance, better response times, flexibility and cost-effectiveness is an important issue in world-class manufacturing. These indicators are key issues for a company to remain competitive in the markets, which requires a high diversity in products and production volumes. In this sense, one of the key factors that contributes to a faster and more efficient process, are the times of preparation or change, that occur between one product and another in the manufacturing process. Although there are Lean Manufacturing tools aimed at shortening these times, it has been demonstrated that, with the use of the "Design for Changeover" (DFC) methodology, which considers these changes from the design of the equipment, times of change can be reduced and increase positively impact the flexibility and manufacturing of small lots. In this paper, we analyze the existing literature of the DFC and show the impact that companies have had in implementing this methodology, as well as the factors that have intervened, in order to provide a frame of reference to the rest of the industries interested in shortening their times of change in their productive processes.*

Key words: *Design for Changeover, DFC, manufacturing flexibility, Rapid changeover, Changeover, Equipment design.*

1. Introducción

En los últimos años las industrias se han preocupado por abastecer las necesidades de bienes y servicios del mercado que les permitan posicionarse como empresas competitivas y globalizadas [1]. Lo que implica ofrecer una alta calidad, así como precios competitivos en los productos ofertados, siendo en muchas ocasiones, las demandas de los clientes de bajo volumen de producción, alta variedad de productos y tiempos de entrega cortos [2], por lo que es necesario utilizar internamente estrategias de manufactura que permitan hacer mejor uso de los recursos, tener mayor flexibilidad en sus procesos productivos y enfocarse en proyectos de mejora, que impacten en la reducción de costos de fabricación[3]. En este sentido, se han aumentado los esfuerzos de las organizaciones por mejorar la eficiencia de los equipos de producción que permita responder a estas necesidades [4]. Cousins[5] menciona que si los tiempos de cambios son más cortos, mayor será la flexibilidad de producción haciendo más fácil el cumplimiento de las necesidades de los clientes; por lo tanto, un cambio de modelo (Changeover) eficiente permite aumentar la flexibilidad de producción, beneficiando la fabricación de lotes pequeños y variación de productos [6][7].

2. Metodología

Se analiza la definición e importancia de los cambios de modelo (*Changeover*) en los procesos de fabricación y los factores y beneficios que tiene la metodología de diseño para cambios de modelo (*Design for Changeover, DFC*), en las industrias modernas para acortar los tiempos de cambios.

2.1 Cambio de modelo

En un proceso productivo se identifican dos tipos de tiempos: uno es el tiempo que se tarda la fabricación de un producto (tiempo productivo de la máquina) y, el segundo es, el tiempo en que la

máquina se encuentra parada por descansos de producción, averías o por cambio de modelo, los cuales no le añaden valor al producto y entre más largos sean más costoso son para la empresa [8]; en su trabajo Chabowski presenta un análisis de Pareto de las principales causas por las cuales una línea de producción no está disponible, resultado con un 37% que son debido a cambios de productos [9].

Pero ¿qué es un cambio de modelo en un proceso de fabricación?, Reik lo define como el “*Conjunto de actividades necesarias para establecer y/o ajustar ciertos elementos correctamente al equipo de fabricación, con el fin de producir un nuevo producto en la calidad y velocidad de salida deseada*”.

Se han publicado trabajos donde se explica este proceso de cambios en los cuales mencionan que inicia cuando se termina la fabricación del producto A y la tasa de producción desciende hasta el nivel cero, una vez los equipos se han detenido por completo se desarrolla el periodo de ajuste (set-up), periodo en el cual se instalan todos los accesorios y aditamentos requeridos para fabricar el producto B, después cuando están listos todos los ajustes se da inicio al periodo de arranque (run-up), el cual se prolonga hasta que las tasas de velocidad y calidad son alcanzadas nuevamente [13][14][15]. Las pérdidas de producción ocasionadas durante el periodo de ajuste (set-up) y el periodo de arranque (run-up), impactan en la tasa de producción y la calidad de los productos [16].

Por lo anterior los cambios rápidos es un importante componente de la manufactura moderna [20][10], pudiendo reducir los tiempos por medio de dos formas: una mediante estrategia

de mejora continua en el sistema existente y la segunda mediante el diseño e implementación de nuevos sistemas[18], el segundo obteniéndose mediante la metodología de diseño para el cambio “*Design for Changeover*”(DFC).

2.2 Diseño para el cambio (DFC)

DFC es una metodología genérica para diseñar equipo de fabricación flexible y sensible, que proporciona una guía para los fabricantes de equipos originales (“*Original Equipment Manufacturer*”, OEM), con el fin de mejorar la capacidad de cambio desde la etapa de diseño [21], reduciendo el esfuerzo físico, los ajustes, y la variabilidad de los cambios [18]. Fue desarrollada por profesores de la Universidad de Bath en Inglaterra [22]. Existen trabajos que demuestran que cuando las mejoras se realizan desde la etapa de diseño son más fáciles sostener debido a la práctica que genera en los operadores y porque simplifica los procedimientos de las actividades de cambio. La aplicación del DFC, impacta en el diseño de producto, de maquinaria, herramientas y en los sistemas de producción [18], lo que permite ser más flexibles a las necesidades del mercado.

3. Resultados

En la siguiente tabla se muestran los principales trabajos que aportan reglas y procedimientos para apoyar a los diseñadores a diseñar equipos y/o procesos de fabricación con un enfoque a la reducción del tiempo de cambio y a su vez apoyar a la flexibilidad y variación de producción.

TABLA 1. Principales aportaciones para la metodología de diseño de equipo (DFC).

AÑO	AUTOR	APORTACIÓN
1996	Mcintosh [16]	Se muestran las ventajas del diseño en las actividades de mejora continua, aseguran que cuando las mejoras se basan en el

		diseño se vuelven más sostenibles para las empresas.
1999	Mileham [18]	Se establecen reglas para el cambio desde la etapa de diseño, aplicables en el diseño de nuevos equipos o mejora continua de los existentes.
2001	McIntosh [23]	Se discuten los roles y ejemplo para mejora de los cambios, así como el rendimiento de mantenimiento.
2002	Van Goubergen [4]	Se adaptaron las reglas de diseño propuestas por Mileham, se suman cuestiones organizacionales, del personal y procedimientos.
2002	Mileham [24]	Presenta reglas de diseño y las diferencias con los fabricantes de equipos originales (OEMs) y profesionales de mejoras retrospectivas.
2006	Reik [25]	Conceptos básicos para una metodología formal de DFC, oportunidades de mejora en un marco de personas, prácticas, procesos y productos.
2006	Reik [21]	Aporta una metodología de 9 pasos para los diseñadores de equipo, al fin de desarrollar procesos más flexibles y sensibles al cambio desde la etapa de diseño.
2007	Reik, [22]	Se muestran los beneficios de integrar en conjunto el diseño del producto y del proceso de fabricación.
2011	Owen [26]	Muestra un esquema sistemático de la metodología DFC, se emplean índices de 0-100 para dirigir los esfuerzos del diseño.

Vemos que existen trabajos que proporcionan una guía para los diseñadores de equipos que facilitar la capacidad de cambio, pero aun hace faltan metodologías más claras y

específicas [22][27][26][25], con evidencias del impacto que tiene su aplicación en los procesos de fabricación. Entre los principales factores que mencionan en sus trabajos los autores de la tabla 1. Podemos conjugarlos en factores técnicos y factores organizacionales:

TABLA 2. Factores organizacionales y Técnicos a considerar en el diseño de equipo.

ORGANIZATIVAS	TÉCNICAS
*Variedad de productos, características, parámetros de diferencias.	*Automatización de equipo.
*Identificar elementos de cambio de producto y de equipo.	*Incluir el uso de dispositivos automáticos y de activación remota.
*Matriz de producción.	*Mantenimiento del equipo.
*Índices de eficiencia, actividades de cambio, tiempo y esfuerzo.	*Uso de materiales y ligeros.
*Costo/beneficio del diseño.	*Reducir el número de máquinas.
*Impacto de la mejora.	*Eliminar piezas completas.
*Equipo consultor de diseño.	*Conexiones de liberación rápida.
*Diseño y cultura organizacional.	*Reducir el uso de herramientas manuales.
*Motivación del personal.	*Eliminar la necesidad de utilizar herramientas
*Tiempo y esfuerzo para lograr la mejora.	*Estandarizar de las características de las piezas de cambio.
*Control de cambios de ingeniería.	*Estandarizar los elementos de unión.
*Disminuir y alternar tareas.	*Errajes.
*Aspirar a la ejecución de una sola persona a las tareas.	* Motores eléctricos.
*Instrucciones claras.	*Predicción de las piezas.
	*Equipo de monitoreo.
	*Equipos tolerantes a la variación.
	* Sistemas a prueba y error.
	*Eliminación de la necesidad de ajuste.
	*Eliminación de barreras para actividades manuales y automática.
	*Mecanización de las tareas existentes.
	*Mejorar el acceso a las piezas de cambio.

4. Conclusiones

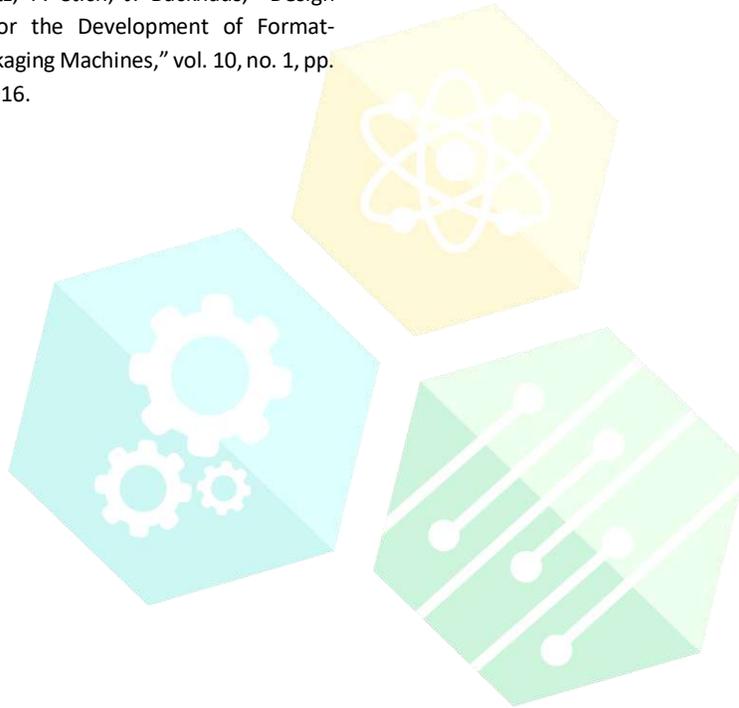
Después de la revisión de la literatura existente en relación a la metodología “*Design for Changeover*” DFC los autores coinciden en la necesidad de contar con metodologías enfocadas al diseño de equipos flexibles y adaptados a cambios continuo del sector industrial, al brindar herramientas a los diseñadores de las necesidades e importancia de diseñar tomando en cuenta la reducción del tiempo de cambio, permite contribuir en los objetivos primordiales de la fabricación moderna que es la fabricación de lotes pequeños y la reducción de costos asociados a los cambios de modelo, en un siguiente trabajo se pretende ampliar las variables y los factores que intervienen en los cambios rápido.

Referencias

- [1] S. Shinde, S. Jahagirdar, S. Sane, and V. Karandikar, “Set-up time Reduction of a Manufacturing Line using SMED Technique,” *Int. J. Adv. Ind. Eng.*, vol. 2, no. 2, pp. 50–53, 2016.
- [2] A. Azizi and T. a/p Manoharan, “Designing a Future Value Stream Mapping to Reduce Lead Time Using SMED-A Case Study,” *Procedia Manuf.*, vol. 2, pp. 153–158, 2015.
- [3] E. S. M. da Costa, R. M. Sousa, S. Bragança, and A. C. Alves, “An industrial application of the SMED methodology and other lean production tools,” *4th Int. Conf. Integrity, Reliab. Fail. Mech. Syst.*, vol. 1, no. i, pp. 1–8, 2013.
- [4] D. Van Goubergen and H. Van Landeghem, “Rules for integrating fast changeover capabilities into new equipment design,” *Robot. Comput. Integr. Manuf.*, vol. 18, no. 3, pp. 205–214, 2002.
- [5] A. Cousens, M. Szwajczewski, and M. Sweeney, “A process for managing manufacturing flexibility,” *Int. J. Oper. Prod. Manag.*, vol. 29, no. 4, 2009.

- [6] K. Ulrich, "The role of product architecture in the manufacturing firm," *Res. Policy*, vol. 24, no. 3, pp. 419–440, 1995.
- [7] A. Cousens, M. Szejcowski, and M. Sweeney, "A process for managing manufacturing flexibility," *Int. J. Oper. Prod. Manag.*, vol. 29, no. 4, pp. 357–385, 2009.
- [8] F. E. Carbonell, "Técnica smed. reducción del tiempo preparación," *3 Ciencias*, pp. 1–11, 2013.
- [9] P. Chabowski, P. Rewers, and J. Trojanowska, "Impact of shortening changeover times on manufacturing flexibility," pp. 1–7, 2016.
- [10] S. Patel, B. G. Dale, and P. Shaw, "Set-up time reduction and mistake proofing methods: an examination in precision component manufacturing," *TQM Mag.*, vol. 13, no. 3, pp. 175–179, 2001.
- [11] S. J. Pavnaskary, J. K. Gershensony, and A. B. Jambekar, "Classification scheme for lean manufacturing tools," *Int. J. Prod. Res.*, vol. 41, no. 13, pp. 3075–3090, 2003.
- [12] G. J. Pawar, N. S. Sirdeshpande, A. B. Atram, and P. R. Patil, "Reduction in setup change time of a machine in a bearing manufacturing plant using SMED and ECRS," *Int. J. Eng. Res.*, vol. 3, no. 5, pp. 321–323, 2014.
- [13] A. C. Phan, A. B. Abdallah, and Y. Matsui, "Quality management practices and competitive performance: Empirical evidence from Japanese manufacturing companies," *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 133, no. 2, pp. 518–529, 2011.
- [14] J. P. Pinto, "Lean Thinking - Introdução ao pensamento magro," *Comunidade Lean Think.*, pp. 159–163, 2008.
- [15] P. T. Preenen, R. Vergeer, K. Kraan, and S. Dhondt, "Labour productivity and innovation performance: The importance of internal labour flexibility practices," *Econ. Ind. Democr.*, p. 0143831X15572836-, 2015.
- [16] R. McIntosh, S. Culley, G. Gest, T. Mileham, and G. Owen, "An assessment of the role of design in the improvement of changeover performance," vol. 16, no. 9, pp. 5–22, 1996.
- [17] A. N. B. (I A. R. Mileham', S. J. Culley', G. W. Owen', L. B. Newnes', M. D. Giess', "The impact of run-up in ensuring Rapid Changeover," no. 1, pp. 1–4, 2005.
- [18] R. I. Mileham, A.R., Culley, G.W., Owen, G.W., and McIntosh, "Rapid changeover - a prerequisite for responsive manufacture," *Int. J. Oper. Prod. Manag.*, vol. 19, no. 8, pp. 785–96, 1999.
- [19] M. Cakmakci and M. K. Karasu, "Set-up time reduction process and integrated predetermined time system MTM-UAS: A study of application in a large size company of automobile industry," *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 33, no. 3–4, pp. 334–344, 2007.
- [20] M. Sugai and V. Omizolo, "SETUP CONFORME CARACTERÍSTICAS DO PERÍODO DE ACELERAÇÃO," 1992.
- [21] M. P. Reik, R. I. McIntosh, S. J. Culley, A. R. Mileham, and G. W. Owen, "A formal design for changeover methodology. Part 2: theory and background," *Proc. Inst. Mech. Eng. Part B J. Eng. Manuf.*, vol. 220, no. 8, pp. 1225–1235, 2006.
- [22] M. Reik, G. Owen, S. Cully, R. McIntosh, and T. Mileham, "Integrating product and manufacturing systems design to minimise changeover losses," *Iced 07*, no. August, pp. 1–9, 2007.
- [23] R. I. McIntosh, S. J. Culley, A. R. Mileham, and G. W. Owen, "Changeover improvement: A maintenance perspective," *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 73, no. 2, pp. 153–163, 2001.
- [24] G. W. Mileham, A. R., Culley, S. J., McIntosh, R. I. and Owen, "The development of a design for changeover methodology," in *In: International Forum on DFMA, 2002-01-01*, 2002.

- [25] M. Reik, R. McIntosh, G. Owen, A. R. Mileham, and S. Culley, "Design for Changeover (DFC)," *Mass Cust. Challenges Solut.*, pp. 111–136, 2006.
- [26] G. W. Owen, J. Matthews, R. I. McIntosh, and S. J. Culley, "Design for Changeover (DFC): enabling flexible and highly responsive manufacturing," pp. 247–273, 2011.
- [27] G. R. G. Götz, P. Stich, J. Backhaus, "Design Approach for the Development of Format-Flexible Packaging Machines," vol. 10, no. 1, pp. 108–117, 2016.



CONGRESO INTERNACIONAL DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA



CONFERENCIA NACIONAL
DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

ELECTRÓNICA Y BIOINSTRUMENTACIÓN

OEyB1- Ciberseguridad, en la Industria Aeroespacial

Verónica Quintero-Rosas¹, Carlos H. López¹, Claudia Martínez-Castillo¹, Francisco Ibañez-Salas¹, Miguel A. Muñoz-López²

¹Instituto Tecnológico de Mexicali,
Av. Tecnológico s/n Col. Elías Calles, Mexicali B.C., México
veronicaquintero@itmexicali.edu.mx

²Centro de Bachillerato Tecnológico Industrial y de Servicios No. 21,

Calzada Cuauhtémoc y Rio Elota s/n , Col Santa María, C. P. 21240, Mexicali B.C., México

Resumen. - *El desarrollo industrial ha tenido un crecimiento muy grande en los últimos años, debido a los saltos tecnológicos que se han desarrollado; y son tan enormes, que todo el proceso es etiquetado como la Cuarta Revolución Industrial. A la que a menudo se hace referencia como Industria 4.0. La industria Aeroespacial no ha sido la excepción, en México se ha incrementado en los últimos años los productos y servicios que se ofrecen en el país; incluyen componentes del sistema de propulsión, aeroestructuras, componentes de los sistemas de aterrizaje, sistemas de frenado, piezas de moldeo por inyección de plástico, partes eléctricas y electrónicas, diseño y servicios de ingeniería e interiores de aviones, entre otras. Hasta el día de hoy la mayoría de la industria aeroespacial no estaba conectada con el mundo exterior, por lo que la seguridad era más robusta. Con las nuevas tecnologías, ahora es necesario proteger tanto los instrumentos, el control, los programas numéricos de los robots; además de toda la plataforma de software de todo el corporativo. Debido a la gran penetración que tienen los equipos automatizados en la industria aeroespacial, principalmente en la asistencia para realizar tareas que resultan de alto riesgo para una persona; pero que requieren de la destreza humana para llevarse a cabo, la seguridad se considera un punto de mucha importancia a desarrollar. El objetivo de este trabajo, es analizar los robots de inserción automática mediante un algoritmo recurrente de seguridad y sistemas ciberfísicos de forma embebida. Es importante resaltar que la nueva industria aeroespacial, es ahora una e-industria automatizada; donde el internet táctil, los sistemas ciberfísicos y las aplicaciones basadas en la nube son una realidad. La caracterización se basa en sensores, un sistema de control y un sistema de comunicación interactuando con procesos de producción, protegiendo el buen funcionamiento todo el sistema industrial.*

Palabras clave: Industria Aeroespacial; Seguridad; Sistemas Ciberfísicos; Procesos de manufactura

Abstract. - *The industrial development has had a very great growth in the last years, due to the technological leaps that have been developed; and are so huge, that the whole process is labeled as the Fourth Industrial Revolution. This is often referred to as Industry 4.0. The aerospace industry has not been the exception, in Mexico it has increased in the last years. The products and services offered in the country include components of the propulsion system, aerostructures, landing system components, braking systems, plastic injection molding parts, electrical and electronic parts, engineering and interior design and services of airplanes, among others. To this day most of the aerospace industry was not connected to the outside world, so security was more robust. With the new technologies now it is necessary to protect both of instruments, the control, and*

numerical programs of the robots; In addition to the entire software platform of the entire corporation. Due to the high penetration of automated equipment in the aerospace industry, mainly in the assistance to perform tasks that are high risk for a person; but require the human skill to perform, safety during the use of this type of equipment is considered a very important point to develop. The objective of this work is to analyze the robots of automatic insertion, by means of a recurrent algorithm of security and cyber physical systems of embedded form. It is important to note that the new aerospace industry is now an automated e-industry; where the internet touch, cybernetic systems and cloud-based applications are a reality. The characterization is based on sensors, a control system and a communication system interacting with production processes, protecting the good functioning of the entire industrial system.

Key words: Aerospace industry; Security; Cyber physical Systems; Manufacture process

1. Introducción

Cuando se decide sustituir a una persona por una máquina, para realizar determinado proceso; consecuentemente se pierde uno de los hechos en seguridad más importantes, la toma de decisiones desde la perspectiva humana. Para asegurar las ventajas de la utilización de sistemas robotizados sin perder puntos en seguridad, podemos optar por la creación de algoritmos que utilicen sensores que monitoreen tanto el buen funcionamiento del robot, la producción en tiempo y forma; pero también la seguridad de los operarios en cambios de modelo, en mantenimientos correctivos o preventivos, en la creación de productos prototipos donde los ingenieros y operarios deben monitorear de cerca el nuevo producto [1]. La industria aeroespacial en México [2], tiene una inversión de más de 1,260 millones de dólares durante el 2016. Simplemente la fabricación de partes de una aeronave, hay más de 300 empresas aeroespaciales (figura 1), tales como Safran, con dos plantas en Querétaro y Chihuahua, Spectrum, Honeywell Aer. y UTC, en Mexicali así como Dishon en Querétaro y Craft Avia en Guadalajara.

Esta investigación se basó en el crecimiento de esta industria a nivel mundial, y su relación con la seguridad que repercute en el producto y el buen funcionamiento general de la planta; sin olvidar la integridad del personal.



Figura 1. Industrias aeroespaciales, operando en México. (Fuente: Dirección general de industrias Pesadas y alta tecnología de México y SCT-FEMIA)

Debido a la complejidad de dispositivos mecánicos relacionando sensores para la protección de los operarios, se utilizan los sistemas CPS (ciberfísicos) [3]. Este artículo propone controlar mediante un sistema ciberfísico, la utilización de servomecanismos utilizados en procesos automatizados; dando seguimiento del proceso y el monitoreo general del sistema para definir la acción a tomar.

2. Trabajo relacionado

Existen algunas investigaciones [4], donde la dinámica de transición de los robots industriales puede tener respuestas estocásticas, lo que dificulta la mejor acción que debe tomar cada robot en un momento determinado. Los modelos de observación, como los sensores que dotan de vista al robot pueden ser parciales; lo que significa que el conocimiento determinista del estado del equipo a menudo es imposible de alcanzar.

Además, las acciones de cada robot pueden tener una tasa de éxito asociada a las aplicaciones que requieren incertidumbre, independientemente de los algoritmos de aprendizaje que puedan ser utilizados. En los sistemas ciberfísicos, los brazos robóticos en líneas de ensamblaje conocidos como SCARA[5]; son programados para realizar una tarea repetitiva, pero igual que a un brazo robótico común se le puede integrar un sensor Kinect [6] para obtener un sistema embebido [8]

en búsqueda de una respuesta en tiempo real; puede tener sensores para dotar de vista, sensores de proximidad entre otros, sin embargo la seguridad se resalta en el capítulo 4 de este documento.

3. Algoritmo propuesto

Este caso de estudio se basó en los procesos de auto inserción, los cuales son (figura 2) [13] [14]:

1. *Ey* (Eyelets): Inserción de un ojal donde se implantaran componentes grandes, en la placa.
2. *Jmp* (Jumper): Inserción de un hilo de oro que unirá pistas o nodos, el cual puede correr en el eje x o y, de las placas.
3. *Ax* (Axial): Inserción de componentes básicos como resistencias, capacitores, transistores etc. Este toma componentes con terminales axiales de los carretes que se alimentan en las cabezas de dispensación.
4. *Rx* (Radial): Inserción de componentes radiales como potenciómetros, diodos etc. Su longitud de remache es 1.2-2.2m m ajustable, con un grado de remache de 10-35°.
5. *Smt* (Tecnología de montaje superficial). Montaje de circuitos integrados, para soldar mediante la máquina de olas.

Los robots utilizados en esta investigación son de modelo [15]:

- a) SONY (*Ey*,*Jmp*)
- b) EPSON (*Rx*,*Ax*)
- c) MITSUBISHI (*smt*).

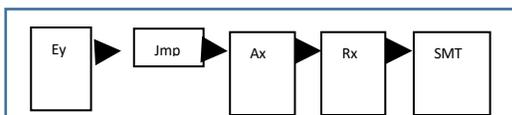


Figura 2. Procesos de auto inserción.

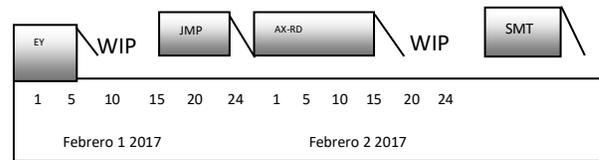


Figura 3. Lote piloto, estudio con 85 piezas y tiempos de proceso antes de aplicar algoritmo

Se requiere calibración adicional para el mapeo entre los procesos, y las trayectorias que tomara el modelo a fabricar. Para esto se formuló un algoritmo de planificación y aprendizaje, ya que la configuración en la producción aeroespacial es muy cambiante y demandante. Se consideró un escenario virtual, para decidir su próxima mejor acción (es decir rutas de proceso, reconfiguración de celdas, reprogramación de producción etc.). Las decisiones tomadas por el algoritmo de planificación pueden ser intuitivas, para la percepción de ruta de inserción en los componentes, definición de organización de producción, reducción del wip (work in process) entre otras. Este algoritmo autónomo de planificación (figura 4) toma una serie de acciones que resultan en un conjunto de tareas. Está definido por el escenario virtual $S(0)$ en una distribución de estados $S(0) = x(S)$. Dado el escenario actual $S(1)$ donde, a es la acción, z es la respuesta (tabla 1).

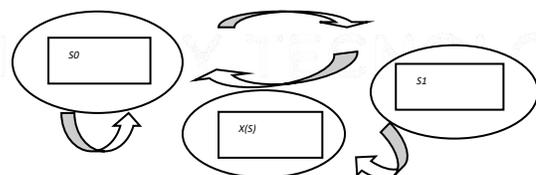


Figura 4. Algoritmo de planificación

Tabla 1. Tabla de transiciones del comportamiento del algoritmo

	a X=0	a X=1	z
S0	SO (00)	S1 (01)	0
S1	SO (00)	X(S) (11)	0
X(S)	SO (00)	X(S) (11)	1

Al implementar este algoritmo en un modelo igual a 85 piezas de producción (figura 3), se obtuvo una reducción de tiempo considerable a 9.3 horas (figura 5).

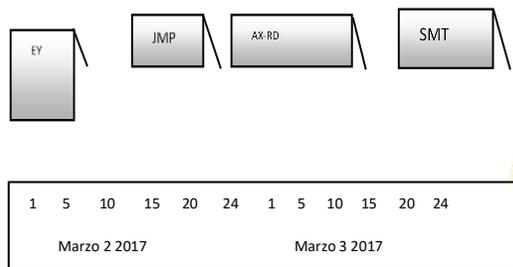


Figura 5. Lote piloto, después de aplicar algoritmo.

La tecnología ciberfísica [16] demuestra una nueva forma de comunicación y colaboración en los distintos equipos de software y hardware en tiempo real, dando interconexión de plan de producción, diseño, fabricación y destino final del producto. Es importante resaltar la técnica por retroalimentación de estados y a su vez se compara los resultados con un controlador que tiene el plan esperado (producción, robots, materiales, programas); es decir un controlador x , con retroalimentación de salida o estados, el cual garantiza que el sistema en lazo cerrado se encuentre en el estado próximo requerido. Para ello se utilizaron diferentes componentes físicos (sensores) tanto en software (programas verificadores) como hardware (transductores) de forma integral e interactuando para detectar y controlar en tiempo real el estado cambiante del plan de producción, y así asegurar todo el proceso. Es una aplicación embebida ubicua [17], en la cual se comparte lo físico con lo virtual para comunicar, diagnosticar, almacenar e interconectar multifactorialmente todo el proceso de manera sistemática.

4. Riesgos cibernéticos

Existe un gusano informático llamado Stuxnet [18], descubierto en 2010 que afecta equipos de Windows, descubierto por BlokAda, una empresa de seguridad ubicada en Bielo Rusia. Este gusano es capaz de reprogramar controladores lógicos programables, y ocultar los cambios realizados. Fue descubierto al atacar plantas de desarrollo nuclear de Irán, y es capaz de reprogramar sistemas industriales, tal como los sistemas SCADA [11], de control y monitorización de procesos, además de sistemas reprogramables PLC [19]. Respecto a los algoritmos criptográficos [20], estos son basados en estructuras algebraicas de anillos de tipo no conmutativa, por lo que los procesadores depuran algoritmos pequeños que no afectan a el sistema y esto los hace más seguros; además de trabajar en conjunto con hardware para proteger las redes industriales [9]. Sin embargo el uso de las nuevas tecnologías como el computo ubicuo, el internet de las cosas [21], y la inteligencia ambiental permiten el monitoreo remoto, verificar cada acción robotizada, componente insertado y cada material utilizado se vea reflejado en la salida de la base de datos del departamento de compras y todo concuerde con el plan establecido de manufactura [10]. Esta nueva era industrial debe tener mecanismos invisibles con integración de múltiples tecnologías, pero robustas en el área de seguridad; sin olvidar la adaptabilidad y rápido tiempo de respuesta.

5. Caso de estudio

En nuestro caso de estudio, la prueba piloto se realizó en un corporativo con protocolo de Ethernet industrial [22]. El cual se especifica en el área de producción. Donde se aplican estrictas normas debido a entornos de fabricación, que pueden contener altos índices de electromagnetismo (interferencia), utilización de turbinas, grados no controlados de temperatura y humedad etc. Estos protocolos son robustos respecto a su dedicación en el control, seguridad y automatización. Este experimento se basa en 85 circuitos ensamblados de instrumentación de

navegación aeroespacial [12], (figura 3) al que llamaremos m (85). La capacidad de inserción de las maquinas es el siguiente: Ey 200 cpm (componentes por minuto), Jmp 170 cmp, Rd 90 cmp, Ax 95 cmp, Smt 35000 velocidad de aplicación. Esta capacidad varía dependiendo del modelo a ejecutar y los tipos de cabezales que utilizan los robots. Los atributos del programa que utilizaran estos robots están dados por un software donde se mezclan las características del componente a insertar (x) y la coordenada $\phi(x, y)$ donde este debe ir puesto (z). El tiempo estimado para esta prueba piloto en cada proceso es de un minuto por cada proceso, tomando en consideración los traslados físicos que tiene que hacer el operador de un proceso a otro (tabla 2).

Tabla 2. Tabla de tiempo total por proceso

Test Piloto	Master Planing	Proceso	Tiempo Requerido	Tiempo RealRetraso	Tiempo Total
85	2 hrs	EY	1	0.85	1.35
		JMP	1	1.25	2.15
		RD	1	2.3	3.3
		AX	1	2.2	3.5
		SMT	1	3	5

Tomando en consideración que la prueba piloto inicial sin la aplicación del algoritmo de seguridad, su total es de 23 minutos, logro reducirse a 15.3 minutos, dado por la siguiente ecuación (1) de configuración del algoritmo.

$$\begin{bmatrix} Ey_m \\ Jmp_m \\ Ax, Rd_m \\ SMT \\ A_{dis} \end{bmatrix} = T_R(x, z, \phi)^m T_{Re}(x_m, z_m, \phi_m) \begin{bmatrix} m \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

El trabajo en paralelo del algoritmo, define los atributos a seguir en el siguiente proceso; dado que TR es el tiempo requerido y TRe es el tiempo real.

La integración define una mejora continua, porque al definir un proceso este se encuentra visualizado no solo en el plan de producción; también en el monitor de cada robot lo que permite una mejor comunicación a todas las áreas involucradas desde técnicos, operadores, supervisores etc. Sin embargo existe un problema con la actividad del scrap (deshechos de ensamble o el mismo producto manufacturado al que se le

encuentra defecto) y su retroalimentación con el almacenamiento distribuido (A_{dis}) para ser transmitida, operada, compartida en la nube y finalmente almacenada. Esto se da mediante una red de sensores inalámbrica de alta complejidad [23]. Sin embargo dio un resultado favorable respecto a WIP (inventario de material en piso de producción, work in process). En la figura 6 se muestra la relación antes de la aplicación del sistema al experimento piloto de 85 circuitos. Y en la figura 7 se muestra el resultado con la aplicación del algoritmo a todo el sistema, puede verse claramente que mejora relativamente tanto en el problema de scrap como de trabajo en proceso (wip), sin embargo es necesario hacer ajustes para la reducción de ambos.

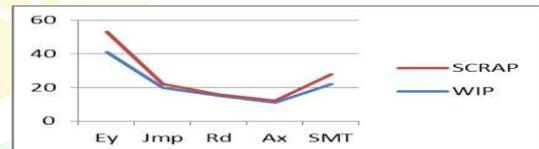


Figura 6. Comportamiento antes de la aplicación del algoritmo

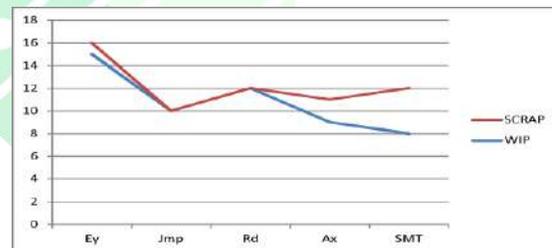


Figura 7. Comportamiento después de la aplicación del algoritmo

Es importante resaltar que no solo se protegió al sistema, sino que también hubo una mejora a todo el sistema de producción. El uso de diferentes protocolos utilizados en la industria, para el control de dicha automatización en tiempo real, debe tener funciones de seguridad (autenticación) y cifrado. El protocolo utilizado en la prueba piloto para los diferentes departamentos, es DNP3 (Protocolo de red distribuida) [24], el cual se utiliza para la comunicación entre equipos inteligentes y estaciones controladoras. La seguridad y la

compatibilidad son muy importantes en este protocolo, ya que depende del correcto funcionamiento del sistema de control utilizando técnicas intrusivas. Utiliza encapsulamiento y fragmentos en el nivel de aplicación (mensajes), los cuales se consideran segmentos (transporte) y tramas en el nivel enlace. Es necesario hacer un estudio más profundo respecto a nuestro caso de estudio, ya que el algoritmo propuesto solo fue experimentado en el área de auto inserción. Aunque fue relacionado con el plan maestro de producción, departamento de compras, materiales, ingeniería y mantenimiento, este debe tener más experimentación con más departamentos incluyendo envíos y embarques. Se debe tener en consideración que lo concerniente a seguridad generalmente es un sistema de lazo cerrado, por esa razón la configuración es única; pero al enlazarlo con monitoreo externo donde intervienen dispositivos inteligentes nos convierte vulnerables, respecto a ataques cibernéticos. Es por tal razón que en Estados Unidos se estableció un marco de referencia (NIST) [25], se basa en identificar, proteger, detectar, responder y recuperar. Define que cada nodo de red sea invulnerable a ataques cibernéticos en la industria, ya que no es posible proteger con las infraestructuras de control de métodos tradicionales.

Debido al complejo proceso industrial aeroespacial [26] donde existen cambios e interrupciones del producto final, los cuales deben ser re planificados y reprogramados en todas las áreas. La forma de trabajar en la industria aeroespacial está cambiando, anteriormente los componentes de los robots industriales solo se sustituía cuando este dejaba de trabajar o tenía fallos, hoy día los componentes siguen siendo distribuidos; pero no aislados, donde ellos mismos pueden enviar mensajes de estatus de funcionamiento, actualizaciones, reemplazamiento etc. La comunicación es ahora de tipo heterogénea y propietaria a la vez, ya que existe una comunicación entre miles de dispositivos, software y usuarios los cuales deben

tener un sistema de identificación y autenticación. Se deben tener mecanismos de evaluación de riesgos, no solo para la demanda de producción (en tiempo y forma), también es importante definir un sistema de fallos, una auto calibración del sistema general de protección y una planificación de seguridad. Las capas de protección (figura 8) que utilizamos en este caso de estudio fueron básicamente tres: 1.

Condiciones: Status de los robots, del material etc. para visualizar si se encuentra todo lo físico disponible para su ejecución. 2.

Parámetros pilotos: Si las condiciones son las adecuadas entonces se programan los parámetros a cada robot. 3. *Token*

centinela: Este algoritmo, verifica si los puertos de los diferentes procesos corresponde al parámetro dado. Si existe un desfase o desincronización, este lo ajusta en los tiempos de salida para reprogramar el plan de producción en tiempo real.

```

sensor_Ey = analogRead(A0);
sensor_Jmp = analogRead(A2);
sensor_Rd = analogRead(A4);

On_Ey = analogRead(A0);
On_Jmp = analogRead(A4);

float volEy = sensor_Ey * (5.0 / 1023.0);

```

Figura 8. Pseudocódigo del token centinela (código arduino[27])

6. Conclusiones

A pesar del gran avance y de las iniciativas del grupo de defensa industrial, según el Departamento de Defensa en su base industrial (DIIG) [28], se encuentra en fase de investigación; para proporcionar un análisis oportuno y en profundidad sobre las cuestiones críticas industriales. Es importante resaltar que la nueva industria aeroespacial es ahora una @-industria automatizada, donde el internet táctil [29], los sistemas ciberfísicos y las aplicaciones basadas en la nube son una realidad. Es necesario hacer más investigación, ya que la tradicional forma de producir y manufacturar deberá adaptarse a los

avances tecnológicos. En este artículo solo se verifico el área de auto inserción y solo en su fase de los procesos básicos (Ey, Jmp, Rd, Ax, Smt) y en su proceso de planeación, cambios de ingeniería y materiales. Hace falta profundizar y enlazar estos algoritmos de seguridad a los procesos anteriores y posteriores para que esto sea realmente un sistema ubicuo de ciber seguridad [30]. El control automático e inteligente de todos los procesos con conexión directa a internet puede perturbar el control y funcionamiento general de toda una industria. Los candados de seguridad para Plcs, robots, base de datos, no deben trabajar individualmente; deben trabajar como un universo de candados de seguridad con mecanismos multifuncionales que protejan tanto a software como hardware.

Referencias

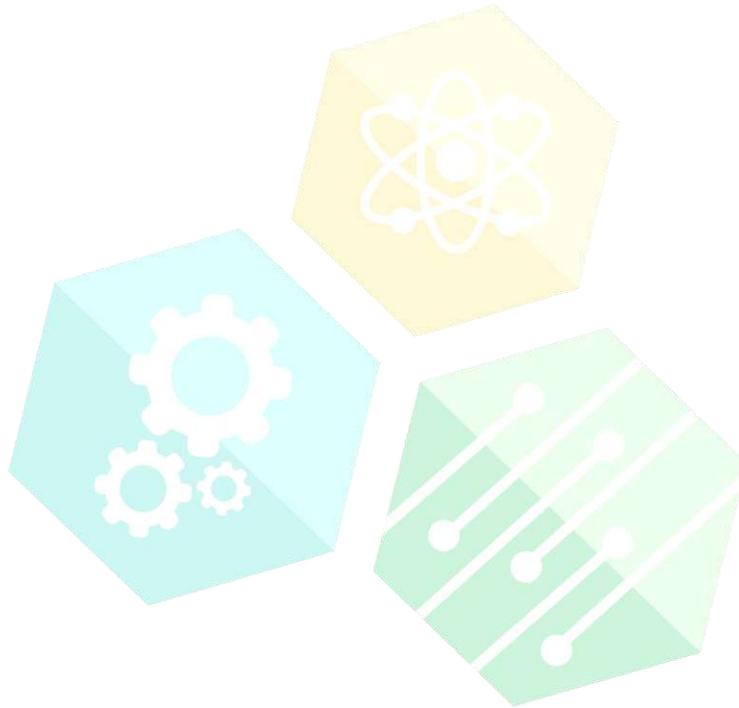
- [1] Arantxa Renteria, *Robótica Industrial Fundamentos y aplicaciones*, ISBN-10: 8448128192
- [2] Federación mexicana de la industria aeroespacial. Disponible en: <http://www.femia.com.mx/>.
- [3] Fei Hu. *Cyber-Physical Systems: "Integrated Computing and Engineering Design"*. ISBN-13: 978-1466577008
- [4] James Perlberg, *"Industrial Robotics"*. ISBN-13: 978-1133610991
- [5] Jain Ravi Kant, *Robotic Assembly Using Ipmc for Compliance in Scara & 4-Bar Mechanism*. ISBN-13 9783639517644
- [6] PillajoC. *"Human Machine Interface HMI Using Kinect Sensor to control a SCARA Robot."* 2013
- [7] Derek Molloy, *Exploring BeagleBone: Tools and Techniques for Building with Embedded Linux*. ISBN-13: 978-1118935125
- [8] Edward Ashford Lee and Sanjit Arunkumar Seshia. *Introduction to Embedded Systems - A Cyber-Physical Systems Approach*. ISBN-13: 978-0557708574
- [9] Maciej Kranz, *Building the Internet of Things: Implement New Business Models, Disrupt Competitors, Transform Your Industry*. ISBN-13: 978-1119285663
- [10] Rajkumar Buyya, *Internet of Things: Principles and Paradigms*. ISBN-13: 978-0128053959
- [11] Stuart G McCrady, *Designing SCADA Application Software: A Practical Approach*. ISBN-13: 978-0124170001
- [12] Heiko Meyer, *Manufacturing Execution Systems (MES): Optimal Design, Planning, and Deployment (Mechanical Engineering)*. ISBN-13: 978-0071623834
- [13] Alfredo Roca. *Control automático de procesos industriales*. ISBN-10: 3847364537
- [14] Peter Belobaba, *The Global Airline Industry (Aerospace Series)*. ISBN-13: 978-1118881170
- [15] Jerzy Sasiadek, *Aerospace Robotics: Selected Papers from I Conference on Robotics in Aeronautics and Astronautics*. ISBN-13: 978-3642340192
- [16] Sang C. Suh, U. John Tanik, John N Carbone, Abdullah Eroglu. *"Applied Cyber-Physical Systems"*. ISBN-13: 978-1461473350
- [17] Janna Quitney Anderson, *Ubiquity, Mobility, Security: The Future of the Internet*. ISBN-13: 978-1604976151
- [18] Fred Kaplan, *Dark Territory: The Secret History of Cyber War*. ISBN-13: 978-1476763262
- [19] Kevin Collins. *Introduction to PLCs: A beginner's guide to Programmable Logic*. ISBN-13: 978-1846855986
- [20] Jonathan Katz, *Introduction to Modern Cryptography*, Second Edition. ISBN-13: 978-1466570269
- [21] Zuehlke, D., *SmartFactory. Towards a Factory-of-Things*, volumen34, ISSN 1367-5788
- [22] Perry S. Marshall, *Industrial Ethernet*, Second Edition. ISBN-13: 978-1556178924
- [23] Jimena Garbarino. *Protocolos para Redes Inalámbricas de Sensores: Conciencia de energía y técnicas de diseminación en protocolos de red para redes inalámbricas de sensores*. ISBN-13: 978-3847361671
- [24] Gordon Clarke, *Practical Modern SCADA Protocols: DNP3, 60870.5 and Related Systems*. ISBN-13: 978-0750657990
- [25] Isaca T. *Implementing the NIST Cybersecurity Framework*. ISBN-13: 978-1604203578
- [26] Dimitar Nedialkov, *Aircraft Manufacture in Bulgaria*. ISBN-13: 978-9549242614

[27] Claus K. Hnel. *Arduino*. ISBN-13: 978-3907857168

[28] Página Federal.
<https://www.csis.org/programs/international-security-program/defense-industrial-initiatives-group>

[29] Abdelhamied A. Ateya, *Multilevel cloud based Tactile Internet system*. Publicado en *Advanced Communication Technology (ICTACT)*, 2017 19th International Conference on, IEEE.

[30] F. Macias. *Computación ubicua*. ISBN-13: 978-847908911



CONGRESO INTERNACIONAL DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

OEyB2- Diseño de Control Óptimo para el Péndulo de Furuta

Jován Oseas Mérida Rubio¹, Paúl Alejandro Chávez Vázquez¹, Luis Nestor Coria de los Ríos², Carlos Alberto Chávez Guzmán³

¹Universidad Autónoma de Baja California - Escuela de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología, Blvd Universitario 1000, Unidad Valle de Las Palmas, 22260 Tijuana, B. C., jován.merida@uabc.edu.mx

²Tecnológico Nacional de México – Instituto Tecnológico de Tijuana, Calzada del Tecnológico S/N, Tomas Aquino, 22414 Tijuana, B. C., luis.coria@gmail.com

³Universidad Autónoma de Baja California – Facultad de Ingeniería y Negocios Tecate, Blvd. Universidad, La Viñita, 21460 Tecate, B. C., cchavez@uabc.edu.mx

Resumen. - En este artículo se aborda el diseño de un controlador para el péndulo de Furuta, que es un sistema subactuado, no lineal y altamente inestable, lo cual lo hace un reto tanto científico, como tecnológico. Este sistema es a menudo utilizado en el dominio de la teoría de control ya que ayuda entender conceptos de control de mecanismos. Las dinámicas que presenta el péndulo de Furuta pueden ser encontradas en diversos sistemas físicos de alta relevancia, tales como: robots de dos llantas, transportadores personales Segway, propulsores de cohetes, controles de vuelo, etc. El objetivo es resolver el problema de estabilización en la posición invertida inestable del péndulo mediante un controlador óptimo, haciendo uso del modelo dinámico del péndulo fabricado por Quanser®. Un regulador óptimo cuadrático fue diseñado, tal que, el sistema no perturbado es estable alrededor de la posición invertida inestable, mientras que la energía de la señal de entrada es apropiada. La existencia de las soluciones propias de la ecuación algebraica de Riccati aseguran estabilizabilidad y detectabilidad del sistema y éstas implican que el sistema en lazo cerrado es estable. Los resultados muestran que el controlador cumple satisfactoriamente los requerimientos de diseño del sistema. Como trabajo futuro queda por resolver el problema de control de balanceo y estabilización del péndulo mediante una estrategia de control híbrido.

Palabras clave: Control Óptimo; Péndulo de Furuta; Sistema Subactuado; Electrónica e Instrumentación.

Abstract. – In this article, we discuss the design of a controller for the Furuta pendulum, which is a subactuated, nonlinear and highly unstable system, which makes it a scientific and technological challenge. This system is often used in the domain of control theory as it helps to understand concepts of control mechanisms. The dynamics of the Furuta pendulum can be found in several high-profile physical systems, such as: two-wheel robots, Segway, personal transporters, rocket propellers, flight controls, etc. The objective is to solve the stabilization problem in the unstable inverted position of the pendulum using an optimal controller, making use of the dynamic model of the pendulum manufactured by Quanser®. A linear quadratic regulator was designed, such that the undisturbed system is stable around the unstable inverted position, while the input signal energy is appropriate. The existence of the solutions of Riccati's algebraic equation assure stabilization and detectability of the system and imply that the closed-loop system is stable. The results show that the controller satisfies the design requirements of the system. As a future work, the problem of balance control and stabilization of the pendulum is solved through a hybrid control strategy.

Key words: Optimal Control; Furuta Pendulum; Subactuated Systems; Electronic and Instrumentation.

1. Introducción

La mayoría de los sistemas físicos existentes son no lineales, por lo cual el diseño de controladores avanzados es importante para su aplicación en el mundo real. Dentro de los sistemas no lineales, existen los sistemas subactuados cuyo número de entradas de control es menor a los grados libertad del sistema.

El diseño de control de los sistemas de subactuados [1–2] es de gran interés y se vuelve más popular, debido a que la utilización de un menor número de actuadores es un importante reto tanto científico como tecnológico. En este artículo se trabajará con el péndulo de Furuta que es la representación más típica para los sistemas subactuados. Este es uno de los péndulos con dos grados de libertad más complejo y difícil de controlar. El péndulo de Furuta consiste en un mecanismo de dos enlaces, uno de los cuales (llamado brazo) cuenta con un motor, el cual le permite girar en un plano horizontal, este a su vez es utilizado para controlar el movimiento libre del segundo enlace (péndulo), el cual se encuentra colocado en un extremo del brazo y su eje de giro es colineal al eje axial del brazo, realizando un giro en un plano perpendicular al movimiento del brazo. Diversas aplicaciones presentan dinámicas similares, tales como: control de aeronaves, vehículos bajo el agua, propulsores de cohete y robots de dos llantas [3].

El objetivo es resolver el problema de estabilización en la posición invertida inestable.

2. Modelo dinámico y definición del problema

2.1 Modelo Dinámico

El modelo no-lineal de la parte mecánica es obtenido a través de las ecuaciones de Euler-Lagrange como sigue [4]:

$$\left(m_p L_r^2 + \frac{1}{4} m_p L_p^2 - \frac{1}{4} m_p L_p^2 \cos^2(\alpha) + J_r \right) \ddot{\theta} - \frac{1}{2} m_p L_p L_r \cos(\alpha) \ddot{\alpha} + \frac{1}{2} m_p L_p^2 \text{sen}(\alpha) \cos(\alpha) \dot{\alpha} \dot{\theta} + \frac{1}{2} m_p L_p L_r \text{sen}(\alpha) \dot{\alpha}^2 = \tau - B_r \dot{\theta} \quad (1)$$

$$-\frac{1}{2} m_p L_p L_r \cos(\alpha) \ddot{\theta} + \left(\frac{1}{4} m_p L_p^2 + J_p \right) \ddot{\alpha} - \frac{1}{4} m_p L_p^2 \text{sen}(\alpha) \cos(\alpha) \dot{\theta}^2 - \frac{1}{2} m_p L_p g \text{sen}(\alpha) = -B_p \dot{\alpha} \quad (2)$$

donde el brazo tiene una longitud L_r , un momento de inercia J_r , un ángulo θ , una fricción viscosa B_r , u es el voltaje aplicado al servomotor, el péndulo tiene una longitud L_p , un momento de inercia J_p , una masa m_p , un coeficiente de amortiguamiento B_p y un ángulo del péndulo invertido α . $\dot{\theta}$ y $\ddot{\theta}$ representan la primera y segunda derivada temporal. El torque generado por el motor τ es aplicado en la base del brazo rotacional y es descrito por:

$$\tau = \frac{K_g k_t (u - K_g k_m \dot{\theta})}{R_m} \quad (3)$$

donde K_g es la relación de engranaje, k_t la constante de corriente torque del motor, k_m es la constante del motor y R_m es la resistencia del motor.

2.2 Definición del problema

El problema de control de balanceo del péndulo rotacional invertido consiste en diseñar una ley de control, tal que cumpla con los siguientes requerimientos:

La deflexión del ángulo del péndulo cumpla con $|\alpha| < 10$ grados y el valor máximo del voltaje cumpla con $|u| < 10$ V. Las especificaciones anteriores deberán ser satisfechas cuando el brazo rotacional está siguiendo una señal de referencia cuadrada con un ángulo θ de ± 20 grados.

3. Diseño del controlador

3.1 Modelo lineal del péndulo de Furuta

Las ecuaciones de espacio de estados son

$$\begin{aligned} \dot{x} &= Ax + Bu \\ y &= Cx + Du \end{aligned} \quad (4)$$

donde x es el vector de estados, u es la entrada de control, A , B , C y D son las matrices del espacio de estados dadas en ecuación (6).

$$A = \frac{1}{J_T} \begin{bmatrix} 0 & 0 & J_T & 0 \\ 0 & 0 & 0 & J_T \\ 0 & \frac{1}{4}m_p^2 l_p^2 g & \left(-B_r - \frac{K_g^2 k_f k_m}{R_m}\right) \left(J_p + \frac{1}{4}m_p l_p^2\right) & -\frac{1}{2}m_p l_p l_r B_p \\ 0 & \frac{1}{2}m_p l_p g (J_r + m_p l_r^2) & \left(B_r - \frac{K_g^2 k_f k_m}{R_m}\right) \left(\frac{1}{2}m_p l_p l_r\right) & -(J_r + m_p l_r^2) B_p \end{bmatrix}$$

$$B = \frac{1}{J_T} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{K_g k_f}{R_m} \left(J_p + \frac{1}{4}m_p l_p^2\right) \\ \frac{K_g k_f}{2R_m} m_p l_p l_r \end{bmatrix}$$

$$C = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}, D = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (5)$$

3.2 Control lineal óptimo

El controlador está definido como

$$u = -Kx. \quad (6)$$

La ecuación de lazo cerrado del sistema es:

$$\dot{x} = (A - BK)x. \quad (7)$$

Entonces el problema es diseñar el vector de ganancias K tal que $A < BK$ para que el sistema sea estable y que la solución tienda de manera asintótica a la referencia propuesta. El vector K es calculado minimizando la siguiente función de costo:

$$J = \int_0^{\infty} (x^T Q x + u^T R u) dt \quad (8)$$

donde Q y R son matrices para penalizar a las variables de estado y a las acciones de control. Seleccionando Q y R como:

$$Q = \begin{bmatrix} 5.3859 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 86.1741 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, R = 0.0460 \quad (9)$$

por lo tanto el vector de ganancias K es:

$$K = \begin{bmatrix} -10.8206 & 67.2905 & -6.1728 & 7.1159 \end{bmatrix}.$$

(10)

4. Resultados

El brazo del péndulo debe mantenerse en la posición vertical mientras se sigue θ_d . La posición inicial del péndulo es la posición vertical invertida. En la fig. 1 se presenta la entrada de voltaje aplicada.

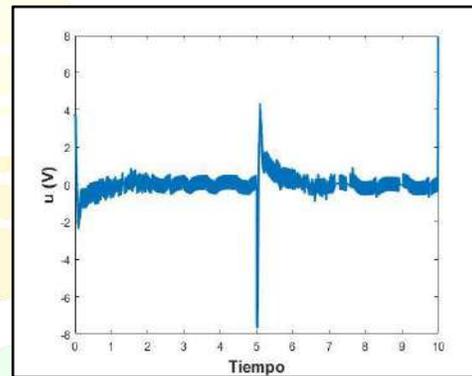


Figura 1. Entrada de control

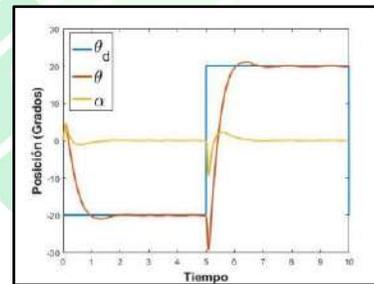


Figura 2. Posición del brazo actuado (θ) y el péndulo (α)

Se observa que la entrada cumple con $|u| < 10$ V. En la figura 2 se presentan la referencia del brazo θ_d y el valor real del mismo θ . Se puede observar que mientras se sigue la referencia de ± 20 grados, el brazo del péndulo se mantiene en su posición vertical cumpliendo con $|\alpha| < 10$ grados.

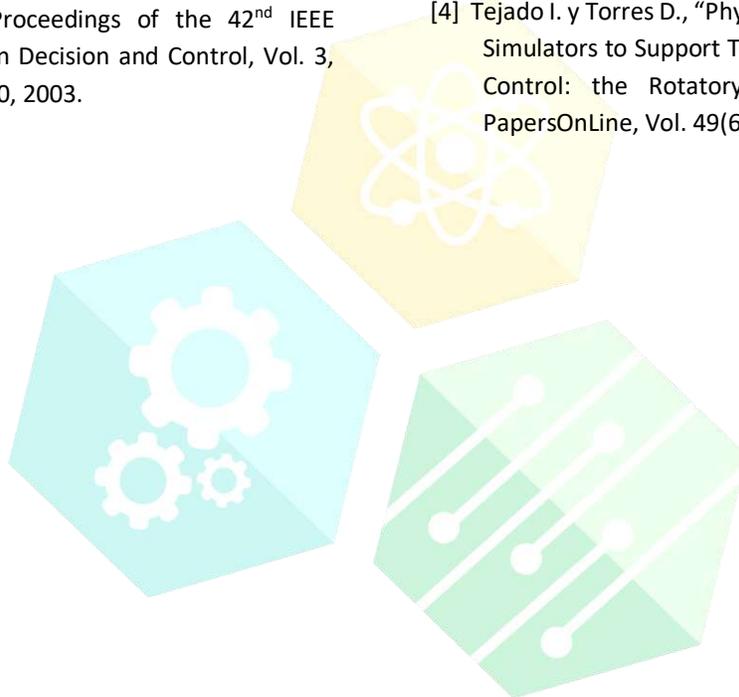
5. Conclusiones

El problema de diseño de un controlador de balanceo para el péndulo invertido rotacional se abordó en este artículo. Se resolvió el problema de

estabilización en la posición invertida inestable del péndulo mientras se sigue la señal de referencia de entrada, mediante el diseño de un controlador lineal cuadrático óptimo. Se cumplieron con las especificaciones de diseño de manera satisfactoria.

Referencias

- [1] Yan Q., "Output Tracking of Underactuated Rotary Inverted Pendulum by Nonlinear Controller", Proceedings of the 42nd IEEE Conference on Decision and Control, Vol. 3, pp. 2395–2400, 2003.
- [2] Reyhanoglu M., Mcclamroch y Kolmanovsky I., "Dynamics and Control of a Class of Underactuated Mechanical Systems", IEEE Trans. on A. C., Vol. 44, pp. 1663–1671, 1999.
- [3] O. Boubaker, "The Inverted Pendulum: A Fundamental Benchmark in Control Theory and Robotics", IEEE International Conference on Education and e-Learning Innovations, pp. 1–6, 2012.
- [4] Tejado I. y Torres D., "Physical Modeling Based Simulators to Support Teaching in Automatic Control: the Rotatory Pendulum", IFAC-PapersOnLine, Vol. 49(6), pp.75–80, 2016.



CONGRESO INTERNACIONAL
DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

OEyB3- Diseño e Implementación de un Microprocesador RISC de 32 bits en una Tarjeta con FPGA y Comunicación Inalámbrica

Geovanni Zepeda Arce¹, Sergio Vergara Limón¹, María Aurora Diozcora Vargas Treviño¹, José Fernando Reyes Cortés¹, David Eduardo Pinto Avedaño¹, Darnes Vilariño Ayala²

¹Facultad de Ciencias de la Electrónica, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. México.

gio140987@gmail.com, svergara2@hotmail.com, auroravargast@hotmail.com,
fernando.reyes@correo.buap.mx

²Facultad de Ciencias de la Computación, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. México.

dpinto@cs.buap.mx, darnes@cs.buap.mx

Resumen. – En este trabajo se presenta el diseño e implementación de un microprocesador RISC de 32 bits con arquitectura Harvard. El microprocesador cuenta con 15 instrucciones las cuales incluyen operaciones aritméticas de punto flotante (suma, resta, multiplicación y división), transferencia de datos y control. Para implementar estas instrucciones el diseño incorpora los módulos de Unidad de Control (CU), Unidad de Punto Flotante (FPU), comparador y controladores de memoria. El diseño de cada elemento del microprocesador se desarrolló con el Lenguaje de Descripción de Hardware de Altera (AHDL). Para la instrumentación del sistema se diseña una tarjeta electrónica que tiene como base un FPGA (Field Programmable Gate Array) de la familia Cyclone IV, una memoria RAM, una ROM y un módulo de interfaz inalámbrica Wi-Fi. Mediante la interfaz inalámbrica se valida el sistema completo, cargando un programa de prueba para ejecutar un algoritmo y visualizar el resultado desde un equipo de cómputo.

Palabras clave: FPGA; Microprocesador RISC de 32 bits; memoria (RAM y ROM); Wi-Fi.

Abstract. - This paper presents the design and implementation of a 32-bit RISC microprocessor with Harvard architecture. The microprocessor has 15 instructions which include floating-point arithmetic operations (addition, subtraction, multiplication and division), data transfer and control. To implement these instructions the design incorporates the Control Unit (CU), Floating Point Unit (FPU), comparator and memory controller modules. Each microprocessor component was designed using the Altera Hardware Description Language (AHDL). For the instrumentation of the system, an electronic card based on a Field Programmable Gate Array (FPGA) of the Cyclone IV family, a RAM memory, a ROM and a Wi-Fi wireless interface module is designed. Using the wireless interface, the entire system is validated, loading a test program to execute an algorithm and displaying the result from a computer.

Key words: FPGA; 32-bit RISC microprocessor; memory (RAM and ROM); Wi-Fi.

1. Introducción

El empleo de FPGAs tiene ciertas ventajas, entre ellas la flexibilidad que se obtiene al desarrollar un prototipo. Un microprocesador o

microcontrolador comercial tiene ciertas funciones que no pueden ser modificadas después de ser adquiridas. En cambio, un FPGA puede ser reprogramado en poco tiempo con las funciones

específicas que requiere un proyecto. Esto da lugar al cómputo reconfigurable, que tiene ciertas ventajas sobre dispositivos con una función fija, por ejemplo reducción de costos, mayor desempeño y confiabilidad, además de la implementación de interfaces especializadas de alta velocidad [1]. Por otra parte, en la actualidad la microelectrónica ha hecho posible desarrollar sistemas completos dentro de un solo circuito integrado SOC (System On Chip), con lo cual se han mejorado de manera notoria características como velocidad, confiabilidad, consumo de potencia y sobre todo el área de diseño [2]. Existen varios microprocesadores RISC empleados en SoC, como lo son: MicroBlaze [3], Nios II [3], entre otros. En este trabajo se presenta el diseño de una arquitectura RISC. Las principales características que presenta una arquitectura RISC [4] son: un limitado y simple conjunto de instrucciones, un gran número de registros de propósito general, un conjunto de instrucciones básicas (Load y Store) que pueden ingresar datos en la memoria, y palabras de instrucciones con extensión y formatos fijos.

2. Arquitectura del microprocesador

El microprocesador de este trabajo tiene una arquitectura basada en MIPS de 32 bits para la ejecución de instrucciones en punto flotante. El microprocesador mostrado en la figura 1, presenta las siguientes características: formato de instrucciones de 32 bits para todas las instrucciones, un conjunto de 16 registros de propósito general de 32 bits, memoria de programa y memoria de datos separada (arquitectura Harvard), una unidad de punto flotante de simple precisión con un comparador para las instrucciones condicionales, una unidad de control, un contador de programa que puede direccionar hasta 1M DWORDS, una memoria de datos que puede direccionar hasta 32 K DWORDS, controladores de memoria, un administrador de puertos para la lectura y escritura de señales externas y un administrador de WiFi para la carga de programas, ejecución de algoritmos y

visualización de resultados desde un equipo de cómputo.

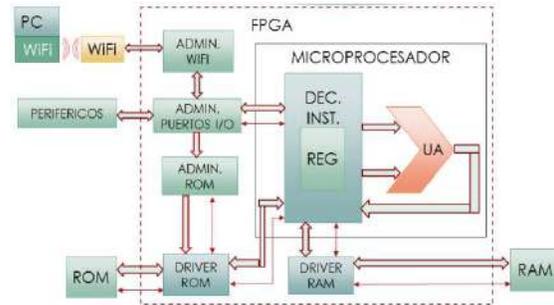


Figura 1. Diagrama a bloques del microprocesador.

2.1 Conjunto de instrucciones.

El conjunto de instrucciones tiene un formato de 32 bits con la que podemos realizar instrucciones con 3 operandos. Básicamente tiene 3 formatos de instrucción que son: formato tipo R, formato tipo I y formato tipo J [5]. Con estos formatos de instrucción se formó un conjunto de 15 instrucciones las cuales me muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Conjunto de instrucciones.

Instrucción	Ejemplo	Significado
MOV	MOV \$R0,\$R1	\$R1=\$R0
MOVC	MOVC \$R2	\$R2=M ROM(PC+4)
MOVRX	MOVRX,\$R3,DIR	\$R3=M RAM(DIR)
MOVXW	MOVWX,\$R4,DIR	M RAM(DIR)=\$R4
RIO	RIO PIN1,\$R5	\$R5=PIN1
WIO	WIO \$R6,POUT1	POUT1=\$R6
ADD	ADD \$R1,\$R2,\$R3	\$R3=\$R1+\$R2
SUB	SUB \$R1,\$R2,\$R3	\$R3=\$R1-\$R2
MUL	MUL \$R1,\$R2,\$R3	\$R3=\$R1*\$R2
DIV	DIV \$R1,\$R2,\$R3	\$R3=\$R1/\$R2
ABS	ABS \$R1,\$R2	\$R2=ABS(\$R1)
C.EQ	C.EQ \$R0,\$R1,L	IF (\$R0==\$R1) SI: (PC=PC+4+L), NO (PC=PC+4)
C.LE	C.LE \$R0,\$R1,L	IF (\$R0<=\$R1) SI: (PC=PC+4+L), NO (PC=PC+4)
C.LT	C.LT \$R0,\$R1,L	IF (\$R0<\$R1) SI: (PC=PC+4+L), NO (PC=PC+4)
JUMP	J 4000	Ir a 4000

Las instrucciones de control o condicionales C.EQ.S, C.LE.S, C.LT.S realizan la comparación de los registros Rt, Rs y saltan si la condición se cumple, si no sigue con la siguiente instrucción. Para hacer saltos sobre todo el mapa de memoria de programa usamos la instrucción Jump la cual dispone de hasta 23 bits para saltar a cualquier localidad de memoria. Las operaciones aritméticas operan con números en punto flotante de simple precisión.

3. Resultados

Para implementar y verificar el correcto funcionamiento del procesador, se diseñó una tarjeta electrónica de 5 capas (mediante el software Altium Designer 16.0), que cuenta con un FPGA de la familia Cyclone IV de 30K elementos lógicos, una memoria de programa tipo FLASH de 32 Mb, una memoria de datos del tipo SRAM de y un módulo de interfaz inalámbrica WiFi (RN-XV), para la descarga, ejecución de algoritmos y visualización de resultados desde una computadora. Para verificar el correcto funcionamiento del procesador se carga a la memoria de programa el conjunto de instrucciones que nos proporciona la tangente hiperbólica de un número real x. La tangente hiperbólica se expresa como se muestra en la ecuación 1.

$$\tanh(x) = \frac{(e^{2x}-1)}{(e^{2x}+1)} \quad (1)$$

Donde la función exponencial se puede expresar en términos de una sumatoria como se muestra en la ecuación 2.

$$e^{2x} = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{2^n x^n}{n!} \quad (2)$$

Como se observa en la ecuación 2, la tangente hiperbólica se calcula de resolver la ecuación 2 y sustituir el resultado en la ecuación 1. Cabe mencionar que hay que elegir el valor entero máximo para n, ya que eso determina lo preciso de nuestro resultado, para nuestro caso se tomó n=10 ya que proporciona un error de una milésimas del valor. En la figura 3 se muestra el resultado de calcular la tangente hiperbólica de 2, visto desde el analizador lógico que proporciona Quartus II. Como se observa en la figura 2 en R0 está el resultado de tanh(2) en punto flotante de simple precisión, que corresponde al valor de 0.96392703 decimal, el cual presenta una milésima de error del valor.

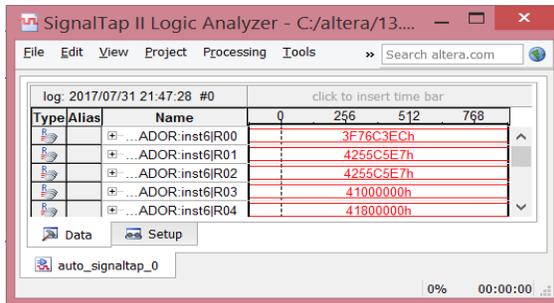


Figura 2. Resultados del cálculo de tanh(2)

[5] Ritpurkar S, Thakare M. Korde D. (2015). Desing and Simulation of 32-bit RISC Architecture Based on MIPS using VHDL. ICACCS.

4. Conclusiones

El microprocesador desarrollado permite resolver diversidad de problemas de forma secuencial suministrando versatilidad en la integración de sistemas digitales complejos, economizando recursos de hardware, esfuerzos de ingeniería y tiempo de desarrollo. Como el sistema procesador se especifica y diseña completamente considerando opciones de diseño particulares, se cuenta con un sistema procesador con cero soportes software y por lo tanto resulta interesante planear como trabajo futuro el desarrollo de un compilador que permita una programación rápida y eficiente.

Referencias

[1] Xilinx, Inc. (1999). VHDL Reference Guide Consultada el 10 de junio de 2017, www.xilinx.com.

[2] Maxinez D., Alcalá J. (2006). VHDL El arte de programar sistemas digitales. México: Continental.

[3] Caysslais R. (2014). Sistemas embebidos en FPGA. México: Alfaomega.

[4] Englander Irv. (2002). Arquitectura computacional. México: CECSA

OEyB4- Tarjeta para Controlar 3 Grados de Libertad de Robots Vía Wifi

José de Jesús Moya Mora¹, Sergio Vergara Limón¹, David Eduardo Pinto Avendaño²

¹Facultad de Ciencias de la Electrónica, Maestría en Ciencias de la Electrónica opción Automatización, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.

Av. San Claudio y 18 Sur S/N C.U. Edif. 109A Col. Jardines de San Manuel, C.P. 72570, Puebla, Pue. México.

moyamora@me.com

²Facultad de Ciencias de la Computación, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Av. San Claudio y 14 Sur S/N C.U. Col. Jardines de San Manuel, C.P. 72570, Puebla, Pue. México.

Resumen. - *El presente trabajo describe el desarrollo de un sistema para controlar un robot de tres grados de libertad utilizando un sistema embebido, la transferencia de información se realiza mediante el protocolo de comunicación WIFI. El robot que se utiliza es el tipo cartesiano. Se hace una descripción del diseño mecánico del robot, así como la obtención del modelo cinemático y dinámico. Se detalla el diseño de un sistema de adquisición, desarrollando un sistema embebido basado en FPGA de la marca altera de la familia Cyclone III el cual cuenta con un controlador interno, así como la interpretación del manejo de las señales del robot y comunicación WIFI, se explica el desarrollo del firmware que realiza el control y como se establece la comunicación. El controlador seleccionado es el de tangente hiperbólica. Dicho controlador es implementado en el firmware con el fin de controlar y analizar el comportamiento del sistema.*

Palabras clave: FPGA, Protocolo de comunicación WIFI, Control Tangente Hiperbólico.

Abstract. - *The present work describes the development of a control system for a three D.O.F cartesian robot using an embedded system where the information transfer is done by the WIFI communication protocol. A description of the mechanical design of the robot is given, as well as the kinematic and dynamic model. It details the design of an acquisition system, developed in FPGA based embedded system of the Altera Cyclone III family, and also the interpretation of the robot signal handling and WIFI communication. In addition, it shows the development of the firmware responsible of the control and communication. Regarding the control, a hiperbolic tangent controller is selected for preliminary results and with these; the cartesian robot can be analyzed and regulated.*

Key words: FPGA, Protocolo de comunicación WIFI, Control Tangente hiperbólico.

1. Introducción

La instrumentación es una disciplina de alto impacto en diferentes aplicaciones, tales como la

física, el control, por mencionar algunas. Es el control una disciplina que a su vez interviene en un sin fin de aplicaciones, como la robótica; Entonces se presenta que diferentes disciplinas

interactúan de diferentes maneras para lograr un mismo fin. [1]

El desarrollo tecnológico o diseño de dispositivos que como en este trabajo se abordará el diseño de una tarjeta de adquisición de datos y control es de una gran complejidad, y prueba de ello es que este tipo de desarrollo es realizado por compañías transnacionales, por lo que el desarrollo tecnológico en países como México es limitado, puesto que partir de una idea o una función determinada que se quiera que realice el dispositivo a diseñar hasta obtener un primer prototipo es una tarea bastante compleja a realizar, debido a que en ciertas áreas de la ciencia la bibliografía o referencias especializada en determinados temas es amplia y en ocasiones bastante rebuscada de manera que no cualquier lector podría deducir como es que funciona algún tema en específico que desee leer, comprender e interpretar, en el caso de desarrollos tecnológicos el acceso a bibliografía o referencias es limitada, debido a que esta información es generada por compañías las cuales comercializan estos desarrollos y que invirtieron en recursos humanos e infraestructura para poder generar estos diseños, es por ello que solo es público un manual de uso o guía de usuario para poder utilizar sus diseños comercializados, pero nunca habrá información que permita a terceras personas realizar un producto similar o basado en su diseño.

Se aborda la problemática de diseño de un sistema de adquisición de datos y control para un robot cartesiano de tres grados de libertad, se analizan las señales que interactúan en el sistema de control del robot, de esta forma se seleccionó los dispositivos electrónicos adecuados para el tratamiento y emisión de estos, además del firmware necesario para el tratamiento, decodificación y emisión de las señales necesarias en el sistema de control. El diseño de tarjetas de adquisición de datos y control tiene una amplia complejidad, por lo que en su mayoría son

desarrollados por compañías transnacionales en las cuales un equipo multidisciplinario realiza los diseños, por esta razón el desarrollar diseños de tarjetas de adquisición de datos en el país permite crear dispositivos que satisfagan las necesidades y técnicas para una aplicación de control, por ello esta tarjeta es de arquitectura abierta y con una comunicación inalámbrica con la PC, lo cual permite la transmisión de datos vía wifi. La creación de una pantalla de usuario utilizando LabView permite la combinación de procesamiento de la PC con la tarjeta diseñada. La tecnología avanza a grandes pasos, por lo que la investigación de dispositivos de última generación se vuelve de vital importancia, es por ello que se presenta la investigación de instrumentación de dispositivos en los FPGA de ALTERA de última generación.

2. Metodología

2.1 Diagrama general del sistema embebido

El sistema embebido desarrollado le permitirá al usuario manipular el robot como el desee mediante un monitoreo de manera inalámbrica vía WIFI. El sistema en general, está compuesto por hardware, firmware y software los cuales se describirán a continuación

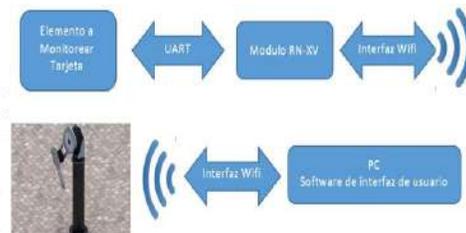


Figura 1. Diagrama general del sistema embebido.

Del diagrama anterior, el elemento a monitorear es la articulación del robot, se obtienen los valores correspondientes a la posición actual y par aplicado, en base al tiempo y a la posición deseada, se calcula el error de posición a lo largo del funcionamiento del sistema. Estos datos son leídos a través de la FPGA y son

enviados a un módulo WIFI mediante el protocolo UART de sus siglas en inglés Universal Asynchronous Receiver Transmitter.

El módulo WIFI es el RN-XV, este dispositivo realizara la tarea de conversión de WIFI a serial y de serial a WIFI. Esta comunicación es bastante atractiva para el usuario ya que se hace compatible con computadoras de escritorio o computadoras portátiles de manera inalámbrica. [2]

La interfaz de usuario se realizará mediante la ayuda del software labview en la cual el usuario tendrá el control del sistema, El sistema tendrá la tarea de interpretar los datos del encoder, inicializar el algoritmo de control, transmitir la posición actual y par aplicado.

La ventaja de este sistema, es que, el algoritmo de control se encuentra dentro de la FPGA mediante firmware, aumentando el tiempo de ejecución del algoritmo de control tomando así datos en tiempo real, puesto que es un hardware dedicado a realizar esa tarea específica.

2.2 Diseño del robot cartesiano

Para poder realizar un control apropiado para nuestro robot, es necesario tener en cuenta el modelo dinámico del mismo, esto nos servirá para analizar su comportamiento, al utilizar diferentes algoritmos de control y de esta manera poder utilizar el presente un mejor desempeño.

El modelo dinámico de nuestro robot, se emplea la metodología de Euler-Lagrange, la cual está ampliamente documentada.

Para ello se muestra la representación geométrica del robot cartesiano de 3 grados de libertad, la cual nos ayuda a visualizar el comportamiento del manipulador.

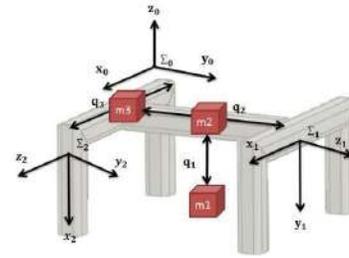


Figura 2. Representación del robot cartesiano de 3 grados de libertad.

Por lo tanto, el modelo dinámico cartesiano está dado por:

$$f_i = \begin{bmatrix} m_1+m_2+m_3 & 0 & 0 \\ 0 & m_2+m_3 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{q}_1 \\ \ddot{q}_2 \\ \ddot{q}_3 \end{bmatrix} + g \begin{bmatrix} m_1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} b_1 & 0 & 0 \\ 0 & b_2 & 0 \\ 0 & 0 & b_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{q}_1 \\ \dot{q}_2 \\ \dot{q}_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} f_{c1} & 0 & 0 \\ 0 & f_{c2} & 0 \\ 0 & 0 & f_{c3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \text{signo}(\dot{q}_1) \\ \text{signo}(\dot{q}_2) \\ \text{signo}(\dot{q}_3) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} f_{c1}+m_1\ddot{q}_1 \\ f_{c2}+m_2\ddot{q}_2 \\ f_{c3}+m_3\ddot{q}_3 \end{bmatrix} \quad (1)$$

En nuestro caso no se cuenta con la matriz de fuerzas centrípetas y de Coriolis, ya que es igual a cero, con respecto a la matriz de inercia cartesiana nosotros contamos con una matriz de masas, mencionada con anterioridad.

Se presenta el robot cartesiano integrado completamente.

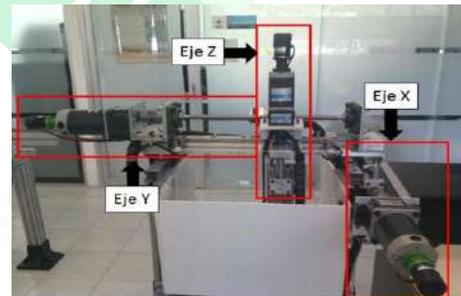


Figura 3. Representación del robot cartesiano de 3 grados de libertad.

2.3 Diseño de la interfaz gráfica para manipular el robot cartesiano de 3 grados de libertad.

Se hará una descripción concreta del software de control de posición, el cual se realizó con el programa de LabView, que es una herramienta que nos permite tener acceso de forma sencilla al

protocolo de comunicación WIFI, permitiéndonos visualizar los datos que se escriben desde la computadora hasta la tarjeta de adquisición de datos.



Figura 4. Representación del robot cartesiano de 3 grados de libertad.

En esta pantalla nosotros podemos visualizar las posiciones deseadas, la ganancia proporcional y derivativa, para cada eje.

Desde esta interfaz podemos inicializar nuestro sistema, cargar un archivo de texto “.txt”, el cual cuenta con el algoritmo de control necesario para poder tener una manipulación de nuestro robot de forma óptima, nos permite ingresar la posición deseada, en la cual nuestro robot llegara a esta posición de forma precisa, la precisión de llegar al punto deseado varía dependiendo de la ley de control que se le aplique al robo.

3. Resultados

Se realizó la caracterización de los motores de dc, para convertirlos en pseudo-servomotores de transmisión directa. Siguiendo la siguiente metodología, primero se determina el voltaje nominal de cada motor, en nuestro caso fue de 12v; Después se hace la búsqueda de ña frecuencia de trabajo de cada motor, la cual nos proporciona la mitad del torque máximo con un ciclo de trabajo de 50%, una vez localizada esta frecuencia se hace un barrido cambiando el porcentaje de ciclo de trabajo para poder analizar su comportamiento, que tiene que ser muy cercano al lineal. De este proceso se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 1: Datos adquiridos del primer motor a una frecuencia de 2.45Khz.

%Ciclo de trabajo del PWM	Torque (Nm)
0	0
10	2.8616
12	3.9494
14	4.3708
16	5.2528
18	5.9976
20	6.4288
22	7.595
24	8.1144
28	9.555
34	10.8192
36	12.348

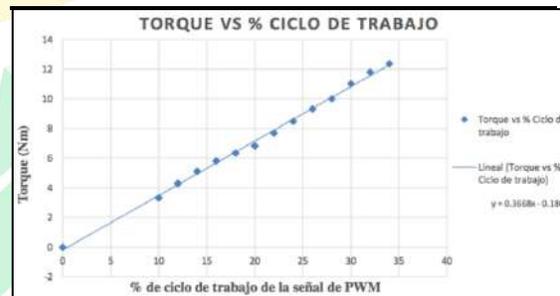


Figura 5. Gráfica de resultados del primer motor, se puede observar la linealidad del motor.

Se caracterizó hasta el 36% del ciclo de trabajo, ya que el servomotor nos proporciona el torque necesario para nuestra aplicación.

Para el segundo motor se obtuvieron los siguientes resultados a una frecuencia de 2.5Khz:

Tabla 2: Datos adquiridos del segundo motor a una frecuencia de 2.5Khz.

%Ciclo de trabajo del PWM	Torque (Nm)
0	0
10	3.3124
12	4.2924
14	5.1058
16	5.8016
18	6.3406
20	6.8208
22	7.68208
24	8.477
26	9.31
28	9.996
31	11.0152
33	11.7992
36	12.348

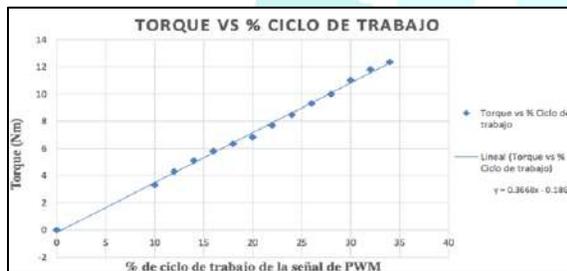


Figura 6. Grafica de resultados del segundo motor, se puede observar la inercialidad del motor.

Finalmente para el tercer motor se encontró que la mejor frecuencia de trabajo fue de 75Hz, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 3: Datos adquiridos del tercer motor.

%Ciclo de trabajo del PWM	Torque (Nm)
0	0
10	0.0616077
20	0.3435096
30	0.6571488
40	0.840105
50	1.250823
60	1.437513
70	1.8930366
80	2.072259
90	2.5688544



Figura 7. Grafica de resultados del tercer motor, se puede observar la inercialidad del motor.

4. Conclusiones

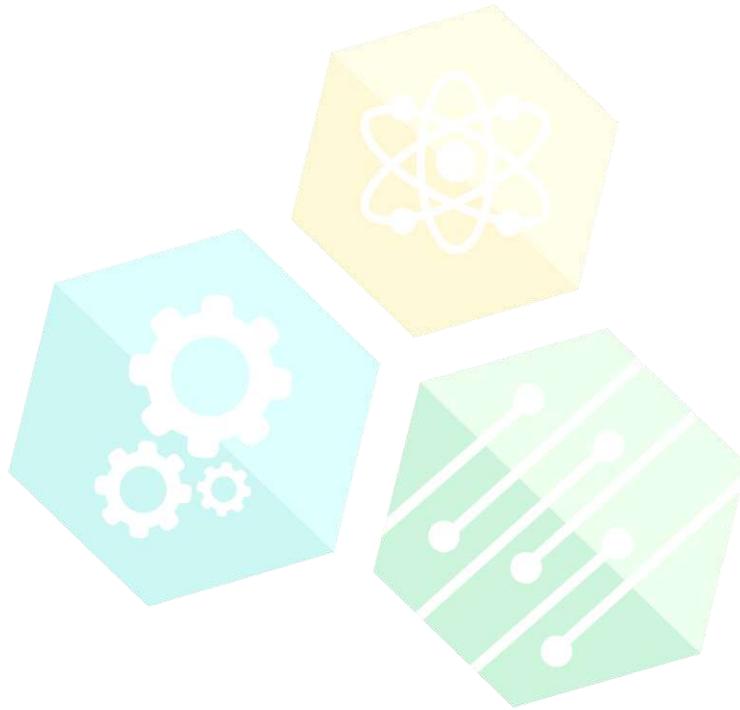
A diferencia de los robots cartesianos comerciales, este manipulador utiliza una comunicación inalámbrica como interfaz, por medio de una tarjeta de adquisición de datos, la cual es una FPGA. Esto le proporciona grandes beneficios como velocidad de procesamiento de 100MHz, arquitectura abierta por mencionar algunos, en comparación con algunos sistemas empotrados como Arduino mega que maneja una velocidad de reloj de 16MHz. Además, la programación en FPGA es muy versátil y nos permite realizar varios procesos de control en tiempo real, que es muy importante para cualquier aplicación.

Al emplear el software de labview, nuestro programa fue más sencillo de realizar mediante el protocolo de comunicación Wifi, sin embargo, cabe destacar que hay que tener cuidado con las direcciones que se ocupan y la información que se envían porque podemos causar problemas con el sistema. Este programa nos permite modificar de

manera sencilla el algoritmo de control y visualizar los datos que deseemos monitorear.

Referencias

- [1] D. Bernstein and L. Bushnell. "The History of Control: From Idea to Technology". IEEE Control Systems Magazine, 22(2):21-23, April 2002.



CONGRESO INTERNACIONAL
DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

OEyB5- Desarrollo de un Sistema Mecatrónico para Robot Humanoide que permita Emular el Movimiento del Cuello de los Seres Humanos

Francisco José López Cortés¹, Sergio Vergara Limón¹, María Aurora Diozcora Vargas Treviño¹, A. Palomino¹, David Eduardo Pinto Avedaño², Darnes Vilariño Ayala²

¹Facultad de Ciencias de la Electrónica, Maestría en Ciencias de la Electrónica opción Automatización, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Av. San Claudio y 18 Sur S/N C.U. Col. Jardines de San Manuel, C.P. 72570, Puebla, Pue. México.

²Facultad de Ciencias de la Computación, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Av. San Claudio y 14 Sur S/N C.U. Col. Jardines de San Manuel, C.P. 72570, Puebla, Pue. México.

Resumen. - *En el presente trabajo se muestra el diseño de un sistema mecatrónico, el cual emula los movimientos del cuello humano, ya que sostendrá la cabeza de un robot humanoide (Arthur) desarrollado por la empresa Hanson Robotics. El diseño mecánico se basa en un robot esférico de 3 grados de libertad (3-GDL), se desarrolla el modelo dinámico a través de las ecuaciones de movimiento de Euler-Lagrange. La etapa de control es una tarjeta de desarrollo FPGA (arreglos de compuertas programables en campo) de la familia Cyclone IV, la etapa de potencia se basa en transistores BJT, se implementa el controlador Tangente hiperbólico y una interfaz de comunicación WiFi para configurar el robot desde una PC con ayuda del software Labview. Como resultado se muestra la integración del sistema mecatrónico, la interfaz desarrollada junto con la comunicación FPGA-PC y control de posición. El trabajo futuro será la implementación del sistema en el robot humanoide*

Palabras clave: Sistema mecatrónico, Robot humanoide, Modelo dinámico, FPGA, WiFi.

Abstract. - *The present work shows the design of a mechatronic system, which emulates the movements of the human neck, as it will support the head of a humanoid robot (Arthur) developed by Hanson Robotics. The mechanical design is based on a spherical robot of 3 degrees of freedom (3-GDL), the dynamic model is developed through the Euler-Lagrange equations of motion. The control stage is a FPGA (Field Programmable Gate Arrays) development board, the power stage is based on BJT transistors, the hyperbolic tangent controller and a WiFi communication interface are implemented to configure the robot From a PC with the help of Labview software. As a result, the integration of the mechatronic system, the interface developed together with the FPGA-PC communication and position control, is shown. Future work will be the implementation of the system in the humanoid robot.*

Key words: Mechatronic system, Humanoid robot, Dynamic model, FPGA, WiFi.

1. Introducción

Los avances de la robótica en la actualidad no se limitan a entornos industriales, también se han revolucionado los semblantes y las funciones de los robots, logrando introducirlos a un entorno social, dando pie a los robots de servicio, denominados humanoides por su apariencia, los cuales realizarán tareas en beneficio de la sociedad, labores cotidianas o con fines terapéuticos, por ejemplo, la rehabilitación de niños con problemas de lenguaje, la detección de desórdenes de comportamiento en jóvenes y en terapia ocupacional geriátrica. Se han desarrollado robots humanoides capaces de replicar las expresiones faciales del ser humano y lograr entablar una conversación, tal es el caso de Arthur, desarrollado por la empresa Hanson Robotics [1].

Uno de los aspectos importantes para que la interacción robot-humano sea de forma natural, se da en los movimientos o acciones que producimos al hablar. El cuello es una de las áreas más complejas del cuerpo humano, puede realizar un gran número de movimientos, los más básicos son flexión, extensión, inclinación y rotación, cada uno implica la participación de estructuras diferentes, que facilitan, controlan y limitan el movimiento [2].

1. Metodología.

El sistema mecatrónico presentado en este trabajo se conforma de una interfaz desarrollada en el software Labview, donde se utiliza la comunicación WiFi para la programación, inicio-paro y extracción de datos del sistema mecatrónico generados por la acción de control del robot esférico de 3 GDL. El sistema digital está basado en un microprocesador implementado en un FPGA Cyclone IV de la familia Altera, el cual se desarrolló en la facultad de ciencias de la electrónica (FCE) de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP), tiene la función de obtener los datos de posición de cada grado de

libertad, con ayuda de los sensores del sistema mecatrónico (encoders de cuadratura), posteriormente realiza la acción de control a través del controlador tangente hiperbólico y genera la señal para los actuadores del sistema (motores CD), que en este caso es una señal PWM, el sistema digital también cuenta con una interfaz WiFi. La etapa de potencia está formada por tres puente H, basados en transistores BJT, los cuales entregan la potencia requerida por los actuadores para generar los movimientos del sistema. Se muestra en la figura 1 el diagrama general del sistema mecatrónico.

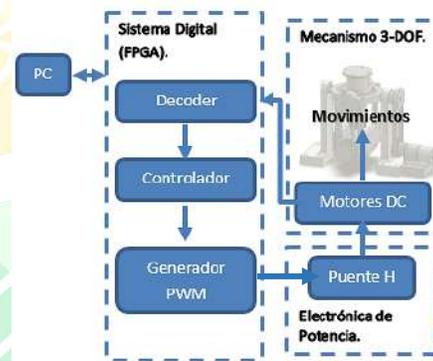


Figura 1. Diagrama general del sistema mecatrónico.

2. Diseño Mecánico.

El diseño mecánico que se muestra en la figura 2 se basa en un robot esférico de 3 grados de libertad (3-GDL) provisto con contrapesos para reducir la distancia del centro de masa de la cabeza al punto de rotación del mecanismo, esto minimiza el torque demandado por los actuadores ya que las fuerzas centrípetas y de coriolis tienden a cero cuando el centro de masa se encuentra sobre el punto donde se intersectan los ejes de rotación.

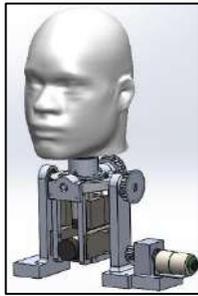


Figura 2. Ensamble de la estructura mecánica acoplada con la cabeza del robot humanoide.

3. Modelo Dinámico.

Para desarrollar el modelo dinámico se utilizaron las ecuaciones de movimiento de Euler-Lagrange, por tanto se definen los parámetros Denavit-Hartenberg como se muestran en la tabla 1.

Tabla 1: Parámetros D-H.

Eslabón	l_i	α_i	d_i/β_i	q_i
1	l_1	90°	0	q_1
2	l_2	0	0	q_2
2a	0	0	0	90°
2b	0	90°	0	0
2c	0	0	β_1	0
3	0	0	β_2	q_3
3a	0	0	0	90°
4	l_3	0	0	0

La ecuación (1) expresa el modelo dinámico del robot esférico de 3 GDL en su forma compacta y con notación utilizada en el área de robótica [3].

$$\tau = M(q)\ddot{q} + C(q, \dot{q})\dot{q} + g(q) \quad (1)$$

Donde:

τ = Vector de par aplicado.

$q \in \mathbf{R}^n$ = Vector de coordenadas generalizadas

$\dot{q} \in \mathbf{R}^n$ = Vector de velocidades articulares.

$\ddot{q} \in \mathbf{R}^n$ = Vector de aceleraciones articulares.

$M(q) \in \mathbf{R}^{n \times n}$ = Matriz de inercia.

$C(q, \dot{q}) \in \mathbf{R}^{n \times n}$ = Matriz de fuerzas centrífugas y de coriolis.

$g(q) \in \mathbf{R}^n$ = Vector de par gravitacional.

4. Electrónica de Control y Potencia.

La etapa de control consta de un microprocesador, donde se realiza la programación en lenguaje ensamblador de la acción de control, el código de programa se almacena en una memoria ROM y también se cuenta con una memoria RAM para almacenar variables y datos calculados por el mismo, además cuenta con periféricos de entrada, que son decodificadores para la adquisición de datos de los encoders de cuadratura, y registros donde se almacenan los datos enviados desde la interfaz gráfica de la PC, tanto la programación como la comunicación de datos es realizada mediante un módulo externo WiFi, los periféricos de salida son generadores de señal PWM, lo anterior fue implementado en un FPGA Cyclone 4 y se realizó el firmware en lenguaje AHDL. Se diseñó un puente H para la etapa de potencia de cada motor, las señales de control solo pueden entregar hasta 1mA a 3.3v, por este motivo se requiere un circuito con transistores BJT en configuración Darlington.

5. Resultados.

Se observa en la figura 3 la interfaz gráfica desarrollada en el software Labview, en la cual se cargó el programa del microprocesador y se proporcionó la posición y ganancias para cada grado de libertad, el módulo WiFi genera una conexión punto a punto con la PC, fue necesario que la comunicación se realizara por protocolo TCP/IP desde la interfaz gráfica.



Figura 3. Interfaz gráfica de control, la cual se encarga de programar el micro controlador, enviar los parámetros deseados y adquirir los datos calculados.

En la figura 4 se muestra la integración del sistema mecatrónico, donde se observa la estructura mecánica, etapa de control y la etapa de potencia, conectadas entre sí mediante un arnés de 12 cables. La etapa de control y potencia se integraron en un clúster, así, la electrónica utilizada se presenta de manera compacta.

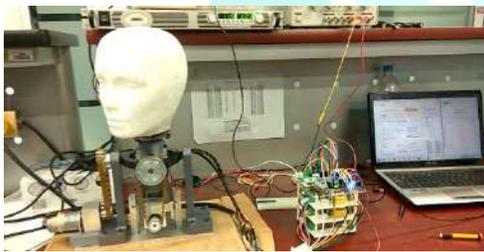


Figura 4. Integración del sistema mecatrónico, conectado y en comunicación con la PC.

El control de posición se llevó a cabo con un controlador tangente hiperbólico. En la figura 5 se ilustra la respuesta del controlador al simular el modelo dinámico obtenido previamente, las posiciones articulares son: 20°, 10° y 10° (grados) para q_1 , q_2 y q_3 respectivamente, utilizando ganancias proporcional (K_p) de 0.45 y derivativa (K_v) de 0.35, cabe resaltar que este sistema debe de compensar el peso de 3.32 kg de la cabeza del robot humanoide, por tanto se observó que el comportamiento del torque calculado se determinaba por el par gravitacional en su mayoría, además se propone una aproximación de los parámetros físicos del robot para lograr

realizar la simulación. Por tanto se tiene un error de posición para q_1 de 20.59° grados, para q_2 y q_3 se encontró un error de posición de 0.11° grados, en un tiempo de 1.5seg. de simulación.

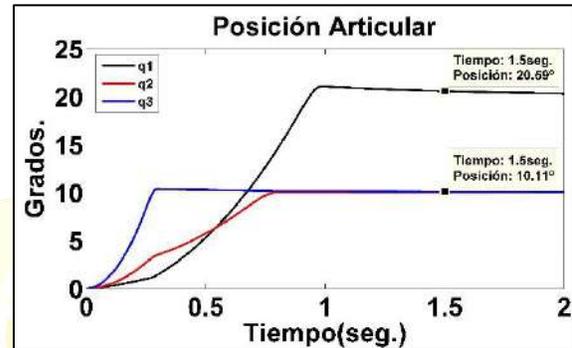


Figura 5. Simulación en Matlab del controlador tangente hiperbólico, con parámetros físicos aproximados.

Para realizar el experimento de control en el sistema físico, se emulo la cabeza del robot humanoide con un peso de 3.32kg, se consideraron los parámetros físicos propuestos en la simulación para efectos de comparación. Se obtuvieron los datos calculados y se graficaron en el software Matlab, como se muestra en la figura 6, encontrando que para las mismas posiciones deseadas y ganancias propuestas en la simulación, para q_1 en el tiempo 1.5seg se observa un error de 0.337° grados, para q_2 se tiene un error de posición de 0.162° grados y para q_3 el error de posición es de 0.3348° grados. Se aprecia que el comportamiento de q_1 es diferente a la simulación, debido a la estimación de los parámetros físicos, en este caso la acción de la fuerza de gravedad es mayor en esta articulación, y las ganancias propuestas necesitan ser mayores para que la acción de control se presente de manera suave y no genere el sobre impulso que se muestra en la gráfica. Se aprecia que los errores de posición son pequeños, pero tomando en cuenta la resolución de los encoders del sistema que es de 0.04285° grados, se tiene que el error de lectura en valor incremental del encoder para

q1 es de 7.864, para q2 es de 3.78 y para q3 se tiene un error de 7.813. Por tanto se debe de realizar una prueba de estimación paramétrica, como lo puede ser mínimos cuadrados, para conocer de forma exacta los parámetros físicos del robot.

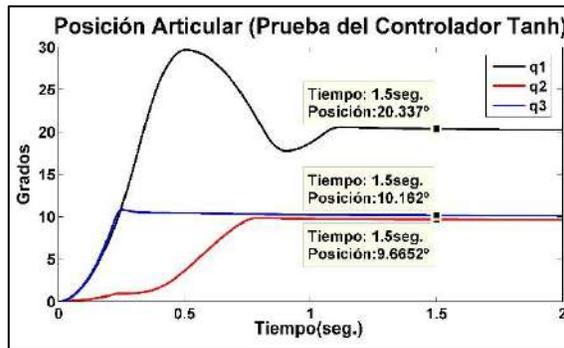


Figura 6. Control de posición del sistema mecatrónico, implementando en software un controlador tangente hiperbólico.

6. Conclusiones

Se logró diseñar una estructura mecánica que emule los movimientos del cuello de los seres humanos, que es de gran importancia para la interacción robot-humano. Se desarrolló una interfaz gráfica, la cual se comunica por protocolo WiFi a una computadora donde el usuario programa el micro controlador, proporciona la

posición deseada y las ganancias para cada actuador, por último se realiza una comparación entre una simulación en Matlab y el control de posición del sistema, ambos con un controlador tangente hiperbólico, concluyendo que el modelo dinámico obtenido es de gran ayuda para el control del sistema real, ya que, por medio de este se obtuvo el par gravitacional, es decir, la compensación de gravedad, aunque los parámetros físicos fueron aproximados, es una base sólida para obtener los parámetros reales con ayuda un algoritmo de identificación paramétrica. Como trabajo futuro se implementará el sistema mecatrónico en el robot humanoide.

Referencias

- [1] Hanson Robotics. (2016, 15 Marzo). Meet Arthur a Humanoid Robot (Hanson Robotic News). [Página web]. Disponible en: <http://hansonrobotics.com/slate-fr-blogger-meets-arthur-dld-conference/>
- [2] Sánchez J. "Módulo de bases anatómicas y fisiológicas del deporte". España, 2000.
- [3] F. R. Cortés, "Robótica: Control de Robots Manipuladores", Alfaomega Grupo Editor, 1era. Edición, México, 2011.

OEyB6- Circuitos Resonantes y Transmisión de Energía Eléctrica Inalámbrica

Sergio Orendain Castro², Alberto Hernández Maldonado¹, Eduardo Murillo Bracamontes¹.

¹ Escuela de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología, UABC.

² Centro de Nanociencias y Nanotecnología, CNyN.

Sergio.orendain@uabc.edu.mx, hernandez.alberto@uabc.edu.mx, emurillo@cnyunam.mx

Resumen. - Se realiza un estudio tanto teórico como experimental de los circuitos resonantes aplicados a la transmisión y recepción de energía eléctrica inalámbrica. Se construye una bobina de Tesla de estado sólido para lo cual, se calcula la frecuencia de resonancia y el voltaje máximo que se genera al tener una carga en la punta de la bobina secundaria. Mediante un receptor de ondas electromagnéticas diseñado para resonar a la misma frecuencia de la bobina de Tesla, se mide el voltaje emitido por el secundario y se demuestra que dicho voltaje inalámbrico decae con la distancia. Mediante un microcontrolador PSoC, se despliega en una pantalla LCD para medir el alcance, la frecuencia, la potencia y el voltaje efectivo del secundario.

Palabras clave: Circuitos resonantes, bobina de Tesla.

1. Introducción.

La transferencia de energía mediante inducción magnética a través de ondas de radio, fue un problema que se planteó Nikola Tesla (1856-1943) a principio del siglo pasado [1]. Él abordó dicho problema mediante un sistema de distribución de electricidad a largas distancias, logrando éxitos parciales.

Recientemente, investigadores del Massachusetts Institute of Technology (MIT) retomaron el problema. El principio de operación de esta tecnología se fundamenta en técnicas de inducción magnética mejoradas. En sus experimentos lograron transferir electricidad por vía inalámbrica y encender una bombilla de 60 W, ubicada a 2 m de distancia y con una eficiencia del 40% [2].

En el presente trabajo se analizan teórica y experimentalmente circuitos resonantes aplicados a la transmisión y recepción de energía eléctrica inalámbrica. Se construye una bobina de Tesla de estado sólido y se calcula la frecuencia de resonancia y el voltaje máximo en la punta de la bobina secundaria. Diseñamos un receptor de ondas electromagnéticas para medir el voltaje y alcance emitido por dicha bobina secundaria.

2. Fundamentos de circuitos resonantes

En el presente apartado se presentan los conceptos fundamentales y ecuaciones básicas que servirán de apoyo para entender que son y en qué consisten los circuitos resonantes.

2.1. La fórmula de Wheeler

La fórmula de Wheeler permite el cálculo de la inductancia en bobinas con núcleo de aire [3]. Para

calcular la inductancia de una bobina habiendo realizado las mediciones experimentales de dicho elemento, se utiliza la ec. (1).

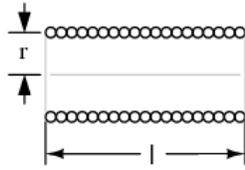


Figura 2.1 Modelo físico de una bobina

$$L = \frac{0.394 r^2 N^2}{9r + 10l} \quad (1)$$

2.2. Reactancia capacitiva

La reactancia capacitiva es la resistencia que ofrece un capacitor al paso de corriente alterna. La expresión que define el comportamiento de la reactancia capacitiva es la siguiente [4].

$$X_C = \frac{1}{\omega C} \quad (2)$$

2.3. Reactancia inductiva

Se denomina reactancia inductiva a la resistencia que opone un inductor al paso de la corriente alterna, dicha reactancia se representa por X_L , como lo muestra la siguiente expresión. [4].

$$X_L = \omega L \quad (3)$$

2.4. La frecuencia de resonancia

La impedancia es una medida de oposición que presenta un circuito a la corriente alterna.

La ecuación que define la impedancia Z , se muestra a continuación,

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} \quad (4)$$

Sustituyendo las ecuaciones (2) y (3) en la ec. (4), obtenemos el comportamiento de la impedancia Z para diferentes frecuencias de la *fem* aplicada.

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2} \quad (5)$$

La impedancia varía con la frecuencia ω , y su valor mínimo se obtiene cuando las reactancias X_L y X_C son iguales, como se puede ver en la ec. (6), resultando

$$Z = R \quad (6)$$

En la ec. (5) se tiene una diferencia de reactancias inductiva y capacitiva en función de la frecuencia. De dicha diferencia resulta,

$$\omega L = \frac{1}{\omega C} \quad (7)$$

De donde resulta,

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (8)$$

Donde ω_0 corresponde a la llamada frecuencia de resonancia. Definiendo $\omega_0 = F_0$, tenemos la frecuencia de resonancia en Hertz.

$$F_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (9)$$

3. Bobina de Tesla de estado sólido.

En esta sección se presentan los resultados teóricos, las simulaciones e imágenes fotográficas tomadas al momento de realizar la bobina de Tesla.

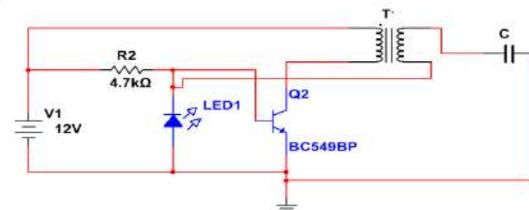


Figura 3.1. Diagrama de la bobina de Tesla de estado sólido

El funcionamiento del circuito de la fig. (3.1), se basa en que el transistor Q2 actúa como un interruptor, el cual hará que actúe como un generador de funciones de alta frecuencia, convirtiendo a la bobina ideal T en un circuito RLC, la cual se va a sintonizar a una frecuencia de resonancia que será la del transistor.

3.1. Cálculos de la bobina primaria

A continuación se muestran los valores correspondientes a los materiales utilizados para la elaboración de la bobina primaria.

$$\rho_{\text{alambre de estaño}} = 11.5 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$$

$$D_{\text{alambre}} = 0.6438 \text{ mm}$$

$$d_{AA} = 0.132 \text{ cm.}$$

De donde resulta que el área del alambre es,

$$A_1 = \pi (0.3219 \text{ mm})^2 = 0.32 \text{ mm}^2.$$

Con el apoyo del multímetro, podemos conocer el valor de la resistencia del embobinado, (ver fig. (3.2)).



Figura 3.2. Medición de la resistencia de la bobina primaria

Una vez conociendo el valor de la resistencia, el cual corresponde a 0.2Ω , y sabiendo que el alambre es de estaño, se puede calcular la resistividad. La

ecuación que define la resistividad de un conductor es,

$$l = \frac{RA}{\rho} = \frac{0.2 \Omega (3.2 \times 10^{-7} m^2)}{11.5 \times 10^{-8} \Omega \cdot m} = 0.556 \text{ m}$$

$$h_1 = d_{AA} N$$

Para calcular la altura h_1 de la bobina primaria, es necesario multiplicar el diámetro del alambre con aislante, por el número de vueltas, el cual en este caso, corresponde a 5 vueltas,

$$h_1 = 0.132 \text{ cm} (5) = 0.66 \text{ cm}$$

Para calcular la inductancia de la bobina, se debe conocer el radio r del núcleo, dando como resultado 1.27 cm. Teniendo N , r y h_1 , se puede calcular la inductancia utilizando la fórmula de Wheeler, (ver ec. (1))

$$L_1 = 0.88 \mu H$$

Para comprobar dicho valor de la inductancia, se procedió a medir la bobina primaria con el LCR.



Figura 3.3. Medición de la inductancia de la bobina primaria.

Posteriormente, se procedió a medir la capacitancia del circuito RLC interno de la bobina, dando un resultado de 2.73 nF, como se muestra en la fig. (3.4).



Figura 3.4. Medición de la capacitancia parasita.

Si se tiene la inductancia y la capacitancia del circuito RLC interno de la bobina, se puede calcular la frecuencia F_0 de resonancia de la bobina primaria. Esta bobina sufre una resonancia por sí misma, esto es, la bobina misma tiene implícitamente una capacitancia cuando se somete a una alta frecuencia. A continuación se efectúa el cálculo de la frecuencia de dicha resonancia,

$$F_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{(0.88 \mu H)(2.73 nF)}} = 3.247 \text{ MHz}$$

3.2 Cálculos de la bobina secundaria

La bobina secundaria tiene un radio de 0.1275 mm, con el cual podemos calcular el área del alambre de dicha bobina.

$$A = \pi(0.1275 \text{ mm})^2 = 0.510 \times 10^{-7} \text{ m}^2$$

La resistencia de dicho alambre se obtiene usando el dispositivo LCR, como se muestra en la fig. (3.5)



Figura 3.5. Medición de la resistencia de la bobina secundaria.

Como se puede observar en la fig. (3.6), la resistencia de la bobina es de 6.0506 Ω . Con este y los demás datos se encuentra que la longitud del alambre es,

$$l = \frac{RA}{\rho} = \frac{6.0506 \Omega (0.510 \times 10^{-7} \text{ m}^2)}{1.71 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}} = 18.04 \text{ m}$$

La altura de la bobina secundaria fue medida usando un vernier. Dicha altura es: $h_2 = 5.8 \text{ cm}$.

Por otro lado, el radio del embobinado correspondiente a 212 vueltas es: $r = 1.27 \text{ cm}$. Con lo anterior podemos calcular la inductancia L_2 de la bobina secundaria, utilizando la fórmula de Wheeler, ver ec. (1).

$$L_2 = 411.36 \mu H$$

Para comprobar este valor de inductancia, utilizamos el dispositivo LCR, como se muestra en la fig. (3.6).



Figura 3.6. Inductancia de la bobina secundaria.

Para calcular la capacitancia parasita de la bobina secundaria C_2 , despejamos C de la ec. (9), y sustituimos datos.

$$C_2 = \frac{1}{4\pi^2(3.247 \text{ MHz})^2(411.36 \mu H)} = 5.8405 \text{ pF}$$

3.3 Cálculos de la energía potencial y el voltaje máximo.

La bobina secundaria presenta una capacitancia a tierra, además de la capacitancia que hay entre las espiras que la conforman. Para

determinar la capacitancia producida por la bobina secundaria, usamos el modelo de un solenoide cilíndrico, la denominada fórmula de Medhurst, la cual nos da la capacitancia por unidad de longitud C_{L2} [5]:

$$C_{L2} = \left(0.29 h_2 + 0.41 r + 1.94 \sqrt{\frac{r^3}{h_2}} \right) pF/in \quad (10)$$

Donde $r = 1.27 \text{ cm}$ corresponde al radio del núcleo, y $h_2 = 5.8 \text{ cm}$ a la altura de la bobina secundaria,

$$C_{L2} = 1.32 \text{ pF}$$

La capacitancia real C_R de la bobina secundaria, sin colocarle ninguna carga en su punta que esta al aire, es la siguiente:

$$C_R = C_2 - C_{L2} = 5.8405 \text{ pF} - 1.32 \text{ pF} = 4.52 \text{ pF}$$

Las capacitancias se restan de debido a la aplicación de la ley de Kirchoff de voltajes, ya que éstas almacenan voltaje, y están conectadas en serie.

Al momento de poner una carga en la punta de la bobina secundaria, habrá una descarga, por lo que la capacitancia va a disminuir, y el voltaje va a aumentar, como lo muestra la ec. (11).

La capacitancia por unidad de longitud C_D , al colocar una carga en la punta de la bobina secundaria, es [6]

$$C_D = 1.4 \left(1.2781 - \frac{d2}{d1} \right) \sqrt{\pi d2(d1 - d2)} pF/in \quad (11)$$

En donde $d2$ es el diámetro del alambre de la bobina secundaria, y $d1$ es el diámetro del núcleo del embobinado, como se muestra en la fig. (3.7).

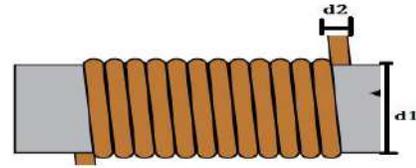


Figura 3.7. Esquema del diámetro del alambre y núcleo.

Anteriormente se realizaron las mediciones y cálculos correspondientes a $d1$ y $d2$. Para calcular C_D utilizamos la ec. (11).

$$C_D = 0.31 \text{ pF}$$

Para conocer la energía almacenada en la bobina secundaria, se debe conocer el voltaje de entrada a la bobina primaria, dicho voltaje es el del transistor. La medición correspondiente al voltaje del transistor se muestra en la fig. (3.8).



Figura 3.8. Medición del voltaje del transistor

Para calcular la energía almacenada en el capacitor primario, se utiliza la ecuación que define la energía con respecto al voltaje.

$$E_C = \frac{1}{2} C_1 V_C^2 = \frac{1}{2} (2.716 \times 10^{-9} \text{ F}) (11.87 \text{ V})^2 = 1.91 \times 10^{-7} \text{ J}$$

Si se asume que no hay pérdida de energía en la transferencia de la misma, entre la bobina primaria y secundaria, entonces se tiene que,

$$E_{CP} = E_{CS}$$

Para calcular el voltaje V_{oC} en la punta de la bobina secundaria cuando se coloca una carga, utilizamos la siguiente ecuación.

$$E_{CS} = \frac{1}{2} C_D V_{OC}^2$$

$$V_{OC} = \sqrt{\frac{2E_{CS}}{C_D}} = \sqrt{\frac{2(1.91 \times 10^{-7} J)}{0.31 pF}} = 1110.7 V$$

La capacitancia de la bobina secundaria disminuye hasta un valor de 0.31 pF, conforme se aproxima la carga,

Para calcular el voltaje de la bobina secundaria sin carga, utilizamos la siguiente ecuación

$$V_{OR} = \sqrt{\frac{2E_{CS}}{C_R}} = \sqrt{\frac{2(1.91 \times 10^{-7} J)}{4.52 pF}} = 290.7 V$$

3.4 Frecuencia de resonancia como función del voltaje.

En esta sección se presentaran las simulaciones realizadas, para comprobar nuestros resultados teóricos. Para la bobina secundaria de la bobina de Tesla, aplicando una carga, se tiene lo siguiente: (ver fig.3.9).

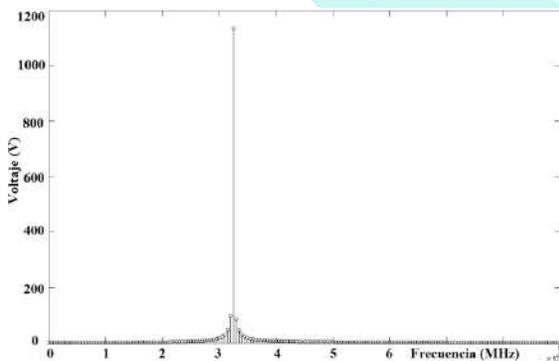


Figura. 3.9. V_{OC} con respecto a F_0 , en donde V_{OC} corresponde a un valor aproximado de 1110 V y F_0 a un valor de 3.24 MHz respectivamente.

Para la bobina secundaria de la bobina de Tesla, sin aplicar una carga tenemos,

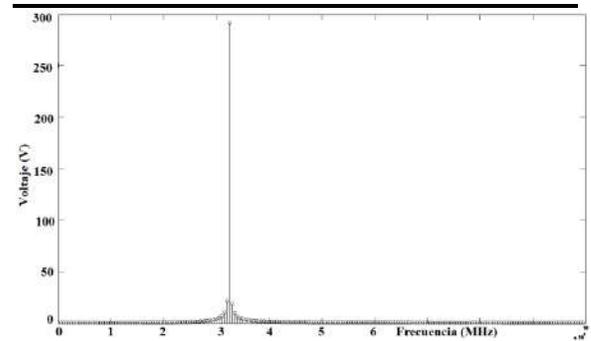


Figura. 3.10. V_{OR} con respecto a F_0 , en donde V_{OR} corresponde a un valor aproximado de 290 V y F_0 a un valor de 3.24 MHz respectivamente.

4. Receptor de ondas electromagnéticas

En esta sección se presentará un receptor de ondas electromagnéticas (OEM), diseñado para medir la frecuencia de resonancia, el voltaje, y la potencia de la bobina de tesla. La importancia de dicho receptor, es que puede medir la distancia del transmisor y el voltaje efectivo de dicha señal, cosa que es imposible hacer con un analizador de espectros

4.1 Comparación de los valores medidos mediante un analizador de espectros y el receptor de ondas electromagnéticas.

A continuación se muestra la medición de la frecuencia y la potencia de la bobina de Tesla, utilizando el analizador de espectros.

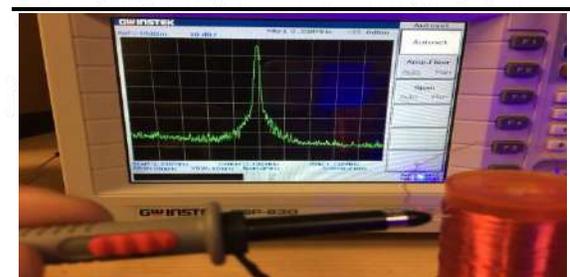


Figura 4.1. Medición con el analizador de espectros.

Como se observa en la fig. (4.1), la medición de la frecuencia de resonancia es de 3.238 MHz, con una

Atenuación de la amplitud de -22.6 dbm (decibelios metro). Concordando aproximadamente con los datos desplegados de la pantalla LCD en el receptor, como se muestra en la fig. (4.2).

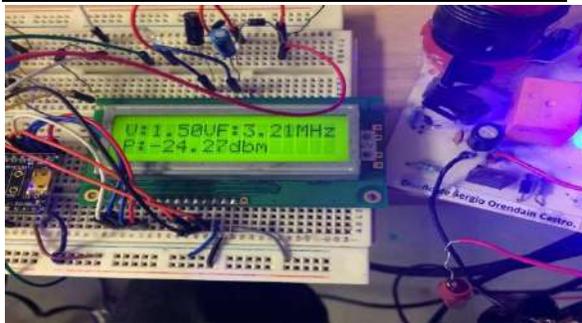


Figura 4.2. Medición de los valores de la frecuencia y potencia de la bobina de Tesla usando el detector de OEM.

4.2. Relación entre el voltaje y su alcance en la bobina de Tesla.

Uno de los aspectos más importantes de la bobina de Tesla, es la eficiencia energética con respecto a la distancia. En la fig. (4.3) se muestra la gráfica obtenida a partir de las pruebas experimentales.

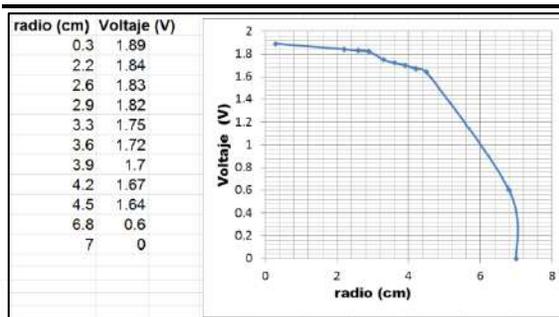


Figura 4.3. Gráfica de la relación entre el voltaje máximo y el radio (alcance).

5. Conclusiones

Para la bobina de Tesla, se elaboraron los cálculos analíticos necesarios para su construcción y diseño. Para su elaboración se utilizó la configuración de emisor común con un transistor

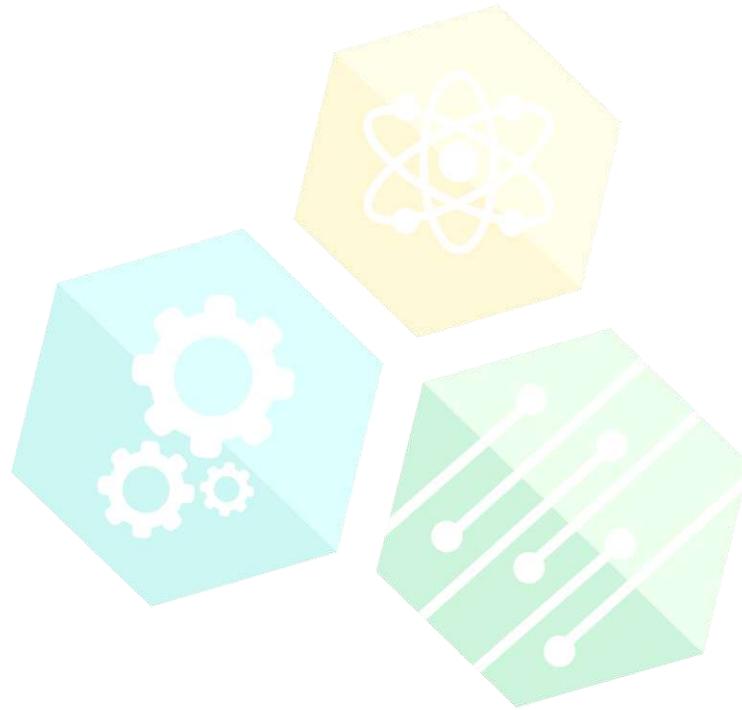
para que actuara como generador de funciones. Debido a que el funcionamiento de la bobina de Tesla se basa en el análisis intrínseco de bobinas y capacitores, fue necesario realizar una medición de la capacitancia parasita, formada entre las espiras de la bobina secundaria. Dicha capacitancia fue medida en altas frecuencias.

Para el receptor de ondas electromagnéticas, se encuentra que la gráfica que relaciona el voltaje y el alcance de la bobina de Tesla, tiene un comportamiento que no corresponde a curvas que se presentan regularmente en el decaimiento de voltaje en inductores y capacitores, tampoco decae en forma lineal con la distancia, sino que tiene un comportamiento seccional. En la primera sección, el voltaje se mantiene aproximadamente constante respecto a la distancia, mientras que en la segunda sección, dicho voltaje decae con una pendiente de, aproximadamente 110 grados.

Referencias

- [1] D. M. Pozar. *Microwave Engineering*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2005.
- [2] Mohammad Yasir, Md. Shakibul Haque. *The Witricity: Revolution in power transmission technology*. Vol. 4, 2013.
- [3] H. Wheeler. "Formulas for the skin effect", *Proceedings of the I. R. E.* 412-424, 1942.
- [4] Hans. C.Ohanian; Jhon. T Market. *Física para ingeniería y ciencias*. México: McGraw-Hill, ppt 829-872, 1015, 1031-1050, 2009.
- [5] David W Knight. *The self-resonance and self-capacitance of solenoid coils: applicable theory, models and calculation methods*, 2016
- [6] M.Sohel.Rana, A.K.Pandit. *Design and Construction of a Tesla Transformer by using Microwave Oven Transfer for*

Experimentation.: applicable theory, models
and calculation methods, 2014.



CONGRESO INTERNACIONAL DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

OEyB7- Effect Of A Hyperfine Field on the (Swap)^α Quantum Gate Operation

Roberto Javier Guerrero Moreno¹, Fernando Rojas²

¹Escuela de ciencias de la Ingeniería y Tecnología, Universidad Autónoma de Baja California,
rjgm76@uabc.edu.mx

²Departamento de Física Teórica, Centro Nanociencias y Nanotecnología, frojas@cnyunam.mx

Abstract. - *We have studied the effect of the hyperfine field (HF) in the (swap)^α quantum gate operation for a two spin electronic system. By considering a time-dependent exchange interaction, we have calculated dynamical properties for the probability of the two spin states, magnetization, concurrence, and fidelity of the required quantum gate to determine the effect of the HF on gate operation. Calculations were made in the quasi-static approximation and a Gaussian distribution modeled each nuclear realization. We found that the nuclear field will add an error polynomial error to each of the properties mentioned and that such error could not be corrected by a pulse reshaping scheme.*

Key words: Quantum computation • Quantum gates • Exchange interaction • Quantum entanglement • Quantum dots.

1. Introduction

The main proposal in semiconductors quantum dots is based in the exchange interaction between electronic spins as a physical resource for the construction of two-qubit quantum gates [1]. The authors propose that by controlling external parameters, as electrostatic tunnel barriers, the exchange interaction could be manipulated, as to express the exchange coupling as a time dependent control variable, that in principle, could be used to manipulate the four-dimensional Hilbert space generated by the two coupled spins [2-4].

The authors of [5] show that the (swap)^α quantum gate plus single qubit rotations form a universal set as efficient as the CNOT gate. In particular the (swap) gate was produced [6, 7] by using time-dependant pulses of the exchange term.

In addition, GaAs quantum dots have been shown decoherence caused by the magnetic field generated by the surrounding nuclei [7, 8-18], which cannot be approximated by a net magnetic field (Overhauser field) [7, 8] as shown by experiments [7, 14, 17], a quasi-static approximation description of the nuclear spins is need it [6, 18, 21].

We present a numerical study of the effect of the hyperfine field on the (swap)^α quantum gate operation; the effect of the DM term will not be included, as it has been studied in [12]. The evaluation of the operation will be thru 4 properties: Probabilities of states, concurrence, magnetization per spin and gate fidelity.

Specifically, we worked in the $S^z=0$ subspace, where the total spin is zero, as the experiments in [6, 7, 22].

2. Methodology

The Hamiltonian for the exchange coupling between two electronic spins (1 and 2 respectively) that includes the anisotropic spin-orbit interaction and the nuclear coupling is given by,

$$H = J(t)[\vec{S}_1 \cdot \vec{S}_2] + \gamma_e[\vec{B} \cdot (\vec{S}_1 + \vec{S}_2) + d\vec{B} \cdot (\vec{S}_1 - \vec{S}_2)], \quad (1)$$

with $\vec{B} = \vec{B}_{ext} + (\vec{B}_{ext} + \vec{B}_{2,n})/2$ and $d\vec{B} = (\vec{B}_{ext} - \vec{B}_{2,n})/2$ [17], where the first term is the isotropic exchange interaction, $J(t)$ is the time depended exchange coupling, which has been used experimentally to generate quantum gates, we will have to utilize a pulsing scheme as presented in [13]. The last two are the effective Zeeman Hamiltonian between the electronic spins and the external, \vec{B}_{ext} , and nuclear magnetic fields, $\vec{B}_{1,n}$ and $\vec{B}_{12,n}$.

In equation (1) we have accepted that the nuclear field is a classical one, and by doing so we are working in the quasi-static approximation (QSA). We will assume a Gaussian distribution for the configuration of each nuclear realization,

$$P(\vec{B}) = \frac{1}{(2\pi\sigma^2)^{3/2}} \exp[-(\vec{B} \cdot \vec{B})/2\sigma^2], \quad (2)$$

where, $\sigma^2 = \langle B_n^2 \rangle$, is the variance of the nuclear field which is the parameter that characterizes the hyperfine field.

By working in the $S^Z = 0$ subspace we can limit our study to the z-component of the DM vector, $\vec{\beta} = \beta_0 \hat{k}$.

The results presented in this paper were found by considering the approximation for a large external magnetic field along the z direction so $B_{ext,z} \gg B_n$, where the common values used in experiments and theoretical works [6, 20] are $B_{ext,z} \approx 100$ and $B_n \approx 1$ to 5 mT which implies a large energy gap between the z and x-y subspaces.

We will utilize the following properties to evaluate the $(\text{swap})^\alpha$ quantum gate operation: On-site magnetization, concurrence and gate fidelity.

The magnetization of the electronic spin 1 is determined as the mean value of the operator $\frac{1}{2}(\sigma_z \otimes I)$, where σ_z is the z Pauli matrix

$$\sigma_{1z}(t) = \langle \Psi(t) | \frac{1}{2}(\sigma_z \otimes I) | \Psi(t) \rangle. \quad (3)$$

The entanglement will be measured using the concurrence, which is calculated using the Wootters formalism [21]. The final property to use is the gate fidelity, which compares the ideal quantum state, in our case the $(\text{swap})^\alpha$ quantum state, and the resulted state from the time dependent evolution of our system. The fidelity can be calculated with

$$F = \text{Tr}[\rho_p(t)\rho_I(t)], \quad (4)$$

where ρ_p is the density matrix at a time t, while ρ_I is the ideal density matrix, i.e., the ideal state to whom we want to compare the system evolution [22].

Previous works have demonstrated that a system with a Hamiltonian similar to (2), but without the hyperfine field, can produce an adequate $(\text{swap})^\alpha$ quantum gate operation and the error added by the DM term can be eliminated by the correct election of the $J(t)$ pulse. Therefore, a natural question is if a system described by the Hamiltonian (2) can be used to generate a $(\text{swap})^\alpha$ gate operation. In short, we will evaluate the effect of the hyperfine field on the gate operation thru the σ parameter as presented in Eq. 2.

The $J(t)$ exchange pulse used in the following calculations is given by [10], as $J(t) = J_0 \text{sech}[2\lambda(t - t_0)]$, where J_0 , λ , and t_0 , are the height, the inverse of the width and time displacement of the pulse. We utilize energy and time units given by $J_0 = 1.52 \times 10^{-3}$ meV and $\hbar = 1$. The λ parameter was used as a control variable of the exchange pulse. We used the pulse methodology presented in [reference] for $\alpha = \frac{1}{4}, \frac{1}{2}$ and 1.

The stochastic nature of the nuclear magnetic field makes it extremely difficult to obtain analytic expressions for the mentioned properties so we will be presenting numerical results for the occupation probability of the states $|\uparrow, \downarrow\rangle$ and $|\downarrow, \uparrow\rangle$, concurrence, in-site magnetization and gate fidelity for $\sigma = 0, 2.3, 4.6, 9.2$ and 18.4 mT.

3. Results and Discussions

The results presented here will utilize the following color code for the gate operation: blue, black and red correspond to $\alpha = \frac{1}{4}, \frac{1}{2}$ and 1 respectively, meanwhile the dash scheme presented will indicate the value of the σ . The values of λ are calculated using equation (10) to insure a successful gate operation in the absence of hyperfine field, i.e. the solid line is the absence of a hyperfine field and thus show a successful gate operation. The ideal asymptotic value for each gate operation is included as a dotted pink line.

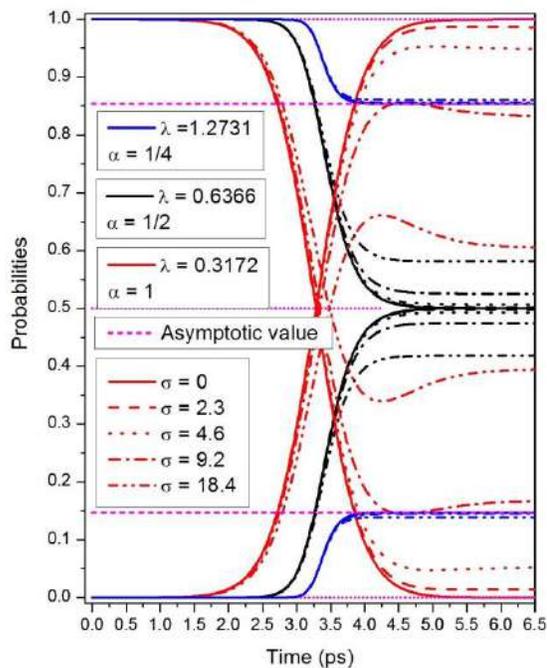


Figure 1. Probability of the states $|\uparrow, \downarrow\rangle$ and $|\downarrow, \uparrow\rangle$ as a function of time. The values for λ are set to assured that the pulse $J(t)$ will produces the quantum gate $(\text{swap})^\alpha$

for the three values of $\alpha = \frac{1}{4}, \frac{1}{2}$ and 1 . Curves are show for $\sigma = 0, 2.3, 4.6, 9.2$ and 18.4 mT.

In figure 1, 2, and 3, we present curves for: probabilities, magnetization and concurrence respectively.

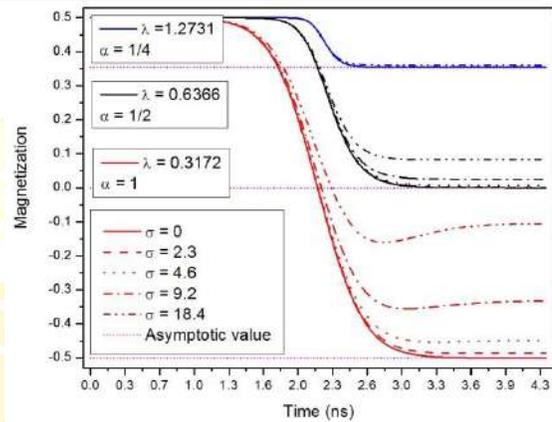


Figure 2. Magnetization as a function of time. The values for λ are set to assured that the pulse $J(t)$ will produces the quantum gate $(\text{swap})^\alpha$ for the three values of $\alpha = \frac{1}{4}, \frac{1}{2}$ and 1 . Curves are show for $\sigma = 0, 2.3, 4.6, 9.2$ and 18.4 mT

By focusing our attention to the time range between 2.5 to 5 ns is obvious that the hyperfine field adds an error to the gate operation which is more noticeable as the values of σ and/or α increases, which was determined to increase in a quadratic fashion as function of the variance, σ , of the hyperfine field.

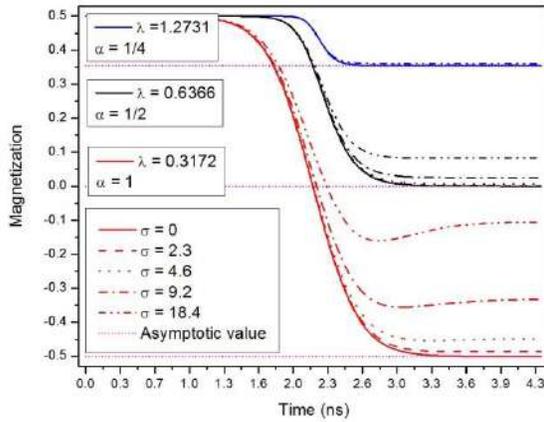


Figure 3. Concurrence as a function of time. The values for λ are set to assured that the pulse $J(t)$ will produces the quantum gate $(\text{swap})^\alpha$ for the three values of $\alpha = \frac{1}{4}, \frac{1}{2}$ and 1. Curves are show for $\sigma = 0, 2.3, 4.6, 9.2$ and 18.4 mT.

The fate fidelity, was left to last because unlike the previous three properties, it includes information of the coherences of the system, i.e., off diagonal elements of the density matrix.

Figure 4 show results for the gate fidelity as function of time for $\alpha = \frac{1}{4}, \frac{1}{2}$ and 1 in figures a), b) and c) respectively. Each calculation was made with the appropriate value of λ to guarantee a successful gate operation in the absence of DM term; the values are shown as insert in each figure. As in figure 1 each $(\text{swap})^\alpha$ gate operation was calculated for $\sigma = 0, 2.3, 4.6, 9.2$ and 18.4 mT.

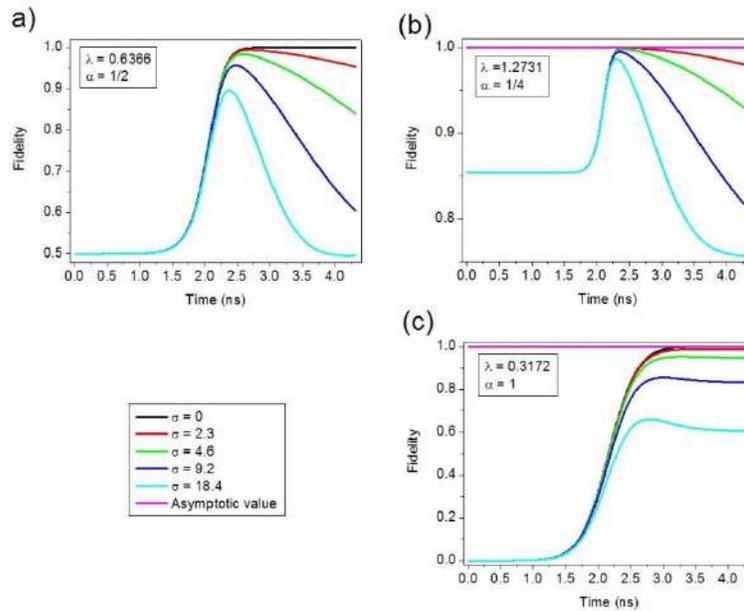


Figure 4. Gate fidelity for the $(\text{swap})^\alpha$ gate operation. The values for λ are set to assured that the pulse $J(t)$ will produces the quantum gate $(\text{swap})^\alpha$ for the three values of $\alpha = \frac{1}{4}, \frac{1}{2}$ and 1, for figures a), b) and c) respectively. Curves are shown for $\sigma = 0, 2.3, 4.6, 9.2$ and 18.4 mT.

Table 1 shows the final and maximum values of de fidelity as the percentage of error with respect a value of 1 (which indicates a successful gate operation).

Table 1. Final and maximum values of the gate fidelity as a function of the variance of the nuclear field. The percentage of error with respect to a successful gate operation ($F = 1$) is included.

α	σ	F_{final}	Error %	F_{max}	Error %
	0	1	0	1	0
$\frac{1}{4}$	2.3	0.9792779	2.072	0.9994100	0.059
	4.6	0.9268436	7.316	0.9982488	0.175
	9.2	0.8128471	18.71	0.9950191	0.498
	18.4	0.7564031	24.36	0.9867254	1.327
	0	1	0	1	0
$\frac{1}{2}$	2.3	0.9539306	4.607	0.9947712	0.523
	4.6	0.8395305	16.04	0.9845705	1.543
	9.2	0.6038620	39.61	0.9573546	4.265
	18.4	0.4966873	50.33	0.8956736	10.43
	0	1	0	1	0
1	2.3	0.9862914	1.309	0.9868967	1.310
	4.6	0.9484700	5.153	0.9531594	4.684
	9.2	0.8328248	16.71	0.8557521	14.42
	18.4	0.60555789	39.444	0.6608380	33.91

As can be seen in figure 4 (table 1), in the absence of hyperfine field the final (and maximum) fidelity will be $F = 1$, [reference]. By “turning on” the nuclear field, we can see that for the gates operations $\alpha = \frac{1}{4}$ and $\frac{1}{2}$, figures a) and b) respectively, there is a drastic fall of from a maximum value to a final value of the fidelity, meanwhile for $\alpha = 1$ the difference between the maximum and final values is less drastic.

The stochastically nature of the hyperfine field makes extremely hard to obtain an analytic expression. In this paper, we have evaluated the effect of the hyperfine field on the (swap) $^\alpha$ quantum gate operation. Numerical calculations where presented for the probabilities of states, concurrence, magnetization and gate fidelity

4. Conclusions

In general, we found that the nuclear field will add an error to the gate operation that can be measured thru the probability of states, magnetization and concurrence, which grows as a function of the variance (σ) as $\Delta\xi^\alpha = a_\alpha + b_\alpha\sigma^2 + c_\alpha\sigma^4$, where ξ is any of the mentioned properties. This error can be eliminated by using a pulse correction scheme as

presented in [reference], nevertheless, the fidelity show a total different behavior, this means that is a more complete property, because includes information of the coherences of the system. A pulse correction methodology where pulse width is the control variable will not be sufficient to eliminate the error due to the hyperfine field. It was observed that perhaps a by modifying the height or its general shape it could help in some kind of correction.

References

- [1] Loss, D., DiVicenzo, D.P.: Quantum computation with quantum dots. Phys. Rev. A **57**, 120 (1998)
- [2] DiVicenzo, D. P.: Two-bit gates are universal for quantum computation. Phys. Rev. A **51**, 1015 (1995)
- [3] Barenco, A., *et al.*: Elementary gates for quantum computation. Phys. Rev. A **52**, 3457 (1995)
- [4] Burkard, G., Loss, D., and DiVicenzo, D. P.: Coupled quantum dots as quantum gates. Phys. Rev. B **59**, 2070 (1999)
- [5] Fan, H., Roychowdhury V. and Szkopek, T.: Optimal two-qubit quantum circuits using exchange interactions. Phys. Rev A **72**, 052323 (2005)
- [6] Johnson, A. C., *et al.*: Triplet–singlet spin relaxation via nuclei in a double quantum dot. Nature (London) **435**, 925 (2005)
- [7] Petta, J. R., *et al.*: Coherent Manipulation of Coupled Electron Spins in Semiconductor Quantum Dots. Science **309**, 2180 (2005)
- [8] Peta, J. R. *et al.*: Quantum cryptography based on Bell’s theorem. Phys. Rev. Lett. **67**, 661 (1991)
- [9] Merkulov, I.A., *et al.*: Electron spin relaxation by nuclei in semiconductor quantum dots. Phys. Rev. B **65**, 205309 (2002)
- [10] Khaetskii, A.V., *et al.*: Electron spin decoherence in quantum dots due to interaction with nuclei. Phys. Rev. Lett. **88**, 186802 (2002)

- [11] Khaetskii, A.V., et al.: Electron spin evolution induced by interaction with nuclei in a quantum dot. *Phys. Rev. Lett.* **67**, 195329 (2003)
- [12] Coish, W.A., Loss, D.: Hyperfine interaction in a quantum dot: non-Markovian electron spin dynamics. *Phys. Rev. B* **70**, 195340 (2004)
- [13] Coish, W.A., Loss, D.: Singlet-triplet decoherence due to nuclear spins in a double quantum dot. *Phys. Rev. B* **72**, 125337 (2005)
- [14] Klauser, D., et al.: Nuclear spin state narrowing via gate-controlled Rabi oscillations in a double quantum dot. *Phys. Rev. B* **73**, 205302 (2006)
- [15] Chuntia, S., et al.: Detection and measurement of the Dzyaloshinskii–Moriya interaction in double quantum dot system. *Phys. Rev. B* **73**, 241304 (2006)
- [16] Taylor, J.M., et al.: Relaxation, dephasing, and quantum control of electron spins in double quantum dots. *Phys. Rev. B* **76**, 035315 (2007)
- [17] Golovach, V.N., et al.: Spin relaxation at the singlet-triplet crossing in a quantum dot. *Phys. Rev. B* **77**, 045328 (2008)
- [18] Petta, J.R., et al.: Dynamic nuclear polarization with single electron spins. *Phys. Rev. Lett.* **100**, 067601 (2008)
- [19] Taylor, J. M., *et al.*: Solid-state circuit for spin entanglement generation of purification. *Phys. Rev. B* **94**, 236803 (2005)
- [20] Wootters, W. K.: Entanglement of formation of an arbitrary state of two qubits. *Phys. Rev. B* **80**, 2245 (1998)
- [21] Jelezko, F., *et al.*: Observation of Coherent Oscillation of a Single Nuclear Spin and Realization of a Two-Qubit Conditional Quantum Gate. *Phys. Rev. Lett.* **93**, 130501 (2004)
- [22] Guerrero, R. J., Rojas, F.: Effect of the Dzyaloshinski-Moriya in the quantum (swap) ^{α} gate produced with exchange coupling. *Phys. Rev. A* **77**, 012331 (2008)

OEyB10- Fabricación de un Prototipo para la Medición de Propiedades Térmicas basado en el Efecto Fotoacústico

David Gasca Figueroa¹, Francisco Javier García Rodríguez^{3,**}, Micael Gerardo Bravo Sanchez², Miguel Ángel Estrada-Álvarez⁴, José Guadalupe Zavala-Villalpando⁴

^a Estudiante del Programa Doctoral en Ingeniería del Instituto Tecnológico de Celaya, Av. Tecnológico S/N, Col. Fovissste, 38010 Celaya, Gto., México. david.gasca@itcelaya.edu.mx.

^b Departamento de Ingeniería Bioquímica, Instituto Tecnológico de Celaya. Av. Tecnológico S/N, Col. Fovissste, 38010 Celaya, Gto., México.

^c Departamento de Ingeniería Industrial, Instituto Tecnológico de Celaya. Av. Antonio García Cubas 1200, Col. Fovissste, 38010 Celaya, Gto., México.

^d Departamento de Ingeniería Mecatrónica. Instituto Tecnológico de Celaya. Av. Tecnológico S/N, Col. Fovissste, 38010 Celaya, Gto., México.

** Estancia Sabática en la División de Estudios de Posgrado, Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Querétaro. Cerro de Las Campanas, s/n, Centro Universitario, 76010 Querétaro, Querétaro.

Resumen. - *Los fenómenos físicos derivados del efecto fotoacústico resultan de suma importancia en la determinación de propiedades térmicas. En el presente trabajo, se realiza una revisión del fenómeno, su desarrollo, aplicaciones y formas de mejorar la señal fotoacústica. Se fabricó e instrumentó un sistema experimental de lecturas fotoacústicas, con capacidad de hacer pruebas en un rango de frecuencia variable y constante. Primero, se realizó el diseño, código G y fabricación de la mesa óptica en una máquina CNC 3 ejes; luego, se estableció la comunicación del sistema experimental, utilizando la herramienta virtual LabView. Finalmente, se realizaron pruebas, los resultados obtenidos son consistentes con lo reportado en la literatura. El prototipo obtenido resulta ser muy compacto y práctico. Esto es posible, gracias a la eliminación de componentes mecánicas utilizadas en los sistemas tradicionales.*

Palabras clave: Efecto fotoacústico; propiedades ópticas; propiedades térmicas; Celda fotoacústica; Modelo de Rosencwaig y Gersho.

Abstract. - *The physical phenomenon derived of the photoacoustic effect are employed in the determination of thermal properties. In the present work, a review of the phenomenon, its development, applications and ways of improving the photoacoustic signal is carried out. An experimental setup of photoacoustic signal is built and instrumented it works with variable and constant frequency. First, the design, G-code and fabrication of the optic table is realized in a 3 axes CNC; then, the experimental setup communication is established through the LabView software. Finally, probes were developed, the obtained results are consistent with the reported in the literature.*

The obtained prototype was compact and practice. It is possible, due to the elimination of the opto-mechanical components used in traditional systems.

Key words: Photoacoustic effect; Optical properties; Thermal properties; Photoacoustic cell; Rosencwaig and Gersho's Model.

1. Introducción

En la actualidad, las técnicas basadas en el efecto fotoacústico tienen muchas aplicaciones [1-6]. Los mecanismos físicos involucrados son generados por una señal acústica producida, iluminando una muestra con un haz de luz modulado periódicamente en una celda cerrada [7]. Este efecto causa ondas acústicas que son detectadas por un micrófono. La técnica fotoacústica es una técnica versátil y no intrusiva para determinar propiedades térmicas, como la difusividad o la conductividad térmica [8-13]. Con el desarrollo de nuevos materiales con posibles aplicaciones tecnológicas, así como la investigación en procesamiento de materiales, se ha impulsado el diseño y puesta en marcha de nuevas técnicas que permitan la caracterización de sus propiedades [3], estructura interna [14,15] y los posibles procesos electrónicos que ocurren en ellos [15-17]. Dentro de las propiedades macroscópicas importantes se encuentran las propiedades térmicas, de las cuales se pueden mencionar: Capacidad calorífica, calor específico, capacitancia térmica, conductividad térmica, difusividad térmica, efusividad térmica y coeficiente de expansión térmica.

La técnica fotoacústica ha sido empleada en la medición desde grandes materiales, películas delgadas, multicapas, muestras porosas hasta matrices de nanocables [15,18-20]. Balderas 2005 realizó la medición de la difusividad térmica en materiales ópticamente opacos, normalizando la señal fotoacústica, a diferencia de otras metodologías de normalización, esta corresponde a un material de referencia semi-infinito. Hu y su equipo de colaboradores derivaron una expresión generalizada para el efecto fotoacústico en materiales multicapa. La expresión toma en cuenta las propiedades ópticas y térmicas, así como la geometría de una estructura multicapa, ellos obtuvieron resultados muy próximos a los resultados experimentales. En 1999, Kalapy y colaboradores midieron la conductividad térmica en una matriz de nanocables de compósito epóxido de telurio de bismuto. En 2014 Begoña y colaboradores midieron la conductividad térmica de lignosulfonato de sodio mediante la técnica fotoacústica obteniendo valores de 1W/m-K empleando el modelo de multicapa desarrollado por Hu.

Los experimentos en la celda fotoacústica pueden ser desarrollados en dos diferentes configuraciones experimentales: Configuración delantera y trasera como se muestra en la figura 1. En la configuración delantera, la muestra es iluminada de manera perpendicular a la superficie de la muestra de tal manera que las ondas acústicas son creadas en una fina capa adyacente a la superficie irradiada, por el contrario, en la configuración trasera las ondas acústicas son detectadas en el gas adyacente a la superficie trasera de la muestra, i.e., en la superficie opuesta a la cara que es irradiada, a este caso también se le conoce como transmisión. Una

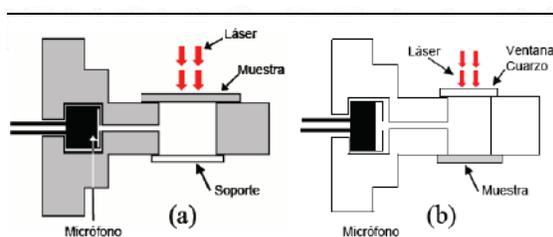


Figura 1. Esquema de las dos principales formas de medición a) configuración de reflexión y b) configuración de transmisión.

variante de la configuración trasera es la bien conocida: celda fotoacústica abierta, la cual consiste en colocar la muestra directamente sobre el micrófono sin una celda fotoacústica de por medio [21], el micrófono empleado por M D da Silva y su equipo de trabajo es un micrófono de electreto, este micrófono tiene la característica de que esta sellado y solo existe una pequeña cámara cilíndrica que es parte del mismo micrófono y es donde las ondas acústicas son detectadas o producidas por el micrófono según sea la aplicación deseada, esta característica especial permite colocar la muestra justo encima del micrófono con ayuda de pasta térmica para aislar del ruido externo y entre la muestra y el micrófono constituyen una pequeña celda fotoacústica del tipo trasera o en modo de transmisión. Desde luego que el micrófono juega un papel primordial en esta configuración y su respuesta ante la variación de frecuencia es importante conocerla para incluirla o eliminarla en la respuesta obtenida en el lock-in.

La principal ventaja de la técnica es que su sistema de detección es único, el micrófono no es afectado por la resistencia térmica de contacto y es relativamente económico. Sin embargo, es limitado por la respuesta del micrófono a la frecuencia que puede variar desde Hz hasta kHz, así, la longitud de penetración térmica también se ve limitada acorde con la ecuación 1.

$$\mu = \sqrt{\frac{\alpha}{\pi f}} \quad (1)$$

En el presente trabajo, se realiza la fabricación e instrumentación de un sistema experimental de lecturas fotoacústicas, haciendo uso de la herramienta virtual LabView. El procedimiento es coleccionar los datos experimentales producto de la absorción del calor en sólidos [22], mediante el uso de instrumentos virtuales que permitan comunicar cada uno de los módulos del sistema. Para generar el efecto fotoacústico se coloca una muestra sobre

una celda hermética, con un gas encerrado (generalmente aire) y se ilumina con un haz de luz modulada. Las ondas térmicas generadas dentro del sólido, por la absorción de radiación, se difunden hacia el gas en contacto con la superficie, provocando fluctuaciones de presión en el interior de la celda, las cuales son detectadas con un micrófono de electreto acoplado a la celda [7]. Esta señal detectada por el micrófono se recupera en forma de señal eléctrica. En la figura 2, se observa el esquema básico y elementos necesarios para la generación y detección del efecto fotoacústico. En el diseño del prototipo, se incluye el diseño y fabricación de la mesa óptica. Se instala y calibran las componentes del sistema y se desarrolla un software para realizar la comunicación entre los dispositivos y coleccionar los datos experimentales.

2. Metodología.

Se construye un prototipo para la medición de propiedades térmicas basado en el efecto fotoacústico. A continuación, en la sección 2.1 se presenta la descripción detallada del sistema experimental y en la 2.2 se presentan las ecuaciones importantes y los experimentos realizados.

a. Configuración del sistema experimental.

El diagrama de bloques del equipo experimental se observa en la figura 2. En primera instancia, mediante la interfaz gráfica creada en LabView es posible manipular las funciones del amplificador lock-in desde la PC y seleccionar así los parámetros de trabajo del experimento. El amplificador lock-in cuenta con un oscilador interno el cual, una vez preestablecido su valor de la amplitud y frecuencia, se conecta al controlador del diodo laser y de esta manera el diodo laser trabajará a la misma señal de frecuencia que la del oscilador interno del amplificador. Enseguida, el haz de luz láser incide a cierta frecuencia sobre una muestra de interés que descansa a su vez sobre la celda fotoacústica. La celda está conformada por una cámara de gas (en este caso aire) herméticamente cerrada y acoplado

a un micrófono cuya función es detectar los cambios de presión dentro de la cámara de gas debido a las variaciones de temperatura dentro de la misma. El micrófono convierte las ondas acústicas detectadas en señales eléctricas, las cuales pasan por un preamplificador antes de pasar por el amplificador quien finalmente limpia y almacena la información de amplitud y fase de dicha señal eléctrica. La información de fase y amplitud de la señal eléctrica resultante se almacena en el amplificador lock-in y LabView extrae dicha información para posteriormente trazar una gráfica de amplitud en función de la frecuencia. El diodo láser, así como la celda fotoacústica descansan sobre una mesa óptica, diseñada y fabricada en nuestro laboratorio; para evitar que cualquier vibración externa perturbe el experimento.

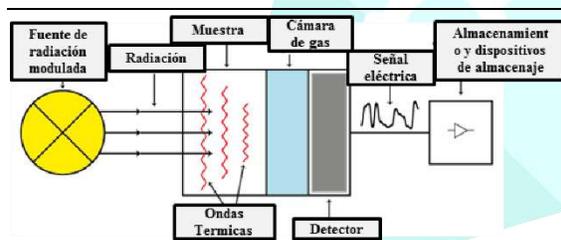


Figura 2. Configuración experimental del sistema fotoacústico.

b. Modelo teórico

La teoría del efecto fotoacústico en sólidos fue desarrollado por Rosencwaig y Gersho quien resolvió la ecuación de difusión para cada capa: material de soporte, muestra sólida y la capa de gas empleando las condiciones de frontera apropiadas. La ecuación de difusión térmica en la muestra, tomando en cuenta la fuente de calor, se escribe como se muestra en la ecuación 2.

$$\frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial \theta}{\partial t} - A e^{\beta x} (1 + e^{i\omega t}); -1 \leq x \leq 0 \quad (2)$$

donde $A = \beta I_0 \eta / 2k$, θ es la temperatura y η es la eficiencia a la cual la luz absorbida a la longitud de onda λ es convertida en calor por el proceso de desexcitación no radiativa. Se asume que $\eta=1$. Para la muestra y soporte se emplea la misma ecuación sin el último termino que es el termino asociado a la incidencia de la luz en la muestra.

3. Instrumentación del sistema

La instrumentación del sistema experimental se divide básicamente en cuatro etapas: 1. Interfase de usuario. Aquí, se seleccionaron los controladores e indicadores para configurar diversas funciones del amplificador; modo de operación, i.e., si el proceso se va a ejecutar de manera manual o automática y dos gráficas donde registran los valores obtenidos de amplitud y fase contra frecuencia. El *modo manual*, permite seleccionar la frecuencia y la fase del oscilador interno, así como su amplitud. Además, es posible configurar otras funciones del lock-in como la constante de tiempo, la sensibilidad, los filtros, entre otras funciones. En el *modo automático*, se debe seleccionar la frecuencia mínima y máxima con la que se va a trabajar, así como el incremento de la misma y un tiempo de espera entre cada lectura, esto con el fin de que se establezca la señal una vez que incrementa la frecuencia. También cuenta con un controlador para seleccionar el número de lecturas que se van a obtener por cada frecuencia, se realiza un promedio de las mismas y finalmente se gráfica. 2. Conexión serial de la PC con el amplificador lock-in RS830. Se establece la comunicación entre la PC y el amplificador lock-in RS830, se requieren controladores que permitan el enlace, utilizando el protocolo de comunicación serial RS232, esto se consiguió utilizando NI-VISA de National Instruments. Una vez realizada la comunicación entre los dispositivos, se desarrolló el instrumento virtual (VI), generado en la plataforma LabView (figura 3).

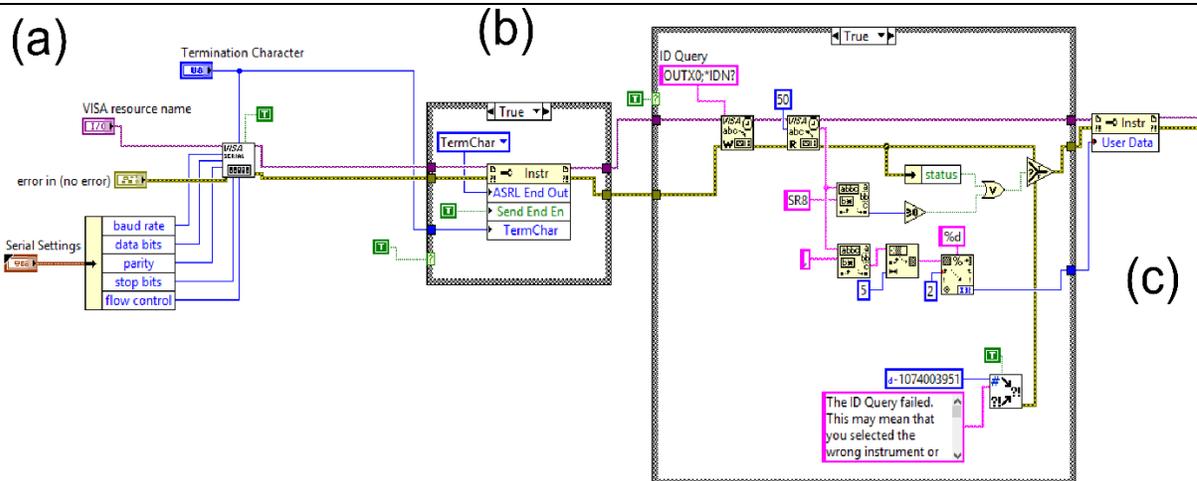


Figura 3. Diagrama de bloques para realizar la comunicación RS232, (a) Bloque VISA. Se refiere a la comunicación del sistema, (b) habilitación determinación de carácter y (c) identificación del dispositivo.

3. Configuración de los parámetros. Se envían comandos al amplificador para especificar ciertas condiciones; como la frecuencia de trabajo, amplitud de la señal, fase, sensibilidad, entre otros aspectos necesarios para adquirir una lectura limpia de la señal. Recordando que la ejecución del experimento se realiza de forma manual o automática, estructurando las correspondientes funciones. Finalmente, 4. Lectura de datos. se cuenta con un controlador en la interfaz de usuario el cual selecciona el número de lecturas de amplitud que se ven a tomar por cada frecuencia, para posteriormente realizar un promedio de estas lecturas y finalmente la lectura promedio obtenida se grafica en la gráfica correspondiente. Es importante mencionar que tanto el diagrama de bloques para la configuración de parámetros, así como el diagrama de bloques para la lectura de datos, están contenidos dentro de un mismo ciclo.

4. Procedimiento experimental.

Para determinar la difusividad térmica pueden seguirse varios procedimientos fundamentados en la técnica fotoacústica. Se utilizaron las configuraciones de transmisión y de reflexión en

aluminio, cobre, acero y polímero ABS, para comprobar convergencia. En metales esta metodología permite eliminar la función de transferencia. El método de transmisión consiste en incidir la luz láser hacia la muestra, la cual está en la parte frontal de la celda y solo el calor que logre traspasar la muestra hacia el interior de la celda contribuye a la señal fotoacústica, en tanto que el modo de reflexión por su parte consiste en colocar la muestra por la parte posterior de la celda y el calor reflejado hacia el interior de la celda es el causante de la señal de presión acústica. En ambos casos el interior de la celda debe estar sellado para evitar la interacción con posibles perturbaciones externas, como se muestra en la figura 4.

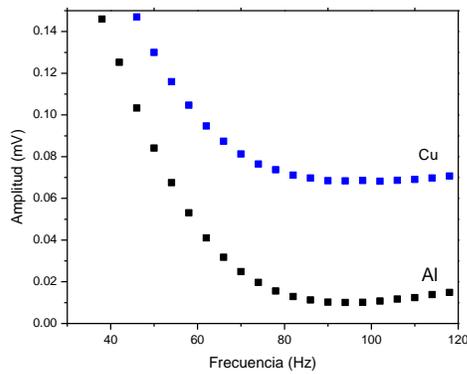


Figura 4. Señal fotoacústica producida en el rango de frecuencias de 1 a 120 Hz para aluminio (Al) y Cobre (Cu).

Se analizaron muestras de 8x15 mm, en Al, Lámina de acero, aleación AISI 304 y ABS con espesores de 0.15 mm. En todos los casos, el tiempo para estabilizar: 5s entre cada punto. Mediciones por punto: 5. Tiempo entre cada medición: 1s. El comportamiento encontrado utilizando la metodología RG y la auto normalización, permitieron determinar los valores de difusividad para cada uno de estos materiales, los cuales concuerdan con los valores reportados en la literatura. Es importante mencionar que todos estos materiales son homogéneos, isotrópicos y lineales.

Tabla1. Comparación entre las difusividades térmicas de aluminio, acero AISI1304 y polímero ABS obtenidas a través de la técnica fotoacústica y las reportadas en la literatura.

Material	Difusividad térmica obtenida (cm^2 / s)	Difusividad térmica reportada (cm^2 / s)
Aluminio	0.3964	0.3982
Acero AISI304*	0.03458	0.03633
Polímero tipo ABS	$\approx 3.73 \times 10^{-4}$	3.75×10^{-4}

El sistema es confiable, ya que su precisión es mayor al 95% con respecto a los datos consultados en la literatura. La metodología converge en un resultado muy similar al presentado en la tabla 1, por lo cual puede ser empleado en los demás materiales sólidos siempre y cuando sean homogéneos y en los metales tomando como referencia al aluminio y al acero y así eliminar el efecto de la función de transferencia del sistema, obteniendo un resultado más preciso.

5. Aplicaciones y otros desarrollos

Un buen número de modificaciones y mejoras han sido reportadas para esta técnica. En 1977 Aamodt y otros [23] estudiaron la dependencia de la sensibilidad de un espectrómetro fotoacústico sobre las dimensiones de la celda a causa de que las amplitudes de las fluctuaciones de presión en el gas dependen de la intensidad de la luz incidente, propiedades térmicas de la muestra y el gas y de los procesos de difusión térmica causantes del flujo de calor, además concluyeron que los fenómenos de difusión en gases son mucho más complejos y esto es atribuido a que la temperatura se separa los gases en una parte térmica o que no propaga la señal y en una parte acústica que si propaga la señal. McDonald y Wetsel extendieron la teoría del efecto fotoacústico al incluir la contribución de las vibraciones mecánicas de la muestra, lo cual fue

descrito como un acoplamiento acústico entre las ecuaciones de difusión de calor y de ondas acústicas [24]. Este efecto es importante para líquidos, por su alto coeficiente de expansión térmico, y para muestras transparentes, debido a que el acoplamiento acústico es alto cuando el coeficiente de absorción óptico es reducido. Su trabajo es una extensión del modelo del pistón de Rosencwaig y Gersho. En su trabajo concluyen que el movimiento mecánico de líquidos y sólidos puede afectar considerablemente la señal fotoacústica y puede ser dominante para algunas muestras líquidas. Su modelo de pistón compuesto es válido para muestras térmicamente gruesas.

Posteriormente, Cesar y otros estudiaron la señal fotoacústica de un sólido, incluyendo la resistencia térmica superficial de la muestra [25], en este trabajo se hace mención al significado de una resistencia térmica considerada como nula. Una resistencia térmica nula significa que la transferencia de calor entre los dos medios es instantánea o, alternativamente, que la emisividad de la superficie es infinita. Después, Quimby y sus colegas en 1980 desarrollaron un modelo unidimensional para el efecto fotoacústico en sólidos, el cual es válido asumiendo que la longitud de difusión térmica es mucho menor que el radio de la muestra. [26] Este estudio simplifica considerablemente el desarrollo matemático. En el mismo año, Fernelius estudio las muestras bicapa, donde cada capa tenía propiedades ópticas y térmicas diferentes [27], aquí se estudia el efecto de agregar una capa sobre algún material con propiedades distintas a la muestra de estudio. Poulet estudio la espectroscopia fotoacústica cuantitativa aplicada a muestras térmicamente gruesas donde las variaciones teóricas del módulo y fase de la señal fotoacústica fueron comparados con los resultados experimentales para un amplio rango de muy o moderadamente materiales absorbentes. [28], en su trabajo se evidencia el rango de influencia de los fenómenos de acoplamiento resaltados por otros autores y se hace énfasis en el

rango de validez para sustancias absorbentes, también se concluye que las técnicas espectroscópicas en el modo de transmisión no son capaces de realizar estos análisis debido a la naturaleza moderada o altamente absorbente de las muestras de trabajo. El equipo de Rousset desarrollo un modelo que contempla la flexión termoelástica, la cual es la expansión térmica a lo largo del espesor de la muestra debido al gradiente térmico inducido, la flexión termoelástica de muestras solidas produce fuertes señales fotoacústica, las cuales no pueden ser analizadas por cálculos de fotoacústica usuales, su modelo es acorde con los datos obtenidos mediante un sensor termoelástica de deformaciones, más aun, el modelo desarrollado es también consistente con calculo previos piezoeléctrico-fotoacústico y sirve para la determinación de difusividades térmicas [29]. Esta puede ocurrir cuando se miden muestras sólidas, especialmente en la configuración trasera. Otros trabajos mejoran la adquisición de datos y la obtención de la difusividad térmica al considerar otros fenómenos tales como difusión térmica y la flexión termoelástica [30,31], Somer y su equipo de colaboradores en 2013 exploraron el potencial de la celda fotoacústica abierta al estudiar los efectos del proceso de flexión termoelástica y los procesos de difusión en la generación de la señal fotoacústica en sólidos, como conclusión obtuvieron que la flexión termoelástica se incrementa cuando el espesor de la muestra disminuye, esta información fue aprovechada para coleccionar datos y emplear el parámetro de flexión termoelástica como una función del espesor de la muestra, se concluye que el proceso de difusión térmica está siempre presente en la generación de la señal fotoacústica sin importar el espesor de la muestra y que la flexión termoelástica es más efectiva y puede emplearse como un parámetro de medición a medida que el espesor de la muestra disminuye. En 2015 Bedoya y colaboradores implementan una metodología de punta que puede ser empleada para mediciones térmicas de precisión por medio de fotoacústica.

Rodríguez y colaboradores (2007) desarrollo una novedosa celda fotoacústica diferencial (DPC) con objeto de estudiar procesos dinámicos. La DPC tiene la capacidad de medir en tiempo real la amplitud y la fase de la señal fotoacústica tanto para la muestra de trabajo como para la muestra de referencia bajo estudio. Las mediciones simultáneas de ambas señales eliminan la función instrumental, y la presencia de ruido, debido a alguna desviación originada por factores eléctrico, óptico y ambiental. La DPC puede ser usada a diferentes perfiles de temperatura de modo que se obtiene la función instrumental. La celda fotoacústica diferencial también tiene todos los elementos de una celda electroquímica capaz de seguir los procesos electroquímicos, como resultado de esta instrumentación es posible obtener en tiempo real la amplitud y la fase de la señal fotoacústica viniendo de la muestra sin alguna interferencia por parte del sistema. En su trabajo presenta dos casos como una demostración de su trabajo aplicado a dos campos de estudio: La electrodeposición de zinc sobre un sustrato de acero, así como el estudio de la difusión de iones agua y calcio dentro de capas orgánicas. [16]. Una de las grandes ventajas del trabajo de Rodríguez, es que en su celda se propone un control de temperatura, esto puede evitar las variaciones de la temperatura ambiente y es posible lograr una mayor estabilidad térmica. Incluso su trabajo amplió la posibilidad de incrementar la señal fotoacústica a través de la variación de temperatura, esto a causa de que el sonido viaja más rápidamente cuando la temperatura aumenta. Marquezini desarrollo un trabajo en el cual se incluye la respuesta del micrófono ante la variación de la frecuencia de la onda incidente sobre la muestra de trabajo, en este trabajo se desarma un micrófono de electreto y se analizan los efectos debido a su fabricación y con ello se obtiene un modelo matemático que representa la respuesta del micrófono [32]. Finalmente, en el trabajo de Cortes-Ibarra y colaboradores se muestra la importancia de la celda fotoacústica diferencial en la medición in situ de diversos procesos dinámicos, en su trabajo

se mide la permeabilidad del agua en hueso descalcificado [33].

6. Conclusiones

Se fabricó un sistema experimental de lecturas ópticas haciendo uso de la herramienta virtual LabView. Se realizaron mediciones en aluminio y acero. Los valores resultantes de difusividad térmica medidos al usar las diferentes metodologías convergieron de acuerdo con los valores reportados en la literatura, mostrando auto-consistencia.

LabView mostró ser una excelente herramienta para la instrumentación virtual de sistemas experimentales, ya que, al ser un ambiente de programación por bloques, es sumamente intuitiva, es posible modificar o agregar fácilmente más funciones de ser necesario, además de ahorrar tiempo, con respecto a otros lenguajes de programación. Con respecto a las mediciones realizadas, el sistema instrumentado, permite obtener propiedades térmicas en materiales opacos, mediante pruebas no destructivas.

La técnica fotoacústica (TFA), ha sido ampliamente utilizada para diagnósticos térmicos en una diversidad de materiales. El principio básico de esas técnicas consiste en las mediciones indirectas de las fluctuaciones de temperatura como un resultado del proceso de desexcitación no radiativa que toma lugar siguiendo la absorción de la intensidad de radiación modulada. Con algunas pocas excepciones TFA involucra el análisis de la señal como una función de la frecuencia de modulación.

Referencias

- [1] Lomelí Mejía P. A, Castellanos Abrego N. P., Méndez González M. M., Cruz Orea A., Jiménez Pérez J. L., Aplicaciones Biofísicas de la fotoacústica, Investigación en Discapacidad, 1(2), 2012.
- [2] Da silveira Nicolson R., Bayer C. Denega G. L., Victoria de Oliveira P. A., Higarashi M.M.,

- Corulli Correa J., Dos Santos Lopes L., Gas chromatography and photoacoustic spectroscopy for the assessment of soil greenhouse gases emissions. *Ciencia Rural*, v.3, n.2, p 262-269, 2013 ISSN0103-8478
- [3] N.A. George, C.P.G. Vallabhan, V.P.N. Nampoori, A.K. George, P. Radhakrishnan., Use of an open photoacoustic cell for the thermal characterization of liquid crystals, *Appl. Phys. B* 73, 145–149 (2001) / Digital Object Identifier (DOI) 10.1007/s003400100622,
- [4] Schmitt M., Poffo C. M., Cardoso de Lima J., Peres Fernandez C., Santiago dos Santos V. S., Application of photoacoustic spectroscopy to characterize thermal diffusivity and porosity of caprocks, *Engineering Geology* 220 (2017) 183-195
- [5] Hernandez-Aguilar C., Cruz-Orea A., Ivanov R., Dominguez A. Carballo A. Moreno I., Rico R., The Optical Absorption Coefficient of Maize Seeds Investigated by Photoacoustic Spectroscopy, *Food Biophysics* (2011) 6:481–486
- [6] Cywiak D., Barreiro-Argüelles M. D., Cywiak M., Landa-Curiel A., Garcia-Segundo C., Gutierrez-Juárez G., A One-Dimensional Solution of the Photoacoustic Wave Equation and its Relationship with Optical Absorption, *Int J Thermophys* (2013) 34:1473–1480
- [7] Rosencwaig A, Gersho A. Theory of the photoacoustic effect with solids. *J Appl Phys* 1976;47:64–9.
- [8] Bedoya A., Marin E., Mansanares A.M., Zambrano-Arjona M.A., Riech I., Calderon A., On the thermal characterization of solids by photoacoustic calorimetry: thermal diffusivity and linear thermal expansion coefficient. *Thermochimica Acta* 614 (2015) 52-58
- [9] M. Akabori, H. Nogawa, Y. Nagasaka and A. Nagashima, Proc. 11th Jpn. Symp. on Thermophysical Properties, 1990, Japan Society of Thermophysical Properties, p. 17 (I-Japanese).
- [10] Biswas K. G., Sands T. D., Cola B., Xu X., Thermal conductivity of bismuth telluride nanowire array-epoxy composite, Birk and NCN Publications, Birck Nanotechnology Center, Purdue University, 6-1-2009
- [11] G. Rousset, F. Lepoutre, and L. Bertrand Influence of thermoelastic bending on photoacoustic experiments related to measurements of thermal diffusivity of metals, *Journal of Applied Physics* 54, 2383 (1983); doi: 10.1063/1.332352
- [12] Photoacoustic measurement of thermal diffusivity of polymer foils *J. Appl. Phys.* 61, 3025 (1987); 10.1063/1.337853
- [13] Thermal diffusivity of optical fibers measured by photoacoustics *Appl. Phys. Lett.* 41, 341 (1982); 10.1063/1.93505
- [14] Sajan D. G., George A. K., Radhakrishnan P., Nampoori V. P. N., Vallabhan C. P. G., Photoacoustic studies on thermal parameters of liquid crystal mixtures, *Smart Mater. Struct.* 16 (2007) 1298–1301 doi:10.1088/0964-1726/16/4/042
- [15] Abad B., Ruil Bravo M., Hodson S. L., Xu X., Martin-Gonzalez M., Thermoelectric properties of electrodeposition tellurium films and the Sodium lignosulfonate effect. *Electrochimica Acta* 169 (2015) 37-45
- [16] Rodríguez-García M. E., Hurtado-Castañeda D., Perez Bueno J. J., Differential photoacoustic cell for electrochemical and dynamic process with temperature control, Review of scientific instruments, March 2007, DOI 10.1063/1.27159016

- [17] Hanping H., Xinwei W., Xianfan X., Generalized theory of the photoacoustic effect in a multilayer material, *J. Appl. Phys.* 86, 3953 (1999); doi: 10.1063/1.371313
- [18] Balderas-Lopez JA. Photoacoustic signal normalization method and its application to the measurement of the thermal diffusivity for optically opaque materials. *Rev Sci Instrum* 2006;77:064902–4.
- [19] Hu H, Wang X, Xu X. Generalized theory of the photoacoustic effect in a multilayer material. *J Appl Phys* 1999;86:3953–8.
- [20] Biswas K, Sands T, Cola B, Xu X. Thermal conductivity of bismuth telluride nanowire array-epoxy composite. *Appl Phys Lett* 2009;94:223116-3.
- [21] Silva MDd, Bandeira IN, Miranda LCM. Open-cell photoacoustic radiation detector. *J Phys E: Sci Instrum* 1987;20:1476.
- [22] Bell AG. The photophone. *Science* 1880;1:130–4
- [23] Aamodt L, Murphy J, Parker J. Size considerations in the design of cells for photoacoustic spectroscopy. *J Appl Phys* 1977;48:927–33.
- [24] McDonald FA, Grover C, Wetsel J. Generalized theory of the photoacoustic effect. *J Appl Phys* 1978;49:2313–22.
- [25] Cesar CL, Vargas H, Meyer JA, Miranda LCM. Photoacoustic effect in solids. *Phys Rev Lett* 1979;42:1570–3.
- [26] Quimby RS, Yen WM. On the adequacy of one dimensional treatments of the photoacoustic effect. *J Appl Phys* 1980;51:1252–3.
- [27] Fernelius NC. Extension of the Rosencwaig-Gersho photoacoustic spectroscopy theory to include effects of a sample coating. *J Appl Phys* 1980;51:650–4.
- [28] Poulet P, Chambron J, Unterreiner R. Quantitative photoacoustic spectroscopy applied to thermally thick samples. *J Appl Phys* 1980;51:1738–42.
- [29] Rousset G, Lepoutre F, Bertrand L. Influence of thermoelastic bending on photoacoustic experiments related to measurements of thermal diffusivity of metals. *J Appl Phys* 1983;54:2383–91.
- [30] Somer A, Camilotti F, Costa GF, Bonardi C, Novatski A, Andrade AVC, et al. The thermoelastic bending and thermal diffusion processes influence on photoacoustic signal generation using open photoacoustic cell technique. *J Appl Phys* 2013;114:063503.
- [31] Bedoya A, Marin E, Mansanares AM, Zambrano-Arjona MA, Riech I, Calderon A. On the thermal characterization of solids by photoacoustic calorimetry: Thermal diffusivity and linear thermal expansion coefficient. *Thermochim Acta* 2015;614:52–8.
- [32] Marquezini. M.V., Cella. N., Mansanares. A. M., Vargas. H. Miranda. L. C. M.; *Meas. Sci. Technol.* 2(1991) 396-401 Printed in the UK
- [33] Cortes-Ibarra. M. L., Urriolagoitia-Calderon. G.M., Hernandez-Gomez. L. H., Mendoza-Lopez. M. L., Rodríguez-García. M. E., Urriolagoitia Sosa. G.; *Rev. Colomb. Biotecnol.* Vol. X No. 2 Diciembre 2008 14-22.

OEyB11- Modelo Dinámico y Control de Trayectorias de un Robot Móvil para Aplicación de Fisioterapia a Ratas Taiep

Daniel Eduardo Hernández Sanchez¹, José Fernando Reyes Cortés², José Ramón Eguibar Cuenca³, Maricarmen Cortés Sánchez³

¹Facultad de Ciencias de la Electrónica, Maestría en Ciencias de la Electrónica opción Automatización.

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Av. San Claudio y 18 Sur S/N C. U. Col. Jardines de San Manuel, C.P. 72570, Puebla, Pue., México.

²Instituto de Fisiología. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Av.14 Sur 6301, C. U. Col. Jardines de San Manuel, C.P. 72570, Puebla, Pue., México.

Resumen. – *En el presente trabajo se expone el diseño, la construcción, el modelado dinámico y el control de un robot móvil que permite abordar el problema motor que presenta el mutante de mielina denominada rata taiep. Con el uso del modelo dinámico desarrollado, se simula una trayectoria con dos algoritmos de control y los resultados obtenidos se muestran en gráficas que permiten comparar el desempeño de cada uno y, para finalizar se presentan imágenes del prototipo construido.*

Palabras clave: Robot móvil; dinámica; algoritmos de control; control de trayectoria; taiep; mielina.

Abstract. - *In this work we present the design, construction, dynamic modeling and control of a mobile robot that allows us to tackle the motor problem that presents the myelin mutant called rat taiep. With the use of the dynamic model that we developed, we simulate a trajectory with two control algorithms and the results obtained are shown in graphs that allow us to compare the performance of each one. Finally, the images of the prototype are shown.*

Key words: Mobile robot; dynamics; control algorithms; trajectory control; taiep; myelin.

1. Introducción

La rata taiep es un mutante neurológico caracterizado por mielinización anormal y posterior desmielinización del sistema nervioso central [1]. Presenta un síndrome motor progresivo caracterizado por temblores, ataxia, episodios de inmovilidad, epilepsia y parálisis de los miembros posteriores [2]. Se han desarrollado pocos dispositivos o mecanismos que permiten estudiar los trastornos que presenta la rata taiep, ver trabajo de Jeff A. Nessler [3]. Bajo este contexto se ubica la propuesta del presente trabajo, cuya motivación principal radica en el diseño, construcción, modelado dinámico y control de un robot móvil que permite abordar el problema motor mediante una rutina programable que aplique una estimulación repetitiva a la extremidad de una rata sana o una rata taiep, emulando una fisioterapia con movimientos alternantes de flexión y extensión, mejorando así la transmisión de impulsos nerviosos a lo largo de las neuronas, lo que puede ayudar a mantener la mielina o evitar que el problema evolucione.

Se elige el robot móvil de tracción diferencial debido a que posee un espacio de trabajo ilimitado, en comparación a los robots manipuladores y pueden realizar movimientos en línea recta, girar sobre sí mismo y trazar curvas [4]. Para llevar a cabo su control de movimiento se formulan leyes de control que permita al vehículo seguir de forma autónoma una trayectoria de referencia [5], lo cual resulta complicado. Los resultados que se presentan demuestran la complejidad de realizar el control de los robots móviles, ya que estos dependen de distintos factores como lo son: el estudio adecuado de la cinemática, debido a que la configuración elegida de robot móvil determinara el tipo de restricción con las que cuente su movimiento (restricciones no holonómicas), el tipo de controlador aplicado (el tiempo de respuesta, su exactitud, desempeño

y robustez) y los métodos de sintonización de ganancias.

2. Cinemática y dinámica

Con base en la figura 1 (a), se describe la cinemática diferencial con $\dot{x} = v \cos(\theta)$, $\dot{y} = v \sin(\theta)$ y $\dot{\theta} = \omega$, donde $p = [x_0, y_0]^T$ representa la posición del robot, θ es la orientación, v y ω son estradas de control de velocidad lineal y angular respectivamente, que pueden ser expresadas con la ecuación (1).

$$v = \frac{v_D + v_I}{2} = R \frac{\dot{\phi}_D + \dot{\phi}_I}{2}, \quad \omega = \frac{v_D - v_I}{2} = R \frac{\dot{\phi}_D - \dot{\phi}_I}{2}, \quad (1)$$

donde $\dot{\phi}_D$ y $\dot{\phi}_I$ son velocidades angulares y R es el radio de las ruedas.

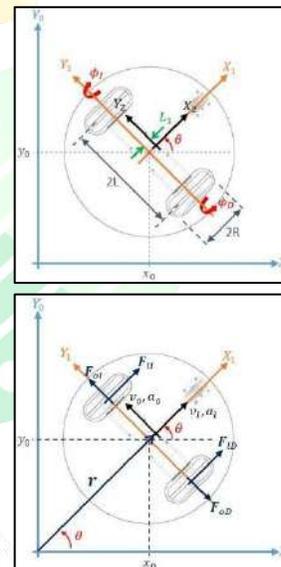


Figura 1. (a) Sistemas de coordenadas $\Sigma_0(X_0, Y_0, Z_0)$, $\Sigma_1(X_1, Y_1, Z_1)$ y $\Sigma_2(X_2, Y_2, Z_2)$ describen el desplazamiento y la orientación del móvil. $2L$ distancia entre las dos ruedas de tracción, $2R$ diámetro de las ruedas y L_1 distancia del centro de masa al eje de rotación de las ruedas. (b) Diagrama de cuerpo libre del móvil. F_{lI} y F_{lD} son fuerzas longitudinales, F_{oI} y F_{oD} son fuerzas laterales, v_l y v_o son velocidades, a_l y a_o son las aceleraciones del centro de masa.

Del mismo modo se definen las componentes del centro de masa con la siguiente ecuación:

$$x_2 = x_0 + L_1 \cos(\theta), y_2 = y_0 + L_1 \sin(\theta). \quad (2)$$

Fundamentado en [6], el modelo dinámico se desarrolla por el método de Newton-Euler para lo cual se requiere un diagrama de cuerpo libre (ver figura 1 (b)). Se representa la posición del centro de masa del móvil empleando coordenadas polares, $\hat{r} = r(\cos(\theta) + i\sin(\theta)) = re^{i\theta}$, que al diferenciar da como resultado la velocidad $\dot{\hat{r}} = \dot{r}e^{i\theta} + r\dot{\theta}e^{i(\theta+\frac{\pi}{2})}$ y la aceleración $\ddot{\hat{r}} = (\ddot{r} - r\dot{\theta}^2)e^{i\theta} + (2\dot{r}\dot{\theta} + r\ddot{\theta})e^{i(\theta+\frac{\pi}{2})}$. Con lo anterior, se definen las velocidades y aceleraciones que se especifican en el diagrama de cuerpo libre como se observa a continuación:

$$v_l = \dot{r} \Rightarrow \dot{v}_l = \ddot{r}, \quad (3)$$

$$v_o = r\dot{\theta} \Rightarrow \dot{v}_o = \dot{r}\dot{\theta} + r\ddot{\theta} \quad (4)$$

$$a_l = \ddot{r} - r\dot{\theta}^2 \Rightarrow a_l = \dot{v}_l - v_o\dot{\theta}, \quad (5)$$

$$a_o = 2\dot{r}\dot{\theta} - r\ddot{\theta} \Rightarrow a_o = \dot{v}_o + v_l\dot{\theta}. \quad (6)$$

Es posible hallar la relación entre torques, fuerzas y aceleraciones al expresar la segunda ley de Newton sobre el sistema de referencia Σ_1 . Se considera M como la masa total de robot móvil (llantas, cuerpo y actuadores) e $I = I_c + ML_1^2$ con lo que se define la dinámica del vehículo como se observa a continuación.

$$F_{U} + F_{LD} = Ma_l, F_{oI} - F_{oD} = Ma_o, \quad (7)$$

$$I\ddot{\theta} = (F_{U} - F_{LD})L + (F_{oI} - F_{oD})L_1. \quad (8)$$

Se sustituyen las ecuaciones (5) y (6) en las ecuaciones (7) y (8), definiendo así lo siguiente:

$$\dot{v}_l = \frac{F_U + F_{LD}}{M} + v_o\dot{\theta}, \quad \dot{v}_o = \frac{F_U - F_{LD}}{M} - v_o\dot{\theta} \quad (9)$$

$$\ddot{\theta} = \frac{L}{I_c + ML_1^2}(F_U - F_{LD}) + \frac{L_1}{I_c + ML_1^2}(F_{oI} - F_{oD}). \quad (10)$$

Las restricciones no holonómicas introducidas a un nivel cinemático se representan con la ecuación (11).

$$[\dot{x}_c \dot{y}_c \dot{\theta}] + [\cos(\theta) \ 0 \ \sin(\theta) \ 0 \ 0 \ 1][v \ \omega] \quad (11)$$

Al relacionar las ecuaciones (2) y (11) se obtiene que $\dot{y}_1 = v_o - L_1\dot{\theta}$ y al igualarla a cero se prueba que $v_o = L_1\dot{\theta}$, demostrando así que el robot no puede desplazarse lateralmente, por lo tanto, las ecuaciones (9) y (10) se reescriben de la siguiente forma:

$$\dot{v}_l = \frac{F_U - F_{LD}}{M} + L_1\dot{\theta}^2, \quad (12)$$

$$(I_c + ML_1^2)\ddot{\theta} - ML_1v_l\dot{\theta} = \frac{L}{R}(\tau_I - \tau_D). \quad (13)$$

Las ecuaciones anteriores se puede expresar de forma matricial como se observa en la ecuación (14).

$$\begin{bmatrix} M & 0 & 0 & I_c + ML_1^2 \end{bmatrix} [\dot{v}_l \ \dot{v}_o \ \ddot{\theta}] + \begin{bmatrix} 0 & -ML_1\dot{\theta} & ML_1\dot{\theta} & 0 \end{bmatrix} [v_l \ \dot{\theta}] = \frac{1}{R} \begin{bmatrix} 1 & 1 & L & -L \end{bmatrix} [\tau_I \ \tau_D]. \quad (14)$$

3. Resultados

En las figuras (2)-(4) se presentan los resultados de las simulaciones de modelo dinámico en conjunto al controlador PD $\tau = k_p(\ddot{q}) - k_v(\dot{q})$ y a la propuesta de controlador

$$\tau = k_p \frac{\cosh(\dot{q}) \sinh(\dot{q})}{1 + \cosh^2(\dot{q})} - k_v \frac{\cosh(\dot{q}) \sinh(\dot{q})}{1 + \cosh^2(\dot{q})}.$$

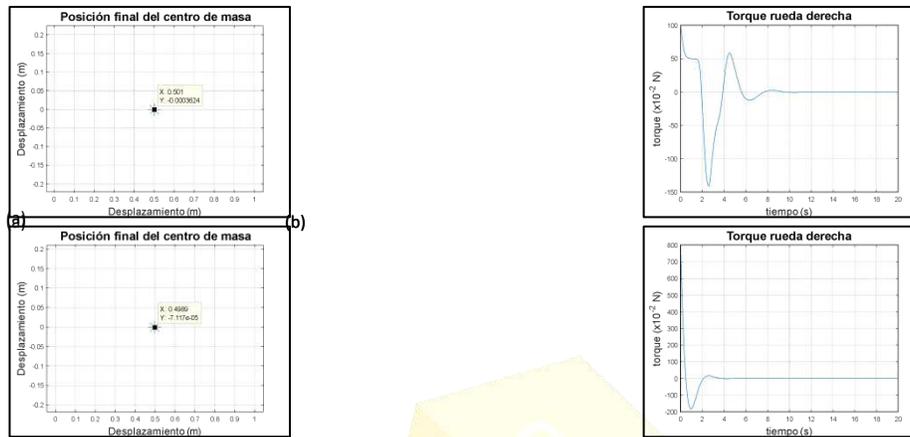


Figura 2. Posición final del centro de masa - (a) con la propuesta de controlador y (b) con el controlador PD.

Figura 4. Torque requerido por la rueda derecha para realizar la trayectoria deseada – (a) con la propuesta de controlador y (b) con el controlador PD.

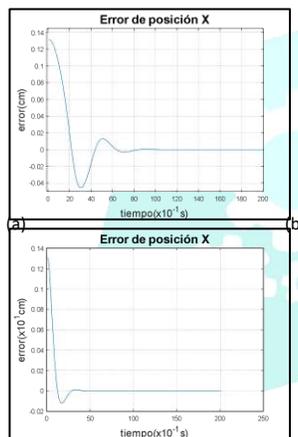


Figura 3. Error en el desplazamiento sobre el eje x - (a) con la propuesta de controlador y (b) con el controlador PD.

Se llevó a cabo la construcción del prototipo de robot móvil así como el diseño e instrumentación de la etapa de potencia (puente H) que nos permitirán, como trabajo a futuro, realizar las pruebas físicas del control de trayectoria (ver figura 4).

4. Conclusiones

Para la etapa de simulaciones se definió una trayectoria recta con inicio en $(x,y)=(0,0)$ cm y fin $(x,y)=(50,0)$ cm. Ambos controladores realizaron la trayectoria deseada llegando al destino como se observa en la figura 2. La respuesta del PD presenta un estado transitorio más corto (ver figura 3), sin embargo, requiere de una señal de control (torque) más grande (ver figura 4), en comparación al algoritmo de control propuesto, por ser un controlador no acotado. Esta acción acorta el tiempo de vida de los actuadores puesto que requerirán trabajar en la zona de saturación para cumplir su objetivo. Como trabajo a futuro se realizarán pruebas físicas que permitirán emular la terapia requerida y evaluar los resultados que presente el roedor.

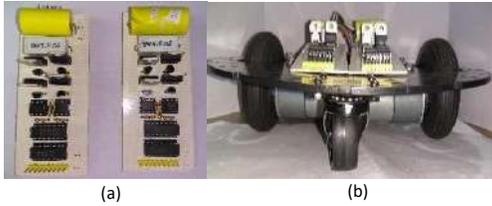
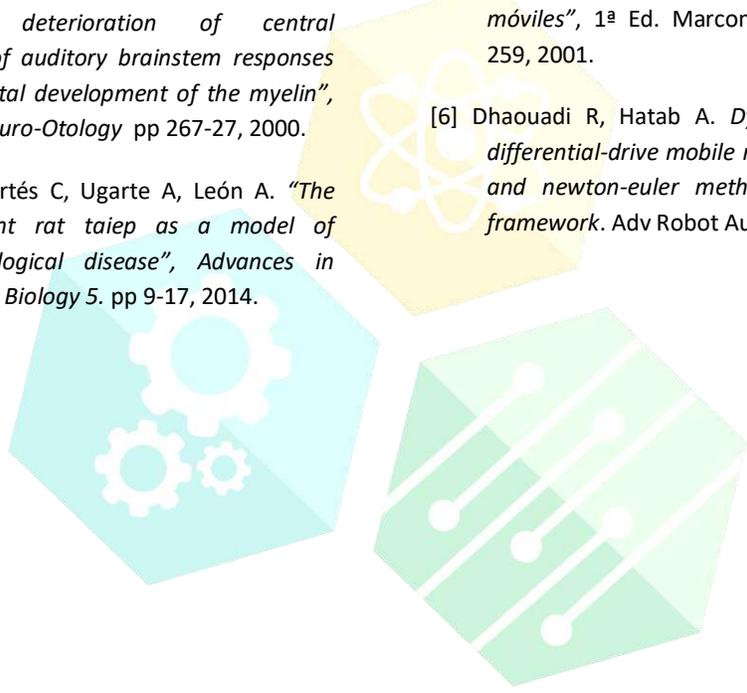


Figura 4. (a) Puente H y (b) Prototipo Robot Móvil.

Referencias

- [1] Roncagliolo M, Benítez J, Eguibar R. "Progressive deterioration of central components of auditory brainstem responses during postnatal development of the myelin", *Audiology & Neuro-Otology* pp 267-27, 2000.
- [2] Eguibar R, Cortés C, Ugarte A, León A. "The myelin mutant rat taiep as a model of neuroimmunological disease", *Advances in Neuroimmune Biology* 5. pp 9-17, 2014.
- [3] Nessler J, Timoszyk W, Merlo M, Emken J, Minakata K, Roy R, de Leon R, Edgerton V, Reinkensmeyer, D. "A Robotic Device for Studying Rodent Locomotion After Spinal Cord Injury", *TNSRE*, pp 497-506, 2005.
- [4] Reyes F, "Robótica: Control de Robots Manipuladores". 1ª Ed. Alfaomega, pp. 131-133, 251-327, 359-546, 2011.
- [5] Ollero A, "Robótica: Manipuladores y robots móviles", 1ª Ed. Marcombo, pp. 28-30, 258, 259, 2001.
- [6] Dhaouadi R, Hatab A. *Dynamic modelling of differential-drive mobile robots using lagrange and newton-euler methodologies: a unified framework*. *Adv Robot Autom* 2, pp 1-7, 2013.



OEyB12- Diseño e Implementación de una Silla de Ruedas Motorizada Controlada con Interfaz Inalámbrica

Rigoberto Cerino Jiménez¹, Pinto Avendaño², Sergio Vergara Limón¹, María Aurora Diozcora Vargas Treviño¹, Darnes Vilariño Ayala²

¹Facultad de Ciencias de la Electrónica, Maestría en Ciencias de la Electrónica opción Automatización, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Av. San Claudio y 18 Sur S/N C.U. Edif. 109A Col. Jardines de San Manuel, C.P. 72570, Puebla, Pue. México.

²Facultad de Ciencias de la Computación, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Av. San Claudio y 14 Sur S/N C.U. Col. Jardines de San Manuel, C.P. 72570, Puebla, Pue. México.

Resumen. - *En el presente documento se expone el proceso que se implementó para la construcción de una silla de ruedas motorizada, que tiene la versatilidad de ser controlada mediante diversos dispositivos inalámbricos y manuales. El sistema de dirección mecánica se basa en una configuración diferencial para mejorar la maniobrabilidad en escenarios pequeños. Se desarrolla la cinemática directa del robot móvil y para propósitos de estudio de un sistema de control se obtiene el modelo dinámico. Se instrumenta la electrónica de potencia con MOSFET. Para la etapa de control de movimiento se caracteriza un brazalete inalámbrico que detecta señales electromiográficas (EMG) de nuestro brazo, para seleccionar movimientos específicos y enviar instrucciones a los actuadores, se diseña una aplicación móvil en el SO Android y dispone de un control manual mediante un joystick.*

Palabras clave: Brazalete, Modelo dinámico, Robot móvil, Silla de ruedas.

Abstract. - *In the present document it exposes the process that was implemented for the construction of a motorized wheelchair, which has the versatility of being controlled by various wireless and manual devices. The mechanical steering system is based on a differential configuration to improve maneuverability in small scenarios.*

It develops the forward kinematics of the mobile robot and for purposes of studying a control system, the dynamic model is obtained. Power electronic is implemented with MOSFET. For the movement control stage, a wireless armband that detects electromyographic (EMG) signals from our arm is characterized to select specific movements and send instructions to the actuators; a mobile application is designed in the Android OS and has a manual control through a joystick.

Key words: Armband, Dynamic model, Mobile robot, Wheelchair.

1. Introducción

En la actualidad es incuestionable la dependencia de algunas personas con

discapacidad frente al uso de sistemas de desplazamiento que les permitan efectuar más actividades dentro de su vida cotidiana. La silla de ruedas motorizada (SRM) se considera un sistema

que permite el incremento de la libertad individual y que solventa limitaciones de desplazamiento [1].

En el laboratorio de Robótica y Control, en conjunto con el laboratorio de Ingeniería del Lenguaje y del Conocimiento de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, se desarrolla e implementa una SRM que recibe señales de dispositivos inalámbrico tales como un brazalete de lectura muscular (MYO) o una aplicación móvil, y de manera manual mediante un joystick. Generar tecnología propia y sistemas mecatrónicos a un costo accesible es un objetivo primordial y trascendental. Se presenta la metodología realizada y al final de este artículo se presentan los resultados del sistema.



Figura 1. Representación de la SRM diseñada en SOLIDWORKS

2. Diseño mecánico

El chasis de la SRM está construido con perfiles estructurales de aluminio para reducir peso, facilitar el ensamble y otorgar resistencia al mecanismo. La configuración del robot es diferencial con el objetivo de que ambas ruedas proporcionen tracción y direccionamiento, mediante el cambio de velocidades en cada rueda se obtiene un seguimiento de trayectoria deseado.

Es una SRM de tracción electromotriz por transmisión de cadena-piñón, que representa la mejor opción para aplicaciones donde se quiera transmitir grandes pares de fuerza y donde los ejes de transmisión se muevan en un rango de velocidades de giro entre medias y bajas, como es el caso de la silla de ruedas. Se realiza el diseño (representado en la figura 1) para realizar simulaciones del comportamiento del sistema y para una correcta distribución de la masa sobre toda la estructura, que permite posicionar el centro de masa lo más abajo posible, con el objetivo de tener mayor estabilidad.

2 Análisis del modelo cinemático y dinámico

3.1 Restricciones no holonómicas de un robot móvil diferencial (RMD)

El movimiento de un RMD es caracterizado por 2 ecuaciones de restricciones no holonómicas [2].

- **No deslizamiento:**

$$y_{rm} = 0 \Rightarrow -\dot{x}_a \sin \theta + \dot{y}_a \cos \theta = 0. \quad (1)$$

- **Rodamiento puro:**

$$\begin{aligned} \dot{x}_a \cos \theta + \dot{y}_a \sin \theta + L\dot{\theta} - R\dot{\phi}_R &= 0, \\ \dot{x}_a \cos \theta + \dot{y}_a \sin \theta - L\dot{\theta} - R\dot{\phi}_L &= 0. \end{aligned} \quad (2)$$

2.2 Modelo de la cinemática directa y dinámica de un RMD

Está bien documentado que el modelo cinemático de un RMD es representado de diferentes formas, como a continuación [3,4]:

$$\dot{q} = \begin{bmatrix} \dot{x}_a \\ \dot{y}_a \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & 0 \\ \sin \theta & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v \\ \omega \end{bmatrix} \quad (3)$$

donde v es la velocidad lineal del robot y ω es la velocidad angular, las cuales se definen a continuación:

$$v = \frac{v_R + v_L}{2} = \frac{R(\dot{\phi}_R + \dot{\phi}_L)}{2}, \quad (1)$$

$$\omega = \frac{v_R - v_L}{2L} = \frac{R(\dot{\phi}_R - \dot{\phi}_L)}{2L}. \quad (2)$$

Un robot móvil no holonómico se considera un sistema mecánico con n coordenadas generalizadas (q_1, q_2, \dots, q_n) sujeto a m restricciones, se describe de la siguiente manera [3]:

$$M(q)\ddot{q} + V_m(q, \dot{q})\dot{q} + F(\dot{q}) + G(q) + \tau_d = B(q)\tau - \Lambda^T(q)\lambda \quad (6)$$

donde $M(q) \in \mathbb{R}^{n \times n}$ es la matriz de inercia definida positiva y es simétrica, $V_m(q, \dot{q}) \in \mathbb{R}^{n \times n}$ es la matriz de fuerzas centrípetas y de coriolis, $F(\dot{q}) \in \mathbb{R}^{n \times 1}$ $F(\dot{q}) \in \mathbb{R}^{n \times 1}$ denota la fricción de la superficie, $G(q) \in \mathbb{R}^{n \times 1}$ es el vector de gravedad, τ_d denota perturbaciones desconocidas acotadas incluyendo dinámica no estructurada no modificada, $B(q) \in \mathbb{R}^{n \times r}$ es la matriz de entrada, $\tau \in \mathbb{R}^{n \times 1}$ es el vector de entrada, $\Lambda^T \in \mathbb{R}^{m \times n}$ es la matriz asociada con las restricciones cinemáticas y $\lambda \in \mathbb{R}^{m \times 1}$ es el vector de los multiplicadores de Lagrange.

El modelo dinámico del RMD se obtiene mediante la metodología de Lagrange para sistemas no holonómicos mediante la siguiente ecuación [5]:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial \mathcal{L}(q)}{\partial \dot{q}_k} \right) - \frac{\partial \mathcal{L}(q)}{\partial q_k} = F_k + \Lambda^T(q)\lambda, \quad k = 1, 2, \dots, n, \quad (3)$$

donde $\mathcal{L}(q, \dot{q}) = K(q, \dot{q}) - U(q)$ es la función Lagrangiana, $K(q, \dot{q})$ es la energía cinética del sistema, $U(q)$ es la energía potencial del sistema, la cual es 0 debido a que el mecanismo se mueve en un plano horizontal, (q) son las coordenadas generalizadas y F_k son las fuerzas externas no conservativas.

Al desarrollar el análisis matemático basado en distintas referencias de modelado dinámico [2, 4, 5], se reducen las coordenadas generalizadas a únicamente dos ruedas actuadas y el nuevo modelo dinámico se reduce a:

$$\begin{bmatrix} \tau_R \\ \tau_L \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_W + \frac{R^2}{4L^2}(mL^2 + I) & \frac{R^2}{4L^2}(mL^2 - I) \\ \frac{R^2}{4L^2}(mL^2 - I) & I_W + \frac{R^2}{4L^2}(mL^2 + I) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\phi}_R \\ \dot{\phi}_L \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & \frac{R^2 m_c d \dot{\theta}}{2L} \\ \frac{R^2 m_c d \dot{\theta}}{2L} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\phi}_R \\ \dot{\phi}_L \end{bmatrix}. \quad (4)$$

El modelo matemático anterior se puede representar en términos de las ecuaciones (4, 5) y cada grado de libertad se expresa mediante las siguientes ecuaciones:

$$\tau_R = \left(\frac{R}{2} m \dot{v} + \frac{R^2}{2L^2} I \dot{\omega} + \frac{R^2}{2L^2} m_c d \dot{\theta} \dot{\phi}_L + I_W \dot{\phi}_R \right) \quad (5)$$

$$\tau_L = \left(\frac{Rm}{2} \dot{v} + \frac{R^2 I}{2L^2} \dot{\omega} + \frac{R^2}{2L^2} m_c d \dot{\theta} \dot{\phi}_R + I_W \dot{\phi}_L \right) \quad (6)$$

3 Etapa de control y de potencia

Se desarrolla una aplicación en el sistema operativo Android (figura 2) para controlar inalámbricamente la silla de ruedas, se

emplea el protocolo de comunicación Bluetooth, por el cual se envían las señales de control a través del celular, y la tarjeta de control basada en un AVR Atmega 328P se encarga de interpretar las señales recibidas para controlar la dirección y velocidad de los motores de tracción. A continuación se presenta la interfaz de usuario:

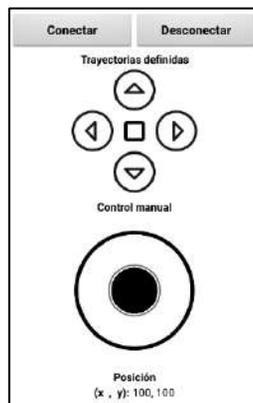


Figura 2. Interfaz desarrollada en el Sistema Operativo Android para controlar la SRM inalámbricamente.

Se comienza una búsqueda del dispositivo con el cual se realizará la comunicación y el teléfono se empareja con la tarjeta de control mediante un código de acceso definido, lo que permite la transmisión de señales y comenzar el control del mecanismo. La aplicación es capaz de controlar a la SRM con trayectorias previamente definidas o a necesidad del usuario trazando el movimiento que éste desea.

Se lleva a cabo la caracterización de un brazalete MYO, el cual recibe los impulsos eléctricos que generan los músculos del brazo, y detecta gran cantidad de movimientos incluidos los de la muñeca y los dedos. El brazalete otorga información de los movimientos realizados mediante un

acelerómetro, un giroscopio y sensores para detectar las señales EMG, se configuran 5 movimientos específicos del brazo que corresponden al avance, retroceso, giro a la derecha, giro a la izquierda y paro total de la SRM. La adquisición de datos se lleva a cabo mediante la tarjeta de control antes mencionada, que permite recibir las señales de los sensores del brazalete y clasificar los movimientos a través de una librería llamada "MyoBridge", para suministrar señales de control en estructura PWM a los puentes H que generan el movimiento deseado de la SRM.

La instrumentación de la etapa de potencia del sistema es con MOSFET, debido al alto consumo de corriente de los actuadores. Se calcula una red snubber para suprimir los picos de voltaje elevados que genera el motor en los cambios bruscos de velocidad y al detenerse rápidamente. La figura 3 representa el diseño del puente H capaz de drenar corrientes de 50 Amperios.

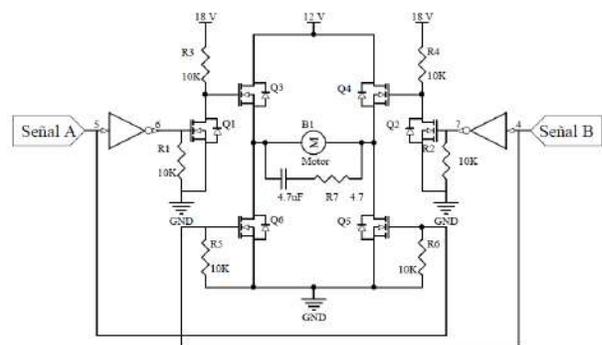


Figura 3. : Diagrama electrónico de puente H instrumentado para cada motor.

1. Resultados

Se realiza una simulación en MATLAB para conocer el comportamiento del sistema al variar los pares aplicados a las ruedas motrices mediante su modelo dinámico, tomando en cuenta todos los parámetros físicos del mecanismo. En la figura 4 se presentan las trayectorias obtenidas:

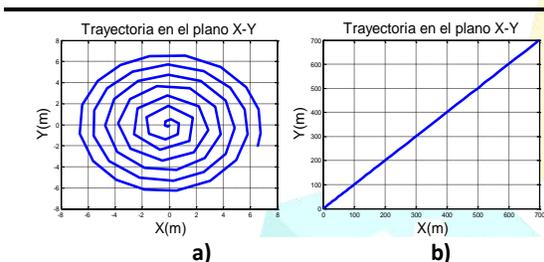


Figura 4. Trayectorias obtenidas al graficar la dinámica del RMD. a) $\tau_R = -1.5 \text{ Nm}$, $\tau_L = 1.5 \text{ Nm}$. b) $\theta_0 = \pi/4$, $\tau_R = \tau_L$

Se observan las trayectorias obtenidas al ejecutar la simulación con distintos torques en cada rueda. En el caso de la figura 4(a) se aplican torques de magnitud igual pero de signo contrario, idealmente la trayectoria sería un punto, el mecanismo debería girar sobre su centro, pero se obtiene una espiral en la trayectoria, esto se debe a la distribución de la masa en el robot y a la distancia que existe entre el eje de giro de las ruedas y el centro de masa. En el caso de la figura 4(b) se obtiene una línea recta debido a que ambas ruedas tienen el mismo torque de entrada.

Las trayectorias graficadas son las esperadas en el comportamiento de un RMD, pero de manera experimental aún no están comprobados estos datos en el mecanismo presentado. Se está trabajando en el

acoplamiento de los encoders al eje de los motores para comprobar las simulaciones del modelo dinámico.

Se adquieren los datos del giroscopio, del acelerómetro (figura 5) y de los 8 sensores de señales EMG del brazalete (figura 6) para caracterizar las acciones de control por cada movimiento realizado por el usuario.

Gyroscope	
X:	-10.8
Y:	-3.4
Z:	1.8
Refresh rate:	21.5
Orientation	
Roll:	-172.2
Pitch:	-4.9
Yaw:	-28.8

Figura 5. Valores obtenidos del giroscopio y acelerómetro del brazalete MYO al cerrar la mano.

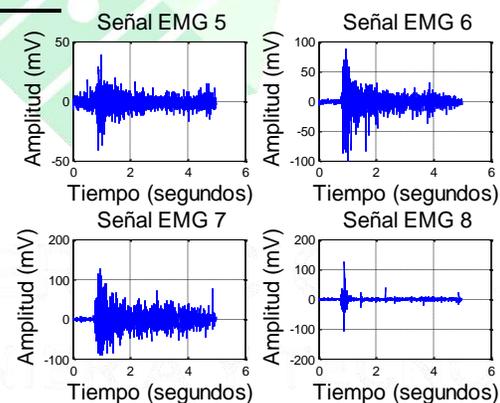


Figura 6. Valores obtenidos del brazalete MYO de 4 de sus sensores de lecturas EMG al realizar un movimiento de cerrar la mano, con un tiempo de muestreo de 5 mS.

En la figura 7 se presenta el ensamble mecánico de la silla de ruedas que implica los elementos antes mencionados:



Figura 7. a) Prototipo final de la SRM.

La tarjeta de control encargada del procesamiento del sistema mecatrónico se presenta en la figura 8:



Figura 8. Tarjeta de control de la SRM.

4 Conclusiones

El sistema mecatrónico desarrollado tiene la ventaja de ser de bajo costo y la versatilidad de controlarse mediante diversos dispositivos manuales o inalámbricos. El uso de un dispositivo

lector de señales EMG y de movimientos inerciales del brazo de una persona, permite ampliar el panorama de mejora en dispositivos enfocados a personas con discapacidad y tener aplicaciones de control de alto impacto. El trabajo a futuro es desarrollar interfaces cerebro-computadora (BCI) a través de una diadema de lecturas electroencefalográficas (EEG).

Referencias

- [1] J. C. Miangolarra Page. *“Sillas de ruedas motorizadas o de tracción electromecánica”*, ELSEVIER, Movilidad, locomoción y transporte | Rehabilitación.
- [2] R. Fierro, F. L. Lewis, *“Control of a Nonholonomic Mobile Robot: Backstepping Kinematics into Dynamics”*, September, 1996.
- [3] U. Cortés, A. Castañeda, A. Benitez, A. Díaz, *“Control de movimiento de un robot móvil tipo diferencial Robot uβot32-b”*, Congreso Nacional de Control Automático, AMCA 2015, Cuernavaca, Morelos, México.
- [4] R. Dhaouadi, A. Hatab, *Dynamic Modelling of Differential-Drive Mobile Robots using Lagrange and Newton-Euler Methodologies: A Unified Framework*. Adv Robot, Sharjah, UAE, (Autom 2013).
- [5] T. Soldoverieri C., *Introducción a la Mecánica de Lagrange y Hamilton*, (pp. 349-353). La universidad del Zulia, (2013), (Autom 2013).

OEyB13- Prototipo Óptico para Experimentos de Interacción Luz-Materia

Miguel Ángel Ponce-Camacho^{1,2}, Jorge Villavicencio², Roberto Romo Martínez²

CETYS Universidad, Campus Mexicali, Escuela de Ingeniería
Calzada CETYS s/n, fraccionamiento Rivera, C. P. 21259, Mexicali, Baja California, México,
miguel.ponce@cetys.mx.

2 Universidad Autónoma de Baja California, Facultad de Ciencias.
Carretera Transpeninsular Ensenada-Tijuana 3917, Fracc. Playitas, C. P. 22860 Ensenada, B.C., México.

Resumen. - *Se fabricó un prototipo óptico para realizar mediciones de plasmones polaritones de superficie en haces de luz difractados a ángulos menores a 90° . Se elaboraron experimentos para identificar el ángulo resonante de excitación de plasmones polaritones de superficie mediante una rejilla de difracción con un periodo espacial mayor a la longitud de la onda de la señal de luz. En los ensayos realizados en laboratorio se llevaron a cabo mediciones de la curva de intensidad de la señal de luz difractada en los órdenes +1 y -1. Los resultados experimentales fueron consistentes con lo planteado teóricamente. En virtud de lo anterior, se concluye que es posible excitar plasmones polaritones de superficie, utilizando la técnica de la rejilla de difracción metálica con una longitud de onda menor al periodo espacial de la rejilla. El prototipo óptico logrado resulta ser muy flexible para futuras aplicaciones en la medición de plasmones. Lo anterior es posible gracias a la rapidez con la que se pueden modificar las monturas y sus ensamblajes para la alineación de los elementos ópticos: diodo láser, superficie rugosa metálica, polarizador lineal. Así mismo, el control absoluto en el aparato del ángulo de incidencia, y la facilidad para intercambiar la fuente de luz y la superficie rugosa metálica, abren amplias posibilidades para probar nuevas hipótesis para las condiciones de excitación de plasmones polaritones de superficie.*

Palabras clave: plasmón polaritón de superficie, manufactura aditiva, nanotecnología.

Abstract. - *An optical prototype was fabricated to perform measurements of surface plasmon polaritons in light beams diffracted at angles of less than 90° . Experiments were developed to identify the excitation resonant angle of surface polariton plasmons by a diffraction grating with a pitch greater than the wavelength of the light signal. In the laboratory tests, measurements of the intensity curve of the diffracted light signal were carried out in the +1 and -1 orders. The experimental results were consistent with the theoretical approach. Based on the above, it is concluded that it is possible to excite surface plasmon polaritons, using the technique of the metallic diffraction grating with a wavelength shorter than the space frequency of the grid. The achieved optical prototype turns out to be very flexible for future applications in the measurement of plasmons. This is possible thanks to the speed at which it is possible to modify the frames and their assemblies for the alignment of the optical elements: laser diode, rugged metallic surface, linear polarizer. Likewise, the absolute control in the incident angle apparatus, and the ease of exchanging the light source and the rough*

metal surface, open wide possibilities for testing new hypotheses for the excitation conditions of surface plasmon polaritons.

Key words: Surface Plasmon Polaritons, Additive Manufacturing, Nanotechnology.

1. Introducción

Los notables avances de las últimas décadas en las técnicas para explorar y manipular la materia a escalas nanométricas, ha traído como consecuencia nuevos conceptos de dispositivos nanoelectrónicos y nanofotónicos con una amplia variedad de aplicaciones [1, 2, 3]. La integración a gran escala de dispositivos semiconductores para la fabricación de circuitos integrados ha alcanzado tal grado de miniaturización que las dimensiones comienzan a cobrar importancia fundamental en los fenómenos asociados a la interacción luz-materia [5]. La Ley de Moore establece que el número de transistores en un chip se duplica cada 18 meses [6], de tal suerte que en nuestros tiempos la tecnología de integración de transistores ha pasado de micrómetros a decenas de nanómetros. A estas escalas, sin embargo, los electrones dejan de comportarse como partículas y comienzan a comportarse como ondas, razón por la cual las tecnologías utilizadas se encuentran en una fase de cambio, ya que es necesario entender los fenómenos que se presentan en la interacción luz-materia en la nanoescala. Ante los nuevos retos de investigación tanto básica como aplicada, se prevé el inicio de nuevas tecnologías, como la nanoelectrónica [6] y la nanofotónica [1]. Algunos autores afirman que nos encontramos iniciando la era de los dispositivos nanofotónicos integrados [1-4], con elementos de dimensiones comparables a la longitud de onda de la luz, involucrando nanoestructuras metálicas y composiciones metal-dieléctrico. Se trata de nuevas tecnologías donde el elemento portador de la información no necesariamente es el electrón como en los dispositivos electrónicos convencionales. Una de las tecnologías que se

vislumbra como promesa para avanzar en la miniaturización de los dispositivos es la plasmónica [1]. En esta tecnología el nuevo elemento portador de la información es el llamado *plasmón polaritón de superficie* (PPS) [1].

Esta nueva tecnología se basa en las propiedades de unas cuasi-partículas conocidas como plasmones, las cuales se desplazan en dos dimensiones a velocidades cercanas a la de la luz. Una de las principales aplicaciones de esta tecnología se encuentra en el diseño de circuitos que podrían operar a frecuencias más altas que las permitidas por los dispositivos electrónicos más veloces, con la ventaja de que un circuito plasmónico al estar confinado en una superficie metálica, podría funcionar híbridamente, alternando señales ópticas y electrónicas.

Otra de las aplicaciones importantes de la plasmónica es el diseño de sensores [7]. Esto debido a la alta sensibilidad en la respuesta de la intensidad en la señal de la luz al inducir PPS. Estos dispositivos ya en uso, pueden detectar en tiempo real pequeñísimas variaciones en el índice de refracción de muestras biológicas (dieléctrico), por lo que tienen un considerable potencial en la exactitud de mediciones en pruebas clínicas, tales como enfermedades originadas por virus y bacterias, en contraste con los largos tiempos de respuesta en las pruebas biológicas tradicionales.

Dentro del campo de la plasmónica son conocidas varias técnicas para inducir la excitación de PPS. Las configuraciones de Otto (1968) y Kretschmann y Raether (1968) han sido descritas ampliamente [7] en la literatura especializada. Sin embargo, ambas configuraciones requieren el uso

de un prisma con requerimientos precisos de alienación óptica, condición que las convierte en métodos poco viables para su miniaturización e integración. Una tercera opción para alcanzar la resonancia de PPS lo constituye el uso de rejillas de difracción metálicas [7] en contacto con superficies dieléctricas. Esta opción se considera como una alternativa económica y técnicamente ventajosa en el camino a las aplicaciones industriales exitosas. Usualmente se utilizan fuentes de luz con longitudes de onda mayores que el periodo espacial de la rejilla [2]. Esto implica que toda la energía luminosa de los órdenes difractados se acople a la intercara de la superficie, haciendo la técnica potencialmente viable para aplicaciones en el diseño de circuitos plasmónicos [1]. Esta consideración en el experimento de excitación de plasmones no es necesaria en otras aplicaciones. Como por ejemplo, en el sistema óptico de un sensor basado en PPS debe permitir la realización de mediciones en la curva de la intensidad de la señal de luz reflejada. Así, utilizando las configuraciones de Otto (1968) y Kretschmann y Raether (1968), con el método de la rejilla, es posible eliminar las técnicas costosas requeridas para su fabricación (interferometría, microscopio electrónico de barrido), tanto como la necesidad de equipo de un alto costo para realizar las mediciones de la intensidad de la señal de luz en la intercara de la superficie.

En el presente trabajo se utiliza el método de la rejilla de difracción para inducir plasmones polaritones de superficie, con una variación a las condiciones técnicas del experimento: El periodo espacial de la rejilla es mayor a la longitud de la onda de la señal de luz utilizada en el sistema óptico experimental. En el diseño del aparato se utilizan ensambles de monturas diseñadas y fabricadas mediante impresión 3D, que resultan muy prácticas para fijar y alinear las componentes del sistema óptico.

2. Metodología

Se construye un prototipo óptico flexible para realizar experimentos de mediciones de plasmones polaritones de superficie utilizando rejillas de difracción metálicas en contacto con un medio dieléctrico. En la sección 2.1 se presenta la descripción detallada del prototipo óptico, y en la sección 2.2, como parte de la metodología para el análisis teórico, se presentan las ecuaciones importantes y los cálculos numéricos relevantes al experimento.

2.1 Sistema óptico para excitación de PPS por el método de la rejilla de difracción metálica.

La rejilla de difracción utilizada posee un perfil rectangular de 1200 líneas/mm, sobre la cual se hace incidir luz monocromática que consiste de un diodo láser con longitud de onda de $\lambda_0 = 650 \text{ nm}$.

En la figura 1 se muestra un diagrama de la rejilla de difracción en donde observamos los rayos incidente, transmitido y reflejado. La rejilla se coloca sobre una superficie de vidrio de $30 \text{ mm} \times 25 \text{ mm}$, con lo cual tenemos una rejilla de difracción metálica con una frontera dieléctrica, en donde es posible, mediante variaciones apropiadas de las variables del experimento, lograr la condición de resonancia mediante la sintonización del vector de onda del plasmón-polaritón, k_{pps} , el cual está dado por la ecuación [2]

$$k_{pps} = n_a k_o \sin \theta_i + n k_g. \quad (1)$$

donde el ángulo de incidencia de un haz de luz con polarización p puede tomar valores en $0 \leq \theta_i \leq \pi/2$.

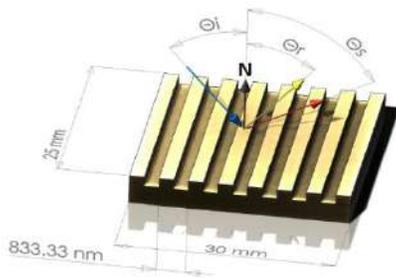


Figura 1. Diagrama de la rejilla de difracción de oro con perfil rectangular y 1200 líneas por milímetro ($\Lambda=833.33\text{nm}$) utilizada en los experimentos para inducir resonancia de PPS.

En la figura 2 se muestra el diagrama esquemático del arreglo experimental utilizado para inducir resonancia de PPS. La flexibilidad de este sistema permite medir los ángulos de los órdenes difractados en el campo lejano fuera de la frontera de la superficie metálica, aún en condiciones donde $\Lambda > \lambda_0$. El prototipo está compuesto por un diodo láser (1), un polarizador lineal (2), un sistema de foto detección (3), una plataforma giratoria de precisión (4), y una rejilla de difracción de oro (5) cuyos detalles se han mostrado en la figura 1.

El diodo láser, la rejilla de difracción y el polarizador lineal se encuentran posicionados en ensamblajes de monturas diseñadas en *Solidworks* y fabricadas mediante impresión 3D. Dichos ensamblajes poseen tres grados de libertad para facilitar su alineación óptica [9]. Obsérvese sobre la mesa de pruebas de la figura 2, que el diodo láser (1) y el polarizador lineal (2) permiten iluminar la rejilla con una señal de luz con polarización p paralela al plano de incidencia. La rejilla se encuentra montada en la plataforma de rotación, que al girar permite variar los ángulos del haz de luz incidente proveniente del láser (1), del cual depende directamente el valor del vector de onda k_{pps} , a través de la ecuación (1). La línea color negro es la normal a la superficie de la rejilla, y la línea color azul es el haz reflejado (orden cero o componente directa). Obsérvese también en

rojo el haz difractado (orden +1) siendo analizado por el foto detector (3). En el arreglo óptico, el diodo láser permanece fijo.

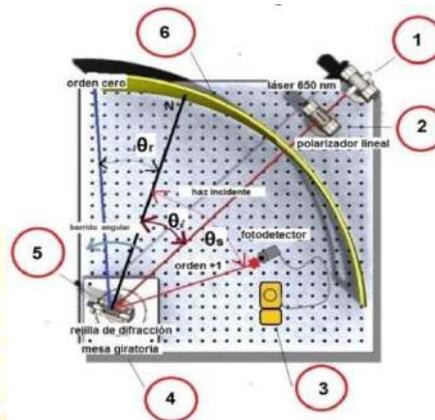


Figura 2. Diagrama esquemático del aparato utilizado para medir las variaciones de la intensidad de luz en superficies metálicas con perfil rectangular [9].

El ángulo de incidencia se controla al girar la plataforma giratoria (4) en contra de las manecillas del reloj. Al permanecer fijo el haz incidente, la normal a la superficie gira también en contra de las manecillas del reloj, siendo esta línea el eje de referencia para medir los ángulos incidente (θ_i), reflejado (θ_r) y difractado θ_s .

Obsérvese en la figura 2 que a efecto de medir las variaciones en la intensidad de luz, se utiliza un fotodetector (3) controlado manualmente. En la misma figura, la pantalla (6) que aparece delimitando la región en la mesa de pruebas tiene una curvatura con radio constante con el fin de visualizar la posición de los rayos reflejado y difractado. La mesa de rotación tiene graduación angular, lo que permite controlar y medir el ángulo reflejado ($\theta_i = \theta_r$) y realizar mediciones en la intensidad de luz para posiciones angulares equidistantes.

La flexibilidad del sistema óptico permite un fácil manejo, modificación de sus componentes, y versatilidad para la alineación de sus elementos,

así como un control de variables importantes en los experimentos, tales como el ángulo de incidencia, la polarización de la señal, la fuente de luz, y la foto detección.

2.2 Cálculo del vector de onda para una superficie plana de oro.

Para la rejilla de difracción utilizada en el presente experimento, los parámetros involucrados en la ecuación (1) (índices de refracción, constantes dieléctricas, etc.) se encuentran publicados en tablas y sus valores son conocidos. Utilizando dichos valores, la ecuación (1) adopta la forma particular,

$$k_{pps} = 1.0002763 * 0.009666431 * \sin \theta_i + 0.007539816 .$$

Por otro lado, el vector de onda para una superficie plana de oro, se calcula a partir de la ecuación [2],

$$\text{Re}[k_x] = k = \frac{w}{c} \sqrt{\frac{\epsilon'_1 \epsilon_2}{\epsilon'_1 + \epsilon_2}} , \quad (2)$$

donde $k = 2\pi/\lambda_p$, ϵ_2 es la constante dieléctrica del aire, ϵ'_1 es la constante dieléctrica (parte real) del oro, w es la frecuencia angular de la señal de la luz, y c es la velocidad de la luz.

Calculamos el valor del vector de onda del plasma de electrones para el material con el que está elaborada la rejilla de difracción (oro). Bajo las condiciones establecidas teóricamente para el acoplamiento de fotones con valores de las constantes dieléctricas y aplicando la ecuación (2), tenemos que el vector de onda para una superficie de oro tiene un valor de,

$$k_{plasmón} = 0.010111382489459 \times 10^9 \text{ m}^{-1},$$

por lo que la longitud de onda del plasmón para la superficie de oro utilizada en el experimento es,

$$\lambda_p = 621.3967285 \text{ nm}.$$

Ahora tenemos los valores exactos de los vectores de onda, los cuales son proporcionales a la frecuencia angular (w) a través de la velocidad de la luz. La condición de resonancia se puede alcanzar sintonizando el vector de onda k_{pps} , mediante la variación de θ_i , la cual se dará cuando k_{pps} alcance valores muy cercanos a k_x . Realizando un barrido del ángulo θ_i con un intervalo de lectura de 0.5° en el intervalo $0 \leq \theta_i \leq \pi/2$, se obtienen las curvas de la figura 3, en donde se grafican k_{pps} vs θ_i y $|k_{pps} - k_{plasmón}| + k_{pps}$ vs θ_i . Este artificio gráfico permite visualizar la convergencia de los valores k_{pps} y $k_{plasmón}$ i.e. la resonancia ocurre cuando, $k_{pps} - k_{plasmón} = 0$. Se observa que k_{pps} toma un valor muy cercano a $k_{plasmón}$ en aproximadamente 16.75° . Este resultado nos muestra que es factible obtener la resonancia del plasmón en ese ángulo.

Es factible confirmar la validez de la ecuación (3) para un ángulo de resonancia θ_R , dado por la expresión,

$$\theta_R = \sin^{-1} \left\{ \frac{(k'_x - mk_g)}{n_a k_0} \right\} , \quad (4)$$

donde m es el orden de difracción.

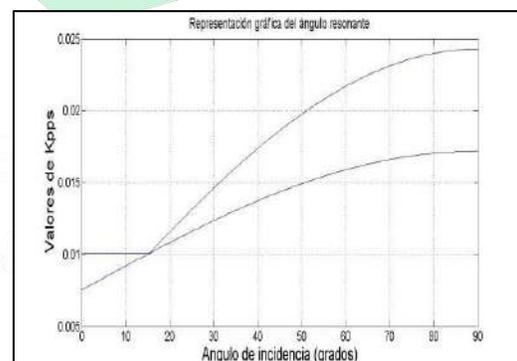


Figura 3. Curvas para k_{pps} vs θ_i , y $|k_{pps} - k_{plasmón}| + k_{pps}$ vs θ_i . Obsérvese el punto de convergencia en el ángulo 15.5° , lo que indica que es factible obtener la resonancia de plasmones.

3. Resultados

En el presente experimento se realizan mediciones de la intensidad de los haces de luz difractados por la rejilla, mediante un barrido del ángulo de incidencia, realizando. En la figura 4 se presentan los valores medidos de la intensidad del haz de luz medido en el orden -1. Se aprecia claramente que se presenta un mínimo de la intensidad a un ángulo resonante muy similar al predicho en el cálculo numérico de la sección anterior, lo cual confirma la eficiencia en el funcionamiento del prototipo óptico fabricado para excitar PPS y realizar mediciones en haces de luz difractados a ángulos menores a 90° . En especial, esto confirma que es posible excitar PPS con superficies rugosas con un periodo espacial mayor a la longitud de la onda de la señal de luz.

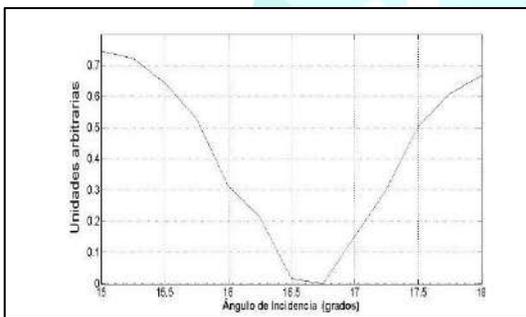


Figura 4. Gráfica de los valores de la intensidad del orden -1 utilizando luz incidente con polarización p. Los datos de lectura tomados con un fotodetector están normalizados y fueron tomados a intervalos de 0.25° .

Otro aspecto digno de destacarse en el presente experimento, el de la importancia que juega la polarización del haz incidente para la generación de PPS. A diferencia de los resultados presentados en la figura 4, en donde se utiliza un haz incidente con polarización p, en la figura 5 se presentan los resultados para una señal de luz con polarización s, en donde se miden los valores de la intensidad del orden -1. Como se muestra en la figura 5, la intensidad de luz no exhibe una caída en su valor alrededor de los 16.75° . Esto demuestra que los resultados experimentales son consistentes con la

teoría, la cual involucra la condición de que la luz incidente tenga polarización p.

intensidad de luz orden -1 polarización s (TE)



Figura 5. Gráfica de los valores de la intensidad del orden -1 para una señal de luz con polarización (TE). Como se muestra en la gráfica, la intensidad de luz no tiene una caída en su valor alrededor de los 16.75° . Los datos de lectura tomados con un fotodetector están normalizados.

También en el orden +1 se presenta una caída abrupta de la intensidad de la luz difractada usando luz incidente de polarización p como se muestra en la figura 6. La caída abrupta en la intensidad de la señal de luz en los órdenes de difracción ± 1 , es una característica que puede considerarse conveniente para aplicaciones en el área de la ingeniería. Por ejemplo, para el diseño de moduladores de luz. De hecho, al observarse el comportamiento de la intensidad de luz alrededor del ángulo resonante Θ_R , podemos notar que existe un intervalo de aproximadamente 2° en el cual ocurre la disminución de la intensidad de luz. Es técnicamente viable aprovechar este comportamiento de la señal de luz difractada en los órdenes ± 1 , donde su intensidad se encuentra en función del ángulo de incidencia. Esta aplicación se encuentra en trámite de registro como [9].

El prototipo óptico desarrollado tiene características técnicas que ofrecen flexibilidad para futuras aplicaciones. Al estar integrado por una serie de ensamblajes de monturas, cada uno

diseñado para componentes ópticos específicos, y al tener la capacidad de modificarse mediante el diseño de software versátil, así como su fabricación en impresión 3D, se hacen evidentes las amplias posibilidades de rediseño del experimento. El prototipo también permite manipular con facilidad variables tales como la longitud de onda (diodo láser), frecuencia espacial y el material de la superficie rugosa metálica (oro, plata, etc.), o bien el polarizador lineal. Así también, el prototipo proporciona un control en el ángulo de incidencia. Esta amplia flexibilidad abre numerosas posibilidades para probar nuevas hipótesis para las condiciones de excitación de plasmones polaritones de superficie, utilizando la técnica de la rejilla de difracción metálica con una longitud de onda menor al periodo espacial de la rejilla.

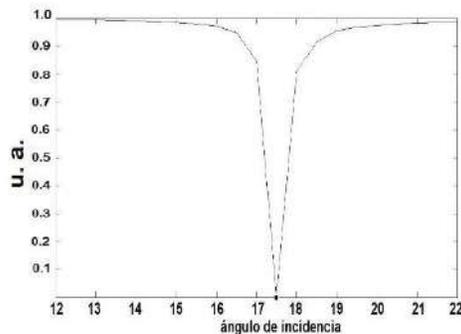


Figura 6. Gráfica de los valores de la intensidad del orden +1 para una señal de luz con polarización (TM). Los datos de lectura tomados con un fotodetector están normalizados y fueron tomados a intervalos de 0.5°

4. Conclusiones

Se fabricó un prototipo óptico para realizar mediciones de plasmones polaritones de superficie en haces de luz difractados por una rejilla de difracción en contacto con una superficie dieléctrica a ángulos menores a 90° , mediante el cual es posible realizar experimentos para identificar el ángulo resonante de excitación de plasmones polaritones de superficie donde el periodo espacial de la rejilla es mayor que la longitud de onda de la señal de iluminación. El

diseño y la fabricación de las monturas del prototipo se realizaron mediante la tecnología *Solidworks* y la impresión 3D, dándole al prototipo gran flexibilidad debido a la facilidad y rapidez con la que se pueden modificar y alinear sus elementos ópticos.

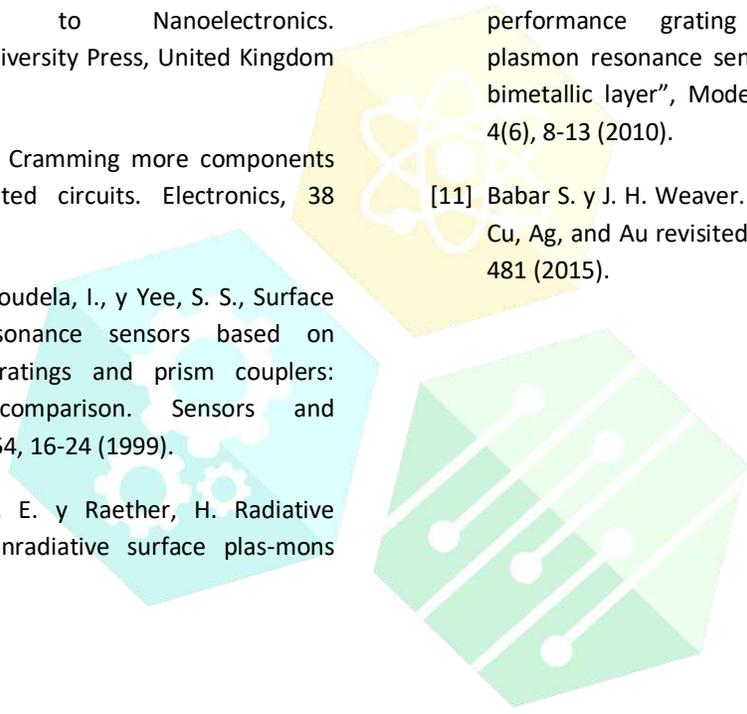
Como aplicación del prototipo, se llevaron a cabo mediciones de la curva de intensidad de la señal de luz difractada en los órdenes +1 y -1. Los resultados experimentales fueron exitosamente corroborados mediante un modelo teórico que permite predecir los valores de los ángulos en los que se encuentran dichos órdenes. Se destaca el papel que juega la polarización del haz incidente en la generación del efecto PPS, comparando el experimento con luz de polarización p con uno donde se utiliza luz de polarización s.

Uno de los resultados importantes que se desprende de nuestra investigación [9] es la propuesta de la utilización del estado de polarización del haz incidente como parámetro importante para el diseño de nuevos aparatos plasmónicos, tales como el diseño de moduladores de luz basados en el efecto PPS. Este nuevo concepto de modulador toma gran distancia tecnológica respecto de un polarizador lineal, en virtud de que el efecto de variación de la intensidad de luz difractada depende del material con el que está elaborada la rejilla de difracción, cuyas constantes dieléctricas permiten sintonizar el ángulo de resonancia con exactitud.

Referencias

- [1] Shalaev, V. M y S. Kawata. *Nanophotonics with Surface Plasmons*. Elsevier (2007).
- [2] Raether, H. (1988). *Surface Plasmons on Smooth and Rough Surfaces and Gratings*. Springer, Berlin.

- [3] Maier, S. A. (2007). Plasmonics: Fundamentals and Applications. Springer, New York. Primera Edición.
- [4] Otto, A. Excitation of nonradiative surface plasma waves in silver by the method of frustrated total reflection. Zeitschrift für Physik, 216(4): 398–410 (1968).
- [5] Mitin, V. V., V. A. Kochelap, y M. A. Stroschio. Introduction to Nanoelectronics. Cambridge University Press, United Kingdom (2008).
- [6] Moore, G. E. Cramming more components onto integrated circuits. Electronics, 38 (1965).
- [7] Homola, J., Koudela, I., y Yee, S. S., Surface plasmon resonance sensors based on diffraction gratings and prism couplers: sensitivity comparison. Sensors and Actuators, B 54, 16-24 (1999).
- [8] Kretschmann, E. y Raether, H. Radiative decay of nonradiative surface plasmons excited by light. Z. Naturforsch. A, 23: 2135 (1968).
- [9] Ponce-Camacho, M.A., Villavicencio, J., Romo, R., “Procedimiento para Controlar la Intensidad de una Señal de Luz”, patente en trámite, expediente MX/a/2016/015972, No. de folio 12759, México, 2016.
- [10] Changkui Hu, y Deming Liu. “High performance grating coupled surface plasmon resonance sensor based on Al-Au bimetallic layer”, Modern Applied Science, 4(6), 8-13 (2010).
- [11] Babar S. y J. H. Weaver. Optical constants of Cu, Ag, and Au revisited, Appl. Opt. 54, 477-481 (2015).



CONGRESO INTERNACIONAL DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

CEyB3- Tunelaje Cuántico en Potenciales Graduales

Cristian Gabriel Herbert Galarza, Rogelio Orozco Duarte, Roberto Romo Martínez

Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de Baja California.

Apartado Postal 1880, 22800 Ensenada, México.

Resumen. - Uno de los fenómenos paradigmáticos de la mecánica cuántica es sin duda el llamado efecto túnel, el cual se manifiesta como la posibilidad que tienen las partículas en la escala nanométrica de atravesar barreras de potencial. Este fenómeno, a pesar de ser poco intuitivo, es tan real que juega un papel prominente en la tecnología de nuestros tiempos y constituye el mecanismo dominante del transporte electrónico en nuevos conceptos de dispositivos nanoelectrónicos. En este trabajo se ilustra mediante mapas de la densidad electrónica, la distribución espacial y energética de los electrones que se propagan a través de barreras de potencial graduales, visualizando la naturaleza ondulatoria de los electrones y el fenómeno de tunelaje. En particular, se discute el efecto de utilizar barreras graduales en lugar de barreras rectangulares.

Palabras clave: Efecto túnel, tunelaje cuántico, barreras graduales.

Abstract. - One of the paradigmatic phenomena of quantum mechanics is undoubtedly the so-called tunnel effect, which manifests itself as the possibility of particles on the nanometer scale to traverse potential barriers. This phenomenon, although unintuitive, is so real that it plays a prominent role in current technology and constitutes the key mechanism of electronic transport in novel concepts of nanoelectronic devices. In this work, maps of electron density are used to illustrate the spatial and energetic distribution of electrons that propagates through gradual potential barriers, visualizing the wave nature of the electrons and the tunneling phenomenon. In particular, the effect of using gradual barriers rather than rectangular barriers is discussed.

Key words: Tunnel effect, quantum tunneling, smooth barriers.

1. Introducción

Los notables avances de las últimas décadas en las técnicas para explorar y manipular la materia a escalas nanométricas, ha traído como consecuencia nuevos conceptos de dispositivos electrónicos basados en efectos cuánticos [1]. Desde el trabajo seminal de Leo Esaki (Premio Nobel de Física) y colaboradores [2] se concibe tanto teórica como experimentalmente la posibilidad de diseñar y fabricar estructuras cuánticas artificiales en la escala nanométrica [3]. En estos sistemas, conocidos con el

nombre genérico de *nanoestructuras* [4], el control del transporte de electrones resulta un aspecto crucial para aplicaciones tecnológicas [5]. En este contexto, se entiende por transporte electrónico, cualquier desplazamiento espacial de las densidades de probabilidad electrónica, ya sea de un sitio a otro dentro del sistema, o a través de éste. En todos estos procesos, el mecanismo dominante es el llamado *efecto túnel* o *tunelaje cuántico*. Se trata de uno de los fenómenos más fascinantes y sorprendentes de la mecánica cuántica, el cual se

refiere a la posibilidad que tienen las partículas pequeñas de atravesar “paredes” o regiones prohibidas por la física clásica. Esta propiedad de las partículas cuánticas no sólo rige el comportamiento de diversos fenómenos en la naturaleza, como los son, el decaimiento de núcleos radiactivos, el fenómeno de la emisión en frío, y los procesos de fusión en los núcleos de las estrellas [6], por mencionar algunos, sino que también ha sido el motor de grandes desarrollos tecnológicos, como el microscopio electrónico de barrido, diodo de tunelaje resonante, y una amplia variedad de componentes electrónicas que podemos encontrar en la mayoría de los dispositivos que nos rodean.

El tunelaje cuántico, al igual que otros fenómenos de la física cuántica son representados por cantidades matemáticas complejas y no son fáciles de visualizar de manera simple. En este trabajo se tiene como propósito mostrar mediante representaciones gráficas que faciliten la visualización del tunelaje cuántico, los fenómenos básicos que ocurren en estructuras de barreras y pozos de potencial. Los ejemplos seleccionados permiten exhibir de manera clara la naturaleza ondulatoria del electrón al interactuar con barreras y pozos, distinguir entre el *tunelaje* y el *tunelaje resonante*, observar las regiones en las cuales es más probable encontrar al electrón, mostrar cómo pueden ser atrapados tanto por pozos como por barreras de potencial.

2. Metodología

La ecuación que rige el comportamiento del electrón en un medio descrito por un potencial $V(x)$ es la ecuación de Schrödinger,

$$-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2\psi(x)}{dx^2} + V(x)\psi(x) = E\psi(x), \quad (1)$$

donde \hbar es la constante de Planck, m es la *masa efectiva* del electrón [7] y E su energía total. Esta ecuación se puede resolver analíticamente en un reducido número de potenciales $V(x)$, entre ellos

tenemos por ejemplo los potenciales constantes por tramos (con perfiles abruptos como barreras y pozos rectangulares). En el presente estudio se pretende estudiar tanto potenciales rectangulares como casos con potenciales no abruptos cuyos perfiles varíen gradualmente con la posición. Estos últimos en general son extremadamente difíciles de resolver (si es que no imposibles) excepto en casos excepcionales (como el oscilador armónico y otros potenciales especiales), por lo que se requiere hacer algo para eludir esta dificultad técnica. Lo que se hará en el presente estudio es utilizar la *aproximación de escalón* en el potencial $V(x)$, la cual se ilustra en la figura 1, y consiste en remplazar el potencial suave por un potencial escalonado. Como el potencial escalonado toma valores constantes en cada subintervalo de la partición del intervalo $[a, b]$, la ecuación (1) tendría soluciones analíticas en cada escalón, las cuales, en el n -ésimo escalón, son combinaciones de exponenciales de la forma

$$\psi_n(x) = \alpha_n e^{ikx} + \beta_n e^{-ikx}, \quad (2)$$

donde $k = \sqrt{E - V(x)}/\hbar$, y puede ser real o imaginario. Los coeficientes α_n y β_n son constantes arbitrarias complejas, cuyos valores se pueden determinar aplicando las condiciones de frontera, las cuales consisten en que $\psi_n(x)$ y su derivada sean continuas en cada salto entre escalones consecutivos. Si $V(x)$ tiene una forma arbitraria en un cierto intervalo finito $a \leq x \leq b$, y es igual a cero para $x < a$ y $x > b$, las funciones de onda a la izquierda y a la derecha se pueden escribir respectivamente como

$$\psi_0(x) = e^{ikx} + r e^{-ikx} \quad (3)$$

y

$$\psi_{N+1}(x) = t e^{ikx}, \quad (4)$$

donde r es la amplitud de reflexión y t la de transmisión considerando la incidencia por la izquierda con amplitud uno. Al aplicar las condiciones frontera se obtienen relaciones matriciales entre los coeficientes de escalones consecutivos,

$$\begin{bmatrix} \alpha_n \\ \beta_n \end{bmatrix} = A_n \begin{bmatrix} \alpha_{n-1} \\ \beta_{n-1} \end{bmatrix}, \quad (5)$$

Si se tienen N puntos de discontinuidad (*i.e.*, $N - 1$ escalones), la matriz que relaciona los coeficientes de la derecha con los de la izquierda es la *matriz de transferencia* del sistema, la cual es un producto iterado de matrices A_n , $M = A_N A_{N-1} \cdots A_2 A_1$. Dicha relación matricial queda en la forma

$$\begin{bmatrix} \alpha_N \\ \beta_N \end{bmatrix} = M \begin{bmatrix} \alpha_0 \\ \beta_0 \end{bmatrix}, \quad (6)$$

donde $\alpha_0 = 1$, $\beta_0 = r$, $\alpha_N = t$, $\beta_N = 0$, siendo r y t las amplitudes de reflexión y de transmisión respectivamente, las cuales están dadas por

$$r = -\frac{m_{21}}{m_{22}}, \quad (7)$$

$$t = \frac{\det(M)}{m_{22}}, \quad (8)$$

donde m_{ij} son elementos de la matriz M .

Obteniendo los coeficientes r y t , es posible encontrar todas las constantes α_n y β_n en cada escalón, y utilizando recursivamente la ecuación (5) podemos obtener la función de onda electrónica $\psi_n(x, E)$ en cada escalón del potencial.

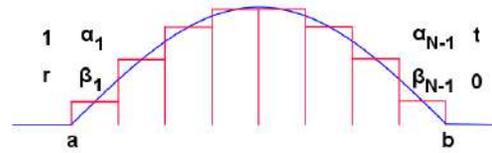


Figura 1: Aproximación de escalón para un potencial arbitrario. El número N se puede incrementar hasta obtener la precisión deseada.

3. Resultados

En esta sección se obtendrán mapas de la *densidad de probabilidad* $|\psi_n(x, E)|^2$ en el espacio de las posiciones y energías. Esta representación gráfica puede considerarse una *densidad local de estados* (DLE), ya que proporciona la localización espacial de los estados cuánticos del sistema. Se calculará para potenciales de barreras rectangulares y para potenciales de perfiles suaves, para visualizar los fenómenos del transporte electrónico mediante el tunelaje cuántico.

3.1 Barreras rectangulares

En la figura 2 se muestran mapas de DLE para dos barreras rectangulares, una alta y estrecha en la parte (a) y otra baja y ancha en la parte (b), sus correspondientes parámetros se indican en el pie de figura. Observando el mapa de contorno de la figura 2 (a), lo más llamativo es sin duda el patrón de franjas que se encuentra a la izquierda de la barrera, alternando entre los colores amarillo y azul intenso. Estas son franjas de interferencia, las cuales permiten visualizar con claridad la naturaleza ondulatoria del electrón. En esta región, de acuerdo a la ecuación (3), la función de onda electrónica es una combinación de dos términos exponenciales, la onda incidente e^{ikx} y la onda reflejada re^{-ikx} , cuya interferencia produce una onda estacionaria que se manifiesta como el patrón de franjas observado en la figura mencionada. Se puede apreciar que parte de las franjas invade la región izquierda de la barrera. De acuerdo a la mecánica clásica, ésta es una región prohibida para partículas materiales. Sin embargo, aquí se aprecia visualmente en este

ejemplo que en la mecánica cuántica existe probabilidad de que el electrón se encuentre en la región de la barrera. Este efecto cuántico se conoce como el *fenómeno de penetración de barrera*, y queda exhibido muy claramente en esta representación gráfica.

A la derecha de la barrera, en lugar de una estructura de franjas aparece un fondo azul constante. La ausencia de franjas en esta región se debe a que la onda transmitida, dada por la ecuación (4), consta de sólo un término exponencial, de tal forma que al tomar el módulo cuadrado de la función de onda transmitida, en lugar de interferencia, se obtiene para cada energía E un valor constante de la DLE, igual a $|t(k)|^2$, o sea, al coeficiente de transmisión.

Por otro lado, a energías de incidencia por encima de la barrera se observan cosas diferentes. En la figura 2 (a) se observa que en aproximadamente $E = 25 \text{ eV}$, una línea horizontal corta las franjas de interferencia que se encuentran en la región izquierda. Se trata de una condición de *resonancia* en la cual la probabilidad de transmisión se incrementa a su valor máximo (que es la unidad) a una energía específica llamada *energía de resonancia*. Para mayor claridad del efecto, se incluye en el mapa de contorno una curva de nivel de valor 0.98, intencionalmente muy cercano a la unidad (línea sólida). La franja de la resonancia se

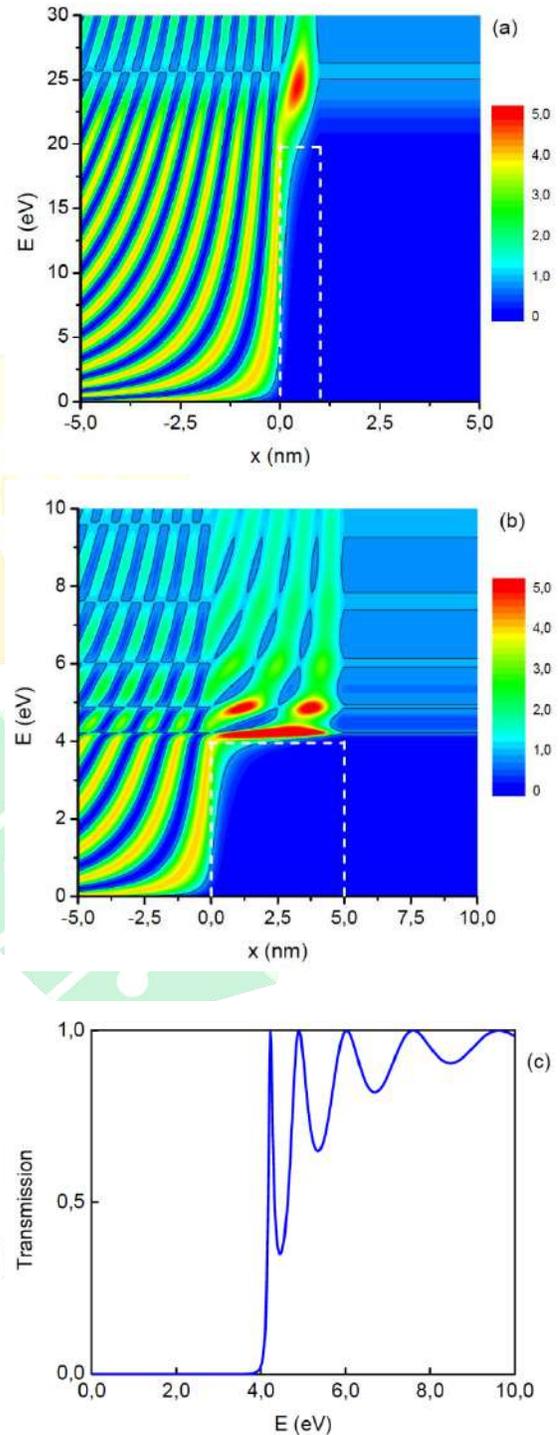


Figura 2. Mapas de la DLE para un potencial de una barrera rectangular de (a) altura $V=20 \text{ eV}$, anchura $b=1.0 \text{ nm}$, y (b) altura $V=4 \text{ eV}$ y anchura $b=5.0 \text{ nm}$. Ambas barreras tienen la misma área (20 eV nm) y se muestran superpuestas sobre las gráficas (líneas claras

discontinuas). Se indica en cada mapa una curva de nivel de valor 0.98 (líneas sólidas negras). (c) Coeficiente de transmisión para la barrera del caso (b).

Prolonga hasta la parte derecha de la barrera en donde se aprecia un camino entre dos líneas paralelas definidas por la curva de nivel, un camino por el cual se transmiten los electrones de izquierda a derecha con probabilidad del orden de uno. La razón por la cual las franjas de interferencia del lado izquierdo “se borran” a la energía de resonancia, es porque cuando la transmisión es total, la reflexión es cero, $r = 0$. En consecuencia, de acuerdo a la ecuación (3), sólo sobrevive uno de los dos términos exponenciales y por lo tanto no habrá interferencia a esa energía, y sin interferencia no hay franjas.

Otro detalle que se aprecia en la gráfica de la figura 1 (a) es una mancha roja intensa entre el borde de la barrera y la energía de resonancia. Esto muestra una acumulación de la densidad de probabilidad que indica que ahí la probabilidad de encontrar al electrón es más alta que en cualquier otro lugar. Como la mancha roja se extiende en un rango de energías que incluye la resonancia y también energías fuera de resonancia, significa que de los electrones que acumulan ahí, algunos se transmiten a derecha con alta probabilidad, y otros se reflejan. Es interesante el hecho de que aún a energías superiores a la altura de la barrera ocurra reflexión.

Considérese ahora la barrera más ancha y de menor altura de la figura 2 (b). Se puede notar en el mapa de contorno que aparecen resonancias adicionales, todas ellas a energías arriba de la altura de la barrera. La curva de nivel que se incluye es también de valor 0.98 (líneas sólidas) y exhibe con claridad las posiciones de dichas resonancias. A esas energías la transmisión alcanza valores máximos, los cuales se manifiestan como picos unitarios en la gráfica del coeficiente de transmisión, como podemos apreciarlo en la figura 2 (c). Las regiones donde es más probable encontrar al electrón vemos que son diferentes a las del caso anterior en donde

sólo se apreciaba una mancha roja, ahora vemos que estas manchas se distribuyen en la parte superior de la barrera, alineadas con las resonancias. Esto significa que los electrones que se transmiten con probabilidad alta a las energías de resonancia, quedan atrapados momentáneamente por la barrera formando estados resonantes localizados en las regiones rojizas de la gráfica. A pesar de tratarse de una barrera (potencial repulsivo), ésta tiene la posibilidad de atrapar electrones en los estados cuasiligados que se forman en la parte superior de la barrera. Esto no sucede en el mundo clásico con partículas macroscópicas, se trata de un efecto netamente cuántico.

3.2 Barreras graduales

Para analizar casos de barreras de potencial de perfiles suaves y sin discontinuidades abruptas como los potenciales de la subsección anterior, a continuación se escoge una barrera en la que, por medio de la variación de un parámetro, podamos suavizar gradualmente una barrera rectangular abrupta hasta deformarla a un grado deseado. Esta posibilidad la ofrece la barrera de potencial con el perfil dado por la fórmula siguiente,

$$V(x) = 2 - 0.5V \tanh\left(\frac{|x - 0.5b| - 0.5b}{s}\right). \quad (9)$$

El parámetro de suavización aquí es s y posee unidades de distancia, el cual se expresa aquí en unidades de la anchura b de la barrera. Se usan los parámetros siguientes, $b = 5.0$ nm y $V = 4.0$ eV. Cuando s es muy pequeño, la barrera es similar a la barrera rectangular de la figura 2 (b), y conforme s se incrementa, las partes abruptas de la barrera se suavizan gradualmente. Como se trata de potenciales graduales, se utiliza la aproximación de escalón descrita en la figura 1. En éste y en los restantes ejemplos se usará $N = 200$.

Para un grado de suavización pequeño con valor $s=0.05b$, en la figura 3 (a) se muestra el

correspondiente mapa de DLE, donde se incluye el perfil de potencial superpuesto sobre la gráfica (líneas claras discontinuas). Como puede apreciarse, la barrera es aún algo abrupta, y por ende el mapa de DLE es muy parecido al de la figura 2 (b) de la barrera rectangular. Al incrementar el valor del parámetro a $s=0.1b$, la DLE empieza a experimentar cambios importantes como se nota en la figura 3 (b). Desaparecen algunas curvas de nivel a la derecha de la barrera, lo cual indica que los valles entre los picos de resonancia empiezan a elevarse y acercarse a la unidad, tendiendo a desaparecer los picos de resonancia. En la figura 3 (c) el parámetro s se incrementó al valor de $0.2b$, y se ve claramente que la estructura de resonancias desaparece por completo, dando como resultado un mapa muy diferente al de la barrera rectangular inicial mostrado en la figura 2 (b), el cual exhibe mancha roja alargada en la parte izquierda de la barrera, mostrando la región de mayor densidad de probabilidad electrónica. Se trata de principalmente de electrones de reflexión, los cuales inciden en la barrera, penetran un poco en ella como se alcanza a apreciar, y se reflejan formando el patrón de franjas de interferencia a la izquierda de la barrera. La comparación de los resultados con barreras abruptas vs barreras suaves nos muestra una diferencia dramática tanto en el mapa de DLE y sugiere que la suavidad del potencial de alguna manera inhibe la formación de las resonancias.

3.2 Doble barrera gaussiana

Considérese ahora la situación en la que el electrón incide en un sistema de doble barrera. El potencial que se escoge es una barrera gaussiana deformada en el centro por un potencial parabólico, la parte parabólica forma un pozo cuántico justo en

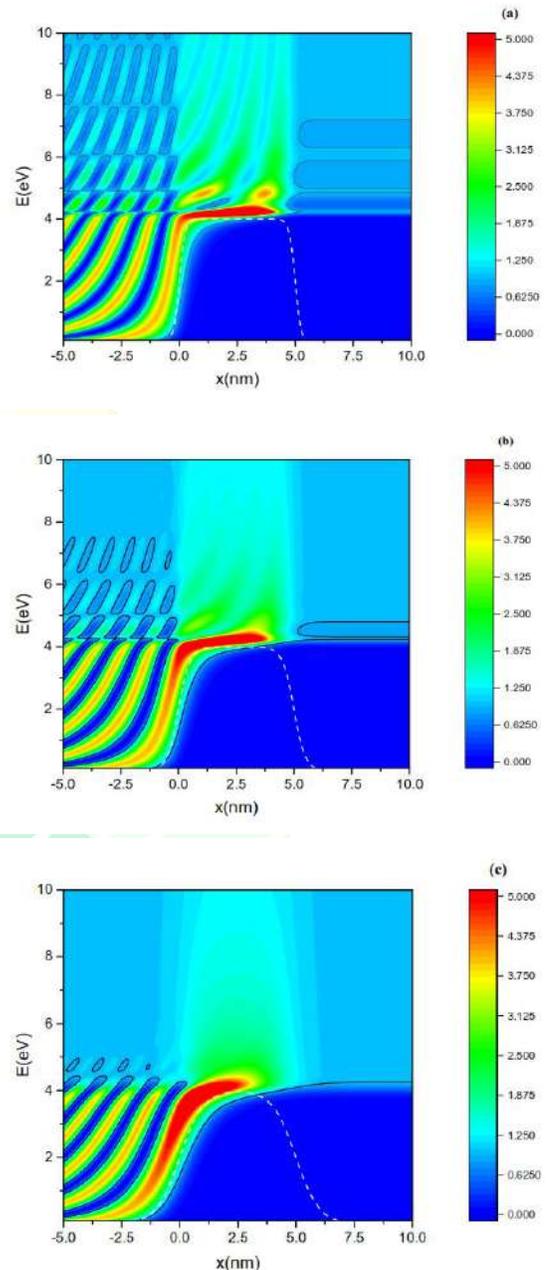


Figura 3. Mapas de la DLE para una barrera de potencial rectangular deformada, dada por la fórmula (9), para: (a) $s=0.05b$, (b) $s=0.1b$, y (c) (a) $s=0.2b$. En cada caso se indica una curva de nivel de valor 0.98 (líneas sólidas).

El centro de la barrera. El potencial $V(x)$ está dado por la expresión

$$V(x) = V_0(x - 2.5)^2 e^{-\frac{\alpha(x-2.5)^2}{b_0^2}}, \quad (10)$$

donde $V_0 = 1/175 \text{ eV}$, $b_0 = 5.0 \text{ nm}$ y $\alpha = 2.772588$. El mapa de contorno de la DLE para este sistema se muestra en la figura 4 (a), en donde se superpone la gráfica de este potencial (líneas claras discontinuas). La principal diferencia que se observa respecto a los potenciales de una sola barrera es que en este caso aparecen regiones con alta probabilidad de hallar al electrón a energías menores que la altura de las barreras en la región del pozo de potencial. Estas regiones de alta densidad de probabilidad no se encuentran a cualquier energía, ocurren a energías específicas que son las resonancias del sistema. Se incluye una

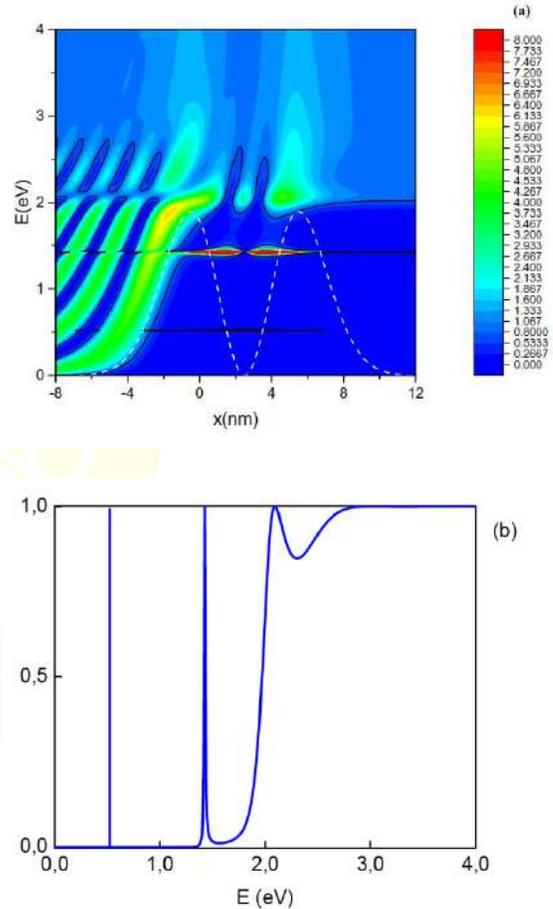


Figura 4. Mapa de la DLE para un potencial de doble barrera gaussiana, dada por la ecuación (10). Se indica una curva de nivel de valor 0.95 (líneas sólidas) (b) Coeficiente de transmisión para la doble barrera gaussiana (a).

Curva de nivel de valor 0.95 para resaltar la posición de estas resonancias. En este caso particular el potencial posee dos resonancias a energías menores que la altura de las barreras, en contraste con los casos de una sola barrera que sólo tienen resonancias a energías superiores a la altura de la barrera. El coeficiente de transmisión para este sistema de doble barrera se incluye en la parte (b) de esta figura. Nótese los dos picos delgados que ocurren a energías inferiores a la altura de las barreras, a estas energías la probabilidad de transmisión alcanza el valor máximo, $T = 1$. Este efecto se conoce como *tunelaje resonante*, ya que ocurre a energías de resonancia. A energías mayores

que la altura de las barreras se aprecia que hay una resonancia ancha y después el coeficiente de transmisión tiende a una “meseta” con $T \approx 1$.

4. Conclusiones

Se realizó un estudio visual del tunelaje cuántico en perfiles de potencial de formas geométricas abruptas (barreras rectangulares), de formas geométricas suaves (barreras rectangulares deformadas gradualmente). Mediante mapas visuales de densidad local de estados, se exhibió la naturaleza ondulatoria del electrón y sus efectos, tales como la interferencia, penetración de barrera, efecto túnel, el fenómeno de resonancia, y la localización espacial en los estados resonantes. Se estudió también el tunelaje resonante en una estructura de doble barrera gaussiana con pozo parabólico, mostrando a localización de los estados electrónicos del pozo y exhibiendo las resonancias del sistema, las cuales son relevantes en aplicaciones tecnológicas para el desarrollo de dispositivos electrónicos de alta velocidad, en donde el ejemplo prominente es el llamado *diodo de tunelaje resonante* [8]. La relevancia de este tipo de estudios, además de facilitar la enseñanza de la física mediante la visualización de los fenómenos en un área tan compleja como es la mecánica cuántica, permite apreciar las diferencias entre las distribuciones electrónicas de potenciales abruptos y potenciales suaves. Las técnicas experimentales que se utilizan para construir estructuras cuánticas de barreras y pozos de potencial, tales como la MBE (*Molecular Beam Epitaxy*) son tan precisas que pueden depositar capas de materiales semiconductores del orden de nanómetros de espesor, lo cual corresponde a barreras rectangulares. Sin embargo, los posibles defectos en el depósito de capas puede dar lugar a barreras deformadas. Otras causas de deformación en los potenciales pueden surgir por ejemplo de la aplicación de un campo eléctrico externo, o por ejemplo el fenómeno de *acumulación de carga*, el cual produce un campo eléctrico propio que deforma el potencial, de ahí la importancia de

estudiar los efectos de deformaciones en los potenciales. Consideramos que estos resultados inciden tanto en el ámbito de la facilitación de la enseñanza de la física como en la investigación básica del tunelaje en estructuras semiconductoras nanométricas.

Agradecimientos

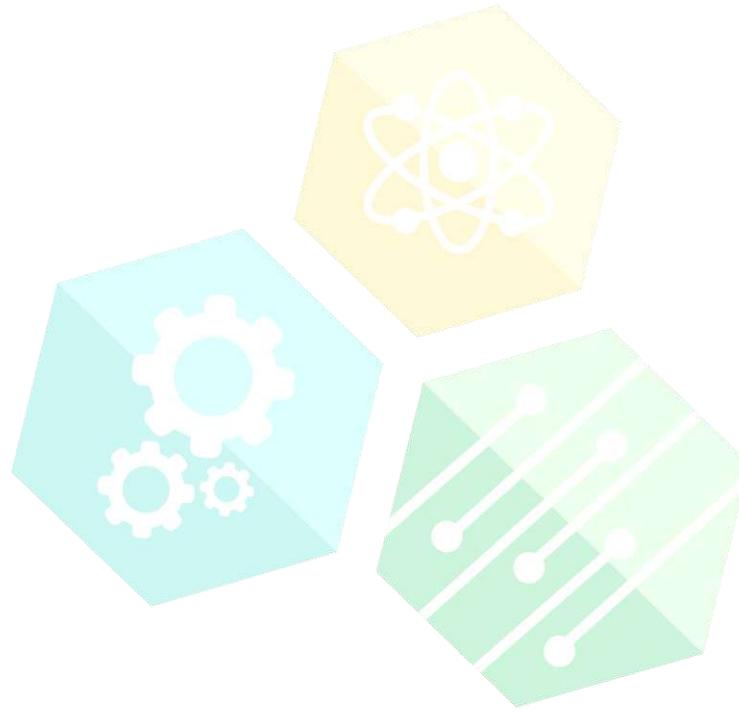
Los autores agradecen el apoyo recibido del proyecto de la 18va Convocatoria Interna de Apoyo a Proyectos de Investigación FC-UABC 400/1/C/110/18.

Referencias

- [1] Rainer Waser. *Nanoelectronics and Information Technology*. 2005 WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, Germany.
- [2] Esaki, L. y R. Tsu. *Superlattice and negative differential conductivity in semiconductors*. IBM J. Res. Develop. **14**, 61-65 (1970). Tsu, R. y L. Esaki. 1973. *Tunneling in a finite superlattice*. Appl. Phys. Lett. **22** 562 (1973).
- [3] Esaki, L. *The evolution of semiconductor quantum structures in reduced dimensionality. Do-it-yourself quantum mechanics*. En: *Electron Properties of Multilayers and Low-Dimensional Semiconductor Structures*. (J. M. Chamberlain et al. ed) Plenum Press, N. Y. p. 124 (1990).
- [4] Ferry, D. K. y S. M. Goodnick. *Transport in nanostructures* (Cambridge University Press), pp. 91-121 (1997).
- [5] Weisbuch, C. y B. Vinter. 1991. *Quantum Semiconductor Structures: Fundamentals and Applications*. Academic Press, Inc. San Diego, pp. 189-215 (1991).
- [6] Mandrà, Salvatore, Stéphanie Valleau, and Michele Ceotto. *Deep Nuclear Resonant Tunneling Thermal Rate Constant Calculations*. International Journal of Quantum Chemistry. **113**, 1722-1734 (2013).
- [7] En lugar de la masa del electrón m_e , lo que se utiliza en todos los cálculos de este estudio es la *masa efectiva*, dada por $m = 0.067m_e$. El factor 0.067 corresponde al arseniuro de galio (GaAs), uno de los materiales típicos

más usados en la fabricación de heteroestructuras semiconductoras.

[8] Slight, T.J. and C.N. Ironside. "Investigation Into the Integration of a Resonant Tunnelling Diode and an Optical Communications Laser: Model and Experiment". *IEEE Journal of Quantum Electronics*. **43** (7): 580 (2007).



CONGRESO INTERNACIONAL DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

CEyB6- Diseño e Implementación de un Controlador PID para un Motor con Escobillas de Corriente Directa en Hardware de Bajo Costo

Jován Oseas Mérida Rubio¹, Juan Hiram Jiménez Ortega¹, José Luis Rodríguez Verduzco¹, Sergio Alberto Puga Guzmán², Diana Gamboa Loaiza²

¹Universidad Autónoma de Baja California - Escuela de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología, Blvd. Universitario 1000, Unidad Valle de Las Palmas, 22260 Tijuana, B.C., jován.merida@uabc.edu.mx, hiram.jimenez@uabc.edu.mx, jlrodriguez@uabc.edu.mx

²Tecnológico Nacional de México – Instituto Tecnológico de Tijuana, Calzada del Tecnológico S/N, Tomas Aquino, 22414 Tijuana, BC, srgpuga@gmail.com, diana.gamboa@tectijuana.edu.mx

Resumen. - *El motor mismo es el fundamento de toda industria y sus principios de funcionamiento nos permiten entender conceptos fundamentales en el ámbito de la ingeniería, tales como: el movimiento, la fuerza, la velocidad y su relación. El motor de corriente directa (CD) se utiliza en casos en los que es de importancia el poder regular la velocidad del eje, cuando se necesita un torque elevado y para aplicaciones de posicionamiento. El problema a resolver es el de regulación de velocidad del motor cuando está sujeto a perturbaciones externas, haciendo uso de hardware que sea asequible. El objetivo es diseñar e implementar un controlador PID para resolver el problema de regulación de velocidad, mediante el uso de una plataforma de bajo costo. Se diseña un controlador PID utilizando el método de curva de reacción. Finalmente se presenta la implementación del controlador haciendo uso de Simulink para la solución del Sistema en lazo cerrado y la tarjeta Arduino Mega como elemento de manejo de señales. Los resultados muestran que el controlador regula la velocidad del motor con un error igual a cero.*

Palabras clave: Control; PID; Motor; Arduino; Simulink. Electrónica e Instrumentación.

Abstract. – The motor itself is the foundation of every industry and its operating principles allow us to understand fundamental concepts in the field of engineering, such as: movement, strength, speed and their relationship. The direct current (DC) motor is used in cases where it is important to be able to regulate the speed of the shaft, when high torque is required and for positioning applications. The problem to solve is the motor speed regulation when it is subjected to external disturbances, making use of hardware that is affordable. The objective is to design and implement a PID controller to solve the speed regulation problem by using a low cost platform. A PID controller is designed using the reaction curve method. Finally the implementation of the controller is presented, making use of Simulink for the solution of the close loop system and the Arduino Mega card as a

signal management element. The results show that the controller regulates the motor speed with an error equal to zero.

Key words: Control; PID; Motor; Arduino; Simulink. Electronics and Instrumentation.

1. Introducción

Los motores de corriente directa son dispositivos cruciales en diversos sistemas electromecánicos de baja potencia debido a su precisión, sus características de control continuo y su versatilidad para un amplio rango de condiciones de operación [1-3].

Su fácil control de posición, par y velocidad la han convertido en una de las mejores opciones en aplicaciones de control y automatización de procesos. Dentro de la industria podemos mencionar las siguientes aplicaciones: vehículos eléctricos, robots manipuladores, grúas eléctricas, líneas de producción, entre otras.

La velocidad del motor puede ser controlada mediante el control del voltaje y la corriente de armadura. Control por modulación de ancho de pulso es comúnmente utilizado para el control de velocidad del motor, dicho método ofrece la ventaja de ser más eficiente que otras formas típicas de control.

Controladores PID son ampliamente utilizados para el control de posición y velocidad del motor. En la literatura existen diversos trabajos donde realizan la implementación de controladores PID sobre un motor de CD [4,5], cuya principal desventaja radica en el costo de la plataforma utilizada.

En este trabajo, se realizará el diseño e implementación de un controlador PID para la velocidad de un motor de DC utilizando Matlab y una tarjeta de adquisición de bajo costo.

2. Modelo Dinámico y Formulación del Problema

2.1 Modelo Dinámico

Se utilizará el circuito equivalente mostrado en la Fig. 1 para representar un motor CD de imán permanente. El modelo matemático que describe la dinámica de dicho motor está dado por el siguiente conjunto de ecuaciones diferenciales:

$$J\dot{\omega}_r + B\omega_r = T, \quad (1)$$

$$L_a\dot{i}_a + R_a i_a + e_b = e_a, \quad (2)$$

$$T = k_m i_a, \quad (3)$$

$$e_b = k_b \omega_r, \quad (4)$$

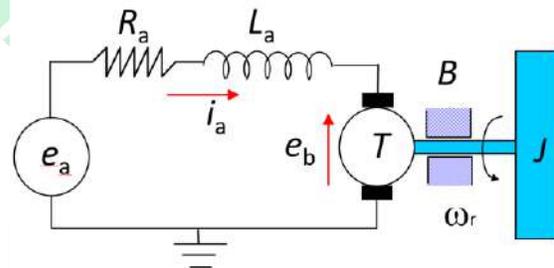


Figura 1: Circuito equivalente del motor CD controlador por armadura

donde J es la inercia del rotor, B es el coeficiente de fricción viscosa, L_a es la inductancia de la armadura, R_a es la resistencia de la armadura, k_m es la constante del par del motor, k_b es la constante de la fuerza contraelectromotriz, T es el par del motor, e_b es la fuerza contraelectromotriz, e_a es el voltaje aplicado, i es la corriente de armadura y ω_r es la velocidad angular del rotor.

Asumiendo condiciones iniciales cero y aplicando la transformada de Laplace al sistema de ecuaciones (1-4) obtenemos la relación entrada $e_a(s)$ salida $\omega_r(s)$ del sistema dada por la siguiente ecuación:

$$G(s) = \frac{k_m}{L_a J s^2 + (B L_a + J R_a) s + (B R_a + k_m k_b)} \quad (5)$$

2.2 Formulación del Problema

El problema a resolver es el de regulación de velocidad del motor cuando está sujeto a perturbaciones externas, haciendo uso de hardware y software que sea asequible. El objetivo es diseñar e implementar un controlador PID para resolver el problema de regulación de velocidad del motor, mediante el uso de una plataforma de bajo costo.

3. Diseño del Controlador PID

A pesar de la evolución en el diseño de controladores, el controlador PID permanece siendo el caballo de batalla en los procesos industriales [6].

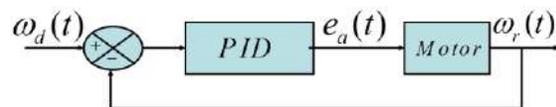


Figura 2. Esquema de control

En la Fig. 2 se muestra el esquema a utilizar para el control del motor. Se utilizara el criterio de Ziegler-Nichols (curva de reacción) para la sintonización en lazo abierto del controlador PID (ver Tabla 1). Para ello se obtiene el valor de la pendiente m de la recta tangente de la curva de respuesta al escalón del motor, así como el atraso de tiempo T_a utilizando el procedimiento descrito en [7]. El controlador PID resultante es

$$e_a(t) = k_p e(t) + k_i \int_0^t e(t) dt + k_d \frac{d}{dt} e(t) \quad (6)$$

donde $e(t)$ es la diferencia entre $\omega_d(t)$ y $\omega_r(t)$, $K_p = 0.464$, $K_i = 415.739$ y $K_d = 1.300 \times 10^{-4}$.

Tabla 1. Sintonización del controlador PID

Controlador	k_p	k_i	k_d
PID	$\frac{1.2}{T_a m}$	$2T_a$	$0.5T_a$

4. Resultados

En la Fig. 3 se muestra la interconexión de los elementos utilizados para implementar el controlador: un motor de dc con encoder incremental, un puente H para suministrar la corriente demandada por el motor, Arduino Mega para la medición de la posición del motor suministrada por el encoder, dicha señal se transmite hacia la computadora que procesa la información en MATLAB-Simulink y genera mediante el controlador una nueva salida hacia la tarjeta de adquisición que la convierte en una señal modulada por ancho de pulso y que es aplicada en las terminales del motor de CD.

La velocidad angular deseada a la que el controlador debe regular es de $\omega_d = 1000$ rpm. En la Fig. 4 se observa el desempeño del sistema en lazo cerrado. Se puede observar que la velocidad angular actual del motor alcanza la velocidad deseada en un tiempo menor a 0.15 s, a partir del cual el error es igual a cero. Notar que no existe sobreimpulso en la velocidad angular, es decir, el controlador logra alcanzar el valor deseado de una manera suave.

5. Conclusiones

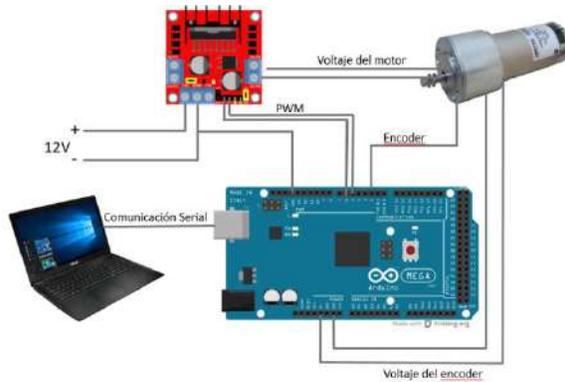


Figura 3. Plataforma del sistema de control

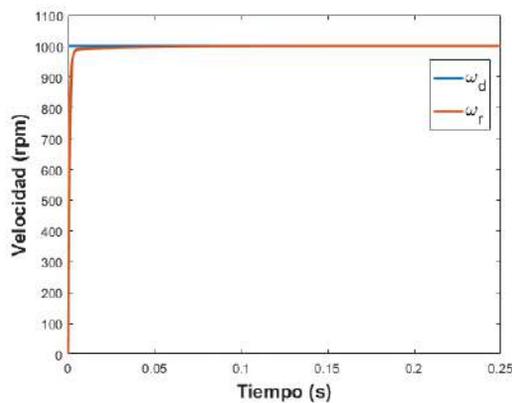


Figura 4. Velocidad angular del motor

La solución al problema de diseño de un controlador PID para regular la velocidad de un motor de CD, mediante el uso de una plataforma experimental de bajo costo se abordó en este trabajo. Los resultados de diseño e implementación se llevaron a cabo haciendo uso de MATLAB-Simulink y una tarjeta de adquisición Arduino-Mega, por lo que el costo de esta plataforma es bajo. Los resultados de implementación muestran que se resolvió el problema de regulación del motor de CD cumpliendo con el objetivo de hacer el error de velocidad igual a cero. La metodología teórica para la sintonización del controlador PID

fue el criterio de la curva de reacción. Se resolvió de manera satisfactoria el problema de control de regulación de la velocidad angular de un motor de corriente directa utilizando un controlador digital.

Referencias

- [1] Morales, R., Somolinos J. A. y Sira-Ramírez, H. Control of a DC motor using algebraic derivative estimation with real time experiments, *Measurement*. ScienceDirect, vol. 47, p.p. 401–417, 2014.
- [2] Rigatos, G. (2009). Control of a DC motor using algebraic derivative estimation with real time experiments *ISA Transactions*. ScienceDirect, vol. 48, p.p. 62–72, 2009.
- [3] Moleykutty, G. Speed Control of Separately Excited DC Motor, *American Journal of Applied Sciences* 5. Science Publications, vol. 5 Issue 3, p.p. 227–233, 2008.
- [4] Lamár, K. y Gergó K. Implementation of Brushed DC Motor Control in LabVIEW FPGA. *Carpathian Journal of Electronic & Computer Engineering*. UT Press Publishing House, vol. 6 Issue 2, p.p. 32–37, 2013.
- [5] Ali, F., Mohammed M. y Ismael S., LabVIEW FPGA implementation of a PID controller for D.C. motor speed control, 2010 1st International Conference on Energy, Power and Control (EPC-IQ), Basrah, p.p. 139–144, 2010.
- [6] C.C., Yu. Autotuning of PID controllers a Relay Feedback Approach. Editorial Springer. 2006.
- [7] Hernández, R. Introducción a los sistemas de control: conceptos, aplicación y simulación con MATLAB. Editorial Pearson. 2010.

CEyB8- Fabricación de un Prototipo para la Medición de Propiedades Térmicas Basado en el Efecto Fotoacústico.

David Gasca Figueroa^{1*}, Micael Gerardo Bravo Sánchez², Francisco Javier García Rodríguez^{3**},
Marco Antonio Estrada Álvarez⁴, José Guadalupe Zavala Villalpando⁴

¹Estudiante del Programa Doctoral en Ingeniería del Instituto Tecnológico de Celaya, Av. Tecnológico S/N, Col. Fovissste, 38010 Celaya, Gto., México. david.gasca@itcelaya.edu.mx.

²Departamento de Ingeniería Bioquímica, Instituto Tecnológico de Celaya. Av. Tecnológico S/N, Col. Fovissste, 38010 Celaya, Gto., México.

³Departamento de Ingeniería Industrial, Instituto Tecnológico de Celaya. Av. Antonio García Cubas 1200, Col. Fovissste, 38010 Celaya, Gto., México.

⁴Departamento de Ingeniería Mecatrónica. Instituto Tecnológico de Celaya. Av. Tecnológico S/N, Col. Fovissste, 38010 Celaya, Gto., México.

** Estancia Sabática en la División de Estudios de Posgrado, Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Querétaro. Cerro de Las Campanas, s/n, Centro Universitario, 76010 Querétaro, Querétaro.

Resumen. - *Los fenómenos físicos derivados del efecto fotoacústico resultan de suma importancia en la determinación de propiedades térmicas. En el presente trabajo, se realiza una revisión del fenómeno, su desarrollo, aplicaciones y formas de mejorar la señal fotoacústica. Se fabricó e instrumentó un sistema experimental de lecturas fotoacústicas, con capacidad de hacer pruebas en un rango de frecuencia variable y constante. Primero, se realizó el diseño, código G y fabricación de la mesa óptica en una maquina CNC 3 ejes; luego, se estableció la comunicación del sistema experimental, utilizando la herramienta virtual LabView. Finalmente, se realizaron pruebas, los resultados obtenidos son consistentes con lo reportado en la literatura. El prototipo obtenido resulta ser muy compacto y práctico. Esto es posible, gracias a la eliminación de componentes mecánicas utilizadas en los sistemas tradicionales.*

Palabras clave: Efecto fotoacústico; propiedades ópticas; propiedades térmicas; Celda fotoacústica; Modelo de Rosencwaig y Gersho.

Abstract. - *The physical phenomenon derived of the photoacoustic effect are employed in the determination of thermal properties. In the present work, a review of the phenomenon, its development, applications and ways of improving the photoacoustic signal is carried out. An experimental setup of photoacoustic signal is built and instrumented it works with variable and constant frequency. First, the design, G-code and fabrication of the optic table is realized in a 3 axes CNC; then, the experimental setup communication is established through the LabView software. Finally, probes were developed, the obtained results are consistent with the reported in the literature.*

The obtained prototype was compact and practice. It is possible, due to the elimination of the opto-mechanical components used in traditional systems.

Key words: Photoacoustic effect; Optical properties; Thermal properties; Photoacoustic cell; Rosencwaig and Gersho's Model.

1.Introducción

En la actualidad, las técnicas basadas en el efecto fotoacústico tienen muchas aplicaciones [1-6]. Los mecanismos físicos involucrados son generados por una señal acústica producida, iluminando una muestra con un haz de luz modulado periódicamente en una celda cerrada [7]. Este efecto causa ondas acústicas que son detectadas por un micrófono. La técnica fotoacústica es una técnica versátil y no intrusiva para determinar propiedades térmicas, como la difusividad o la conductividad térmica [8-13]. Con el desarrollo de nuevos materiales con posibles aplicaciones tecnológicas, así como la investigación en procesamiento de materiales, se ha impulsado el diseño y puesta en marcha de nuevas técnicas que permitan la caracterización de sus propiedades [3], estructura interna [14,15] y los posibles procesos electrónicos que ocurren en ellos [15-17]. Dentro de las propiedades macroscópicas importantes se encuentran las propiedades térmicas, de las cuales se pueden mencionar: Capacidad calorífica, calor específico, capacitancia térmica, conductividad térmica, difusividad térmica, efusividad térmica y coeficiente de expansión térmica.

La técnica fotoacústica ha sido empleada en la medición desde grandes materiales, películas delgadas, multicapas, muestras porosas hasta matrices de nanocables [15,18-20]. Balderas 2005 realizó la medición de la difusividad térmica en materiales ópticamente opacos, normalizando la señal fotoacústica, a diferencia de otras metodologías de normalización, esta corresponde a un material de referencia semi-infinito. Hu y su equipo de colaboradores derivaron una expresión generalizada para el efecto fotoacústico en materiales multicapa. La expresión toma en cuenta las propiedades ópticas y térmicas, así como la geometría de una estructura multicapa, ellos obtuvieron resultados muy próximos a los resultados experimentales. En 1999, Kalapy y colaboradores midieron la conductividad térmica en una matriz de nanocables de compósito epóxido de telurio de bismuto. En 2014 Begoña y colaboradores midieron la conductividad térmica de lignosulfonato de sodio mediante la técnica fotoacústica obteniendo valores de $1\text{W/m}\cdot\text{K}$ empleando el modelo de multicapa desarrollado por Hu.

Los experimentos en la celda fotoacústica pueden ser desarrollados en dos diferentes configuraciones experimentales: Configuración delantera y trasera como se muestra en la figura 1. En la configuración delantera, la muestra es iluminada de manera perpendicular a la superficie de la muestra de tal manera que las ondas acústicas son creadas en una fina capa adyacente a la superficie irradiada, por el contrario, en la configuración trasera las ondas acústicas son detectadas en el gas adyacente a la superficie trasera de la muestra, i.e., en la superficie opuesta a la cara que es irradiada, a este caso también se le conoce como transmisión. Una

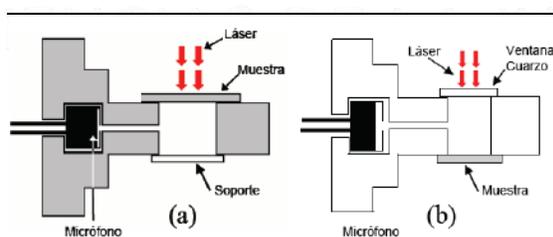


Figura 1. Esquema de las dos principales formas de medición a) configuración de reflexión y b) configuración de transmisión.

variante de la configuración trasera es la bien conocida: celda fotoacústica abierta, la cual consiste en colocar la muestra directamente sobre el micrófono sin una celda fotoacústica de por medio [21], el micrófono empleado por M D da Silva y su equipo de trabajo es un micrófono de electreto, este micrófono tiene la característica de que esta sellado y solo existe una pequeña cámara cilíndrica que es parte del mismo micrófono y es donde las ondas acústicas son detectadas o producidas por el micrófono según sea la aplicación deseada, esta característica especial permite colocar la muestra justo encima del micrófono con ayuda de pasta térmica para aislar del ruido externo y entre la muestra y el micrófono constituyen una pequeña celda fotoacústica del tipo trasera o en modo de transmisión. Desde luego que el micrófono juega un papel primordial en esta configuración y su respuesta ante la variación de frecuencia es importante conocerla para incluirla o eliminarla en la respuesta obtenida en el lock-in.

La principal ventaja de la técnica es que su sistema de detección es único, el micrófono no es afectado por la resistencia térmica de contacto y es relativamente económico. Sin embargo, es limitado por la respuesta del micrófono a la frecuencia que puede variar desde Hz hasta kHz, así, la longitud de penetración térmica también se ve limitada acorde con la ecuación 1.

$$\mu = \sqrt{\frac{\alpha}{\pi f}} \quad (1)$$

En el presente trabajo, se realiza la fabricación e instrumentación de un sistema experimental de lecturas fotoacústicas, haciendo uso de la herramienta virtual LabView. El procedimiento es coleccionar los datos experimentales producto de la absorción del calor en sólidos [22], mediante el uso de instrumentos virtuales que permitan comunicar cada uno de los módulos del sistema. Para generar el efecto fotoacústico se coloca una muestra sobre

una celda hermética, con un gas encerrado (generalmente aire) y se ilumina con un haz de luz modulada. Las ondas térmicas generadas dentro del sólido, por la absorción de radiación, se difunden hacia el gas en contacto con la superficie, provocando fluctuaciones de presión en el interior de la celda, las cuales son detectadas con un micrófono de electreto acoplado a la celda [7]. Esta señal detectada por el micrófono se recupera en forma de señal eléctrica. En la figura 2, se observa el esquema básico y elementos necesarios para la generación y detección del efecto fotoacústico. En el diseño del prototipo, se incluye el diseño y fabricación de la mesa óptica. Se instala y calibran las componentes del sistema y se desarrolla un software para realizar la comunicación entre los dispositivos y coleccionar los datos experimentales.

2. Metodología.

Se construye un prototipo para la medición de propiedades térmicas basado en el efecto fotoacústico. A continuación, en la sección 2.1 se presenta la descripción detallada del sistema experimental y en la 2.2 se presentan las ecuaciones importantes y los experimentos realizados.

a. Configuración del sistema experimental.

El diagrama de bloques del equipo experimental se observa en la figura 2. En primera instancia, mediante la interfaz gráfica creada en LabView es posible manipular las funciones del amplificador lock-in desde la PC y seleccionar así los parámetros de trabajo del experimento. El amplificador lock-in cuenta con un oscilador interno el cual, una vez preestablecido su valor de la amplitud y frecuencia, se conecta al controlador del diodo láser y de esta manera el diodo láser trabajará a la misma señal de frecuencia que la del oscilador interno del amplificador. Enseguida, el haz de luz láser incide a cierta frecuencia sobre una muestra de interés que descansa a su vez sobre la celda fotoacústica. La celda está conformada por una cámara de gas (en este caso aire) herméticamente cerrada y acoplado

a un micrófono cuya función es detectar los cambios de presión dentro de la cámara de gas debido a las variaciones de temperatura dentro de la misma. El micrófono convierte las ondas acústicas detectadas en señales eléctricas, las cuales pasan por un preamplificador antes de pasar por el amplificador quien finalmente limpia y almacena la información de amplitud y fase de dicha señal eléctrica. La información de fase y amplitud de la señal eléctrica resultante se almacena en el amplificador lock-in y LabView extrae dicha información para posteriormente trazar una gráfica de amplitud en función de la frecuencia. El diodo láser, así como la celda fotoacústica descansan sobre una mesa óptica, diseñada y fabricada en nuestro laboratorio; para evitar que cualquier vibración externa perturbe el experimento.

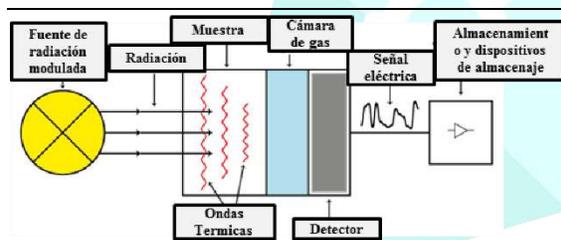


Figura 2. Configuración experimental del sistema fotoacústico.

b. Modelo teórico

La teoría del efecto fotoacústico en sólidos fue desarrollado por Rosencwaig y Gersho quien resolvió la ecuación de difusión para cada capa: material de soporte, muestra sólida y la capa de gas empleando las condiciones de frontera apropiadas. La ecuación de difusión térmica en la muestra, tomando en cuenta la fuente de calor, se escribe como se muestra en la ecuación 2.

$$\frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial \theta}{\partial t} - A e^{\beta x} (1 + e^{i\omega t}); -1 \leq x \leq 0 \quad (2)$$

donde $A = \beta I_0 \eta / 2k$, θ es la temperatura y η es la eficiencia a la cual la luz absorbida a la longitud de onda λ es convertida en calor por el proceso de desexcitación no radiativa. Se asume que $\eta=1$. Para la muestra y soporte se emplea la misma ecuación sin el último término que es el término asociado a la incidencia de la luz en la muestra.

3. Instrumentación del sistema

La instrumentación del sistema experimental se divide básicamente en cuatro etapas: 1. Interfase de usuario. Aquí, se seleccionaron los controladores e indicadores para configurar diversas funciones del amplificador; modo de operación, i.e., si el proceso se va a ejecutar de manera manual o automática y dos gráficas donde registran los valores obtenidos de amplitud y fase contra frecuencia. El *modo manual*, permite seleccionar la frecuencia y la fase del oscilador interno, así como su amplitud. Además, es posible configurar otras funciones del lock-in como la constante de tiempo, la sensibilidad, los filtros, entre otras funciones. En el *modo automático*, se debe seleccionar la frecuencia mínima y máxima con la que se va a trabajar, así como el incremento de la misma y un tiempo de espera entre cada lectura, esto con el fin de que se establezca la señal una vez que incrementa la frecuencia. También cuenta con un controlador para seleccionar el número de lecturas que se van a obtener por cada frecuencia, se realiza un promedio de las mismas y finalmente se gráfica. 2. Conexión serial de la PC con el amplificador lock-in RS830. Se establece la comunicación entre la PC y el amplificador lock-in RS830, se requieren controladores que permitan el enlace, utilizando el protocolo de comunicación serial RS232, esto se consiguió utilizando NI-VISA de National Instruments. Una vez realizada la comunicación entre los dispositivos, se desarrolló el instrumento virtual (VI), generado en la plataforma LabView (figura 3).

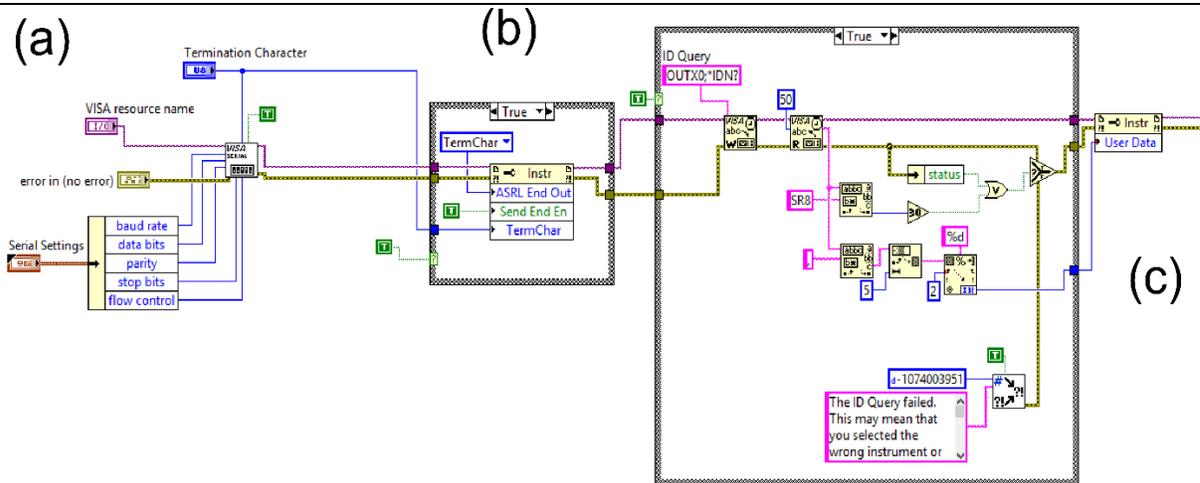


Figura 3. Diagrama de bloques para realizar la comunicación RS232, (a) Bloque VISA. Se refiere a la comunicación del sistema, (b) habilitación determinación de carácter y (c) identificación del dispositivo.

3. Configuración de los parámetros. Se envían comandos al amplificador para especificar ciertas condiciones; como la frecuencia de trabajo, amplitud de la señal, fase, sensibilidad, entre otros aspectos necesarios para adquirir una lectura limpia de la señal. Recordando que la ejecución del experimento se realiza de forma manual o automática, estructurando las correspondientes funciones. Finalmente, 4. Lectura de datos. Se cuenta con un controlador en la interfaz de usuario el cual selecciona el número de lecturas de amplitud que se ven a tomar por cada frecuencia, para posteriormente realizar un promedio de estas lecturas y finalmente la lectura promedio obtenida se grafica en la gráfica correspondiente. Es importante mencionar que tanto el diagrama de bloques para la configuración de parámetros, así como el diagrama de bloques para la lectura de datos, están contenidos dentro de un mismo ciclo.

4. Procedimiento experimental.

Para determinar la difusividad térmica pueden seguirse varios procedimientos fundamentados en la técnica fotoacústica. Se utilizaron las configuraciones de transmisión y de reflexión en aluminio, cobre, acero y polímero ABS, para comprobar convergencia. En metales esta metodología permite eliminar la función de transferencia. El método de transmisión consiste en incidir la luz láser hacia la muestra, la cual está en la parte frontal de la celda y solo el calor que logre traspasar la muestra hacia el interior de la celda contribuye a la señal fotoacústica, en tanto que el modo de reflexión por su parte consiste en colocar la muestra por la parte posterior de la celda y el calor reflejado hacia el interior de la celda es el causante de la señal de presión acústica. En ambos casos el interior de la celda debe estar sellado para evitar la interacción con posibles perturbaciones externas, como se muestra en la figura 4.

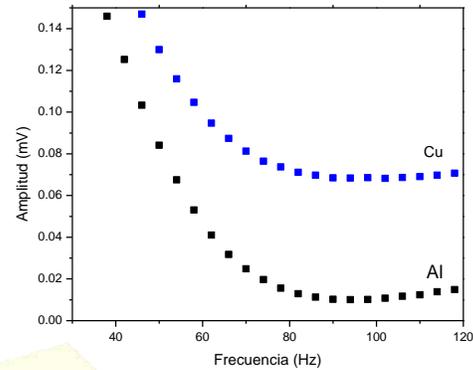


Figura 4. Señal fotoacústica producida en el rango de frecuencias de 1 a 120 Hz para aluminio (Al) y Cobre (Cu).

Se analizaron muestras de 8x15 mm, en Al, Lámina de acero, aleación AISI 304 y ABS con espesores de 0.15 mm. En todos los casos, el tiempo para estabilizar: 5s entre cada punto. Mediciones por punto: 5. Tiempo entre cada medición: 1s. El comportamiento encontrado utilizando la metodología RG y la auto normalización, permitieron determinar los valores de difusividad para cada uno de estos materiales, los cuales concuerdan con los valores reportados en la literatura. Es importante mencionar que todos estos materiales son homogéneos, isotrópicos y lineales.

Tabla 1. Comparación entre las difusividades térmicas de aluminio, acero AISI1304 y polímero ABS obtenidas a través de la técnica fotoacústica y las reportadas en la literatura.

Material	Difusividad térmica obtenida (cm^2 / s)	Difusividad térmica reportada (cm^2 / s)
Aluminio	0.3964	0.3982
Acero AISI304*	0.03458	0.03633
Polímero tipo ABS	$\approx 3.73 \times 10^{-4}$	3.75×10^{-4}

El sistema es confiable, ya que su precisión es mayor al 95% con respecto a los datos consultados en la literatura. La metodología converge en un resultado muy similar al presentado en la tabla 1, por lo cual puede ser empleado en los demás materiales sólidos

siempre y cuando sean homogéneos y en los metales tomando como referencia al aluminio y al acero y así eliminar el efecto de la función de transferencia del sistema, obteniendo un resultado más preciso.

5. Aplicaciones y otros desarrollos

Un buen número de modificaciones y mejoras han sido reportadas para esta técnica. En 1977 Aamodt y otros [23] estudiaron la dependencia de la sensibilidad de un espectrómetro fotoacústico sobre las dimensiones de la celda a causa de que las amplitudes de las fluctuaciones de presión en el gas dependen de la intensidad de la luz incidente, propiedades térmicas de la muestra y el gas y de los procesos de difusión térmica causantes del flujo de calor, además concluyeron que los fenómenos de difusión en gases son mucho más complejos y esto es atribuido a que la temperatura se separa los gases en una parte térmica o que no propaga la señal y en una parte acústica que si propaga la señal. McDonald y Wetsel extendieron la teoría del efecto fotoacústico al incluir la contribución de las vibraciones mecánicas de la muestra, lo cual fue descrito como un acoplamiento acústico entre las ecuaciones de difusión de calor y de ondas acústicas [24]. Este efecto es importante para líquidos, por su alto coeficiente de expansión térmico, y para muestras transparentes, debido a que el acoplamiento acústico es alto cuando el coeficiente de absorción óptico es reducido. Su trabajo es una extensión del modelo del pistón de Rosencwaig y Gersho. En su trabajo concluyen que el movimiento mecánico de líquidos y sólidos puede afectar considerablemente la señal fotoacústica y puede ser dominante para algunas muestras líquidas. Su modelo de pistón compuesto es válido para muestras térmicamente gruesas.

Posteriormente, Cesar y otros estudiaron la señal fotoacústica de un sólido, incluyendo la resistencia térmica superficial de la muestra [25], en este trabajo se hace mención al significado de una resistencia térmica considerada como nula. Una resistencia térmica nula significa que la transferencia de calor entre los dos medios es instantánea o,

alternativamente, que la emisividad de la superficie es infinita. Después, Quimby y sus colegas en 1980 desarrollaron un modelo unidimensional para el efecto fotoacústico en sólidos, el cual es válido asumiendo que la longitud de difusión térmica es mucho menor que el radio de la muestra. [26] Este estudio simplifica considerablemente el desarrollo matemático. En el mismo año, Fernelius estudio las muestras bicapa, donde cada capa tenía propiedades ópticas y térmicas diferentes [27], aquí se estudia el efecto de agregar una capa sobre algún material con propiedades distintas a la muestra de estudio. Poulet estudio la espectroscopia fotoacústica cuantitativa aplicada a muestras térmicamente gruesas donde las variaciones teóricas del módulo y fase de la señal fotoacústica fueron comparados con los resultados experimentales para un amplio rango de muy o moderadamente materiales absorbentes. [28], en su trabajo se evidencia el rango de influencia de los fenómenos de acoplamiento resaltados por otros autores y se hace énfasis en el rango de validez para sustancias absorbentes, también se concluye que las técnicas espectroscópicas en el modo de transmisión no son capaces de realizar estos análisis debido a la naturaleza moderada o altamente absorbente de las muestras de trabajo. El equipo de Rousset desarrollo un modelo que contempla la flexión termoelástica, la cual es la expansión térmica a lo largo del espesor de la muestra debido al gradiente térmico inducido, la flexión termoelástica de muestras solidas produce fuertes señales fotoacústica, las cuales no pueden ser analizadas por cálculos de fotoacústica usuales, su modelo es acorde con los datos obtenidos mediante un sensor termoelástica de deformaciones, más aun, el modelo desarrollado es también consistente con calculo previos piezoeléctrico-fotoacústico y sirve para la determinación de difusividades térmicas [29]. Esta puede ocurrir cuando se miden muestras sólidas, especialmente en la configuración trasera. Otros trabajos mejoran la adquisición de datos y la obtención de la difusividad térmica al considerar otros fenómenos tales como difusión térmica y la flexión termoelástica [30,31], Somer y su equipo de colaboradores en 2013 exploraron el potencial de la

celda fotoacústica abierta al estudiar los efectos del proceso de flexión termoelástica y los procesos de difusión en la generación de la señal fotoacústica en sólidos, como conclusión obtuvieron que la flexión termoelástica se incrementa cuando el espesor de la muestra disminuye, esta información fue aprovechada para coleccionar datos y emplear el parámetro de flexión termoelástica como una función del espesor de la muestra, se concluye que el proceso de difusión térmica está siempre presente en la generación de la señal fotoacústica sin importar el espesor de la muestra y que la flexión termoelástica es más efectiva y puede emplearse como un parámetro de medición a medida que el espesor de la muestra disminuye. En 2015 Bedoya y colaboradores implementan una metodología de punta que puede ser empleada para mediciones térmicas de precisión por medio de fotoacústica.

Rodríguez y colaboradores (2007) desarrollo una novedosa celda fotoacústica diferencial (DPC) con objeto de estudiar procesos dinámicos. La DPC tiene la capacidad de medir en tiempo real la amplitud y la fase de la señal fotoacústica tanto para la muestra de trabajo como para la muestra de referencia bajo estudio. Las mediciones simultáneas de ambas señales eliminan la función instrumental, y la presencia de ruido, debido a alguna desviación originada por factores eléctrico, óptico y ambiental. La DPC puede ser usada a diferentes perfiles de temperatura de modo que se obtiene la función instrumental. La celda fotoacústica diferencial también tiene todos los elementos de una celda electroquímica capaz de seguir los procesos electroquímicos, como resultado de esta instrumentación es posible obtener en tiempo real la amplitud y la fase de la señal fotoacústica viniendo de la muestra sin alguna interferencia por parte del sistema. En su trabajo presenta dos casos como una demostración de su trabajo aplicado a dos campos de estudio: La electrodeposición de zinc sobre un sustrato de acero, así como el estudio de la difusión de iones agua y calcio dentro de capas orgánicas. [16]. Una de las grandes ventajas del trabajo de Rodríguez,

es que en su celda se propone un control de temperatura, esto puede evitar las variaciones de la temperatura ambiente y es posible lograr una mayor estabilidad térmica. Incluso su trabajo amplió la posibilidad de incrementar la señal fotoacústica a través de la variación de temperatura, esto a causa de que el sonido viaja más rápidamente cuando la temperatura aumenta. Marquezini desarrollo un trabajo en el cual se incluye la respuesta del micrófono ante la variación de la frecuencia de la onda incidente sobre la muestra de trabajo, en este trabajo se desarma un micrófono de electreto y se analizan los efectos debido a su fabricación y con ello se obtiene un modelo matemático que representa la respuesta del micrófono [32]. Finalmente, en el trabajo de Cortes-Ibarra y colaboradores se muestra la importancia de la celda fotoacústica diferencial en la medición in situ de diversos procesos dinámicos, en su trabajo se mide la permeabilidad del agua en hueso descalcificado [33].

6. Conclusiones

Se fabricó un sistema experimental de lecturas ópticas haciendo uso de la herramienta virtual LabView. Se realizaron mediciones en aluminio y acero. Los valores resultantes de difusividad térmica medidos al usar las diferentes metodologías convergieron de acuerdo con los valores reportados en la literatura, mostrando auto-consistencia.

LabView mostró ser una excelente herramienta para la instrumentación virtual de sistemas experimentales, ya que, al ser un ambiente de programación por bloques, es sumamente intuitiva, es posible modificar o agregar fácilmente más funciones de ser necesario, además de ahorrar tiempo, con respecto a otros lenguajes de programación. Con respecto a las mediciones realizadas, el sistema instrumentado, permite obtener propiedades térmicas en materiales opacos, mediante pruebas no destructivas.

La técnica fotoacústica (TFA), ha sido ampliamente utilizada para diagnósticos térmicos en una

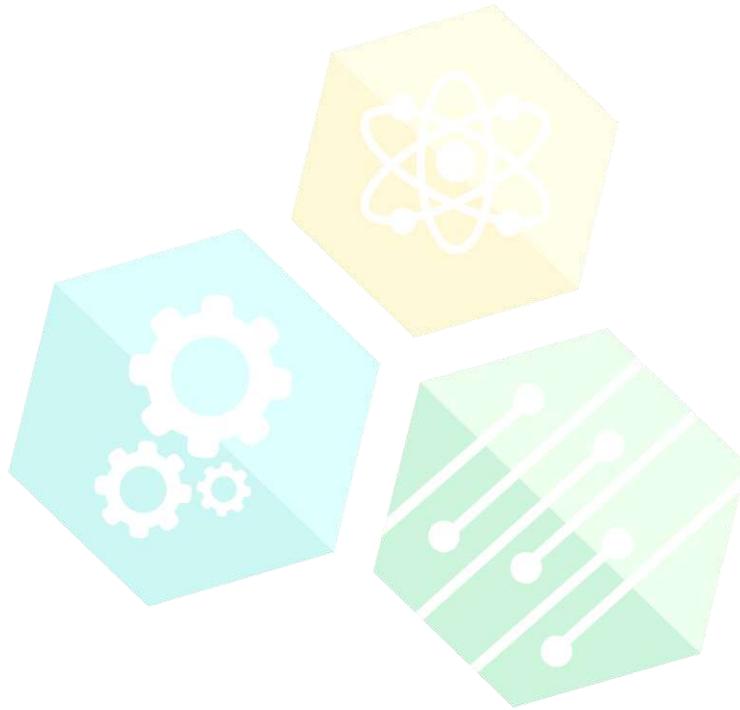
diversidad de materiales. El principio básico de esas técnicas consiste en las mediciones indirectas de las fluctuaciones de temperatura como un resultado del proceso de desexcitación no radiativa que toma lugar siguiendo la absorción de la intensidad de radiación modulada. Con algunas pocas excepciones TFA involucra el análisis de la señal como una función de la frecuencia de modulación.

Referencias

- [1] Lomelí Mejía P. A, Castellanos Abrego N. P., Méndez González M. M., Cruz Orea A., Jiménez Pérez J. L., Aplicaciones Biofísicas de la fotoacústica, Investigación en Discapacidad, 1(2), 2012.
- [2] Da silveira Nicolson R., Bayer C. Denega G. L., Victoria de Oliveira P. A., Higarashi M.M., Corulli Correa J., Dos Santos Lopes L., Gas chromatography and photoacoustic spectroscopy for the assessment of soil greenhouse gases emissions. Ciencia Rural, v.3, n.2, p 262-269, 2013 ISSN0103-8478
- [3] N.A. George, C.P.G. Vallabhan, V.P.N. Nampoori, A.K. George, P. Radhakrishnan., Use of an open photoacoustic cell for the thermal characterization of liquid crystals, Appl. Phys. B 73, 145–149 (2001) / Digital Object Identifier (DOI) 10.1007/s003400100622,
- [4] Schmitt M., Poffo C. M., Cardoso de Lima J., Peres Fernandez C., Santiago dos Santos V. S., Application of photoacoustic spectroscopy to characterize thermal diffusivity and porosity of caprocks, Engineering Geology 220 (2017) 183-195
- [5] Hernandez-Aguilar C., Cruz-Orea A., Ivanov R., Dominguez A. Carballo A. Moreno I., Rico R., The Optical Absorption Coefficient of Maize Seeds Investigated by Photoacoustic Spectroscopy, Food Biophysics (2011) 6:481–486
- [6] Cywiak D., Barreiro-Argüelles M. D., Cywiak M., Landa-Curiel A., Garcia-Segundo C., Gutierrez-Juárez G., A One-Dimensional Solution of the Photoacoustic Wave Equation and its Relationship with Optical Absorption, Int J Thermophys (2013) 34:1473–1480
- [7] Rosencwaig A, Gersho A. Theory of the photoacoustic effect with solids. J Appl Phys 1976;47:64–9.
- [8] Bedoya A., Marin E., Mansanares A.M., Zambrano-Arjona M.A., Riech I., Calderon A., On the thermal characterization of solids by photoacoustic calorimetry: thermal diffusivity and linear thermal expansion coefficient. Thermochemica Acta 614 (2015) 52-58
- [9] M. Akabori, H. Nogawa, Y. Nagasaka and A. Nagashima, Proc. 11th Jpn. Symp. on Thermophysical Properties, 1990, Japan Society of Thermophysical Properties, p. 17 (I-Japanese).
- [10] Biswas K. G., Sands T. D., Cola B., Xu X., Thermal conductivity of bismuth telluride nanowire array-epoxy composite, Birk and NCN Publications, Birck Nanotechnology Center, Purdue University, 6-1-2009
- [11] G. Rousset, F. Lepoutre, and L. Bertrand Influence of thermoelastic bending on photoacoustic experiments related to measurements of thermal diffusivity of metals, Journal of Applied Physics 54, 2383 (1983); doi: 10.1063/1.332352
- [12] Photoacoustic measurement of thermal diffusivity of polymer foils J. Appl. Phys. 61, 3025 (1987); 10.1063/1.337853
- [13] Thermal diffusivity of optical fibers measured by photoacoustics Appl. Phys. Lett. 41, 341 (1982); 10.1063/1.93505

- [14] Sajjan D. G., George A. K., Radhakrishnan P., Nampoori V. P. N., Vallabhan C. P. G, Photoacoustic studies on thermal parameters of liquid crystal mixtures, *Smart Mater. Struct.* 16 (2007) 1298–1301 doi:10.1088/0964-1726/16/4/042
- [15] Abad B., Ruil Bravo M., Hodson S. L., Xu X., Martin-Gonzalez M., Thermoelectric properties of electrodeposition tellurium films and the Sodium lignosulfonate effect. *Electrochimica Acta* 169 (2015) 37-45
- [16] Rodríguez-García M. E., Hurtado-Castañeda D., Perez Bueno J. J., Differential photoacoustic cell for electrochemical and dynamic process with temperature control, *Review of scientific instruments*, March 2007, DOI 10.1063/1.27159016
- [17] Hanping H., Xinwei W., Xianfan X., Generalized theory of the photoacoustic effect in a multilayer material, *J. Appl. Phys.* 86, 3953 (1999); doi: 10.1063/1.371313
- [18] Balderas-Lopez JA. Photoacoustic signal normalization method and its application to the measurement of the thermal diffusivity for optically opaque materials. *Rev Sci Instrum* 2006;77:064902–4.
- [19] Hu H, Wang X, Xu X. Generalized theory of the photoacoustic effect in a multilayer material. *J Appl Phys* 1999;86:3953–8.
- [20] Biswas K, Sands T, Cola B, Xu X. Thermal conductivity of bismuth telluride nanowire array-epoxy composite. *Appl Phys Lett* 2009;94:223116-3.
- [21] Silva MDd, Bandeira IN, Miranda LCM. Open-cell photoacoustic radiation detector. *J Phys E: Sci Instrum* 1987;20:1476.
- [22] Bell AG. The photophone. *Science* 1880;1:130–4
- [23] Aamodt L, Murphy J, Parker J. Size considerations in the design of cells for photoacoustic spectroscopy. *J Appl Phys* 1977;48:927–33.
- [24] McDonald FA, Grover C, Wetsel J. Generalized theory of the photoacoustic effect. *J Appl Phys* 1978;49:2313–22.
- [25] Cesar CL, Vargas H, Meyer JA, Miranda LCM. Photoacoustic effect in solids. *Phys Rev Lett* 1979;42:1570–3.
- [26] Quimby RS, Yen WM. On the adequacy of one dimensional treatments of the photoacoustic effect. *J Appl Phys* 1980;51:1252–3.
- [27] Ferneliuss NC. Extension of the Rosencwaig-Gersho photoacoustic spectroscopy theory to include effects of a sample coating. *J Appl Phys* 1980;51:650–4.
- [28] Poulet P, Chambron J, Unterreiner R. Quantitative photoacoustic spectroscopy applied to thermally thick samples. *J Appl Phys* 1980;51:1738–42.
- [29] Rousset G, Lepoutre F, Bertrand L. Influence of thermoelastic bending on photoacoustic experiments related to measurements of thermal diffusivity of metals. *J Appl Phys* 1983;54:2383–91.
- [30] Somer A, Camilotti F, Costa GF, Bonardi C, Novatski A, Andrade AVC, et al. The thermoelastic bending and thermal diffusion processes influence on photoacoustic signal generation using open photoacoustic cell technique. *J Appl Phys* 2013;114:063503.
- [31] Bedoya A, Marin E, Mansanares AM, Zambrano-Arjona MA, Riech I, Calderon A. On the thermal characterization of solids by photoacoustic calorimetry: Thermal diffusivity and linear thermal expansion coefficient. *Thermochim Acta* 2015;614:52–8.

- [32] Marquezini. M.V., Cella. N., Mansanares. A. M., Vargas. H. Miranda. L. C. M.; Meas. Sci. Technol. 2(1991) 396-401 Printed in the UK
- [33] Cortes-Ibarra. M. L., Urriolagoitia-Calderon. G.M., Hernandez-Gomez. L. H., Mendoza-López. M. L., Rodríguez-García. M. E., Urriolagoitia Sosa. G.; Rev. Colomb. Biotecnol. Vol. X No. 2 Diciembre 2008 14-22.



CONGRESO INTERNACIONAL DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA



SISTÉMAS ENERGÉTICOS

CONGRESO INTERNACIONAL
DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

OSE5- Proyecto de Eco-eficiencia en ECITEC

Luis Alvarado Algher Daniel, Castañón Bautista María Cristina, García Gómez Ana Joselyne, Zúñiga Chávez Alice Josseline, Vega Rubio Alejandra, Álvarez Elenes Armando Manuel

Universidad Autónoma de Baja California. Escuela de Ciencias de la ingeniería y Tecnología. Blvd. Universitario No. 1000 Unidad Valle de las Palmas, Tijuana, B.C., México, C.P. 22260
algher.luis@uabc.edu.mx

Resumen. - *La eco-eficiencia es una herramienta que permite a las organizaciones optimizar el uso de sus recursos y disminuir el impacto ambiental negativo que sus operaciones generan, además de obtener beneficios económicos. El objetivo de este trabajo es disminuir el consumo energético y de uso de agua en el mantenimiento de áreas verdes, a fin de aprovechar de forma eficiente dichos recursos y reducir la generación de gases de efecto invernadero y obtener un beneficio económico. Se realizó una evaluación diagnóstica de las actividades en la Escuela de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología (ECITEC) y los resultados muestran un consumo excesivo de agua en áreas de mantenimiento de áreas verdes, consumo de energía eléctrica por dispensadores de agua y máquinas expendedoras, debido al uso innecesario durante veinticuatro horas, elevado consumo de energía eléctrica en sistemas de AC en aulas de los edificios, debido a una operación poco eficiente del sistema AC y controles de temperatura. Con base en el diagnóstico, se establece una serie de buenas prácticas, donde se estima que se puede obtener un beneficio ambiental al año de 156.24 toneladas de CO₂ que se dejarán de emitir, lo que traduce en un ahorro económico de \$579,143.77M.N., para la ECITEC. Es importante mencionar, que la implementación de este proyecto de eco-eficiencia se realizara sin una inversión inicial, por lo tanto el tiempo de retorno de la misma no es aplicable, ya que el ahorro económico y el beneficio ambiental empezaran a obtenerse desde el primer día en el cual se realice el proyecto.*

Palabras clave: Eco-eficiencia; Eficiencia Energética; Buenas Prácticas; Medio Ambiente.

Abstract. - *Eco-efficiency is a tool that allows organizations to optimize the use of their resources and reduce the negative environmental impact that their operations generate, in addition to economic benefits. The objective of this work is to reduce energy consumption and water use in the maintenance of green areas, in order to efficiently use these resources and reduce the generation of greenhouse gases and obtain an economic benefit. A diagnostic evaluation of the activities was carried out at the School of Engineering and Technology Sciences (ECITEC) and the results show an excessive consumption of water in areas of maintenance of green areas, electricity consumption by water dispensers and vending machines due to Unnecessary use for twenty-four hours, high consumption of electrical energy in AC systems in classrooms of buildings, due to an inefficient operation of the AC system and temperature controls. Based on the diagnosis, a series of good practices are established, where it is estimated that an environmental benefit of 156.24 tons of CO₂ can be obtained per year, which results in an economic saving of \$ 579,143.77 MN for the ECITEC. It is important to mention that the implementation of this eco-efficiency project will be carried out without an initial investment, therefore the time of return is not applicable, since economic saving and environmental benefit will start to be obtained from the first Day on which the project is carried out.*

Keywords: Eco-efficiency; Energy Efficiency; Good Practices; Environment.

1. Introducción

La Eco-eficiencia es una herramienta que permite a las organizaciones optimizar el uso de sus recursos y disminuir el impacto ambiental negativo que sus operaciones generan, además de obtener beneficios económicos. Esto se puede lograr, mediante la implementación de distintas herramientas, aplicando múltiples metodologías como buenas prácticas, optimización de productos y sustitución de productos por servicios, por ejemplo.

En este caso de estudio, el objetivo del proyecto de Eco-eficiencia en la Escuela de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología, fue generar una reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), reducir el consumo de energía, uso eficiente de agua empleada en riego y como meta obtener un ahorro económico mínimo de \$100,000.00 M.N., al año. Para ello, se consideraron diversas estrategias, como la implementación de buenas prácticas.

2. Metodología

Como herramienta de Eco-eficiencia, en este caso de estudio, se propone para ECITEC, la aplicación de estrategias orientadas a “buenas prácticas”, en el uso de energía para iluminación, dispensadores de agua, máquinas expendedoras, aire acondicionado y fotocopiadoras e impresoras.

2.1 Iluminación en edificios

Se realizó un diagnóstico del uso y cantidad de luminarias en aulas y pasillos de los Edificios Departamento de Información Académica (DIA) y A, B, C y D de ECITEC.

2.2 Dispensadores de agua y máquinas expendedoras

Se realizó un análisis de horarios laborales y de uso de los dispensadores de agua en los edificios A, B, C, D. Posteriormente se identificaron las instalaciones eléctricas y potencia consumida por cada dispensador y máquinas expendedoras de productos comestibles.

2.3 Consumo de energía en aire acondicionado

Para evaluar el consumo de energía por uso de sistema de Aire Acondicionado (AC), se realizó un estudio de la temperatura registrada en cada espacio y tiempo de operación del sistema AC de los edificios A, B, C y D de la ECITEC.

2.4 Uso de fotocopiadoras e impresoras

Se realizó un análisis del consumo de energía de cinco equipos para fotocopiar e impresoras de uso general que se encuentran localizadas en el Edificio de Dirección, C y F de la ECITEC.

2.5 Consumo de agua en riego de áreas verdes

Para estimar el consumo de agua en metros cúbicos, en riego de áreas verdes, se consideraron los sitios donde se tienen aspersores en la ECITEC.

3. Resultados

3.1 Iluminación en edificios

Con base en el diagnóstico realizado en Edificio DIA, A, B, C y D, se observa un uso innecesario de iluminación nocturna (1053 luminarias de 60W), en aulas y pasillos, debido principalmente a la inactividad laboral y de estudiantes.

Se estima que al apagar interruptores al término de labores, se puede obtener un ahorro total de \$381,885.192 M.N. al año (Tabla 1).

Tabla 1. Ahorro anual en iluminación

	Ahorro	
	KWH	\$ (M.N.)
Edificio A, B, C, D.	174499.2	240,808.9
Edificio DIA	102,229.2	141,076.3
Total	276,728.4	281885.2

3.2 Dispensadores de agua y máquinas expendedoras

De acuerdo al análisis con respecto al uso de 20 dispensadores de agua y dos máquinas expendedoras, estos consumen anualmente 64,081.324 KWH con un costo de \$88,432.23 pesos.

Con base en estos resultados, se propone la desconexión de los dispensadores y máquinas expendedoras al finalizar cada jornada (17:00 Hrs.) y fines de semana para tener 10 Hrs. de funcionamiento y 14 Hrs. desconectados. Con esta medida, el consumo anual será de 38,531.93 KWH, con un costo de \$53,174.069 pesos, teniendo un ahorro de \$35,258.16 M.N., al año (Tabla 3).

3.3. Consumo de energía en aire acondicionado

Con base en la evaluación al sistema de AC en los edificios A, B, C y D, el consumo total anual es de \$ 102,129 M.N., y mediante la implementación de ajuste de temperatura media de AC a 78°F y la reducción de tiempo de operación de 9 a 6 horas, con un horario de arranque a las 10:00 y apagado a las 16:00 Hrs, así como una campaña de sensibilización de ventanas y puertas cerradas en espacios con AC, se puede obtener un ahorro de \$34,043 M.N., anuales (Tabla 2).

Tabla 2 Estimación de ahorro en AC

	Situación Actual		Propuesta (ahorro)	
	KWH	\$(M.N.)	KWH	\$(M.N.)
A	13932	19,226.16	4644	6,408.72
B	23220	32,043.60	7740	10,681.20
C	24148.8	33,325.34	8049.6	11,108.45
D	12705.9	17,534.26	4235.33	5,844.75
Total	74006.8	102,129.36	24668.928	34,043.12

3.4. Uso de fotocopiadoras e impresoras

De acuerdo a la evaluación de uso de equipos para fotocopiar e impresoras, se tiene un consumo anual de 16,857.67 KWH y un costo de operación de \$23263.6 M.N.

La alternativa propuesta para obtener esta disminución en el consumo energético es desconectar copiatoras e impresoras fuera del horario laboral, programar estos equipos en modo de ahorro de energía y mantener un control de impresiones y promover el uso de documentos digitales. De acuerdo al análisis de consumo, con

estas medidas se estima un ahorro anual de 5,958 KWH y un ahorro económico de \$8,222.47 M.N.

3.5 Consumo de agua en riego de áreas verdes

La situación actual en el consumo de agua de áreas verdes es de 2, 788.454 m³ con un costo de \$166,387.50 M.N.

La propuesta para este caso, es reducir el consumo de agua de riego, establecer un horario adecuado para riego y contar con una bitácora de control de volumen suministrado en cada área, así como promover el uso de vegetación adaptada a la región. Con estas medidas se propone un consumo anual para estas áreas de 963.454 m³ de agua, con un costo al año de \$57,489.30 M.N.

3.5. Beneficio ambiental

Se estima que, con base en el diagnóstico de las áreas de estudio y la estrategia de Eco-eficiencia (buenas prácticas), se puede obtener un beneficio ambiental significativo, al dejar de emitir 156.24 Ton de CO₂, además de la conservación de espacios naturales con vegetación de la región (Tabla 3).

Tabla 3. Beneficio ambiental

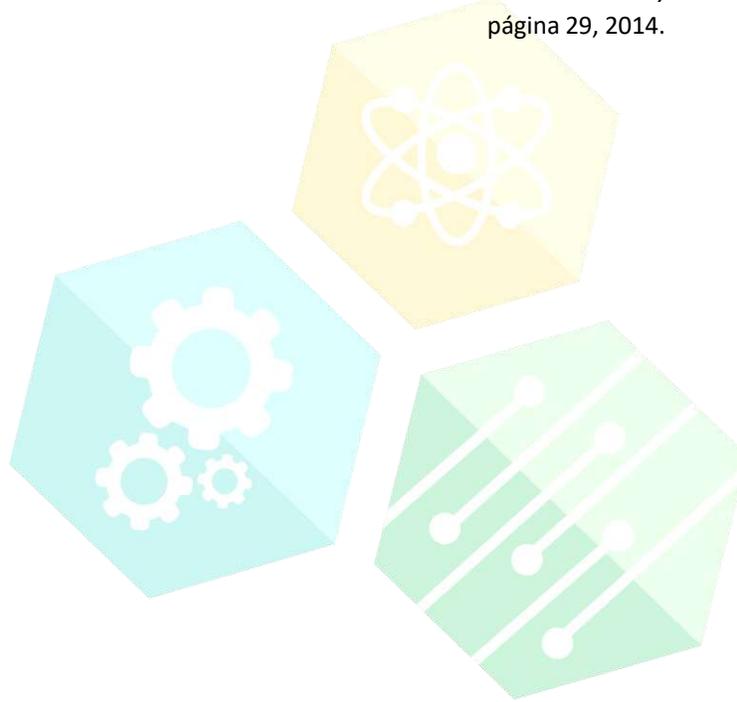
Área de estudio	Inversión	Ahorro anual \$(M.N.)	Beneficio ambiental en ton de CO ₂
Iluminación	N/A	381,885.19	125.63
Dispensadores de agua y máquinas expendedoras	N/A	35,258.16	11.59
Aire acondicionado	N/A	34,043.00	11.19
Fotocopiadoras e impresoras	N/A	8,222.47	2.70
Áreas de riego	N/A	108,897.75	Conservación de vegetación de la región
Total		579,143.77	156.24

4. Conclusión

Las herramientas de Eco–eficiencia, en este caso de estudio, la implementación mejores prácticas operativas, permitirán a la institución obtener al año, un ahorro energético de 340, 751.58 KWH (suficiente para abastecer de energía eléctrica a 115 hogares al año), generar un beneficio ambiental significativo en la reducción de emisiones de CO₂ y un ahorro anual total de \$579,143.77 M.N.

Referencias

- [1] Procuraduría federal de protección al ambiente, PROFEPA. *“La Eco-eficiencia como estrategia de competitividad empresarial”*. Secretaria de medio ambiente y recursos naturales, SEMARNAT (2016).
- [2] *“Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento”*, CONAGUA, página 29, 2014.



CONGRESO INTERNACIONAL
DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

OSE6- Evaluation of Cobalt Nanoparticle Deposited Graphene Oxide and Carbon Nanotube Supports as Supercapacitor Electrodes

David Ricardo Aguilar-Meza¹, Moisés Israel Salazar-Gastélum^{2*}, Sergio Pérez-Sicairos^{1,2}, Rosa María Félix-Navarro², Miguel Ávalos-Borja³, Yadira Gochi-Ponce^{1,2*}

¹Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Tijuana, Posgrado en Ciencias de la Ingeniería, Blvd. Industrial S/N Tijuana, B. C. México, C. P. 22500

²Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Tijuana, Centro de Graduados e Investigación en Química, Blvd. Industrial S/N Tijuana, B. C. México, C. P. 22500

³Laboratorio Nacional de Investigaciones en Nanociencias y Nanotecnología, Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, Camino a la Presa San José 2055, Col. Lomas 4 sección, S. L. P, México, C. P. 78216.

Abstract. – Cobalt nanoparticles were deposited on multi-wall carbon nanotubes (CNT) and graphene oxide (GO) carbon supports and evaluated as a potential supercapacitor electrodes. The structure and morphology of the cobalt deposited carbon supports were studied using XRD, TGA, and Raman spectroscopy. Cyclic voltammetry was used to measure the electrical charge of the electrode based on the materials and their specific capacitance (C_{sp}) were calculated. GO based electrode showed a higher C_{sp} than CNT electrode which is attributed to a larger surface area of the GO carbon support. Interestingly, the deposition of Co nanoparticles promoted an enhanced C_{sp} in the both GO and multi-wall CNT supports.

Key words: Supercapacitor, Graphene Oxide, Carbon Nanotubes, Cobalt Nanoparticles.

1. Introduction

Energy demand has always been a primary area of interest around the world and its claim has grown very fast in recent years. Considerable effort has been dedicated to the research and development of more efficient energy storage devices and systems [1].

The bulk of energy storage research has been focused on two types of electrochemical devices: batteries and capacitors. Batteries have low power density with higher energy density, while conventional capacitors exhibited high power but

lower energy density. On the other hand, supercapacitors (SCs) are efficient devices that have exceeded the energy storage capacity with respect to conventional capacitors. The SCs have great advantages including their high power density, long service life, wide operating temperature range, flexibility, and their ecofriendly nature. Some applications for these devices are in areas like consumption electronic, hybrid vehicles, and industrial power/energy managements [2]. However, SCs suffer from low energy density and high manufacturing cost.

Conventionally, the capacitive behavior can be classified into two types; (1) the double layer

electric capacitance (EDLC) arising from electrostatic attraction between electrolyte and electrode surface; (2) the pseudo-capacitance associated with fast and reversible faradic reactions of the active species on the surface of the electrode.

One way to attain better performance for capacitors is to increase the capacitance (C). Capacitance is directly influenced by the dielectric constant of the electrolyte, (ϵ_r), and the effective thickness of the double layer (d , separation between charges), the dielectric constant of the vacuum (ϵ_0) and the surface area (A):

$$C = \frac{\epsilon_r \epsilon_0 A}{d} \quad (1)$$

The use of nanomaterials such as graphene oxide (GO) and multi-wall carbon nanotubes (CNT) can provide a synergistic effect on capacitance and thereby energy density and the deposition of nanoparticles is expected to increase this synergistic effect. Typically, noble metal oxides such as RuO_2 have exhibited exceptional properties as pseudo-capacitor materials for capacitors. The high cost of Ru has thwarted its commercial acceptance as an electrode material in SCs and encouraged finding other cheaper materials with a similar capacitive behavior as RuO_2 [3]. Cobalt appears as a possibility to increase the energy storage by the phenomenon of pseudo-capacitance [reference needed]. We propose the use of GO and CNT modified deposited with Co nanoparticles in order to obtain a non-expensive and efficient material for SCs.

2. Methodology

In this work, GO was synthesized by Hummers modified method [4] and CNT were synthesized by spray pyrolysis [5]. Nanoparticles of cobalt were deposited on both carbonaceous supports by the method of reverse microemulsion [6].

2.1 Preparation of GO, CNT, Co/GO and Co/CNT

Hummers modified method consists of the exfoliation of graphite powder in strongly oxidizing media. 2 g of the natural graphite powder was added into a 250 mL beaker with 1 g of NaNO_3 . 46 mL of H_2SO_4 were subsequently added to the graphite powder mixture under stirring in an ice-bath. Then, 6 g of KMnO_4 was added slowly into the beaker while stirring and the temperature of the system was maintained at 20 °C using an ice-bath. After 5 min, the ice bath was removed and the system was heated (what temperature?) for 30 min followed by an addition of 92 mL of and the mixture was stirred for 15 min. Then, 80 mL of hot water at 60 °C and H_2O_2 aqueous solution (3 wt %) were added to the mixture until the bubbling disappeared. Finally, the system was centrifuged for 30 min, and the residue was washed with warm water until the suspension was neutralized.

In spray pyrolysis, a quartz tube was placed inside of an oven at 850 °C while a solution of 20 mM of ferrocene in toluene was sprayed out by Ar flow at 20 psi. After the reaction was allowed to proceed for 30 min, the oven cooled down to room temperature with Ar flow. CNTs were functionalized by acidic solution of $\text{H}_2\text{SO}_4:\text{HNO}_3$ with a ratio 1:3 M.

The deposition of Co nanoparticles was performed by reverse microemulsion method which starts with the preparation of a microemulsion solution of isopropanol/CTAB/ H_2O (56 mL/2 g/4 mL). 40 mL of microemulsion solution were taken in order to disperse the support (either CNT or GO) under sonication. Then, the dispersion was placed in a round bottom flask under stirring at 60 °C. After 15 min, a mixture of 2 mL of aqueous solution containing 100 mM of sodium borohydride and 100 mM of sodium citrate was prepared and added with 10 mL of the above microemulsion solution. After 20 min, 12 mg of cobalt (II) chloride salt dispersed in 2 mL of H_2O was slowly added into the original 10 mL of microemulsion solution by sonication and the reaction vessel was kept at reflux for 90 min. Finally,

the residue was filtered and washed with DI water, isopropanol and ketone.

2.2 Characterization

The structure and morphology of nanocomposites were characterized by Raman spectroscopy, X-ray diffraction and thermogravimetric analysis. The electrochemical properties of nanomaterials and their correlation with the nanoparticles were investigated using a three-electrode cell using techniques such as cyclic voltammetry (CV) and electrochemical impedance spectroscopy (EIS). Glassy carbon (GC) was used as working electrode (3 mm of diameter), Au wire was used as counter electrode, and Ag/AgCl/KCl_{sat} was used as reference electrode.

3. Results and Discussions

TGA curves were used to understand the thermal decomposition behavior of the two different supports used in this study. CNT showed a thermal decomposition at 633 °C, while GO exhibited the thermal decomposition at 188 °C. CNT-F (What is CNT-F? should explain that first) showed a thermal behavior similar to CNT but showed decomposition at 320 °C, due to desorption of oxygen functional groups. Besides, the metal loading of both Co/CNT and Co/GO was estimated by TGA analysis as 12% and 19% respectively.

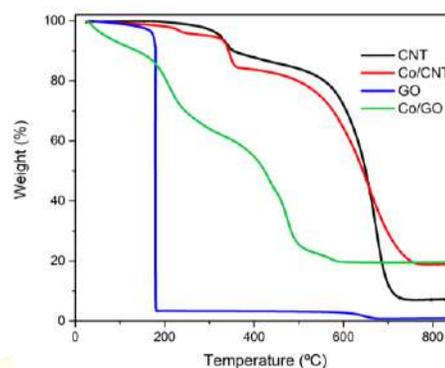


Figure 1. TGA curves of the synthesized materials.

Raman spectroscopy is useful for studying order and defects in crystal structure and is often employed to characterize carbonaceous materials [reference needed]. The G band is common for all sp² carbon forms and it arises from the C-C bond stretch. This band is formed from first order Raman scattering and the D band is associated with disordered structural defects [7]. The ratio of the intensities of D and G bands is an indicator of the quality of bulk samples. Similar intensities of these bands indicate a high quantity of structural defects. Raman spectra of the synthesized materials exhibited a peak of D band at 1334 cm⁻¹, 1336 cm⁻¹, 1350 cm⁻¹ and 1323 cm⁻¹ and G band at 1586 cm⁻¹, 1582 cm⁻¹, 1603 cm⁻¹ and 1594 cm⁻¹ for CNT, Co/CNT, GO, and Co/GO, respectively.

The G band in GO is shifted to a higher wave number due to the oxygenation of graphite, which results in the formation of sp³ carbon atoms. The D band in GO is broadened due to the reduction in size of the sp² domains by the creation of defects, vacancies, and distortions during oxidation. In order to confirm the formation of multi-wall carbon nanotubes, the ratio of the intensities of D and G bands present values characteristic for multi-wall carbon nanotubes. Also, the Raman spectrum from 250 nm to 350 nm does not exhibited any signal (not shown), which is typical for this structure [8].

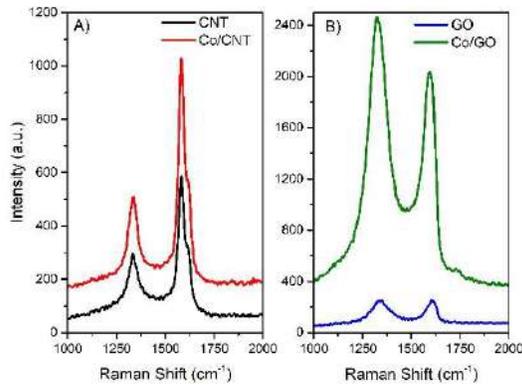


Figure 2. Raman spectra of CNT, Co/CNT (A) and GO, Co/GO (B).

The deposition of the Co nanoparticles clearly shows an increase in I_D/I_G ratio. The I_D/I_G ratio of CNT is 0.50 while that of Co/CNT 0.74. Similarly, the I_D/I_G ratio of GO is 0.98 while that if Co/GO is 1.21 showing that more defects appear after Co deposition.

Figure 3 shows the XRD pattern for all the material synthesized. For CNT and Co/CNT, a strongest peak appearing at the angle (2θ) of 26° is the C(002) reflection of the hexagonal graphite structure and the peak on 43° is related with C(100) [9]. This reflection of the hexagonal graphite structure does not appear for GO or Co/GO.

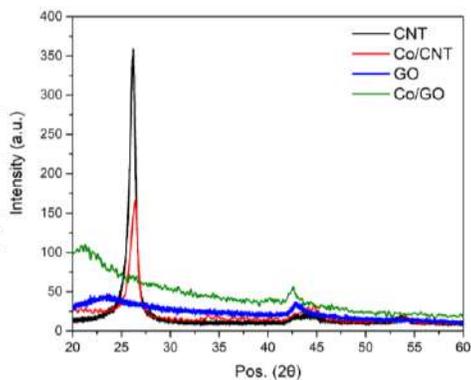


Figure 3. XRD Patterns of CNT, Co/CNT, GO_x, and Co/GO_x.

CV curves were performed at different potential scan rates in order to obtain the integrated charge

and to calculate the specific capacitance (C_{sp}) according to equation 2:

$$C_{sp} = \frac{Q}{2 \cdot m \cdot \Delta V \cdot v} \quad (2)$$

Where, Q is the integrated charge of CV curve (mC), m is the nanomaterial loading (mg), ΔV is the potential window (mV), and v is the scan rate potential (mV s⁻¹). Figure 3 shows the C_{sp} vs. scan rate potential of CNT, GO, Co/CNT and Co/GO.

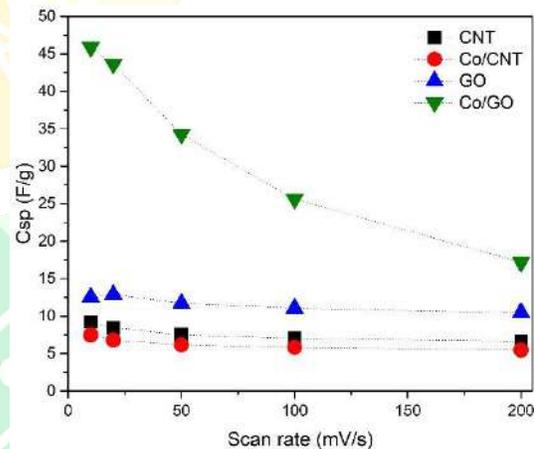


Figure 4. C_{sp} vs. scan rate of the synthesized materials.

When comparing the carbon supports, GO showed higher C_{sp} than CNT. However, when Co nanoparticles are deposited on to the supports, the C_{sp} increases more for Co/GO but remains constant for Co/CNT.

The C vs. Log frequency plot could be used to identify the geometrical capacitance and the dielectric constant of any materials [10] accordingly to Equation 1.

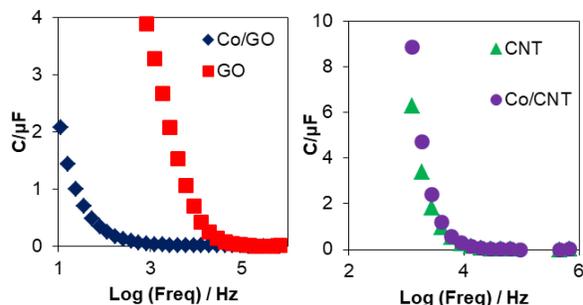


Figure 5. C vs. Log (Freq) of the synthesized materials.

The capacitance of all the materials were estimated from Figure 5 and the dielectric constant of the materials are of the same order.

4. Conclusions

Co nanoparticles were deposited onto CNT and GO supports. The nanomaterials synthesized were characterized using XRD, TGA, and Raman showed a higher surface area for Co/GO. Based on the CV results, Co/GO exhibited the highest C_{sp} among all the materials studied which is attributed the large surface area of GO and the contribution of pseudo-capacitance from Co nanoparticles.

5. Acknowledgments

The authors are grateful for the technical support of Silva-Pereira H. and Rivera B. from LINAN-IPICYT. Authors would like to thank to Dr. Samgopiraj Velraj from Ohio University for his invaluable help in the revision process of this publication. Founding source for this work was sponsored from Tecnológico Nacional de México (TECNM) through the program "Apoyo a la Investigación Científica, Aplicada y Desarrollos Tecnológicos 2016" (project number 5870.16-P).

References

[1] M. Vangari, T. Pryor, and L. Jiang, "Supercapacitors: Review of materials and fabrication methods," *J. Energy Eng.*, vol. 139, no. 2, pp. 72–79, 2013.

[2] C. Zhao and W. Zheng, "A Review for Aqueous Electrochemical Supercapacitors," *Front. Energy Res.*, vol. 3, no. May, pp. 1–11, 2015.

[3] Z. Fan, J. Chen, K. Cui, F. Sun, Y. Xu, and Y. Kuang, "Preparation and capacitive properties of cobalt-nickel oxides/carbon nanotube composites," *Electrochim. Acta*, vol. 52, no. 9, pp. 2959–2965, 2007.

[4] W. Chen, L. Yan, and P. R. Bangal, "Preparation of graphene by the rapid and mild thermal reduction of graphene oxide induced by microwaves," *Carbon N. Y.*, vol. 48, no. 4, pp. 1146–1152, 2010.

[5] A. Aguilar-Elguézabal, W. Antúnez, G. Alonso, F. P. Delgado, F. Espinosa, and M. Miki-Yoshida, "Study of carbon nanotubes synthesis by spray pyrolysis and model of growth," *Diam. Relat. Mater.*, vol. 15, no. 9, pp. 1329–1335, 2006.

[6] M. Beltrán Gastélum, "Síntesis y caracterización de electrocatalizadores nanoestructurados y su aplicación en celdas de combustible a escala prototipo," Instituto Tecnológico de Tijuana, 2016.

[7] S. Perumbilavil, P. Sankar, T. Priya Rose, and R. Philip, "White light Z-scan measurements of ultrafast optical nonlinearity in reduced graphene oxide nanosheets in the 400–700 nm region," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 107, no. 5, pp. 10–15, 2015.

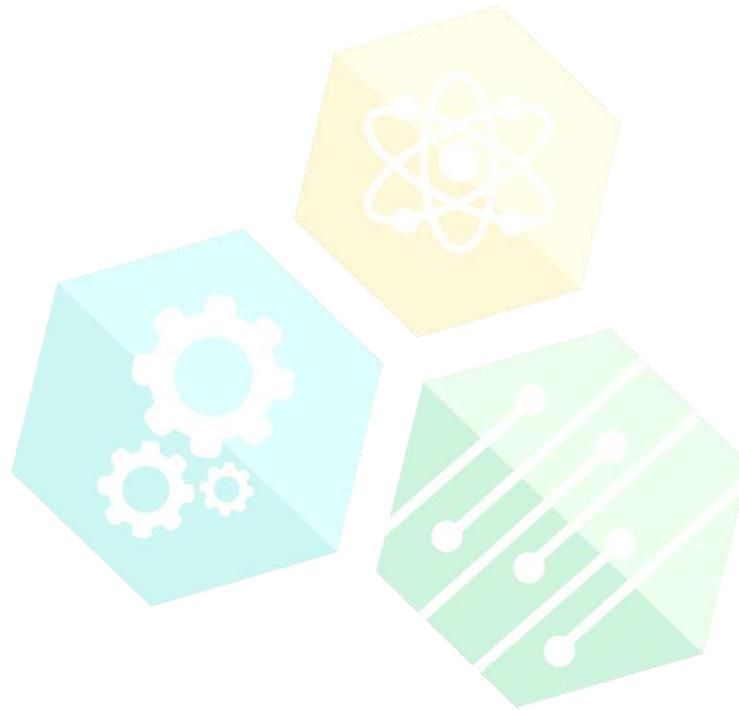
[8] M. A. Atieh, O. Y. Bakather, B. Al-Tawbini, A. A. Bukhari, F. A. Abuilawi, and M. B. Fettouhi, "Characterization of carbon nanotubes by Raman spectroscopy," *Bioinorg. Chem. Appl.*, vol. 2010, no. 2, pp. 1–9, 2010.

[9] T. A. Saleh, "The Role of Carbon Nanotubes

in Enhancement of Photocatalysis,” in *Syntheses and Applications of Carbon Nanotubes and Their Composites*, S. Suzuki, Ed. Rijeka: InTech, 2013.

- [10] V. V. Brus, A. K. K. Kyaw, P. D. Maryanchuk, and J. Zhang, “Quantifying interface states and bulk defects in high-efficiency solution-

processed small-molecule solar cells by impedance and capacitance characteristics,” *Prog. Photovoltaics Res. Appl.*, vol. 23, no. 11, pp. 1526–1535, Nov. 2015.



CONGRESO INTERNACIONAL
DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

CSE3- Fisiología de la Lombriz (*Eisenia fetida*) en Proceso de Vermicultura de ECITEC

Alice Josseline Zúñiga Chávez, María Cristina Castañón Bautista, Algher Daniel Luis Alvarado, Ana Joselyne Gómez García, Nohemi Olguin Moroyoqui

Universidad Autónoma de Baja California. Escuela de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología. Blvd. Universitario No. 1000 Unidad Valle de las Palmas, Tijuana, B. C., México, C.P. 22260

Resumen. – *El suelo es parte de la vida, un suelo que no tiene nutrientes no es capaz de sobrevivir, mediante la vermicultura la lombriz aporta nutrientes al suelo y ayuda a tener un uso adecuado de él, para preservarlo. La vermicultura es una alternativa de manejo y transformación de los desechos orgánicos, es un proceso de bio-oxidación y estabilización, en el que se presenta una de transformación de los materiales orgánicos, además de ser una actividad agropecuaria y alternativa para el manejo y uso de los residuos orgánicos que mediante la integración de la lombriz después de ser iniciada la actividad microbiana y mediada por su acción metabólica, la materia es modificada y como resultado se obtiene el humus un abono natural que contiene bastantes nutrientes y mejora la calidad del suelo. La intervención de la lombriz favorece a la ecología al reducir los problemas de contaminación generados por los desechos orgánicos al convertir estos residuos en productos de gran beneficio para el hombre. El objetivo de este trabajo es conocer sobre la anatomía de la lombriz Eisenia fétida, la cual es la encargada del proceso de vermicultura, abrir el conocimiento sobre su estructura, funcionamiento y forma de vida, para realizar mejores cuidados sobre ella y con ello obtener mayores resultados.*

Palabras clave: Vermicultura, Residuo Orgánico, Lombriz, Ecología.

Abstract. - *The soil is part of life, a soil that has no nutrients is not capable of surviving, using Vermiculture worm provides nutrients to the soil and helps to have a proper use of the to preserve it. Vermiculture is an alternative management and transformation of organic waste, it is a process of bio-oxidization and stabilization of organic matter and it is a process of transformation of organic materials, an agricultural and alternative activity for the management and use of organic waste that through the integration of the earthworm starting with the microbial activity mediated by metabolic action, the matter is transformed and as a result gets the humus a natural fertilizer that contains enough nutrients and improves the quality of the soil. The intervention of the earthworm ecology favors to reduce the problems of pollution generated by organic waste and transforms these waste products of great benefit to man. The objective of this study is to learn about the anatomy of the earthworm Eisenia stink, which is responsible for the process of Vermiculture, open knowledge about its structure, operation and way of life, to perform best on her and this care get better results.*

Key words: Vermiculture, Organic waste, worm, ecology.

1. Introducción

Los anélidos constituyen un grupo de animales celomados segmentados muy antiguo. Probablemente aparecieron hace más de 600 millones de años y se considera que se establecieron por completo en los mares de la tierra (Fragoso y Rojas, 2014). Las lombrices de tierra se distribuyen en casi todos los tipos de ecosistemas.

Como principal factor limitante de este grupo se presenta la humedad del suelo, es poco probable encontrarlas de modo natural en zonas desérticas, al igual que es poco inusual encontrarlas en sitios muy fríos en donde el suelo está congelado o cubierto de nieve durante todo el año. Las lombrices de tierra son gusanos segmentados celomados de hábitos fundamentalmente terrestres, comunes en suelos húmedos. Todas las lombrices de tierra son hermafroditas y viven predominantemente dentro del suelo, aunque también se les encuentra en la hojarasca, bajo piedras o bajo la corteza de troncos húmedos. Su ciclo de vida es muy sencillo y generalmente esta sincronizado con la temperatura y humedad del suelo (Fragoso y Rojas, 2014).

2. *Eisenia Fétida*

Las lombrices son organismos hermafroditas, intercambian los espermatozoides pero aportan sus propios óvulos. Tienen un periodo de vida de alrededor de 1 año dependiendo de las condiciones ambientales y pueden llegar a vivir hasta unos 5 años en condiciones controladas. Su longitud máxima es de 12 cm y en edad adulta generalmente es entre 6 y 7 cm, su peso aproximado es de 0.8g a 1.4g y su color rojo intenso.

2.1 Características

La composición de las lombrices se integra por dos tubos, uno dentro del otro, separados por el celoma, que se encuentran en coordinación con los músculos circulares y longitudinales, los cuales

permiten el movimiento de la lombriz. En su sistema también se encuentran pequeñas estructuras externas integradas en segmentos conocidos como setas o quetas que le permiten a la lombriz poder sujetarse o adherirse en la superficie para impulsarse.

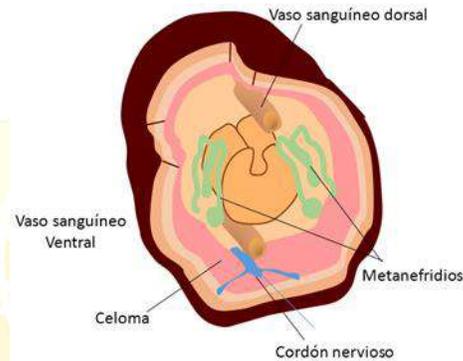


Figura 1. Corte transversal de *Eisenia fétida*.

2.2 Anatomía de la lombriz

- Cutícula: lamina quitinosa muy delgada, finamente estriada, cruzada por fibras
- Epidermis: epitelio simple con células glandulares que están encargadas de producir mucus y sustancias cerosas.
- Celoma: espacio que contiene líquido y envuelve al canal alimenticio. Este fluido se expulsa ante el peligro.
- Tubo digestivo: ocupa casi toda la parte central, este canal recorre desde la boca hacia el ano.
- Vaso sanguíneo dorsal: aparece como el principal flujo sanguíneo de la arteria dentro del cuerpo de la lombriz
- Vaso sanguíneo ventral: el vaso ventral es el principal vaso distribuidor del cuerpo, su principal función es la de bombear la sangre que tras pasar el vaso dorsal llega al ventral.
- Nefridio: abertura externa que se encuentra en la superficie ventral, junto a la base del cirro ventral.

Sistema digestivo

El sistema digestivo de la lombriz típicamente es un tubo rectilíneo que se inicia con la boca o el peristomio, se conecta a estructuras como la faringe, el buche, la molleja hasta llegar al intestino, el cual termina en el ano o pigidio.

Sistema respiratorio

Las lombrices respiran por medio de la cutícula, al no tener un sistema circulatorio organizado, la sangre circula por los vasos capilares que se ubican junto a la cutícula húmeda de la pared del cuerpo lo que favorece la absorción de oxígeno y liberación de anhídrido carbónico, la cutícula debe permanecer siempre húmeda de lo contrario la lombriz se seca y llega a morir.

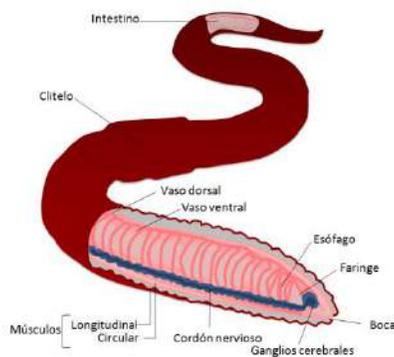


Figura 2. Morfología interna y externa de la lombriz *Eisenia fétida*.

2.3 vermicultura en la ECITEC

En las instalaciones de la ECITEC, se implementó una celda de vermicultivo con la especie *Eisenia fétida*, donde cada día son depositados los residuos orgánicos generados por la cafetería.

El sitio de instalación de la celda está ubicado en una zona estratégica donde se cuenta con disponibilidad de agua, cerca de la materia orgánica, situado sobre la superficie del suelo y parcialmente enterrado, cuenta con dos mallas de

sombreo, una sobre el suelo para la conservación de humedad y la segunda como protección de la lombriz contra el sol, además de controlar la temperatura y proteger contra fuertes lluvias

La humedad es una parte muy importante en el proceso de vermicultura, y debido a esto se mantiene entre 50% y 75%.



Figura 3. Lombriz *Eisenia fétida*

3. Resultados

El proceso de transformación de los materiales orgánicos comienza al combinar una diversidad de microorganismos seguido de la implementación de la lombriz *Eisenia fétida*. Debido a su adaptabilidad, y morfología, es una de las especies de lombriz más adecuadas para la producción del humus.

Al conocer sobre su fisiología se beneficia el proceso de vermicultura llevado a cabo en la ECITEC para adicionar condiciones favorables en el desarrollo y funcionamiento de la lombriz.

4. Conclusiones

El proceso de vermicultura llevado a cabo por la universidad contribuye a la conservación de las condiciones ambientales, favoreciendo la interacción con la naturaleza al realizar una aportación de nutrientes minerales mejorando las

propiedades del suelo, además de aportar conocimiento y sensibilización.

[4] Gabriel, Izoa-Murguía, Mammani, Sainz. Efecto de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) durante el composteo y vermicomposteo en predios de la estación experimental de la unidad académica campesina Carmen pampa

Referencias

[1] Fragoso, Rojas. 2014. Biodiversidad de lombrices de tierra (Annelida: Oligochaeta: Crassicitellata) México.

[2] Lombricultura. Secretaría de agricultura, ganadería, desarrollo rural pesca y alimentación.

[3] Lara-Herrera, Quintero-Lizaola. Manual de producción de humus de lombriz.



CONGRESO INTERNACIONAL
DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

CSE4- Dimensionality and Geometry Effects on a Quantum Carnot Engine Efficiency

Hiram Kalid Herrera Alcantar¹, José Carlos Carvajal García¹, Osvaldo Rosales Pérez¹, Rubén César Villarreal Sánchez², Priscilla Elizabeth Iglesias Vázquez^{1,*}

¹Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de Baja California

²Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Diseño, Universidad Autónoma de Baja California
Carretera Transpeninsular Ensenada-Tijuana 3917, Colonia Playitas, Ensenada, B.C.

Abstract. – *We calculate the efficiency of a quantum Carnot cycle for a particle confined in two different infinite potential wells, a cylindrical potential well of variable radius and a two-dimensional square potential well with a periodicity in one of its sides. We find that the efficiency depends directly on the dimensionality and geometry of the well that confined the particle.*

Key words: Carnot cycle, heat engine, quantum confinement.

1. Introduction

A classical heat engine is a device that extracts energy Q_H from a high temperature heat source, it generates work W with an amount of this energy and the rest is released into a low temperature drain. The efficiency η of a heat engine is defined by $\eta = W/Q_H$. It is well known that the heat engine reaches the highest possible efficiency following Carnot cycle model [1]. This cycle consists in a gas confined by a cylinder with a movable piston. Although classical heat engines have been extensively studied, it is of interest to study the systems and processes that could increase their efficiency. In recent years, with the developments of nanotechnology and quantum information processing, the study of quantum systems began to attract more attention. Consequently, the Quantum Heat Engines (QHE) have been proposed theoretically [2-13]. In QHE, rather than having a gas confined in a cylinder with a movable piston, it is considered a single particle confined by a quantum potential well that walls play the role of the piston by moving in and out. Current studies on QHE have considered different types of potential wells, for example, a single particle confined by one (1D), two

(2D) or three-dimensional (3D) infinite square potential well [3-5]. Based on this, in the present paper we further calculate the efficiency of a quantum Carnot cycle considering a single particle confined by two different types of potential wells, an infinite cylindrical potential well and an infinite 2D square potential well with periodicity, as to our best knowledge, these cases have not been considered. Comparison between these two cases enable us to extend our understanding about the dimensionality and geometry effects of quantum confinement on the efficiency of a QHE.

2. Methodology

We consider a particle of mass m , confined by two different types of quantum potential wells: an infinite cylindrical potential well (CPW) of radius r , in this case the particle is confined in the space inside the CPW. Also, we consider an infinite 2D square potential well (SPW) of length a that has periodicity every $2\pi R$ in the y direction, thus the space where the particle moves is now on a cylinder that has length a and circumference $2\pi R$.

2.1 Schrödinger equation and energy eigenvalues

We start from the time independent Schrödinger equation

$$\left[-\frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2 + V \right] \psi = E \psi, \quad (1)$$

where \hbar is the Planck constant, V represents the potential, ψ is the wave function, E are the eigenenergies obtained by the expectation value of the Hamiltonian [14], and ∇^2 is the Laplace operator in the corresponding coordinates of each of the potential wells, i.e., in cylindrical coordinates for the CPW and in 2D Cartesian coordinates for the SPW. We shall use the symbol S to denote the length of the different types of potential wells, i.e., $S = r, a$. Once the energies E of each case is obtained (see Table 1), we calculated the force F exerted on the wall of the wells, which is defined as the negative derivative of the energy [3]

$$F = -\frac{dE(S)}{dS}, \quad (2)$$

where the length S may vary. From table 1, we can see that each energy level state $E_{k,l}$ is inversely proportional to the length of the well, i.e., $E_{k,l}$ decreases as the length of the of the well increases, and vice versa, in this sense we can imagine that the walls of the potential well can move like a piston in a classical thermodynamics systems [3].

Table 1. Energies obtained in each potential well. Here $k, l = 1, 2, 3, \dots$ are quantum numbers and z_{kl} is the k th zero of the Bessel function of order one.

Potential well	Energies
CPW	$E_{k,l} = \frac{\hbar^2}{2mr^2} z_{kl}^2$
SPW	$E_{k,l} = \frac{\hbar^2}{2m} \left[\left(\frac{\pi k}{a} \right)^2 + \left(\frac{l}{R} \right)^2 \right]$

2.2 Quantum Carnot cycle

The authors of Ref. 3 calculated the efficiency of a quantum Carnot cycle by using a single particle confined by a 1D infinite square potential well. Using the procedure described in Ref. 3, we further investigate the efficiency of a quantum Carnot cycle by considering different type of potential well that have not been reported. The quantum analogue of classical Carnot cycle consists of four processes described below and illustrated in figure 1.

- 1. Isothermal expansion.** Starting at the ground state, which corresponds to the potential well of length S_1 , we expand isothermally this length up to S_2 and excite the second energy state of the system. In this process, a force F_1 is applied and an amount of energy Q_H is absorbed by the system.
- 2. Adiabatic expansion.** The expansion continues adiabatically up to S_3 applying a force F_2 on the wall, and the system remains in the second energy state.
- 3. Isothermal compression.** We compress isothermally the length of the well down to S_4 until the system is back in the ground state. A force F_3 is applied.
- 4. Adiabatic compression.** The compression continues down to S_1 , applying a force F_4 on the wall. During this process, the system remains in the ground state.

The area of the closed loop in figure 1 represents the work W done in a single cycle of the quantum Carnot engine [3]. There is an associated force F to each of the four process, from these, we calculate the total work W done during a full cycle by evaluating the following integrals

$$W = \int_{S_1}^{S_2} F_1 dS + \int_{S_2}^{S_3} F_2 dS + \int_{S_3}^{S_4} F_3 dS + \int_{S_4}^{S_1} F_4 dS. \quad (3)$$

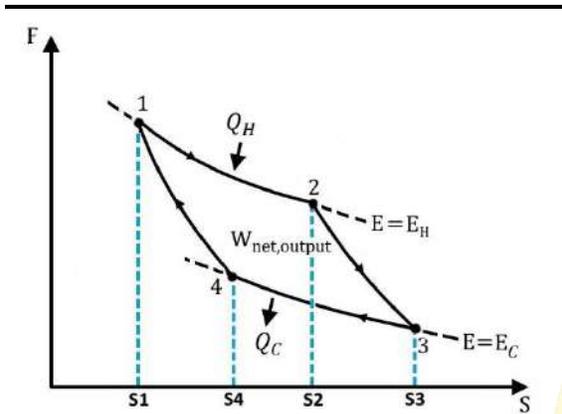


Figure 1. Illustration of a four-step quantum Carnot cycle, where S denote the length of the different types of potential wells and F is the force exerted on the wall of the wells.

We also calculate the energy Q_H absorbed by the system during the isothermal expansion, which is given by

$$Q_H = \int_{S_1}^{S_2} F_1 dS. \quad (5)$$

Therefore, calculating W and Q_H for the CPW and SPW, we finally calculate the efficiency $\eta = W/Q_H$ of each case.

Table 2. Efficiency obtained in each potential well as a function of its length. Here $z_{11} \approx 3.8317$ and $z_{01} \approx 2.4048$.

Potential well	Efficiency
CPW	$\eta = 1 - \left(\frac{z_{11}r_1}{z_{01}r_3}\right)^2$
SPW	$\eta = 1 - 4\left(\frac{R_1}{R_3}\right)^2$

3. Results and Discussions

In the case of the SPW, we remained unchanged the non-periodical side on the x direction and the radius R of the periodicity on the other side was varied. For the CPW, the parameter that was varied was the

radius of the cylinder. For each case, the procedure indicated in the methodology section was developed. The efficiencies obtained are shown in Tables 2 and 3.

Table 3. Efficiency of each potential well as a function of its energy level states.

Potential well	Efficiency
SPW	$\eta = 1 - \left(\frac{E_C - \frac{\pi^2 \hbar^2}{2ma^2}}{E_H - \frac{\pi^2 \hbar^2}{2ma^2}}\right)$
CPW	$\eta = 1 - \frac{E_C}{E_H}$

4. Conclusions

It was found, from the efficiencies shown above, that the efficiency of the quantum Carnot cycle depends of the length of the potential well. It should be noted that the importance of this work relies in the fact that the efficiency changes as a function of the geometry and dimension of the potential well that confined the single particle, this could help for future works to find a QHE with a higher efficiency and possible applications such as those proposed in Ref. 11, 12 and 13, where possible applications are proposed for a QHE.

As a future work, other type of thermodynamic cycles such as the Otto cycle or Stirling cycle can be analyzed to determine how the dimensionality and geometry affects their efficiencies.

References

- [1] Carnot, S. (1824). Réflexions sur la puissance motrice du feu. Paris.
- [2] Geusic, J. E., et al. (1967). Quantum equivalent of the Carnot cycle. *Phys. Rev.*, 156(2): 343.

- [3] Bender, C. M., et al. (2000). Quantum mechanical Carnot engine. *J. Phys. A: Math. Gen.*, 33(24): 4427.
- [4] Quan, H.T., et al. (2007). Quantum thermodynamic cycles and quantum heat engines. *Phys. Rev. E*, 76(3): 031105.
- [5] Quan, H. T. (2009). Quantum thermodynamic cycles and quantum heat engines. ii. *Phys. Rev. E*, 79(4): 041129.
- [6] Kieu, T. D. (2004). The second law, Maxwell's demon, and work derivable from quantum heat engines. *Phys. Rev. Lett.*, 93(14): 140403.
- [7] Abe, S. and Okuyama, S. (2011). Similarity between quantum mechanics and thermodynamics: entropy, temperature, and Carnot cycle. *Phys. Rev. E*, 83(2): 021121.
- [8] Wang, J., et al. (2012). Efficiency at maximum power output of quantum heat engines under finite-time operation. *Phys. Rev. E*, 85(3): 031145.
- [9] Abe, S. (2013). General formula for the efficiency of quantum-mechanical analog of the Carnot engine. *Entropy*, 15(4): 1408.
- [10] Zwiebach, B. (2009). *A First Course in String Theory*. Cambridge University Press (p. 695).
- [11] Hofer, P.P., et al. (2016). Quantum heat engine based on photon-assisted Cooper pair tunneling. *Physical Review B*, 93(4): 041418.
- [12] Hofer, P.P., et al. (2017). Quantum thermal machine as a thermometer. arXiv preprint arXiv:1703.03719.
- [13] Campisi, M., and Fazio, R. (2016). The power of a critical heat engine. *Nature communications*, 7:11895.
- [14] Shankar, R. (1994). *Principles of quantum mechanics (2nd ed)*. New York: Plenum Press.

CSE5- Transporte Electrónico a través de Moléculas Orgánicas

Luis Germán Morales Valenzuela¹, Priscilla Elizabeth Iglesias Vázquez², Rubén César Villarreal Sánchez^{1,*}

¹ Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Diseño

² Facultad de Ciencias

Universidad Autónoma de Baja California. Carretera Tijuana- Ensenada Km 106, 22800 Ensenada, Baja California, México, german.morales5@uabc.edu.mx

Resumen. – El uso de moléculas como componentes de dispositivos electrónicos mantendrá la tendencia de miniaturización de la electrónica, generando lo que se conoce como *electrónica molecular*. En este trabajo se realizan cálculos teóricos del coeficiente de transmisión cuántico y la corriente eléctrica a través de una molécula de benceno conectada a terminales eléctricas, las cuales son conectadas en posiciones *orto*, *meta* y *para*. El coeficiente de transmisión es obtenido mediante el cálculo recursivo de la función de Green del sistema. Se modela también la influencia de un electrodo móvil puntual (*small movable gate SMG*) sobre la transmisión eléctrica a través de la molécula. Los resultados muestran que el coeficiente de transmisión oscila como función de la energía incidente de los electrones, y la corriente eléctrica muestra que la molécula de benceno tiene un carácter semiconductor. La brecha energética prohibida (*gap*) puede ser manipulada por la posición de las terminales en la molécula y por la influencia del *SMG* en una región cercana a un átomo en particular.

Palabras clave: transporte electrónico, función de Green, corriente eléctrica, benceno, electrónica molecular, electrodo móvil puntual.

Abstract. – The use of molecules as components of electronic devices will maintain the trend of miniaturization of electronics, generating what is known as molecular electronics. In this work we perform theoretical calculations of the quantum transmission coefficient and the electric current through a molecule of benzene connected to electrical terminals, which are connected in *ortho*, *meta* and *para* positions. The transmission coefficient is obtained by recursively calculating the Green function of the system. The influence of a small movable gate SMG on the electric transmission through the molecule is also modeled. The results show that the transmission coefficient oscillates as a function of the incident energy of the electrons, and the electric current shows that the benzene molecule has a semiconductor character. The gap energy can be manipulated by the position of the terminals in the molecule and by the influence of the SMG in a region close to a particular atom.

Key words: electronic transport, Green function, electrical current, benzene, molecular electronics, small movable gate.

1. Introducción

El desarrollo de dispositivos electrónicos cada vez más pequeños, incluso de dimensiones nanoscópicas, hace necesario incorporar elementos a esta escala y utilizar las propiedades cuánticas de estos sistemas. No estamos tan lejos para empezar a utilizar dispositivos que utilicen moléculas como componentes electrónicos, como transistores, sensores y switches, entre otros [1]. Esto representa un gran desafío experimental y teórico.

Avances recientes sobre la manipulación de moléculas permiten conectar una sola molécula entre dos electrodos y medir propiedades de transporte electrónico a través de ella [3]. Para esto es necesario de átomos que sirvan como puentes entre la molécula y los electrodos. Se han utilizado como puentes aminas, ácidos carboxílicos y tioles. Estas moléculas pueden unirse con metales tales como Au, Pt y Pd. [2-3].

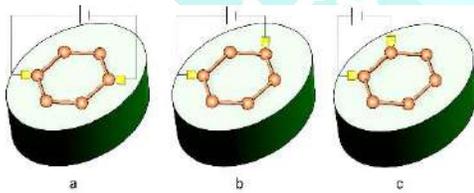


Figura 1: Molécula de benceno mostrando la posición *para* (p), *meta* (m) y *orto* (o) de las terminales eléctricas. Figura tomada de [4].

En este trabajo se presentan cálculos del coeficiente de transmisión y corriente eléctrica a través de una molécula de benceno conectada a terminales eléctricas atómicas. Este estudio de transporte electrónico se basa en el cálculo de la función de Green del sistema. Se modela la conexión de terminales atómicas en los tres patrones de sustitución de la molécula de benceno

(*orto*, *meta* y *para*). Además se estudia la influencia de un electrodo móvil puntual, como la punta de un microscopio de tunelamiento (STM), en proximidad a una región particular de la molécula.

2. Modelo teórico

La molécula de benceno y las terminales son modeladas con el formalismo de *amarre fuerte* (*tight binding*), en donde cada átomo de carbono, de los 6 que constituyen el anillo bencénico, representa un sitio con energía α y un parámetro de traslape (hopping) β entre los átomos. Para calcular el coeficiente de transmisión (T) a través de la molécula se utiliza el formalismo dispersivo de Lippman-Schwinger. En éste método se debe calcular recursivamente la función de Green asociada a la molécula, la cual se reduce de forma efectiva a un dímero con parámetros renormalizados de energía de sitio $\tilde{\alpha}_n$ para el átomo n , y parámetro de traslape $\tilde{\beta}_{nm}$ entre los átomos n y m . La expresión analítica para T a través de la molécula es [4]:

$$T = \frac{(1 + 2\gamma)^2 (4 - X^2)}{(1 - 2Q)^2 (4 - X^2) + 4(P - QX)^2} \quad (1)$$

Donde:

$$P = Z_0 + Z_1, Q = Z_0 Z_1 - \gamma - \gamma^2 \quad (2)$$

Con:

$$Z_j = \frac{(\alpha_j - \alpha)}{2\beta} \text{ con } j = 0, 1 \quad (3)$$

$$\gamma = \frac{\beta_{01} - \beta}{2\beta}, X = \frac{E - \alpha}{\beta} \quad (4)$$

La corriente eléctrica (I) que pasa por la molécula de benceno está dada por [5]:

$$I = \frac{2e}{h} \int dET(E) [f_L(E) - f_R(E)] \quad (5)$$

donde f_L y f_R corresponde a la función de distribución de Fermi para las terminales izquierda (L) y derecha (R) respectivamente, h es la constante de Planck y e la carga eléctrica del electrón.

A continuación se muestran las expresiones de los parámetros renormalizados para cada configuración de terminales estudiadas.

2.1 Para-benceno

$$\tilde{\alpha}_1 = \alpha + \frac{\beta}{X} \left[\frac{(2X^2 - 1)s + \beta(X^2 - 1)}{(X^2 - 1)s} \right] \quad (6)$$

$$\tilde{\alpha}_4 = \alpha + \beta X \left[\frac{\beta(X^2 - 1) + s}{(X^2 - 1)s} \right] \quad (7)$$

$$\tilde{\beta}_{14} = \beta \left[\frac{s + \beta(X^2 - 1)}{(X^2 - 1)s} \right] \quad (8)$$

Donde:

$$s = EX - \alpha_3 X + \beta \quad (9)$$

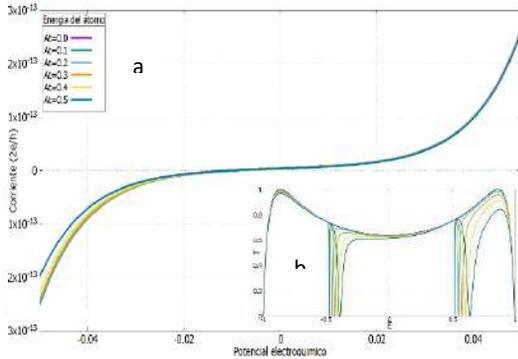


Figura 2: (a) Corriente eléctrica p-benceno para diferentes magnitudes del SMG vs diferencia de potencial, (b) Coeficiente de Transmisión vs energía.

2.2 Meta-benceno

$$\tilde{\beta}_{15} = \beta X^{-1} \left[\frac{\beta X + s}{s} \right] \quad (10)$$

$$\tilde{\alpha}_1 = \alpha + 2\beta X^{-1} + \frac{\beta X^{-1}}{(X^2 - 1)} \left[\frac{s + \beta X}{s} \right] \quad (11)$$

$$\tilde{\alpha}_5 = \alpha + \beta X^{-1} \left[\frac{s + \beta X(X^2 - 1)}{s} \right] \quad (12)$$

Donde:

$$s = E(X^2 - 1) - \alpha_4(X^2 - 1) - \beta X \quad (13)$$

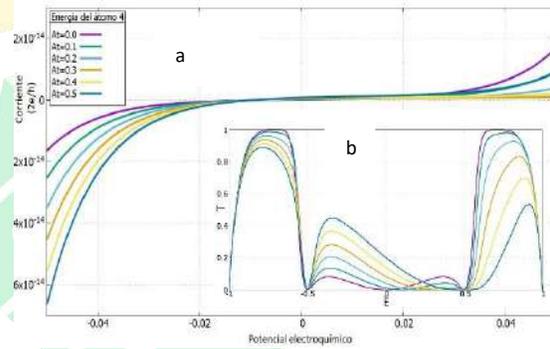


Figura 3: (a) Corriente eléctrica m-benceno para diferentes magnitudes del SMG vs diferencia de potencial, (b) Coeficiente de Transmisión vs energía.

2.3 Orto-benceno

$$\tilde{\beta}_{15} = \frac{\beta^2}{s} + \beta \quad (14)$$

$$\tilde{\alpha}_1 = \alpha + \frac{\beta X}{(X^2 - 1)} + \frac{\beta}{X(X^2 - 1)(X^2 - 2)} + \frac{\beta^2}{X(X^2 - 2)s} \quad (15)$$

$$\tilde{\alpha}_5 = \alpha + \frac{\beta^2 X(X^2 - 2)}{S} \quad (16)$$

Donde:

$$s = X(E - \alpha_5)(X^2 - 2) - \beta(X^2 - 1) \quad (17)$$

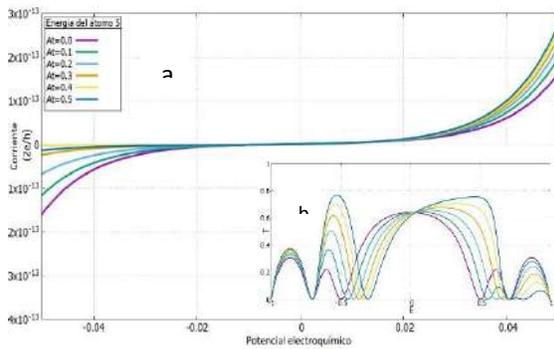


Figura 4: (a) Corriente eléctrica o-benceno para diferentes magnitudes del SMG vs diferencia de potencial, (b) Coeficiente de Transmisión vs energía.

3. Resultados

En la Figura 2,3,4 (b) se muestra la gráfica del coeficiente de transmisión para las distintas configuraciones de las terminales. Se puede observar que la configuración (p) tiene una mayor probabilidad de transmisión que las otras dos configuraciones. Además se observa la influencia de perturbar un átomo de la molécula con un electrodo móvil puntual (*small movable gate SMG*) con un potencial dado.

Las figuras 2,3,4 (a) muestran la gráfica de la corriente eléctrica calculada a partir del coeficiente de transmisión mediante (5). Se puede observar un rango de energía en donde la corriente eléctrica se anula, poniendo de manifiesto el comportamiento semiconductor de la molécula. Además se observa la influencia en la

corriente de un potencial puntual a través de la influencia electrostática de un SMG.

4. Conclusiones

En este trabajo se presentan cálculos del transporte electrónico a través de una molécula de benceno conectada entre terminales eléctricas. Los resultados muestran que es posible manipular el carácter semiconductor de la molécula mediante diferentes configuraciones de las terminales y la influencia electrostática de un electrodo móvil puntual en una región particular. Este tipo de arreglos permitirán utilizar moléculas como componentes en dispositivos de electrónica molecular.

Referencias

- [1] J. Heurich, J. Cuevas, W. Wenzel and G. Schön, "Electrical Transport through Single-Molecule Junctions: From Molecular Orbitals to Conduction Channels", *Physical Review Letters*, vol. 88, no. 25, 2002.
- [2] C. Ko, M. Huang, M. Fu and C. Chen, "Superior Contact for Single-Molecule Conductance: Electronic Coupling of Thiolate and Isothiocyanate on Pt, Pd, and Au", *Journal of the American Chemical Society*, vol. 132, no. 2, pp. 756-764, 2010.
- [3] F. Chen, X. Li, J. Hihath, Z. Huang and N. Tao, "Effect of Anchoring Groups on Single-Molecule Conductance: Comparative Study of Thiol-, Amine-, and Carboxylic-Acid-Terminated Molecules", *Journal of the American Chemical Society*, vol. 128, no. 49, pp. 15874-15881, 2006.
- [4] K.W. Sulston, S.G. Davison (2015), Transmission of renormalized benzene circuits, arxiv 2015, 1505.03808
- [5] G. Schuster, Long-Range Charge Transfer in DNA I. Berlin: Springer Berlin, 2013.

CSE6- Optimización del Uso de las Energías Renovables en Industrias Manufactureras de Mexicali, B.C.

Alejandra Anguiano Sánchez, J. Alejandro Suástegui Macías, Pedro F. Rosales Escobedo

¹Laboratorio de Energías Renovables, Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Baja California, Mexicali, México. Blvd. Benito Juárez s/n, C.P. 21280.

*e-mail: aanguiano@uabc.edu.mx

Resumen. - A partir de los lineamientos establecidos por la Reforma Energética para el año 2018, el sector industrial de mayor consumo energético se verá obligado a que 5% de su consumo eléctrico provenga de fuentes de energía limpia o de bajo impacto ambiental. Particularmente en la ciudad de Mexicali, B.C. la industria manufacturera utiliza en gran medida el servicio eléctrico en sus procesos productivos y para el confort térmico de sus empleados. Sin embargo, a este sector les es difícil incorporar tecnologías limpias debido al poco conocimiento del tema y los largos periodos de recuperación de la inversión. En ese sentido, el presente trabajo propone acciones específicas para optimizar el uso de dichas tecnologías y mejorar su rentabilidad mediante la aplicación conjunta de diagnósticos energéticos, uso de energías renovables y de la eficiencia energética. Los resultados indican que es posible alcanzar la recuperación de la inversión en periodos menores a 4 años, reducir la demanda facturable en 28% y alcanzar ahorros en el consumo eléctrico de 32% en las áreas evaluadas.

Palabras clave: Diagnósticos energéticos; energías renovables; eficiencia energética.

Abstract. - Based on the guidelines established by the Energy Reform, on 2018 the industrial sector with the highest energy consumption will be forced to have 5% of its electricity consumption come from clean energy sources or low environmental impact. In Mexicali, Mexico manufacturing industry largely uses the electrical service in its production processes and for the thermal comfort of its employees. However, this sector finds it difficult to incorporate clean technologies due to the lack of knowledge and the long periods of recovery of investment. In this sense, the present work proposes specific actions to optimize the use of these technologies and improve their profitability through the joint application of energy diagnostics, use of renewable energies and energy efficiency. The results indicate that it is possible to achieve the recovery of the investment in periods shorter than 4 years, reduce 28% of power demand and achieve 32% of savings in electricity consumption in the evaluated areas.

Key words: Energy diagnostic; renewable energy; energy efficiency.

1. Introducción

El sector industrial representa el 58% de la energía consumida en México [1], siendo Baja California uno de los 5 estados con mayores consumos eléctricos per cápita en el país [2]. En el caso particular de Mexicali, dichos consumos se elevan aún más debido a que posee un clima cálido-seco y a una gran cantidad de industrias presentes en la ciudad.

El sector industrial posee altos consumos eléctricos y consecuentemente altos costos de facturación, sin embargo, en la actualidad no se han establecido criterios específicos para el ahorro y uso eficiente de la energía eléctrica que reduzcan satisfactoriamente la demanda facturable y el consumo eléctrico.

La implementación de un diagnóstico energético de primer nivel a industrias con actividades y procesos semejantes podría ayudar a identificar ineficiencias y establecer acciones de ahorro y uso eficiente de la energía aplicables de forma generalizada a empresas de un mismo giro.

2. Metodología

La presente investigación consiste en el desarrollo de las siguientes actividades:

- Delimitación del tamaño de muestra y selección de los sujetos a estudio. A partir de la ecuación:

$$n = \frac{NZ^2p(1-p)}{Z^2p(1-p) + (\Delta-p)^2(N-1)} \quad (1)$$

Dónde:

n= Tamaño de la muestra

N= Tamaño de la población

p = Proporción de empresas de giro de fabricación con acciones de ahorro y uso eficiente de la energía.

Z= Parámetro estadístico de nivel de confianza (tabla de distribución normal)

(Δ-p)= Diferencia con la media real.

- Para fines de obtener los resultados preliminares, en este trabajo se exponen las características y datos de las áreas de producción de 2 empresas evaluadas.
- Utilizando el procedimiento de Borroto, se realiza el levantamiento de información en sitio (donde se incluye termografía) [3].
- A partir del criterio de “horas grado”, realizado por Pérez, se realiza la simulación térmica de la edificación, donde se representa el efecto de la temperatura exterior local, la duración de esta temperatura durante un cierto período de tiempo y su correlación con las necesidades energéticas por aire acondicionado. Además utilizando el método de funciones de transferencia ASHRAE (Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado) se determina la capacidad de enfriamiento requerida [4]. La ecuación de horas grado es la siguiente:

$$DH = \int_{T_{ref}}^{T_{ext}} \int_{t=1}^{24} T(t) dt dT \quad (2)$$

Dónde:

DH= grado-hora

Tref= temperatura de referencia °C

T_{ext}= temperatura exterior °C

t= Horas del día

T= temperatura de referencia en °C

- A partir de las simulaciones térmicas y eléctricas se proponen estrategias de ahorro y uso eficiente de la energía.
- Una vez establecidas las acciones de optimización energética, se efectúa para cada una de ellas una evaluación técnica y económica. La evaluación económica se realiza a partir de la ecuación del tiempo de recuperación de la inversión referida a continuación:

$$ROI = \frac{I.O.-C.I.}{C.I.} * 100 \quad (3)$$

Dónde:

ROI= Retorno sobre la inversión.

I.O.= Ingresos obtenidos por la inversión

C.I.= Coste total de la inversión.

- Finalmente se definen índices energéticos globales [3].

3. Resultados

El estudio determinó un tamaño de muestra de 6 industrias a evaluar, las cuales representan el 40% del total de las empresas en Mexicali, B.C. dedicadas al giro de fabricación perteneciente a un sistema tarifario horario de media tensión (HM). Sin embargo, en este estudio se presenta información preliminar referente a las características eléctricas y térmicas de 2 empresas evaluadas hasta el momento.

Casos de estudio: Empresa 1 y 2, se muestra lo siguiente:

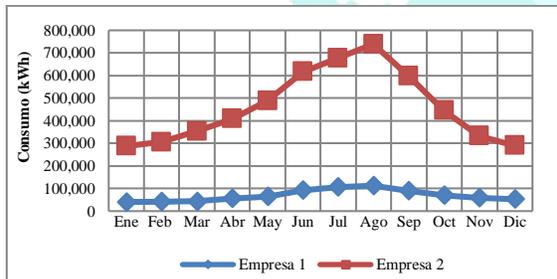


Figura 1. Consumos eléctricos mensuales en 2 casos de estudio.

En la figura 1 se muestran los comportamientos del consumo eléctrico mensual en ambas empresas, teniendo en ambos casos mayor consumo durante el verano debido al uso de sistemas de climatización. Se identifica a la empresa 2 como el usuario con mayores consumos eléctricos.

En la tabla 1 se ilustra la termografía del área de ensamble de la empresa 2, donde se encuentra las ganancias térmicas del envoltente provenientes de

aperturas entre techo y plafón derivadas de la diferencia de temperaturas del punto frío (24.8°C) y caliente (46.9°C), dichas aperturas producen infiltración de aire, el cual requiere de más capacidad de enfriamiento para abastecer el confort.

Tabla 1. Imagen termográfica en el techo de la empresa 2.

Infiltración de aire en plafón. Área de ensamble		
	Nombre	Temperatura
Punto central	26.4°C	
Caliente	46.9°C	
Frío	24.8°C	
<p>Nota: Infiltración de aire caliente proveniente del espacio entre techo y plafón. Se recomienda el uso de barreras físicas para reducir la infiltración de aire.</p>		

En la Figura 2 se describe las facturaciones y consumos eléctricos anuales de las acciones de optimización propuestas para un área evaluada de la empresa 1, las cuales son: aislamiento, iluminación led, capacidad requerida de aire acondicionado (A/C), y capacidad requerida de A/C en conjunto con un sistema fotovoltaico (SFV) de 100 kWp. Se observa que la facturación actual es de \$383,010 M.N. con un consumo eléctrico de 209 MWh anuales, se pueden reducir al implementar la capacidad requerida de A/C y SFV (100 kWp) hasta llegar al cobro de \$108,294 M.N. con un consumo de 5MWh, siendo dicha acción la de mayor impacto al ahorrar \$274,716 M.N. y 204 MWh. Es posible observar que al usar la capacidad requerida de A/C se obtienen ahorros económicos productos de la disminución de la demanda eléctrica sin embargo el consumo permanece igual.

enfriamiento máxima requerida es de 110 toneladas, lo que ocasiona un exceso de capacidad y demanda eléctrica durante 9 meses.

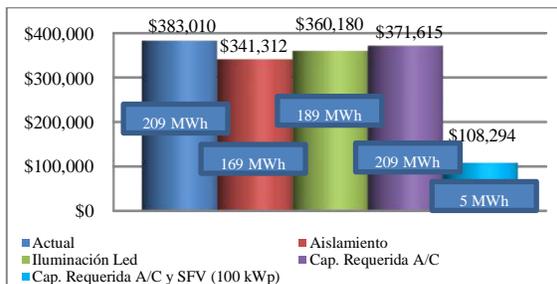


Figura 2. Facturaciones y consumos anuales de la energía eléctrica aplicando las propuestas de optimización para un área evaluada de la empresa 1.

La figura 3 se indican las facturaciones, consumos eléctricos, y demandas facturables anuales de las acciones de optimización antes mencionadas para las áreas evaluadas de la empresa 2. Se ilustra en la facturación actual un cobro de \$1, 200,579 M.N. para un consumo de 618 MWh y una demanda facturable de 1.7 MW, los cuales se pueden reducir al aplicar la propuesta de optimización de la capacidad de A/C y SFV (100 kWp), disminuyendo su costo en \$852,107 M.N. para un consumo de 418 MWh y una demanda facturable de 1.2 MW.

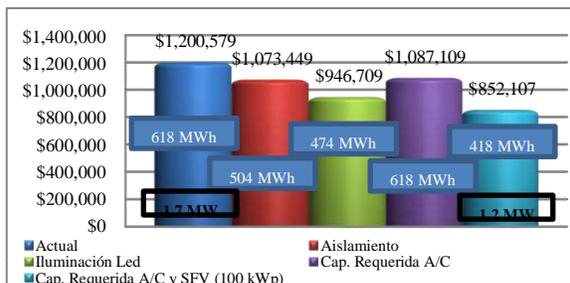


Figura 3. Facturaciones y consumos anuales de la energía eléctrica aplicando las propuestas de optimización para áreas evaluadas de la empresa 2.

En la tabla 2 se ilustra las capacidades de A/C requeridas mensualmente en el área de ensamble de la empresa 2. Destaca que la capacidad de enfriamiento usada actualmente es de 150 toneladas. Sin embargo, la capacidad de

Tabla 2. Capacidad de aire acondicionado requerida en el área de ensamble de la empresa 2.

MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Capacidad actual (Ton)	0	0	150	150	150	150	150	150	150	150	150	0
Capacidad requerida (Ton)	0	0	75	85	97	107	110	107	105	93	76	0

De la tabla 3 se observa que al gestionar la demanda eléctrica de la empresa 2 mediante el uso de la capacidad requerida de A/C se obtienen ahorros anuales cercanos a los \$113,500 M.N. y que al aplicarse en conjunto con sistemas fotovoltaicos e incentivos fiscales mejoran los ahorros económicos y el índice de tiempo de recuperación de la inversión hasta disminuirlo a menos de 4 años.

Tabla 3. Ahorros económicos y tiempos de recuperación de la inversión de un SFV de 100 kWp c/s gestión de la demanda eléctrica en ambas empresas.

	Empresa 1	Empresa 2
Ahorro anual con SFV de 100kWp (M.N.)	\$263,646	\$235,001
Recuperación de la inversión con incentivos fiscales (años)*	6	6
Ahorro anual por gestión de la demanda (M.N.)	\$11,070	\$113,470
Ahorro anual por SFV de 100 kWp y gestión de la demanda (M.N.)	274,716	\$348,472
Recuperación de la inversión con incentivos fiscales (años)*	6	4

*Nota: Se considera un tipo de cambio de \$18.00 pesos /dólar y un incentivo fiscal de 35% de la inversión inicial del SFV.

4. Conclusiones

El estudio permite mostrar que los SFV conectados a la red pública en conjunto con el uso de la capacidad requerida mensual de aire acondicionado e incentivos fiscales aumenta el ahorro económico y reduce significativamente los tiempos de recuperación de la inversión, siendo la acción de mayor impacto.

La metodología utilizada en el presente estudio se puede extender a todo el país, debido a que la tarifa HM es aplicada en todo México. Al reproducir esta metodología a otros usuarios u otras áreas se debe tener en cuenta que la sustentabilidad económica del proyecto dependerá en gran medida de la diferencia entre la capacidad de aire acondicionado instalada y la requerida mensual.

Referencias

- [1] CFE. *“Estadísticas de clientes”*. Consultado en: mayo 2016, recuperado de: http://www.cfe.gob.mx/ConoceCFE/1_Acerca deCFE/Estadisticas/Paginas/clientes.aspx
- [2] Sistema de Información Energética *“Sector Eléctrico Nacional, usuarios y venta de energía eléctrica”*. Consultado en: mayo 2016, recuperado de: <http://sie.energia.gob.mx/bdiController.do?action=temas>
- [3] Borroto Nordelo A. E., *“Gestión energética en el sector productivo y los servicios”*, Centro de Estudios de Energía y Medio Ambiente Universidad de Cienfuegos, Cuba, 2007.
- [4] Pérez T.C., Campbell R. H. E., Borroto N. A., Monteagudo Y.J. Hour-Degree, a Realistic Opinion to Characterize A Region Aimed at Achieving An Efficient Use of Energy and Power Saving from a Climatological Standpoint. Retrieved 1 06, 2017, from
- (1) N. N. Abu Bakar. M. Y. Hassan, H. Abdullah, H. Abdul Rahman, Md Pauzi Abdullah, F. Hussin, M. Bandi. *“Energy efficiency index as an indicator for measuring building energy performance: A review*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 44 (2015), pp. 1-11.
- (2) K. P. Tsagarakis, K. Karyotakis, N. Zografakis. *“Implementation conditions for energy saving technologies and practices in office building”*: Part 2. Double-glazing windows, heating and air-conditioning. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 16 (2012), pp. 3986-3998.
- (3) Simón, P. *“El retorno de la inversión (ROI) en los eventos, herramienta imprescindible para la evaluación del éxito”*. Compé, Revista Científica de Comunicación, Protocolo y Eventos. Núm 3, pp. 13-25. Madrid: Ediciones Protocolo. Consultado en: 2016. Recuperado en: http://compe.es/Articulos/Compe3/Compe_3%20pp13-25.pdf



PEDAGOGÍA Y GESTIÓN

CONGRESO INTERNACIONAL
DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

CPyGE2- The Research Seminar as a Self-Learning Motivational Tool

Roberto Javier Guerrero Moreno¹, Eilen Oviedo², David Abdel Mejía Medina¹

¹Universidad Autónoma de Baja California, rjgm76@uabc.edu.mx, damejia@uabc.edu.mx

²Universidad Pedagógica Nacional, eoviedog@edubc.mx.

Abstract. - *The research seminar is a staple in many higher education schools, and normally serves as a link between the researchers and them work and the student body. But more than an outreach activity, we believe that is an excellent medium motivation, and rarely is there an effort to quantify the success of the program as it relates to the acceptance within the student body. In the following paper we will presents results of a 4-year poll in a multidisciplinary engineering/design/architecture school for a public state university in Mexico. The survey was designed with the intent of quantify the success of the activity in capturing the students attention and interest.*

Key words: Education, scientific research.

1. Introduction

A fact known to teachers and/or facilitators is that a large number of students, tend to be passive in their learning experience, and as university teacher/administrator, one is tempted to hide behind the notion that the student is of age and as such he is free to make it decisions. While this is true, is also a great disservice, first to the pupil and second to the society, the student with a little help or push could find the energy of joy in their experience which would end in a new highly trained profession on the work force.

The apathetic attitude of the student can be attributed to diverse factors, for example, social, economic, personal, academic and/or, motivational. These factors are important, but we would like to focus on the motivational part.

Let us consider a random student, which finds some subjects appealing, and have an excellence performance in it, while disliking, or finding other courses not interesting, meaning, that he does not believe it has any real world use, or find it very difficult, due to gaps in the knowledge required to understand such subjects. This last one is the case for some students when dealing with mathematics and physics. Such courses are often the reason for students falling behind and/or dropping out.

The previous case tends to be significant for public universities, where a public entity (maybe the state and/or country) absorbs by far the cost of educating each student, i.e., each student has a cost per semester attributed to it, and so, if a student does not finish his/her studies and earns a degree these resources are effectively wasted.

Is the duty of the school to try to maximize the number of students that earn their degree while maintaining an academic standard. Many academic programs exist to help students, tutoring hours are available, remedial courses are given, and group collaboration between students is encouraged.

However, as important as these activities are, the activities that motivates the student, are paramount, and is or our firm believe that the academic and the motivational are closely linked. A motivated student will surpass any hurdle presented.

Many higher learning schools have a periodic seminar where the students are presented with talks that range from research activities, scientific dissemination or academic talks. We contend that such activities can have a big motivational impact and in this paper, we present results from polling the audience in one such seminar.

2. Methodology

The results presented here were collected in the Campus "Valle de las Palmas" of "Baja California State University" (Universidad Autónoma de Baja California - UABC) in particular for the multidisciplinary school ECITEC (Escuela de Ciencias de Ingeniería y Tecnología – School of Engineering and Technology Sciences).

ECITEC offers majors in Bioengineering, Aerospace, Civil, Electric, Electronic, Industrial, Mechanics, Mechatronics and Renewable energy engineering, also industrial and Graphic Design, and Architecture.

The school opened its doors in august 2009 to student population of about 600 and 20 full time academics (FAs), by the summer of 2014 the population has grown up to around 3,500 students and 70 full time academics plus many partial time lecturers. The rapid increase in the student and faculty bodies made it necessary to establish some

kind of periodic seminar. By faculty request, a seminar program was established on March 2012 (with around 2,000 students and 50 FAs). The purpose of this activity was to create a periodic forum where the teaching staff could present to the school community their research projects, results and student collaboration.

In addition, we are trying to foment a program where the student was able to build the competences necessary for questioning and listening in a respectfully manner, and the ability to reflect on the connection between the theoretical and practical knowledge presented in the talks.

We believed that beyond being a formative and informative activity, it could serve as a motivational tool for the students. The reasoning was that by presenting with a concrete example on how the abilities and knowledge gained on their courses can be applied to solve real world problems they would be motived to participate the research opportunities.

Due to the geographic location of the university (i.e. travel time), it was necessary to schedule the seminar during the school hours, and so only those students without any activities at that time, or those were the teacher allow the group to assist the seminar, where allowed the opportunity to attend the talks. This greatly impeded us to reach a wider audience.

Until April of 2016, the seminar has hosted 59 talks and around 4,646 attendees. The topics presented were various and of interest to the student body.

During the last 41 talks (total audience of 3,017 students and 200 teachers/administrative personal), the students in the audience were surveyed, and the results will be presented in the next section.

As the section deals with statistical results is necessary to determine if the number of answered surveys satisfy the minimum statistical sample. To determine this we use the following equation,

$$n = \frac{N\sigma^2Z^2}{(N-1)e^2 - \sigma^2Z^2} \quad (1)$$

where, n is minimum statistical sample, N number of total population (here 3,500), the standard deviation value of the population, σ , is not known so is common use to utilize 0.5 in such cases, for the trust value, Z , we use the 95% i.e. $Z = 1.96$ (the usual value) and for the error range, e , we assigned the middle value for an unknown population, i.e., $e = 0.04$ (4%) [1, 2].

3. Results and Discussions

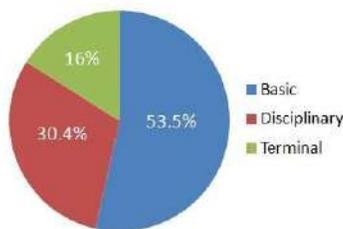
The data shown in this section are the results of surveying the audience in the last 46 talks, in total we have around of 2,700 surveys, the final tally differs from the final attendance because some participants did not answer the survey.

By using equation (1), we determined that the minimum statistic sample for a population of 3,500 students is around 494, far below the number (2,000) of surveys at our disposal; this allows extrapolating the data found here to the full student body.

The results will be presented in four subsections 3.1) Audience, 3.2) Knowledge and attendance, 3.3) Quality, 3.4) Research projects.

3.1.2. Audience

The semesters are academically split in to three stages, basic: 1st to 3rd semester, where the basic



courses are taken and the student choose their major. Disciplinary: fourth through 6th semester and seventh, 8th and beyond are the terminal stage where the main courses are taken and a final specialization is chosen.

Figure 1: Assistance by academic stage.

The results are in complete agreement with the number of students in each stage in the school, and are encouraging as we can inform the newest students about the diverse ways they can participate in scientific research.

3.1.1. Knowledge and attendance

Figure 2 and 3 show the percentage of the attendees who had prior knowledge of the seminar and had attended one, respectively.

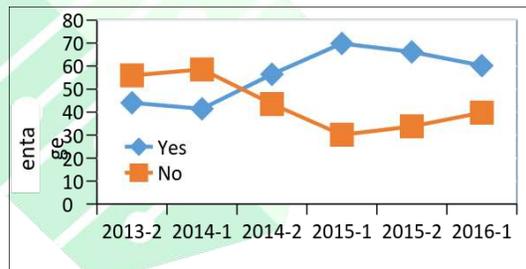
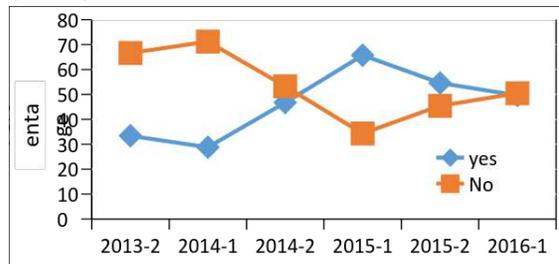


Figure 2. Percentage and number of attendees who had prior knowledge of the seminar.

Figure 2 shows that by the end 2016-1, 60.2% of the attendees had knowledge of the activity, this means that almost two thirds of the total population find the seminar interesting enough to participate more than one time. We also see that



for the first 4 semesters the percentage of the attendees that had prior knowledge has continuously grown, this we consider is extremely important as per year almost 900 students are freshmen and this trend is prevalent in the figure 4 inset where the yearly growth of the repeat spectator.

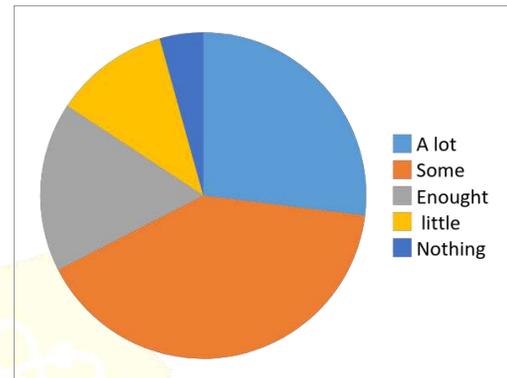
Figure 3. The audience was asked if they had attended before to a talk of this seminar.

The organizing committee must make a greater effort to generate more interest. So a basic question that must be asked is, how did the students find out about the talk? We found after analyzing the surveys that most of the students (73%) knew about the talk because of their teachers while 14% because of the notifications posted through the school (around 100 such notifications are posted each talk) while 8% found out by our facebook page and repost of the information, while 3% by word of mouth. At this time is clear that the main way that students can participate in the event is by a leave of the teacher from his class, but as we see 25% of the student participated out of their free will, this is very encouraging. We believe that by using electronic publicity, like social networks, we can reach an even broader number of students, in this we propose the addition of students as their input would be of great value in managing the information in social media; we recommend the use of focus groups.

3.1.3. Quality

The results presented in this subsection try to quantify how the students perceive the quality of the talks. We asked the students to grade in a five-point scale the presentation of the speaker. In general, if we assign 5 to excellent and 1 to very bad, the average grade was 4.3. In addition, they were asked to grade how interesting did they found the subject of the talk here the average grade is 4.43.

Both "grades" are fairly similar, this is not coincidental, how the student perceive as



interesting is closely related to the quality of the talk.

We believe that the social media can help us to get additional comments about what types of talks the students would like to receive and would allow focusing the activity to the liking of the students so increasing the total attendance

3.2 Research projects

We believe that scientific research and dissemination can have a positive impact on the academic life of many students, but sometimes we forget that some students may not have prior knowledge of the existence of research activities in our schools or that they can participate. As part of the purpose of the seminar we are interested in informing the student body those research opportunities, and the many options available to them, including research grants, thesis opportunities, internships in companies, summer schools, and many others.

We asked the attendees if they knew that there are research activities in ECITEC? and found that the attendees have knowledge of the existence of research activities in our school, is very interesting that 78.2% of the students have this information, this number has change very little over the semesters, so a lack of knowledge in this area, appears not to be a significant obstacle.

The students know that research is been done in their school, but do they know that some of those projects have scholarship associated to them? We ask the polled students this and found that of the 2,773 polls, only 54.6% answered yes. This result is not entirely unexpected, as ECITEC is a new school, much of the activities do not have an immediate recognition by the community. But we find very encouraging that the percentage has been growing as the years go by meaning that the information has been reaching more and more students and we believe that the seminar has been a big part.

Figure 4. Evaluation of the interest generated thru the talk to join a research project

Figure 4, shows the results as presented by the survey, again by assigning a numeric value of 5 to "A lot" and 1 to "nothing". The results tell us that 16.8% all the students want to participate in research activities, this is very encouraging and a way should be found to try to include them.

4. Conclusions

We have shown statistical results from a survey applied to the attendees of the research and diffusion seminar at ECITEC, from august 2013 thru April 216, approximately 2,700 surveys were collected.

The results presented have shown that students have found talks interesting and because of them have considered joining (or joined) some kind of research activity, in the different modalities that

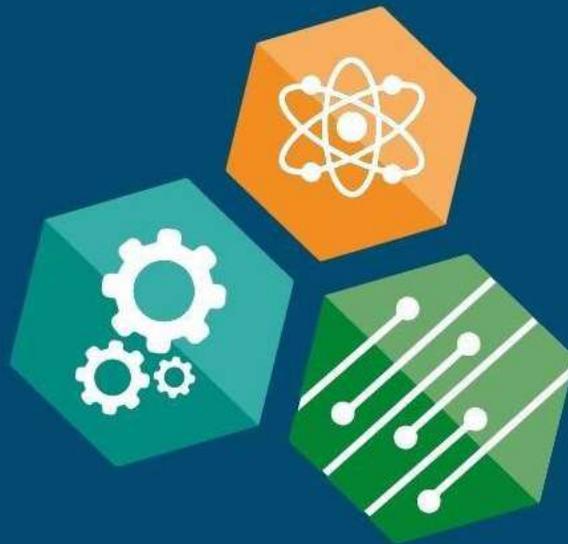
UABC offers. The analysis also reveals that the main way the audience has found out about the talk calendar is by their teachers. Here we recommend to use more and more the used of social media.

We showed that the seminar has had a positive effect, as the number of students that have joined research projects has more than double in 2015 with respect those reported in 2014.

The authors of this paper would like to thanks the many students that were graceful enough by answering our survey

References

- [1] Spiegel, Murray R. Schiller, John. Srinivasan R. Alu. (2013). Probability and Statistic. México: Mc Graw Hill.
- [2] Yamane, Taro. (1970). Statistics and introductory analysis. Nueva York: Harper International.
- [3] Universidad Autónoma de Baja California, scholarship rule book. Found in <http://fintecate.uabc.edu.mx/wp-content/uploads/2014/01/REGLAMENTO-DE-BECAS.pdf>
- [4] Universidad Autónoma de Baja California rule book for social service. Found in <http://www.uabc.mx/formacionbasica/documentos/reglamss.pdf>
- [5] Universidad Autónoma de Baja California Statue rule book. Found in <http://sriagral.uabc.mx/Externos/AbogadoGeneral/Legislacion/reglamentos/estecolar.pdf>



memorias



ECTEC

20 al 23 de Septiembre 2017

Tijuana, Baja California, México.

