

Centro de Enseñanza Técnica y Superior
Con reconocimiento de validez oficial de estudios del Gobierno del Estado de Baja
California según Acuerdo de fecha 10 de octubre de 1983



**Diseño y evaluación de un prototipo para monitoreo de
monóxido de carbono para automóviles**

Tesis

para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de
Maestro en Ciencias de la Ingeniería

Presenta:

Ricardo Xavier Gomez Lopez

Ensenada, Baja California, México

2019

DISEÑO Y EVALUACIÓN DE UN PROTOTIPO PARA MONITOREO DE MONÓXIDO DE CARBONO PARA AUTOMÓVILES

Tesis/Proyecto de aplicación que para obtener el grado de Maestro en
Ciencias de la Ingeniería

Presenta:

Ricardo Xavier Gomez Lopez

y aprobada por el siguiente Comité

Dr. Josué Aaron Lopez Leyva

Dr. Gerardo Hirata Salazar

Dr. Abimael Eliaquim Salcedo García

Ricardo Xavier Gómez López © 2019

Queda prohibida la reproducción parcial o total de esta obra sin el permiso formal y explícito del autor

Resumen de la tesis que presenta **Ricardo Xavier Gómez López** como requisito parcial para la obtención del grado de Maestro en Ciencias de la Ingeniería

Diseño y evaluación de un prototipo para monitoreo de monóxido de carbono para automóviles

Dentro de este trabajo es mencionado el efecto que tiene el monóxido de carbono en la salud humana según estudios recientes, describiendo porque medios se propaga principalmente, además de presentar las maneras en que se puede regular los niveles que tiene el monóxido de carbono, también conocido como CO dentro del ambiente. Existen técnicas con las que puede registrarse el monóxido de carbono cuando está presente y que cantidad existe en el aire, tomando como referencia la cantidad de partículas de monóxido de carbono dentro de un millón de partículas presentes en el aire. Dentro de estas técnicas también se han desarrollado componentes que pueden detectar cuando el número de partículas está por encima de los niveles establecidos y llega a considerarse como peligroso para la salud, estos niveles serán considerados dentro del marco teórico de este proyecto. Hoy en día existen componentes que activan una alarma al detectar altos niveles de CO, del mismo modo existen otros componentes que al detectar el CO convierten la información registrada en una señal digital, desplegada a través de una pantalla que muestra que cantidad de partículas se encuentra el aire. Los sensores de CO que existen tienen diferentes características y también varían en distintas dimensiones y lugares donde pueden colocarse, ya sea en una casa habitación o en automóviles, en este trabajo está contenida la información general acerca de la tecnología existente hoy en día, diseñada para monitorear el monóxido de carbono, sin embargo a diferencia de otros sistema, este proyecto desarrolla un sistema de monitoreo que permite mostrar y almacenar los datos registrados en un dispositivo de memoria, desarrollado con el objetivo de tener un mejor control de emisiones de CO en automóviles

Palabras clave: Monitoreo CO, CO en automóviles, Prototipo de monitoreo de CO

Abstract of the thesis presented by **Ricardo Xavier Gomez Lopez** as a partial requirement to obtain the Master or Doctor of Science degree in Master of science in engineering with orientation in

Design and evaluation of a carbon monoxide monitoring prototype for automobiles

Within this work is mentioned the effect that carbon monoxide has on human health, describing according to recent studies by which ways they mainly propagated, presenting in addition the ways in which options you can regulate the levels were has carbon monoxide presented, also known as CO within the environment. There are techniques with which carbon monoxide can be recorded when it is present and what amount exists in the air, taking as a reference the amount of carbon monoxide particles within a million particles present in the air. Within these techniques' components have also been developed that can detect when the number of particles is above the established levels and comes to be considered as dangerous to health, these levels will be considered within the theoretical framework of this project. Nowadays there are components that activate an alarm when detecting high levels of CO, in the same way there are other components that when detecting CO convert the recorded information into a digital signal, displayed through a screen that shows the number of particles in the air. The existing CO sensors have different characteristics and also vary in different dimensions and places where they can be placed, either in a house or in cars, in this work is contained general information about the existing technology today, designed to monitor carbon monoxide, however unlike other systems, this project develops a monitoring system that allows to display and store the data recorded in a memory device, developed with the aim of having better control of CO emissions in cars.

Keywords: CO Monitoring, CO in cars, CO monitoring Prototype

Agradecimientos

El apoyo de parte de CONACyT por medio del plan de becas CVU: 867869 fue esencial para el desarrollo de mi maestría y agradezco profundamente su apoyo mes con mes durante todo el tiempo que duraron mis estudios. Agradezco a mi familia, primeramente, a mis padres, por pensar en mi como alguien inteligente y hacérmelo saber aun cuando yo no lo sentía así, pues cuando las cosas se complicaban me decía a mi mismo, esto se va a resolver, eres inteligente lo suficiente como para solucionarlo. Agradezco a mis maestros de matemáticas y de todas aquellas materias en las que se notaba que impartían clases con pasión, por que debido a ello me impulsaron a seguir estudiando lo que ellos aprendieron ya tiempo atrás. Finalmente, y con la misma importancia doy gracias a Dios por todas aquellas instituciones que me apoyaron a través de becas, buen animo y una sonrisa sincera, pues gracias a ese gesto, fue de gran motivación para elaborar este trabajo.

Dedicatorias

Dedico todo el esfuerzo realizado en este trabajo a mis padres que estuvieron allí en los momentos buenos, malos y difíciles de tiempo en la maestría. Que exista evidencia que todavía hay personas que, aunque no estén viviendo en la misma ciudad, pueden ser de inspiración para lograr los objetivos que uno mismo se propone, dedico todo este tiempo invertido en este trabajo también a mis amigos que me apoyaron con su tiempo al pedir su opinión y que me brindaron ideas y apoyo cuando lo necesite; dedico este trabajo también a mis compañeros que se encontraron en la misma situación que yo para lograr sacar adelante la investigación y la metodología de sus tesis, porque fueron de inspiración y me ayudaron creer que yo también podría terminar este proyecto.

Tabla de contenido

	Página
Resumen	iii
Abstract	iv
Agradecimientos	v
Dedicatorias	vi
Lista de figuras	ix
Lista de tablas	xi
Capítulo 1. Introducción	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Planteamiento del Problema	5
1.3 Justificación	5
1.4 Hipótesis	6
1.5 Objetivos.....	6
1.5.1 Objetivo general.....	6
1.5.2 Objetivos Específicos.....	7
Capítulo 2. Marco teórico	8
2.1 Generalidades del monóxido de carbono	8
2.1.1 Ciclo del carbono	9
2.1.2 Dióxido de carbono y Monóxido de carbono.....	10
2.2 Regulación de niveles de monóxido de carbono	11
2.3 Estado del arte y técnica en medidor de monóxido de carbono	14
2.3.1 Sensor Electroquímico para CO	14
2.4 Patentes y desarrollos tecnológicos.....	18
2.5 Patentes y desarrollos tecnológicos.....	28
2.6 Generalidad de sensores de monóxido de carbono.....	30
Capítulo 3. Metodología	32
3.1 Materiales y método.....	32
3.2 Pasos para tener el montaje del prototipo en forma	35

3.3 Modelos trabajados para el prototipo y código	40
Capítulo 4. Resultados y discusiones	41
4.1 Partículas de CO en el ambiente	42
Capítulo 5. Conclusiones	46
Referencias	47
Anexos	54

Lista de figuras

1. Figura 1 Fuentes de emisión de CO en un automóvil (Calla Lucía, Luján Marco ,2018)	2
2. Figura 2 Dispositivos en el mercado actual de detectores de CO (Detectores de CO,2019)	4
3. Figura 3, Ciclo del carbono en Gigatonealadas de carbono (GtC), (Caballero Margarita, 2017)	10
4. Figura 4 Sensor electroquímico para CO (Testo Argentina ,2018)	15
5. Figura 5 Sensor biométrico de CO (GRI Instrument,2019).....	16
6. Figura 6 Sensor tipo semiconductor (VegaROBOKit,2019).....	16
7. Figura 7 Conversor Analogico a Digital (Fries Bruce, 2005).....	28
8. Figura 8 Esquema de conexión de sensor de CO	33
9. Figura 9 Circuito de Monitoreo del prototipo.....	33
10. Figura 10 Montaje del sensor MQ7.....	34
11. Figura 11 Montaje del sistema de monitoreo diseñado en CAD.....	34
12. Figura 12 Circuito esquemático de prototipo de monitoreo de CO	36
13. Figura 13 Prototipo de monitoreo validado	36
14. Figura 14 Sensor CO.....	37
15. Figura 15 Buzzer 5v, utilizado para registrar cuando el CO disminuía o aumentaba.....	37
16. Figura 16 Modulo I2C, se encuentra soldado a un display 16x2, también reduce el número de conexiones que requiere el display.....	38
17. Figura 17 Modulo de memoria SD.....	38
18. Figura 18 Sistema de monitoreo terminado.....	39
19. Figura 19 Sensor de Monóxido de carbono con montaje	40
20. Figura 20 Prototipo impreso	41

21. Figura 21 Resultados de pruebas en Casa habitación43

22. Figura 22 Montaje del sensor de CO en automóvil.....44

23. Figura 23 Resultados en automóvil44

Lista de tablas

1. Tabla 1 Porcentaje de CO máximo permisible según su peso y año3
2. Tabla 2 Límites máximos permisibles de CO de la NOM-044-SEMARNAT-2017 para motores y vehículos automotores nuevos que utilizan diésel como combustible 12
3. Tabla 3 Límites máximos permisibles de CO de la NOM-047-SEMARNAT-2014 para motores y vehículos automotores nuevos que utilizan Gasolina como combustible 12
4. Tabla 4 Tabla comparativas de patentes y desarrollos tecnológicos..... 19
5. Tabla 5 Tabla comparativa de patentes y desarrollos tecnológicos20
6. Tabla 6 Porcentaje de CO máximo permisible según su peso y año42

Capítulo 1. Introducción

1.1 Antecedentes

El motivo del desarrollo de este proyecto es debido a la existencia del monóxido de carbono, el monóxido de carbono o CO es un gas incoloro, inodoro y no es irritante de la vía aérea en las personas. Las principales fuentes de monóxido de carbono son: La combustión incompleta, cuando hay llama o calor, pero quema mal o existe poca ventilación, está presente en calentadores de agua alimentados por propano, butano o gas natural, en hornillas, braseros, barbacoas, chimeneas, estufas (de keroseno, carbón, leña, butano), gases de escape de los automóviles, humo de incendios, procesos industriales o químicos. (Guirola Fuentes J, 2018)

Además, existe un gran número de incidencias a causa de la intoxicación por CO, los pacientes atendidos por esta causa se son atendidos con el uso de estas siglas (ICO), en países de primer nivel el número de estas incidencias es elevada, en Estados Unidos se reportan hasta 50,000 casos por año tan sólo en el servicio de Urgencias. (Coronel Guillermo, 2015).

Tomando el caso de las emisiones debido al motor de vehículos, entre los gases contaminantes expulsados se encuentran: dióxido de azufre (SO₂), dióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono (CO) y óxido de nitrógeno (NO_x). Las emisiones contaminantes de gases producidas por el motor de combustión interna son responsables únicamente de un 5 % de las emisiones de dióxido de azufre (SO₂), son responsables del 25 % de las emisiones de dióxido de carbono (CO₂), del 87 % de las de monóxido de carbono (CO) y del 66 % de las de óxidos de nitrógeno (NO_x). (Instituto Mexicano para la Competitividad, 2015)

Existen emisiones de CO causadas por distintas maneras y además provenientes de un mismo vehículo, esto puede ilustrarse en la siguiente figura.

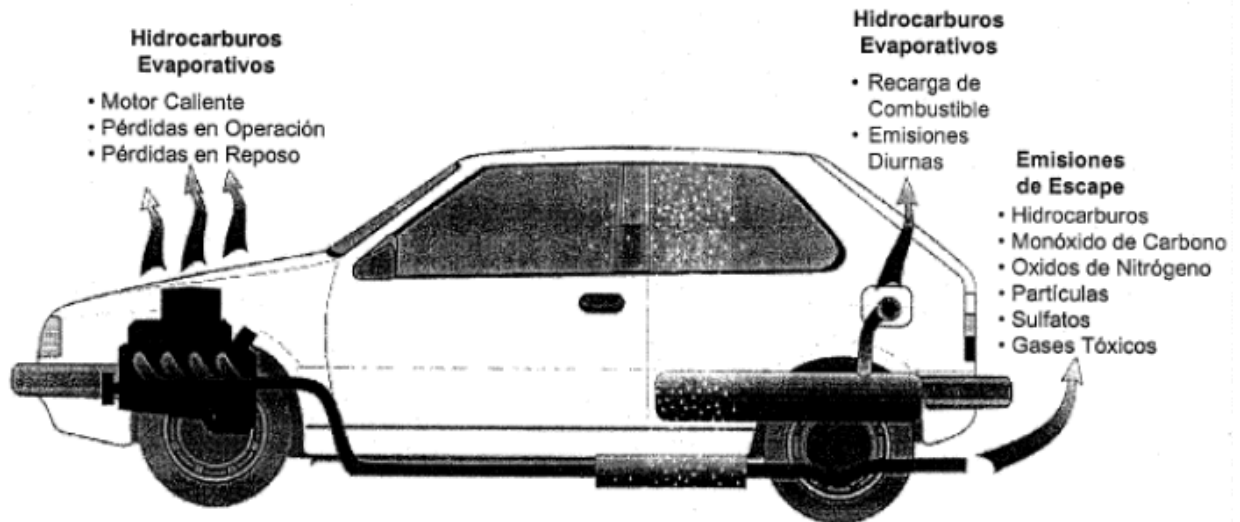


Figura 1 Fuentes de emisión de CO en un automóvil (Calla Lucía, Luján Marco ,2018)

Los vehículos emiten tres contaminantes principales: hidrocarburos, óxidos de nitrógeno y monóxido de carbono. Los hidrocarburos reaccionan con los óxidos de nitrógeno por acción de la luz solar y a temperaturas elevadas, formando ozono a nivel del suelo, el cual puede causar irritación de los ojos, tos, jadeo, insuficiencia respiratoria y trastornos pulmonares permanentes. Los óxidos de nitrógeno (NOx) contribuyen a la formación de ozono y de lluvia ácida, además de afectar la calidad del agua. El monóxido de carbono es un gas incoloro letal que reduce el flujo de oxígeno en el torrente sanguíneo y puede afectar las funciones cerebrales y la visión.

Los automóviles despiden contaminantes por el tubo de escape como consecuencia de la combustión de la gasolina, a través del capó y del sistema de combustible cuando el calor provoca la evaporación de este. (Pérez Darquea Diego, 2017).

La NORMA Oficial Mexicana NOM-044-SEMARNAT-2017 establecen referencias para el control de la emisión de gases., Que establece los límites máximos permisibles de emisión de monóxido de carbono, según el peso bruto vehicular y el año de los vehículos varían.

Los contaminantes provenientes del escape de los vehículos automotores en circulación que usan gasolina como combustible y cuyo peso bruto vehicular es mayor de 400 kilogramos en el método de prueba estática, pueden ilustrarse en la tabla 1.

Tabla 1 Porcentaje de CO máximo permisible según su peso y año

Año modelo	Monóxido de Carbono (CO) cmol/mol (%)
1993 y anteriores	3.0
1994 a 2005	0.5

Los contaminantes provenientes del escape de los vehículos automotores en circulación en los métodos de prueba Dinámica y Estática que usan gas licuado de petróleo, gas natural u otros combustibles alternos y cuyo peso bruto vehicular es mayor de 400 kilogramos anteriores de 1993 y posteriores de 1994 tiene permisible el 1 % en CO (cmol / mol)

La emisión de contaminantes provenientes del escape de los vehículos automotores en circulación año modelo 2006 y posterior en los métodos de prueba Dinámica o Estática que usan gasolina o gas natural tienen como límite permisible 0.4 % de CO (cmol / mol).

Es decir, la NOM-044 regula cuáles son los límites máximos permisibles de emisiones contaminantes que se venden en el país.

También existe el caso de vehículos ostensiblemente contaminantes a gasolina que son aquellos que puede fácilmente verse que están contaminando, para este caso el límite máximo permisible es 4.5 % de CO (cmol / mol).

Se pretenden aplicar estos parámetros tecnológicos equivalentes a los estándares EPA 2010 de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA por sus siglas en inglés) y del Reglamento de Emisiones de Vehículos Pesados de la Comunidad Europea (Euro VI). Este cambio tecnológico implicaría una reducción en las emisiones de partículas y óxidos nitrosos de estos vehículos del orden de 90%. (Diario Oficial de la Federación,2017).

El desarrollo de este proyecto pretende diseñar un prototipo electrónico, para monitorear el monóxido de carbono de los automóviles donde este instalado en periodos de tiempo más cortos, así podrá prevenir de manera eficaz la intoxicación por CO y problemas ambientales.

Existen en la actualidad dispositivos para monitorear las partículas de monóxido de carbono por millón, estos dispositivos consisten en activar una alarma cuando se llegue a 100 ppm, pueden verse algunos de los modelos en la Figura 2.

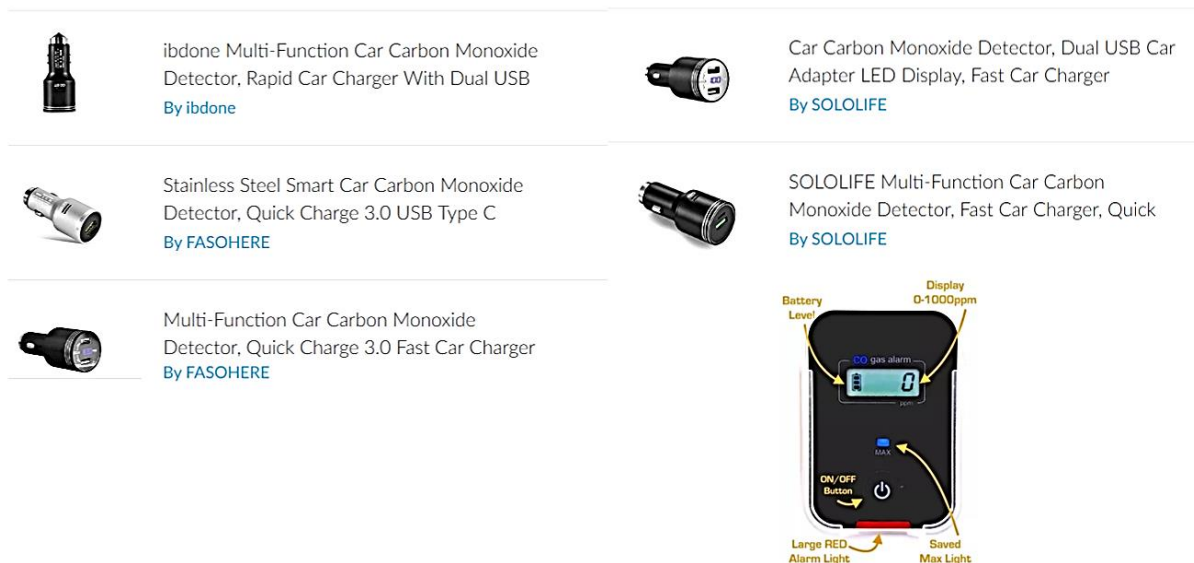


Figura 2 Dispositivos en el mercado actual de detectores de CO (Detectores de CO,2019)

Los alcances de estos dispositivos son para alertar al usuario de que el monóxido de carbono es alto, cuando esto sucede comienza a emitir una alarma, pero una de las características que carece, es el no poder tener un registro para las fechas donde el vehículo emitió tal cantidad de partículas por millón o en qué momento estuvo cerca del límite, tampoco tiene un identificador de vehículos para el caso de existir más de un usuario.

El propósito de diseñar un prototipo de monitoreo para vehículos es contar con las características de identificar cuales vehículos están dentro o fuera del límite máximo permitido de CO y tener un registro de en qué momento se registró este cambio, una vez obtenida esta información poder ser transmitida a un ordenador o un dispositivo de almacenamiento.

1.2 Planteamiento del Problema

La relación que hay entre el aumento de la temperatura y el clima perjudicial en los últimos años nos da una fuerte advertencia. Durante más de cien años el uso de la energía fósil ha creado tres crisis: el agotamiento de la energía fósil, el calentamiento global debido a la emisión de gases de efecto invernadero y por último la crisis del cambio dramático del clima. (Cheng-Chung Lee,2015).

El monóxido de carbono (CO) atmosférico juega un papel importante en química atmosférica ya que afecta indirectamente la vida de gases de efecto invernadero como el metano (CH₄), ya que es el enlace dominante para los radicales hidroxilo-troposféricos. (Ludivine Conte,2019)

El monóxido de carbono es un gas incoloro, insípido, que no se lo puede detectar a simple vista, pero tiene la desventaja total que llega a ser un gas muy venenoso afectando a una gran cantidad de personas, es por eso por lo que al inhalar altos niveles de este gas pueden llegar a causar la muerte. (Environmental Protection Agency, 2014)

1.3 Justificación

Entre las fuentes más conocidas que pueden proporcionar una intoxicación están las combustiones incompletas de carbono como son: La quema de materia orgánica con aporte insuficiente de oxígeno, quema de carbono o materias carbonosas, como carbón mineral, carbón vegetal, leña, madera, hidrocarburos derivados del petróleo, explosivos, tabaco. Para tener en cuenta, existen valores límites en los cuales se da un nivel de intoxicación por este gas de monóxido de carbono y los efectos que puede llegar a causar de acuerdo al tiempo que este expuesta una persona teniendo como consecuencia incluso la muerte. (Edison M. Carrión, 2016)

Gran parte de emisiones de CO es debido a las emisiones de vehículos, y por ello existe un plan de prevención que se recomienda en cada país seguir: Una pequeña fuga en el sistema de escape puede conducir a una acumulación de CO en el interior del coche. Por ello es necesario que las personas lleven su vehículo a que hagan que un mecánico revise el sistema de escape de su automóvil o camión cada año. (National Center for Environmental Health, 2018). Sin embargo, el que las personas puedan monitorear el nivel de CO de sus vehículos en periodos de tiempo más cortos podrá prevenir de manera eficaz la intoxicación por CO y problemas ambientales.

1.4 Hipótesis

El desarrollo optimizado de un medidor de CO para automóviles permitirá un mejor monitoreo y control de las emisiones mencionadas

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo general

Diseñar un prototipo electrónico para monitorear el monóxido de carbono para automóviles. Además, validar dicho dispositivo en condiciones de laboratorio y en ambientes reales.

1.5.2 Objetivos Específicos

1. Investigar opciones tecnológicas disponibles, así como sistemas sustitutos enmarcados en patentes, modelos de utilidad, etc. Lo anterior, enfatizando en sus características, desempeño y compromisos.
2. Investigar los rangos estándares de emisión de monóxido de carbono de automóviles con el objetivo de seleccionar el mejor sensor.
3. Selección el dispositivo de procesamiento digital más adecuado.
4. Integrar y calibrar los dispositivos tecnológicos
5. Diseñar el prototipo en CAD, renderizados y dibujos industriales. El prototipo debe de ser adecuado e innovador para el uso cotidiano y normal enfatizando en la simplicidad y calidad de las mediciones.
6. Evaluar el prototipo en nivel 5 con respecto a los niveles de maduración tecnológica
7. Evaluar el prototipo en nivel 6 con respecto a los niveles de maduración tecnológica

Capítulo 2. Marco teórico

2.1 Generalidades del monóxido de carbono

De acuerdo con el Informe de Morbilidad y Mortalidad en 2017 durante el período 2010-2015, se registraron 2,244 muertes a causa de intoxicación por monóxido de carbono, las personas que fallecieron durante este periodo fueron envenenadas involuntariamente, además durante este periodo también se pudo comprobar que los registros fueron incrementando año con año, siendo el año 2015 donde se registró el mayor número de muertes con 393 casos, este estudio se realizó en Estados Unidos. (Informe Semanal de Morbilidad y Mortalidad,2017)

El registro de muertes por intoxicación también involucra al sector transporte, debido al proceso de combustión, producida en los motores al generar la energía para producir el movimiento de los vehículos. Estos motores de combustión interna, que la mayoría emplea como combustible gasolina o Diesel, emiten al ambiente diversos gases que alteran la composición natural y contribuyen a reacciones químicas o físicas que deterioran la calidad del aire en el ambiente, gases como el monóxido de carbono.

Las características que tiene el monóxido de carbono o CO lo hacen un gas incoloro, no irritante, sin olor o sabor. Estas características lo hacen ser muy peligroso además de que está presente tanto en el aire dentro de una casa habitación, vehículos, cocheras y sobre todo en el aire libre. El CO se produce naturalmente en el ambiente, pero también puede ser producido por la combustión incompleta del carbón, también es producido diariamente realizado por todo el mundo ya que también se usa para poder calentar alimentos con aparatos que utilizan gas, pero no funcionan adecuadamente, por medio natural siendo emisiones de volcanes e incendios forestales, mayormente se ha producido en automóviles y se emite a través del tubo de escape. El CO es un tema que amerita ser analizado para poder reducir el número de incidentes por intoxicación, además de ser una de las causas principales de los contaminantes atmosféricos según la agencia de ministerio para la transición ecológica. (Ministerio para la transición ecológica,2017)

Debido a que este contaminante atmosférico se produce continuamente en el ambiente cuando quemamos combustible de forma incorrecta involuntariamente, todas las personas estamos expuestos a entrar en contacto con el CO, pues está presente en el aire y necesitamos del aire para respirar, pero el CO puede concentrarse en lugares donde existen mayor cantidad de fuentes de emisión, como el caso de las horas de mayor tránsito de automóviles en una ciudad, los lugares donde no existe una ventilación adecuada pueden ser los lugares más peligrosos donde las personas pueden llegar a intoxicarse.

En el año 2012 se realizó un estudio sobre el alcance del monóxido de carbono para lugares donde existe y no existe una ventilación adecuada y como afecta en la salud, y se determinó que afecta a cualquier edad, pero afecta con mayor intensidad a niños, pues están todavía desarrollándose, en el caso de los bebés que todavía están en gestación son afectados a un nivel más altos, ya que altos niveles de exposición pueden durante el embarazo provocar un aborto y en bajos niveles de concentración puede ocasionar problemas en el desarrollo mental de su bebé. Existen maneras de monitorear el nivel monóxido de carbono en la sangre, esto mediante oxímetros ubicados en hospitales y laboratorios clínicos. (Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades,2012)

Para prevenir la intoxicación en el ambiente y también para prevenir a altos niveles reacción química en el aire, la Agencia de Protección al Ambiente establecido límites para que el CO se pueda controlar, siendo nueve partículas por millón por CO en el aire promediado durante 8 horas.

2.1.1 Ciclo del carbono

El componente principal de los compuestos biológicos es el carbón, haciendo que sus moléculas sean cruciales para la vida en la Tierra, es el ciclo biogeoquímico con el que el carbono se intercambia entre la biosfera, pedosfera, geosfera, hidrosfera y la atmósfera de la Tierra, ilustrado en la Figura 3. La importancia que tiene el carbono es tremendamente alta ya también está presente como un componente importante de muchos minerales, La ilustración presentada puede ilustrar este ciclo. El carbono al

entrar en contacto con el oxígeno forma lo que se conoce como dióxido de carbono (CO_2) y se presenta en la atmósfera, es también en parte responsable del efecto invernadero; el CO_2 a pesar de que es generado naturalmente en la Tierra, emisiones producidas por la humanidad tales como el monóxido de carbono y el dióxido de carbono han provocado que el CO_2 aumente, ya que la combinación de CO con el oxígeno atmosférico produce más CO_2 y esto es un factor importante ya que las emisiones producidas han sido superadas año con año de acuerdo a la huella de carbono, quien suma las emisiones de gas de efecto invernadero y es determinada en diferentes lugares en el mundo . (Reinosa Mirtha,2018).

A consecuencia de haber superado las emisiones naturales, el CO_2 es el gas de efecto invernadero más importante, provocando alteraciones considerables en los patrones meteorológicos e indirectamente influyendo la química oceánica. (Falkowski P.,2000)

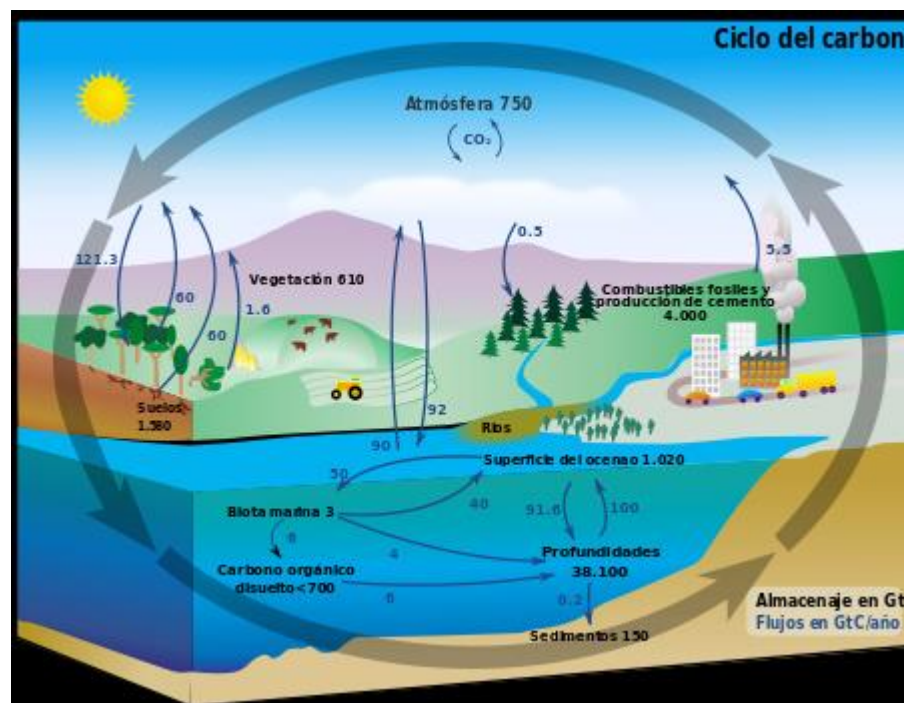


Figura 3, Ciclo del carbono en Gigatoneladas de carbono (GtC), (Caballero Margarita, 2017)

2.1.2 Dióxido de carbono y Monóxido de carbono

El Dióxido de carbono es producido cuando la presencia de oxígeno suficiente crea la combinación química con el carbono, produciendo una combustión completa, dos átomos

de oxígeno con una de carbono: CO₂. En cambio, cuando la combustión de carbono es incompleta, provocada por la limitada disponibilidad de aire, sólo la mitad del oxígeno se agrega al carbono, siendo un átomo de oxígeno y una de carbono: CO, por lo tanto, se convierte en monóxido de carbono. En comparación del CO₂, el CO no se genera de forma natural, pues la combustión incompleta es producida por los procesos utilizados por la humanidad para la quema de combustibles, mayormente provocados por el sector transporte. Por otro lado, el Monóxido de carbono es altamente peligroso para la salud ya que puede ser letal en concentraciones de 1.500 ppm distinto al Dióxido de carbono que no es tóxico a menos que se tengan muy altas concentraciones, a partir de 80.000 ppm. (DET,2018)

2.2 Regulación de niveles de monóxido de carbono

En México existe un sistema de control de calidad del aire llamada norma NOM-044, esta norma está establecida conforme a los estándares creados por los Estados Unidos y la Unión Europea, quienes fueron además los primeros en implementar un sistema para reducir las emisiones que pudieran afectar la calidad del aire, estas normativas se establecieron como normas EPA (Environmental Protection Agency) y Euro. De acuerdo con el consejo internacional de transporte limpio, estas normativas no solamente están siendo aplicadas en México, centro América y Sudamérica, sino en otros 20 países más alrededor del mundo. (Blumberg Kate,2016). Estas normas están dirigidas para que los fabricantes de automóviles que trabajan con Gasolina y Diesel puedan producir una flota que reduzca las emisiones al ambiente, y han ido mejorando conforme el paso de los años. Los Fabricantes de automóviles que trabajan con Gasolina y Diesel deben seguir la normatividad que da regulación al sistema de transporte, en México es la NORMA Oficial Mexicana NOM-044 y NOM-047, esta información comparativa está contenida en la Tabla 2 para automóviles que trabajan Diesel y Tabla 3 para automóviles que trabajan con Gasolina, además durante el año 2017 se dio la tarea de implementar la normativa EPA 2010 y la Euro VI, ya que sin una renovación de estas normativas la flota de vehículos nuevos hubiese sido capaz de reducir las emisiones.

Tabla 2 Límites máximos permisibles de CO de la NOM-044-SEMARNAT-2017 para motores y vehículos automotores nuevos que utilizan diésel como combustible

Estándar	Método de Prueba	CO	Unidad	Fecha
EPA	CT y CSE	15.5	g/bhp-hr	19/02/2018 a 30/06/2019
EURO VI 2A	CEEC	1.5	g/kWh	19/02/2018 a 30/06/2019
	CET	4.0	g/kWh	
EURO VI 2AA	CEEC	1.5	g/kWh	01/01/2019 a 31/12/2020
	CET	4.0	g/kWh	
EURO VI 2B	CEEMAP	1.5	g/kWh	01/01/2019
	CEEMAP	4.0	g/kWh	

Notas:

- Métodos de prueba Ciclo Suplementario Estable (CSE) y Ciclo Transitorio (CT).
- g/bhp-hr = gramos por caballo de fuerza al freno por hora, de acuerdo al estándar EPA.
- Métodos de prueba de Ciclo Europeo de Estado Continuo (CEEC), Ciclo Europeo de Transición (CET), Ciclo Estado Estable Mundial Armonizado de Prueba (CEEMAP) y Ciclo Estado Transitorio Mundial Armonizado de Prueba (CETMAP).
- g/kWh = gramos por kilowatt hora, de acuerdo al estándar EURO VI.

Tabla 3 Límites máximos permisibles de CO de la NOM-047-SEMARNAT-2014 para motores y vehículos automotores nuevos que utilizan Gasolina como combustible

Año-modelo vehicular	CO % vol.	Método
1990 y Anteriores	2.5	Dinámico
1991 y Posteriores	1.0	
1993 y Anteriores	3.0	Estático
1994 y Posteriores	1.0	

Notas:

- % vol. (cmol/mol).
- Los límites establecidos son de acuerdo a Constancia de Inspección y Mantenimiento (I/M, Inspection & Maintenance Programs) de Estados Unidos y la norma Euro III de la Unión Europea

La secretaria del medio ambiente determino que el CO ha sido el que más se ha emitido en la zona metropolitana, con valores que han oscilado entre el 79.2 y el 63.8% del total de emisiones generadas, pero gracias a la incorporación de nuevas tecnologías en los vehículos a partir del año 2000 hasta el 2012 se ha reducido en 51 % la emisión de este gas, esto equivaldría a una reducción desde 3.3 millones de toneladas a 1.6 millones de toneladas de CO. (Secretaría del Medio Ambiente, 2016)

Lo que la NORMA Oficial Mexicana NOM-044-SEMARNAT-2017 propone es que los fabricantes de vehículos lleguen a una actualización y mejoren sus tecnologías. Enfocado en el nuevo reglamento Euro V y VI, el cual impone a los motores que utilizan diésel, el uso del filtro antipartículas, un sistema de recirculación de gases refrigerados y además pretende aumentar su porcentaje de recirculación. Para vehículos de gasolina, incorpora deflectores en la parte baja del vehículo para distribuir el aire y que así no encuentre resistencia a su paso, añadiendo además una bomba de agua y de aceite. Para ambos tipos de motores, ahora el uso de neumáticos de baja resistencia a la rodadura es requerido mediante la tecnología de detección de sub inflado de los neumáticos, otra de las tecnologías que los fabricantes de vehículos deben desarrollar, es el sistema encendido y apagado que permita apagar el motor térmico de combustión durante las frecuente paradas que puedan llegar a presentarse en una ciudad. (Sánchez Álvaro, 2014)

Mediante un estudio por parte de “El consejo internacional de transporte limpio” (ICCT por sus siglas en ingles), se pudieron determinar algunos de los beneficios por parte de la NOM-044-SEMARNAT-2017. Estos beneficios son que se podrán evitar más de 55,000 muertes prematuras para el 2037 a causa de las partículas contaminantes en el ambiente producidos por las emisiones en el sector transporte; haciendo una resolución reduciendo la cantidad de combustible necesario para los procesos de los vehículos y el uso de las nuevas tecnologías, se estiman 120 millones de dólares en beneficios netos. Por medio de la NOM-044 a partir del 1 de enero de 2019 se contará con plena disponibilidad de Diesel de ultra bajo azufre, en todo el territorio nacional.

A partir de la disponibilidad de este tipo de Diesel se estima que los contaminantes provenientes del escape de los vehículos automotores en circulación que usan gasolina como combustible y cuyo peso bruto vehicular es mayor de 400 kilogramos en el método de prueba estática, pueden ilustrarse en la tabla 4.

Tabla 4 CO máximo permisible según su peso y año

Año modelo	Monóxido de Carbono (CO) cmol/mol (%)
1993 y anteriores	3.0
1994 a 2005	0.5

Los contaminantes provenientes del escape de los vehículos automotores en circulación en los métodos de prueba Dinámica y Estática que usan gas licuado de petróleo, gas natural u otros combustibles alternos y cuyo peso bruto vehicular es mayor de 400 kilogramos anteriores de 1993 y posteriores de 1994 tiene permisible el 1 % en CO (cmol / mol). La emisión de contaminantes provenientes del escape de los vehículos automotores en circulación año modelo 2006 y posterior en los métodos de prueba Dinámica o Estática que usan gasolina o gas natural tienen como límite permisible 0.4 % de CO (cmol / mol).

Es decir, la NOM-044 regula cuáles son los límites máximos permisibles de emisiones contaminantes que se venden en el país. También existe el caso de vehículos ostensiblemente contaminantes a gasolina que son aquellos que puede fácilmente verse que están contaminando, para este caso el límite máximo permisible es 4.5 % de CO (cmol / mol).

2.3 Estado del arte y técnica en medidor de monóxido de carbono

2.3.1 Sensor Electroquímico para CO

Los tipos de sensores de CO que existen actualmente según estudios más recientes en 2017 son los sensores electroquímicos, biométricos y tipo semiconductor. Los sensores electroquímicos, tienen una barrera del tamaño de un cabello que controla la entrada del monóxido de carbono en el interior de una cápsula. En la cápsula se encuentran dos electrodos y un electrolito, visibles en la figura 4, por lo general compuesto de ácido sulfúrico (H_2SO_4). Al pasar el CO por la cápsula, un electrodo se oxida y el otro consume

oxígeno, por lo que genera una corriente de acuerdo con la concentración de gas. Cuando el nivel de CO alcanza el valor mínimo permitido se activa una alarma. Cabe mencionar que estos sensores suelen ser muy precisos y en ocasiones incluye un que suele mostrar el valor de concentración de CO y una memoria capaz de almacenar históricamente los valores registrados. Este es el tipo de sensor más usado, porque trabaja libre de mantenimiento durante periodos muy largos de tiempo y es bastante estable y confiable.

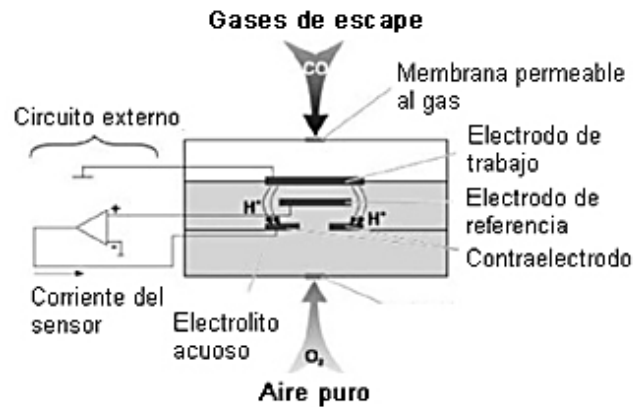


Figura 4 Sensor electroquímico para CO (Testo Argentina ,2018)

2.3.2 Sensores biométricos, infrarrojos o catalíticos.

Estos sensores utilizan una solución líquida similar a la sangre. La solución está compuesta por una mezcla de sales, metales, azúcar y una sustancia química. El sensor infrarrojo tiene un emisor de luz infrarroja cuyo haz pasa por la solución de tipo líquida y es recibida por un fotodiodo, figura 5. Si se da el caso donde detecta una concentración peligrosa de CO, el color de la solución se torna oscuro provocando que se interrumpa el haz de luz infrarroja, para entonces activar una alarma. Estos sensores generalmente se usan para detectar un nivel de concentración de CO de nivel umbral, otra característica es que no realizan mediciones continuas. (Vega José, 2017)

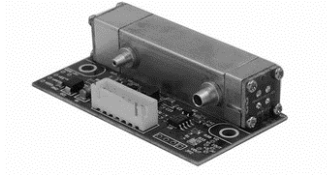


Figura 5 Sensor biométrico de CO (GRI Instrument,2019)

2.3.3 Sensores de tipo semiconductor

El funcionamiento de estos sensores, como el MQ-7 en la figura 6, consiste en una fuente de corriente que es controlada por un circuito integrado. La corriente circula por cables de dióxido de estaño que al detectar un nivel de concentración elevado de CO cierra el circuito eléctrico y se activa una alarma. Los sensores de tipo semiconductor consumen más energía eléctrica comparado con los anteriores y deben conectarse a la instalación eléctrica del lugar donde se deseen usar, también existen algunos modelos que incluyen una batería de respaldo. (Vega José, 2017)



Figura 6 Sensor tipo semiconductor (VegaROBOKit,2019)

2.3.4 Sensor de CO en celdas de combustible de polímero tipo electrolito utilizando el filtro dinámico simbólico (SDF)

Este sistema de sensor de CO para celdas de combustible es basado en una técnica de detección de anomalías. La herramienta de identificación de patrones de acuerdo a datos obtenidos, se le llama filtro dinámico simbólico (SDF). El sensor de CO es útil cuando se aplica en celdas de combustible donde el flujo de información se reforme con posibles rastros de CO. El funcionamiento de este sensor es sensible al cambio en el voltaje, por lo que genera los datos dinámicos de respuesta conforme a la corriente con que se esta

utilizando SDF. La diferencia entre los patrones registrados proporciona una indicación del contenido de CO en el flujo analizado y puede emplear una estrategia de mitigación apropiada. El uso de este sensor no es intrusivo y ofrece un método de medición robusto. Adema se puede convertir en un componente pequeño, fácilmente replicable y económico; a diferencia de los sensores electroquímicos, este sensor no tiene sensibilidad cruzada con el hidrógeno. Utilizando el metodo SDF se puede tener un rango de medición personalizado para un nivel de CO presente, cambiando el tipo, carga del catalizador y la temperatura de operación. Cuando se produce un aumento de la temperatura de operación provoca como resultado un mayor rango de detección de niveles de CO máximo, mientras que un sensor de temperatura ambiente se puede usar con una alta sensibilidad en el rango de particulas por millon. (Bhambare K.S., 2008)

2.3.5 Sensor micro plataforma de gas utilizando procesos de sistemas micro electromecánicos, (MEMS, Micro-electro-mechanical Systems).

Para este tipo de sensado se utilizo el Oxido de estaño(SnO_2) como material para la detección de gases CO y Metano. Para poder realizar este experimento se necesitara crear una microplataforma para el sensor de gas, que incluya un microcalentador y un electrodo interdigitado en una membrana. El proceso de creacion de la membrana consiste en colocar una oblea de Silicio de tipo p con un espesor de 500 μm y un diámetro de cuatro pulgadas, que se deposita en una capa de de 2 μm de espesor en ambos lados utilizando un deposito de vapor quimico de baja presion ,LPCVD (Low Preasure chemical vapor deposition). La utilidad que tienen los sensores de micro gas fabricados por procesos MEMS son de detectar CO y Metano, ademas de poder medirlo en diferentes condiciones de operación utilizando consumos de energía de 9 mW y 110 mW para 1 V y 4 V. Durante las pruebas del sensor, las temperaturas registradas de superficie de microcalentador fueron 52.8 °C y 331 ° C, respectivamente. Los resultados obtenidos en los rendimientos de detección de gas del dispositivo fueron de 200 ppm de CO y 12,500 ppm de Metano. Las señales de salida en el circuito de operación fueron 349 mV y 1,200 mV para CO y Metano, respectivamente. La detección dual de gases es posible con un solo dispositivo sensor de gas a través del cambio de sus condiciones de operación utilizando el sistema MEMS.(Nam Kyungdeog, 2015)

2.4 Patentes y desarrollos tecnológicos

A continuación, se muestra las siguientes tablas comparativas de patentes y desarrollos tecnológicos de acuerdo a los últimos años, Tabla 4 y Tabla 5, con el objetivo central de poder presentar relaciones entre el desarrollo tecnológico a nivel internacional de acuerdo al tema de sensores de CO y monitoreo de CO; la idea es principalmente adquirir un mejor entendimiento del papel de la tecnología de los métodos para prevenir intoxicación por CO, analizando los patrones de desarrollo de los sensores en los últimos años mediante distintos modelos. La Innovación en este proyecto comparado a las patentes analizadas, consiste en crear un dispositivo capaz de adherirse al tubo de escape de un vehículo, este dispositivo debe ser capaz de generar datos con los niveles de CO que se encuentran circulando dentro del sensor y al mismo tiempo capturar la información de la fecha y número de registro asignado al vehículo donde se registro, generando un reporte con estos elementos y permita crear un base de datos para control y monitoreo de Monóxido de carbono vehicular.

Tabla 4 Tabla comparativas de patentes y desarrollos tecnológicos


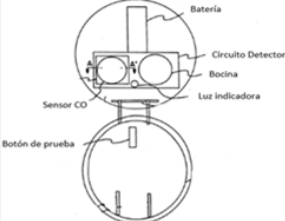
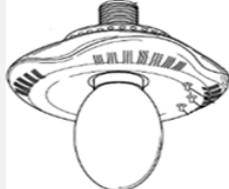
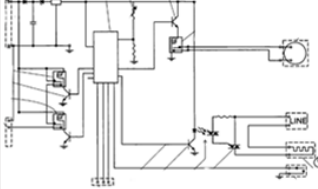
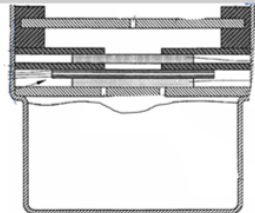

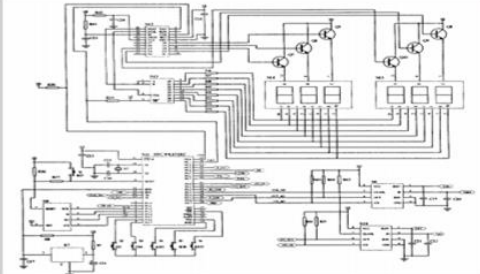


Tema	Descripción	Ilustración
Sensor de CO de celda de combustible	Sensor de monóxido de CO con un método de monitoreo en la corriente y el voltaje, a través de una carga constante conectada a una sonda PEM(Proton Exchange Membran) y operadas bajo condiciones controladas en un amplio rango de Hidrogeno en la pila de celdas de combustible para probar el gas en su interior. (Grott Stephen,1999)	
Sensor de Monóxido de Carbono Amperométrico, módulo para alarmas residentes	Consiste en un componente modular de bajo costo que se puede sustituir, o usar junto con, un detector de humo o un detector de ionización existente en una de las unidades residenciales de detección de incendios y alarmas de producción comercial disponibles en el mercado, con este módulo proporciona una advertencia temprana de condiciones peligrosas, como un incendio, un horno con fugas o una atmósfera contaminada de otra manera. (Stetter Joseph, 2012)	
Detector autoalimentado de humo / monóxido de carbono recargable	Este sensor consiste en detectar el humo y el CO. La base del detector tiene una batería recargable que se carga cuando se conecta a una fuente de alimentación, como un portalámparas de 110 voltios. El detector también está configurado para recibir una bombilla de 110 voltios para no eliminar el uso de la toma de luz como fuente de luz. Además, el detector puede incluir uno o más dispositivos de advertencia tales como una ionización, altavoz, o fuente de luz (Lax Samuel, 2010)	
Detector y método de calibración automática de monóxido de carbono	Este incluye un generador de gas monóxido de carbono en el conjunto del detector, y se controla para producir una cantidad manipulada de CO. La respuesta del sensor a la cantidad de CO generada se monitorea, y la calibración del mismo se ajusta según sea necesario. El funcionamiento del generador de gas también se monitorea, y cualquier falla se marca para la atención del usuario. El generador de gas suprime específicamente la generación de hidrógeno a través de los materiales utilizados en su construcción.(Rabbett David ,2011)	
Control de encendido con sensor integral de monóxido de carbono.	Se proporciona un control para controlar el funcionamiento de un aparato de calefacción de combustible que incluye un sensor capaz de detectar la presencia de gas de CO y proporcionar una salida indicativa de su nivel. El control incluye además un microprocesador que lee periódicamente la salida del sensor de CO y almacena al menos un valor de salida del sensor en una memoria, en donde el microprocesador interrumpe responsablemente el funcionamiento del dispositivo cuando el microprocesador detecta una salida del sensor que ha aumentado en más de un valor predeterminado. El control está configurado preferiblemente para leer periódicamente el valor de salida del sensor, y la operación discontinua sensible de un aparato al detectar un aumento predeterminado de al menos un aumento del 50 por ciento sobre el valor de salida del sensor previamente monitoreado durante un período de aproximadamente 15 a 90 minutos.(Fredricks Thomas ,2009).	

Tabla 5 Tabla comparativa de patentes y desarrollos tecnológicos

Tema	Descripción	Ilustración
Dispositivo de alarma personal de monóxido de carbono	Consiste en advertir a un individuo, de la presencia de una cantidad no saludable de CO en la sangre del individuo, que comprende una boquilla, un detector de CO, y un dispositivo de alarma. La boquilla está adaptada para detectar una cantidad mínima predeterminada de CO en la respiración y emitir una alarma cuando se detecte la cantidad predeterminada mínima. El dispositivo de alarma personal es particularmente útil en el método de tratamiento controlado por el paciente para reducir el consumo de tabaco.(Smith Trevor ,2005)	
Sistema para controlar la concentración de monóxido de carbono y la concentración de dióxido de carbono en el compartimiento del automóvil	Controla la concentración de CO y CO2 en un compartimiento de automóvil. Se toma un microcomputador de un solo chip PIC16F877A como un núcleo de control, la concentración del CO y CO2. Se transmite al microordenador de un solo chip a través de un sensor CO y otro sensor CO2 si la concentración excede un valor preestablecido o no es juzgado por el microprocesador de un solo chip a través de una operación lógica, y si la concentración de carbón monóxido o la concentración de la carbón el dióxido excede el valor preestablecido, se envía la alarma de luz y sonido(Shixue Chen,2013)	
Sensor compuesto para metano y monóxido de carbono	El modelo revela un sensor de metano y CO, que comprende una unidad de micro control, un circuito de detección de metano conectado de forma ordenada, un circuito amplificador y un convertidor Analógico / Digital. Donde están comprendidos por medio de circuitos: visualización de señales de metano y salida de señales de metano que se conectan de manera correspondiente con los puertos de la unidad de microcontroladores, una alarma acústico-óptico, salida de señal de apagado, suministro de energía, una conexión ordenada de detección de CO, amplificador de señal , una memoria externa que se conecta de manera correspondiente con el puerto de la unidad de control micro, pantalla de señal de CO ,salida de señal de CO, un teclado y un circuito de recepción de control remoto.(Jin Chen ,2007)	
Robot multi detector de gases para minería	Se desarrollo un prototipo mecatrónico móvil (robot), para realizar la medición precisa de la concentración de gases presentes en una mina de carbón a diferentes distancias y sin exponer ninguna vida humana. El prototipo estará en condiciones de enfrentar ambientes hostiles y terrenos irregulares como los encontrados en el interior de una mina de carbón. (Castellanos David, 2013)	
Monitorización distribuida en tiempo real de monóxido de carbono a través de smartphones	El sistema ciber físico es un conjunto de componentes que interactúan entre sí. Los componentes de este proyecto son: el sensor Sensordrone, la aplicación móvil instalada en un Smartphone con sistema operativo Android versión 4.2.2. , la aplicación web y la interfaz web corriendo en un servidor de aplicaciones JBoss versión 7.1.1. (Stalin Jonnathan, 2016)	

2.5 Patentes y desarrollos tecnológicos

Las señales analógicas son aquellas funciones continuas que a través del tiempo toman valores en un rango continuo. Estas señales pueden procesarse con sistemas analógicos con el fin de extraer la información que se necesite o con propósito de cambiar sus características. El tratamiento digital de estas señales proporciona un método alternativo para procesar una señal analógica. Y se aplica en un amplio rango de áreas: como el procesamiento de voz, transmisión de señales mediante el uso de canales telefónicos, transmisiones de imágenes y procesamiento, entre otras áreas.

Para realizar el proceso digital de una señal, ésta tiene que ser digital. Se define una señal digital a una señal discreta en el tiempo que sólo tiene permitido tomar un conjunto de valores discretos. Si esta señal es una señal analógica, se convierte en una señal digital muestreándola en instantes discretos de tiempo y cuantificando sus valores por medio de un conversor analógico/digital. Para que a continuación se procese la señal. La nueva señal procesada entonces será una señal digital, en caso de necesitar una señal analógica, se empleará un conversor digital/analógico en su salida, en la figura 7 se puede apreciar el proceso antes mencionado donde la señal analógica se convierte en una digital al entrar en la etapa del muestreador.

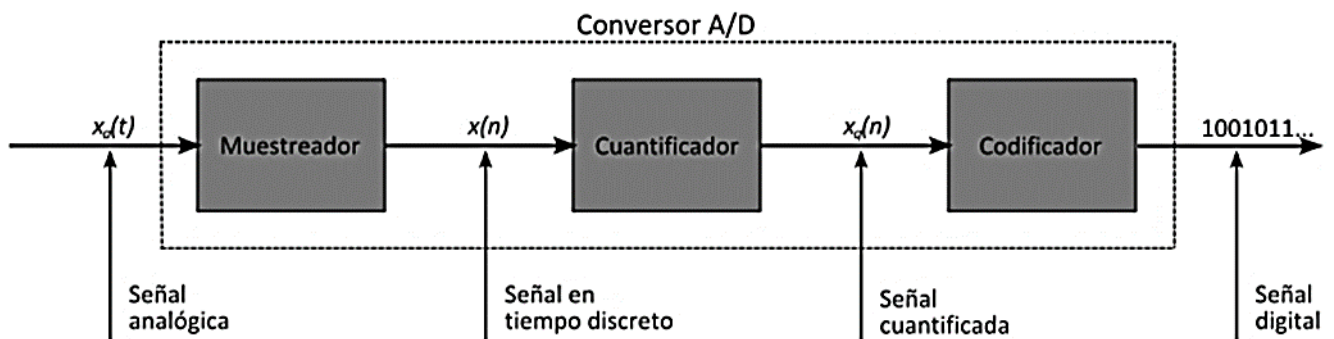


Figura 7 Conversor Analógico a Digital (Fries Bruce, 2005)

Una alternativa para realizar el procesamiento digital de señales es usar los microprocesadores. De hecho, se ha desarrollado una clase de microprocesadores específicos para el procesamiento digital, conocidos como el Procesador de señal digital en inglés (Digital Signal Processors ó DSP) Los DSPs realizan de una forma muy eficiente funciones típicas del procesamiento digital de señales como la suma de productos. Pero en

algunos casos la velocidad, el área y el consumo de energía no son adecuados para el desarrollo de sistemas de proceso digital. Otra alternativa son los circuitos integrados. Estos se pueden clasificar dependiendo de su metodología de diseño y fabricación. Existen tres grandes grupos: circuitos integrados estándar, circuitos integrados de aplicación específica, (ASICs, Application Specific Integrated Circuit) y dispositivos de lógica programable, (PLDs, Programmable Logic Device) (Querejeta Itsaso, 2014)

Un conversor analógico-digital es un dispositivo electrónico que permite convertir una señal analógica en una señal digital. Las señales analógicas se caracterizan por poder adoptar infinitos valores mientras que las señales digitales sólo pueden tomar ciertos valores determinados. Un ejemplo de señales analógicas son los valores de voltaje que se alcanzan en un punto de un circuito electrónico.

“Así pues, en un conversor analógico-digital se transforma una señal de voltaje (analógica) en unos y ceros (digitales) que representan el voltaje medido”. (Martínez Alejandro, 2016)

Conforme el paso de los años y los avances tecnológicos, podemos comprobar que, continuamente, se han ido produciendo versiones nuevas o actualizaciones en la tecnología que han facilitado la vida de las personas. No obstante, en estos últimos años, estamos viviendo una auténtica explosión tecnológica y es que, cada vez más rápido, tenemos un nuevo dispositivo diferente de todo lo que existía anteriormente. Uno de estos nuevos dispositivos es la placa Arduino

Arduino, generalmente es definida como una placa que contiene un microcontrolador y muchos dispositivos conectados a él. A la hora de utilizar este componente, debe tomarse a consideración las siguientes características:

- “Rango de entrada: valores máximo y mínimo de voltaje que se pueden medir. El conversor de Arduino tiene un rango de entrada de 0 a 5V.

- No. de bits: número de bits utilizados para indicar el valor de la medida. En nuestro caso el convertidor es de 10 bits lo que significa que a la salida obtendremos valores comprendidos entre 0 y 1023 (de tal forma que 1023 corresponde a 5V y 0 corresponde a 0V)". (Martínez Alejandro, 2016)

Con los conocimientos generales adquiridos ,con respecto en como transformar la señal analogica a digital es como tomaremos la información del sensor semiconductor de CO.

2.6 Generalidad de sensores de monóxido de carbono

A nivel global la problemática ambiental ha generado cambios en el desarrollo tecnológico, haciendo que nuevos ingenieros e ingenieros con experiencia, se esfuercen en conjunto para mejorar los procesos, con la visión de a disminuir el impacto ambiental que durante los últimos años se ha originado en el ambiente a consecuencia de las emisiones de gases contaminantes y sus efectos a corto y largo plazo, el objetivo de los nuevos avances tecnológicos ha sido a fin de controlar las condiciones en las que las sustancias contaminantes son liberados directamente al ambiente, mediante dispositivos que recolecten información precisa, que permitan la toma de decisiones enfocadas a diseñar nuevos métodos preventivos y correctivos. La gran mayoría de los efectos globales de la contaminación (efecto invernadero, lluvia acida, disminución de la capa de ozono, entre otros) están relacionados con las emisiones de gases contaminantes que llegan a la atmosfera. De entre los cuales, los motores de combustión interna, las centrales térmicas, los sistemas de acondicionamiento de ambiente y los procesos de fundición de metales son las actividades donde se han establecido actualmente un control más estricto, con el fin de disminuir en gran manera las elevadas concentraciones de gases considerados como contaminantes en la atmosfera, entre los que se encuentran el monóxido de carbono (CO). Los sensores de monóxido de carbono se presentan como una herramienta de alta utilidad en el diseño de sistemas de control y monitoreo, ya que pueden ser utilizados y colocados en el sitio donde se está produciendo la contaminación, generando así lecturas en tiempo real permitiendo que de esta manera se pueda lograr una evaluación inmediata, de acuerdo a la problemática existente. (Escalona Luis, 2012)

El MQ-7 puede detectar concentraciones en el rango de 20 a 2000ppm. Este, es un sensor fácil de usar para detección de Monóxido de Carbono (CO), ideal para detectar concentraciones de CO en el aire. El módulo posee una salida analógica que proviene del divisor de voltaje que forma el sensor y una resistencia de carga. Además, también tiene una salida digital que se calibra con un potenciómetro, en esta salida tiene un led indicador. (Naylamp Mechatronics, 2019)

Capítulo 3. Metodología

3.1 Materiales y método

El método para desarrollar este proyecto consiste en investigar cuales son las opciones tecnológicas disponibles, estándares de emisión de monóxido de carbono de automóviles en México, con el objetivo de seleccionar el mejor sensor, y tener un dispositivo de procesamiento digital adecuado para la simplicidad y calidad de las mediciones, mediciones que son obtenidas de acuerdo al prototipo propuesto.

Los materiales de construcción fueron elegidos después de un análisis de patentes, considerando que componentes podían ser de mayor utilidad para un monitoreo de CO fiable. Por lo que el sensor que se selecciono fue el MQ 7, ya que tiene referencias confiables de sensibilidad de partículas de CO en unidades de partículas por millón, otra de las ventajas que tiene este sensor es que puede obtenerse sin ser muy costoso.

Para poder hacer uso de este sensor y comenzar con la etapa de construcción de un esquema electrónico fue necesario encontrar un componente que pudiera hacer conversión analógica a digital y además pudiera ser capaz de proyectar la información en una pantalla tipo LCD, por lo que la placa Arduino fue indispensable para la construcción del prototipo.

La conexión utilizada para el prototipo puede verse en la Figura 8, donde los materiales utilizados son: el sensor MQ 7, la placa Arduino, un display LCD 16x 2, también puede apreciarse el componente buzzer 5v que es utilizado para hacer pruebas de detección de partículas de CO.

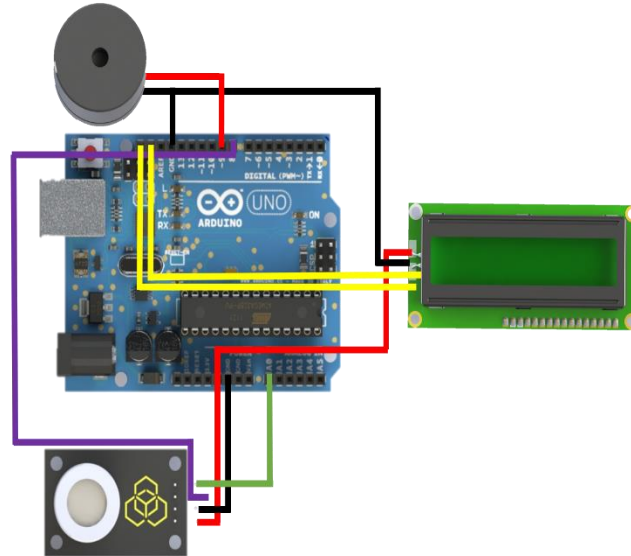


Figura 8 Esquema de conexión de sensor de CO

Después en el sistema se harán pruebas con la etapa de registro de información, que será almacenado en una memoria tipo SD, información que podrá ser utilizada en cualquier computadora con adaptador SD.

Al tener resultados después de la etapa de pruebas, se crea un montaje prototipo donde pueda adaptarse a un automóvil; la Figura 10 y 11 son componentes propuestos los cuales son colocados en diferentes lugares del automóvil: el Circuito de monitoreo dentro del maletero y el sensor de CO en el tubo escape.



Figura 9 Circuito de Monitoreo del prototipo

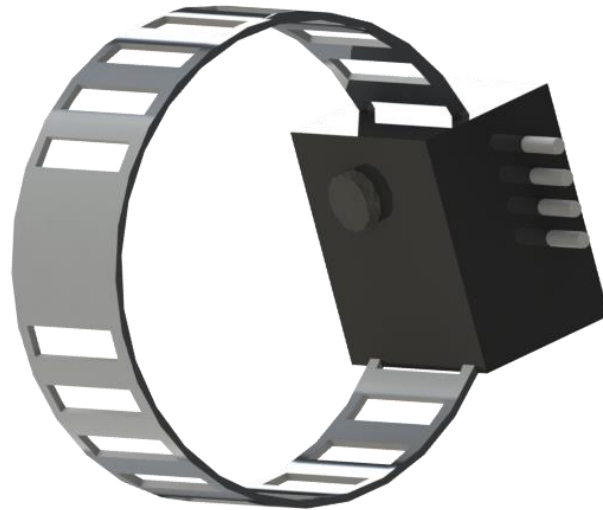


Figura 10 Montaje del sensor MQ7

La configuración propuesta está en la Figura 11, en esta figura se consideró la importancia de tener lo mas cerca posible el sensor del tubo de escape, ya que de esta manera las mediciones podrán validadas con mayor precisión. Cada una de las figuras donde se muestran los dispositivos fueron diseñados mediante el software SolidWorks para un análisis del montaje previo a su construcción.



Figura 11 Montaje del sistema de monitoreo diseñado en CAD

3.2 Pasos para tener el montaje del prototipo en forma

El desarrollo del prototipo fue elaborado en el siguiente orden, estos puntos detallan calibración y desarrollo del código para los módulos I2C Display, MQ7 y SD de acuerdo al esquema electrónico de la Figura 12, del mismo modo la proyección de los módulos en CAD y los ajustes realizados fueron diseñados con SolidWorks, con el fin de que el proyecto conservara la proyección mostrada en la Figura 11 para su montaje.

- Construir el circuito básico de calibración de cada modulo utilizado en el proyecto. (Modulo I2C Display, Modulo MQ7y Modulo SD.
- Desarrollar la programación individual de cada modulo con su circuito de calibración.
- Construir el circuito de Monitoreo de CO utilizando el módulo I2C Display y el módulo MQ7
- Desarrollar la programación de calibración del modulo MQ7 incorporando el módulo I2C Display
- Configurar la programación del modulo MQ7 para tener distintos rangos de detección de CO
- Hacer pruebas de detección de CO con él circuito durante distintos tiempos (cada 5 ,10,15 segundos y 5 min)
- Construir el circuito del prototipo añadiendo el módulo SD
- Desarrollar la programación del sistema de monitoreo añadiendo el módulo SD para registrar los datos en una memoria SD externa
- Hacer pruebas de detección de CO con el circuito, registrando CO en periodos de 10 segundos durante 3 horas.
- Diseñar el circuito esquemático del prototipo mediante el software SOLIDWORKS
- Diseñar los modelos 3D de los módulos Display, SD, MQ7y Arduino UNO, utilizando SOLIDWORKS
- Diseñar las placas PCB del circuito, utilizando SOLIWORKS PCB
- Añadir el modelado del PCB a los módulos
- Imprimir el modelado del circuito de monitoreo y el circuito del sensor
- Incorporar todos los componentes

- Realizar pruebas de laboratorio y pruebas en ambientes reales
- Análisis de Resultados

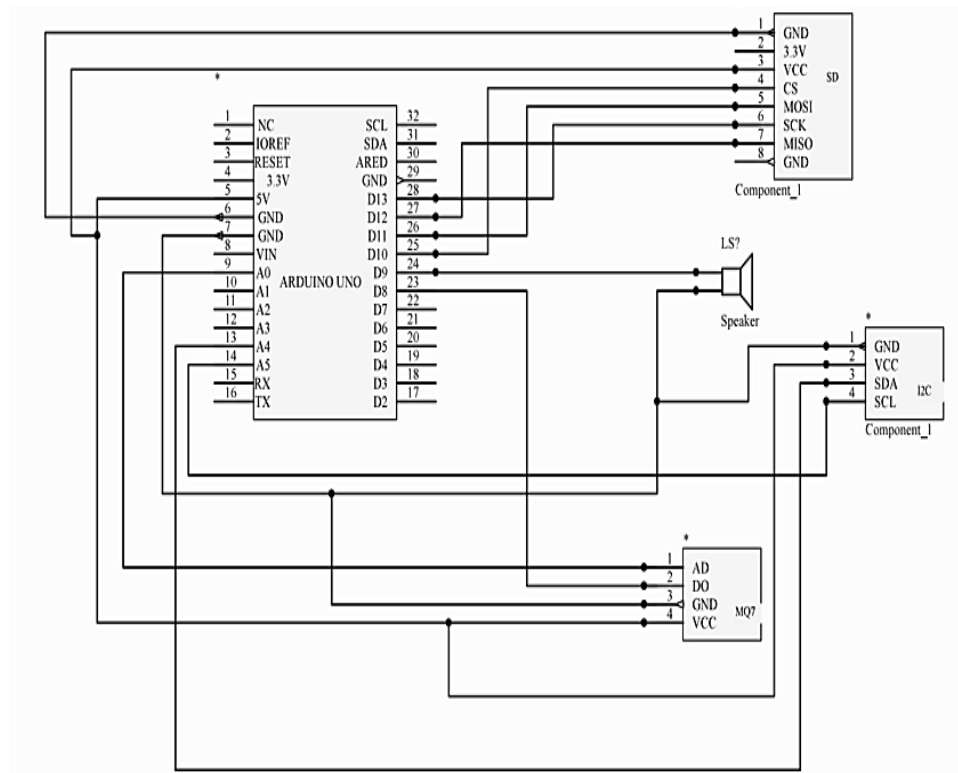


Figura 12 Circuito esquemático de prototipo de monitoreo de CO

A continuación, se muestran las figuras con los diseños CAD finales del prototipo, incorporando los componentes del proyecto mediante software y su función en durante el desarrollo del proyecto.

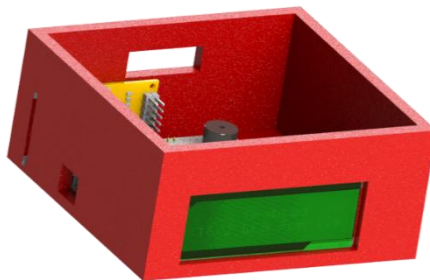


Figura 13 Prototipo de monitoreo validado

Para el calibrado del sensor de CO, se usó el componente Arduino Uno para la interpretación de señales, de tal modo que haciendo uso de su software de configuración Arduino, el sensor fue incorporado a un sistema de alarma, este sistema consistía en registrar la cantidad de partículas que estaban presentes en el ambiente, para validar dicho sistema de alarma se utilizó un encendedor que al liberar gas incremento el número de partículas que el sensor se encontraba registrando, cuando el sensor registraba el número de 200 PPM activaba un buzzer que producía una alarma sonora hasta que el número de partículas se redujera. En las Figuras 14 y 15 están los modelos utilizados para construir el sistema de alarma.

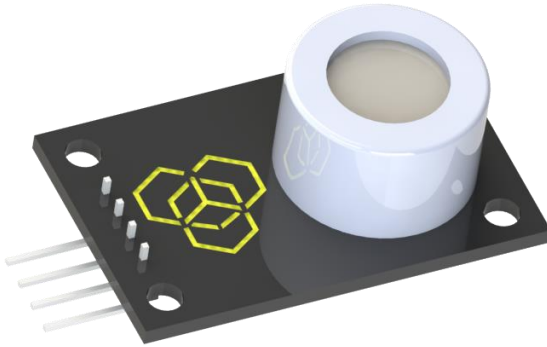


Figura 14 Sensor CO

El sensor de la Figura 14 es capaz de registrar partículas desde 0 a 1800 de CO en este prototipo. Otro de los componentes que se modeló para incorporarlo al prototipo puede verse en la Figura 15, componente que se enciende con 5V para activar un sonido, utilizado como alarma.



Figura 15 Buzzer 5v, utilizado para registrar cuando el CO disminuía o aumentaba

El siguiente paso de la validación del prototipo consistió en calibrar por separado los distintos módulos que se utilizan actualmente, como es el caso del módulo I2C en la

Figura 16, utilizado para desplegar información sin necesidad de estar conectado a una computadora.

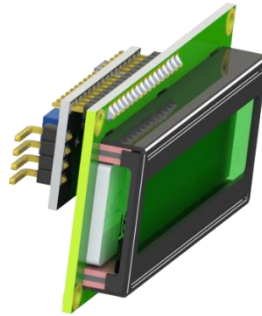


Figura 16 Módulo I2C, se encuentra soldado a un display 16x2, también reduce el número de conexiones que requiere el display.

Después de validar el módulo por medio de desplegar la información en tiempo real del sensor de CO, se creó un nuevo código contador para calibrar el modulo SD (Figura 17), el contador está programado en el código del Arduino para validar si el módulo de memoria SD sería capaz de guardar la información del sensor cada cierto periodo de tiempo.

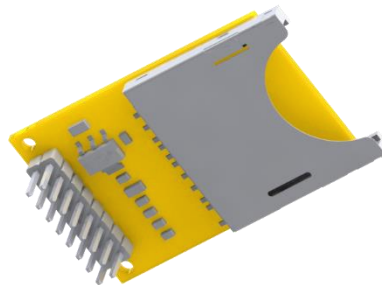


Figura 17 Módulo de memoria SD

Una vez validados los módulos es necesario tomar el código de cada modulo para crear uno nuevo que involucre el manejo de datos que esta registrando el sensor MQ7, cada uno de estos códigos puede ser encontrado en la sección de anexos de este trabajo. Una vez el código compilado se hizo la misma prueba con un encendedor, con esto se comprobó que todos los módulos funcionaban correctamente, debido a que cuando el

sensor registraba datos, estos eran grabados al mismo tiempo en la memoria SD, también la información desplegada en el display era la misma que estaba registrado el software , al llevar a cabo la validación del prototipo en condiciones ambientales se modificó nuevamente el código para realizar una prueba de tiempo mas extensa, durante tiempos cortos definidos; el código de programación consistió en tomar lecturas dentro del ambiente cada 10 segundos durante un tiempo de dos horas.

El siguiente paso realizado en este proyecto fue el diseñar en CAD las piezas que mantendrían a los módulos protegidos y funcionales, el sistema de monitoreo finalmente se ensambló de apartado del sensor , esto se puede ver la Figura18; otro de los objetivos que se busco cumplir para esta etapa del proyecto fue el desarrollar un diseño que pudiera ser utilizado e instalado fácilmente en automóviles, ya que el prototipo tenia que montarse en el tubo de escape de un vehículo, sin importar la diferencia de dimensiones que existen en los tubos de escape hoyen día de los automóviles.

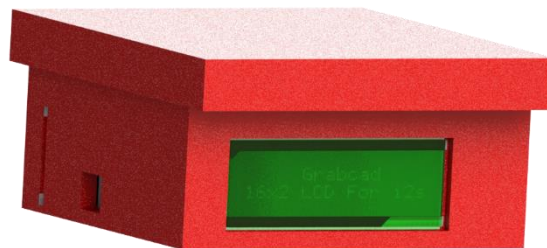


Figura 18 Sistema de monitoreo terminado

El prototipo fue modificado como una mejora a lo que previamente se había planteado ya que era necesario que el montaje del sensor al tubo de escape resistiera sin problemas la temperatura que pudiera elevarse al estar el automóvil en marcha. Esta modificación esta puede distinguir en la Figura 19 a continuación.



Figura 19 Sensor de Monóxido de carbono con montaje

Para terminar este capítulo de metodología, la última prueba consistió en montar el prototipo completo en un automóvil. Las pruebas se realizaron en un Dodge Attitude 2018, con un kilometraje de 10,000 km; la prueba consistía en poder registrar en distintas condiciones el CO que proviniera del tubo de escape del vehículo, el vehículo primeramente tenía que estar encendido y sin ninguna obstrucción, después el motor serió revolucionado cortos periodos de tiempo, se repetirían estos dos casos, pero ahora en condiciones cuando el automóvil estuviera con una puerta de garaje cerrada.

3.3 Modelos trabajados para el prototipo y código

La construcción de los modelos para el prototipo fue evolucionando de acuerdo a las necesidades para montaje en automóviles, además se consideró un cambio en algunos de los modelos para tener prontos resultados de acuerdo a los módulos utilizados para crear el circuito del prototipo, sin embargo, no cambio el tipo de montaje planteado, solo se modificó el diseño.

Cada modulo tiene un código independiente de programación, diseñado con el fin de calibrar individualmente los componentes para así identificar con mayor facilidad cualquier anomalía, los códigos de programación están en la sección de anexos de este documento. El código desarrollado en este prototipo enlaza todos los módulos, por lo que

existen modificaciones al código de calibración añadiendo parámetros de medición, categorías o etiquetas que identifican cuando la cantidad de CO esta por encima de lo normal, estas categorías son llamadas: Aire perfecto, CO normal, CO alto y CO muy alto; estas etiquetas se encuentran dentro de la sección de anexos con el nombre de Código principal del prototipo.

Por último, se muestra el diseño impreso en 3D y con circuito montado en la ilustración 20.

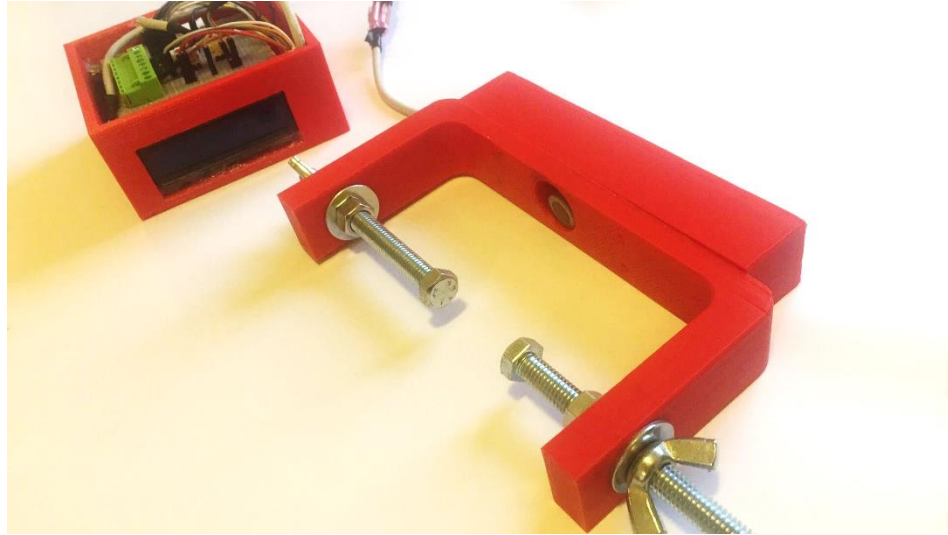


Figura 20 Prototipo impreso

Capítulo 4. Resultados y discusiones

4.1 Partículas de CO en el ambiente

A partir de la NORMA Oficial Mexicana NOM-044-SEMARNAT-2017 se estima los contaminantes provenientes del escape de los vehículos automotores en circulación que usan gasolina como combustible y cuyo peso bruto vehicular es mayor de 400 kilogramos en el método de prueba estática, ilustrados en la Tabla 6.

Tabla 6 Porcentaje de CO máximo permisible según su peso y año

Año modelo	Monóxido de Carbono (CO) cmol/mol (%)
1993 y anteriores	3.0
1994 a 2005	0.5
NORMA Oficial Mexicana NOM-044-SEMARNAT-2017	

Se utilizó los valores de esta tabla para comparar los resultados obtenidos de los valores arrojados por el prototipo de CO, los valores fueron resultado de las partículas que existían dentro de una casa cuando se dejaba abierto la tubería de gas por periodos de

tiempo cortos, puede mostrarse el número de tomas de partículas de CO que el prototipo pudo registrar en la Figura 21.

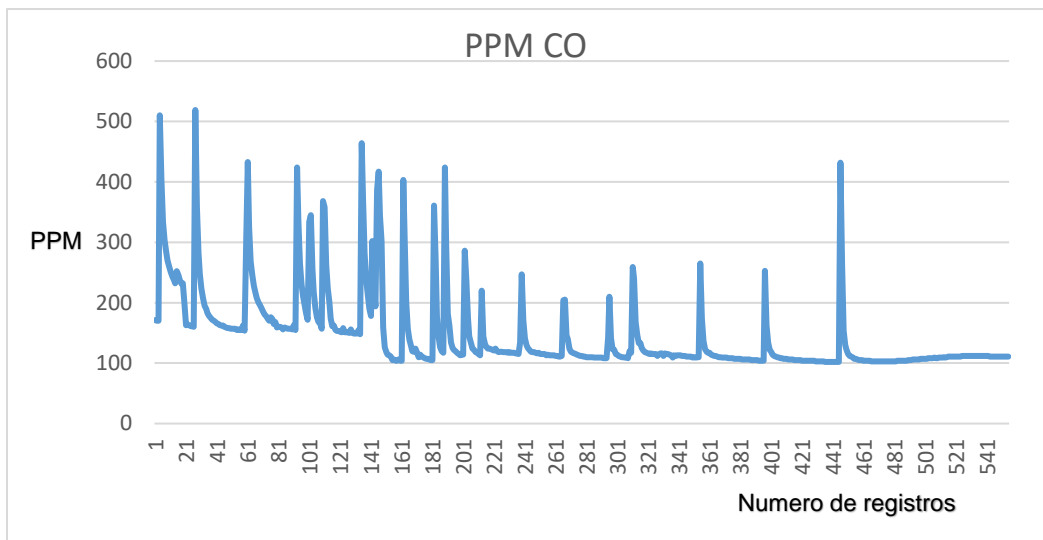


Figura 21 Resultados de pruebas en Casa habitación

El sensor MQ7 registró la información en la memoria SD creando un archivo de texto con un número de 541 registros, el mínimo de partículas registradas durante este periodo fue por debajo de las 550 PPM, por lo que el prototipo mostró el mensaje "CO normal", de acuerdo al código con el que fue configurado, este mensaje solo es mostrado cuando el sensor registra un número de partículas dentro del rango de 200 PPM a 800 PPM. La prueba de registro de CO en PPM de una estufa de una casa habitación se registró desde el número 1 al registro número 221 y la prueba de registro de CO en PPM de un encendedor desde el registro número 221 al 541.

Para mostrar la eficiencia del prototipo se realizaron pruebas en un automóvil Dodge Attitude 2018 con un kilometraje de 10,000 kilómetros, donde se el sensor de CO se montó en la tubería de escape del vehículo, Figura 22.



Figura 22 Montaje del sensor de CO en automóvil

La prueba arrojó distintos valores registrados por el prototipo ya que no solo se puso en marcha el motor durante determinado tiempo, sino que también obtuvo registros como resultado de revolucionar el motor al presionar el acelerador del vehículo, dentro de un garaje con puerta abierta y cerrada, los resultados obtenidos se encuentran en la Figura 23.

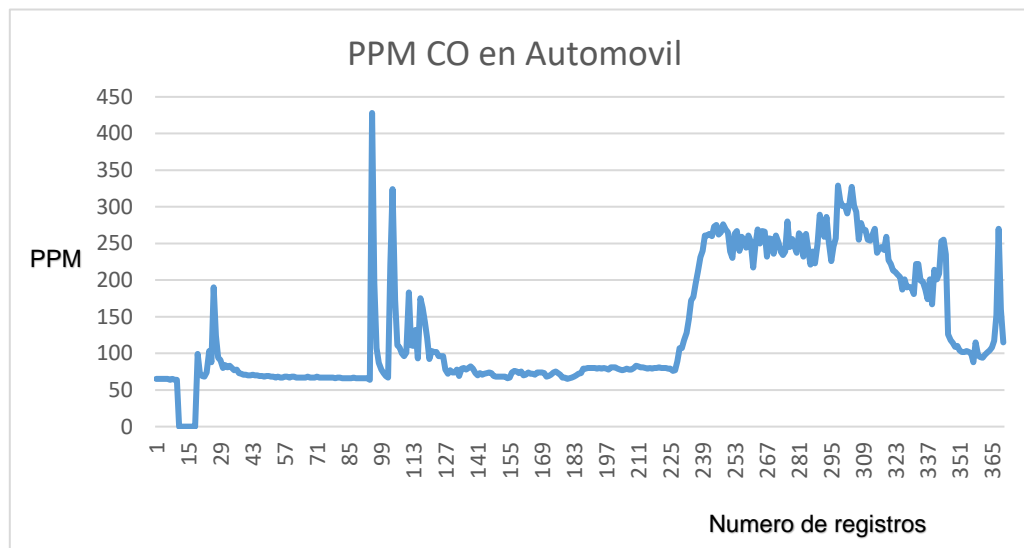


Figura 23 Resultados en automóvil

En esta etapa de validación del prototipo, el sensor MQ7 se encontraba incorporado al montaje del sensor, por lo que los datos registrados vienen directamente de la cantidad de partículas de CO expulsadas por el tubo de escape del vehículo. Los datos representados en la gráfica son procedentes de la información guardada en la memoria SD, el tiempo que tardo en encenderse el vehículo se encuentra registrado desde el número de registro 1 al registro 29, después de este periodo el vehículo estuvo en marcha sin ninguna alteración y la cantidad de partículas de CO permaneció por debajo de los 100 PPM, a partir del registro 99 al 127 el sensor pudo detectar la cantidad de PPM de CO registrada cuando se presionó el pedal del acelerador en distintas a distintas revoluciones del motor; para finalizar la etapas de pruebas del prototipo se cerró la puerta de garaje donde se encontraba el vehículo con el fin de concentrar un mayor número partículas de CO en la zona, a partir del registro 239 la puerta de garaje permaneció cerrada y se comenzó a presionar el pedal del acelerador para monitorear las PPM de CO expulsadas por el tubo de escape hasta el registro 349, después de este registro simplemente se dejó el motor en marcha y luego se procedió a apagar el motor del vehículo.

Para poder tener resultados comparativos con respecto a la norma previamente mencionada es necesario analizar la siguiente formula. Lo que los datos del prototipo muestran son las partículas por millón (ppm) por lo que es necesario hacer la conversión a % de CO, después de analizar los resultados en la gráfica podemos darnos que los valores se encuentran por debajo .05% de CO.

$$X (\%) = x(\text{ppm}) / 10000$$

500 ppm (ejemplo)

$$500 / 10\,000 =$$

0.05

X (%) es el número en porcentaje de CO en el ambiente por lo que para determinarlo dividiremos el numero de partículas registradas sobre 10,000, una vez tengamos el resultado es posible compararlo con las normas oficiales de emisiones al ambiente en México o cualquier otro país o con cualquier otro tema donde el análisis del porcentaje de monóxido de carbono es un dato de utilidad.

Capítulo 5. Conclusiones

Los resultados que muestra el prototipo de CO permiten determinar si un vehículo está dentro o fuera de lo establecido por la Norma Oficial Mexicana haciendo que el prototipo sea una herramienta importante para determinar la huella de carbono de una zona determinada. Hoy en día existen muchas compañías que utilizan una cantidad significativa de vehículos como parte de la rutina de trabajo, el poder determinar la cantidad de CO registrada en la zona facilita un mejor control para mantener una calidad del aire adecuada. Uno de los principales aportes que puede dar esta herramienta de monitoreo a las compañías, es cuando cuentan con vehículos que no portan placas y no pueden tener una verificación ambiental, como el caso de los vehículos utilizados para jardinería o mantenimiento diario de comunidades de condóminos, además del uso de tractores para mantenimiento de calles o caminos. Tener esta herramienta facilita el control de emisiones en vehículos utilizados para el trabajo y mantenimiento que cuenten o no cuenten con la posibilidad de tener una verificación vehicular, ya que los datos registrados en la memoria SD fácilmente permite crear una gráfica que muestre el comportamiento del vehículo donde se esté utilizando, haciendo del prototipo una herramienta practica y de fácil uso sin ningún software en especial.

Referencias

- Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades, Resumen de Salud Pública: Monóxido de Carbono (2012), DEPARTAMENTO DE SALUD Y SERVICIOS HUMANOS de los EE. UU., Servicio de Salud Pública Pag.4. consultado en: https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs201.pdf
- ARDUINO (s.f.). ARDUINO. Obtenido de Sitio Web de Arduino: <http://arduino.cc/en/guide/> introduction.
- Bhambare K.S., A carbon monoxide sensor in polymer electrolyte fuel cells based on symbolic dynamic filtering (2008), Sensors and Actuators B 134 (2008) 803–815, consultado en: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.552.3185&rep=rep1&type=pdf>
- Blumberg Kate, Euro VI / EPA 2010 para transportación limpio (2016), ICCT, consultado en: https://www.theicct.org/sites/default/files/Blumberg_SEDEMA%20taller_2016.pdf
- Caballero Margarita, Ciclo Biogeoquímico del Carbono (2017), Instituto de Geofísica, UNAM. Consultado en: <http://usuarios.geofisica.unam.mx/cecilia/CT-ST/ciclocarbono.pdf>
- Calla Lucía, Luján Marcos (2018). Inventario de emisiones de fuentes móviles con una distribución espacial y temporal para el área metropolitana de Cochabamba, Bolivia. RevActaNova., Vol. 8, No. 3
- Centro Mexicano de Derecho Ambiental, Euro VI / EPA 2010 para transportación limpio (2016) consultado en: https://www.cemda.org.mx/wp-content/uploads/2016/03/esp_044-benefits-factsheet_final_press-conference-1.pdf

- Cheng-Chung Lee, (2015). The Current Trends of Optics and Photonics, Dordrecht, Holanda, Edición: 2015
- Coronel Guillermo Enríquez. (2015). Secuelas neuropsiquiátricas por intoxicación por monóxido de carbono. Palacio Revista Mexicana de Neurociencia. Volumen 16(6): 63-70.
- Deiterman Lenard, *CARBON MONOXIDE EMITTING APPARATUS* (2002), consultado en: <https://patentimages.storage.googleapis.com/65/a8/15/abf496cbd8fe06/US6433696.pdf>
- Departamento de Estudios Técnicos (DET), Monóxido de carbono Vs Dióxido de carbono (2018), Industrial Scientific Corp. Consultado en: <http://www.cbn.cl/sitio4/noticias/103-articulostecnicos-2/4009-monoxido-de-carbono-vs-dioxido-de-carbono.html>
- Detectores de CO. (2019, abril 08). Recuperado de <https://www.bestreviews.guide/carbon-monoxide-detector-for-car>; https://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-613536099-coches-y-vehiculos-de-monoxido-de-carbono-detector-de-co-por-_JM?quantity=1
- Diario Oficial de la Federación, Norma Oficial Mexicana NOM-044-SEMARNAT-2017, Consultado en: https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5513626&fecha=19/02/2018
- Edison M. Carrión (2016) Sistema de monitoreo de monóxido de carbono a través de una red de sensores inalámbrica y una plataforma como servicio en la nube para una residencia, MASKANA, CEDIA 2016 TIC.EC 57

- Environmental Protection Agency, 2014. EPA. Obtenido de EPA: <http://www.epa.gov/espanol/saludhispana/monoxido.html>.
- Escalona Luis, Los sensores químicos y su utilidad en el control de gases contaminantes (2012), Revista Ingeniería UC, Vol. 19, No. 1, consultado en: <http://servicio.bc.uc.edu.ve/ingenieria/revista/v19n1/art09.pdf>
- Falkowski P., The Global Carbon Cycle: A Test of Our Knowledge of Earth as a System (2000), Science, New Series, Vol. 290, No. 5490., pp. 291-296. Consultado **en:** https://www.researchgate.net/publication/30509975_Global_carbon_cycle_A_test_of_our_knowledge_of_the_earth
- Fasohere, Multi -función Coche Carbono Monóxido Detector, Rápido C (2019), Fasohere, consultado en: <https://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-653900485-multi-funcion-coche-carbono-monoxido-detector-rapido-c- JM?quantity=1>
- Fredricks Thomas, Ignition control with integral carbon monoxide sensor (2009), Emerson Electric Co. Consultado en: <https://patents.google.com/patent/US20070099137A1/en?q=Monoxyde&q=carbon&q=sensor&oq=Monoxyde+carbon++sensor&page=5>
- FRIES Bruce, Audio digital práctico (2005). Ed. Anaya Multimedia, Consultado en: <http://serbal.pntic.mec.es/srug0007/archivos/radiocomunicaciones/3%20SE%D1ALES%20DIGITALES/Muestreo%20digital.pdf>
- GRI Instrument, CO Infrared NDIR gas sensor module (2019), consultado en: https://www.alibaba.com/product-detail/CO-Infrared-NDIR-gas-sensor-module_1893416447.html
- Grott Stephen, Fuel cell CO sensor (1999), University of California, GM Global Technology Operations LLC. Consultado en: <https://patents.google.com/patent/US6001499A/en?q=sensor&q=CO&oq=+senso>

[r+CO](#)

- Guirola Fuentes J, Pérez Barly L, O Relys Noda D, Guedes Díaz R, Soca Rodríguez Y. Intoxicación por monóxido de carbono. Presentación de un caso. Rev Méd Electrón [Internet]. 2018 May-Jun [citado: 25 Mar 2019]. Disponible en: <http://www.revmedicaelectronica.sld.cu/index.php/rme/article/view/1885/3852>.
- HANWEI ELECTRONICS CO., LTD. TECHNICAL DATA MQ-7 GAS SENSOR, Sitio Web: <https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Biometric/MQ-7.pdf>
- Informe de la Situación del Medio Ambiente en México, Atmosfera (2015), Pag.259, consultado en: https://apps1.semarnat.gob.mx:445/dgeia/informe15/tema/pdf/Cap5_atmosfera.pdf
- Informe Semanal de Morbilidad y Mortalidad, Número de muertes resultantes de intoxicación involuntaria por monóxido de carbono, por mes y año - Sistema Nacional de Estadísticas Vitales, Estados Unidos, 2010–2015 (2017); 66: 234. Obtenido del sitio web: <http://dx.doi.org/10.15585/mmwr.mm6608a9>
- Instituto Mexicano para la Competitividad A.C. NOM 044 retos y oportunidades para su cumplimiento. México. 1° de noviembre de 2015.Pág. 7. Consultado en: http://imco.org.mx/wp-content/uploads/2015/11/2015-Nuevos_camiones_menos_contaminantes-Documento.pdf.
- Jin Chen , Composite sensor for methane and carbon monoxide (2007), Consultado en: <https://patents.google.com/patent/CN2884199Y/en?q=Monoxyde&q=carbon&q=sensor&oq=Monoxyde+carbon++sensor&page=10>
- Lax Samuel, Self-powered rechargeable smoke/carbon monoxide detector (2010), Sadari Holdings LLC. Consultado en: <https://patents.google.com/patent/US7786879B2/en?q=Monoxyde&q=carbon&q=>

[sensor&oq=Monoxyde+carbon++sensor&page=1](#)

- Ludivine Conte (2019). The oceanic cycle of carbon monoxide and its emissions to the atmosphere, *Biogeosciences*, 16, 881–902
- Martínez Alejandro, Conversor analógico-digital con arduino (2016), consultado en: <http://fdetonline.com/conversor-analogico-digital-con-arduino/>
- Martínez Alejandro, Una placa arduino para construir tus proyectos (2016), consultado en: <http://fdetonline.com/una-placa-arduino-construir-tus-proyectos/>
- Ministerio para la transición ecológica, Evaluación de la calidad del aire en España (2017), Pag. 5, Consultado en: https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/informeevaluacioncalidadairespana2017_tcm30-481655.pdf
- Nam Kyungdeog, Sensor de micro gas mediante procesos MEMS para la detección selectiva de gas dual de monóxido de carbono y metano (2015), Universidad Ajou, Suwon Gyeonggi-do, Consultado en: <https://www.ama-science.org/proceedings/details/2105>
- National Center for Environmental Health (2018). Carbon Monoxide Poisoning, Sitio Web: <https://www.cdc.gov/co/pdfs/faqs.pdf>
- Naylamp Mechatronics, Sensor de Monóxido de Carbono MQ7 (2019), consultado en: <https://naylampmechatronics.com/sensores-gas/74-sensor-de-monoxido-de-carbono-mq7.html>
- Pérez Darquea Diego (2017). Estudio De Emisiones Contaminantes Utilizando Combustibles Locales. *INNOVA Research Journal*, Vol. 2, No. 23-34.
- Querejeta Itsaso, Procesado digital de señales mediante circuitos integrados reconfigurables (2014), Universidad del País Vasco, consultado en:

<https://addi.ehu.es/bitstream/handle/10810/15227/TFGIE-ItsasoArtetxe.pdf?sequence=1>

- Rabbett David , Self-calibrating carbon monoxide detector and method (2011), Kidde Walter Portable Equipment Inc. Consultado en: <https://patents.google.com/patent/CA2473735C/en?q=carbon+monoxide+sensord>
- (Reinosa Mirtha, Huella de carbono en la industria azucarera. Caso de estudio (2018). Santiago de Cuba, RTQ vol.38 no.2. Consultado en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852018000200020
- Sánchez Álvaro, Nuevo reglamento Euro5 y Euro6 (2014), CESVIMAP No. 72 Pag. 48, consultado en: <http://www.appcesvimap.com/revista/revista72/pdfs/Electromecanica.pdf>
- Shixue Chen, System for monitoring concentration of carbon monoxide and concentration of carbon dioxide in automobile compartment (2013), Consultado en: <https://patents.google.com/patent/CN103241171A/en?q=Monoxyde&q=carbon&q=sensor&og=Monoxyde+carbon++sensor&page=5>
- Stetter Joseph, Amperometric carbon monoxide sensor module for residential alarms (2012),, Transducer Research Inc of Minnesota. Consultado en: <https://patents.google.com/patent/US5331310?q=carbon+monoxide+sensor>
- Testo Argentina, Sensores electroquímicos (2018), Consultado en: <http://www.academiatesto.com.ar/cms/sensores-electroquimicos>
- Trotec, Medidor de Monóxido de Carbono. BG20 (2019), consultado en: http://www.infoagro.com/instrumentos_medida/medidor.asp?id=12025&_medidor_de_monoxido_de_carbono_bg20

- Vega José, Monitoreo de concentración de monóxido de carbono usando tecnología Long-Range (2017), Ingenius. N.º 18, Consultado en: http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1390-860X2017000100073#ref7
- VegaROBokit, MQ-7 Gas Sensor Module (2019): consultado en: <https://www.indiamart.com/proddetail/mq-7-gas-sensor-module-10898035448.html>

Anexos

Anexo 1: Código calibración MQ7

```
const int AOUTpin=0; //the AOUT pin of the CO sensor goes into analog pin A0 of the
arduino
const int DOUTpin=8; //the DOUT pin of the CO sensor goes into digital pin D8 of the
arduino
const int ledPin=9; //the anode of the LED connects to digital pin D13 of the arduino

int limit;
int value;

void setup() {
  Serial.begin(9600); //sets the baud rate
  pinMode(DOUTpin, INPUT); //sets the pin as an input to the arduino
  pinMode(ledPin, OUTPUT); //sets the pin as an output of the arduino
}

void loop()
{
  value= analogRead(AOUTpin); //reads the analaog value from the CO sensor's AOUT pin
  limit= digitalRead(DOUTpin); //reads the digital value from the CO sensor's DOUT pin
  Serial.print("CO value: ");
  Serial.println(value); //prints the CO value
  Serial.print("Limit: ");
  Serial.print(limit); //prints the limit reached as either LOW or HIGH (above or underneath)
  delay(100);
  if (analogRead(AOUTpin)>30){
    digitalWrite(ledPin, HIGH); //if limit has been reached, LED turns on as status indicator
  }
  else{
    digitalWrite(ledPin, LOW); //if threshold not reached, LED remains off
  }
}
```

Anexo 2: Código calibración I2C Display

```
// Prueba de Modulo I2C para LCD 2x16

#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include<Wire.h>

LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,16,2);

void setup() {
  lcd.init();
  lcd.backlight();
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("Display"); // Mensaje a despegar
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("Calibrado"); // Mensaje a despegar
  delay(3000);
}

void loop() {

}
```

Anexo 3: Código calibración MQ7 combinado con I2C Display

```

#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include<Wire.h>

LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,16,2);
const int AOUTpin=0; //the AOUT pin of the CO sensor goes into analog pin A0 of the arduino
const int DOUTpin=8; //the DOUT pin of the CO sensor goes into digital pin D8 of the arduino
const int buzzer=9; //the anode of the LED connects to digital pin D9 of the arduino

int limit;
int value;

void setup() {
  lcd.init();
  lcd.backlight();
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("Monitoreando CO"); // Mensaje a despegar
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("Prueba");
  Serial.begin(9600);
  pinMode(DOUTpin, INPUT); //sets the pin as an input to the arduino
  pinMode(buzzer, OUTPUT); //sets the pin as an output of the arduino
}

void loop()
{
  value= analogRead(AOUTpin); //reads the analaog value from the CO sensor's AOUT pin
  limit= digitalRead(DOUTpin); //reads the digital value from the CO sensor's DOUT pin

  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("Calibracion CO");
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print("Nivel CO:");

  lcd.print(value);
  Serial.print("MQ-7 PPM: ");
  Serial.println(value);
  Serial.print("Limit: ");
  Serial.print(limit); //prints the limit reached as either LOW or HIGH (above or underneath)
  delay(100);
  if (analogRead(AOUTpin)>200)
  {
    digitalWrite(buzzer, HIGH);
  }
}

```

```
lcd.setCursor(0, 0);  
lcd.print(" Nivel CO Alto ");  
lcd.setCursor(0, 1);  
lcd.print("Nivel CO:");  
  
lcd.print(value);  
delay(1500);  
}  
else // Si su registro es menor del valor limite apagar buzzer  
{  
digitalWrite(buzzer, LOW);  
}  
delay(800);  
lcd.clear();  
}
```

Anexo 4: Calibración de Modulo memoria SD

```
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include<Wire.h>
#include <SD.h>
#include <SPI.h>
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,16,2);
const int chipSelect = 10;
const int AOUTpin=0; //the AOUT pin of the CO sensor goes into analog pin A0 of the arduino
const int DOUTpin=8; //the DOUT pin of the CO sensor goes into digital pin D8 of the arduino
const int ledPin=9; //the anode of the LED connects to digital pin D13 of the arduino

int limit;
int value;
int contador=0;
int i=0;

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  {
  }
  lcd.init();
  lcd.backlight();
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("calibrando SD");
  delay(2000) ;
  lcd.clear();
  Serial.print("Iniciando sd card...");
  pinMode(chipSelect,OUTPUT);
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("iNICIANDO SD");
  delay(2000) ;
  lcd.clear();
  if(!SD.begin(chipSelect))
  {
    Serial.print("fallo lectura de tarjeta.");
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("Fallo SD");
    delay(2000) ;
    lcd.clear();
    return;
  }
}
```

```
Serial.print("SD inicializada ok.");
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("SD Inicia OK.");
delay(2000) ;
lcd.clear();
}

void loop()
{
  for(i =0; i <100; i++)
  {
    contador++;
    sdcard();
    delay(1000),
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("contador:");
    lcd.setCursor(8,1);
    lcd.print(contador);
  }
}

void sdcard()
{
  String dataString ="";
  dataString += String("contador");
  dataString += ",";
  dataString += String(contador);
  dataString += ",";
  File daFile = SD.open("datalog.txt", FILE_WRITE);
  if (daFile)
  {
    daFile.print(",");
    daFile.println(dataString);
    daFile.close();
    Serial.println(dataString);
  }
  else
  {
    Serial.println("error al abrir datalog.txt");
  }
}
```

Anexo 5: Código de Monitoreo de CO

```
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include<Wire.h>
#include <SD.h>
#include <SPI.h>
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,16,2);
const int chipSelect = 10;
const int AOUTpin=0; //the AOUT pin of the CO sensor goes into analog pin A0 of the
arduino
const int DOUTpin=8; //the DOUT pin of the CO sensor goes into digital pin D8 of the
arduino
const int buzzer=9; //the anode of the LED connects to digital pin D13 of the arduino
int limit;
int value;
int contador=0;
int i=0;
void setup() {
  Serial.begin(9600);

  lcd.init();
  lcd.backlight();
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("Monitoreando CO"); // Mensaje a despegar
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("CETYS 011212");
  delay(2000) ;
  lcd.clear();
  Serial.print("Inicializando sd card...");
  pinMode(chipSelect,OUTPUT);
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("INICIANDO SD");
  delay(2000) ;
  lcd.clear();
  if(!SD.begin(chipSelect))
```



```
{
  Serial.print("fallo lectura de tarjeta.");
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("Fallo SD");
  delay(2000);
  lcd.clear();
  return;
}
Serial.print("SD inicializada ok.");
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("SD Inicia OK.");
delay(2000);
pinMode(DOUTpin, INPUT); //sets the pin as an input to the arduino
pinMode(buzzer, OUTPUT);
}

void loop()
{
  value= analogRead(AOUTpin); //reads the analaog value from the CO sensor's AOUT pin
  limit= digitalRead(DOUTpin);
  sdcard();//reads the digital value from the CO sensor's DOUT pin
  lcd.clear();
  delay(50);
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("PPM CO:");
  lcd.print(value);
  Serial.print("CO value: ");
  Serial.println(value);
  Serial.print("Limit: ");
  Serial.print(limit); //prints the CO value
  delay(100);
  if (analogRead(AOUTpin) <= 200)
```

```
{  
  
  Serial.println("Calidad del aire: CO perfecto");  
  lcd.setCursor(0, 1);  
  lcd.print("Aire Perfecto");  
  delay(5000);  
  
}  
else if ((analogRead(AOUTpin) > 200) || (analogRead(AOUTpin) <= 800)) // || = or  
{  
  
digitalWrite(buzzer, HIGH);  
  Serial.println("Calidad del aire: CO normal");  
  lcd.setCursor(0, 1);  
  lcd.print("CO normal");  
  delay(5000);  
  
}  
else if ((analogRead(AOUTpin) > 800) || (analogRead(AOUTpin) <= 1800))  
{  
  Serial.println("Calidad del aire: CO Alto");  
  lcd.setCursor(0, 1);  
  lcd.print(" CO Alto ");  
  digitalWrite(buzzer, HIGH);  
  delay(5000);  
}  
else if (analogRead(AOUTpin) > 1800)  
{  
  analogWrite(DOUTpin, HIGH); // optical information in case of emergency  
  Serial.println("Calidad del aire: ALARMA CO MUY ALTO");  
  lcd.setCursor(0, 1);  
  lcd.print("CO MUY ALTO");  
  delay(100);  
  analogWrite(DOUTpin, LOW);  
  digitalWrite(buzzer, HIGH);  
}
```

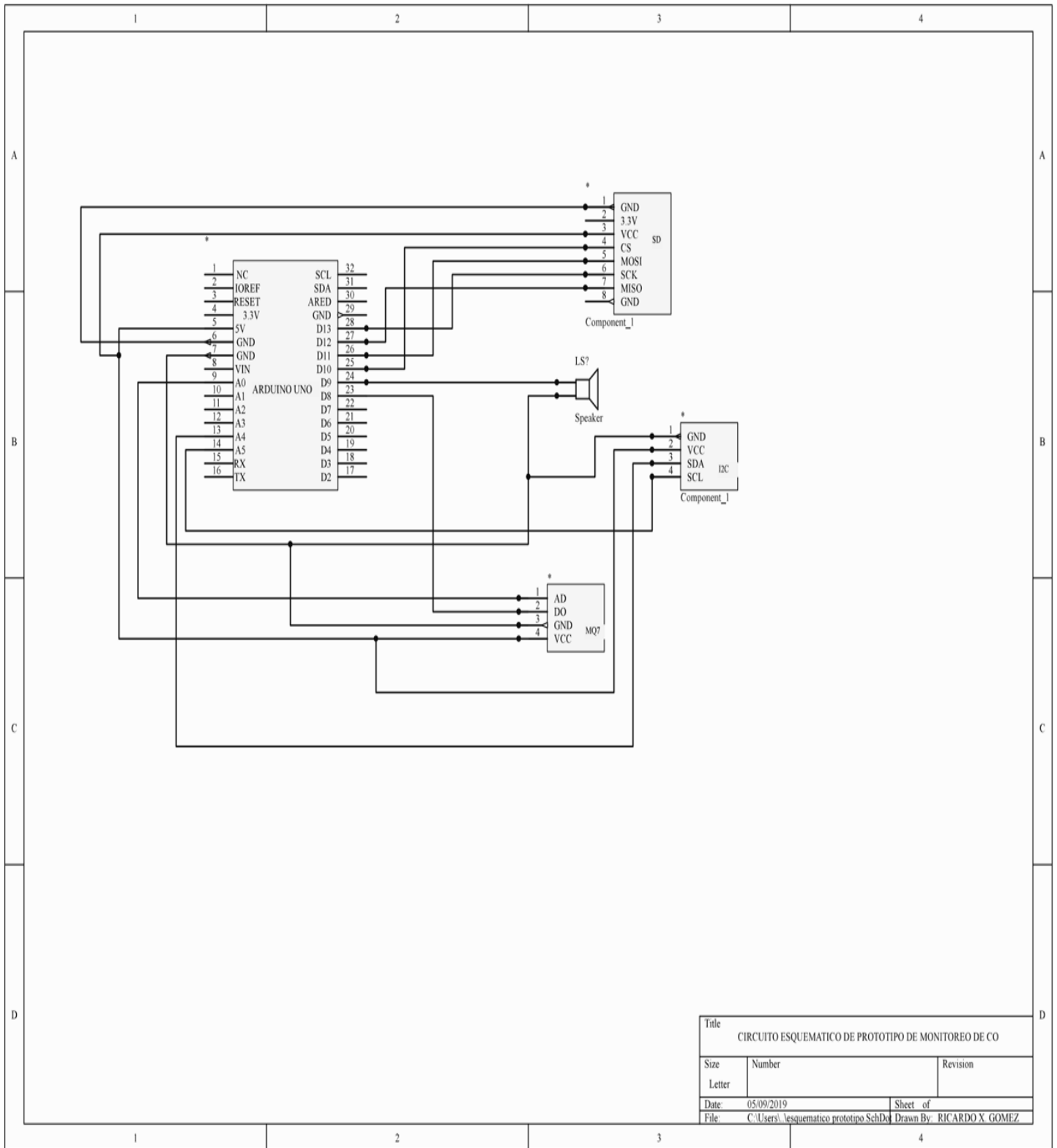
```
}
else
{
  Serial.println("MQ-7 - SIN VALORES!");
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.println("SIN VALORES");
}
{
digitalWrite(buzzer, LOW);

}
}

void sdcard()
{
  String dataString = "";
  dataString += String("PPM CO:");
  dataString += ",";
  dataString += String(value);
  dataString += ",";
  File daFile = SD.open("datalog.txt", FILE_WRITE);
  if (daFile)
  {
    delay(5000);
    daFile.println(dataString);
    daFile.close();
    Serial.println(dataString);
  }
else
{
  Serial.println("error al abrir datalog.txt");

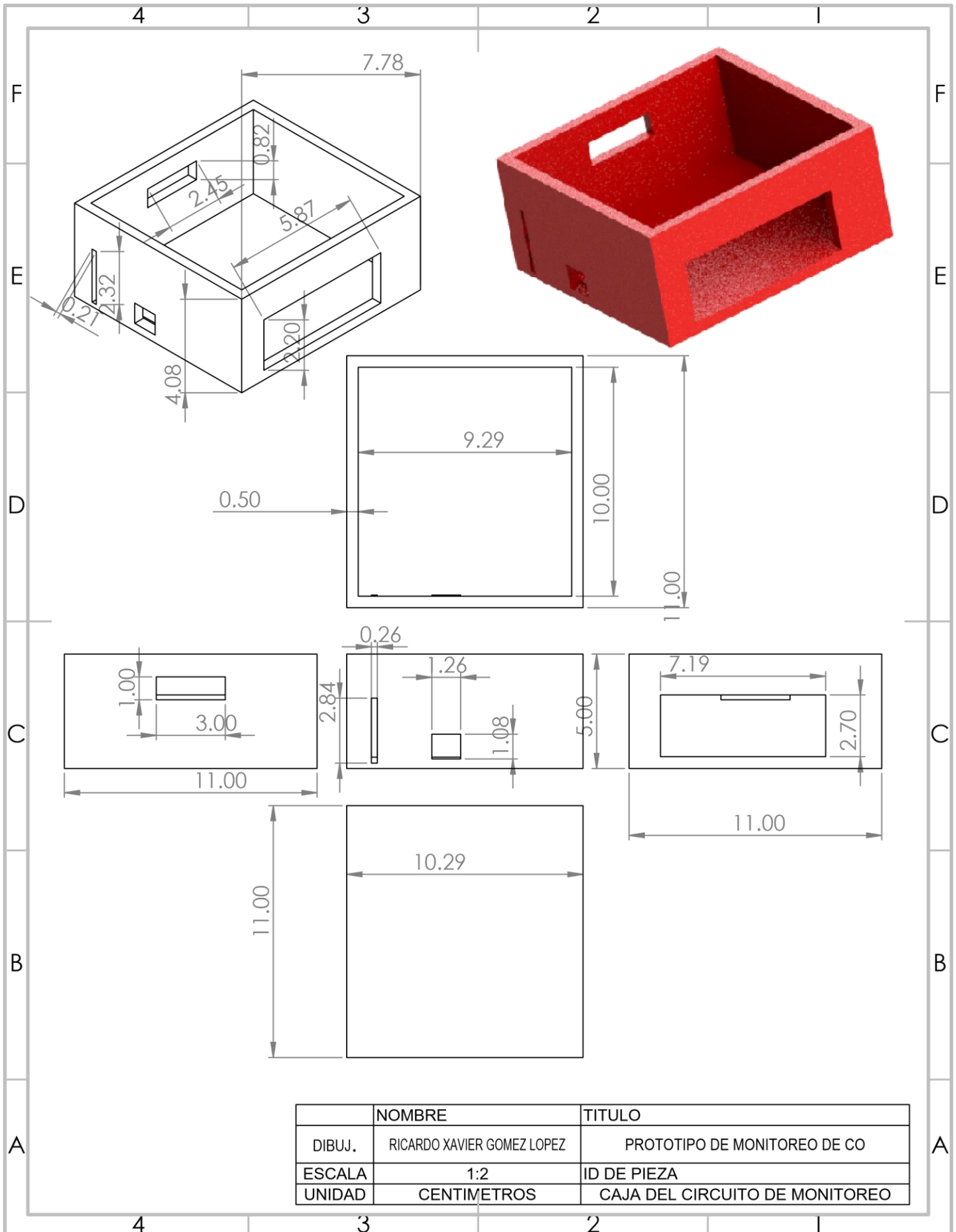
}
}
```

Anexo 6: Diagrama eléctrico de prototipo de monitoreo de CO

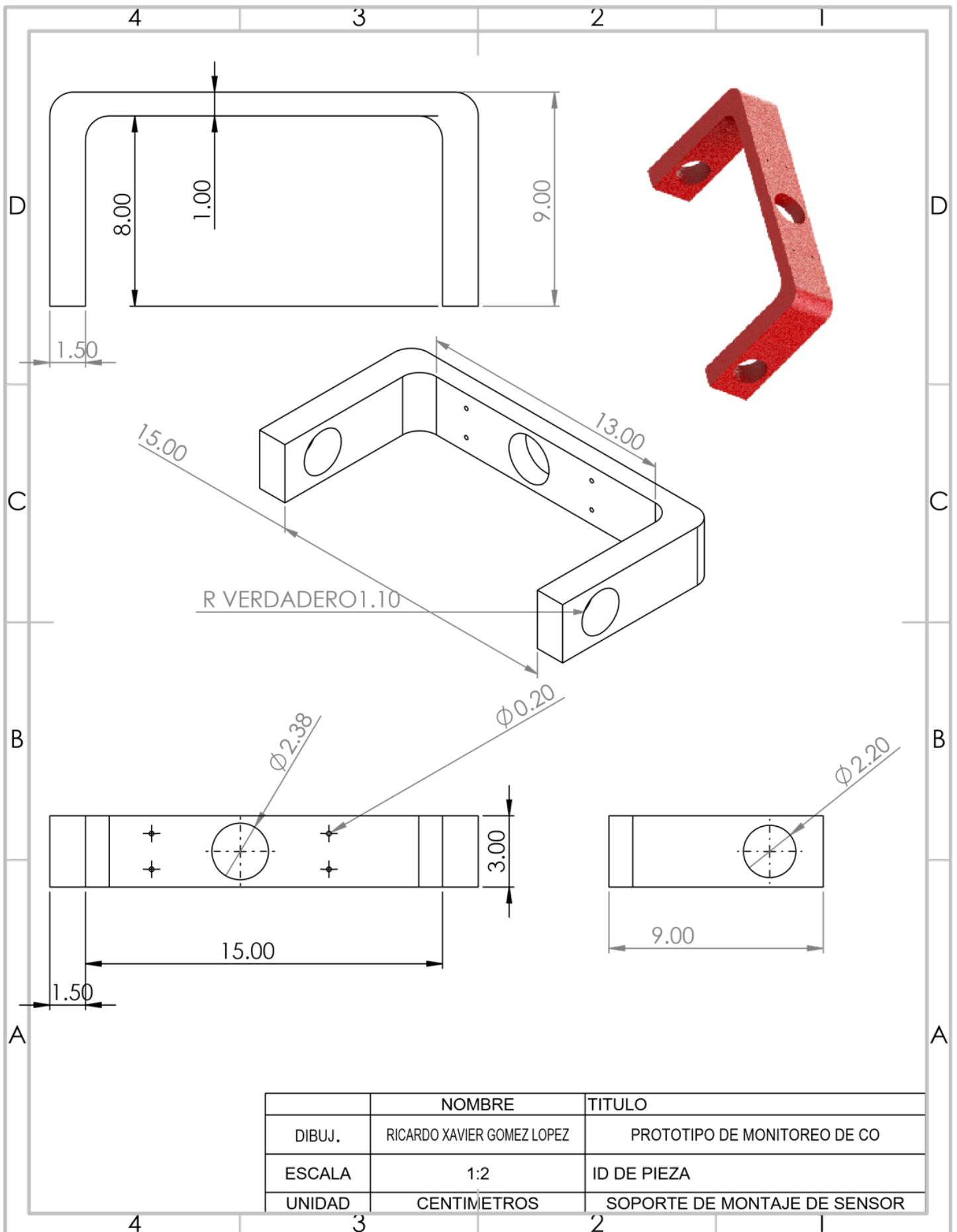


Title		
CIRCUITO ESQUEMATICO DE PROTOTIPO DE MONITOREO DE CO		
Size	Number	Revision
Letter		
Date:	05/09/2019	Sheet of
File:	C:\Users\...esquemático prototipo SchDd	Drawn By: RICARDO X. GÓMEZ

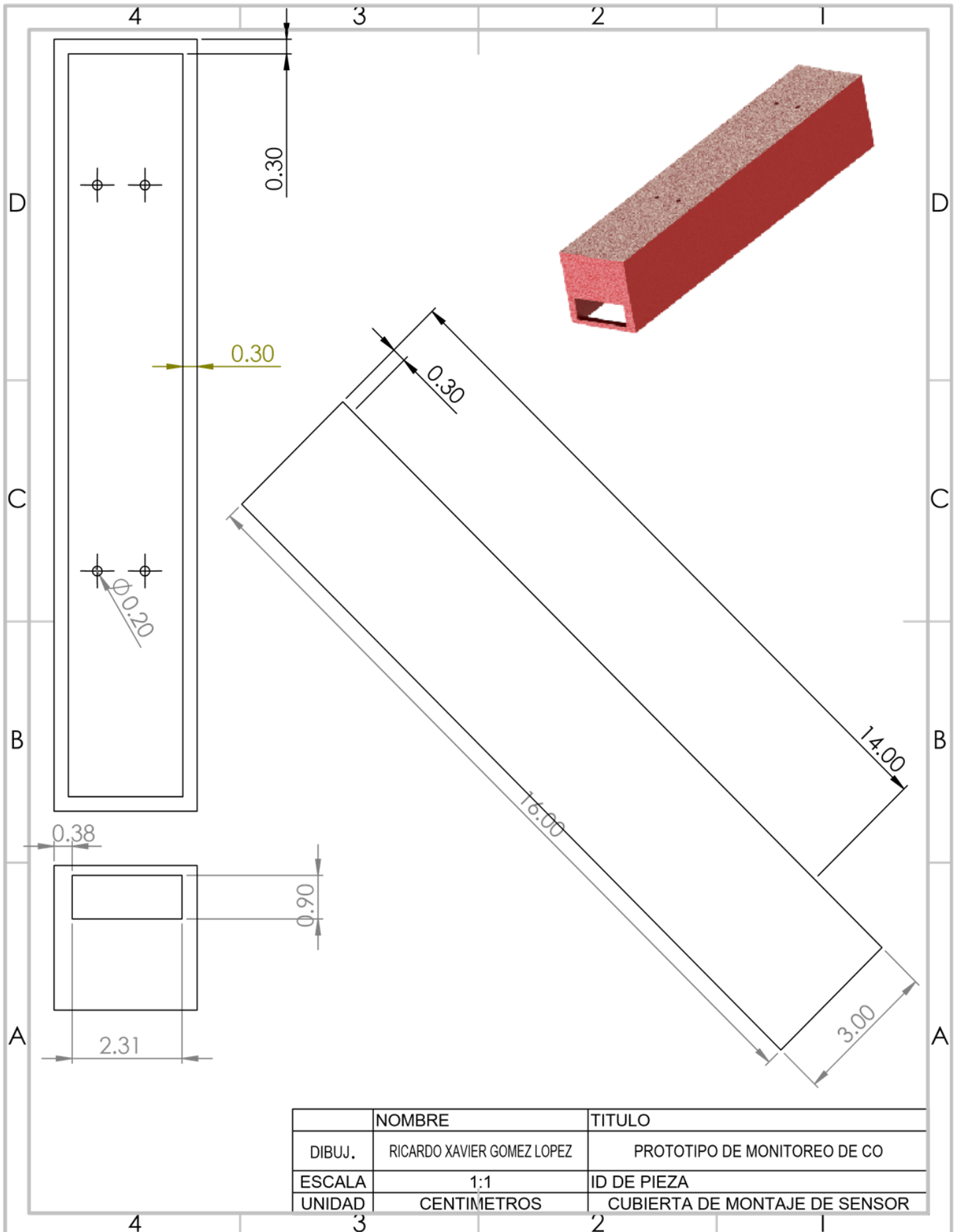
Anexo 7: Caja del circuito de monitoreo



Anexo 8: Soporte de montaje de sensor

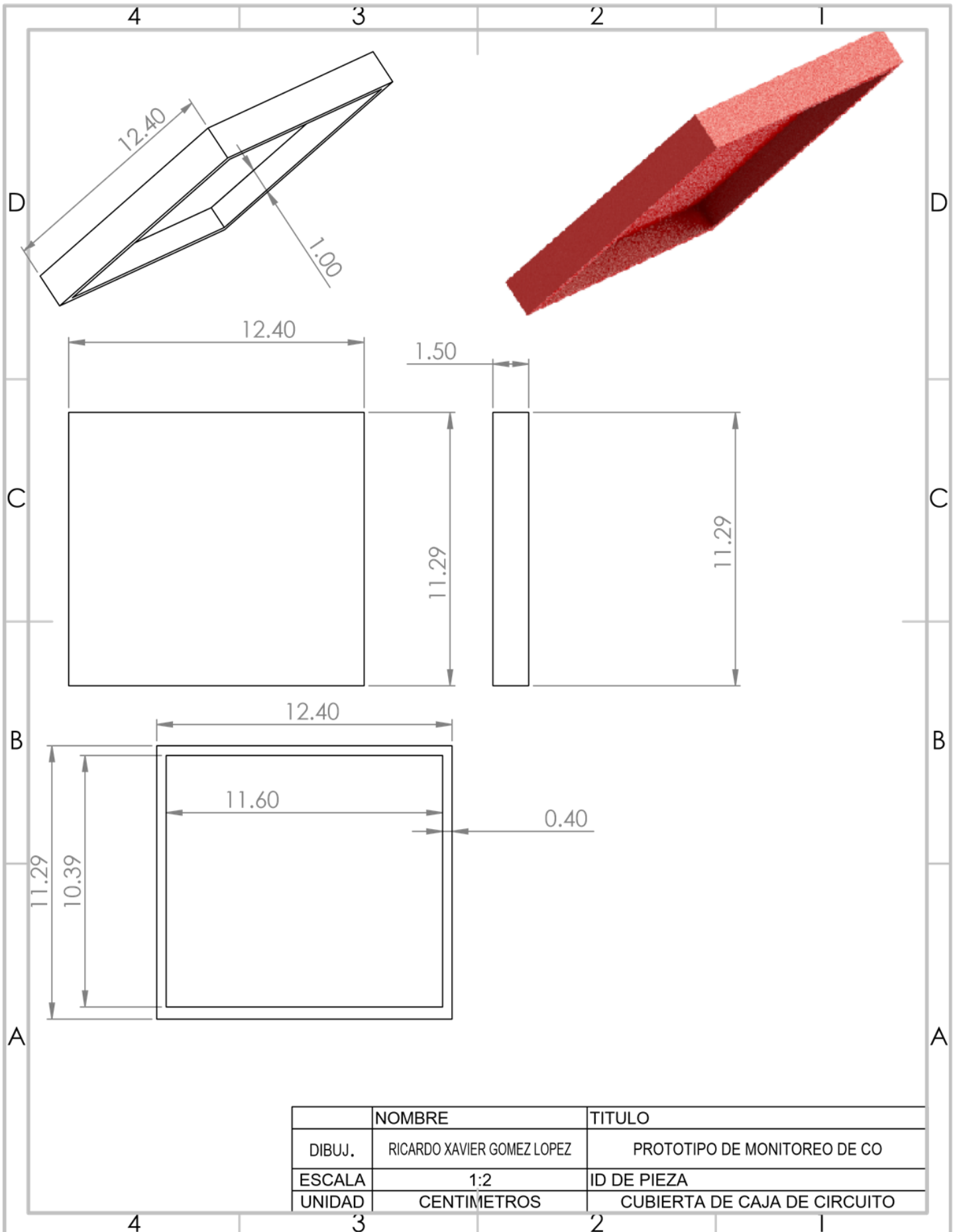


Anexo 9: Cubierta de montaje de sensor



	NOMBRE	TITULO
DIBUJ.	RICARDO XAVIER GOMEZ LOPEZ	PROTOTIPO DE MONITOREO DE CO
ESCALA	1:1	ID DE PIEZA
UNIDAD	CENTIMETROS	CUBIERTA DE MONTAJE DE SENSOR

Anexo 10: Cubierta de caja de circuito



	NOMBRE	TITULO
DIBUJ.	RICARDO XAVIER GOMEZ LOPEZ	PROTOTIPO DE MONITOREO DE CO
ESCALA	1:2	ID DE PIEZA
UNIDAD	CENTIMETROS	CUBIERTA DE CAJA DE CIRCUITO