

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

Instituto de Ingeniería

Maestría y Doctorado en Ciencias e Ingeniería



"Desarrollo de metodología y simulación para determinar los efectos en la salud por exposición al monóxido de carbono"

***Tesis para obtener el grado de:
Maestro en Ingeniería***

PRESENTA

Felipe de Jesus Aradillas Ordoñez

DIRECTOR

Dr. Lorenzo Alejandro Sánchez Bueno

CO-DIRECTORA

Dra. Aurora Fierro Ochoa

Mexicali, Baja California

Junio 2021

Agradecimientos

Agradezco primeramente a Dios por darme la vida, capacidad y las fuerzas necesarias para poder realizar este proyecto durante estos años de trabajo.

Mi agradecimiento más sincero al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por la beca otorgada para la realización de este proyecto

Mi gratitud al Dr. Lorenzo Alejandro Sánchez Bueno y a la Dra. Aurora Fierro Ochoa mis directores de tesis por todo el apoyo que me han brindado, por sus enseñanzas y su valioso tiempo que han dedicado a lo largo del desarrollo de este proyecto.

Agradezco al Dr. Rogelio Ramos por su disponibilidad y asesoría que siempre se me otorgó, incondicionalmente y al Dr. Carlos Villa por sus recomendaciones y apoyo otorgado cada vez que se lo solicité.

No quiero dejar de agradecer al subcomité de Física Aplicada del Instituto de Ingeniería por su aceptación para continuar mis estudios de maestría y por la oportunidad y facilidades que me dieron para poder desarrollar este proyecto.

Finalmente, agradezco infinitamente a mi esposa Betzaida Gallardo Dorado por su apoyo incondicional, paciencia y por motivarme e impulsarme cada día a superarme tanto a nivel personal como en lo profesional, no podría tener mejor ayuda idónea en mi vida que no sea ella y no habría podido completar esta etapa tan importante de mi vida sin su ayuda. No puedo dejar de agradecer a mi familia, en especial a mis padres Cesar Aradillas y Rebeca de Aradillas, que siempre me han apoyado y me han enseñado tanto con su amor y su gran ejemplo, sé que siempre podré contar con ellos cuando lo necesite.

Índice

1 INTRODUCCIÓN.....	1
2 ANTECEDENTES.....	2
3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	4
3.1 Objetivo general.....	4
3.2 Objetivos específicos.....	4
4 FUNDAMENTO TEÓRICO	5
4.1 Instrumentación analógica, digital e inteligente.....	5
4.1.1 Instrumentos de medición analógicos.....	5
4.1.1.1 Ejemplos de instrumentos de medición analógicos.....	5
4.1.1.2 Características de los instrumentos de medición analógicos.....	7
4.1.1.3 Ventajas de los instrumentos de medición analógicos.....	7
4.1.1.4 Desventajas de los instrumentos de medición analógicos.....	8
4.1.2 Instrumentos de medición digital.....	8
4.1.2.1 Ejemplos de instrumentos de medición digitales.....	8
4.1.2.2 Características de los instrumentos de medición digitales.....	9
4.1.2.3 Ventajas de los instrumentos de medición digitales.....	10
4.1.2.4 Desventajas de los instrumentos de medición digitales.....	10
4.1.3 Instrumentos de medición inteligente o computarizada.....	11
4.1.3.1 Ejemplos de instrumentos de medición inteligentes o computarizados.....	11
4.1.3.2 Características de los instrumentos de medición inteligentes o computarizados.....	13
4.1.3.3 Ventajas de los instrumentos de medición inteligentes o computarizados.....	13
4.1.3.4 Desventajas de los instrumentos de medición inteligentes o computarizados.....	13
4.2 Sensores.....	14
4.2.1 Clasificación de los sensores.....	14
4.2.2 Ejemplos de Sensores.....	15
4.3 Convertidores analógico-digitales.....	17
4.4 Microprocesadores y microcontroladores.....	18
4.5 Sistemas de adquisición de datos.....	19
4.5.1 Características de un sistema de adquisición de datos.....	22
4.6 Instrumentación virtual.....	22
4.6.1 Plataformas para desarrollar instrumentación virtual.....	22
4.6.2 LABVIEW.....	23
4.6.2.1 Conceptos básicos.....	23
4.7 Intoxicación por monóxido de carbono.....	25
4.7.1 Principales fuentes de emisión de monóxido de carbono.....	26
4.7.2 Efectos clínicos de la intoxicación por monóxido de carbono.....	26
4.7.3 Normatividad nacional e internacional.....	27
4.7.4 Inventario de emisiones de México.....	28
4.8 Modelos matemáticos para determinar la concentración de COHb en la sangre.....	29
4.8.1 Modelo “Modeling pulmonary gas exchange and single-exhalation profiles of carbon monoxide”.....	30

4.8.2 Modelo “Mathematical modeling of carbon monoxide exposures from anesthetic breakdown”	30
4.8.3 Modelo “Mathematical model of ventilation response to inhaled carbon monoxide” ..	30
4.8.4 Modelo matemático de Peterson-Stewart.....	30
5 MÉTODO Y MATERIALES.....	31
5.1 Método	31
5.2 Materiales.....	31
6 RESULTADOS.....	32
7 CONCLUSIONES.....	40
REFERENCIAS	41

Índice de figuras

Figura 1.	Óhmetro analógico marca Gossen-Metrawatt modelo METRAMax 6. Tomado de (ITM instruments Inc., s.f.).....	6
Figura 2.	Higrómetro analógico marca Avimac modelo AL-2. Tomado de (TFA Dostmann GmbH y Co. KG, s.f.).	6
Figura 3.	Altímetro marca BARIGO modelo 5000 m. Tomado de (RAIG, s.f.).	7
Figura 4.	Voltímetro digital marca RAIXHO modelo RAIXHO 30 V. Tomado de (RAIXHO, s.f.).....	8
Figura 5.	Manómetro digital marca OMEGA DPG108-015G. Tomado de (INDOMETER, s.f.).	9
Figura 6.	Osciloscopio marca SIGLENT modelo SDS1052DL. Elaboración propia.....	11
Figura 7.	Fuente programable de DC marca BK precision serie 9115. Tomado de (TEquipment, s.f.).	11
Figura 8.	Termómetro de termopar portátil de 8 canales y registrador de datos marca Omega serie OM-HL-EH-TC. Tomado de (Omega, s.f. b)	12
Figura 9.	Sensor desarrollado por Honeywell modelo HIH-5030. Tomado de (NEWARK, s.f.).	15
Figura 10.	Sensor marca NXP modelo MPXA6115A. Tomado de (Hotenda Technology).....	16
Figura 11.	Sensor desarrollado por Figaro modelo TGS 5042. Tomado de (Figaro, s.f.).....	16
Figura 12.	Sensor desarrollado por Analog Devices modelo TMP36. Tomado de (MCI Electronics, s.f.)...	17
Figura 13.	Componentes usados en la conversión análogo-digital. Adaptado de (Alciatore y Histand, 2008)	18
Figura 14.	Elementos de un módulo DAQ NI USB-6009. Tomado de (NATIONAL INSTRUMENTS, 2018a).	19
Figura 15.	NI myRIO-1900. Adaptado de (NATIONAL INSTRUMENTS, s.f. a).	20
Figura 16.	Módulo OM-DAQ-USB-240 de Omega. Tomado de (Omega, s.f. d).....	21
Figura 17.	Módulo Spider-20 para adquisición de datos desarrollado por CRYSTAL Instruments. Tomado de (SENSING, s.f.).	21
Figura 18.	Gráfica de inventario de emisiones de CO de 2016. Adaptado de Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, 2019.	28
Figura 19.	Gráfica de inventario de emisiones de Gases de Efecto Invernadero 2015. Tomado de (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, 2019).	29
Figura 20.	Elementos de la sección A que se ejecutan en el paso 1. Elaboración propia.	322
Figura 21.	Elementos de la sección A que ejecutan el paso 2 (creación de la carpeta “File of project”). Elaboración propia.	333
Figura 22.	Elementos de la sección A que ejecutan el paso 3 (creación del archivo csv). Elaboración propia.	344
Figura 23.	Mensaje que se despliega en el paso 4. Elaboración propia.	344
Figura 24.	Elementos de la sección A que ejecutan el paso 5. Elaboración propia.....	355
Figura 25.	Elementos de la sección B (cálculo de COHB). Elaboración propia.	366
Figura 26.	Elementos de la sección C (conversión de texto a número). Elaboración propia.	366
Figura 27.	Sección D, sub IV “SUB VI Validacion de COHB Parte 1”. Elaboración propia.....	377
Figura 28.	Sección D, sub IV “SUB VI Obtencion de Entradas de Validacion de COHB”. Elaboración propia.	388
Figura 29.	Sección D, sub IV “SUB VI Validacion de COHB Parte 2”. Elaboración propia.	388
Figura 30.	Código G del IV principal. Elaboración propia.....	39

Figura 31. Despliegue completo del programa de simulación por instrumentación virtual principal en una computadora. Elaboración propia..... 39

RESUMEN

Se diseñó una metodología con la ayuda de la instrumentación virtual para el desarrollo de un simulador que relaciona y simula los efectos del CO en la salud de personas no fumadoras dentro de espacios cerrados y vacíos, y grafica parámetros de monóxido de carbono, temperatura, humedad relativa, presión atmosférica y la concentración de carboxihemoglobina en la sangre.

Se estudiaron y aplicaron modelos matemáticos desarrollados para determinar los efectos del CO en la salud; sensores para medir CO, temperatura, humedad relativa y presión barométrica; y además, se realizaron diferentes programas y simulaciones.

ABSTRACT

A methodology was designed with the help of the virtual instrumentation for the development of a simulator that simulates the effects of CO in the health of non smokers within closed and empty spaces. It also graphs parameters of carbon monoxide temperature, relative humidity, atmospheric pressure, and the concentration of carboxyhemoglobin in the blood.

Mathematical models were studied and applied to determine the effects of CO in the health; sensors to measure CO, temperature, relative humidity and barometric pressure. Furthermore, different programs and simulations were performed.

1 INTRODUCCIÓN

El monóxido de carbono es un gas tóxico cuyos niveles aumentan cada año afectando la salud de las personas. Esto motivó trabajar en el desarrollo de una herramienta que permita conocer los síntomas que experimentaría una persona expuesta a este gas.

Se estudiaron conceptos acerca de: instrumentación analógica, digital e inteligente; así como sus ventajas y desventajas. Sistemas de adquisición de datos y los elementos que los componen. Sensores para CO, temperatura, humedad relativa y presión barométrica. Instrumentación virtual de simulación y su desarrollo mediante Labview. Principales fuentes de emisión de CO, normativas existentes, efectos por intoxicación de CO y modelos matemáticos desarrollados para representar los efectos del CO en personas expuestas a este gas.

El objetivo del presente trabajo fue desarrollar una metodología que relacione y simule la exposición al CO y los efectos en la salud y muestre de manera gráfica los parámetros de: CO, temperatura, humedad relativa, presión barométrica y COHb e indique los síntomas que una persona presentará de acuerdo a la concentración y el tiempo de exposición al CO.

2 ANTECEDENTES

Existen diversos tipos de contaminantes cuyas fuentes son procesos naturales o derivados de la actividad humana, estos últimos han incrementado de manera alarmante en los recientes años debido al crecimiento acelerado de la industria, siendo el más común el CO, alcanzando concentraciones que varían entre 50 % y 52 % (Santizo, 2016).

En 2015 se registraron en México un total de unas mil 435 defunciones (77.7 % fueron hombres y 22.3 % mujeres), por sustancias no farmacológicas como CO, plaguicidas, hidrocarburos, cáusticos y corrosivos (Secretaría de Salud, 2019).

En el 2016, los tres principales tipos de envenenamientos e intoxicaciones fueron por sustancias no farmacológicas como el monóxido de carbono, plaguicidas, hidrocarburos cáusticos y corrosivos. El estado de baja california registro una tasa de < 1.0 por 100,000 habitantes (Secretaría de Salud, 2019).

En el año 2009, se publicó el inventario de Emisiones de Mexicali con datos del año 2005, en los resultados de este inventario, los principales contaminantes del aire fueron el CO (39 %) y las PM10 (24 %), los automóviles fueron la fuente principal de CO (Atlas de riesgos del municipio de Mexicali, B.C., 2011).

En 1975 se introduce el control distribuido y a principios de la década de los ochenta, siguiendo la tendencia de la tecnología y del mercado, varias compañías empezaron a desarrollar sistemas para implementar aplicaciones que se basaron en instrumentación virtual, esto debido a su eficiencia, permitiendo que los usuarios configuraran y generaran sus propios sistemas, logrando un alto desempeño, flexibilización, reutilización, reconfiguración y una notoria disminución de costos de desarrollo y mantenimiento (Calderón, 2004).

El modelo matemático diseñado por los ingenieros Ramin Ghorbani, Anders Blomberg, y Florian M. Schmidt titulado “Modeling pulmonary gas exchange and single-exhalation profiles of carbon monoxide”, que simula y estudia la dinámica en el sistema respiratorio del individuo cuando inhala CO (Ghorbani, Blomberg, y Schmidt, 2018).

El modelo “Mathematical Modeling of Carbon Monoxide Exposures from Anesthetic Breakdown” desarrollado por Harvey J. Woehlck, David Mei, Marshall B. Dunning y Franklin Ruiz, realiza un análisis complejo de la absorción, eliminación, producción y concentración de COHb producida por el ingreso del CO a la sangre (Woehlck, Mei , Dunning, y Ruiz , 2001).

“Mathematical model of ventilation response to inhaled carbon monoxide” es un modelo matemático que predice los cambios agudos de ventilación de la exposición al CO en humanos y animales (Stuhmiller y Stuhmiller, 2005).

Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench (LABVIEW), es un lenguaje de programación gráfico desarrollado por la compañía de National Instruments en el año de 1986 y que permite crear programas que se conocen como instrumentos.

El IV “Monitoring of Industrial Process Parameters using LabVIEW” creado por los ingenieros Raj Thummar, Kalpesh Chudasama, Raj Koshiya y Dilip Odedara, utiliza varios sensores especializados para diferentes gases, entre ellos el CO, emplea como tarjeta de adquisición de datos un módulo de Arduino que a su vez se conecta con el IV y grafica los datos (Thummar, Chudasama, Koshiya, y Odedara, 2016).

En el artículo titulado “A new approach for carbon monoxide measurement using virtual instrumentation” se describe un IV que es capaz de monitorear, medir y registrar las emisiones de CO de un motor de automóvil, la información obtenida por este IV se encuentra disponible de forma remota (Gherban, Ionel, Gontean, y Ionel, 2010).

En la ciudad de Mexicali Baja California, en el instituto de ingeniería de la universidad autónoma de Baja California (UABC), se desarrolló un IV titulado “Virtual Instrument for Emissions Measurement of Internal Combustion Engines” que mide y analiza las emisiones de NO, CO, SO₂ y CO₂ producidos en los motores de combustión interna (Pérez et al, 2016).

3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La intoxicación por CO es un problema común que puede representarse gráficamente mediante un programa de simulación.

3.1 Objetivo general

Diseñar una metodología que relacione y simule la exposición al CO y los efectos en la salud y muestre los parámetros del CO, temperatura, humedad relativa, presión atmosférica y concentración de COHb en la sangre visualizando en personas no fumadoras dentro de espacios cerrados y vacíos.

3.2 Objetivos específicos

Identificar intervalos por concentración de CO y la correspondiente sintomatología en una persona.

- a) Definir parámetros a graficar.
- b) Seleccionar un modelo matemático que determine la concentración de COHb en la sangre de una persona.
- c) Elegir la plataforma de cómputo para el desarrollo del simulador.
- d) Desarrollar e integrar los diversos módulos que conformaran el simulador.
- e) Determinar visualmente la sintomatología que presenta una persona no fumadora por exposición al monóxido de carbono en un espacio cerrado y vacío.

4 FUNDAMENTO TEÓRICO

4.1 Instrumentación analógica, digital e inteligente

La instrumentación comprende el conjunto de ciencias y tecnologías que miden diferentes parámetros físicos o químicos con el objeto de obtener información para su análisis, almacenamiento, evaluación o actuación de los sistemas de control automático (Gutiérrez y Iturralde, 2017).

4.1.1 Instrumentos de medición analógicos

De acuerdo a Miranda (2017), un instrumento es cualquier dispositivo que sirve para medir o indicar las condiciones de un proceso.

En un instrumento analógico la posición de la aguja indicada a lo largo de la escala del instrumento el valor de la cantidad medida (Bolton, 1995).

4.1.1.1 Ejemplos de instrumentos de medición analógicos

Óhmetro analógico: se utiliza para medir resistencias, usualmente es más sensible, requiriendo menos corriente para una desviación a fondo de escala se usa solo en un circuito no operante con la potencia interrumpida, el sistema es tan sensible que los voltajes normales lo fundirían, no requiere potencia del circuito a medir, si no que utiliza una pila que suministra su propia corriente y voltaje (Seippel, 2003). En la figura 1 se muestra un óhmetro analógico marca Gossen-Metrawatt modelo METRAMax 6.



Figura 1. Óhmetro analógico marca Gossen-Metrawatt modelo METRAMax 6. Tomado de (ITM instruments Inc., s.f.).

Higrómetro analógico: es un instrumento utilizado para medir humedad relativa (% HR) de un determinado lugar en un ambiente cerrado o abierto, la lectura tomada por la herramienta se presenta por medio de una aguja en una escala graduada a través de una caratula (Meza, 2015). En la figura 2 se observa un higrómetro analógico marca Avimac modelo AL-2.



Figura 2. Higrómetro analógico marca Avimac modelo AL-2. Tomado de (TFA Dostmann GmbH y Co. KG, s.f.).

Altímetro: es un instrumento que notifica de las variaciones de altitud, considerada como la distancia vertical desde un punto específico hasta el nivel del mar, se considera como un barómetro de doble escala (presión y altitud) sus paredes son flexibles y se contraen (cuando aumenta la presión) y se dilatan (cuando disminuye); las variaciones se transmiten a una aguja que se desplaza por un limbo graduado y nos indica la presión (PCE Instruments, s.f.). En la figura 3 se muestra un altímetro marca BARIGO modelo 5000 m.



Figura 3. Altímetro marca BARIGO modelo 5000 m. Tomado de (RAIG, s.f.).

4.1.1.2 Características de los instrumentos de medición analógicos

De acuerdo a Gómez y Tobajas (2006) las características de los instrumentos de medición analógicos son:

- Los instrumentos de medición analógicos indican los parámetros medidos con una aguja que recorre una escala y pasa todos los valores dependiendo de la medición que se esté registrando en el momento.
- Su funcionamiento suele ser básico y sencillo de comprender para el usuario.
- No suelen ser muy rápidos al medir los parámetros solicitados
- Actualmente la mayoría de los instrumentos analógicos existentes han sido sustituidos por uno que mide la misma magnitud de forma digital.

4.1.1.3 Ventajas de los instrumentos de medición analógicos

En muchos procesos se prefiere eliminar medidores analógicos a los digitales debido a que rápidamente se visualiza la magnitud de una variable del proceso y su velocidad de cambio y si está aumentando o disminuyendo (Wolf y Smith, 1992).

Los instrumentos de medición analógicos a igualdad de tiempo que los digitales arrojan mayor información y es menos probable que pasen inadvertidas las medidas incompatibles debido a interferencias o equivocaciones (Pallás, 2008).

4.1.1.4 Desventajas de los instrumentos de medición analógicos

Los instrumentos de medición analógicos presentan poca exactitud, necesitan de otros instrumentos, como instrumentos de registros de gráficas para guardar los datos de entrada, no presentan la información obtenida de forma digital y no realizan cálculos o decisiones sobre la señal de entrada (Cooper y Helfrick, 1991).

4.1.2 Instrumentos de medición digital

Se define como aquel instrumento que muestra el valor de la medida o lectura tomada en valores discretos mediante una pantalla que indica el valor de la lectura en números decimales que permiten al usuario conocer de forma visual los datos obtenidos con este (Gómez y Tobajas, 2006).

4.1.2.1 Ejemplos de instrumentos de medición digitales

Voltímetro digital: dan una indicación numérica de la tensión en una pantalla, algunos poseen la funcionalidades de memoria de datos medidos, detección de valor pico, verdadero valor eficaz, autor rango entre otras. El sistema de medida emplea un algoritmo de conversión analógico-digital para obtener la medida mostrada en pantalla (Yucute, y otros, s.f.). En la figura 4 se indica un voltímetro digital marca RAIXHO modelo RAIXHO 30 V.



Figura 4. Voltímetro digital marca RAIXHO modelo RAIXHO 30 V. Tomado de (RAIXHO, s.f.).

Manómetros digitales: contiene un transductor de presión y un visualizador sin cables, ya que, al unir sensor y el visualizador en un solo bloque alimentado por baterías internas, permiten instalarse en cualquier punto donde se precise medir presión (Gutiérrez y Iturralde, 2017). En la figura 5 se muestra un manómetro digital marca Omega serie DPG108.



Figura 5. Manómetro digital marca OMEGA DPG108-015G. Tomado de (INDOMETER, s.f.).

4.1.2.2 Características de los instrumentos de medición digitales

Según Gómez y Tobajas (2006) las características de los instrumentos de medición digitales son:

- Realizan mediciones a intervalos de tiempo.
- Las lecturas tomadas de los parámetros medidos son mostradas en una pantalla.
- La precisión de las lecturas es exacta.
- La velocidad de toma de datos es alta y algunos instrumentos son automatizados para escoger diferentes escalas según lo dese el usuario ya sea por programación o en el propio instrumento, este depende del diseño del equipo mismo.
- Los datos adquiridos se guardan en memorias o en computadoras.
- Algunos aparte de sus funciones propias, reconocen terminales de otros dispositivos electrónicos entre otras funciones.

4.1.2.3 Ventajas de los instrumentos de medición digitales

Gilmore (2002) en instrumentos de medida eléctrica describe como ventajas de los instrumentos de medición digitales los siguientes puntos:

- Tienen mejor resolución que un instrumento analógico.
- Su precisión es próxima a su resolución.
- Por lo general se componen de circuitos electrónicos que convierten la magnitud continua en una leyenda digital.
- No existen errores de paralaje.
- Una persona inexperta fácilmente efectúa lecturas correctas sin necesidad de entrenamiento.

4.1.2.4 Desventajas de los instrumentos de medición digitales

Creus (2010) en instrumentos industriales, su ajuste y calibración, menciona como desventajas de los instrumentos digitales lo siguiente:

- La normalización de las comunicaciones digitales, no está plenamente resuelta, lo que provoca que la información recopilada no llegue completa a su destino final.
- La fidelidad de la señal es proporcional a la frecuencia de la misma

4.1.3 Instrumentos de medición inteligente o computarizada

Un instrumento de medición inteligente es capaz de realizar funciones adicionales a la de la simple transmisión de la señal del proceso, esas funciones incluyen generación de señales digitales, comunicabilidad, uso de sensores y cambio fácil de rangos, debido a la unión de los microprocesadores (Creus, 2010).

4.1.3.1 Ejemplos de instrumentos de medición inteligentes o computarizados

Osciloscopio: es un instrumento con pantalla que dibuja una gráfica de una señal eléctrica en esta, es uno de los dispositivos más ampliamente utilizado para pruebas y la ubicación

de averías, la amplitud, el periodo y la frecuencia son señales que se miden con el osciloscopio (Floyd, 2010). En la figura 6 se observa un osciloscopio marca SIGLENT modelo SDS1052DL



Figura 6. Osciloscopio marca SIGLENT modelo SDS1052DL. Elaboración propia.

Fuente de alimentación: es un aparato electrónico modificador de la electricidad que convierte la tensión alterna en una tensión continua, todo dispositivo electrónico hace uso de este tipo de fuentes, aunque de mayor complejidad debido a las exigencias ahora requeridas, se mantiene el esquema principal de su funcionamiento (Alava y Campos, 2015). En la figura 7 se observa una fuente programable de corriente continua o por sus siglas en inglés “DC” marca BK precision serie 9115.



Figura 7. Fuente programable de DC marca BK precision serie 9115. Tomado de (TEquipment, s.f.).

Termómetro de termopar portátil de 8 canales marca Omega serie OM-HL-EH-TC: es un termómetro de mano y registrador de datos de ocho canales con pantalla LCD, que de ser necesario toman los 8 tipos de entradas de termopar. Este registrador de datos se alimenta con una batería interna y es capaz de muestrear, procesar y mostrar mediciones sin estar conectado a una computadora, contiene un convertidor analógico-digital rápido y de alta resolución (ADC) (Omega, s.f. a). En la figura 8 se muestra un termómetro de termopar portátil de 8 canales y registrador de datos marca Omega serie OM-HL-EH-TC.



Figura 8. Termómetro de termopar portátil de 8 canales y registrador de datos marca Omega serie OM-HL-EH-TC. Tomado de (Omega, s.f. b)

4.1.3.2 Características de los instrumentos de medición inteligentes o computarizados

Piñón et al (2017) mencionan las siguientes características de los instrumentos de medición inteligentes:

- Son precisos en la toma de medidas y su mantenimiento es fácil y económico.
- Contienen la capacidad de monitoreo de datos importantes.
- Son capaces de comunicarse con sistemas de jerarquías superiores, y con sistemas vecinos.
- Tienen funciones de detección y predicción de fallos.
- Integran sensores de distintos rangos permitiendo reprogramar el rango.
- Almacenan y leen los datos de diferentes tipos de sensores.

- Existen instrumentos inteligentes con funciones de auto chequeo y autoaprendizaje.
- Ciertas funciones de estos instrumentos manejan la detección de fallas y alarmas.

4.1.3.3 Ventajas de los instrumentos de medición inteligentes o computarizados

Palomares (1998) considera que las ventajas de un instrumento de medición inteligente son:

- Comunicación digital bidireccional
- Rango de medición más amplio
- Menor span de medición
- Comunicación remota
- Rango de calibración configurable

4.1.3.4 Desventajas de los instrumentos de medición inteligentes o computarizados

Drake (2005) menciona que las desventajas de un instrumento de medición inteligente son:

- Trabajan en un rango de temperatura generalmente que va de los -50 hasta los 175 ° C.
- Algunos instrumentos pierden visibilidad de los datos parcial o total, cuando ocurre alguna falla en el sistema o cuando éste se llega a quedar completamente sin energía.
- En ciertos casos los instrumentos por su fabricación o diseño no son compatibles con otros impidiendo la transferencia de datos entre sistemas.
- Requieren algún tipo de fuente de alimentación, una batería con un voltaje determinado o alguna fuente de corriente eléctrica continua.

4.2 Sensores

Un sensor es un elemento que se utiliza en un sistema de medición con el propósito de detectar la magnitud de algún parámetro físico y una vez que se obtiene la información, es

cambiada por un tipo de señal a procesar por un determinado sistema en un tiempo específico, contienen un elemento activo llamado transductor (Alciatore y Histan, 2008).

4.2.1 Clasificación de los sensores

De acuerdo con el aporte de energía se clasifican en activos y pasivos, los sensores activos generan la señal de salida sin la necesidad de una fuente de alimentación externa, mientras que los pasivos si requieren de esta alimentación para poder efectuar su función, en base a su tipo de salida, se clasifican en analógicos o digitales, en los sensores analógicos la salida varia de forma continua, la información por lo general se representa en ondas o frecuencia, mientras que digitales varían su salida en forma de saltos o pasos discretos y su información es fácil de procesar (Pallás, 2008).

De acuerdo con el modo de operación los sensores se clasifican en sensores de deflexión y de comparación, en los sensores de deflexión, la variable medida produce una similar en el sensor, en los que funcionan por comparación la señal medida se resta a un patrón, en lo general presentan menor respuesta dinámica que los de deflexión (Mandado, Acevedo, Fernández, y Armesto, 2009).

Según Serna, Ros, y Rico (2010) los sensores son catalogados en dos principales grupos, el primero es en base a su naturaleza y el segundo en base a los elementos de fabricación, el primer grupo a su vez se reclasifica en fotoeléctricos, magnéticos, de posición, de temperatura, humedad, presión, movimiento y químicos, para el segundo grupo se consideran todos aquellos mecánicos, resistivos, capacitivos, inductivos y con semiconductores.

Dependiendo de la variable física a medir los sensores se catalogan, de velocidad y aceleración, nivel, proximidad, fuerza, deformación, flujo, presión, color, luz, visión, gas, pH, biométricos y corriente, todos los sensores sin importa cuál sea su tipo de principio de transducción o la variable física a medir, siempre tienen características que los distinguen entre sí (Corona, Abarca, y Mares, 2014).

4.2.2 Ejemplos de Sensores

HIH-5030: es un sensor cuya función es medir el porcentaje de humedad relativa (% RH) de determinada área, este modelo fue desarrollado por la empresa Honeywell, es del tipo de montaje de superficie, opera con 3.3V de corriente directa y su salida es del tipo análogo, utiliza un rango de temperatura de -40 a 85 grados Celsius y el % RH que se mide con este sensor es de 0% a 100%, es utilizado en compresores de aire, refrigeraciones y estaciones de meteorológica y barómetros de dispositivos de información meteorológica (Honeywell, s.f.). En la figura 9 se observa un sensor desarrollado por Honeywell modelo HIH-5030.

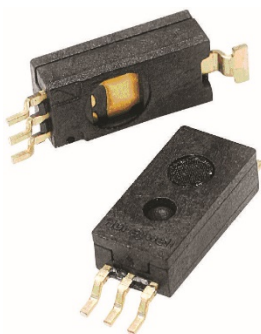


Figura 9. Sensor desarrollado por Honeywell modelo HIH-5030. Tomado de (NEWARK, s.f.).

MPXA6115A: es un sensor para medir presión atmosférica de la compañía NXP semiconductors, trabaja en un rango de temperatura de -40°C a 125°C, opera con 5V de corriente directa, su rango de medición va desde los 15 a 115 kPa, se aplica en la industria en sistemas de control y como barómetros de dispositivos en estaciones meteorológicas (NXP Freescale Semiconductor, s.f.). En la figura 10 se muestra un sensor marca NXP modelo MPXA6115A.



Figura 10. Sensor marca NXP modelo MPXA6115A. Tomado de (Hotenda Technology).

El TGS 5042 es un sensor desarrollado por la empresa Figaro para detectar monóxido de carbono (CO), trabaja en un rango de temperatura de -10°C a 60°C y es posible detectar de 0 a 10,000 de CO, sus aplicaciones van desde instrumentos detectores de CO para residencias o comercios, monitores industriales de CO, detectores de CO marinos, entre otros (Figaro, 2019). En la figura 11 se muestra un sensor de monóxido de carbono desarrollado por Figaro modelo TGS 5042.



Figura 11. Sensor desarrollado por Figaro modelo TGS 5042. Tomado de (Figaro, s.f.).

El sensor TMP36 de la compañía Analog Device fue diseñado para medir temperatura ambiente, permite medir una temperatura desde los -40 hasta 150 Grados Celsius opera con un voltaje de alimentación entre 2.7V y 5V de corriente directa: el fabricante ofrece una calibración del sensor por un tiempo de cuatro años a partir de la fecha de su fabricación (Analog Devices, 2019). En la figura 12 se presenta una imagen de un sensor desarrollado por Analog Device modelo TMP36.



Figura 12. Sensor desarrollado por Analog Devices modelo TMP36. Tomado de (MCI Electronics, s.f.).

4.3 Convertidores analógico-digitales

Un convertidor analógico-digital (CAD) en inglés “analog to digital converter” (ADC), es un dispositivo electrónico que convierte un voltaje analógico en un código digital. La salida del convertidor se puede conectar directamente a dispositivos digitales como microcontroladores y microcomputadoras (Alciatore y Histan, 2008).

En un CAD la señal debe ser muestreada, es decir se toman valores discretos en instantes de tiempo de la señal análoga, llamados muestra, en inglés “Sampling”, se obtiene un tren de impulsos con amplitudes limitadas por la envolvente de la señal analógica, los principales parámetros que caracterizan las funciones del CAD son; la velocidad de conversión, la resolución y los rangos de entrada, existe una relación directa entre la cantidad de bits y su precisión una vez que aumenta esta, el grado de dificultad en el diseño del circuito es superior, entre las aplicaciones más comunes del CAD están; el manejo de señales de vídeo, audio, los discos compactos, instrumentación y control industrial (Huircán, 2012). En la figura 13 se muestra un diagrama de bloques de la secuencia desde que la variable física entra al sistema hasta que es transformada a señal digital (código binario).

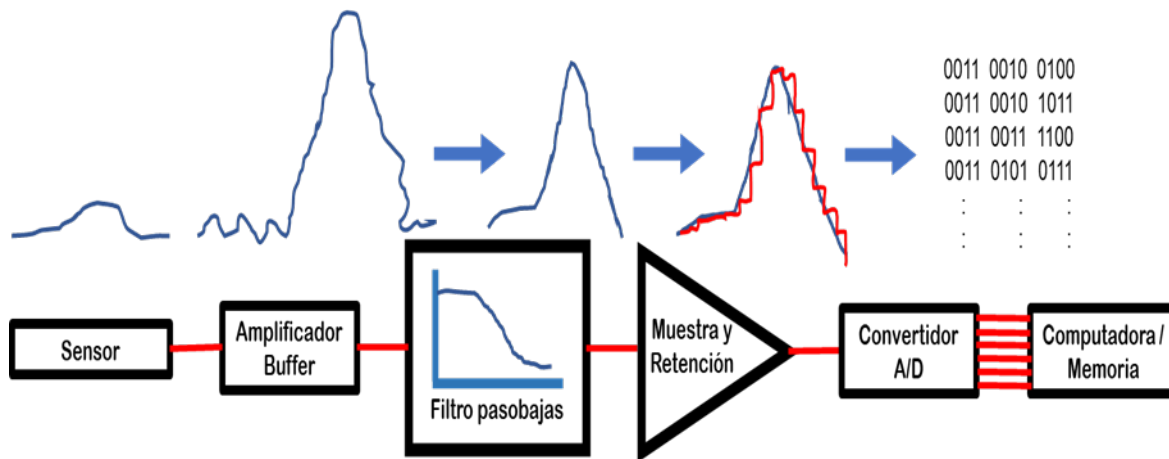


Figura 13. Componentes usados en la conversión analógico-digital. Adaptado de (Alciatore y Histan, 2008)

4.4 Microprocesadores y microcontroladores

Un microprocesador se define como un circuito integrado único que consta de miles de compuertas digitales que efectúan las funciones aritméticas, lógicas y de control de una computadora de tipo general, requieren de circuitos externos de entrada-salida y de una memoria externa para operar funcionalmente como computadoras, la tendencia actual es incorporar estos circuitos en el mismo encapsulado con el microprocesador, formando de esta manera una computadora en un solo encapsulado a esta configuración se denomina microcomputadora (Ramírez y Weiss, 1986).

Los microcontroladores están presentes en productos electrónicos que se utilizan en la vida cotidiana, por ejemplo, los controles para videojuegos, algunos juguetes electrónicos, refrigeradores, televisores, radios, lavadoras, lavavajillas, entre otros. Se definen como un circuito integrado que en su interior contiene una unidad central de procesamiento, unidades de memoria, puertos de entrada y salida, así como periféricos. Se diseñaron para ser utilizados en aplicaciones donde se deban de realizar un pequeño número de tareas y al menor costo posible en estas aplicaciones. El microcontrolador ejecuta un programa almacenado permanentemente en su memoria, que trabaja con algunos datos almacenados temporalmente e interactúa con el exterior a través de las líneas de entrada y salida disponibles en el microcontrolador. Se clasifican en gama baja (Capacidad de 12 bits), media (Capacidad de 14 bits) y alta (Capacidad de 16 bits). Existen dos arquitecturas predominantes en su diseño; la Vonn Neuman y Harvard, la primera propone la idea de una

computadora con el programa almacenado mientras que la segunda utiliza memorias separadas para instrucciones y datos (Valdés y Pàllas, 2007).

4.5 Sistemas de adquisición de datos

Un sistema de adquisición de datos se utiliza para adquirir automáticamente información de un determinado proceso, aquellos que son basados en una computadora aprovechan la capacidad de cálculo, almacenamiento y visualización de esta para la realización de medidas (Granda y Mediavilla, 2010). En la figura 14 se observa los elementos de un módulo DAQ NI USB-6009 de “National Instruments”, un ejemplo de sistema de adquisición de datos.

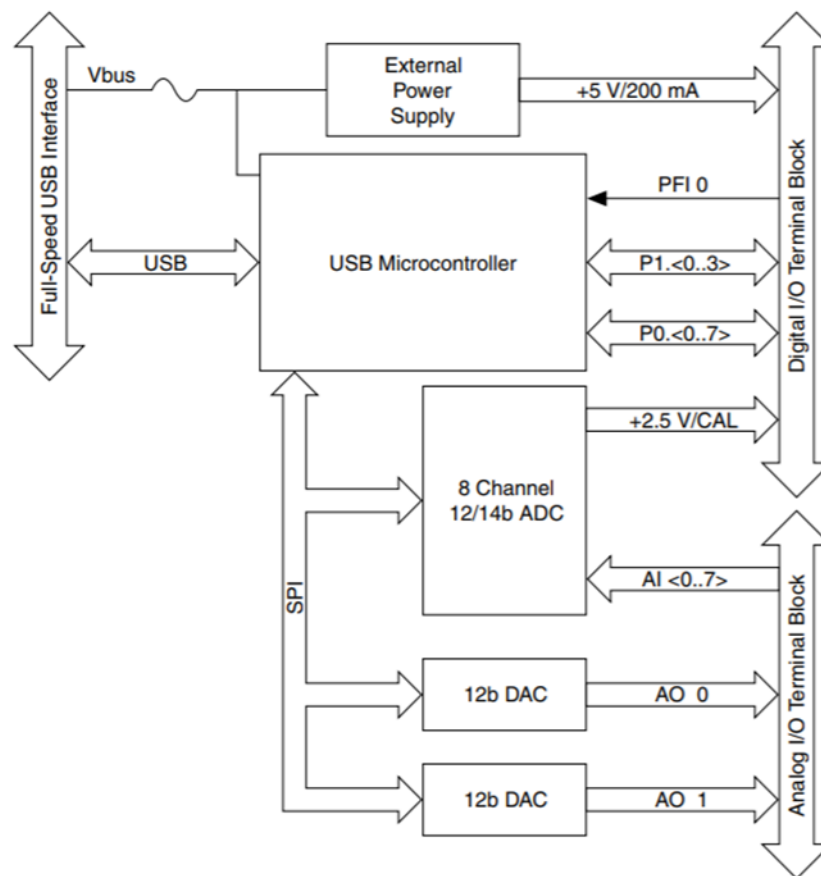


Figura 14. Elementos de un módulo DAQ NI USB-6009. Tomado de (NATIONAL INSTRUMENTS, 2018a).

Existen diferentes sistemas de adquisición de datos algunos de ellos son los siguientes:

- NI myRIO-1900: es un dispositivo portátil reconfigurable de National Instruments que se emplea en el diseño de sistemas de control, robótica y mecatrónica, contiene entradas y salidas (E/S) en ambos lados del dispositivo en forma de conectores MXP y SMP. Incluye entradas y salidas analógicas, líneas de E/S digitales, diodos emisores de luz (LED), un botón pulsador ("push-button"), un acelerómetro, una matriz programable de puertas lógicas (FPGA) Xilinx y un procesador ARM de doble núcleo Cortex-A9, algunos modelos también incluyen soporte para Wi-Fi (NATIONAL INSTRUMENTS, 2018b). En la figura 15 se muestra un módulo NI myRIO-1900 de National Instruments.



Figura 15. NI myRIO-1900. Adaptado de (NATIONAL INSTRUMENTS, s.f. a).

- Módulo OM-DAQ-USB-2400: es un sistema de adquisición de datos de la marca omega es compatible con puertos USB 1.1 y USB 2.0, independiente obtiene la potencia del puerto USB para funcionar contiene la opción de utilizar una alimentación externa, todas las opciones son configurables (incluso el rango y tipo de entrada del canal individual) y se programan a través de software, contiene entradas de tensión programables que varían de $\pm 30\text{mV}$ a $\pm 10\text{V}$, todos los canales de entrada analógica se miden secuencialmente a aproximadamente 1ms por canal, en total realiza 1.000 muestras por segundo dividido entre todos los canales activos (Omega, s.f. c). En la figura 16 se observa un módulo OM-DAQ-USB-2400 desarrollado por Omega.



Figura 16. Módulo OM-DAQ-USB-240 de Omega. Tomado de (Omega, s.f. d).

- Módulo Spider-20: es un instrumento para adquirir y analizar señales dinámicas compacto, contiene cuatro canales de 24 bits, cada entrada es programable individualmente para aceptar voltaje de corriente alterna y corriente continua, se comunica con otros dispositivos de forma inalámbrica, este dispositivo permite realizar análisis de espectro o medir la respuesta de frecuencia y funciones de coherencia (CRYSTAL Instruments, s.f.). En la figura 17 se observa un módulo para adquisición de datos desarrollado por CRYSTAL Instruments.



Figura 17. Módulo Spider-20 para adquisición de datos desarrollado por CRYSTAL Instruments. Tomado de (SENSING, s.f.).

4.5.1 Características de un sistema de adquisición de datos

Molina y Jiménez, 2010 consideran las siguientes características de un sistema de adquisición de datos:

- Cuenta con ciertos números de canales analógicos y digitales.
- La velocidad de muestreo y resolución está definida por programación.
- Se relacionan con una computadora a través de diferentes protocolos de comunicación.
- Son versátiles debido a ello soportan su propia programación.

4.6 Instrumentación virtual

Un IV utiliza una computadora para la instrumentación; la cuál provee la memoria, los procesadores y las capacidades de desplegar la información; mientras que las tarjetas de adquisición de datos conectadas a un bus estandarizado proveen el vehículo y capacidades para la transferencia de información, debido a la arquitectura abierta de las computadoras la funcionalidad del instrumento virtual es definida por el usuario (Borjas y Quispe, 1999).

4.6.1 Plataformas para desarrollar instrumentación virtual

InduSoft Web Studio: es un software para desarrollo de aplicaciones de instrumentación y automatización propuesto por la firma Advantech (Indusoft, 2017).

Matlab y Simulink: la unión de estos programas les permite a los ingenieros de electrónica de potencia desarrollar sistemas de control digital para motores, convertidores de potencia y sistemas de baterías, con estos programas se permite generar código ANSI C, C optimizado para procesadores y HDL para varios microcontroladores, FPGAs y SoCs (MathWorks, s.f.).

Keysight: es una plataforma que contiene diferentes programas para automatizar pruebas, mediciones y realizar análisis avanzados, contiene un entorno de programación gráfica y la capacidad de controlar instrumentos y construir sistemas de prueba, todos esto es utilizado en la instrumentación virtual (Keysight Technologies, s.f.).

Labview (Laboratory virtual instrument engineering workbench): es un programa que incluye una plataforma de desarrollo de instrumentación virtual, entre sus funciones básicas incluyen la adquisición, procesamiento y almacenamiento de diferentes datos dependiendo del IV creado, los datos adquiridos se analizan en tiempo real o de forma posterior a su captura, LabVIEW fue creado por Truchard y Kodosky, de National Instruments (Chacón, 2002).

4.6.2 LABVIEW

En 1986, National instruments lanzó al mercado su software LabVIEW para funcionar sobre máquinas MAC, ahora está disponible para las plataformas Windows, Unix, Mac y Linux (Lajara y Pelegrí, 2011).

4.6.2.1 Conceptos básicos

Algunos conceptos básicos de LabVIEW de acuerdo a Lajara y Pelegrí (2011) son:

- Panel frontal: es la parte que verá el usuario, tiene un fondo de color gris.
- Diagrama de bloques: es donde se realizará la programación y es de fondo blanco.
- Controles: sirven de entrada para los datos.
- Indicadores: son salidas para los datos.
- Estructuras: instrucciones de control que permiten ejecutar un código forma condicional o repetirlo cierto número de veces.
- “Formula Node”: evalúa una expresión matemática escrita con texto con una sintaxis parecida al lenguaje C.
- “Label”: es un texto que da un nombre al terminal en el panel frontal y se emplea para identificar al elemento en variables, propiedades, entre otros.

Holguín et al. (2002) definen los siguientes conceptos de LabVIEW:

- Tipo de cable color Naranja: es para números de punto flotante
- Tipo de Cable color Azul: se utiliza para números de tipo entero
- Tipo de cable color Verde: se emplea para datos de tipo booleano

- Tipo de dato “Integer-long”: su símbolo es I32 y su color es azul y su capacidad es de 32 Bits.
- Terminales: son objetos del diagrama de bloques que representan un control o un indicador del panel frontal.
- Estructura “While loop”: es un ciclo que repite el código que contiene hasta que una condición determinada se cumpla, por defecto las instrucciones contenidas en el ciclo se repetirán mientras que la terminal de condición contenga un valor verdadero.
- Estructura “For loop”: es un ciclo limitado por una variable de iteración, la cual determina el número de veces que se ejecuta el programa que se encuentra dentro de la función, la variable de iteración varía desde 0 hasta N-1 donde N es el número total de iteraciones que realiza el ciclo.
- Estructura “Sequence”: permite ejecutar varios subdiagramas de manera ordenada y controlada por el programador, esta estructura posee varios subdiagramas denominados “Frames” que se ejecutan en estricto orden y sólo es visible uno a la vez.
- Estructura “Case”: posee varios subdiagramas denominados casos (“Cases”) pero sólo se ejecuta uno a la vez, es una fusión de las estructuras “IF” y “CASE” o “SWITCH”.
- Estructura “Formula Node”: es una caja redimensionable donde se alojan fórmulas matemáticas y lógicas para su evaluación.
- Arreglos: es una colección ordenada de variables del mismo tipo. tienen una o varias dimensiones y hasta $2^{31}-1$ elementos por dimensión.
- Graficador “XY Graph”: es un graficador cartesiano de propósito general
- Sub IV (VI): es un IV que está siendo utilizado dentro de otro IV y por tanto tiene asociado un icono y conectores de entrada y salida de datos, permiten modular una aplicación en tareas más simples permitiendo que aplicaciones extensas puedan ser divididas en otras más pequeñas y así sucesivamente.
- Función “Index Array”: retorna el elemento indicado de un arreglo, la salida de esta función es un arreglo cuando se cablean sólo algunos índices.
- “Build Array”: función para construir un arreglo de n dimensiones con los elementos de entrada de n o de n-1 dimensiones.
- “Build Path”: agrega a una ruta existente un nombre o ruta relativa.
- “Open/Create/Replace Files”: abre, crea o reemplaza un archivo desde la ruta indicada en la función “file path”, si lo encuentra entrega un valor de referencia que

LabVIEW utilizará para identificar todas las tareas que se realicen referente a ese mismo archivo.

La función aritmética compuesta (Compound Arithmetic), se programa para realizar una de varias operaciones aritméticas (Suma, Multiplicación, AND, OR y XOR), en una o más entradas numéricas, de matriz, clúster o booleanas (NATIONAL INSTRUMENTS, s.f. b).

4.7 Intoxicación por monóxido de carbono

El CO llamado así debido a su fórmula química, en la que existe la unión de un átomo de carbono y otro de oxígeno mediante un enlace covalente, es un gas incoloro, inodoro, de menor densidad que el aire, es inflamable, tóxico, no irritante por lo que su exposición pasa completamente desapercibida, el origen de este gas se encuentra en la combustión incompleta de productos que contienen carbono o son derivados de éste (Secretaría de Salud del Estado de Veracruz, 2020).

La intoxicación por CO se define como la acumulación de CO en el torrente sanguíneo en grandes proporciones que el cuerpo humano no desecha de forma rápida, este gas inhalado se difunde fácilmente por la membrana capilar pulmonar en los alvéolos y forma un compuesto llamado COHb con la hemoglobina (componente de la sangre) dependiendo del tiempo de exposición, la concentración ambiental y la ventilación (Vargas, 2011).

Los efectos del CO sobre la salud dependen de la concentración de este, del tiempo de exposición y de la condición de la salud de cada individuo, la concentración de CO es medida en partes por millón (ppm), la mayoría de las personas no sufren ningún síntoma por exposición prolongada a niveles de CO entre aproximadamente 1 y 70 ppm, pero algunos pacientes del corazón podrían experimentar un aumento en dolor de pecho, según los niveles de CO aumentan y permanecen arriba de 70 ppm, los síntomas se hacen más evidentes e incluyen dolor de cabeza, fatiga y náusea, cuando la concentración de CO se mantiene sobre los 150 y 200 ppm la desorientación, la pérdida de conciencia y la muerte son posibles (CPSC, s.f.).

Existen estudios y simulaciones con diferentes posibles escenarios creados con el propósito de tener un mayor conocimiento de los efectos del CO tal es el caso del estudio titulado "Simulation of carbon monoxide level in enclosed car parks using an air flow network program" desarrollado en estados unidos en 10 estacionamientos en el que se utilizó una

concentración de CO con volúmenes que varían de 1.000 m³ a 35.000 m³ y una altura de techo de 3 m (Chow, 1996).

Otro estudio desarrollado con el mismo propósito titulado “Monte Carlo simulation of carbon monoxide, carbon dioxide and methane adsorption on activated carbon”, analiza la capacidad de absorción de diferentes gases entre ellos el CO (Lithoxoos, Peristeras, Boulougouris, & Economou, 2012).

Cuando la combustión de carbono es completa, lo que requiere la presencia de oxígeno suficiente, el resultado es principalmente dióxido de carbono (CO₂) en un estudio titulado “The Transient Simulation of Carbon Dioxide Emission from Human Body Based on CONTAM”, se utilizó un programa para simular en una oficina la concentración de CO₂ y sus efectos (Yu, He, & Feng, 2015).

4.7.1 Principales fuentes de emisión de monóxido de carbono

En México las principales fuentes industriales de contaminación de CO son; la petroquímica (Estaciones de servicio, transporte), la industria minera (Fundición y refinación de metales) y ferrocarriles (INECC, 2007).

4.7.2 Efectos clínicos de la intoxicación por monóxido de carbono

La afinidad de la hemoglobina por el CO es 200-300 veces mayor que por el oxígeno; una concentración de 80% de COHb se alcanza con 0.08% de CO y un tiempo de exposición a este nivel de 1 hora, el CO desplaza el oxígeno y produce una disminución de transporte de oxígeno a los tejidos, generando hipoxia, aunado a lo anterior, provoca que los tejidos no reciban la cantidad de oxígeno suficiente (Bolaños y Chacón, 2017). En la tabla 1 se muestran los síntomas o efectos en la salud dependiendo de la concentración de COHb en la sangre.

Tabla 1. Efectos en la salud de sujetos no fumadores en base al porcentaje de COHb.

Concentración de COHb (No Fumadores)	Efectos en la salud
< 2%	Inocuo

2.5%	Deterioro de la orientación temporal
5%	Deterioro de facultades psicomotrices
> 5%	Alteraciones cardiovasculares
10 - 20%	Cefalea, vasodilatación, alteraciones visuales, vértigo, dolor abdominal y náuseas
20 - 30%	Cefalea, disnea, ángor de esfuerzo
20 - 40%	Disnea, arritmia, cefalea intensa, alteraciones visuales, síncope, confusión mental, debilidad en miembros inferiores y vómitos
40 - 50%	Síncope, taquicardia, taquipnea > 40% puede ser mortal por asfixia
> 45%	Coma, acidosis metabólica de origen tóxico por glucólisis anaeróbica, Hipokalemia, hipotensión, convulsiones, depresión respiratoria, edema pulmonar, alteraciones EKG
50 - 60%	Coma, convulsiones, respiración irregular
> 60%	Convulsiones, coma, paro cardiorrespiratorio, muerte
70 - 80%	Muerte

Nota: % = Porcentaje. Adaptado de (Bolaños y Chacón, 2017).

4.7.3 Normatividad nacional e internacional

Existen diversas normas a nivel nacional e internacional que regulan las emisiones de CO, así como el tiempo de exposición. Algunas de estas normas son las siguientes:

- NOM-021-SSA1-1993: Norma Oficial Mexicana donde se establece el valor permisible para la concentración de CO en el aire, esta norma como medida de protección a la salud de la población, indica un valor de 11 ppm por un promedio de ocho horas (Secretaría de Salud, 1994).
- NOM-034-ECOL-1993: Norma Oficial Mexicana que establece los métodos de medición para determinar la concentración de CO en el aire ambiente y los procedimientos para la calibración de los equipos de medición (SEMARNAT, 1994).
- 1917.24: Norma de Estados Unidos que determina un límite legal de 55 mg/m³ (50 ppm) para el CO en el aire promediado durante una jornada de 8 horas diarias (OSHA, 1997).
- EPA-HQ-OAR-2008-0015: Norma de Estados Unidos que define un límite de 9 ppm en promedio por 8 horas de exposición (EPA, 2009).
- UNE-EN 14626:2013: Norma de España, estipula que la concentración básica de CO presente en el aire ambiente debe ser hasta 100 mg/m³ (UNE, 2013).

4.7.4 Inventario de emisiones de México

En el inventario nacional de emisiones de México donde se encuentran datos estadísticos del crecimiento de las emisiones de CO, esta información es recolectada por el gobierno mexicano desde el año de 1990 (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, 2019). En la figura 18 se muestran los resultados del inventario realizado en el 2016.

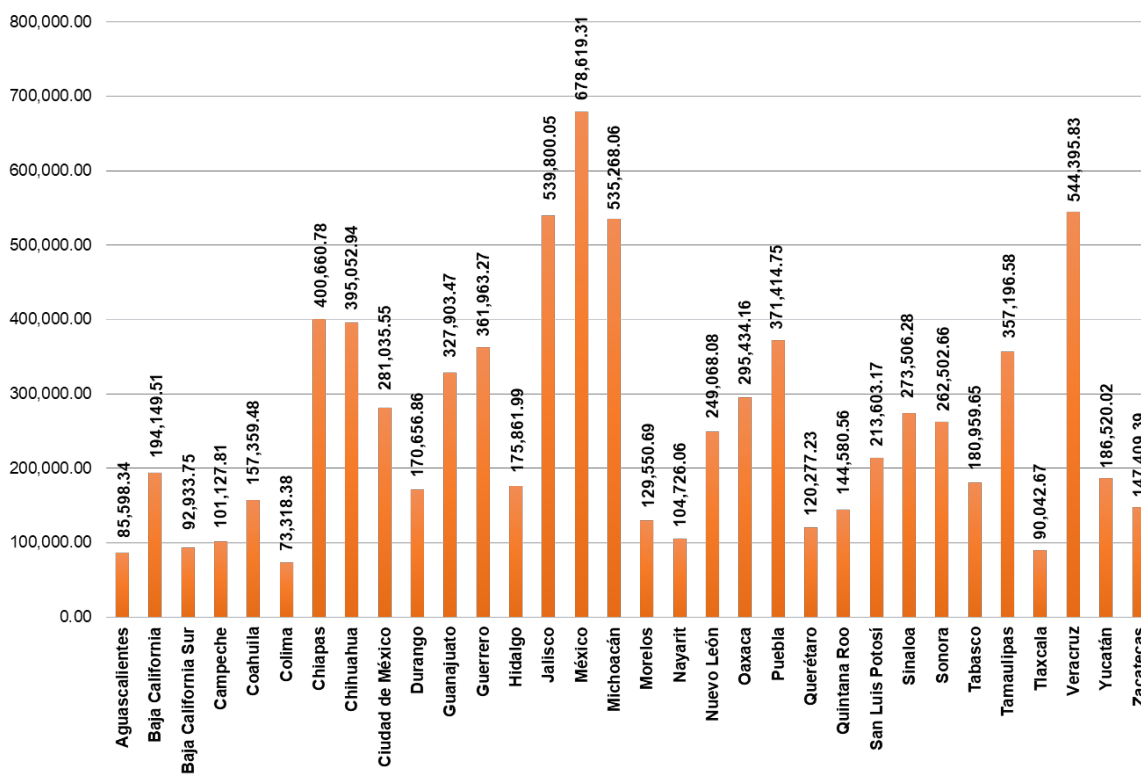


Figura 18. Gráfica de inventario de emisiones de CO de 2016. Adaptado de (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, 2019).

En los últimos reportes elaborados por el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático ha colocado al CO dentro de la clasificación asignada al bióxido o dióxido de carbono (CO₂) debido a que el CO al entrar en contacto con la atmosfera terrestre se convierte en CO₂ debido a los componentes químicos que existen en la atmósfera y que son atraídos por el CO. De 1990 al 2015 las emisiones de México aumentaron un 54%, con una tasa de crecimiento anual de 1.7%, no obstante, la tasa en el periodo del 2010 al 2015 disminuyó a 0.8% (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, 2019). En la figura 19 se muestra una gráfica de las emisiones de gases de efecto invernadero que se realizó en el año 2015.

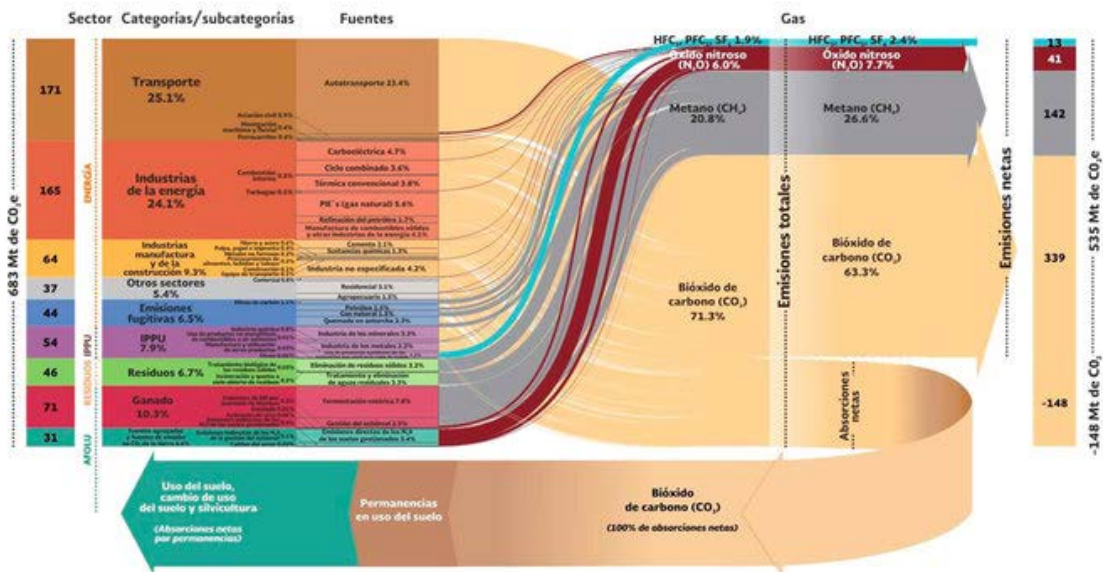


Figura 19. Gráfica de inventario de emisiones de Gases de Efecto Invernadero 2015. Tomado de (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, 2019).

4.8 Modelos matemáticos para determinar la concentración de COHb en la sangre

Un modelo matemático permite estudiar teóricamente fenómenos de cualquier índole, puedan o no recrearse en un laboratorio para su estudio, el éxito del modelo radica en la exactitud con que represente el objeto o fenómeno que se estudia (Sanabria, y otros, 2013).

4.8.1 Modelo “Modeling pulmonary gas exchange and single-exhalation profiles of carbon monoxide”

Modelo diseñado por los ingenieros Ramin Ghorbani, Anders Blomberg, y Florian M. Schmidt y su objetivo es estudiar la dinámica del intercambio del monóxido de carbono en el sistema respiratorio de un individuo utilizando un modelo de trompeta con difusión axial. Para verificar este modelo, se comparan los espiro gramas exhalados por la boca de dos sujetos sanos, medidos con un sensor de CO basado en láser, con los perfiles de

exhalación simple simulados utilizando algunos datos actuales de muestreo de aliento, como la tasa de flujo de exhalación y el volumen (Ghorbani, Blomberg y Schmidt, 2018).

4.8.2 Modelo “Mathematical modeling of carbon monoxide exposures from anesthetic breakdown”

Este modelo predice que los pacientes con bajas cantidades de hemoglobina (Componente de la sangre encargado de transportar el oxígeno) tendrán exposiciones al monóxido de carbono más severas que aquellos que presentan niveles normales, debido a que estos presentaran una mayor concentración de COHb en la sangre además, analiza y considera los diferentes factores que intervienen en la absorción del monóxido de carbono y la producción de COHb (Woehlck H. J., Mei , Dunning y Ruiz , 2001).

4.8.3 Modelo “Mathematical model of ventilation response to inhaled carbon monoxide”

Modelo que permite calcular la ventilación total del individuo al ser expuesto a diferentes niveles de CO en humanos y animales, lo importante es considerar que los niveles de ventilación están ligados a los niveles de oxigenación en la sangre, entre menos oxígeno exista en la sangre más presencia de CO existirá (Stuhmiller y Stuhmiller, 2005).

4.8.4 Modelo matemático de Peterson-Stewart

El científico Peterson-Stewart propuso un modelo matemático para calcular el porcentaje de COHb en la sangre de personas no fumadoras en espacios cerrados, para ello utiliza dos parámetros; el primero es la concentración existente en un espacio cerrado y el segundo es el tiempo acumulado de exposición de la persona no fumadora a partículas de CO, el rango funcional de aplicación es de $25 \leq [\text{CO}] \leq 523 \text{ ppm}$ y $15 \text{ min} \leq t[\text{min}] \leq 8 \text{ h}$. El modelo plantea la ecuación $\log(\% \text{COHb}) = 0.858 \log [\text{CO}] + 0.63 \log(t) - 2.295$ (Motta, Salas, Quevedo, y Velásquez, 2007).

5 MÉTODO Y MATERIALES

5.1 Método:

- Se recopiló información referente al CO, así como de sus efectos en la salud y estadísticas de emisiones. Se analizaron diferentes modelos matemáticos existentes que pudieran ser reproducidos en un simulador y que consideraran dos variables principales, tiempo de exposición y cantidad de partes por millón del CO.
- Se solicitó asesoría a los médicos generales Rubén Aradillas y Alejandra Aradillas, para tener una idea general del proceso fisiológico de la eliminación de CO, se buscó y consultó diferentes artículos existentes sobre medicina en general, para conocer la sintomatología que se podría utilizaría.
- Se realizó una búsqueda de información referente sobre tarjetas de adquisición de datos y plataformas de desarrollo de instrumentación virtual, así como de sensores y hardware disponibles para la captura de datos.
- Se elaboraron y probaron varios instrumentos virtuales hasta determinar el más apropiado de acuerdo a las necesidades del proyecto.

5.2 Materiales:

- Programa de cómputo LabVIEW Versión 2018
- Computadora portátil Lenovo Yoga 720
- Módulo con microcontrolador 18F47K22
- Sensor de CO TGS 5042
- Sensor de Humedad HIH5030
- Sensor de Temperatura TMP36
- Sensor de Presión Atmosférica MPXA6115A
- Foto de maniquí del cuerpo humano de medicina
- Programador de microcontroladores Pickit 4
- Cable para comunicación de USB a Serial

6 RESULTADOS

Como resultado de este trabajo de maestría se tiene un programa de simulación mediante instrumentación virtual que despliega gráficamente datos de CO, temperatura, humedad relativa, presión atmosférica, concentración de COHb en la sangre de una persona y sus posibles efectos en la salud.

Este programa de simulación se divide en cuatro secciones:

Sección A (creación de archivo para IV); esta sección contiene un subinstrumento (sub IV) llamado “SUB VI Creacion de Archivo Para VI”, el cual se ejecuta en 5 pasos.

Paso 1. Evalúa en el disco principal si existe una carpeta llamada “File of project” para agregarle el texto “\Datos Obtenidos.csv” y formar la dirección exacta donde se encuentra el archivo con los parámetros medidos y posteriormente utilizar dicha dirección en el próximo programa de simulación. En la figura 20 se muestran los elementos de la sección A que se ejecutan en el paso 1.

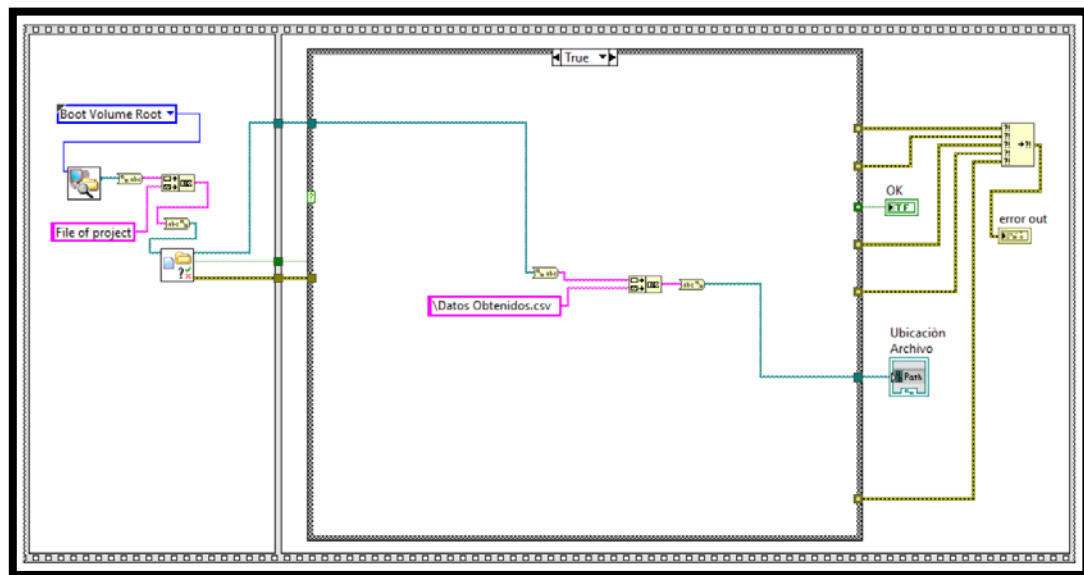


Figura 20. Elementos de la sección A que se ejecutan en el paso 1. Elaboración propia.

Paso 2. En el caso de que no exista la carpeta se crea una carpeta con el nombre “File of project” en el disco principal de la computadora. En la figura 21 se observa lo elementos de la sección A que ejecutan el paso 2.

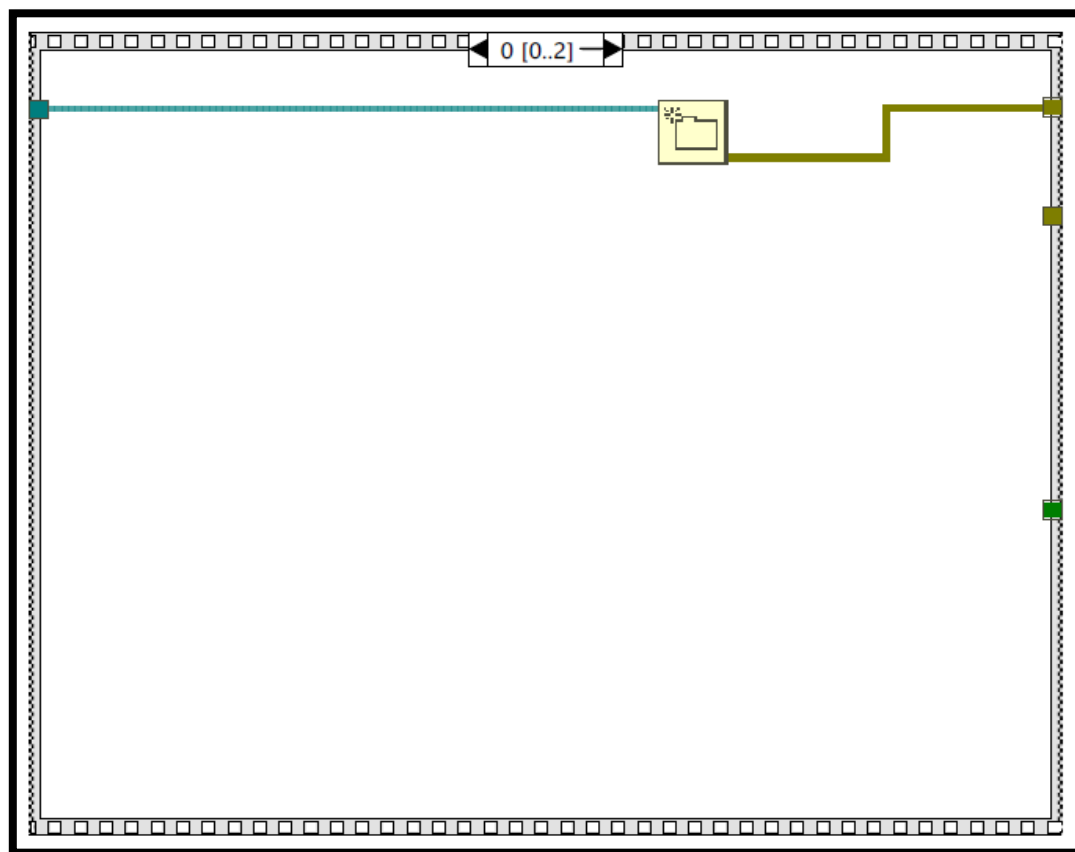


Figura 21. Elementos de la sección A que ejecutan el paso 2 (creación de la carpeta “File of project”). Elaboración propia.

Paso 3. Se crea un archivo con formato csv (valores separados por coma, en inglés comma-separated values) con los encabezados correspondientes a los parámetros medidos; CO, temperatura, humedad relativa, presión atmosférica, fecha, hora y % COHB. En la figura 22 se muestran los elementos de la sección A que ejecutan el paso 3.

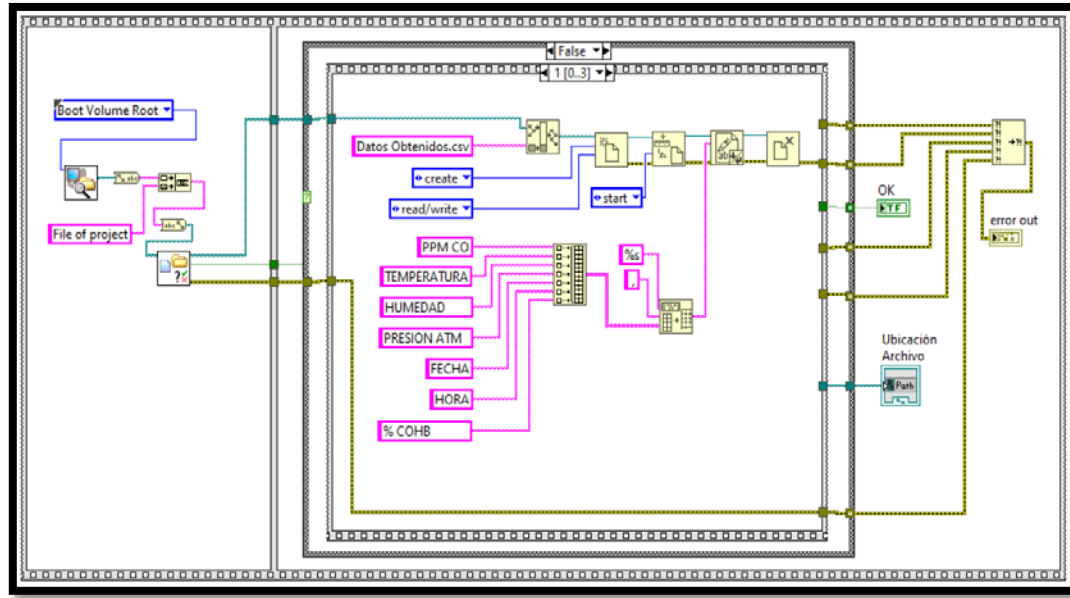


Figura 22. Elementos de la sección A que ejecutan el paso 3 (creación del archivo csv).
Elaboración propia.

Paso 4. Se despliega en la pantalla un mensaje con la ubicación, en la unidad de disco principal, del archivo creado para que el usuario pueda capturar los datos obtenidos por el equipo de medición utilizado. En la figura 23 muestran los elementos que forman parte de la sección A que se ejecutan en el paso 4 del IV.

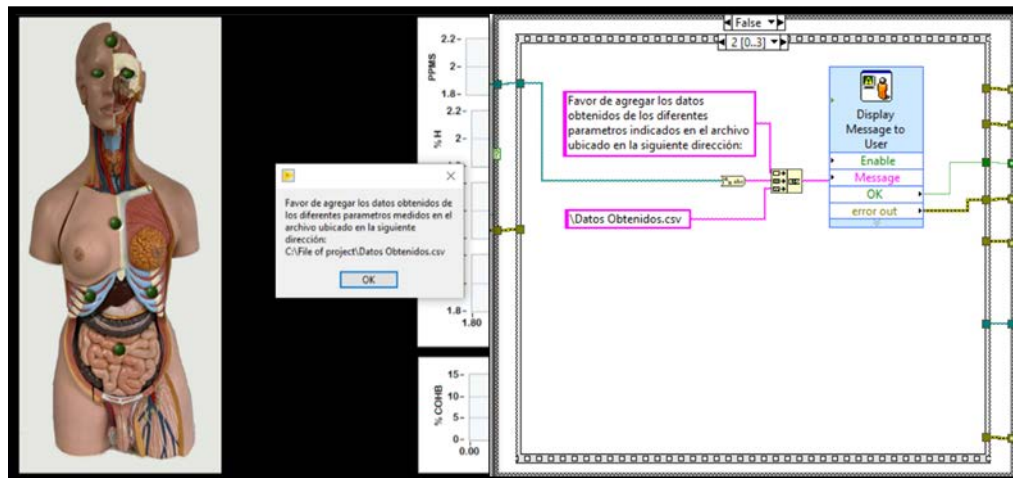


Figura 23. Mensaje que se despliega en el paso 4. Elaboración propia.

Paso 5. Se ejecuta una vez que el usuario cierra la ventana con el mensaje descrito en el paso anterior, en este paso el programa abre automáticamente la carpeta creada en el paso 2 con el archivo csv. La figura 24 muestra los elementos que forman parte de la sección A que se ejecutan en el paso 5 del IV.

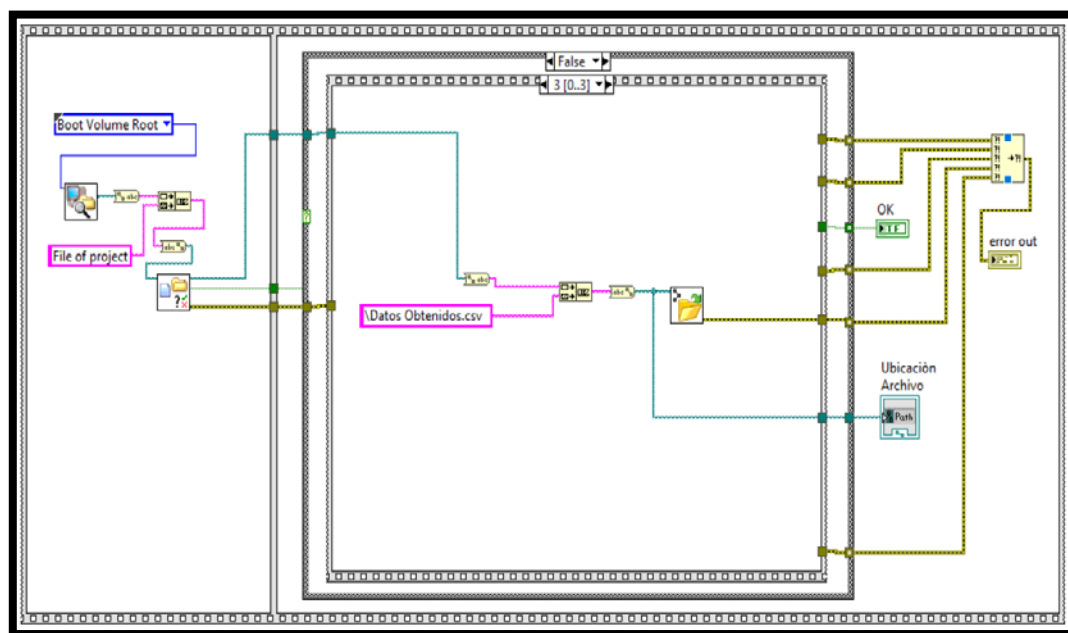


Figura 24. Elementos de la sección A que ejecutan el paso 5. Elaboración propia.

Sección B (cálculo de COHB); en esta sección el sub IV (SUB VI Calculo de COHB) calcula el porcentaje de COHb mediante el modelo matemático de Peterson Stewart, el cual utiliza dos parámetros, el tiempo acumulado de exposición y la concentración de monóxido de carbono. Los resultados se guardan en la columna % COHB del archivo csv creado en la sección A. La figura 25 muestra los elementos que forman parte de la sección B del IV.

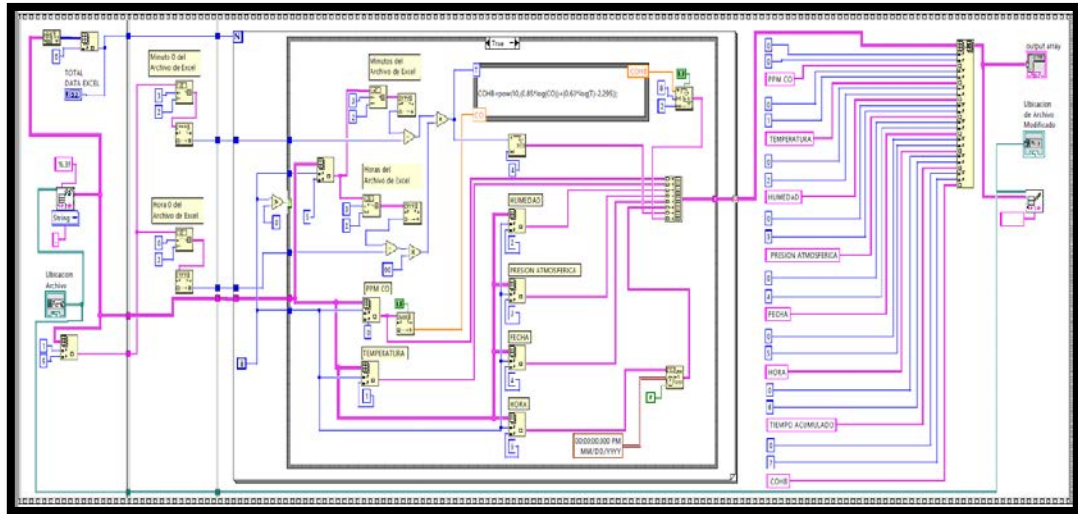


Figura 25. Elementos de la sección B (cálculo de COHB). Elaboración propia.

Sección C (conversión de texto a número); en esta sección el sub IV (SUB VI Conversion de Texto a Numero) lee los datos del archivo csv y los convierte en números para ser utilizados en los siguientes sub IV. La figura 26 muestra los elementos que forman parte de la sección C que contiene el sub VI del IV.

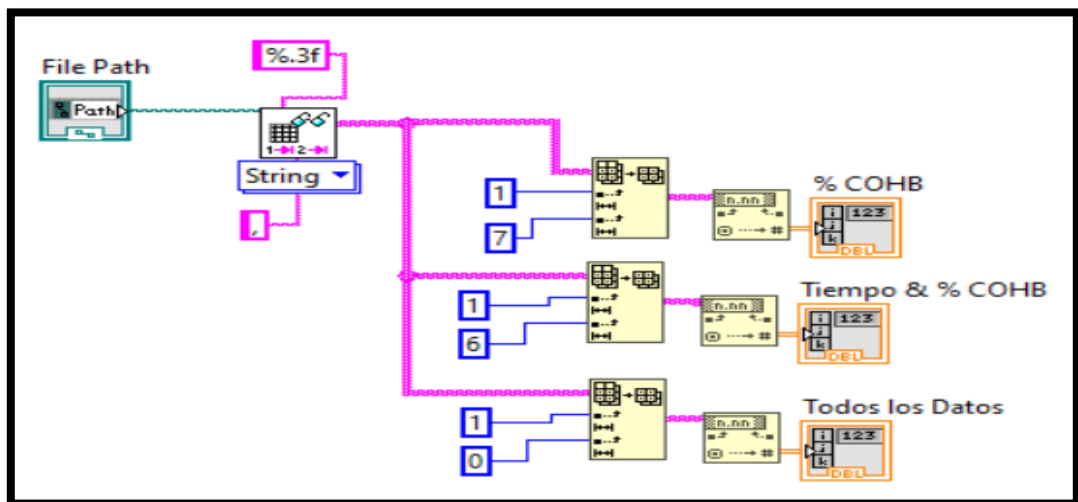


Figura 26. Elementos de la sección C (conversión de texto a número). Elaboración propia.

Sección D (aplicación del modelo Peterson Stewart y determinación de posibles síntomas del CO en la salud de una persona; Esta sección está compuesta por tres subinstrumentos virtuales llamados “SUB VI Validacion de COHB Parte 1”, “SUB VI Obtencion de Entradas de Validacion de COHB” y “SUB VI Validacion de COHB Parte 2”, cada sub IV tiene un icono que lo identifica. El icono “ARRAY” corresponde al sub IV “SUB VI Validacion de COHB Parte 1”, mientras que el icono “DATOS” pertenece al sub IV “SUB VI Obtencion de Entradas de Validacion de COHB” y por último el icono “Mini Terminos” es del sub IV “SUB VI Validacion de COHB Parte 2”.

El sub IV “SUB VI Validacion de COHB Parte 1” compara los resultados del modelo matemático de Peterson Stewart con los rangos definidos de porcentaje de COHb ligado a los efectos en la salud del CO. En las figuras 27 se muestra los elementos que conforman este sub IV.

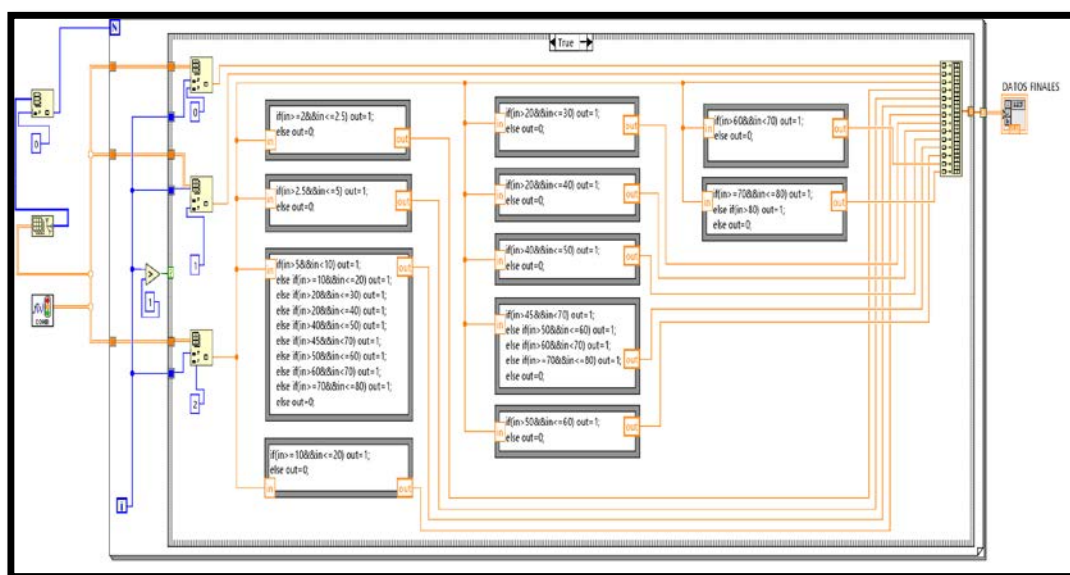


Figura 27. Sección D, sub IV “SUB VI Validacion de COHB Parte 1”. Elaboración propia.

El Sub IV “SUB VI Obtencion de Entradas de Validacion de COHB” define las entradas lógicas como los rangos de porcentaje de COHb ligados a los efectos en la salud de una persona y determina los términos que serán utilizados por el subinstrumento “SUB VI

Validacion de COHB Parte 2". En la figura 28 se observan los elementos que forman parte de este subinstrumento.

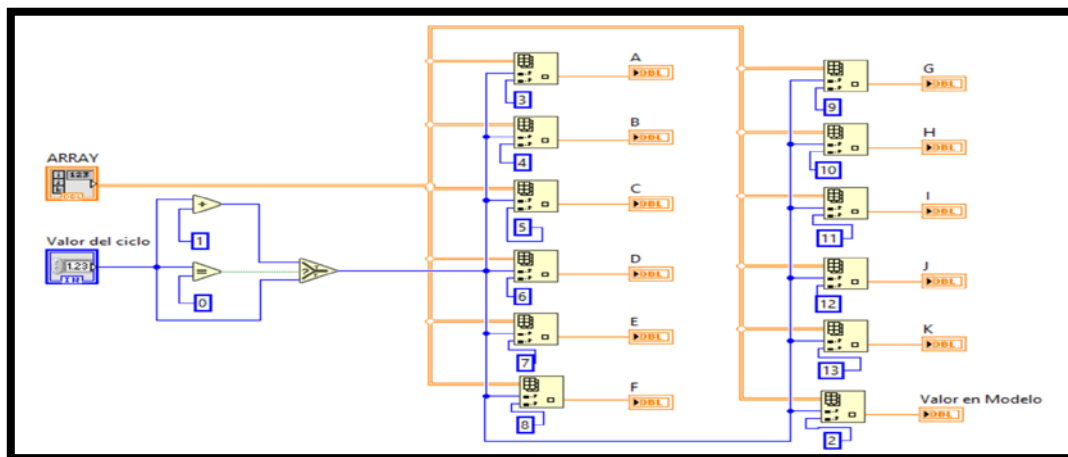


Figura 28. Sección D, sub IV "SUB VI Obtencion de Entradas de Validacion de COHB".
Elaboración propia.

El subinstrumento "SUB VI Validacion de COHB Parte 2", realiza la implementación de los términos obtenidos previamente para representar gráficamente los resultados de la comparación. En la figura 29 se observan los elementos que integran el sub IV SUB VI Validacion de COHB Parte 2.

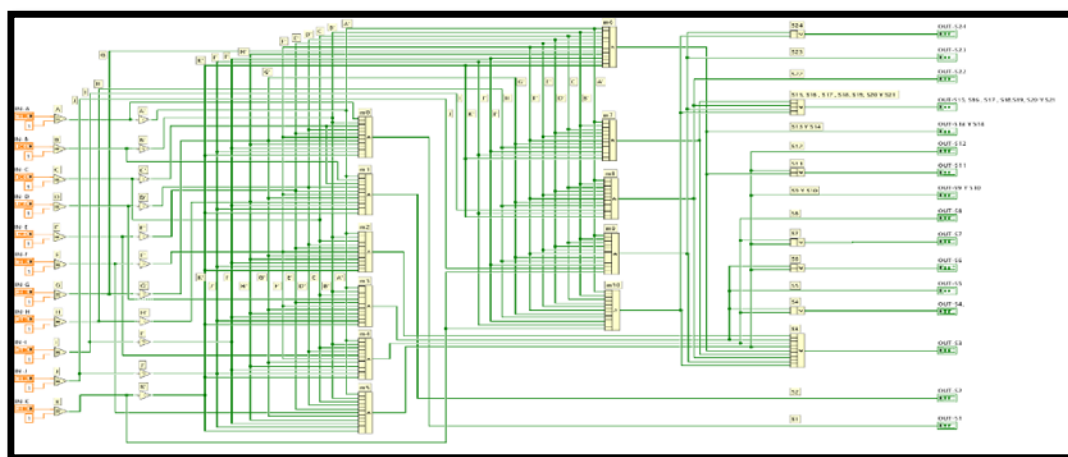


Figura 29. Sección D, sub IV "SUB VI Validacion de COHB Parte 2". Elaboración propia.

En la figura 30 se observan las cuatro secciones que conforman el programa principal o IV de este trabajo de tesis.

La figura 31 muestra el despliegue que el programa virtual realiza en la pantalla de la computadora. En este despliegue de pantalla se visualiza una gráfica de las mediciones realizadas y la indicación de los síntomas que produce en una persona la exposición al monóxido de carbono.

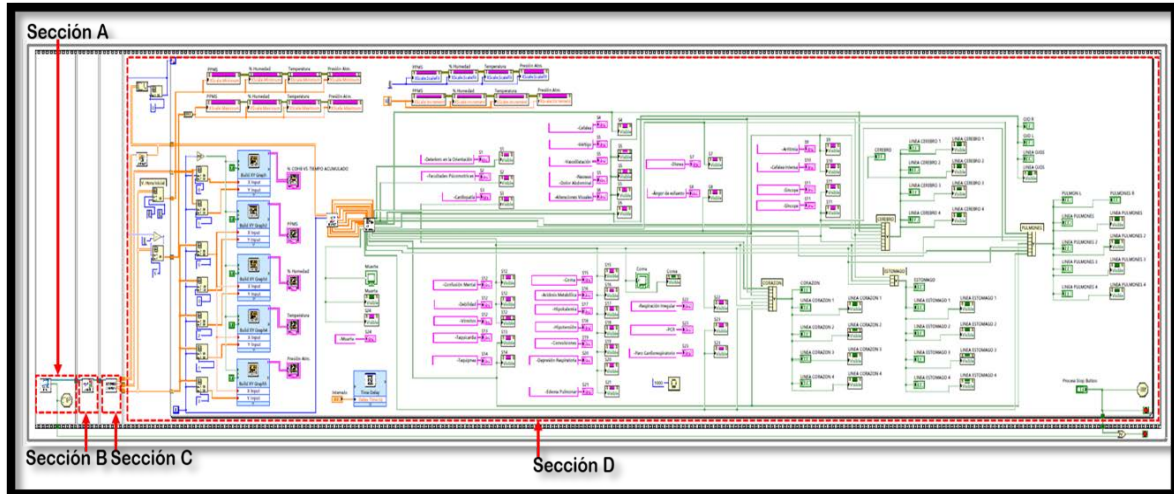


Figura 30. Código G del IV principal. Elaboración propia.

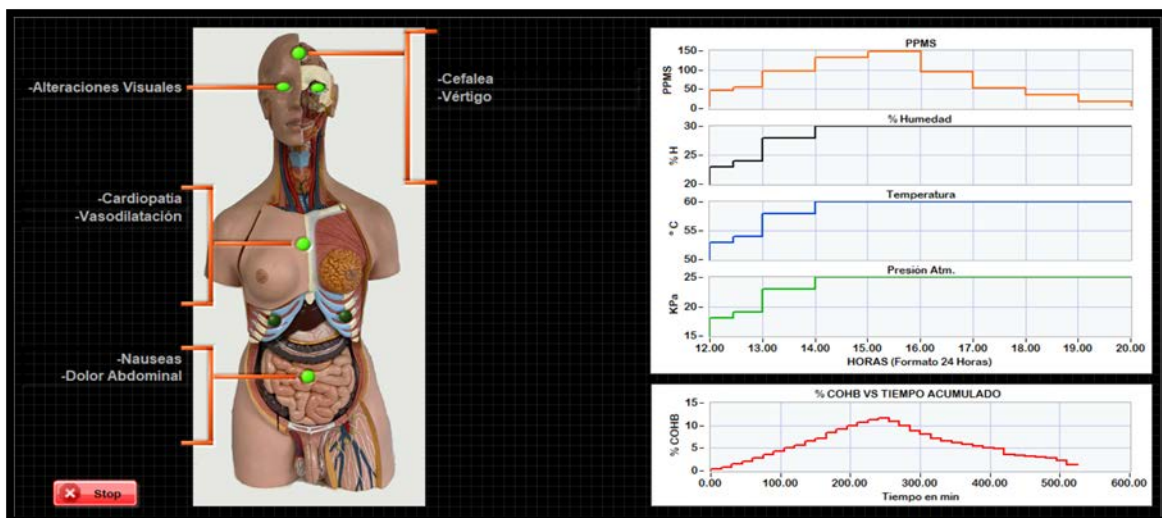


Figura 31. Despliegue completo del programa de simulación principal en una computadora. Elaboración propia.

7 CONCLUSIONES

Como resultado del presente trabajo se obtuvo un programa de simulación que es capaz de desplegar gráficos de temperatura, humedad relativa, presión barométrica y concentración de COHb así como indicar visualmente los síntomas que una persona experimentará de acuerdo a la concentración y el tiempo de exposición al CO. Este instrumento podrá ser utilizado como herramienta en campañas de salud y de concientización sobre los efectos de CO en la salud de las personas. Además, puede emplearse para realizar estudios en la industria con el objetivo de determinar el nivel de seguridad para el personal humano.

REFERENCIAS

- Alava, A. G., & Campos, H. A. (2015). *Diseño de una Fuente de Alimentación de Dos Etapas: AC-DC con Corrección de Factor de Potencia y DC-DC con un Convertidor Director (Forward Converter) e Implementación de su Etapa AC-DC [archivo PDF]*. Recuperado el 11 de septiembre de 2019, de http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/123456789/31161/Paper_Alava_Campos_v1.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Alciatore, D., & Histan, M. (2008). *Introducción a la Mecatrónica y los sistemas de medición* (3 ed.). México, México: MCGRAW-HILL INTERAMERICANA.
- Analog Devices. (2019). *Low Voltage Temperature Sensors TMP35/TMP36/TMP37 [archivo PDF]*. Recuperado el 17 de septiembre de 2019, de https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/TMP35_36_37.pdf
- Asociación Española de Normalización [UNE]. (s.f.). Obtenido de UNE-EN 14626:2013, método normalizado para la medición de la concentración de monóxido de carbono .
- Asociación Española de Normalización [UNE]. (2013). Norma española UNE-EN 14626:2013, método normalizado para la medición de la concentración de monóxido de carbono por espectroscopía infrarroja no dispersiva. *AENOR, Asociación Española de Normalización y Certificación junio 2013*.
- Atlas de riesgos del municipio de Mexicali, B.C. (2011). Instituto de Investigaciones Sociales, UABC. Número de expediente: PROGRAMA HABITAT 2010 Número de obra: 020021ME042.
- Bolaños, P., & Chacón, C. (2017). Intoxicación por monóxido de carbono. (A. C. Afines, Ed.) *Medicina Legal de Costa Rica, edición Virtual*, 34(1).
- Bolton, B. (1995). *Mediciones y pruebas eléctricas y electrónicas*. Barcelona: Marcombo.
- Borjas, R., & Quispe, N. (1999). Instrumentación Virtual para Sistema de Medición y Análisis de la Red Eléctrica. *Revista Facultad de Ingeniería*, 6.
- Calderón, J. A. (2004). Instrumentación virtual. *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada*, 1(3), 44-50.
- Chacón, R. (2002). La instrumentación virtual en la enseñanza de la Ingeniería Electrónica. *Acción pedagógica*, 11(1), 80-89.

- Chow, W. (1996). Simulatiion of carbon monoxide level in enclosed car parks using an air flow network program. *Elsevier*, 11(2), 237-240, [https://doi.org/10.1016/0886-7798\(96\)00011-9](https://doi.org/10.1016/0886-7798(96)00011-9).
- Cooper, W. D., & Helfrick, A. (1991). *Instrumentación electrónica moderna y técnicas de medición*. México, México: Prentice Hall.
- Corona, L. G., Abarca, G. S., & Mares, J. (2014). *Sensores y actuadores Aplicaciones con Arduino*. México, México: Patria.
- CPSC. (s.f.). *U.S. Consumer Product Safety Commission*. Recuperado el 16 de agosto de 2019, de Monóxido de carbono: <https://www.cpsc.gov/es/Safety-Education/Centro-de-informacion-seguridad/Carbon-Monoxide-Info-Center-Spanish/Monoxido-de-Carbono---Preguntas-y-Respuestas>.
- Creus, A. (2010). *Instrumentación industrial* (8va ed.). México, México: Alfaomega.
- CRYSTAL Instruments. (s.f.). Recuperado el 17 de octubre de 2019, de Dynamic signal analysis & data acquisition [archivo PDF]: <https://static1.squarespace.com/static/5230e9f8e4b06ab69d1d8068/t/5dc1fd0c1f9b6d2c3efa8730/1572994322386/2019-DSA+Brochure.pdf>
- Drake, J. M. (2005). Recuperado el 25 de agosto de 2019, de Instrumentación electrónica de comunicaciones [archivo PDF]: https://www.ctr.unican.es/asignaturas/instrumentacion_5_it/iec_1.pdf
- Environmental Protection Agency [EPA]. (15 de abril de 2009). EPA-HQ-OAR-2008-0015. *Environmental Protection Agency* .
- Figaro. (2019). *TGS 5042 - for the detection of Carbon Monoxide [archivo PDF]*. Recuperado el 10 de septiembre de 2019, de [https://www.figarosensor.com/product/docs/TGS%205042%20\(0514\).pdf](https://www.figarosensor.com/product/docs/TGS%205042%20(0514).pdf)
- Figaro. (s.f.). Recuperado el 27 de octubre de 2019, de TGS5042-A00 Carbon Monoxide Sensor [imagen]: <https://www.figarosensor.com/product/entry/tgs5042-a00.html>
- Floyd, T. L. (2010). *Fundamentos De Sistemas Digitales* (9 ed.). México: PEARSON EDUCACION.
- Gherban, P., Ionel, R., Gontean, A.-Ş., & Ionel, I. (2010). *A new approach for carbon monoxide measurement*. Timisoara, Rumania: WSEAS Press.
- Ghorbani, R., Blomberg , A., & Schmidt, F. M. (2018). Modeling Pulmonary Gas Exchange and Single-Exhalation Profiles of Carbon Monoxide. *Frontiers in Physiology*, 9, 927. <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.00927>.
- Gilmore, C. M. (2002). *Instrumentos de medida eléctrica*. Reverté.

- Gómez, L., & Tobajas, F. (2006). *Fundamentos de instrumentación electrónica, teoría y prácticas*. España: Servicio de Publicaciones y Difusión Científica de la ULPGC.
- Granda, M., & Mediavilla, E. (2010). *Instrumentación electrónica: Transductores y acondicionadores de señal*. España: Universidad de Cantabria.
- Gutiérrez, M., & Iturralde, S. (2017). *Fundamentos Básicos de Instrumentación y Control: para estudiantes de ingeniería*. Ecuador: UPSE.
- Holguín, G. A., Pérez, S. M., & Orozco, Á. Á. (2002). (U. T. Pereira, Ed.) Recuperado el 15 de noviembre de 2019, de Curso básico de LABVIEW 6i [archivo PDF]: <http://www.ie.tec.ac.cr/einteriano/control/labview/ParaAprender/Curso%20LabVIEW6i.pdf> [archivo PDF]
- Honeywell. (s.f.). *HIH-5030/5031 Series* [archivo PDF]. Recuperado el 15 de agosto de 2019, de <https://sensing.honeywell.com/honeywell-sensing-hih5030-5031-series-product-sheet-009050-2-en.pdf>
- Hotenda Technology. (s.f.). Recuperado el 25 de noviembre de 2019, de Freescale Semiconductor, Inc. MPXV7025GC6U [imagen]: <http://www.hotenda.com/product-item/pressure-sensors-transducers/MPXV7025GC6U/H3953525.html>
- Huircán, J. I. (2012). *Conversores análogo-digital y digital-análogo: Conceptos básicos* [archivo PDF]. Recuperado el 5 de septiembre de 2019, de <https://lc.fie.umich.mx/~azm/ad03.pdf>
- INDOMETER. (s.f.). Recuperado el 29 de julio de 2019, de OMEGA DPG108 [DPG108-015G] Battery powered digital pressure gauge 15 PSI gage [imagen]: <https://mx.omega.com/pptst/DPG8001.html>
- Indusoft. (2017). Recuperado el 28 de febrero de 2020, de Users Guide and Technical Reference Manual for InduSoft Web Studio Version 6.1 SP4 [archivo PDF]: <https://advdownload.advantech.com/productfile/Downloadfile5/1-J5GGR8/AStudio%2061%20User%20Guide.pdf>
- INECC. (2007). *Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático*. Recuperado el 12 de septiembre de 2019, de Fuentes de contaminación en México: <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/372/fuentes.html>
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. (2019). Recuperado el 23 de octubre de 2019, de Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 2015 [imagen en archivo PDF]: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/311180/Imagen_INEGYCEI_2015.pdf
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. (2019). Recuperado el 20 de diciembre de 2019, de Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero:

<https://www.gob.mx/semarnat/documentos/documentos-del-inventario-nacional-de-emisiones>

ITM instruments Inc. (s.f.). Recuperado el 27 de octubre de 2019, de Gossen-Metrawatt GTM3060000R0001 METRAMax 6 Handheld Analog Ohmmeter/Multimeter [imagen]: <https://www.itm.com/product/gossen-metrawatt-gtm3060000r0001-metramax-6-handheld-analog-ohmmeter-multimeter>

Keysight Technologies. (s.f.). Recuperado el 28 de febrero de 2020, de Programming Environment Software: <https://www.keysight.com/en/pc-2429513/programming-environment-software?nid=-32811.0&cc=NL&lc=dut>

Lajara, J. R., & Pelegrí, J. (2011). *Labview: entorno gráfico de programación* (2 ed.). Barcelona, España: MARCOMBO.

Lithoxoos, G. P., Peristeras, L. D., Boulougouris, G. C., & Economou, I. G. (2012). Monte Carlo simulation of carbon monoxide, carbon dioxide and methane adsorption on activated carbon. *Taylor*, 110(11-12), 1153-1160, <https://doi.org/10.1080/00268976.2012.659223>.

Mandado, E., Acevedo, J., Fernández, C., & Armesto, J. (2009). *Autómatas programables y sistemas de automatización* (2da ed.). Barcelona, España: Alfaomega, Marcombo.

MathWorks. (s.f.). Recuperado el 28 de febrero de 2020, de Diseño de control de electrónica de potencia con Simulink: <https://la.mathworks.com/solutions/power-electronics-control.html>

MCI Electronics. (s.f.). Recuperado el 17 de noviembre de 2019, de Sensor de Temperatura TMP36 [imagen]: <https://www.mcielectronics.cl/shop/product/sensor-de-temperatura-tmp36-10750>

Meza, R. (2015). *Implementación de una cámara isohigrométrica para la calibración de higrometros analógicos y digitales (Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Ingeniería)*. Obtenido de Repositorio institucional Universidad Nacional de Ingeniería. <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/2736>

Miranda, J. A. (2017). *Fundamentos de medición y control de procesos*. Palibrio.

Molina, J. M., & Jiménez, M. (2010). *Programación gráfica para ingenieros*. MARCOMBO.

Motta, F., Salas, J., Quevedo, H., & Velásquez, G. (2007). Efectos en la salud humana debido a la contaminación interior por Monóxido de Carbono en Ciudad Juárez, Chihuahua. *Cultura Científica y Tecnológica [CULCYT]*, 37-42.

NATIONAL INSTRUMENTS. (2018a). Recuperado el 15 de noviembre de 2019, de User guide NI USB-6008/6009 [archivo PDF]: <https://www.ni.com/pdf/manuals/371303n.pdf>

- NATIONAL INSTRUMENTS. (2018b). Recuperado el 29 de julio de 2019, de User guide and specifications NI myRIO-1900 [archivo PDF]: <https://www.ni.com/pdf/manuals/376047c.pdf>
- NATIONAL INSTRUMENTS. (s.f. a). Recuperado el 29 de julio de 2019, de myRIO - Dispositivos Embebido para Estudiantes [imagen]: <https://www.ni.com/es-mx/shop/hardware/products/myrio-student-embedded-device.html>
- NATIONAL INSTRUMENTS. (s.f. b). Recuperado el 28 de agosto de 2019, de Compound Arithmetic Function: https://zone.ni.com/reference/en-XX/help/371361J-01/glang/compound_arithmetic/
- NEWARK. (s.f.). Recuperado el 15 de octubre de 2019, de HIH-5030-001: Sensor de Humedad: <https://mexico.newark.com/honeywell/hih-5030-001/humidity-sensor-3-3v-smd/dp/11R0670>
- NXP Freescale Semiconductor. (s.f.). *MPXxx6115A, 15 to 115 kPa, Absolute, Integrated Pressure Sensor [archivo PDF]*. Recuperado el 15 de noviembre de 2019, de <https://www.nxp.com/docs/en/data-sheet/MPXA6115A.pdf>
- Occupational Safety and Health Administration [OSHA]. (1997). 1917.24 - Carbon monoxide. *United States Department of Labor*.
- Omega. (s.f. a). Recuperado el 10 de agosto de 2019, de User's guide OM-HL-EH-TC Series [archivo PDF]: <https://assets.omega.com/manuals/M5728.pdf>
- Omega. (s.f. b). Recuperado el 10 de agosto de 2019, de Termómetro de termopar portátil de 8 canales / registrador de datos [imagen]: <https://mx.omega.com/pptst/OM-HL-EH-TC.html#description>
- Omega. (s.f. c). Recuperado el 12 de agosto de 2019, de Módulo de adquisición de datos USB de entrada de tensión/termopar de 8/16 canales [archivo PDF]: <https://mx.omega.com/das/pdf/OM-DAQ-USB-2400.pdf>
- Omega. (s.f. d). Recuperado el 12 de agosto de 2019, de Módulo de adquisición de datos USB de entrada de tensión/termopar de 8/16 canales [imagen]: <https://mx.omega.com/pptst/OM-DAQ-USB-2400.html>
- Pallás, R. (2008). *Sensores y acondicionadores de señal* (4 ed.). España: ALFAOMEGA - MARCOMBO.
- Palomares, G. D. (diciembre 1998). *Instrumentación inteligente y la tecnología del FIELDBUS (Tesis de licenciatura)*. Universidad Autónoma de Nuevo León, San Nicolás de los Garza.
- PCE Instruments. (s.f.). Recuperado el 25 de agosto de 2019, de Altimetros: <https://www.pce-iberica.es/instrumentos-de-medida/metros/altimetros.htm>

- Pérez, A., Ramos, R., Montero, G., Coronado, M., García, C., & Pérez, R. (2016). Virtual Instrument for Emissions Measurement of Internal Combustion Engines. *Journal of Analytical Methods in Chemistry*, 1-13. <https://doi.org/10.1155/2016/9459516>.
- Piñón, A. J., Ferreiro, R., Calvo, J. L., & Perez, F. J. (2017). Recuperado el 12 de septiembre de 2019, de Análisis del estado actual de las técnicas en instrumentos inteligentes [archivo PDF]: [https://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/16682/Pinon_Pazos_2005_Analisis_tecnicas_instrumentos_inteligentes.pdf?sequence=2&isAllowed=y%20PRTR%20Espa%C3%B1a.%20\(2007\).%20PRTR-Espa%C3%B1a%20es%20el%20Registro%20Estatal%20de%20Emisiones%20y%20Fuentes](https://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/16682/Pinon_Pazos_2005_Analisis_tecnicas_instrumentos_inteligentes.pdf?sequence=2&isAllowed=y%20PRTR%20Espa%C3%B1a.%20(2007).%20PRTR-Espa%C3%B1a%20es%20el%20Registro%20Estatal%20de%20Emisiones%20y%20Fuentes)
- RAIG. (s.f.). Recuperado el 28 de octubre de 2019, de Altimetro Barigo 5000 m [imagen]: <https://www.raig.com/altimetro-barigo-5000-m-bed8/>
- RAIXHO. (s.f.). Recuperado el 15 de noviembre de 2019, de Voltímetro Digital Dc 5v-30v 28mmx48mm 3 Cables [imagen]: https://raixho.mercadoshops.com.mx/MLM-613941675-voltimetro-digital-dc-5v-30v-28mmx48mm-3-cables-_JM?quantity=1#reco_item_pos=0&reco_backend=machinalis-seller-items&reco_backend_type=function&reco_client=vip-seller_items_above-shops&reco_id=00644766-4a23-
- Ramírez, E. V., & Weiss, M. (1986). *Introducción a los microprocesadores: Equipos y sistemas*. México: Limusa.
- Sanabria, L. B., Franco, H., Drachman, R., De Groot, R., Maldonado, L. F., Montenegro, A., y otros. (2013). *El modelamiento matemático en la formación del ingeniero*. (L. F. Maldonado, Ed.) Bogotá, Colombia: Ediciones Universidad Central.
- Santizo, P. (2016). *Determinar el incremento en la atmósfera del contaminante denominada monóxido de carbono (CO) debido a las actividades antropogénicas en la comarca lagunera de Durango (Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro)*. Obtenido de Repositorio Digital UAAAN. <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/handle/123456789/8017>
- Secretaría de Salud. (1994). Norma Oficial Mexicana NOM-021-SSA1-1993, Criterio para evaluar la calidad del aire, monóxido de carbono (CO). Valor permisible para la concentración de monóxido de carbono en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población. *Diario Oficial de la Federación 18 de enero de 1994*.
- Secretaría de Salud. (2019). Recuperado el 16 de agosto de 2019, de prevención de envenenamientos e intoxicaciones en grupos vulnerables [archivo PDF]: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/206278/Envenenamientos_2017-01-09.pdf

- Secretaría de Salud. (2019). Recuperado el 16 de agosto de 2019, de Evita envenenamientos e intoxicaciones ¡la prevención es vital! [archivo PDF]: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/329928/Info_Envenenamientos_28-05-18.pdf
- Secretaría de Salud del Estado de Veracruz. (2020). Recuperado el 22 de julio de 2020, de Intoxicación con monóxido de Carbono [archivo PDF]: <https://www.ssaver.gob.mx/citver/files/2017/04/Intoxicacion-con-Monoxido-de-Carbono-1.pdf>
- Seippel, R. (2003). *Fundamentos de electricidad; Principios de electricidad, electrónica, control y ordenadores*. Barcelona, España: Reverté.
- SEMARNAT. (1994). Norma Oficial Mexicana NOM-034-ECOL-1993, que establece los métodos de medición para determinar la concentración de monóxido de carbono en el aire ambiente y los procedimientos para la calibración de los equipos de medición. *Diario Oficial de la Federación 29 de noviembre de 1994*.
- SENSING. (s.f.). Recuperado el 17 de octubre de 2019, de Módulo de adquisición portátil SPIDER-20 [imagen]: <https://sensores-de-medida.es/catalogo/modulo-de-adquisicion-portatil-spider-20/>
- Serna, A., Ros, F. A., & Rico, J. C. (2010). *Guía práctica de sensores*. Madrid, España: Creaciones Copyright S.L.
- Stuhmiller, J. H., & Stuhmiller, L. M. (Julio de 2005). A mathematical model of ventilation response to inhaled carbon monoxide. *Journal of Applied Physiology*, 98(6), 2033–2044. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00034.2005>.
- TEquipment. (s.f.). Recuperado el 15 de Octubre de 2019, de BK Precision 9115-AT - 1200W Multi-Range 80V/60A DC Power Supply Automotive Test Function [imagen]: <https://www.tequipment.net/BK/9115-AT/DC-Power-Supplies/>
- TFA Dostmann GmbH & Co. KG. (s.f.). Recuperado el 15 de enero de 2020, de Analogue Hygrometer with Brass Ring [imagen]: <https://www.tfa-dostmann.de/en/product/analogue-hygrometer-with-brass-ring-44-2000/>
- Thummar, R., Chudasama, K., Koshiya, R., & Odedara, D. (2016). Monitoring of Industrial Process Parameters using LabVIEW. *International Journal of Current Engineering and Technology*, 6(6), 2126-2129.
- Valdés, F., & Pàllas, R. (2007). *Microcontroladores: Fundamentos y aplicaciones con PIC*. España: Marcombo.

- Vargas, L. E. (2011). Recuperado el 1 de julio de 2019, de Toxicidad por monóxido de carbono [archivo PDF]:
http://www.geocities.ws/lucho16/documents/Monoxido_Carbono_L_Vargas.pdf
- Woehlck , H., Mei , D., Dunning, M., & Ruiz , F. (Marzo de 2001). Mathematical modeling of carbon monoxide exposures from anesthetic breakdown: effect of subject size, hematocrit, fraction of inspired oxygen, and quantity of carbon monoxide. *Anesthesiology*, 94(3), 457–460. <https://doi.org/10.1097/00000542-200103000-00016>.
- Woehlck, H. J., Mei , D., Dunning , M. B., & Ruiz , F. (2001). Mathematical Modeling of Carbon Monoxide Exposures from Anesthetic Breakdown: Effect of Subject Size, Hematocrit, Fraction of Inspired Oxygen, and Quantity of Carbon Monoxide. *Anesthesiology*, 94(3), 457–460. <https://doi.org/10.1097/00000542-200103000-00016>.
- Wolf, S., & Smith, R. F. (1992). *Guía para mediciones electrónicas y prácticas de laboratorio*. Pearson Educación.
- Yu, S., He, L., & Feng, G. (2015). The transient simulation of carbon dioxide emission from human body based on CONTAM. *Elsevier*(121), 1613-1619,
<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.09.191>.
- Yucute, R. M., Leonardo, L. D., Díaz, D. A., Espinoza, E. J., Pérez, G., Eguizábal, S. E., y otros. (s.f.). Recuperado el 19 de noviembre de 2019, de Instrumentación y Control en Plantas de Generación con Energía Solar Fotovoltaica [archivo PDF]:
https://www.researchgate.net/profile/Jorge-Cifuentes-3/publication/281209753_Instrumentation_and_Control_in_Solar_Photovoltaic_Power_Plant/links/55db87a808aec156b9afed3a/Instrumentation-and-Control-in-Solar-Photovoltaic-Power-Plant.pdf