

CENTRO DE ENSEÑANZA TÉCNICA Y SUPERIOR



Proyecto de Ingeniería e Innovación

Propuesta de diseño para un algoritmo de aprendizaje autónomo en el proceso de sellado para *Tape & Reel*.

para obtener el grado de

Maestro en Ingeniería e Innovación

Presenta

Jorge Arturo Paredes Magaña

Director de proyecto: Dra. Dania Licea Verduzco

Codirector de proyecto: Dra. Karla Garduño P.

Asesor Industria: Víctor M Morales

Mexicali, Baja California. Diciembre de 2018

CENTRO DE ENSEÑANZA TÉCNICA Y SUPERIOR



Colegio de Ingeniería
Dirección de Posgrado
Campus Mexicali

Proyecto de Ingeniería e Innovación

Propuesta de diseño para algoritmo de aprendizaje autónomo en el proceso de sellado para *Tape & Reel*.

para obtener el grado de

Maestro en Ingeniería e Innovación

Presenta

Jorge Arturo Paredes Magaña

Director de proyecto: Dra. Dania Licea Verduzco

Codirector de proyecto: Dra. Karla Garduño P.

Asesor Industria: Víctor M Morales

Comité evaluador:

Dra. Karla Garduño P.

Dr. Jesús E. Mora R.

Dr. Miguel A. Salinas
Yáñez

Mexicali, Baja California. Diciembre de 2018

Agradecimientos.

Para la realización de este trabajo de culminación de grado, quisiera agradecer en mi primer lugar a mi esposa Cecilia Guadalupe, quien conmigo vivió mis horas de desvelo y vio como mi tiempo de familia tuvo que ser compartido para alcanzar una meta más; a mis asesores con quienes pude compartir el estrés de los finales, así como el compartir el conocimiento que este trabajo me está dejando. Además, agradezco enormemente a la institución CETYS Universidad por permitirme desarrollar mi posgrado, a sus profesores y por la visión faraónica de convertir a Baja California en un polo de conocimiento y desarrollo.

Sin ninguno de ustedes, este trabajo se habría dado, gracias enormemente a cada uno y gracias a Dios por permitirme completar un día más para cerrar esta meta tan esperada.

Gracias sinceramente.



SKYWORKS SOLUTIONS DE MEXICO S. DE R.L. DE C.V.
CALZADA GOMEZ MORIN 1690 COL. RIVERA
MEXICALI B.C
TEL. (686)564-2100

Mexicali B.C. a 7 de diciembre de 2018

A quien corresponda:

Por medio del presente hago constatar que el proyecto:

**Propuesta de diseño para algoritmo de aprendizaje autónomo en el proceso de sellado
para *Tape & Reel***

El cual desarrolló el empleado:

Jorge Arturo Paredes Magaña

Fue aceptado y desarrollado en la mini compañía de Pruebas, en la planta de Skyworks Mexicali, se considera relevante para la empresa ya que se alinea con la misión, visión, y objetivos, por lo que contó con el apoyo directivo para los recursos necesarios, con el cual se busca cumplir las metas de productividad y calidad necesarias para la mini compañía.

ATENTAMENTE

A handwritten signature in black ink, appearing to read "V. Morales", written over a horizontal line.

Dr. Víctor Manuel Morales
Gerente de ingeniería de Procesos

Índice.

Agradecimientos.....	i
Carta institucional.....	ii
Índice de Ilustraciones.....	v
Índice de tablas.....	vi
Lista de abreviaturas.....	vii
Resumen.....	viii
Capítulo 1.....	1
Introducción.....	1
Descripción de los procesos en <i>Skyworks Mexicali</i>	2
Manejo de circuitos integrados durante el proceso de prueba eléctrica.....	4
Proceso de empaquetado y sellado en manejadoras <i>Bowlfeeder (SRM)</i>	5
Antecedentes.....	7
Problema.....	10
Preguntas de la investigación:.....	12
Problemática.....	13
Objetivos.....	14
Objetivo general.....	14
Objetivos específicos.....	14
Hipótesis.....	15
Capítulo 2.....	16
Marco teórico.....	16
Modelos predictivos.....	17
Simulación de sistemas para eventos discretos.....	18
Introducción al proceso de <i>Tape and Reel</i>	19
Carrier tape.....	21
Cover tape.....	22
Orientación de las piezas en el Carrier tape.....	22
Carretes (<i>reel</i>).....	23
Sensibilidad a la humedad y sellado en seco.....	24
Método de embalaje típico.....	25
Análisis detallado del proceso de sellado.....	26
Capítulo 3.....	30

Metodología.....	30
Procedimiento del experimento.....	31
Datos al final del experimento.	31
Plan de trabajo.....	32
Capítulo 4.....	34
Modelo de simulación.	44
Validación en escenario de relación operador-máquinas.....	48
Capítulo 5.....	50
Conclusiones y discusiones finales.....	50
Discusiones sobre el operador.....	52
Limitaciones y Proyectos futuros.	52
Referencias.....	54

Índice de Ilustraciones.

Ilustración 1 – Descripción grafica del proyecto. Fuente: Creación propia.....	ix
Ilustración 2 - Línea de tiempo de Skyworks Mexicali Fuente: Recuperado de (Skyworks Solutions Inc., 2017)	2
Ilustración 3 - Flujo de procesos en la plata Skyworks Mexicali Fuente: Imagen de creación propia.....	2
Ilustración 4 - Manejadora Pick and Place (1) y Bowlfeeder (2) Fuente: Recuperado de (Skyworks Solutions Inc., 2017)	4
Ilustración 5 - Proceso general y especifico donde se desarrollará la mejora. Fuente: Imagen de creación propia.	5
Ilustración 6 - Cabeza de sellado de Carrier-cover en manejadora Bowlfeeder. Fuente: Recuperado de (Skyworks Solutions Inc., 2017).....	6
Ilustración 7 - Cantidad de rechazos mensuales de sellado reportados por Calidad. Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de rechazos de calidad.	10
Ilustración 8 - Grafica de pie sobre tipos de sellado en los rechazos de Calidad Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de rechazos de calidad.	11
Ilustración 9 - Grafica de Pareto para causas de defecto de sellado Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de rechazos de calidad.	11
Ilustración 10 - imagen de las partes que componen un rollo de material.	20
Ilustración 11 - Medidas básicas para un Carrier Fuente: Recuperado de (JEDEC, 2000).....	21
Ilustración 12 - Dibujos sobre ejemplos de orientaciones típicas por tipo de material Fuente: Recuperado por (JEDEC, 2000)	23
Ilustración 13 - Dimensiones estándar para rollos Fuente: Recuperado de (JEDEC, 2000)	24
Ilustración 14 - Máquina manejadora tipo bowlfeeder para rollo. Fuente: Recuperado de (SRM Integration, 2018)	25
Ilustración 15 - Ejemplos grafico de Leader y Trailer Fuentes: Recuperado de (JEDEC, 2000)	26
Ilustración 16 - Proceso de verificación de adherencia en rollos. Fuente: Imagen de creación propia.	28
Ilustración 17 - Diagrama de Gantt de actividades específicas Fuente: Imagen obtenida de MS Project.....	33
Ilustración 18 - Diagrama de flujo para algoritmo de autovalidación. Fuente: Imagen de creación propia.	38
Ilustración 19 – Diagrama de actividades (operador y técnico de mantenimiento). Fuente: Imagen de creación propia.	40
Ilustración 20 – Diagrama de interacción para algoritmo. Fuente: Imagen de creación propia.	41
Ilustración 21 – Histograma para la frecuencia de 5 números de parte. Fuente: Imagen de programa Minitab.	43
Ilustración 22 – Histograma de tiempos de procesamiento de lote en producción. Fuente: Imagen obtenida de programa StatFit.....	43
Ilustración 23 – Modelos Operador/Máquina para la simulación. Fuente: Imagen de programa Simio.	45
Ilustración 24 – Diagrama de cajas para lotes procesados en simulación. Fuente: Imagen de programa Minitab.	46
Ilustración 25 – Resultados de prueba de hipótesis (lotes procesados en máquina). Fuente: Imagen obtenida de programa Minitab.	47
Ilustración 26 – Modelo de 1 Operador por cada 4 Manejadoras BF. Fuente: Imagen de modelo en programa Simio.	48
Ilustración 27 – Grafico de cajas para la cantidad de lotes procesados por máquina. Fuente: Imagen tomada de programa Minitab.	49
Ilustración 28 – Propuesta de sensor para presión de Anvil. Fuente: Imagen de creación propia.	53

Índice de tablas.

Tabla 1 - Tabla que describe los elementos mecánicos de la cabeza de sellado.....	26
Tabla 2 - Tabla de proceso de sellado.....	27
Tabla 3 - Actividades generales.....	32
Tabla 4 - Parámetros a utilizar para el experimento de sellado.	34
Tabla 5 - Tabla de segundos perdidos.....	39
Tabla 6 - Tabla de tiempos de procesamiento y tiempo perdido de operador.	45

Lista de abreviaturas.

A continuación, se presentan las abreviaturas que se utilizarán en el presente documento para mejor comprensión:

BF – Bowlfeeder.

P&P – Pick and Place.

SPC – Static Process Control (Control estadístico de procesos)

OEE – Overall Equipment Effectiveness

JEDEC – Joint Electron Device Engineering Council

NPI – New Product Introduction

HSPA – High Speed Packet Access

GSM – Global System for Mobile communication

LTE – Long-Term Evolution

PET - Polietileno Tereftalato

SPC – Statistical Process Control

CEP – Control Estadístico de Procesos

TPM – Total Predictive Maintenance

Resumen.

Anteriormente la industria busco adaptar la automatización a sus procesos para hacerlos menos dependientes del factor humano, ahora toca paso a una manera avanzada de poder adaptar la factibilidad de la manufactura a las necesidades del cliente en el menor tiempo y si es posible, en tiempo real, como se menciona en (Salvendy, 2001) sobre la personalización masiva de la manufactura siendo enfocada en la flexibilidad y rapidez de respuesta para satisfacer las necesidades cambiantes de los mercados globales. Es a partir de esta visión, como los procesos actuales están cambiando a tal grado de evolucionar en formas y maneras no antes vistas, haciendo uso de la tecnología cada vez más conectada, accesible y rápida de la que se dispone.

En este trabajo se planteó analizar un proceso que si bien, ha podido cumplir con sus especificaciones, no han sido las óptimas y sus análisis no han sido tan profundos en anteriores ocasiones; por lo tanto, ante una oportunidad de aprovechar las situaciones donde la tecnología y la manufactura pueden coincidir en crear un proceso flexible, rápido y robusto, se diseñó un sistema acorde a los nuevos tiempos que se vive en los ambientes de manufactura moderna, así como hacer uso de la nueva tendencia en el rubro del análisis de datos masivos o mejor conocido como “*Machine Learning*”, lo cual no es otra cosa más que dotar a las máquinas y/o robots industriales, de herramientas, interfaces o determinados algoritmos que harán del día a día una forma de tomar decisiones por sí mismas basadas en la toma de decisiones en tiempo real y en esta misma línea, a transformarse en acciones para mejorar el desempeño del equipo.

Este trabajo fue desarrollado en la planta de *Skyworks Solutions* en Mexicali, Baja California, específicamente en la planta de pruebas, donde después de las pruebas de confiabilidad, el último proceso es el de “*Tape and Reel*” (el cual significa empaquetar el producto en un “contenedor”), en este proceso, los productos deberán sellarse para preservar las condiciones finales de manejo del producto con una cubierta (“*Cover tape*”), a este procesos se le conoce como el sellado del producto final (“*sealing process*”); partiendo del hecho que

la manufactura 4.0 involucra envío automático y en vivo de información, se utilizó la capacidad actual de generación de datos para poder calcular la información necesaria para validar el proceso mencionado en tiempo real.

Se planteo y comprobó, la propuesta para analizar las entradas del proceso en un algoritmo de análisis y predicción que valida la información para calcular la salida esperada, como se muestra en la Ilustración 1.

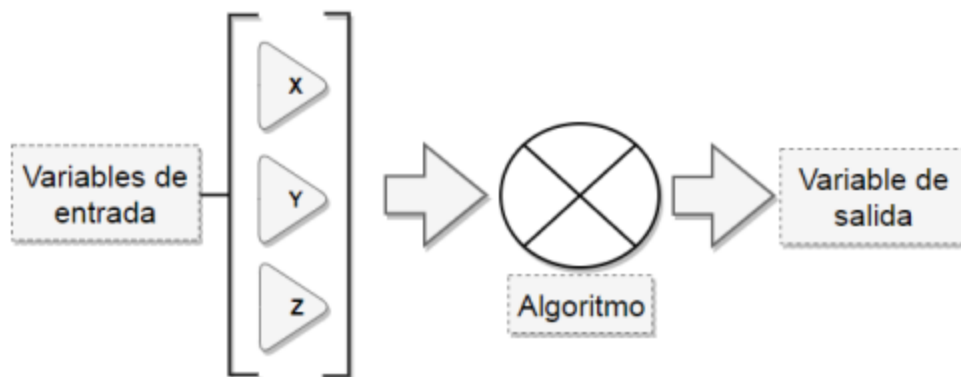


Ilustración 1 – Descripción grafica del proyecto.
Fuente: Creación propia.

La información generada en tiempo real, jugara un papel clave para el ahorro de tiempo muerto que se pierde por esperar resultados o cuando el operador no puede atender la máquina, lo que se traducirá en menor tiempo muerto, mayor cantidad de piezas procesadas y se podrá utilizar el “Control Estadístico de Procesos” para predecir patrones que llevaran al proceso a salir fuera de control.

Capítulo 1.

Introducción.

El trabajo que aquí se presenta, fue desarrollado en la planta de *Skyworks Solutions* de México; esta empresa está encargada de la manufactura y prueba funcional de circuitos integrados para la industria inalámbrica de comunicaciones; sus productos varían desde dispositivos pasivos para aplicaciones de radiofrecuencia, hasta sistemas más complejos como codificadores-decodificadores de señales celulares de tecnología celular (HSPA, GSM, LTE, etc.). *Skyworks solutions* es una empresa de capital estadounidense con sede en Woburn, Massachussets, con plantas de diseño tanto en Estados Unidos, Corea del sur, China y Europa, mientras que sus centros de manufactura se concentran en México y Corea del sur, siendo el centro de manufactura en Mexicali, México, el más grande e importante de este corporativo.

En la Ilustración 2 se muestra la historia de la planta *Skyworks Mexicali*, que muestra su historia desde 1969, en aquel entonces, la empresa llamada Autonetica, se concentraba en manufactura de electrónica de consumo; su posterior crecimiento involucro que fuera adquirida por Rockwell Collins por su rama de semiconductores, agregando la electrónica de uso militar. Posteriormente, Rockwell Collins vende la sección de comunicación inalámbrica, la cual inmediatamente se fusiono junto a un pequeño manufacturador basado en Massachussets llamado Alpha Industries, dando lugar en el año 2002 a lo que hoy en día es *Skyworks Solutions* (ver Ilustración 2):

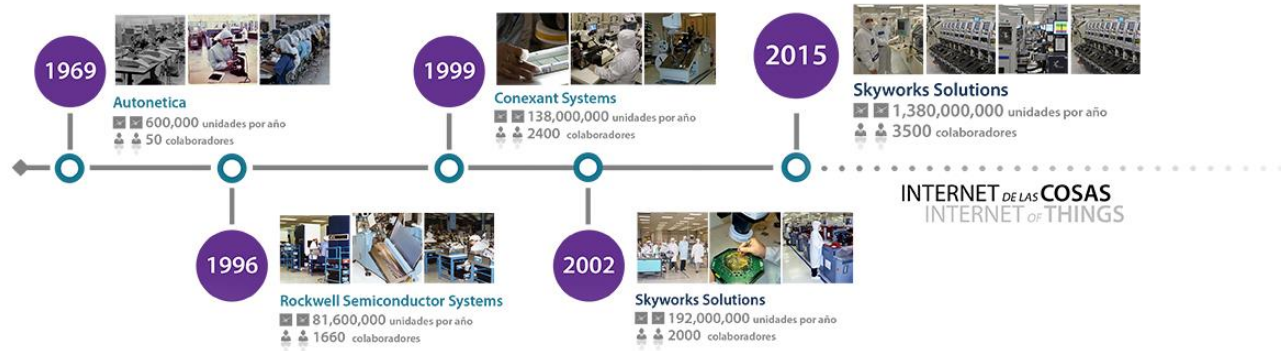


Ilustración 2 - Línea de tiempo de Skyworks Mexicali
Fuente: Recuperado de (Skyworks Solutions Inc., 2017)

Descripción de los procesos en Skyworks Mexicali.

La empresa en Mexicali, se divide internamente en una jerarquía de mini compañía, donde cada una utiliza una estructura funcional tradicional con departamentos tradicionales, funcionando como una compañía completa dentro de otra. En la planta de Skyworks Mexicali, existen los siguientes pasos que se describen a continuación en la Ilustración 3 de manera general, sobre los procesos para la fabricación de circuitos integrados:

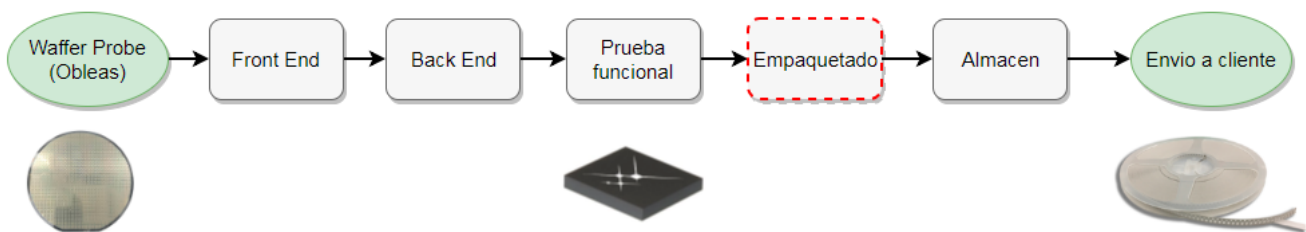


Ilustración 3 - Flujo de procesos en la plata Skyworks Mexicali
Fuente: Imagen de creación propia.

La primera parte del proceso (“Waffer Probe”) recibe la materia prima de parte de proveedores externos, los cuales son probados eléctricamente para asegurar la calidad del producto; después de la prueba, será enviado a “Front end”, donde el “waffer” será seccionado sin dejar la integridad de la oblea para comenzar a instalar los componentes activos y pasivos del semiconductor, de esta forma, las conexiones serán conectadas mediante cables de oro,

dando paso a circuitos integrados semiterminados, aun contenidos dentro de grupos llamados “*magazine*”, los cuales pueden contener grupos de 100 a 800 piezas por magazine, creando entonces entidades o grupos considerados como lotes; después de finalizar la etapa de “*Front end*”, es turno de la etapa de “*Back end*”, donde los dispositivos serán bañados en plasma para limpiar impurezas a nivel molecular (cualquier contaminación por partícula puede poner en corto el circuito), al finalizar la etapa de Plasma, son enviados al área de moldeo, donde se sellan para resguardarlos de alteraciones ambientales tales como lugares de alta humedad, polvo u otra alteración ambiental. Al finalizar moldeo, viene el área de marcado para cada pieza, las cuales deberán ser identificadas con el logo de la compañía, el número de parte de la pieza, el lote al que corresponde y la fecha de elaboración de la misma. Para finalizar la etapa de *Back end*, se llevan al proceso de “*Singulation*”, que es aquí donde los magazines son cortados por sierras que terminaran cortando cada uno los circuitos que integran un lote.

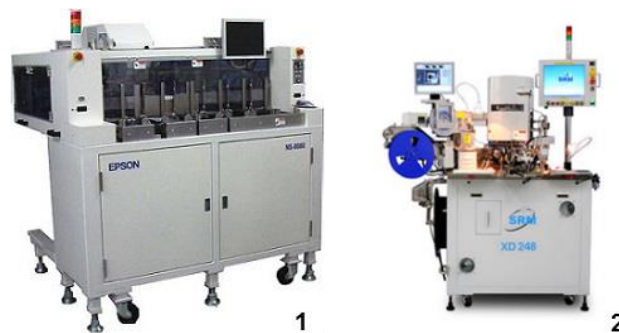
Una etapa importante del proceso, es asegurar la calidad del producto mediante la prueba funcional, que será desarrollada en la sección de “Test” o prueba funcional de la planta, donde cada lote de piezas será encendido y se le harán pruebas de radio frecuencia para determinar si la pieza cumple o no con las características de calidad que se enviaran a cliente y con las cuales *Skyworks* se comprometió. La prueba funcional al final separara entre piezas buenas y malas, finalizando al enviar solamente las piezas buenas a la siguiente etapa del proceso. El empaquetado o mejor conocido “*Tape and Reel*” de circuito integrado, es aquel donde los semiconductores que pasaron la prueba funcional, son empaquetados en tiras de plástico que en ingles se les llama “*Carrier tape*” y sellados con plástico antiestático conocido en inglés como “*Cover tape*”, la parte del empaquetamiento de los circuitos, será la base del proyecto presentado, cuyo enfoque será aumentar su desempeño y calidad final del empaquetado una vez concluido. Un rollo de material contiene las cantidades de piezas acordadas con el cliente sobre cada número de parte, este se enviará al área de sellado al vacío llamada “*Dry-pack*”, donde se el rollo será sellado junto con disecante e identificador de humedad para asegurar las condiciones en las fue empaquetado desde la planta de manufactura y como llega con el cliente final. Finalmente, se envían los rollos sellados y

resguardados en cajas de cartón para su almacenaje en el área de Almacén para su posterior envío al cliente.

Manejo de circuitos integrados durante el proceso de prueba eléctrica.

Se muestra a continuación una breve explicación de las máquinas encargadas de manipular los circuitos integrados durante la prueba eléctrica, ya que, para poder manipular los circuitos integrados, se debe trabajar con una máquina llamada “manejadora” de circuitos integrados (*Handler*). En la industria, se identifican como estándar, dos tipos de máquinas: *Pick and Place* y *Bowlfeeder*.

Las máquinas *Pick and Place* solo pueden manipular circuitos integrados que se encuentran posicionados en charolas, donde toman las piezas desde la charola moviéndolas hasta el sitio de y después de la prueba eléctrica, serán tomadas de nuevo para llevarla al sitio de piezas buenas o malas que también son charolas. Para las manejadoras *Bowlfeeder* las piezas son “vaciadas” en un tazón metálico, donde será tomadas y enviadas directamente hacia partes de la manejadora donde será inspeccionada visualmente, probada eléctricamente o enviada a un rollo de plástico (*Carrier tape*). En la Ilustración 4 se muestra una imagen de estos dos tipos de manejadoras:



**Ilustración 4 - Manejadora Pick and Place (1) y Bowlfeeder (2)
Fuente: Recuperado de (Skyworks Solutions Inc., 2017)**

Es importante señalar algunas particularidades de las manejadoras Bowlfeeder:

- Las manejadoras *bowlfeeder* pueden desempeñar solamente el proceso de empaquetado, que es el proceso de interés en este proyecto. Las manejadoras “*Pick & Place*” son incapaces de procesar el material de esta forma.
- El proceso de empaquetado en *Skyworks*, usa en su mayoría manejadoras *Bowlfeeder* para llevar a cabo este proceso.
- Cuando las piezas finalmente quedan en el carrete, bajo cantidades establecidas, son llevados a sellar herméticamente.
- Los rollos de piezas terminan sellados y en cajas listas para ser almacenados o enviados en ese momento al cliente final.

Proceso de empaquetado y sellado en manejadoras *Bowlfeeder* (SRM).

A continuación, se explica gráficamente los pasos durante el proceso de empaquetado donde se aplicará la mejora a desarrollar en este proyecto (ver Ilustración 5):

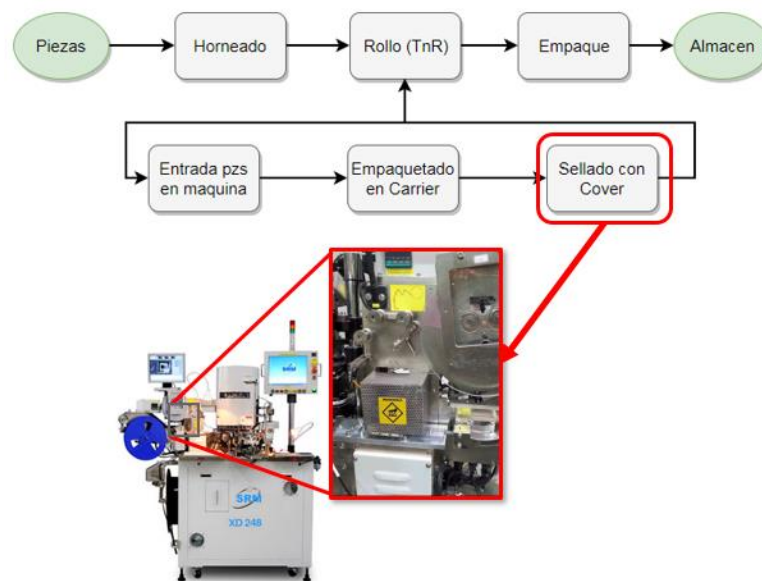


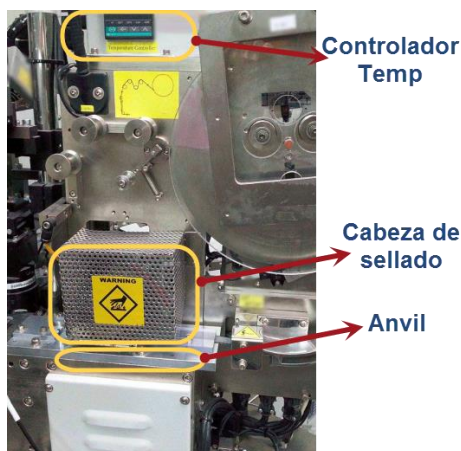
Ilustración 5 - Proceso general y específico donde se desarrollará la mejora.
Fuente: Imagen de creación propia.

El estándar internacional que rige el empaquetado de circuitos integrados en la industria mundial, es el estándar EIA-481, y es este el cual menciona reglas de industria los cuales toda compañía tiene que cumplir, estas se convierten en requerimientos de cliente finales.

Basado en esta premisa, el sellado del carrete con piezas es una variable a monitorear por parte de la empresa *Skyworks*.

Se explica el funcionamiento del proceso de sellado de manera generalizada; este comienza cuando el operador vacía el material a granel en una parte de la manejadora para que las piezas sean enviadas una a una hasta llevarse al contenedor de plástico conocido como “*Carrier*” donde las piezas serán colocadas; para evitar que se salgan de su lugar se coloca una cubierta transparente llamada “*Cover*” que es sellada con el “*Carrier*”. Para el proceso de adherencia, se pueden identificar las siguientes variables capaces de influir en la calidad del empaquetado: Tiempo de sellado (ms), temperatura (°C) y presión de sellado ($\frac{kg}{f}$).

Se aprecia en la Ilustración 6 la localización de los componentes que influyen en las variables descritas para lograr un sellado que se encuentre dentro de límites establecidos de control y calidad de *Skyworks*.



**Ilustración 6 - Cabeza de sellado de Carrier-cover en manejadora Bowlfeeder.
Fuente: Recuperado de (Skyworks Solutions Inc., 2017).**

Es importante señalar que existen dos tipos de tecnologías de sellado para circuitos integrados, los cuales son:

- Sellado en frío (PSA), el cual significa que el esfuerzo energético que inicia el cambio químico de adherencia para el “*cover tape*”, será la presión que se ejerce sobre el mismo.
- Sellado en caliente (HSA), el cual significa que la energía proyectada para iniciar el cambio químico de adherencia se da con un cambio de temperatura, este activara el adhesivo en el *cover tape*

Antecedentes.

La mejora continua dentro de los procesos industriales modernos, han derivado en grandes esfuerzos por desarrollar tecnologías disruptivas que permiten generar ventajas competitivas, como es descrito en (Rüßmann, et al., 2015), la transformación hacia la industria 4.0 está siendo empujada por avances tecnológicos basados en sensores, máquinas, módulos y sistemas de tecnología de la información los cuales estarán conectados a lo largo de la cadena de suministros para forma una sola iniciativa.

De acuerdo a las prácticas de mejora continua para manufactura, dentro de la planta *Skyworks Mexicali*, se han realizado con anterioridad una seria de proyectos y metodologías para mejorar el desempeño del proceso de sellado en la máquina, a continuación, se presentan los esfuerzos anteriores y los resultados obtenidos:

Control de temperatura: Con anterioridad, al momento de iniciar un *setup* en el área, cuando se hacían los ajustes para el sellado no estaba definido el rango de temperatura en los cuales se podía obtener una media dentro de los límites del sellado. Para esto se realizaron experimentos hasta determinar los rangos, los cuales quedaron fijos entre 160°C y 195°C; para poder controlar el cumplimiento de este rango, se instalaron sensores de temperatura con límites para controlarla, de esta manera se evitarían sobre sellados por temperaturas altas.

Hoja de especificaciones de *setup*: Los insumos de empaquetado se controlan por número de parte para evitar usarlos en otros que no les corresponde, sin embargo, había remanentes

en piso de producción los cuales terminaban usándose en el número de parte incorrecto. Para evitar estas situaciones se creó un formato el cual es requerido que se valide con respecto al insumo físico (a través de códigos de barra), usando un sistema de validación de *setup*, para certificar que se están usando los insumos correspondientes y permitiendo continuar con la operación sí coinciden como es debido.

Validación de variables críticas del proceso: A pesar de que el fabricante de la máquina menciona que parámetros se deberían controlar para poder tener un sellado eficiente, no se mencionan si son los elementos más importantes a controlar o que rangos se deben manejar, para poder obtener estos resultados se realizó un diseño de experimentos (*DOE*) para encontrar que factores influyen de manera fuerte en proceso y cuáles son los rangos a tomar en cuenta para que se mantengan dentro de las capacidades de proceso esperadas. El resultado de este experimento fue determinar como factores altamente significativos a la temperatura y tiempo de sellado, encontrando los siguientes rangos de trabajo para ellos: Temperatura (165°C a 220°C) y tiempo de sellado (25ms a 50ms).

Control estadístico de procesos: Después de obtener los rangos de trabajo para las variables mencionadas, se determinó controlarlas de una manera sistemática usando el control estadístico de procesos (*SPC* por sus siglas en ingles). Se analizaron históricos de pruebas de adherencia (*Peel test*) de 8 meses atrás, se utilizaron las gráficas XR para poder obtener los límites de control para la fuerza de adherencia y el rango de las mediciones. Se agrego y documento el cambio en el proceso del operador, el cual es el responsable de alimentar el CEP, si falla el CEP será responsable de dar de baja la máquina para que sea analizada y reparada.

Kanban de insumos en producción: Dado que anteriormente el operador tenía que tomar el insumo de sus máquinas de un estante, eran comunes situaciones de desabasto y tener que obtenerlo directamente de almacén, así mismo, se daba la situación de material remanente que sería utilizado tiempo después, el cual, debido a un mal resguardo del mismo, terminaba dañándose o contaminado debido a que no se tomaban las medidas correctas de resguardo o sencillamente era olvidado en producción. Se crearon 3 supermercados Kanban los cuales son alimentados por un responsable (líder de línea) y estos contienen acrílico alrededor para proteger de agentes externos de contaminación.

Con anterioridad, la razón para comenzar un análisis más profundo de nuestra situación, parte del hecho del incremento de rechazos que se mantuvieron en la estación de calidad interna, donde se inspeccionan detalles específicos del rollo (leader, tráiler, sellado en todo el rollo, cantidad de piezas, etiquetas de producto, etc.), siendo los rechazos por defectos de sellado los que mayor incremento tuvieron con un 94% con respecto al año fiscal 2016.

Una marcada diferencia se puede notar entre los otros defectos de calidad de un año con respecto al otro; por esta razón, se formó en su tiempo, un equipo de mejora continua para analizar el proceso de sellado y las variables involucradas mediante un diseño de experimentos, donde los resultados mostraron las primeras variables a controlar o que parámetros se deben fijar ya que no eran estadísticamente significativos; en esa ocasión, la variable de salida se fijó en la capacidad del proceso (Cpk) después que se hace la prueba de adherencia; el CPK esperado para este proceso debe ser mayor a 1.7 para que se considere aceptable bajo estándares de la compañía; se determinaron las variables más importantes, que fueron la altura de la cabeza de sellado ("*sealing head heigth*"), la altura del *Anvil* ("*Anvil heigth*") y el tiempo de sellado ("*sealing time*").

A pesar de que los esfuerzos han rendido frutos en la capacidad del proceso para evitar quejas de cliente referentes a mal sellado, nuestro sistema de calidad ha continuado detectando situaciones de mal sellado y muchas de estas causas pueden deberse a situaciones donde el operador no está haciendo el procedimiento establecido para controlar correctamente el proceso en cuestión. Tomando en cuenta que el operador es parte importante de la detección de un mal desempeño del proceso, el recurso humano no ha sido correctamente manejado para mejorar nuestro proceso e incluso, no se había considerado con anterioridad.

Problema.

Como se observa en la Ilustración 7, los rechazos mensuales debido a problemas de sellado comenzando desde el año 2017 (octubre), se puede observar que a raíz del último esfuerzo de mejora (31-Oct-17), existe reducción de eventos con tendencia a la baja, sin embargo, la gráfica muestra un incremento después de febrero de 2018, el cual es un indicador de que no ha sido un esfuerzo suficiente para la eliminación de este defecto:

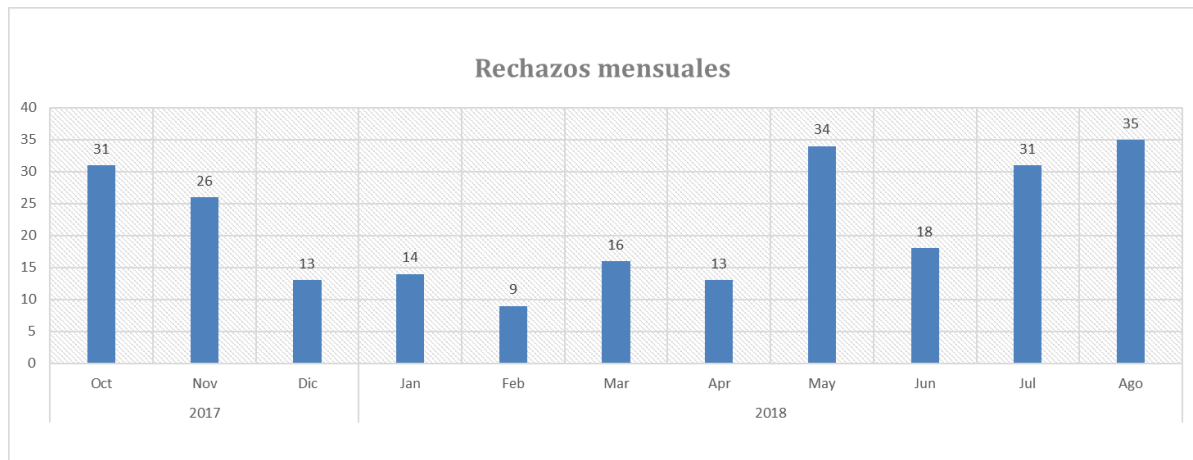


Ilustración 7 - Cantidad de rechazos mensuales de sellado reportados por Calidad.
Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de rechazos de calidad.

Del histórico de eventos, si se separa por tipo de tecnología de sellado, se puede determinar que la tecnología que ha estado en la mayoría de los eventos de rechazo (Ilustración 8), es la HSA (sellado en caliente):

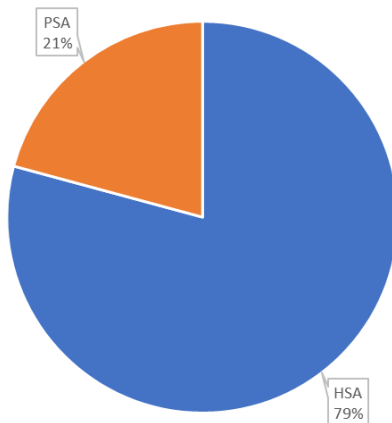


Ilustración 8 - Grafica de pie sobre tipos de sellado en los rechazos de Calidad
Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de rechazos de calidad.

A partir del histórico de rechazos, se podrán obtener las causas con las cuales son registradas, ponderando las causas que mayor frecuencia tienen en aparecer durante la inspección de calidad, se pueden identificar visualmente utilizando la gráfica de Pareto, la cual es mostrada en la Ilustración 9:

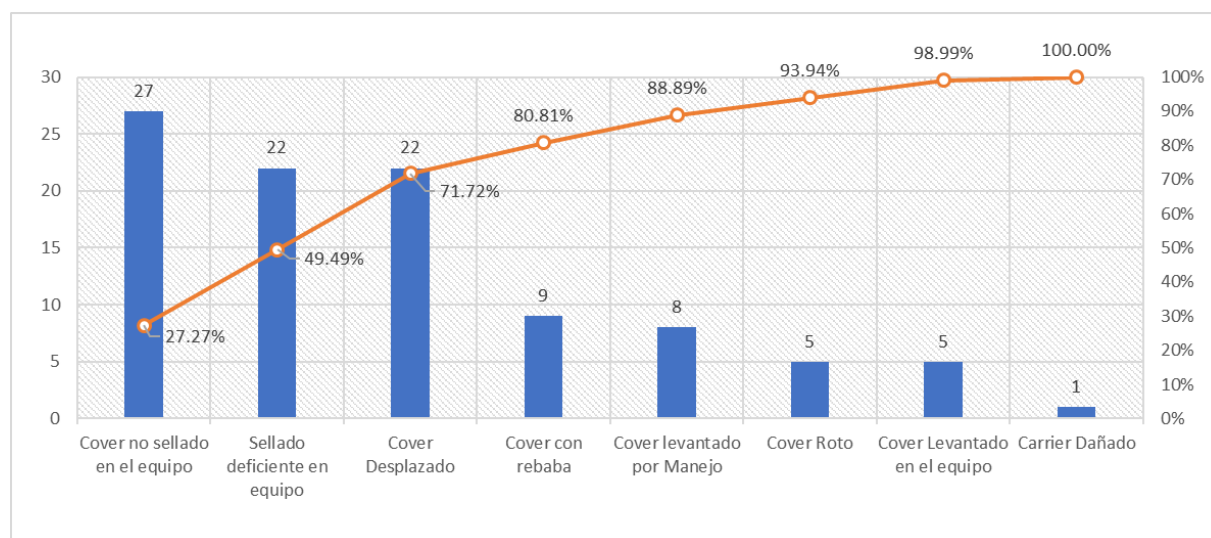


Ilustración 9 - Grafica de Pareto para causas de defecto de sellado
Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de rechazos de calidad.

Finalmente, de acuerdo a los datos de rechazo mensual obtenidos por la estación de calidad previa al empaque en vacío, se comentan las siguientes observaciones:

- El 79% de los rechazos por defectos de sellado se da en materiales con sellado por activación de temperatura.
- Dentro de la categoría de defecto de sellado, al analizar las causantes se puede observar como principales aquellos que están relacionados con el sellado incorrecto del *cover-carrier*.
- La ley de Pareto señala que se deben atacar el 20% de las causas para reducir el 80% de los defectos encontrados, de esta manera se observa cómo el 80.81% de las causas se deben a problemas atribuidos a defectos o variables en la máquina en la sección del sellado.

Con base a los datos mostrados, se determina que la problemática se da en el proceso de sellado de la máquina, el cual, no permite tener un proceso que cumpla con las características de calidad que se buscan, así como la capacidad del proceso mínima esperada. Es necesario entonces, analizar las variables involucradas con las que se pueda controlar nuestro proceso y cumplir las expectativas al cliente final.

Preguntas de la investigación:

Después del análisis de las causas de rechazo, se ha evidenciado que los problemas en el proceso se dan en la parte del sellado, el primer análisis, nos lleva a cuestionar la factibilidad de seguir trabajando de la misma manera o si será necesario hacer un giro a la manera que se trabaja, ya que los resultados que se dan siguen generando una cantidad considerable de errores y el enfoque de mejora continua ha sido el de atacar las variables de la máquina solamente sin considerar el otro factor que puede clasificarse como importante como el operador de la máquina.

- ¿Como mejorar el desempeño y calidad del proceso de sellado, que permita minimizar los riesgos de paro de equipo por el factor humano?

Problemática

Es interesante observar lo poco que se ha hecho para mejorar la interacción del operador y el proceso de sellado, poco también se ha hecho por aprovechar las nuevas tecnologías que permiten a las máquinas automatizarlas y tomar decisiones en base a los datos del proceso en tiempo real, por lo que nos lleva a las siguientes preguntas que necesitan trabajarse para poder obtener una respuesta:

Por lo cual la pregunta general se puede desglosar en la siguiente problemática:

Sin lugar a dudas, se necesita obtener datos al respecto sobre el proceso mismo:

- Estadísticamente hablando, ¿Qué peso tienen las variables de temperatura y tiempo de sellado para el proceso de sellado?
- Observando al proceso de sellado desde una perspectiva holística; en base a sus variables críticas, ¿Puede funcionar como un todo integrado?
- ¿En qué medida se puede mejorar el desempeño de la máquina logrando que esta pueda tomar decisiones en base a la salida del proceso?

Objetivos.

Con base a las preguntas planteadas, este proyecto deberá enfocarse en los siguientes objetivos:

Objetivo general.

- Diseñar un algoritmo de autovalidación para el proceso de sellado, independiente y autónomo del operador, para evitar los problemas de sellado en la máquina.

Objetivos específicos.

Nuestros objetivos específicos serán 3:

1. Validar las variables críticas del proceso encontrando los valores específicos para un proceso en control que cumpla las políticas de calidad de *Skyworks*.
2. Diseñar un algoritmo de aprendizaje autónomo para la validación de parámetros de sellado antes y durante el sellado.
3. Diseñar un sistema que, dependiendo del comportamiento del proceso, determine las acciones necesarias para meter en control el proceso.

Al haber definido los objetivos, fue necesario realizar el plan de trabajo, basado en generar la propuesta para lograr un sistema autónomo de aprendizaje a nivel manufactura, el cual sería la pauta que llevaría al proceso en obtener sistemas embebidos cada vez más adaptados a las tendencias de una manufactura inteligente donde la interacción del ser humano sea mínima o no exista, haciendo uso del internet de las cosas y el procesamiento de datos en tiempo real.

Hipótesis.

En este proyecto se plantea la siguiente hipótesis:

Desarrollar un sistema autónomo que determine en tiempo real, de acuerdo a los estándares de calidad, si el proceso de sellado está cumpliendo; el proceso deberá validar sin el factor humano durante su desempeño, derivando en un aumento de productividad y asegurando una mayor cantidad de tiempo procesando piezas.

Un proceso que dependa del factor humano no está exento de fallas, por lo tanto, existe una probabilidad más alta de lo normal a fallar, ya que un caso omiso de alarmas por parte de la máquina, falta de atención, etc., interfieren en la productividad esperada. La inferencia del proyecto indica que un proceso autorregulado y excluyente del factor humano será más confiable a lo largo del tiempo.

Capítulo 2.

Marco teórico.

Para la realización de este proyecto se hará uso de herramientas estadísticas y análisis de varianza para determinar qué factores son estadísticamente significativos dentro de nuestro proceso, como lo menciona (Goldsmán D., 2015) las observaciones de procesos y sistemas, nos llevan a teorías e hipótesis sobre que hace que le sistema trabaje, pero la experimentación es requerida para demostrar las teorías generadas son correctas. Parte importante de lo que se busca proponer es encontrar la interacción de los factores involucrados y la factibilidad para predecir su resultado en base a los resultados obtenidos durante el desempeño del proceso, por lo que se necesita hacer uso del método de “Regresión lineal” para obtener el modelo matemático de aproximación entre dos o más variables. A raíz de esto, se investigaron esfuerzos similares para predecir procesos en base a las interacciones detectadas y que resultados se obtuvieron al respecto.

Una automatización con control autónomo en ambientes totalmente ajenos al factor humano, como lo menciona (Gokalp, Sener, & Eren, 2017), ya que la industria 4.0 se encuentra en sus primeras fases de desarrollo, es esencialmente importante, definir su estructura y metodología de implementación; como por ejemplo una línea de ensamble automatizada, se puede observar un alto nivel de tecnología representado por brazos robóticos, cámaras de visión, sensores, transportadores automáticos y movimientos planeados, un ensamblaje milimétrico y un ritmo constante de producción, lo que nos puede hacer sentir que el proceso se mueve por sus propios medios y a su ritmo, pero detrás de esa imagen de alta gama tecnológica, se encuentra la mano del operador, la lógica del programador y la supervisión de un equipo que vigila los resultados del ensamblaje del producto.

El ejemplo descrito, de una línea de ensamble automatizada, no es otra idea más que la visión de una planta inteligente y autosuficiente, donde las viejas formas de hacer manufactura evolucionaron al punto de volverse autónomas, sin embargo, la industria ha pasado por

distintas fases de esta idea donde cada vez mejora el nivel e incrementa la expectativa de la mano de nuevos desarrollos en las investigaciones de inteligencia artificial y tecnologías con menos consumo de energía o inalámbricas, creándose una categoría llamada industria 4.0, haciendo alusión a una cuarta revolución industrial. Una rama que se está gestando y desarrollando de manera muy importante dentro de la industria es la referente al aprendizaje autónomo, muy ligado a las primeras fases de la inteligencia artificial, como se menciona en (Brettel, Friederichsen, Keller, & Rosenberg, 2014), dentro de una fábrica inteligente, los productos pueden comunicarse con su alrededor e influenciar en los procesos de producción mediante sistemas de manufactura reconfigurables (*Reconfigurable Manufacturing Systems*), donde algoritmos obtienen lecturas del proceso, analizando patrones o tendencias para medir el proceso en tiempo real, predecir eventos y próximas respuestas del proceso, esta forma de análisis y toma de decisiones debe estar incluida en las máquinas para poder entonces hacer un proceso robusto que se modifica de acuerdo a factores externos que pudieran influir en la calidad de la manufactura del producto.

En la manufactura moderna es común el término OEE en sus siglas en inglés para “*Overall Equipment Effectiveness*”, de acuerdo a (Nasir, Ito, Bani Hashim, & Fauadi, 2018) es un métrico utilizado para reconocer y medir los activos de manufactura individualmente y por su rango de accesibilidad, desempeño y calidad. Para una compañía moderna, el métrico OEE es indispensable cuando se depende en gran medida de fuerza automatizada, es aquí donde entran técnicas para mejorar los tiempos de productividad de las máquinas, como el “Mantenimiento Predictivo”, “*Total Productive Maintenance*” o algunas herramientas basadas en la internet de las cosas para obtener información en tiempo real y detectar próximas fallas o salidas fuera de control para ciertas características de las máquinas, estos análisis son llevados en su mayoría por algoritmos de análisis para cantidades masivas de datos.

Modelos predictivos.

La tecnología del internet de las cosas, está llevando a los procesos industriales a niveles que solo se podían imaginar en años donde la tecnología está bastante avanzada o como

casos de películas de ciencia ficción o situaciones hipotéticas, sin embargo, hoy en día se están llevando a cabo experimentaciones, prototipos y diseño de sistemas autónomos, incluyendo a la inteligencia artificial en el análisis y toma de decisiones de estos procesos. Hoy en día, la llamada minería de datos (*Data mining*), es una rama de la estadística y sistemas computacionales, dedicada a interpretar los datos y descubrir su relación; sin embargo, la información tal cual obtenida de la fuente no debe ser tomada directamente sin haberse analizado, como se menciona en (Balachandran & Rondinelli, 2017), antes de la minería de datos, el preprocesamiento es un paso intermedio que sirve para preparar la información para la minería misma o la construcción del modelo, esto puede ayudarnos a extraer correctamente la información en base a patrones que pueden ser utilizados en su conjunto para transformarlos en otro tipo de estructuras para su uso posterior, normalmente la minería de datos se da en procesos donde el volumen de los mismos es alto y constante; para el proyecto propuesto, se utilizarán técnicas del minado de datos que nos servirán para el propósito descrito.

De acuerdo a (Sittón & Rodríguez, 2018) es necesario determinar patrones para el diseño de modelos que serán capaces de tomar predicciones bastante precisas bajo la base de obtener información de sensores instalados; muchas veces estas entradas están en diferentes formas por lo que una entrada puede ser el resultado de otras variables o una variable física, el modelo predictivo debe estar basado en un modelo matemático donde se contemplen múltiples escenarios y la respuesta sea la misma por más diferente que sean entre ambas. Nuestro sistema contempla verificar entradas físicas que se convierten en respuestas eléctricas.

Simulación de sistemas para eventos discretos.

La simulación, como menciona (Banks J, 2010), es la imitación de un proceso y cómo evoluciona con respecto al tiempo; las aplicaciones de la simulación se están considerando actualmente como necesarias para validar cambios que puedan afectar de gran manera a los sistemas establecidos, entonces, es importante tener consideraciones al momento de aplicar

cambios que impacten en gran medida el desempeño de estos y una gran ayuda puede ser la simulación de sistemas. Para prevenir o visualizar estos cambios, se hace uso de algún software de validación que permiten al usuario entender mejor la implicación de estos cambios.

El software de simulación que actualmente está siendo utilizado por Universidades y/o centro de trabajo es el desarrollado por la empresa Simio LLC, cuyo software homónimo (Simio), está permitiendo a ingenieros y profesionales de distintos campos, explorar la idea de la simulación como parte esencial de un cambio propuesto o para validarlo y justificarlo.

Introducción al proceso de *Tape and Reel*.

A continuación, se describirá la manera en que la industria electrónica de semiconductores y ensambladores, se rige para dar lugar a estándares que se ejecutan en cualquier parte del mundo.

Electronic Industries Alliance, o mejor conocido como EIA, fue una organización compuesta por diferentes industrias del ramo electrónico en los Estados Unidos de América; esta organización se encargó de desarrollar estándares para asegurar que los equipos de diferentes plantas manufacturadas fueran compatibles e intercambiables. Aunque la organización cesó sus operaciones, muchas empresas aún siguen utilizando los estándares creados por la misma (About JEDEC, 2018).

Aunque la organización EIA cesó, muchos de sus sectores se dividieron en otras organizaciones que aún mantienen los estándares que se lograron, una de estas organizaciones es JEDEC, o mejor conocido en inglés como “*Solid State Technology Association*”, nombre completo de la asociación independiente de ingeniería para la estandarización de los aspectos involucrados en la manufactura de semiconductores en el mundo; desde su formalización oficial como órgano en 1999, donde además de regular y

estandarizar métodos y formas, también está encargado de estandarizar números de parte para determinadas familias o paquetes conocidos en la industria electrónica, donde actualmente, dichos esfuerzos han logrado una unificación de las maneras básicas de conocer un componente electrónico, hasta la manera en que una fábrica dedicada a la manufactura de semiconductores debe funcionar.

El estándar aceptado por JEDEC para el empaquetado en rollos (Tape and Reel) de los componentes electrónicos es el EIA-481-1,-2 y -3, dicho estándar es una herencia del anterior organismo del cual procede (EIA). Dicho estándar menciona como debe estar constituido un rollo en cuanto a dimensiones, así como materiales de los “Carrier-cover”, así como medidas de calidad mínimas y algunos otros parámetros que tienen que cumplir los proveedores.

Los estándares JEDEC, promueven una estandarización de los métodos, materiales y demás parámetros importantes, sin embargo, la organización en si misma promueva la libre adopción de estándares siempre y cuando puedan ser cedidos los derechos para libre uso (About JEDEC, 2018).

Para el caso de Tape and Reel, se busca regular la manera en que será recibido determinado producto; el estándar menciona cuales son las reglas a seguir con respecto a cada parte del proceso, así como los insumos, cantidades y espacios vacíos que se pueden permitir dentro de un rollo, se muestra una imagen descriptiva en la Ilustración 10 sobre las características del rollo.

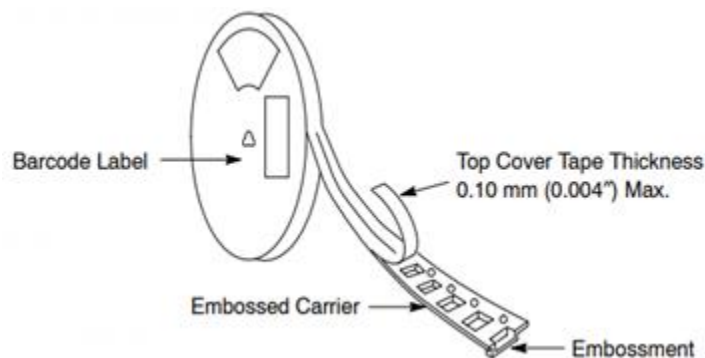


Ilustración 10 - imagen de las partes que componen un rollo de material.

Fuente: Recuperado de (JEDEC, 2000)

Carrier tape.

Se muestran a continuación los parámetros básicos de contorno y dimensión del *carrier*. Típicamente, él *carrier* se construye a partir de una película de poliestireno (PS) o laminado de PS. El espesor uniforme de la película es de 0.2 mm a 0.4 mm, dependiendo del tamaño y peso del componente transportado por la cinta. Se muestra en la Ilustración 11 un ejemplo de las dimensiones críticas del *Carrier*.

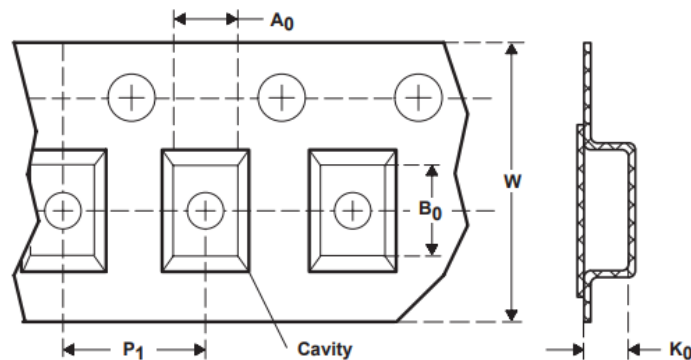


Ilustración 11 - Medidas básicas para un Carrier
Fuente: Recuperado de (JEDEC, 2000)

El diseño de la cinta se define en gran medida por la longitud, el ancho y el grosor del componente. Las siguientes dimensiones de componentes son la base de las variables comunes de dimensión en la industria para los *Carrier tape*:

A_0 = Dimensión diseñada para acomodar el ancho del componente

B_0 = Dimensión diseñada para acomodar la longitud del componente

K_0 = Dimensión diseñada para acomodar el espesor del componente.

W = Ancho total de la cinta de soporte. Esto debe cumplir con los estándares aceptados de la industria (8/12/16/24/32/44/56 mm).

P_1 = Espacio entre centros de cavidades sucesivas. Esta dimensión debe ajustarse a los estándares de la industria (incrementos de 4 mm).

Cover tape.

Por lo general, el *cover* es una película de PET o laminado de película, con adhesivo aplicado a la parte inferior de la película. La mayoría de las aplicaciones utilizan un adhesivo sensible al calor y a la presión para garantizar un resultado positivo, sello consistente a la cinta de soporte. El espesor de la película, incluido el adhesivo, debe de ser 50 μm a 65 μm .

Orientación de las piezas en el Carrier tape.

La orientación de los componentes en la cavidad de la cinta portadora se rige por EIA-783, que establece las siguientes reglas de orientación, secuencialmente, hasta que no sea posible otra variación:

1. El eje más grande del perfil del componente debe ser perpendicular a la longitud de la cinta.
2. El borde del paquete que contiene el pin1 de orientación, se orientará hacia los orificios de los *sprocket* redondos.
3. Para los componentes donde la regla 1 y 2 no se puede cumplir, se establece una orientación única, donde el pin1 estará en el cuadrante 1.

A continuación, se muestran orientaciones típicas de los componentes en la Ilustración 12:

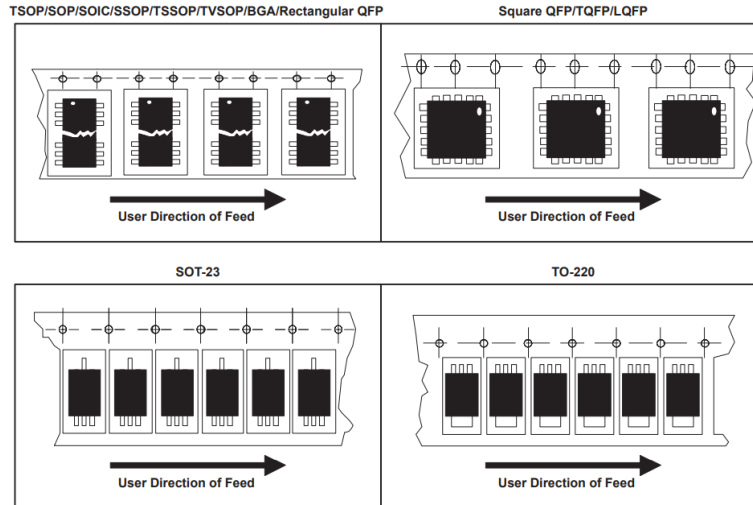


Ilustración 12 - Dibujos sobre ejemplos de orientaciones típicas por tipo de material
Fuente: Recuperado por (JEDEC, 2000)

La estandarización en las orientaciones de los componentes, se consideran de suma importancia para el cliente, ya que las máquinas de SMT están automatizadas para buscar posiciones, en casos donde no coincida la orientación, pueden haber paro de línea. Esto se considera un elemento a controlar por calidad.

Carretes (*reel*).

Los carretes que contienen la cinta de soporte sellada son de poliestireno (PS). Los carretes pueden tener una, dos o tres partes. Por lo general, es azul, pero otros colores son aceptables, también es aceptable que los carretes sean reciclables. Los clientes pueden recibir carretes nuevos o reciclados y es totalmente válido por el estándar internacional. En todos los casos, los carretes reciclados deben cumplir con las especificaciones de dibujo dentro de los estándares EIA-481-1, EIA-481-2 y EIA-481-3, un ejemplo de las dimensiones críticas de los carretes, es mostrado en la Ilustración 13:

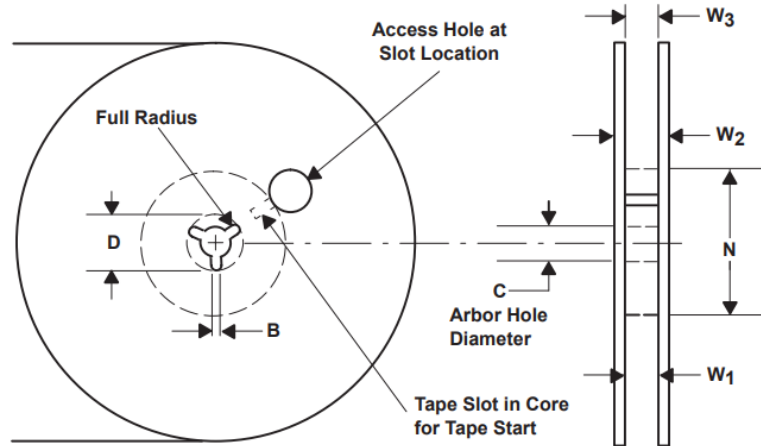


Ilustración 13 - Dimensiones estándar para rollos
Fuente: Recuperado de (JEDEC, 2000)

Sensibilidad a la humedad y sellado en seco.

Es conocido que los paquetes de plástico de los CI absorben la humedad del entorno circundante. Esta es una característica típica de los materiales utilizados en la construcción de paquetes de plástico. Si un paquete es sensible a la humedad (nivel 2 o superior), debe estar empaquetado en seco, normalmente, en este proceso los paquetes se hornean durante 24 horas a $125^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$. El tiempo de horneado puede variar según el tipo de paquete, por lo que después de hornear los paquetes para reducir la humedad a un nivel que no exceda el 0.05% en peso, las unidades se colocan en una bolsa resistente a la humedad, junto con un desecante, para mantener la humedad dentro de la bolsa a un nivel $<20\%$ (humedad relativa). Cada producto está etiquetado como sensible a la humedad, indicando las precauciones necesarias para el manejo del producto.

Parte de este estándar en el sellado en seco, involucra estandarizar también, la manera en que se acomoda la tira de *Carrier tape* en el rollo, ya que durante envío puede deshacerse el acomodo, por lo que este considera el uso de *Masking tape* y corbatas para mantener las posiciones de acomodo.

Método de embalaje típico

El método típico de embalaje requiere los siguientes materiales:

- Tubos de envío, charolas, cintas y carretes (*tape and reel*).
- Desecante
- Bolsa de barrera a la humedad
- Etiquetas de identificación sensible a la humedad (MSID)
- Etiqueta de precaución de paquete sensible a cargas electrostáticas
- Tarjeta de indicador de humedad

A continuación, en la Ilustración 14, se muestra una imagen de un equipo habilitado con la opción de *Tape and Reel*, además de tener la capacidad de prueba eléctrica de los materiales:



**Ilustración 14 - Máquina manejadora tipo bowlfeeder para rollo.
Fuente: Recuperado de (SRM Integration, 2018)**

Normalmente en los equipos de *Tape and Reel* pueden o no ser incluida la capacidad de prueba eléctrica, pero por cuestiones de desempeño o flexibilidad para poder obtener incrementos en las salidas de piezas por hora; los equipos estándar están ahora acompañados de adecuaciones que los hacen mucho más rápidos.

El estándar JEDEC mencionado, también toma en cuenta lo que se le conoce como *Leader* y *Trailer*, que no son más que espacios vacíos al inicio y final del rollo, estos espacios dependen de las cantidades de piezas en los rollos. El estándar considera las siguientes reglas, las cuales se muestran en la Ilustración 15:

- *Trailer* mínimo de 160 mm de longitud (cavidades vacías).
- *Leader* mínimo de 400 mm de longitud (cavidades vacías).

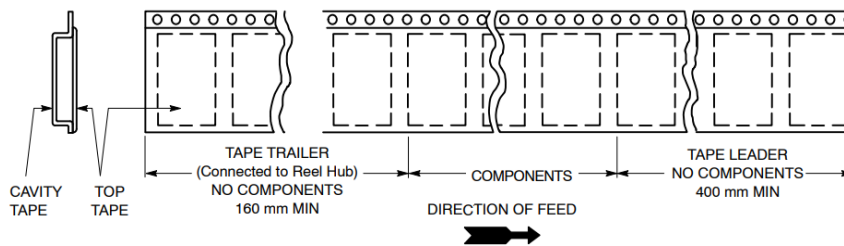


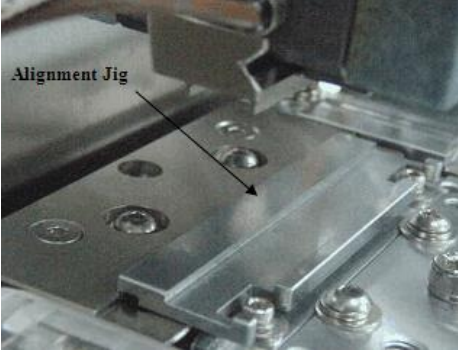

Ilustración 15 - Ejemplos grafico de Leader y Trailer
Fuentes: Recuperado de (JEDEC, 2000)

Análisis detallado del proceso de sellado.

Para poder visualizar y entender mejor la interacción de las partes involucradas en el proceso de sellado, se dividirá en 3 partes descritas a continuación en la tabla1:

Tabla 1 - Tabla que describe los elementos mecánicos de la cabeza de sellado.

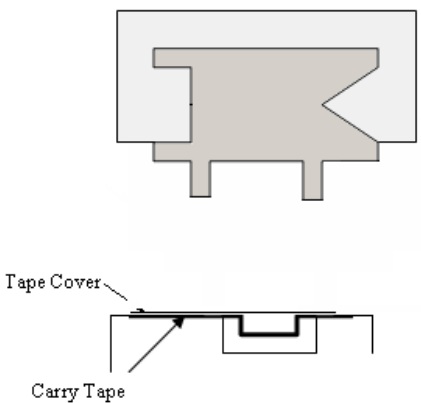
Nombre	Imagen
Cabeza de sellado	<p>La imagen muestra una parte mecánica de la cabeza de sellado con una tuerca de ajuste etiquetada como 'Set Screw'.</p>

Herramienta de alineación	
Anvil o elemento de suspensión	

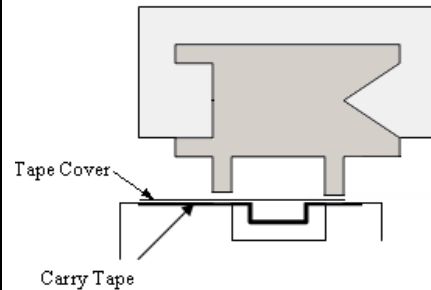
Fuente: Datos obtenidos de las instrucciones de trabajo para reparar cabeza de sellado.

Se muestra en la tabla 2 la cual divide el proceso en 2 momentos en el tiempo, donde la interacción de las 3 partes descritas, nos dará el resultado del sellado.

Tabla 2 - Tabla de proceso de sellado

Evento/Posición	Imagen
<p>1- La cabeza de sellado se encuentra a una distancia donde no puede tocar al <i>cover</i> y <i>carrier</i>. Existe temperatura en la cabeza de sellado y está esperando a que las piezas estén acomodadas en el <i>carrier</i>.</p>	

2- Una vez lleno el *carrier* de piezas, la cabeza baja y para sellar en ambos extremos del *carrier*, la cabeza hará contacto ejerciéndose presión hacia arriba, abajo y temperatura sobre el *carrier* y *cover*.



Fuente: Recuperado de (SRM Integration, 2014)

Una vez que se ha completado este proceso de sellado, será necesario validar que se realizó de manera correcta; al día de hoy, se realiza una prueba de adherencia (*Peel test*) de la siguiente manera:

- 1- El operador tomara una muestra de 2 tiras de aproximadamente 24 pulgadas de largo.
- 2- Utilizando la forma de identificación del lote (papeleta) y la hoja de especificaciones del número de parte, introduce los datos para relacionar los resultados de la prueba con el insumo, numero de parte y máquina.
- 3- Realiza la prueba de adherencia colocando la tira en la máquina y midiendo la fuerza de pelaje del *cover* contra el *Carrier* (ver Ilustración 16):



**Ilustración 16 - Proceso de verificación de adherencia en rollos.
Fuente: Imagen de creación propia.**

- 4- Finalmente, el sistema de CEP, mostrara si la prueba obtuvo un resultado Aceptable o Rechazable.
- 5- El operador deberá regresar a su equipo y continuar operado si el resultado es Aceptado.
- 6- El operador deberá parar equipo y llamar al responsable de mantenimiento para que verifique y si es necesario, arreglar el problema detectado.

Capítulo 3.

Metodología.

Para este proyecto, se utilizó la técnica de análisis de variación llamada ANOVA, con la intención de analizar la interacción entre las tres variables a monitorear y la respuesta esperada. Esto nos dio la certeza estadística que se necesita para continuar con el proyecto; finalmente se utilizó el análisis de Regresión para determinar los valores ideales de nuestras variables seleccionadas y así obtener la ecuación de regresión que servirá para obtener resultados predictivos, una vez obtenidos, se generó el algoritmo de análisis para el sistema de aprendizaje autónomo.

Para realizar este experimento, fue necesario tomar una manejadora *bowlfeeder* fuera de producción y junto con personal de mantenimiento de manejadoras se hicieron las corridas utilizando las condiciones descritas abajo a continuación:

- Se calibro el *Anvil* con 4 presiones diferentes:
 - 3.5kgf, 4.3kgf, 5.5kgf y 6.5kgf
- Se utilizaron 2 variables de temperatura:
 - 165°C y 200°C
- Se utilizaron 2 variables de tiempo de sellado:
 - 25ms y 50ms

Además, fue necesario manejar ciertos parámetros como fijos en la máquina a considerar en el experimento:

- 1mm de espacio entre la cabeza de sellado y el Carrier.
- Se utilizará el *carrier*: GP01-D232-626A*
- Se utilizará el *cover*: GP01-D232-371A*
- Las muestras serán 70 tiras selladas de 12 pulgadas
- La variable de salida a monitorear será la media de la fuerza de adherencia (kgf).

Procedimiento del experimento.

- 1- Se procede a calibrar los *Anvil* en las medidas de presión mencionadas.
- 2- Es seleccionada una manejadora SRM para realizar los ajustes de inicio de producción para poder procesar el *carrier* y *cover* seleccionados para el experimento.
- 3- Se inicia con una combinación de *Anvil* (presión), temperatura y tiempo de sellado.
- 4- Se generarán 10 tiras selladas con la combinación seleccionada.
- 5- Generadas e identificadas, serán verificadas mediante una prueba de adherencia para obtener la media de cada tira en Kgf.
- 6- El resultado de la fuerza de adherencia se registra de acuerdo a la combinación.
- 7- Se analizarán los datos mediante el método estadístico ANOVA.
- 8- Se determinarán las variables estadísticamente más significativas en base el *P value* que arroje el análisis.
- 9- Una vez confirmado el peso estadístico de las variables, se utilizará el análisis de Regresión para obtener la ecuación predictiva.
- 10-Generada esta ecuación, se validan resultados para verificar su confiabilidad.
- 11-La ecuación se usará como base para crear el algoritmo de aprendizaje autónomo.
- 12-Una vez creado el algoritmo, será validada la mejora del algoritmo usando un software de simulación.

Datos al final del experimento.

Al final, se obtendrá una tabla ANOVA donde se observará la relevancia estadística en base al métrico *P value*, el cual determinará el peso de cada variable en el desempeño del proceso; usando el método de regresión para obtener la ecuación de predicción, esta será la base para nuestro modelo de algoritmo. Además, se deberán obtener las gráficas de interacción y efectos en las variables principales; todos estos datos serán generados usando el programa de análisis estadístico Minitab, así como las gráficas mencionadas. Finalmente, con los datos, se obtendrán los datos resultado de la ecuación de regresión, esto permitirá tener una base para el sistema predictivo, será generado un diagrama de flujo del algoritmo de validación que deberá desarrollarse para las máquinas, donde se refleje la validación y aprendizaje

autónomo, así como las salidas dependiendo del resultado del análisis, llamando así al responsable del cual la máquina necesite interacción.

Plan de trabajo.

A continuación, en la tabla 3 se presenta el cronograma de actividades generales y específicas que se tienen proyectadas para nuestro proyecto:

Tabla 3 - Actividades generales

Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin
Inicio de proyecto	35.33 días?	mié 10/24/18	mar 12/18/18
Requerimiento de recursos	2 días	mié 10/24/18	vie 10/26/18
Preparacion de manejadora	4.44 días	lun 10/29/18	vie 11/2/18
Calibracion de Anvil	0.89 días	lun 10/29/18	lun 10/29/18
Obtener insumos de almacen	2.67 días	lun 10/29/18	mié 10/31/18
Instalación de insumos	1.78 días	jue 11/1/18	vie 11/2/18
Configuracion de parametros	0.89 días	vie 11/2/18	vie 11/2/18
Experimento	0.56 días	vie 11/2/18	vie 11/2/18
Generacion de combinaciones:	5 horas	vie 11/2/18	vie 11/2/18
Generacion de tiras (10)	2 horas	vie 11/2/18	vie 11/2/18
Pruebas de adherencia	2 horas	vie 11/2/18	vie 11/2/18
Analisis de datos	17.89 días?	lun 11/5/18	lun 12/3/18
ANOVA	3 horas	lun 11/5/18	lun 11/5/18
Analisis de regresión	3 horas	lun 11/5/18	lun 11/5/18
Validacion de analisis	0.89 días	mar 11/6/18	mar 11/6/18
Generacion de Algoritmo	2 sem.	mié 11/7/18	jue 11/22/18
Validacion de algoritmo	1 sem	jue 11/22/18	jue 11/29/18
Simulacion de algoritmo	1 día?	vie 11/30/18	lun 12/3/18
Documentacion de mejora	10.33 días	lun 12/3/18	mar 12/18/18
Presentacion de datos	5.5 días	lun 12/3/18	mar 12/11/18
Documentacion de resultados	4.83 días	mar 12/11/18	mar 12/18/18

Fuente: Tabla de actividades en MS Project

Los responsables para la realización de las actividades más importantes involucran al ingeniero de mantenimiento y al ingeniero de procesos para la realización de los experimentos. Se muestra en la Ilustración 17, el diagrama de Gantt de las actividades:

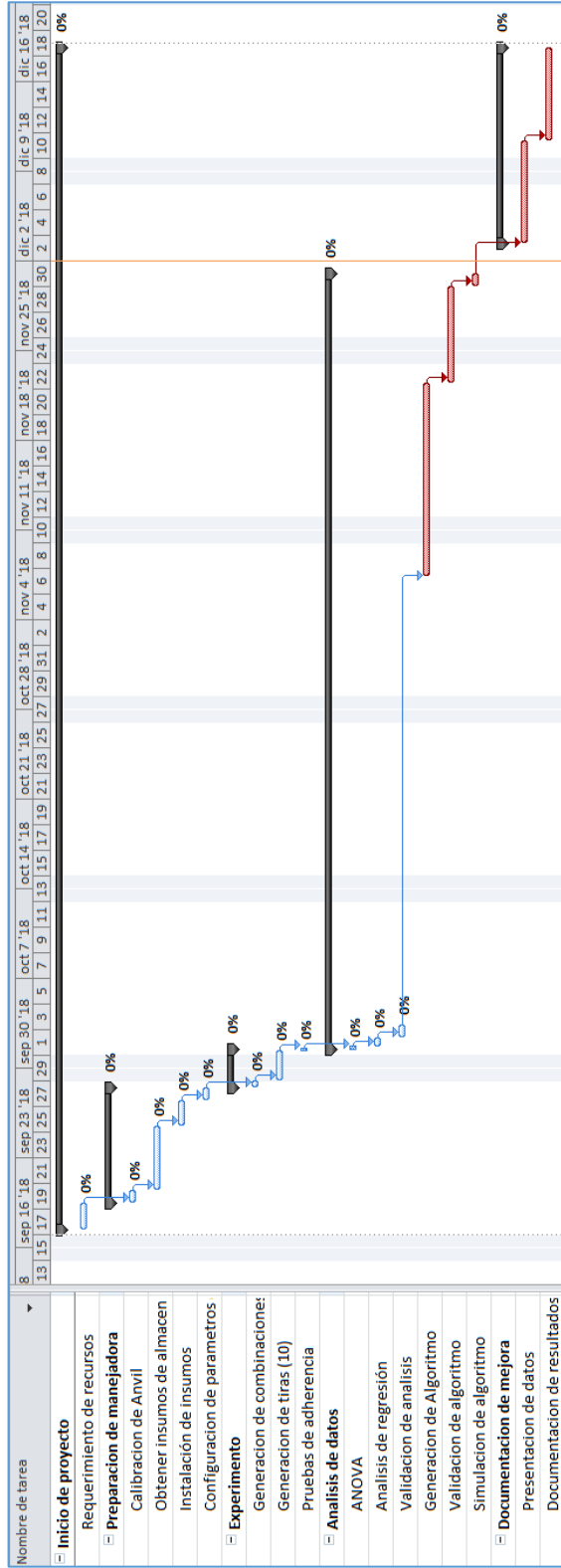


Ilustración 177 - Diagrama de Gantt de actividades específicas
Fuente: Imagen obtenida de MS Project

Capítulo 4.

En esta sección se presentan resultados de los experimentos y su análisis, cuyo objetivo es demostrar que un sistema autónomo puede aumentar la calidad y productividad de una manejadora. Los resultados fueron divididos en 3 fases: Fase 1: Confirmación de parámetros críticos para el proceso de sellado, Fase 2: Creación del algoritmo de validación autónomo y Fase 3: Simulación del resultado esperado en ambiente de producción.

Fase 1: Confirmación de parámetros críticos para el proceso de sellado.

De acuerdo a las preguntas de investigación obtenidas, se realizó un experimento basado en las siguientes condiciones para poder encontrar las variables significativas estadísticamente del proceso, las cuales se muestran en la tabla 4.

Tabla 4 - Parámetros a utilizar para el experimento de sellado.

Factor	U. Medida	Valores
Presion	Kgf	3.5
		4.3
		5.5
		6.5
Temperatura	°C	165
		200
Tiempo de sellado	ms	25
		50

Fuente: Datos obtenidos de los experimentos realizados.

Se realizaron 10 tiras de *Carrier* sellado con su *cover* para cada combinación, con un total de 70 muestras obtenidas, a las cuales se llevaron a hacer la prueba de adherencia para obtener los resultados y obtener así su fuerza de pelaje. Después de correr el experimento, se introdujeron los datos obtenidos en el programa de análisis estadístico Minitab para realizar el análisis; como se describe a continuación:

- 1- Se establecen los factores para el análisis ANOVA:

Factor Information

Factor Information

Factor	Type	Levels	Values
Pressure	Fixed	4	3.5, 4.3, 5.5, 6.5
Temperature	Fixed	2	165, 200
Sealing Time	Fixed	2	25, 50

- 2- Se procede a introducir los datos en Minitab, para obtener la tabla ANOVA; haciendo uso de la herramienta estadística para prueba de Hipótesis, se establece la hipótesis nula como: No existe diferencia estadística en la interacción de los factores:

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Pressure	3	3703.8	1234.6	183.32	0.000
Temperature	1	12701.9	12701.9	1886.07	0.000
Sealing Time	1	3484.3	3484.3	517.38	0.000
Pressure*Temperature	3	142.0	47.3	7.03	0.000
Temperature*Sealing Time	1	70.4	70.4	10.45	0.002
Error	59	397.3	6.7		
Lack-of-Fit	4	15.6	3.9	0.56	0.690
Pure Error	55	381.7	6.9		
Total	68	20947.8			

3-

- 4- Un primer análisis arroja una fuerte interacción de los factores por separado en el modelo, así como la interacción entre los pares, sin embargo, no así en la interacción de los 3 factores por lo que tabla ANOVA solo muestra las interacciones más fuertes estadísticamente hablando. De esta forma tomando en cuenta el valor significativo de *P value*, se rechaza la hipótesis nula y se establece que hay diferencias estadísticas entre las medias.
- 5- Por la cantidad de repeticiones del experimento, se asegura la confianza estadística para determinar un correcto análisis.

El siguiente paso en el experimento fue obtener la ecuación de regresión para modelar la interacción de los factores, descrita a continuación:

- 1- La tabla ANOVA muestra las interacciones estadísticas para descartar combinaciones o factores:

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	6	20351.4	3391.90	352.64	0.000
Pressure	1	3.9	3.86	0.40	0.529
Temperature	1	51.2	51.24	5.33	0.024
Sealing Time	1	6.5	6.50	0.68	0.414
Pressure*Temperature	1	84.2	84.24	8.76	0.004
Pressure*Sealing Time	1	27.2	27.24	2.83	0.097
Temperature*Sealing Time	1	118.7	118.67	12.34	0.001
Error	62	596.3	9.62		
Lack-of-Fit	7	214.7	30.66	4.42	0.001
Pure Error	55	381.7	6.94		
Total	68	20947.8			

- 2- Se establece con base al valor *P value*, que las interacciones más fuertes se dan entre la presión-temperatura y presión-tiempo de sellado.

- 3- El análisis arroja entonces, la ecuación de regresión que describe la interacción entre los factores y determinara la salida esperada de fuerza de pelaje.

Regression Equation

$$\text{Mean kgf} = -50.2 - 2.51 \text{ Pressure} + 0.305 \text{ Temperature} - 0.294 \text{ Sealing Time} \\ + 0.0618 \text{ Pressure*Temperature} - 0.0547 \text{ Pressure*Sealing Time} \\ + 0.00625 \text{ Temperature*Sealing Time}$$

Después de estos resultados, se confirmó que los parámetros de temperatura y tiempo de sellado si son determinantes, además, la presión del *Anvil* también es considerada estadísticamente significativa para el resultado de la fuerza de adherencia como una variable crítica del proceso, la cual no estaba considerada con anterioridad.

Fase 2: Creación del algoritmo de validación autónomo.

La lógica que se desarrolló se centró en una serie de pasos considerando los elementos de entrada mediante CEP, siendo los resultados de Temperatura, Tiempo de sellado y Presión. Además, el algoritmo debe calcular el resultado de la combinación de los 3 factores para

determinar la fuerza de sellado, donde se podrá observar en tiempo real como se valida el sellado y no esperar la intervención del operador; el algoritmo deberá también analizar y predecir posibles puntos fuera de control en el futuro, por lo que se incluyó la toma de decisiones en base a patrones.

El resultado fue eliminar la interacción humana casi en su totalidad, buscando solamente su intervención al inicio del proceso (por medio de un técnico de mantenimiento) para validar que los resultados obtenidos por el algoritmo sean correctos y de esta manera iniciar la validación para producción masiva.

La lógica del algoritmo es obtener las lecturas de la temperatura, tiempo de sellado y presión del *Anvil*, una vez guardadas en variables estas serán almacenadas en una base de datos dedicada donde se guardarán todos los registros históricos previos, siendo de esta manera la forma en que el algoritmo obtendrá las estadísticas descriptivas de cada variable para obtener las graficas de control donde se graficaran contra los limites de control de cada variable. Una vez obtenida las estadísticas descriptivas estas pasaran a ser validadas para saber si cumplen o caen en los casos donde no existe medición, siendo que para cada caso se creo un caso con los pasos para modificar los parámetros conforme a la medición o llamar a un técnico de mantenimiento; una vez validadas las variables de entrada del proceso, el siguiente paso será validar la fuerza de adherencia que estas generan conforme a la ecuación de regresión obtenida en la fase 1, si cumple conforme al Control Estadístico de Procesos, se guardara la variable en la base de datos y el resultado de esta validación se mostrara en pantalla (*Pass/Fail*) para una posterior auditoria de calidad.

El resultado final debe ser que tanto las variables de entrada como de salida, sean validadas conforme al CEP para que se garantice la calidad del proceso. Se muestra en la Ilustración 18 la lógica que seguirá el algoritmo utilizando un diagrama de flujo para su interpretación:

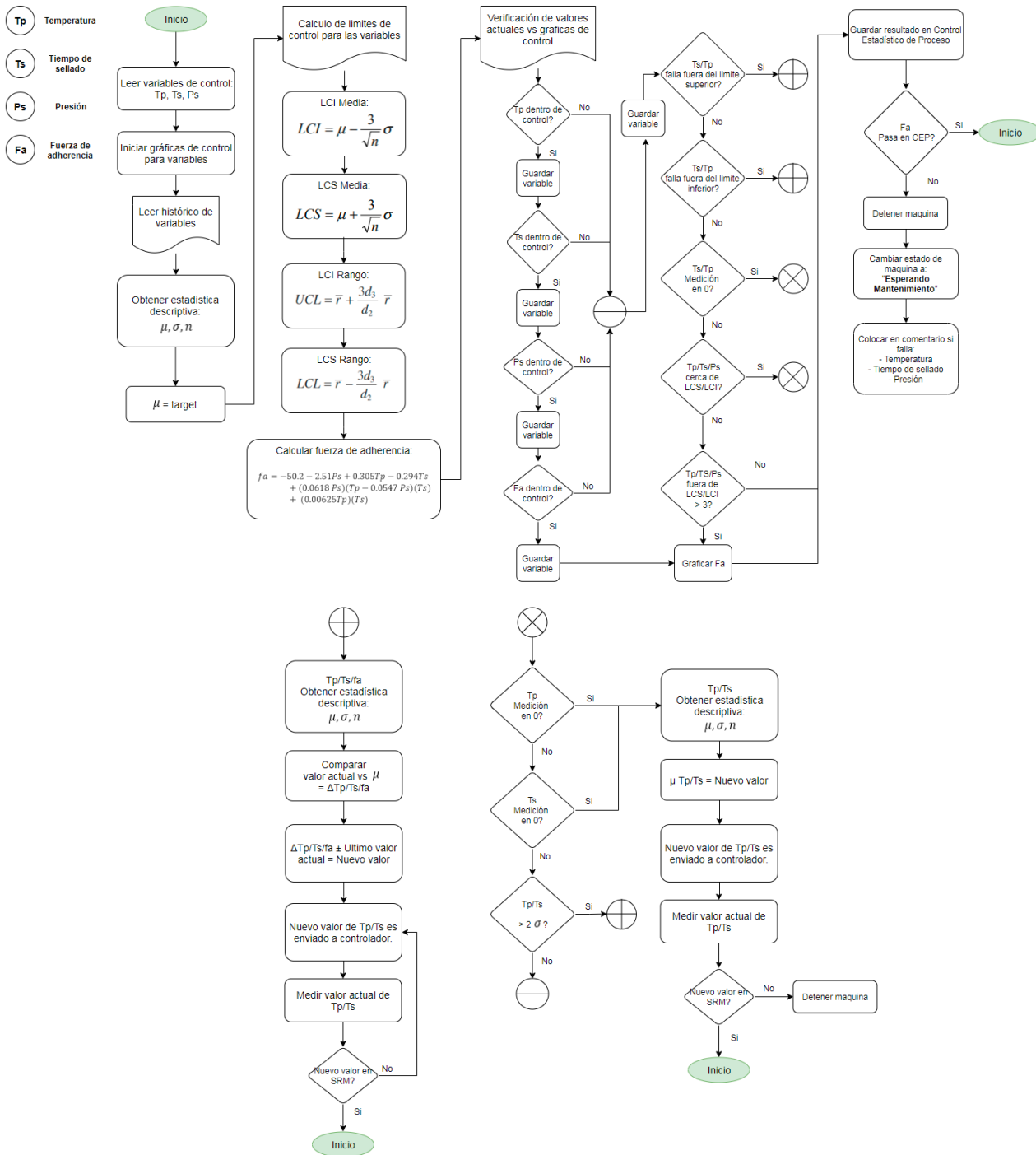


Ilustración 18 - Diagrama de flujo para algoritmo de autovalidación.
Fuente: Imagen de creación propia.

Fase 3: Simulación del resultado esperado en ambiente de producción.

Para la validación del algoritmo, se explicarán las ventajas esperadas para determinar la productividad de un proceso, ya que como se menciona en (Changyu, Xiaorong, & Quian, 2005) el uso de una metodología de simulación puede ser usada para optimizar las salidas del proceso en cuestión, además que resulta mucho más económico.

Una de las bases para el proyecto considera que un proceso de sellado deficiente genera rechazos de material, el cual se convierte en material de retrabajo y se invertirán horas hombre y máquina para recuperarlas. Los métricos de material rechazado en la estación de calidad 880 fueron obtenidos para calcular el tiempo de retrabajo de números de parte en rollos rechazados, donde los defectos de sellados son la razón del rechazo.

Durante el procesamiento de un lote en máquina, el operador deberá realizar ciertas acciones de control y/o calidad antes, durante y después del procesamiento en máquina, por lo que una de esas actividades es la validación del sellado, con una frecuencia de por lo menos 2 veces (1 vez por turno) en 24 horas; el tiempo invertido cuando el operador se dirige a verificar que el sellado se ha hecho correctamente en la probadora de adherencia (“*Peel tester*”), se traducen en paros de máquina, también, una mala práctica puede ser no parar máquina pero si el sellado es rechazado, el material es detenido en su procesamiento (paro de máquina) y se da de baja en espera de la verificación de mantenimiento. A continuación, se muestra la tabla de segundos perdidos por el retrabajo y paros de máquina que afectan el OEE (ver tabla 5) de manera mensual y anual considerando los aspectos mencionados:

Tabla 5 - Tabla de segundos perdidos

	Segundos Perdidos
Retrabajo Mensual	406,113
Retrabajo Anual	4,846,725
Operador Mensual	1,230,494
Operador Anual	14,765,930
Total Anual	19,612,655

Fuente: Datos obtenidos de los rechazos de calidad.

Para comprender las actividades del operador antes, durante y después del procesamiento, estas actividades son mostradas en un diagrama de flujo con la lógica que debe seguirse durante el procesamiento, como se muestra en la Ilustración 19; se consideraron las actividades donde el técnico de mantenimiento y el operador interactúan con la máquina o esta actividad retrasa o influye en el procesamiento del lote, las figuras que identifican el rol y que actividades que son realizadas por cada uno, se presentaron en color naranja para mantenimiento y azul para el operador:

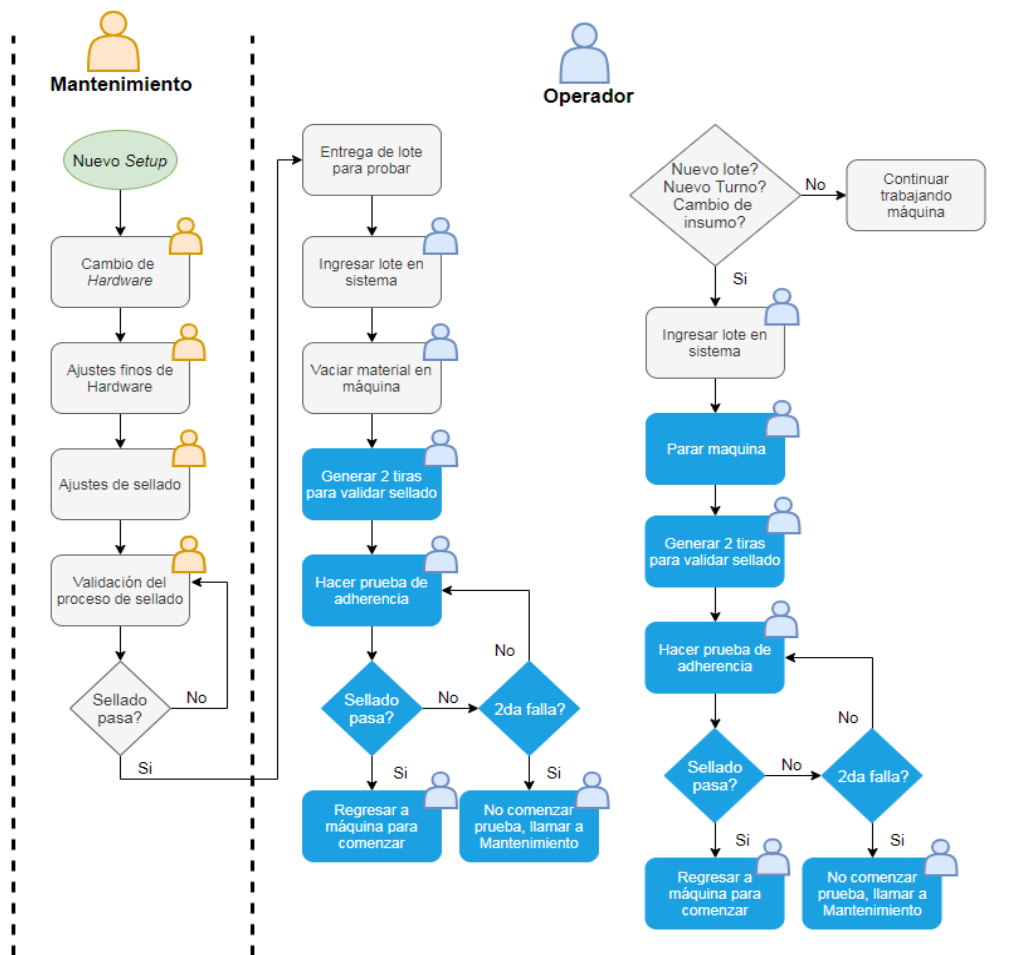


Ilustración 19 – Diagrama de actividades (operador y técnico de mantenimiento).
Fuente: Imagen de creación propia.

Se aprecian en las actividades, una importante presencia del factor humano dentro del procesamiento del lote y el proceso de sellado; las actividades cuyo tono resalta de las demás actividades durante el procesamiento por él operador, son aquellas que se pueden reducir con el proyecto de autovalidación.

A continuación, se muestra en la Ilustración 20 los pasos que seguirá el algoritmo para validar el proceso de sellado y cómo será la interacción que tendrá con el técnico de mantenimiento cuando se detecte un problema:

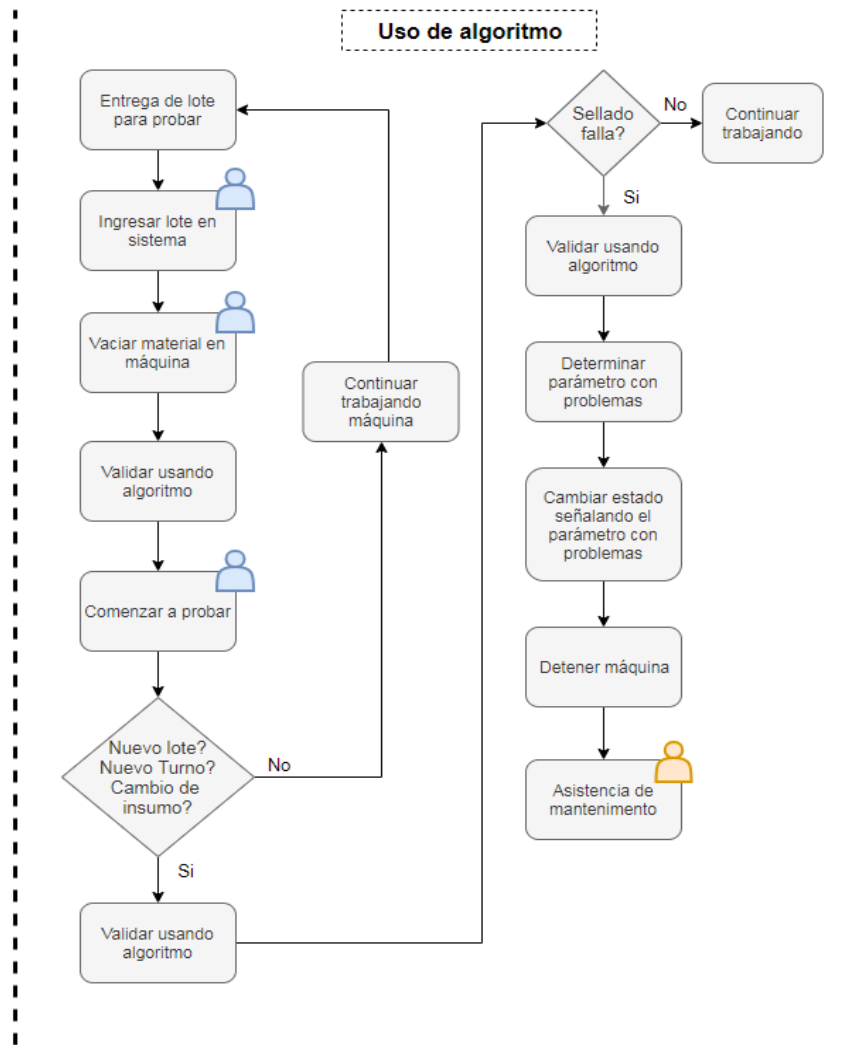


Ilustración 20 – Diagrama de interacción para algoritmo.
Fuente: Imagen de creación propia.

La lógica a seguir será, no parar máquina a menos que sea necesario hacerlo para algún parámetro imposible de cambiar desde el algoritmo mismo (interfaz con máquina).

Planteadas las actividades a eliminar para reducir la interacción humana, se establecen los siguientes parámetros y condiciones a considerar en la simulación que se creara utilizando el programa para eventos discretos Simio:

- 1- Para obtener el tiempo de duración de las actividades que tiene que realizar por cada lote, se tomó el tiempo por actividad a una muestra de 18 operadores considerando un error del 5% para una población de 60. Después de analizar el tiempo promedio para las actividades por cada lote, se obtuvo un tiempo de procesamiento de 38 a 40 minutos.
- 2- Dentro de la toma de tiempos para la muestra de 18 operadores, se considera un promedio de 21 minutos para realizar las actividades referentes a la prueba de adherencia como se describió en el capítulo 2, sección de análisis detallado del proceso de sellado. Por lo tanto, si el algoritmo eliminara estas actividades, el tiempo del operador para el proceso implementado, deberá ser sin considerar estos 21 minutos.
- 3- Bajo condiciones observadas de productividad para las máquinas, se tomó como tiempo efectivo promedio de productividad de una máquina *Bowlfeeder* el porcentaje de 71.4% de OEE.
- 4- Para las variables humanas, también se consideraron los descansos de comida, baño y otros tiempos perdidos al finalizar o comenzar turno, esto incluyo los turnos nocturnos por igual.
- 5- Para validar en una ambiente producción la capacidad de la máquina y la interacción con el operador, se tiene que incluir una mezcla de 5 números de parte con tiempo de procesamiento distintos y tamaños de lote diferente, se consideraron aquellos con grandes volúmenes para crear una simulación lo más cercana posible al actual, como se muestra en la Ilustración 21, donde se presentan las distribuciones para los tiempos de entrega de los lotes a producción desde el almacén de material no probado:

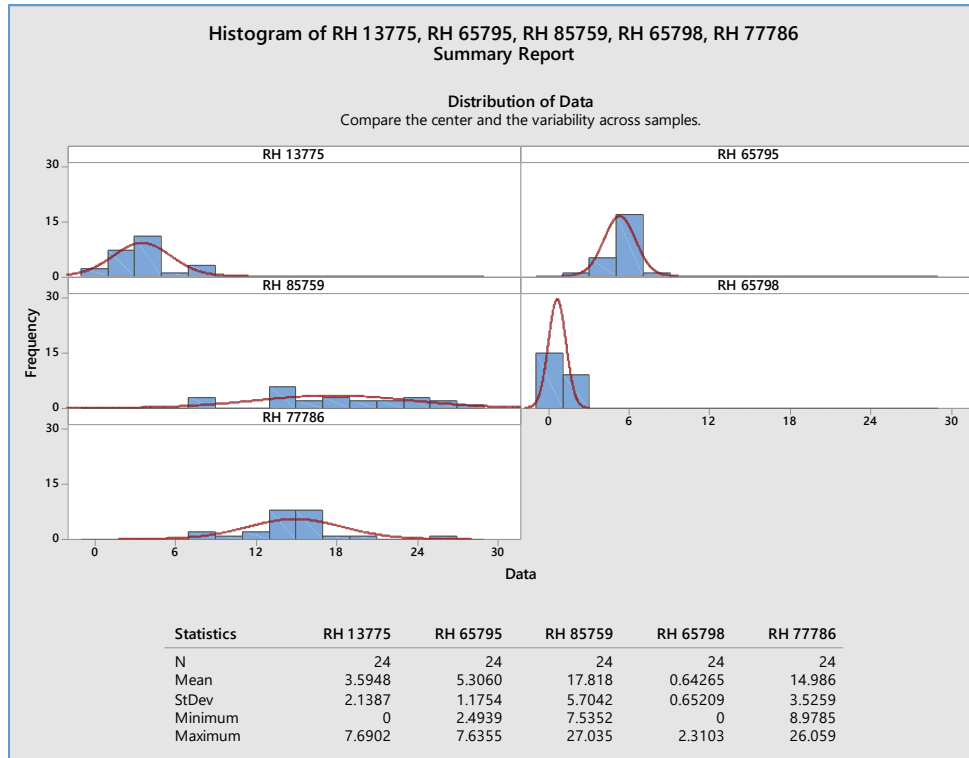


Ilustración 211 – Histograma para la frecuencia de 5 números de parte.
Fuente: Imagen de programa Minitab.

6- Es necesario identificar la distribución en los tiempos de procesamiento obtenido de la muestra a los operadores para obtener el rango de una variable aleatoria, que permitirá simular las condiciones esperadas en producción, como se muestra en el histograma de la Ilustración 22:

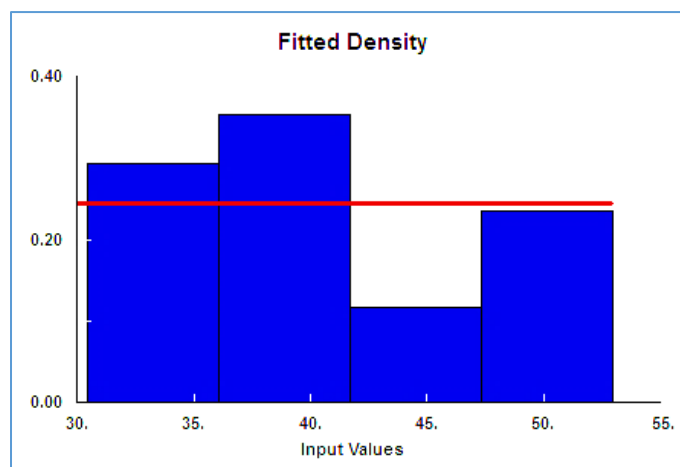


Ilustración 222 – Histograma de tiempos de procesamiento de lote en producción.
Fuente: Imagen obtenida de programa StatFit.

La identificación del tipo de distribución se hace utilizando el programa *StatFit*, para obtener la nomenclatura que el programa puede identificar y usar, se obtienen las condiciones para considerarse en el programa Simio, la cual quedaría como una distribución “Uniforme” con tiempos desde 30 hasta 52.9 minutos y su nomenclatura es: *Random.Uniform(30., 52.9)*.

Modelo de simulación.

De acuerdo a los parámetros para la simulación, se crea un modelo donde se crearon las entidades de números de parte que simularan los lotes, cada entidad tendrá su frecuencia de salida a producción y su tiempo de procesamiento; también se crea una entidad que simula el almacén de producto sin probar, se crea una entidad de operador con el tiempo de procesamiento sin la mejora (30-52 min), el cual, será quien alimente a la manejadora *Bowlfeeder*.

Para los tiempos de procesamiento de la SRM se está considerando una efectividad del 71.4% traduciéndolo en tiempo activo procesándolo esto es: 86,400 segundos al día por el 71.4%, dándonos un resultado de 61,689.6 segundos, lo que 1028.16 minutos disponible probando piezas sin interrupción; estos tiempos se agregan en la entidad de la máquina y finalmente se entregan al almacén de producto terminado representado en el modelo. Se muestra en la Ilustración 23, el resultado del modelo en el programa Simio: Estado actual y estado futuro.

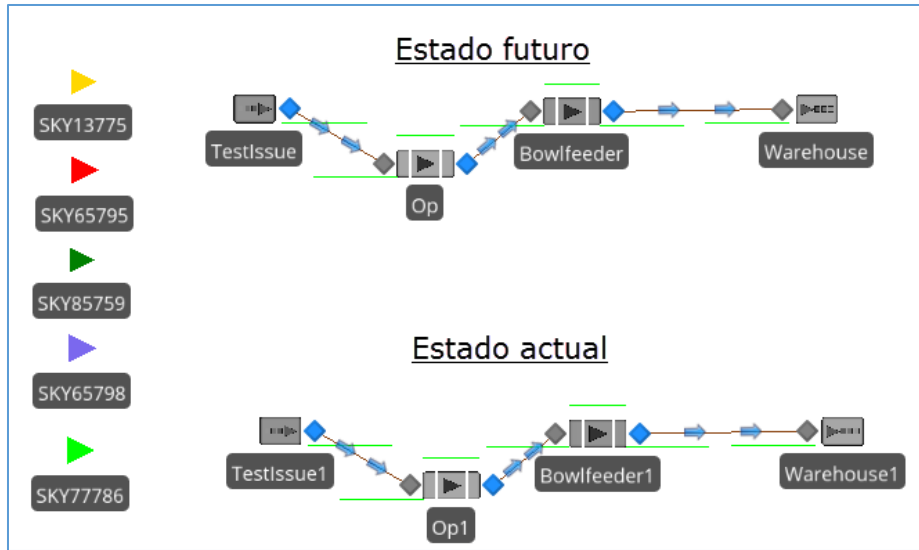


Ilustración 23 – Modelos Operador/Máquina para la simulación.
Fuente: Imagen de programa Simio.

Se simulará un mes a 31 días para obtener los primeros resultados, los cuales arrojaron los datos del tiempo productivo y tiempo muerto del operador como se muestra en la tabla 6.

Tabla 6 - Tabla de tiempos de procesamiento y tiempo perdido de operador.

Nombre del objeto	Tipo de dato	Tipo de estadística	Valor
Opeador Futuro	Tiempo procesando	Porcentaje	16.98
Opeador Futuro	Tiempo muerto	Porcentaje	73.29
Opeador Actual	Tiempo procesando	Porcentaje	35.53
Opeador Actual	Tiempo muerto	Porcentaje	54.74

Fuente: Imagen obtenida de datos en programa Simio.

Se observa que el tiempo de procesamiento futuro del operador disminuyó con respecto al tiempo actual, así como el tiempo muerto aumentó; en una primera estimación se entiende que, debido a la reducción de tiempo por eliminar la prueba de adherencia, el operador estaría terminando más pronto sus actividades referentes del lote antes de procesarlo en la manejadora. Otra consideración importante en la máquina sería la cantidad de lotes procesados como se muestra en la tabla (ver Ilustración 24) después de hacer una simulación de los 31 días a 100 repeticiones:

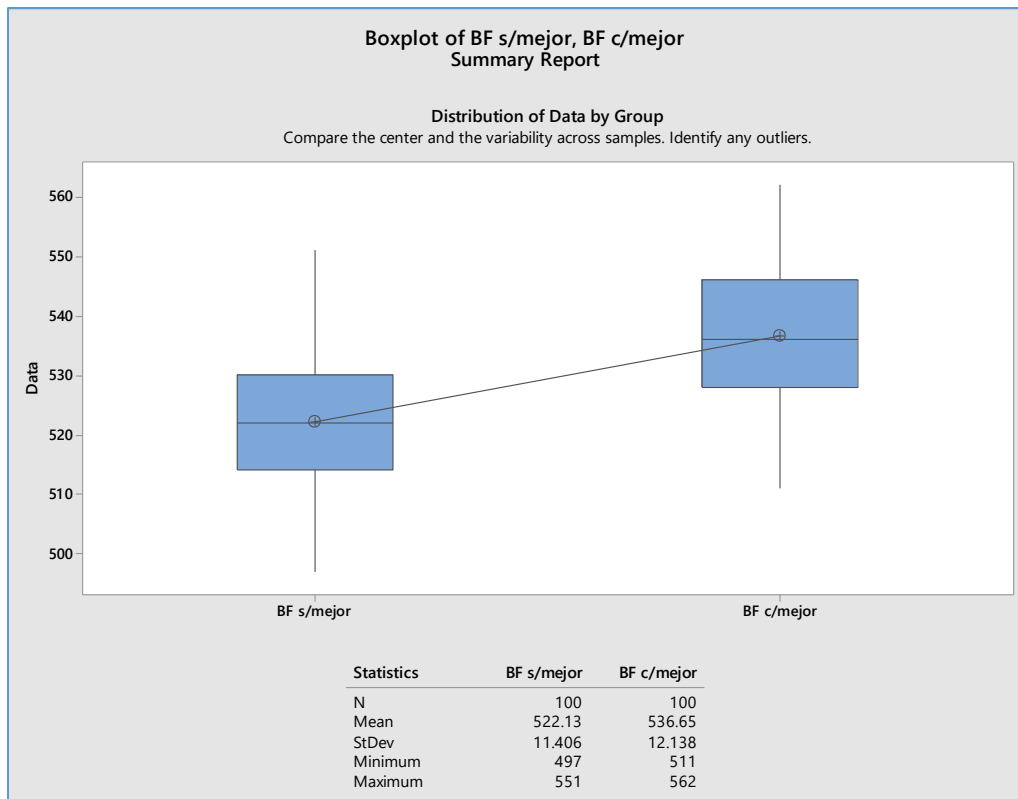


Ilustración 24 – Diagrama de cajas para lotes procesados en simulación.
Fuente: Imagen de programa Minitab.

De acuerdo a los datos obtenidos en la gráfica de cajas (*boxplot*), se observa una mejora en la salida de los lotes procesados por la manejadora *Bowlfeeder* (en la media de salida de lotes) en la máquina con la mejora. De esta simulación se obtiene que el tiempo de ocupación promedio de la máquina es de **72.91%** del tiempo vs **71.45%** en una máquina que no tiene la mejora del algoritmo de validación.

Sera necesario entender que el proceso debe producir más lotes al eliminar ciertas actividades del operador, por lo que después de comparar el desempeño de lotes procesados en las máquinas después de simularlas entre el proceso actual versus el proceso futuro de manera visual, es necesario obtener la certeza estadística que debe respaldar el resultado obtenido, como lo menciona (Gupta, 2016) sobre el uso de la prueba de hipótesis, como la herramienta estadística para asegurar que el evento en cuestión no fue el resultado de una coincidencia, por lo que la prueba de hipótesis debe utilizada (mostrado en la Ilustración 25) para asegurar que nuestros cambios influyeron en ello.

A continuación, se formulan las siguientes aseveraciones para probar mediante el método:

- Hipótesis nula: No hay diferencia en los promedios de lotes procesados entre la máquina sin la mejora y la máquina con la mejora.
- Hipótesis alternativa: El promedio de lotes procesados es menor en la máquina sin mejora que en la máquina con mejora.

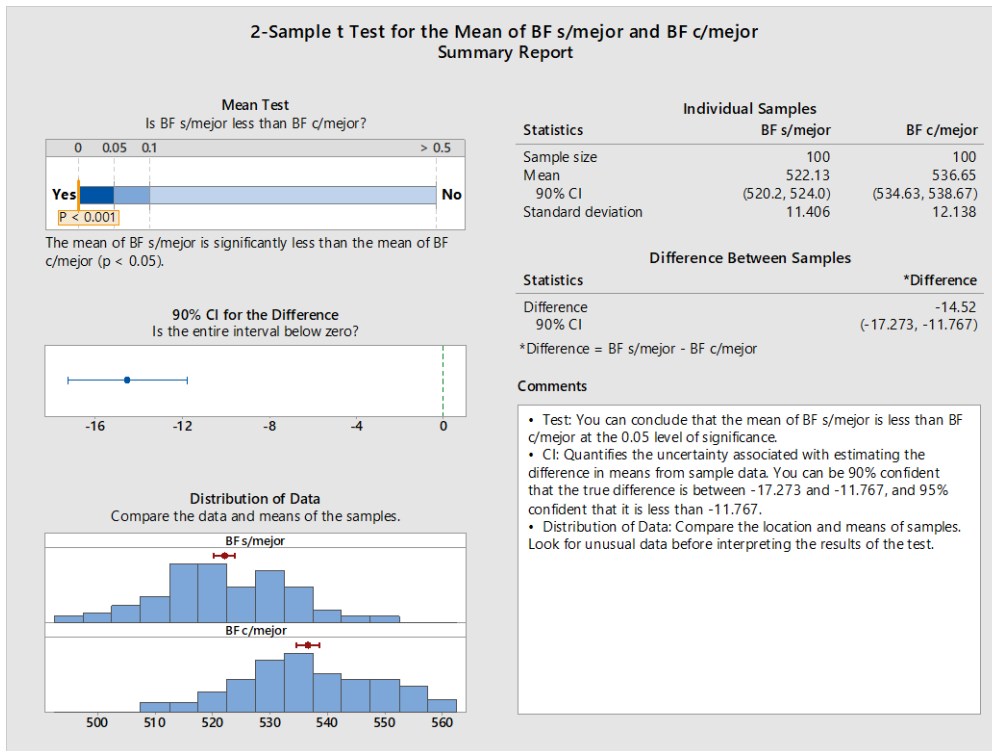


Ilustración 25 – Resultados de prueba de hipótesis (lotes procesados en máquina).

Fuente: Imagen obtenida de programa Minitab.

El resultado de la prueba de hipótesis confirma que la media de lotes procesados sin la mejora es menor con respecto a la media de lotes procesados con la mejora, dándonos un valor *P value* menor 0.001, lo que este valor representa según (Montgomery, 2013) es la probabilidad que tiene la prueba estadística bajo la hipótesis nula de suceder, por lo que un valor menor al estándar de 0.05, significaría que la hipótesis nula deberá ser rechazada, siendo este el caso del experimento realizado por simulación.

Validación en escenario de relación operador-máquinas.

En esta parte de la simulación, se validará otro caso de producción, donde un operador se encarga de varias manejadoras, actualmente se considera una relación de 1 operador por cada 4 máquinas; el modelo en Simio se muestra en la Ilustración 26, muestra un modelo similar a la inicial: mismas entidades de números de parte, almacén de material no probado, operador con los tiempos de procesamiento mejorados por el algoritmo, 4 máquinas de manejadoras y un almacén de material probado.

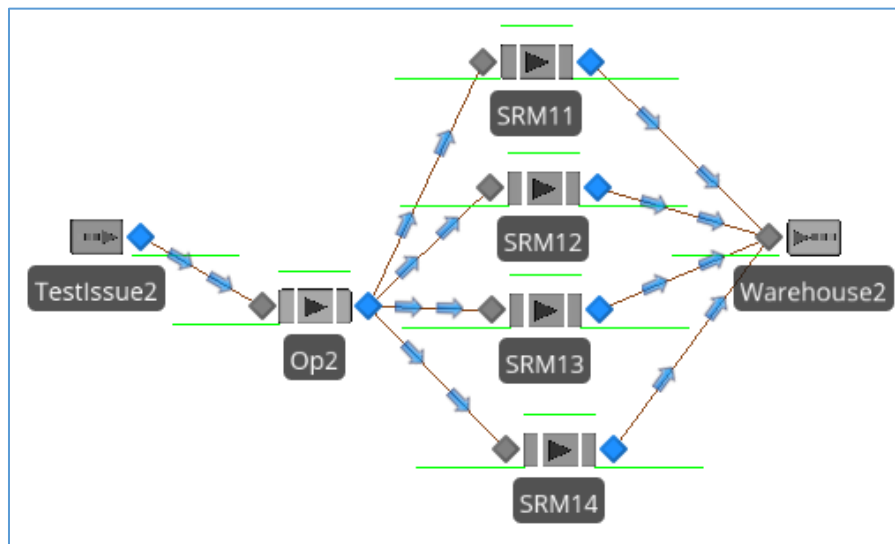


Ilustración 26 – Modelo de 1 Operador por cada 4 Manejadoras BF.
Fuente: Imagen de modelo en programa Simio.

La simulación de este modelo implicó que el almacén de lotes no probados envió la cantidad proporcional de lotes que cada manejadora necesita. Después de una simulación de 31 días a 100 repeticiones, se obtuvo un porcentaje de ocupación del operador de **90.27%** del tiempo, y la cantidad de lotes procesados para las 4 máquinas muy similares entre sí, como se muestra en la Ilustración 27:

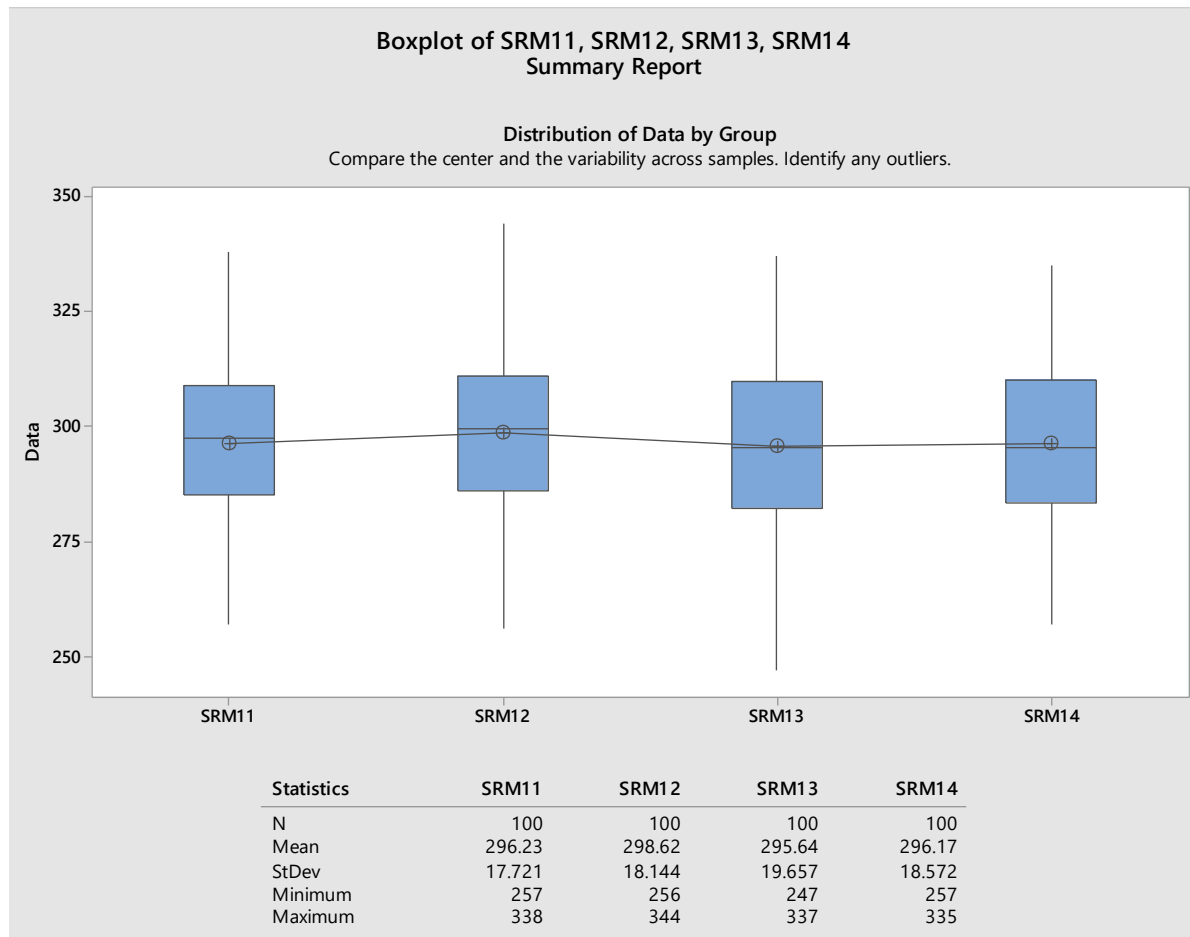


Ilustración 27 – Grafico de cajas para la cantidad de lotes procesados por máquina.
Fuente: Imagen tomada de programa Minitab.

Los resultados de cantidad de lotes procesados por 4 máquinas bajo un operador muestran que las 4 máquinas pueden procesar una cantidad bastante similar de lotes y se mantiene un porcentaje de ocupación promedio de **72.91%**, por lo que se ve estabilidad en el proceso.

Capítulo 5

Conclusiones y discusiones finales.

En conclusión, el objetivo que este objetivo planteo fue determinar si eliminar el factor humano de un proceso puede permitir elevar la productividad y calidad del proceso en cuestión, para lograr determinar este objetivo se necesitó plantear el trabajo en 3 fases de desarrollo, las cuales determinaron fehacientemente la aseveración planteada al inicio del proyecto. La hipótesis planteada mencionaba desarrollar un sistema autónomo que determine en tiempo real si el proceso estaba cumpliendo los estándares de calidad, por lo que se procedió con la primera fase, la cual fue, determinar si para el proceso de sellado los factores anteriormente considerados como temperatura y tiempo de sellado, eran actualmente determinantes, ya que el resultado de estos factores es monitoreado por el sistema de calidad; el análisis de los resultados del diseño de experimentos arrojó que faltaba considerar la presión del *Anvil*, ya que este mostró una fuerte interacción estadística en el resultado estadístico, por lo que fue necesario determinar la interacción de los 3 factores haciendo uso del método de regresión, con el cual se obtuvo la ecuación de regresión, la cual describía la interacción de los factores influyendo en la salida monitoreada. A partir de esta confirmación, determinamos que la salida del proceso no estaba siendo controlada correctamente, por lo que era necesario ajustar la manera en el proceso se desempeña.

Para la segunda fase, la cual fue crear el algoritmo de validación que automatizaría el monitoreo y la validación del proceso de sellado, se procedió a crear un diagrama de flujo el cual determinaría que camino tomar en cuestión de la respuesta tanto de cada uno de los factores, como del resultado que se obtiene de la interacción entre los 3 factores, el cual es la fuerza de adherencia. El algoritmo (ver capítulo 4, creación de algoritmo) creó los caminos lógicos que la máquina debe tomar en cuestión de decisiones e interacción para ajustar el factor de temperatura o tiempo de sellado o, teniendo el caso de ser necesario ajuste de presión, mandar llamar a un técnico de mantenimiento, previamente identificando el problema cuando la máquina pare y entonces este a su vez conozca la razón del paro y que es lo que el algoritmo recomienda hacer, el algoritmo se encargara entonces de mantener la calidad

del proceso al monitorear por medio del Control Estadístico de Procesos, el desempeño de los factores encontrados como determinantes.

Finalmente, para la fase 3, fue necesario explicar las operaciones actuales, donde se mostró una fuerte interacción del operador (ver capítulo 4, sección de simulación) para conocer las actividades que el algoritmo sustituirá y por lo tanto, reducirá la interacción humana dentro del proceso; es en esta fase donde se analizaron los beneficios que el algoritmo integrado al desarrollo de una manejadora, mostrarían al final del día: Aumento de productividad y calidad.

Durante el desarrollo de la fase 3, se obtuvo de una muestra de toma de tiempos para 18 operadores, los tiempos estimados por operaciones, seccionando de esta manera, las actividades de validación y paros de maquina ocasionados por el proceso de sellado como se lleva actualmente; estos datos obtenidos de la toma de tiempos, así como los datos de procesamiento de 5 números de parte, su tiempo entre arribos a producción, los tiempos muertos del operador y la productividad promedio de una manejadora *Bowlfeeder*, fueron utilizados en el programa de simulación de eventos discretos Simio, para dar lugar a un modelo que simulara el proceso actual contra el proceso mejorado por el algoritmo, siendo el proceso mejorado aquel que redujo correctamente los tiempos actuales de interacción con el operador. Finalmente, el análisis de resultados muestra una mejora considerable dentro de la productividad de la manejadora, esta aseveración fue sustentada al analizar los resultados de la simulación por medio de una prueba de hipótesis (ver final de capítulo 4), validando la diferencia estadística entre la salida de lotes procesados de un proceso sin la mejora contra el proceso con la mejora, confirmándose que la diferencia entre medias es estadísticamente diferente, siendo menor la salida del proceso sin la mejora.

El proyecto, confirma que la hipótesis planteada en el capítulo 1, es correcta al afirmar que, al eliminar la interacción humana, el proceso de sellado aumenta en productividad y calidad.

Discusiones sobre el operador.

En el aspecto de la variable humana (operador), se observa que quitarle una actividad de aproximadamente 21 minutos, puede ahorrarle un aproximado de 49.50% del tiempo actual en actividades que afectan el procesamiento del lote, si se toma una muestra de 18 operadores que juntos promediaron 40.99 minutos en las actividades; al aplicar la mejora se estaría llegando un estimado de 20.66 minutos de procesamiento. Esto implica que el aspecto de manufactura se puede aprovechar el recurso humano en otras actividades o aumentando su capacidad de operar una cantidad extra de máquinas.

Con base al modelo actual de 4 máquinas por operador, actualmente se tienen problemas de productividad por la saturación de algunos operadores, el modelo de simulación muestra que es posible mejorar el tiempo que le dedica a 4 máquinas y mantener la relación actual.

De lo anterior, se puede concluir que siendo el operador una variable que puede sacar de control el proceso, es necesario reducir su interacción en el proceso de procesamiento de un lote en general para evitar más salidas fuera de control, esto sin embargo, crea un fuerte tema de controversia, ya que se vuelve un hecho que el trabajo del operador puede ser totalmente sustituido por sistemas o procesos automatizados, abriendo de por medio una discusión latente que afecta temas sociales, los cuales no son parte del proyecto.

Limitaciones y Proyectos futuros.

Resulta evidente que la mejora propuesta solo involucra una actividad de varias involucradas que afecta al operador, por lo que será necesario hacer un estudio de las actividades del operador para determinar si existen algunas más con posibilidad de automatizarse.

La propuesta del proyecto actual solo demuestra la efectividad del algoritmo, sin embargo, llevarlo a cabo implica otro esfuerzo de proyecto el cual se deben considerar las siguientes variables:

- 1- Sensor de presión para medir fuerza del *Anvil* con respecto a cabeza de sellado, como la propuesta mostrada en la Ilustración 28:

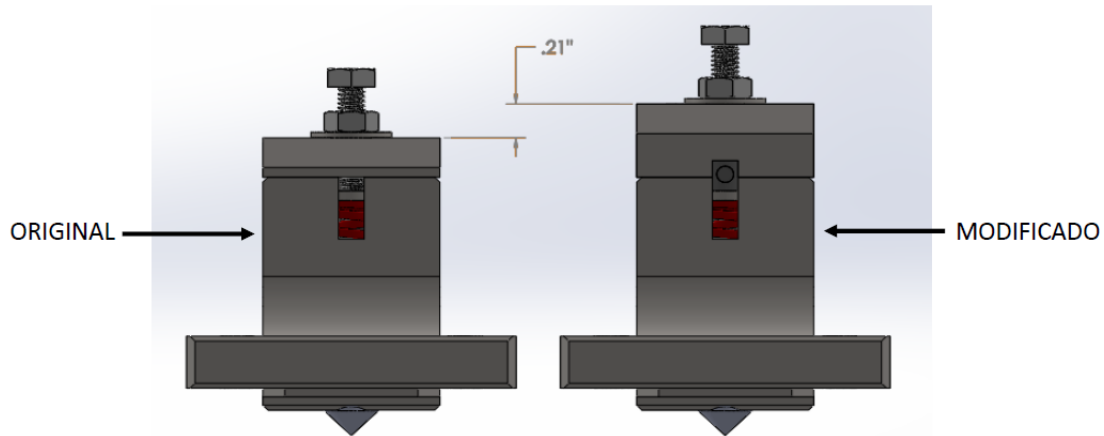


Ilustración 28 – Propuesta de sensor para presión de Anvil.
Fuente: Imagen de creación propia.

- 2- Desarrollo de interfaz de control para los parámetros de sellado: Controlador de temperatura y tiempo de sellado.
- 3- Desarrollo del algoritmo de autovalidación en un software propio de la compañía.
- 4- Propuesta de proyecto para implementación en la población total de manejadoras *Bowlfeeder*.

El esfuerzo en el proyecto está enfocado en proveer una alternativa para proyectos de mejora continua con enfoque en *Lean Manufacturing*, así como el uso de herramientas actuales de simulación para explorar oportunidades de mejora en el ámbito profesional de un ingeniero; de esta forma, se vuelve una herramienta para facilitar explorar propuestas de mejora a un nivel más certero.

Referencias

- About JEDEC*. (2018). Obtenido de JEDEC: <https://www.jedec.org/about-jedec/jedec-history>
- Balachandran, P., & Rondinelli, J. (2017). Informatics-Based Approaches for accelerated discovery of functional materials. En *Informatics-Based Approaches for Accelerated Discovery of Functional Materials* (pág. 159). IGI Global.
- Banks J, C. J. (2010). *Discrete-event system simulation, 5th edn*. Englewood Cliffs: Prentice Hall.
- Brettel, M., Friederichsen, N., Keller, M., & Rosenberg, M. (2014). *How Virtualization, Decentralization and Network Building Change the Manufacturing Landscape: An Industry 4.0 Perspective*. Obtenido de World Academy of Science, Engineering and Technology: <http://www.waset.org/publications/9997144>
- Changyu, S., Xiaorong, Y., & Quian, L. (2005). Fast Simulation Methodology and its Application in injection molding. *ANTEC 2005 Plastics: Annual Technical Conference, Volume 1* (págs. 516-520). Zhengzhou: ANTEC.
- Gokalp, E., Sener, U., & Eren, P. (2017). Development of an Assessment Model for Industry 4.0: Industry 4.0-MM. *Communications in Computer and Information Science* (págs. 128-142). Cham: Springer.
- Goldsmán D., G. P. (2015). Discrete-Event Simulation. *Modeling and Simulation in the Systems Engineering Life Cycle. Simulation Foundations, Methods and Applications*.
- Gupta, B. (05 de August de 2016). *Hypothesis Testing*. In: *Interview Questions in Business Analytics*. Berkeley: Apress.
- JEDEC. (2000). *JEDEC Global Standards for the Microelectronics Industry*. Obtenido de JEDEC: <https://www.jedec.org/>
- Montgomery, D. (2013). *Design and analysis of experiments*. Hoboken: John Wiley & Sons.
- Nasir, N., Ito, T., Bani Hashim, A., & Fauadi, H. (2018). The Development of Graphical Overall Equipment Effectiveness Interface. *Hassan M. (eds) Intelligent Manufacturing & Mechatronics* (págs. 671-683). Singapur: Springer.
- Rüßmann, M., Lorenz, M., Gerbert, P., Waldner, M., Justus, J., Engel, P., & Harnisch, M. (9 de Abril de 2015). *Inovasyon.org*. Obtenido de Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries.: http://www.inovasyon.org/pdf/bcg.perspectives_Industry.4.0_2015.pdf
- Salvendy, G. (2001). 25.3.1 Managing Variety in Production Planning. En *Handbook of Industrial Engineering - Technology and Operations Management (3rd Edition)* (pág. 694). John Wiley & Sons.
- Sittón, I., & Rodríguez, S. (2018). Pattern Extraction for the Design of Predictive Models in Industry 4.0. *Advances in Intelligent Systems and Computing* (págs. 258-261). Cham: Springer.
- Skyworks Solutions Inc. (2017). *Skyworks Solutions*. Obtenido de <http://www.skyworksinc.com/>
- SRM Integration. (2014). SRM XD handler's manual. Penang, Bayan Lepas, Malasia.
- SRM Integration. (2018). *SRM Integration (Malaysia) Sdn Bhd*. Obtenido de SRM Integration, SRM Hitech: <http://www.srm.com.my>