

Sistema Electrónico Portátil para el Monitoreo de Gases Tóxicos en la Cabina de Vehículos mediante una Aplicación Móvil

Portable Electronic System for Monitoring Toxic Gases in the Cabin of Vehicles through a Mobile App

Mgtr. Oscar Uchelly Romero Cortez

<https://orcid.org/0000-0002-7727-7900>

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo diseñar e implementar un sistema electrónico para el monitoreo de gases tóxicos en la cabina de vehículos, el cual es un módulo de hardware que responde a la necesidad de evitar que las personas se expongan a concentraciones elevadas de gases tóxicos dentro del vehículo generadas por las autopartes internas del vehículo. Para lograr este propósito se realizó de manera experimental el diseño, utilizando la integración de tarjetas electrónicas como el módulo Arduino, módulo GSM/GPRS, sensores electroquímicos y sensores de monitoreo ambiental; además usando el lenguaje de programación C++ que permite una organización modular de los distintos bloques de funcionamiento. El sistema de acceso a información de los sensores electroquímicos para los gases de formaldehído y benceno, así también los parámetros atmosféricos en la cabina del vehículo, como la temperatura atmosférica, humedad relativa y la presión barométrica; para procesar dicha información se utilizó el microcontrolador del módulo Arduino, el cual permitió generar paquetes de datos IP, que son transmitidos a través de la red celular, utilizando el módulo GSM/GPRS. Estos paquetes de datos IP se almacenan en la nube de internet a través de la plataforma ThingSpeak; de donde se accede en tiempo real a través de una aplicación móvil desarrollada en Virtuino. Con las pruebas de campo realizadas y analizadas a través de herramientas estadísticas, se llegó a determinar que niveles de exposición de benceno estuvo entre bajo y moderado y los niveles de exposición de formaldehído entre bajo y alto; con rangos de temperatura atmosférica promedio para el nivel de exposición bajo de 32.55 °C y para el nivel de exposición alto de 49.25 °C en la cabina del vehículo.

Palabras claves: Monitoreo de gases; Microcontrolador; GSM/GPRS; Aplicación móvil.

ABSTRACT

The present research aims to design and implement an electronic system for the monitoring of toxic gases in the cabin of vehicles, which is a hardware module that responds to the need to prevent people from being exposed to high concentrations of toxic gases inside of the vehicle generated by the internal auto parts of the vehicle. To achieve this purpose, the design was carried out in an experimental way, using the integration of electronic cards such as the Arduino module, GSM/GPRS module, electrochemical sensors and environmental monitoring sensors; in addition, using the C++ programming language that allows a modular organization of the different operating blocks. The system gives access to information from the electrochemical sensors for formaldehyde and benzene gases, as well as atmospheric parameters in the vehicle's cabin, such as atmospheric temperature, relative humidity and barometric pressure; To process this information, the microcontroller of the Arduino module is used, which allows generating IP data packets, which are transmitted through the cellular network, using the GSM/GPRS module. These IP data packets are stored in the internet cloud through the ThingSpeak platform; from where it is accessed in real time through a mobile application developed in Virtuino.

With the field tests carried out and analyzed through statistical tools, it was determined that the levels of benzene exposure were between low and moderate and the levels of formaldehyde exposure between low and high; with average atmospheric temperature ranges for the low exposure level of 32.55 °C and for the high exposure level of 49.25 °C in the vehicle cabin.

Keywords: Gas monitoring; Microcontroller; GSM/GPRS; Mobile app.

1.INTRODUCCION

La contaminación del aire en interiores es producida generalmente por ciertos materiales de construcción (Liang W. , 2020), productos de limpieza, muebles de hogar, etc. pero más aún los productos químicos que liberan gases y se filtran de las piezas internas de los automóviles tales como volantes, tableros y asientos (Yang, et al. 2020); estos químicos pueden ser nocivos cuando se inhalan o ingiere además de provocar graves impactos en la salud de las personas como irritación de los ojos y la piel, dificultades respiratorias, problemas reproductivos, problemas de aprendizaje y los riesgos de cáncer (Liang, et al. 2019). Los productos de limpieza pueden producir químicos corrosivos en el aire; el cual puede causar diversos efectos respiratorios (Clausen et al., 2020).

La mayoría de las personas en las ciudades se encuentran entre 12 y 18 horas de su día en ambientes interiores como oficinas o vehículos en donde pueden estar expuestos a diferentes contaminantes de diferentes fuentes (Mokalled et al., 2019).

Además con el rápido incremento del parque automotor, la calidad del aire en la cabina de vehículos se ha convertido en una preocupación para la salud pública; en donde se reportó que las personas pasan en promedio el 5.5% de su vida en cabina de vehículos (Klepeis et al., 2001).

Las personas que utilizan frecuentemente los automóviles ya sea para ir al trabajo, recreación u otras actividades de viaje, están expuestos a un microambiente de contaminantes (Moreno et al., 2019).

Uno de los importantes contaminantes gaseosos para la salud humana son las emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COV) en ambientes interiores, cuyas fuentes pueden atribuirse al ingreso desde el exterior (Leung, 2015), quema de combustible (Sun, et al. 2019), emisiones de los materiales del interior (Caron, et al. 2020) entre otros. Las emisiones de concentraciones orgánicos volátiles COV de los materiales del interior de las cabinas de los vehículos representan concentraciones significativas, especialmente en los automóviles nuevos (Lv, et al. 2020).

Investigaciones recientes examinaron las concentraciones de compuestos orgánicos volátiles (COV) dentro de una cabina de vehículo simulada a escala de 3 m³, acondicionado con materiales de un vehículo típico como la tapicería del techo, alfombra y asiento; encontrando que el acetaldehído tenía el nivel más alto en la concentración de fase gaseosa, así como también la influencia de la temperatura cuando se incrementó de 25 °C a 65 °C; finalmente aplicó un modelo de fuentes múltiples para predecir los comportamientos de emisión de

compuestos orgánicos volátiles (COV) en la cabina de vehículo simulada (Wang et al., 2020). La influencia de la temperatura en la cabina de vehículos totalmente cerrado y estacionado; obtuvo una tasa de emisión de compuesto orgánico volátil (COV) para ciertas especies como el 2-Etil-Hexanol, 5-Metilundecano y 3,8-dimetildecano; fueron en el verano de 71 a 182 veces más altas que las de invierno (Huang et al., 2020). Es decir proporciona evidencia directa de que la temperatura ambiente modifica los porcentajes de masa de las especies de compuestos orgánicos volátiles (COV) tanto en invierno como en verano (Niu et al., 2021). En otra investigación sobre los compuestos orgánicos volátiles (COV) en la cabina de taxis, se tomó en cuenta la influencia de la edad, el modelo y el tipo de combustible del vehículo; en donde se medieron concentraciones de benceno, tolueno, formaldehído, etilbenceno, xileno (BTEX) y acetaldehído de cuatro modelos de taxi diferente, utilizando los métodos NIOSH 1501 (BTEX), 2541 (formaldehído) y 2538 (acetaldehído); encontrando concentraciones medias BTEX para todos los modelos de taxi, por debajo de los valores de referencia; pero en cambio las concentraciones de BTEX fueron significativamente más altas para la gasolina; en cuanto a la edad de los vehículos afecto inversamente al formaldehído y al acetaldehído (Bakhtiari et al., 2018). Por ejemplo se informó que las concentraciones de benceno en el automóvil eran 1.21 veces más alta que el límite aceptable de riesgo carcinogénico recomendado por la agencia de protección ambiental de EEUU, lo que provocó un aumento de la incidencia de cáncer de pulmón en los taxistas (Chen et al., 2016). Los compuestos orgánicos volátiles (COV) como el benceno, tolueno, etilbenceno, xileno y el estirano se encuentran entre los contaminantes del aire más importantes en la cabina de los vehículos, además los compuestos de carbono como el formaldehído y el acetaldehído pueden contribuir significativamente a la contaminación del aire en la cabina del vehículo (Lu et al., 2016). Así como también estos contaminantes atmosféricos nocivos en las cabinas de los vehículos pueden influir en la comodidad humana y tener un impacto negativo en la salud de las personas (Tong et al., 2018).

Así mismo los compuestos orgánicos volátiles (COV) en un terminal de autobuses interurbanos se detectaron 19 contaminantes peligrosos en el aire; entre los principales compuestos se detectó al benceno, tolueno, etilbenceno y xileno (BTEX), lo cual contribuye aproximadamente el 70% de los contaminantes peligrosas del aire (Li et al., 2020). Además también se analizó químicamente los compuestos orgánicos volátiles (COV) en el interior de autobuses turísticos encontrando al tolueno seguido del m-xileno, p-xileno, o-xileno, etilbenceno y benceno todos se encuentran por debajo del valor límite, es decir las

concentraciones de COV son más bajas en los autobuses debido a que los son de mayor volumen en comparación que en los taxis (Fernandez et al., 2020).

También se realizaron estudios en el interior de unidades de transporte público para identificar y cuantificar contaminantes orgánicos persistentes; de esta manera se identificó a catorce compuestos orgánicos persistentes, de las cuales se detectaron al tolueno y el hexano con concentraciones muy altas; además se calculó la exposición potencial al riesgo para la salud de las personas de acuerdo con la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos; en donde resultó que los xilenos son el contaminante orgánico más representativo que genera un mayor riesgo para la salud de las personas en el bus (Gastelum et al., 2020).

Además en la investigación de (Mondal et al., 2015) describen el reconocimiento cuantitativo de gases inflamables y tóxicos; el sistema utiliza un modelo basado en una red neuronal artificial para reconocer y clasificar los gases en concentraciones críticas. Por otro lado se describe la evaluación de riesgos para la salud y distribución de fuentes de compuestos orgánicos volátiles (COV) dentro de las cabinas de vehículos nuevos; el estudio permitió evaluar el riesgo para la salud humana e identificar la fuente dominante de COV, teniendo a la alfombra como la fuente más importante de COV en la cabina del vehículo (Liang et al., 2019).

En un estudio para la categorización en la evaluación de la calidad del aire en la cabina del automóvil se utilizaron indicadores como: las condiciones térmicas (temperatura y humedad relativa), intercambio de aire (concentración de CO₂) y la frescura del aire (contenido de compuestos orgánicos volátiles en el aire de la cabina del automóvil); en donde cada indicador estuvo compuesta por tres categorías (bueno, intermedio y malo) (Szcurek et al., 2016).

También en una investigación se propuso un sistema de detección de gases como el monóxido de carbono y el oxígeno en la cabina de los vehículos a través de mensajes de texto a un teléfono móvil con tecnología GSM, tomando como condición, cuando se cumpla que la concentración de monóxido de carbono se encuentre por encima del nivel normal de 30 ppm o cuando el nivel de oxígeno se encuentre por debajo del 19% (Ramya et al., 2012).

En países en vía desarrollo como Perú, aún no se han realizado estudios sobre la exposición a compuestos orgánicos volátiles (COV) en el interior de los vehículos, después de haber aplicado productos de limpieza en los centros de lavado de automóviles; más aún no existen regulaciones específicas asociadas a los valores límite de exposición a los compuestos orgánicos volátiles (COV) en dicha actividad.

El objetivo de este trabajo de investigación fue (i) Caracterizar las principales sustancias peligrosas encontradas en el interior del vehículo después de la aplicación de productos de limpieza. (ii) diseñar un sistema automático de múltiples sensores electroquímicos y un algoritmo de categorización de datos pueden proporcionar al conductor y a los pasajeros información completa sobre la calidad del aire en la cabina del vehículo. (iii) desarrollar una aplicación móvil que cumpla dos funciones: (1) un sistema de monitoreo en tiempo real de las concentraciones de sustancias tóxicas (formaldehído y benceno) y variables climáticas (temperatura atmosférica, humedad relativa y presión barométrica) en el interior del vehículo. (2) mostrar los niveles de exposición de agentes químicos a los ocupantes de la cabina del vehículo. Se justifica por el interés de emplear la tecnología de la electrónica en enviar datos remotamente sobre las concentraciones de gases tóxicos que es un problema latente en el interior de la cabina del vehículo y se plantea la implementación de un nuevo equipo electrónico como parte del tablero electrónico del vehículo. Además del beneficio económico que resultará del ahorro de gastos por enfermedad o consulta médica debido a intoxicaciones que se producirían.

Como hipótesis se plantea que al implementar un sistema electrónico para el monitoreo de gases tóxicos en la cabina del vehículo, se logrará mostrar de manera remota los niveles de exposición de agentes químicos como el benceno y el formaldehído como medida para evitar problemas a la salud de las personas que hacen uso de vehículos.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Objeto de Estudio

El objeto de estudio está constituido por la concentración de gas tóxico en la cabina del vehículo Kia Cerato Hatchback 2017, producto de la adherencia de agentes químicos principalmente como el benceno y el formaldehído en las autopartes internas del vehículo como: el volante, la palanca de cambios, reposabrazos, tablero de instrumentos, tapizado del techo, alfombra, asientos, moldura de puerta duras y blandas, por la utilización de materiales de limpieza para vehículos como limpiador de alfombras y tapicería, abrillantador para plásticos, acondicionador de cueros y limpiador de interiores.

2.2 Instrumentación

Para la captura de la concentración de gases tóxicos se utilizó sensores electroquímicos como el MQ135 para el benceno y el MQ138 para el formaldehído.

Para la medición de la temperatura atmosférica y la humedad relativa se utilizó el sensor DHT11 y para la presión barométrica se utilizó un sensor BMP180.

Para el procesamiento de datos e integración del sistema electrónico se utilizó la placa Arduino UNO basado en un microcontrolador ATMEGA de código ATmega328P y para el envío de datos inalámbricos mediante la red celular se utilizó la tarjeta electrónica SIM908.

Para la fuente de alimentación se utilizó una batería de 12V, 7AH y una tarjeta electrónica LM2596DC-DC para regular el voltaje de corriente continua a 5V.

Para el monitoreo remoto y el desarrollo de la aplicación móvil se utilizó un celular de la marca Huawei, modelo Y7 con sistema operativo Android.

Para el almacenamiento y recuperación de datos se empleó la plataforma de Internet de las cosas ThingSpeak.

Para la creación de la interfaz gráfica hombre máquina (HMI) se desarrolló una aplicación móvil en el celular a través de la plataforma Virtuino.

Para la calibración del sistema electrónico implementado se utilizó un equipo monitor de calidad del aire para benceno, formaldehído, TVOC, temperatura atmosférica y humedad relativa de la marca OOTDTY, modelo DT002.

2.3 Métodos y Técnicas

Para lograr los objetivos de la investigación:

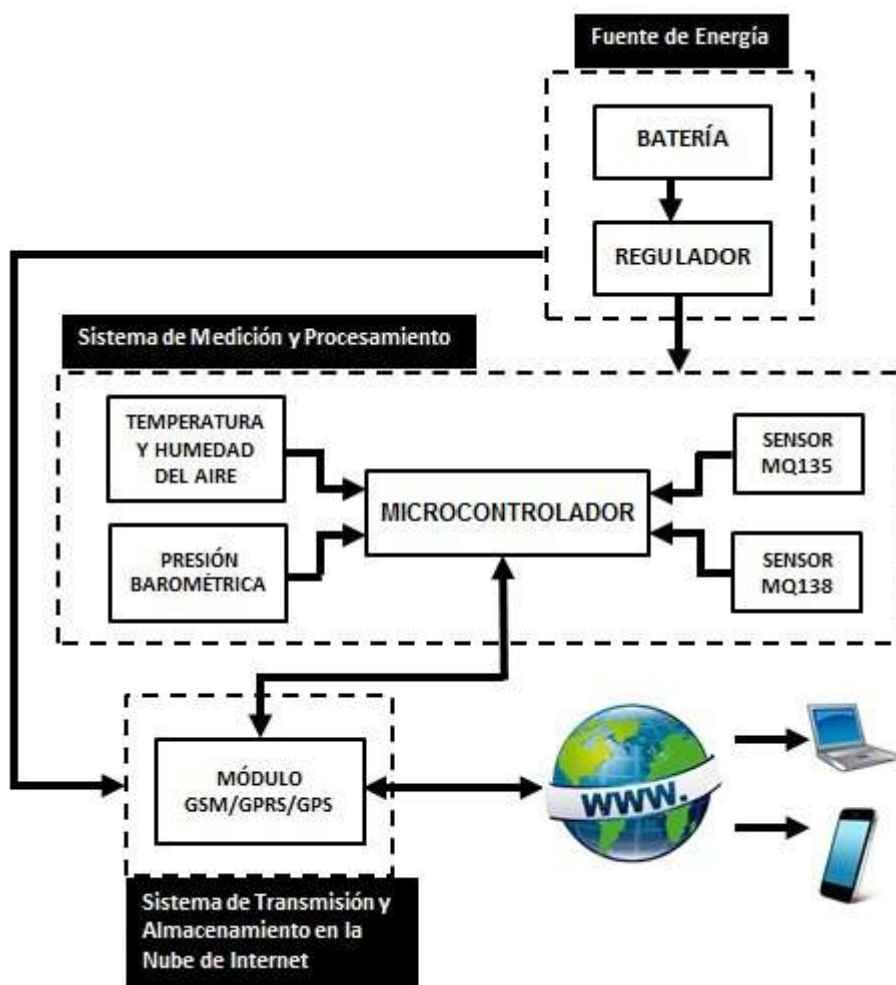
- Se analizó las especificaciones técnicas de tarjetas electrónicas procesadoras de información (microcontroladores) y componentes electrónicos para seleccionar los equipos y materiales idóneos a ser usados en el diseño del sistema.
- Se diseñó un circuito electrónico para el sistema de medición y procesamiento a partir de los sensores para las variables climáticas (temperatura atmosférica, humedad relativa y presión barométrica) y los sensores electroquímicos (formaldehído y benceno).
- Se diseñó un circuito electrónico para el sistema de transmisión y almacenamiento en la nube de internet a partir de una tarjeta electrónica GSM/GPRS/GPS de comunicación inalámbrica para enviar datos y la plataforma de internet ThingSpeak para almacenar los datos.
- Se diseñó un circuito electrónico regulador de energía para la alimentación eléctrica del sistema electrónico.
- Se integraron los circuitos electrónicos para configurar el sistema que cumpla con el objetivo de la investigación.

- Se configuró la plataforma de internet ThingSpeak para almacenar y recuperar datos de los objetos usando el protocolo HTTP sobre internet.
- Se desarrolló una aplicación móvil para ejecutarse en los Smartphone y visualizar los datos de manera remota mediante la plataforma Virtuino.
- Se probó el sistema en conjunto con el sistema electrónico y su aplicación móvil para verificar su correcto funcionamiento.
- Se realizaron pruebas de campo con el sistema electrónico para validar la portabilidad del sistema.

En la siguiente figura 2.1 se muestra el diagrama de bloques del modelo metodológico para el diseño e implementación del sistema electrónico para el monitoreo de gases tóxicos:

Figura 2.1

Modelo Metodológico para el diseño e implementación del sistema electrónico.



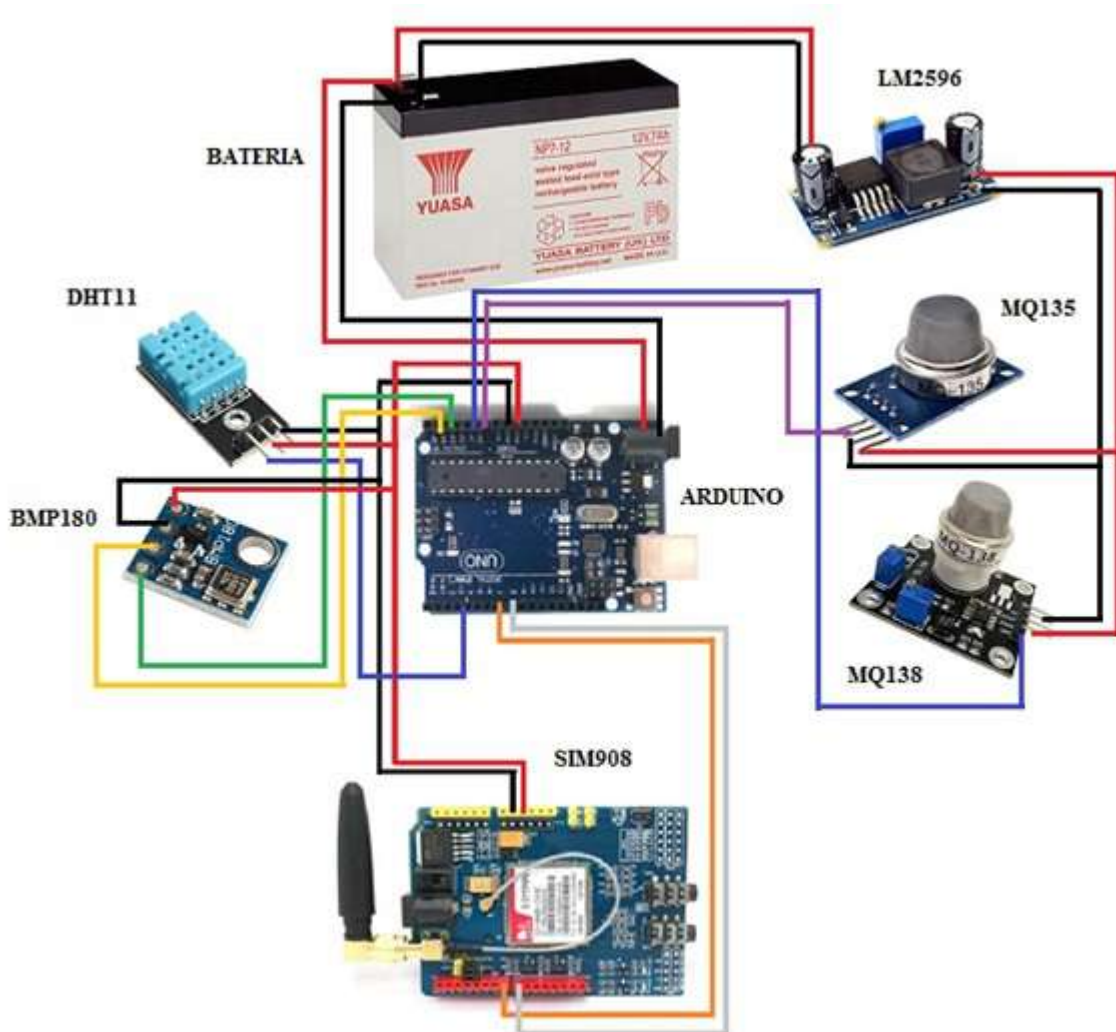
2.3.1 Diseño del sistema electrónico

Para el diseño del sistema se seleccionaron los sensores para el registro de variables ambientales, sensores electroquímicos, tarjeta electrónica GSM/GPRS/GPS de comunicación inalámbrica, tarjeta reguladora de voltaje y la placa Arduino Uno; todas ellas descritas en la sección instrumentación. Luego dichos sensores y tarjetas electrónicas se acoplaron y controlaron en una plataforma de creación de prototipos electrónicos de código abierto Arduino Uno. El sistema electrónico implementado está compuesto de tres partes: (i) fuente de energía, (ii) sistema de medición y procesamiento (variables climáticas y concentración de gases tóxicos), (iii) transmisión y almacenamiento de datos en la nube de internet. Los sensores utilizados son analógicos y digitales, para ello se utilizaron los puertos adecuados del sistema electrónico Arduino. Para el envío de comandos de control y para la transmisión inalámbrica de información se realizó a través de la tarjeta electrónica SIM908 (GSM/GPRS/GPS), en donde se implementó una comunicación serial, vía los pines de transmisión y recepción (Tx y Rx). La alimentación eléctrica de los sensores de variables climáticas se realizó desde los pines de 5V y GND (tierra) implementados en la placa Arduino Uno; pero para la alimentación eléctrica de los sensores electroquímicos encargados de capturar de las concentraciones de gases tóxicos, se utilizó un convertidor de voltaje LM2596DC-DC para obtener 5V a partir de una batería de 12V, 7AH; el cual también permitió alimentar al sistema de control de la placa Arduino Uno y la tarjeta electrónica SIM908 (GSM-GPRS-GPS). En la figura 2.2 se muestra un diagrama que describe la conexión entre los diferentes elementos del sistema electrónico implementado.

Se utilizó un módulo SIM908 (GSM-GPRS-GPS) para transmitir los datos capturados y procesados a través del internet desde cualquier lugar en donde se tenga cobertura de red celular. Para almacenar y recuperar los datos transmitidos en tiempo real, se creó un canal en la plataforma ThingSpeak con el nombre Monitoreo Gases, en donde se generó campos gráficos para la temperatura atmosférica, humedad relativa, presión barométrica, concentración de benceno y concentración de formaldehído; para luego observar dichos datos en tiempo real a través de un teléfono móvil, en donde se desarrolló una aplicación móvil mediante la plataforma Virtuino mostrando principalmente los niveles de exposición de agentes químicos como el benceno y formaldehído.

Figura 2.2

Diagrama de conexiones de los componentes del sistema electrónico.



2.3.2 Calibración y Validación de Información Obtenida de Sensores

Se recolectaron muestras de tres pruebas de campo en la cabina del vehículo, para calibrar los sensores de las variables climatológicas como la temperatura atmosférica, humedad relativa, presión barométrica y los sensores electroquímicos para el benceno y el formaldehído. Con los datos obtenidos a través del prototipo de sistema electrónico implementado y un equipo base calibrado, para realizar una cuantificación de cada sensor para cada intervalo de la prueba de campo. Se realizó un modelo de regresión exponencial, donde se verificó la normalidad de los residuales, la homocedasticidad de las varianzas residuales y la correlación de los residuales mediante las pruebas de Shapiro-Wilk, Levene y Durbin-Watson respectivamente. El modelo más simple que mejor se ajusta a los datos fue el modelo que presentó valores mínimos del criterio de información de Akaike (AIC),

coeficiente de correlación (r) y determinación (R^2) y valor p , calculado utilizando el programa SPSS V23. Para cada prueba de campo, se seleccionó el mejor modelo y se integró al algoritmo del sistema electrónico de procesamiento de datos, con el objetivo de cambiar la señal analógica de los sensores a valor digital en la plataforma ThingSpeak.

Los datos obtenidos a través de los sensores del sistema electrónico implementado fueron validados con el equipo de medición de la marca OOTDTY, modelo DT002. Este proceso se realizó en la cabina del vehículo Kia Cerato Hatchback 2017, en tres pruebas de campo en función de la medición de la temperatura atmosférica, humedad relativa y presión barométrica; en cada una de las pruebas de campo se tomaron 46 datos (campo 1), 49 datos (campo 2) y 38 datos (campo 3) con los dos sistemas (Equipo base y Equipo prototipo). Los datos obtenidos del equipo base medidor de benceno y formaldehído y el equipo prototipo monitor de concentración de benceno y formaldehído (variables dependiente) se estimaron en función de los datos obtenidos de los sensores electroquímicos para el benceno MQ135 y para el formaldehído MQ138 (variable dependiente). Dado que los sensores usados expresan los datos medidos en forma digital y los datos obtenidos mostraron un buen ajuste con respecto a las lecturas tomadas con los instrumentos de control (equipo base), no fue necesario realizar curvas de calibración para el procesamiento de datos en la plataforma ThingSpeak.

2.3.3 Sistema de Advertencia Temprana de Gases Tóxicos

La información sobre los principales agentes químicos tóxicos causales de contaminación en interiores de vehículos, es decir el formaldehído y el benceno, que representan aproximadamente alrededor del 72% (Liang et al., 2019). La conferencia Estadounidense de higienistas industriales gubernamentales (ACGIH) promovió protección a los trabajadores proporcionando información científica oportuna, centrado en una variedad de temas como el TLV (Umbral Limite de Valor) de sustancias químicas, utilizado para el sistema de advertencia temprana de gases tóxicos; utilizando como umbral los valores límites para exposiciones de corta duración (TLV-STEL), para el benceno y el formaldehído tal como se aprecia en la tabla 2.1.

Tabla 2.1*Rango de valores límites de exposición de corta duración TLV-STEL.*

Nivel de Exposición	Benceno		Formaldehído	
	mg/m ³	Ppm	mg/m ³	ppm
Muy Alto	> 8	> 2.5	> 0.37	> 0.3
Alto	< 4.7 a 8 ≥	< 1.5 a 2.5 ≥	< 0.2 a 0.37 ≥	< 0.15 a 0.3 ≥
Moderado	< 0.8 a 4.7 ≥	< 0.25 a 1.25 ≥	< 0.04 a 0.2 ≥	< 0.03 a 0.15 ≥
Bajo	≤ 0.8	≤ 0.25	≤ 0.04	≤ 0.03

Las variables climáticas utilizadas fueron la temperatura atmosférica, humedad relativa y presión barométrica las cuales fueron cuantificadas como se describió anteriormente (diseño del sistema electrónico). Los sensores se instalaron en el equipo prototipo implementado y este a su vez se instaló en el interior del vehículo Kia Cerato Hatchback 2017, dado que en el interior de la cabina del vehículo se generara un microclima peligroso, donde se produce la contaminación por gases tóxicos. Además la correlación entre las variables climáticas y los sensores electroquímicos se determinó mediante los coeficientes de Pearson calculados con el software SPSS.

2.3.4 Visualización de Información sobre el Sistema de Advertencia de Gases Tóxicos

Se desarrollaron dos interfaces para que las personas pudieran acceder fácilmente a la información, la primera a través del canal de la página web ThingSpeak y la segunda a través de una aplicación móvil para celular Virtuino. En estas interfaces las personas pueden monitorear en tiempo real las variables climáticas y las concentraciones de gas tóxico. Además el equipo prototipo captura, procesa y envía los datos por HTTP a la plataforma ThingSpeak indicando su APIKey que permitió identificar el canal tanto para la plataforma ThingSpeak y la aplicación Virtuino. En ambas interfaces se muestra gráficamente las señales de las variables climáticas y la concentración de benceno y formaldehído.

2.3.5 Validación de la Información Generada en el Sistema de Advertencia Temprano de Gases Tóxicos

Para la validación de los datos generados en el sistema electrónico implementado, se realizó un análisis de regresión como se describió anteriormente para determinar la capacidad de predicción del modelo implementado en el algoritmo del sistema electrónico al compararlo con datos reales cuantificados a través del equipo base de la marca OOTDTY, modelo

DT002 ubicado en la cabina del vehículo Kia Cerato Hatchback 2017. Los análisis se realizaron utilizando el programa SPSS.

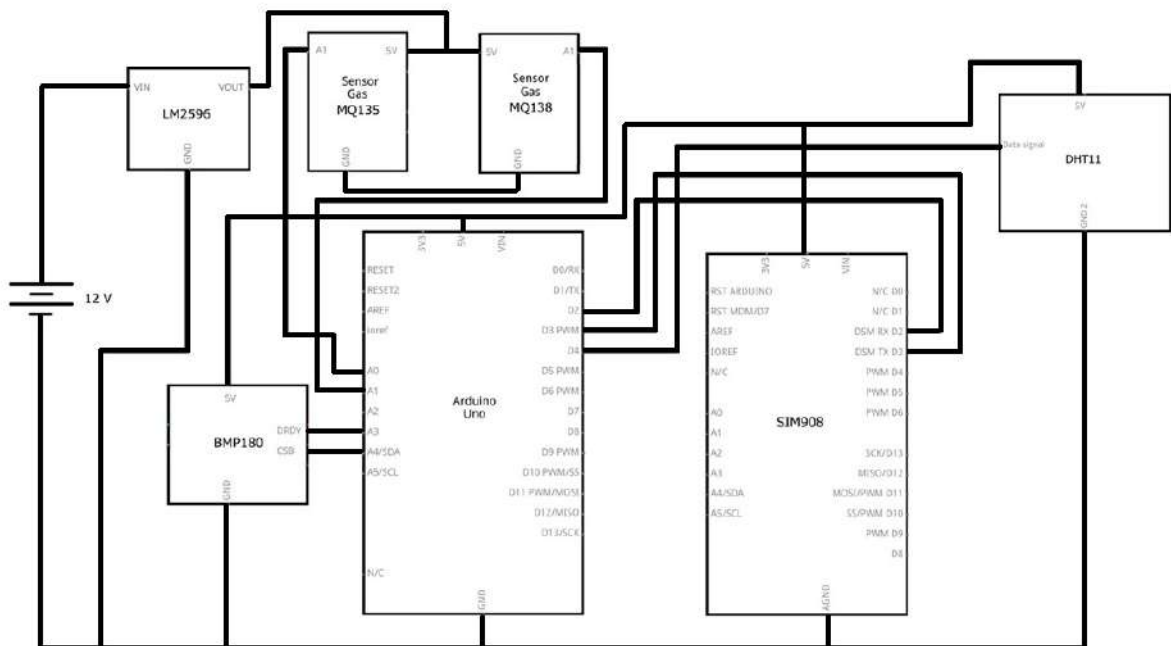
3. RESULTADOS

3.1 Diseño del sistema electrónico

Para el diseño del sistema electrónico se implementó la etapa de hardware y software. Para la etapa de hardware se utilizó la tarjeta Arduino Uno, la tarjeta SIM908, la tarjeta LM2596, los sensores DHT11, BMP180, MQ135 y MQ138; en base a ello y con un diagrama de conexiones se obtuvo el circuito esquemático del sistema electrónico, mostrado en la figura 3.1.

Figura 3.1

Circuito esquemático del sistema electrónico de monitoreo de gases tóxicos.



Para la etapa de software se desarrolló un algoritmo en la plataforma de código abierto Arduino que permitió controlar el sistema electrónico utilizando la lógica que se muestra en el siguiente diagrama de flujo de la figura 3.2. El algoritmo implementado en el microcontrolador empieza con la configuración de los puertos de comunicación de entrada y salida así como la velocidad transmisión de datos entre la tarjeta Arduino Uno y el módulo SIM908; en seguida realiza la configuración del proveedor de servicio de internet (ISP), luego realiza la lectura de los sensores de las variables climáticas y electroquímicos. Se

procesan los datos obtenidos, así como la validación, en caso que el dato capturado se encuentre fuera del rango, se descarta y regresa a la lectura de datos de los sensores; en caso de ser correctos los datos, se procedió a realizar una adaptación de datos para la plataforma ThingSpeak; finalmente se envían los datos a la plataforma ThingSpeak para su visualización en su página web y también a través de la aplicación para celulares Virtuino. En base a ello se diseñó e implementó el prototipo del sistema electrónico de monitoreo para gases tóxicos, el cual se muestra en la figura 3.3.

Figura 3.2

Diagrama de flujo del algoritmo de control del sistema electrónico.

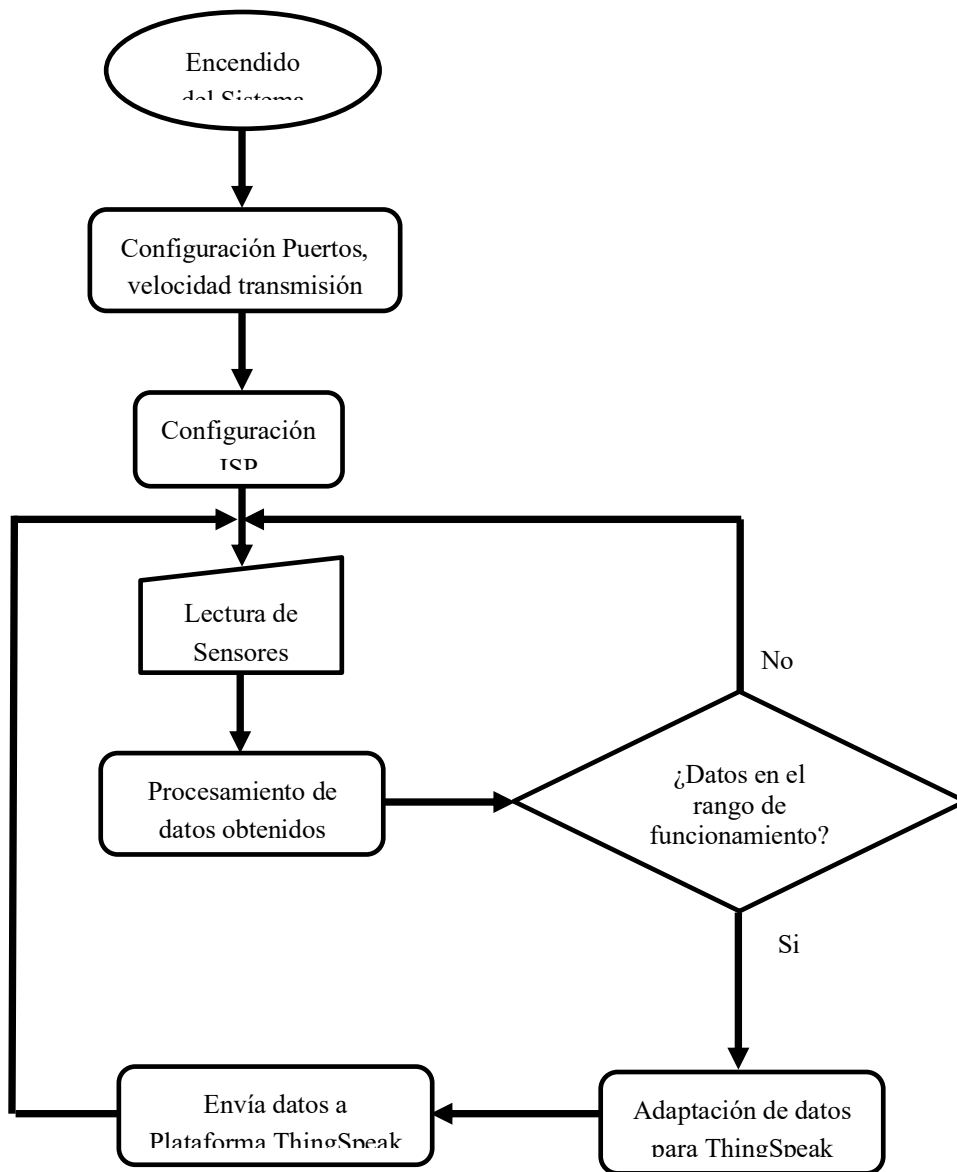
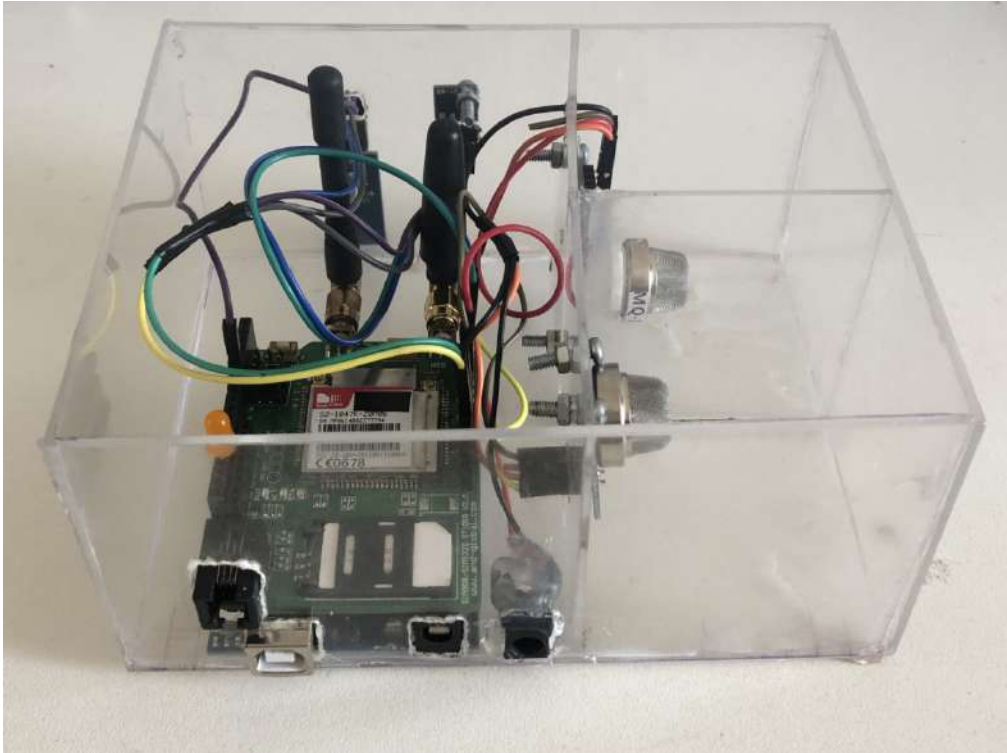


Figura 3.3

Prototipo del sistema electrónico de monitoreo para gases tóxicos.



3.2 Calibración de Información Obtenida de Sensores

Para la calibración del sensor de temperatura atmosférica, se realizó una curva de calibración utilizando los datos obtenidos por el sensor analógico. Los modelos lineales explicaron 98.8%, 99.1% y 98.6% del coeficiente de determinación ($p < 0.05$), además de una correlación 0.994, 0.995 y 0.993 para las pruebas de campo 1, campo 2 y campo 3 respectivamente (Figura 3.4). Con estos resultados se obtuvo la temperatura atmosférica (valores digitales) con base a la ecuación generada con estos modelos (Figura 3.4). Para la calibración del sensor electroquímico de formaldehído, los modelos lineales explicaron 99.9%, 99.9% y 100% del coeficiente de determinación ($p < 0.05$), además de una correlación de 0.99, 0.99 y 1 para las pruebas de campo 1, 2 y 3 respectivamente (Figura 3.5). Para la calibración del sensor electroquímico de benceno, los modelos lineales explicaron el 100% del coeficiente de determinación ($p < 0.05$), además de una correlación de 1 para las pruebas de campo 1, 2 y 3.

Figura 3.4

Calibración del sensor de temperatura atmosférica.

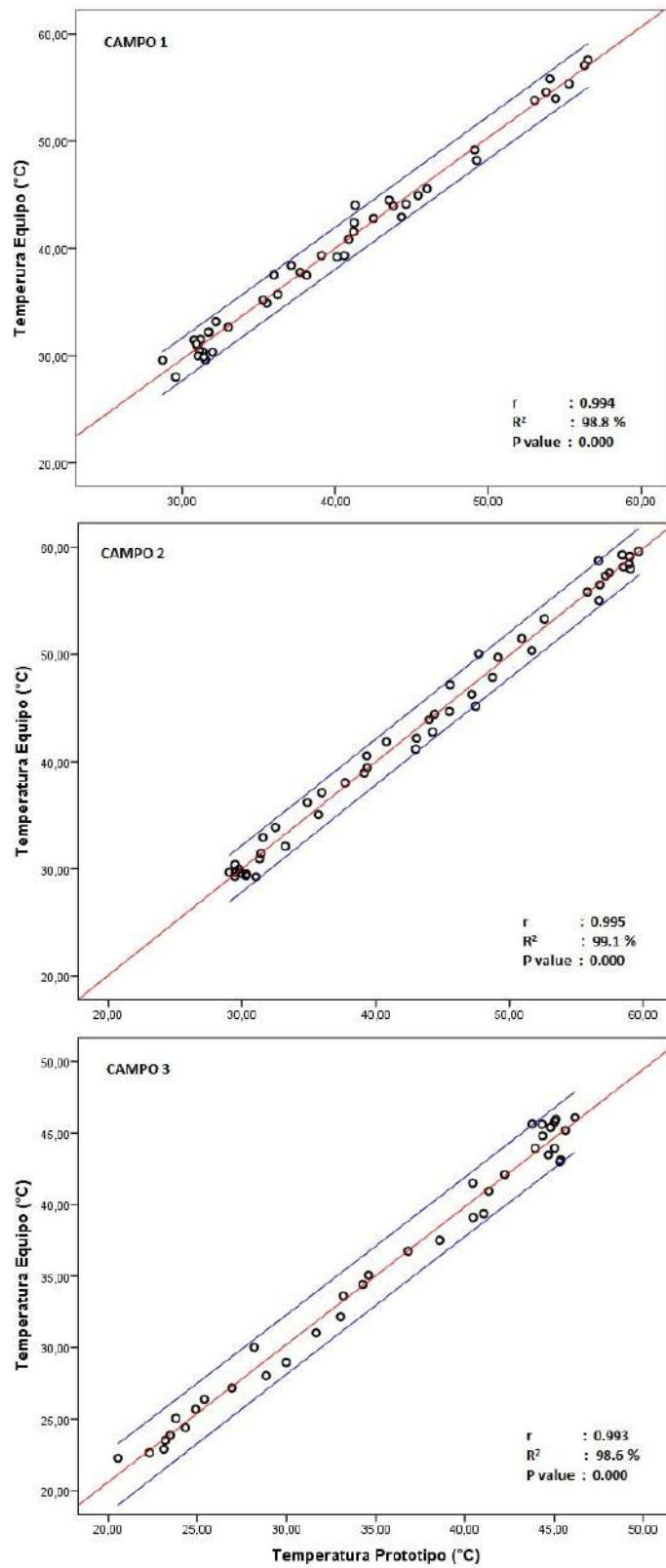


Figura 3.5

Calibración del sensor de formaldehído.

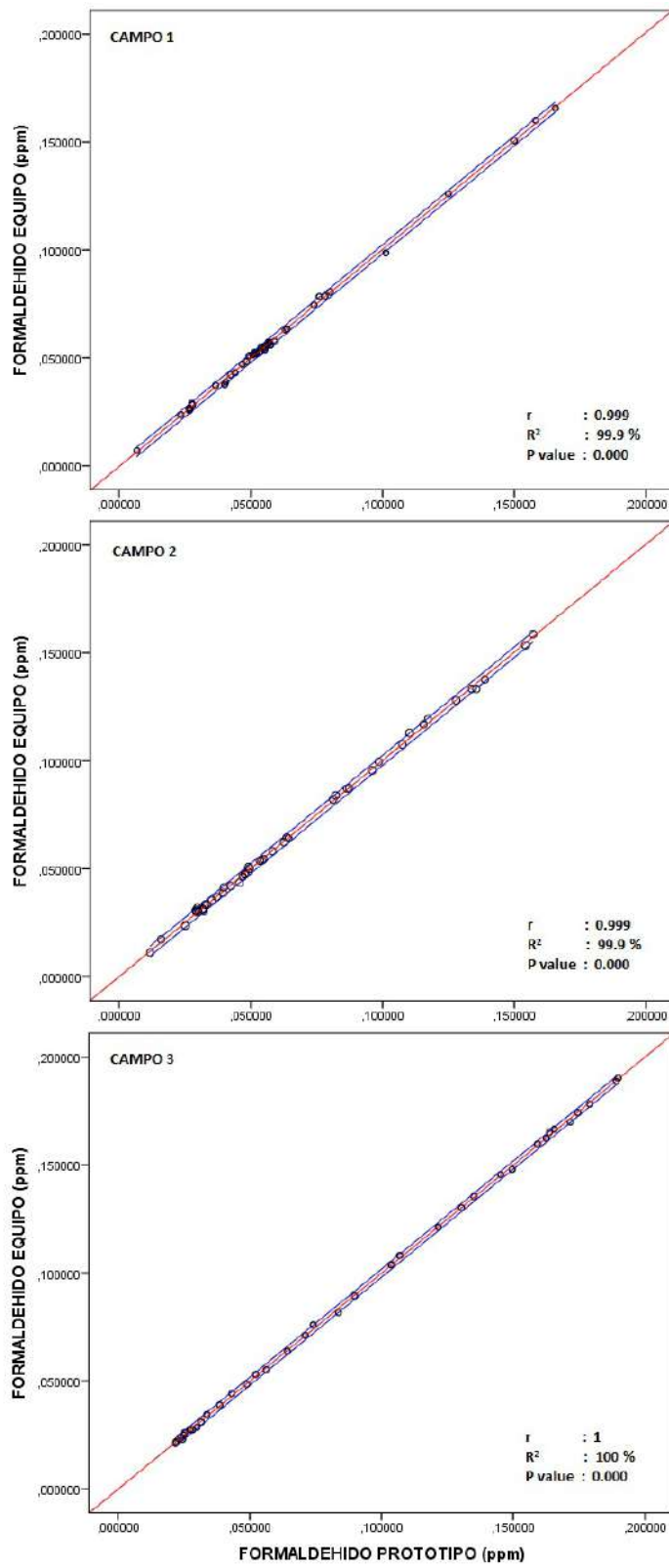
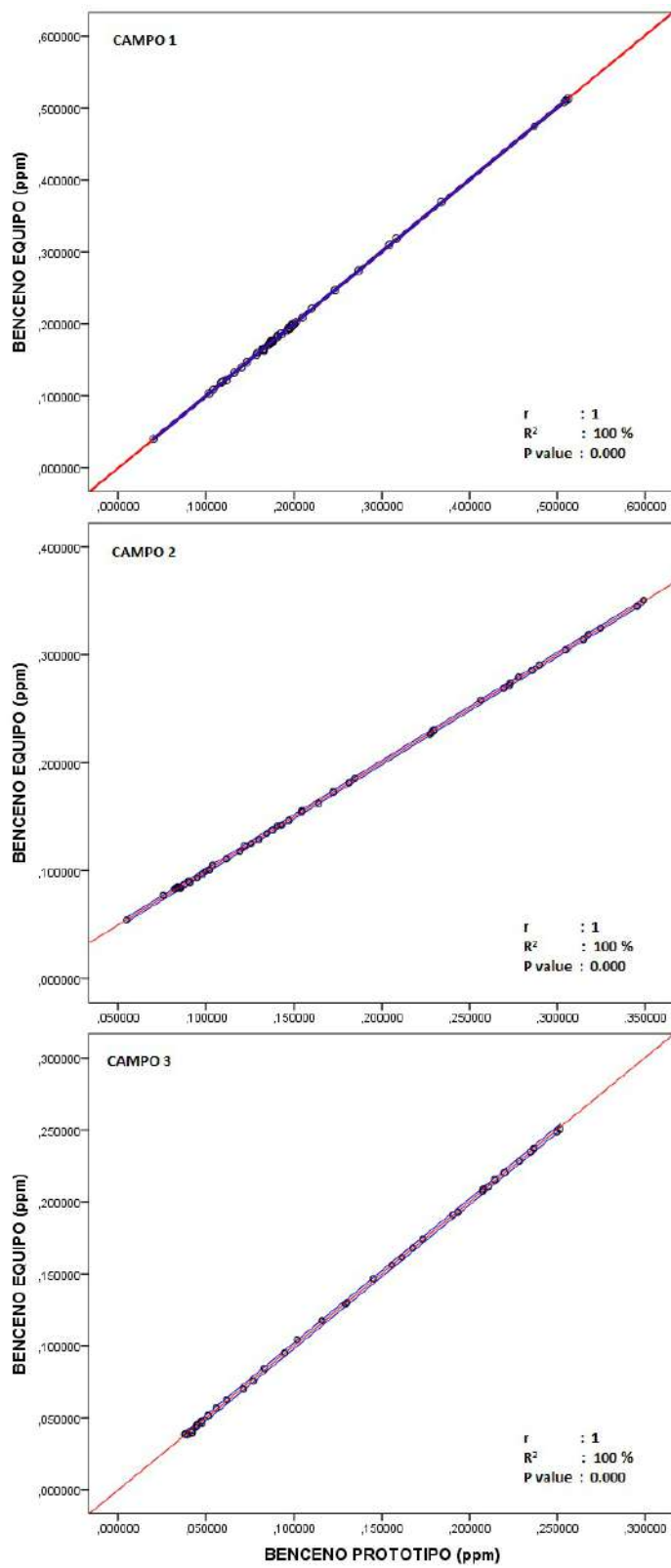


Figura 3.6

Calibración del sensor de benceno.



3.3 Desarrollo del Sistema de Alerta Temprana de Gases Tóxicos

La información de predicción de cada modelo seleccionado para cada sensor electroquímico de Formaldehído y Benceno, se integró el valor residual para el ajuste correspondiente de sus valores de concentración, para el desarrollo y programación del sistema de alerta temprana, los resultados obtenidos se representaron por niveles de exposición.

Usando cinco campos de interfaces desarrolladas para el registro de datos sin procesar (plataforma Web ThingSpeak o la aplicación Virtuino), procesamiento y respuesta; las personas usuarias de automóviles haciendo uso de las recomendaciones del sistema, para probar su aplicabilidad práctica en las condiciones del trabajo de campo. La participación de las personas fue crucial para mejorar la confiabilidad del sistema y al mismo tiempo, se verificó y confirmó la salida del sistema (figura 3.7 y figura 3.8).

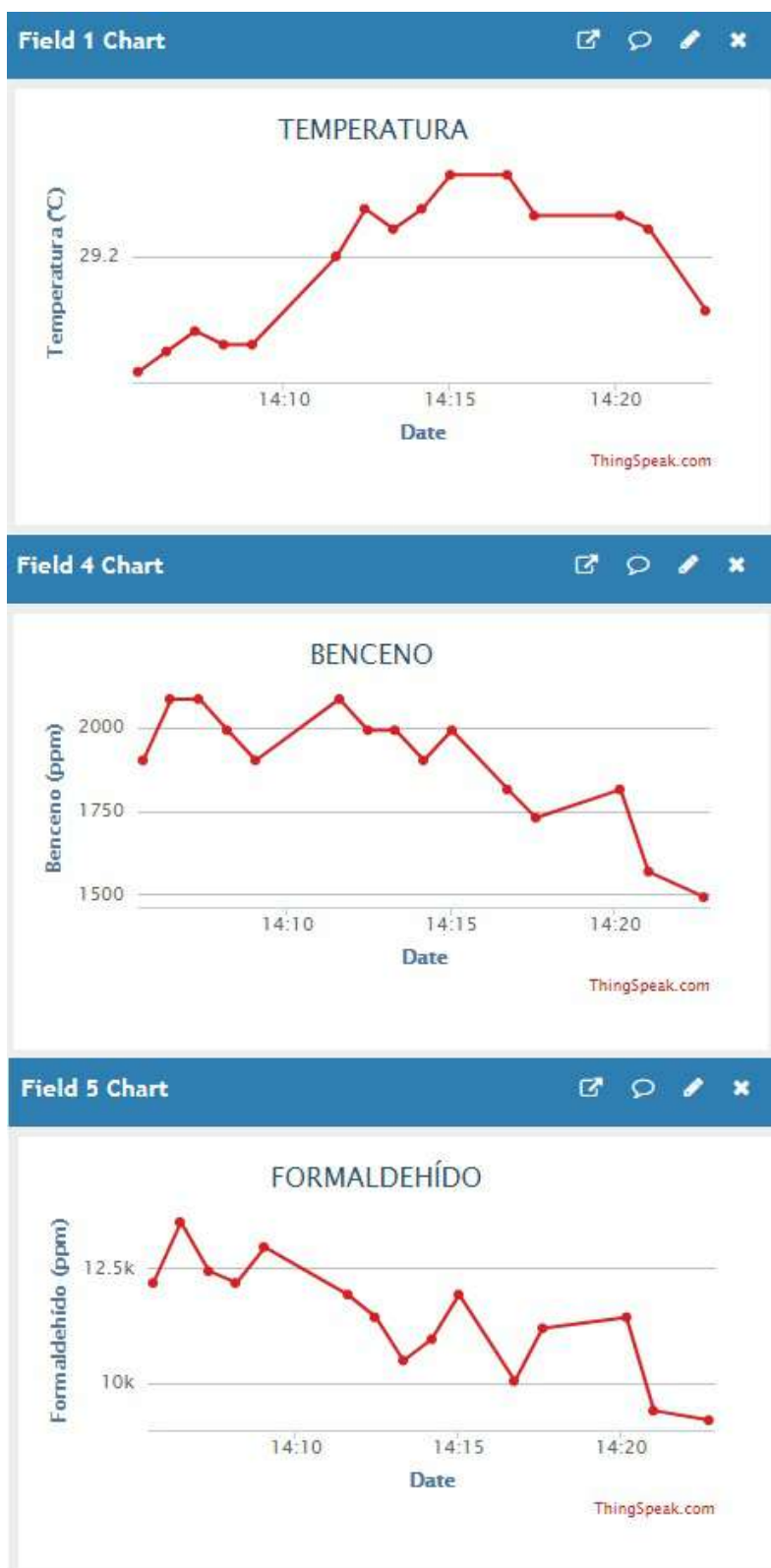
Figura 3.7

Sistema de alerta temprana de gases tóxicos.



Figura 3.8

Plataforma Web ThingSpeak.



3.4 Trabajo de campo con el Sistema de Monitoreo de Gases Tóxicos

El sistema electrónico se instaló en el interior del automóvil KIA Cerato de año de fabricación 2017 tal como se muestra en la figura 3.9. Los datos obtenidos a través de los trabajos de campo, a través del sistema electrónico y almacenado en la plataforma ThingSpeak, fueron procesados con el software estadístico SPSS, en donde se realizó la prueba de normalidad, mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov, obteniendo la normalidad de los datos procesados (tabla 3.1).

Tabla 3.1

Prueba de Normalidad de las variables del sistema electrónico.

	Kolmogorov-Smirnov		
	Estadístico	N	p
Temperatura	0.113	137	0
Benceno (M135)	0.098	137	0
Formaldehido (MQ138)	0.215	137	0

Figura 3.9

Sistema electrónico de monitoreo instalado en el interior del automóvil.



Por otro lado se determinó el nivel de exposición para las personas en el interior del vehículo, según las pruebas de campo realizadas, encontrando niveles de exposición de benceno entre baja y media y niveles de exposición de formaldehído entre baja y alta (tabla 3.2). Así mismo se clasificó en intervalos de clase los niveles de exposición obtenidos según las pruebas de campo realizadas (tabla 3.3) (Figura 3.10)

Tabla 3.2

Niveles de exposición registrado en las pruebas de campo.

	Niveles de Exposición	Temperatura		
		N	Media	DS
Benceno (MQ135)	Bajo	115	36.83	7.60
	Moderado	22	54.41	6.17
Formaldehído (MQ138)	Bajo	22	32.55	8.78
	Moderado	101	39.88	9.30
	Alto	14	49.25	5.68

Tabla 3.3

Niveles de exposición según las pruebas de campo.

		Benceno		Formaldehído		
		Bajo	Moderado	Bajo	Moderado	Alto
Pruebas	Campo 1	38	8	8	35	3
	Campo 2	40	13	5	46	2
	Campo 3	37	1	9	20	9

Figura 3.10

Intervalo de clase de los niveles de exposición de Benceno en las pruebas de campo.

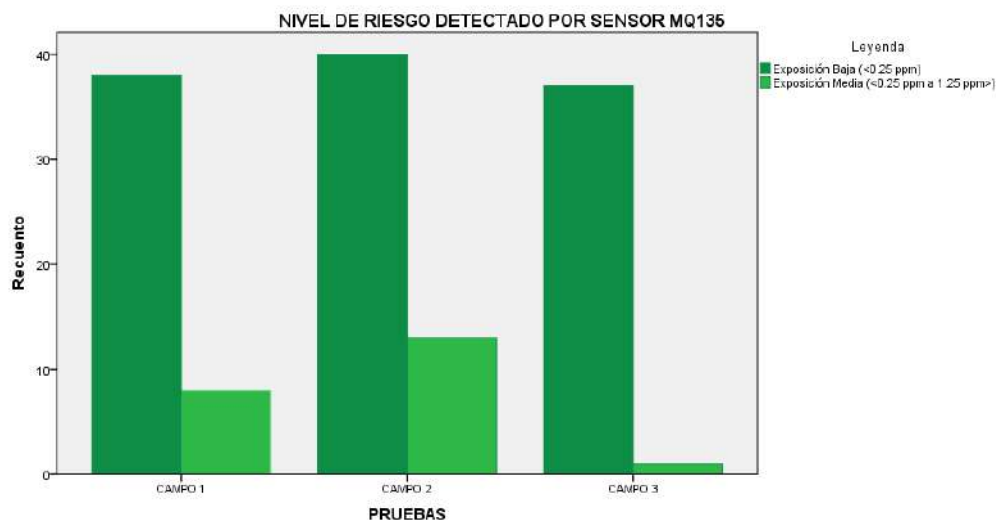
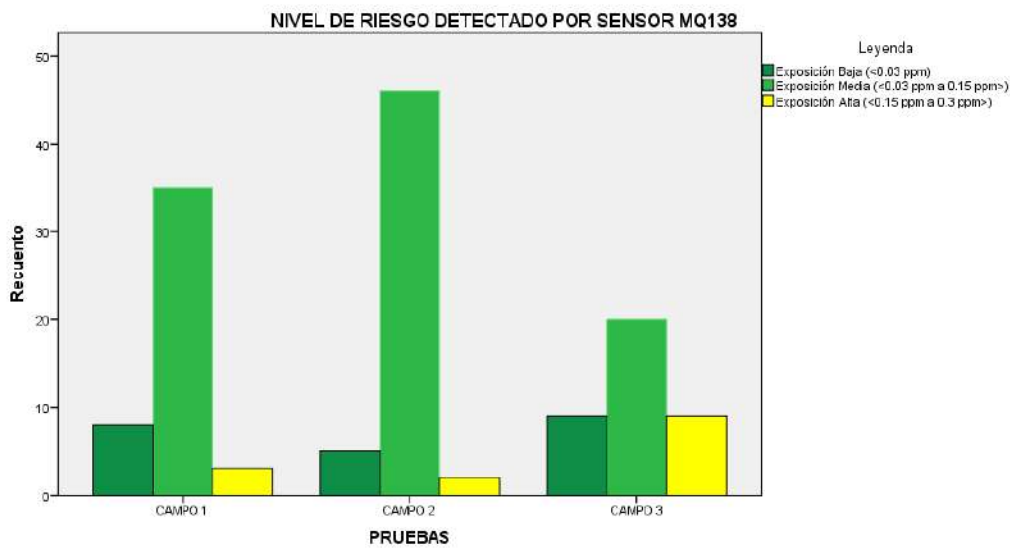


Figura 3.10

Intervalo de clase de los niveles de exposición de Formaldehído en las pruebas de campo.



4. DISCUSIÓN

Se han desarrollado sistemas electrónicos de bajo costo para aplicaciones en la detección y monitoreo de gases en ambientes cerrados, como la detección de monóxido de carbono, oxígeno, dióxido de azufre, dióxido de carbono, metano, hidrógeno, propano, butano y otras combinaciones (Ramya et al., 2012; Chong, Leal et al., 2017; Cisneros & Méndes, 2019), pero no cuentan con un sistema de transmisión y alerta en tiempo real utilizando aplicaciones móviles.

El despliegue de estos sistemas electrónicos de bajo costo para ambientes cerrados y sobre todo habitables será una ventaja para predecir los niveles de gases tóxicos a través de categorías: bueno, intermedio y malo (Szczurek et al., 2016), mientras que el sistema implementado muestra los niveles de exposición: bajo, moderado, alto y muy alto según los rangos de los límites de exposición de corto plazo (TLV-STEL) de acuerdo a la conferencia Estadounidense de higienistas industriales gubernamentales, proporcionando información científica para proteger a las personas. En la presente investigación se implementó un dispositivo de bajo costo con sensores para el monitoreo de gases tóxicos, que fue utilizado para la implementación de un sistema de alerta temprana, para predecir lesiones por inhalación y por consiguiente evitar gastos por tratamiento médico.

La detección temprana de gases tóxicos es un paso crucial para salvar la vida de muchas personas a través de mecanismos tecnológicos como el envío de mensajes de texto a un teléfono móvil con tecnología GSM (Ramya et al., 2012); Sin embargo, con el avance de la

tecnología, hoy en día se cuenta con plataformas en la nube de internet, que permite enlazar a los teléfonos móviles inteligentes y visualizar a través de una aplicación móvil, la detección temprana de gases tóxicos. La mayoría de los sistemas de detección temprana de gases tóxicos son costosos, engorrosos para el manejo por parte de los usuarios y no lo suficientemente versátiles para su uso en diferentes ambientes de trabajo y condiciones ambientales (Chacarrex, 2021). Además, la mayoría de las investigaciones en la detección de gases tóxicos en ambientes cerrados se han realizado en países desarrollados con clima diferente al de Perú (Niu et al., 2021).

El sistema electrónico diseñado en el presente trabajo, cumple con varias características requeridas para monitorear gases tóxicos de manera precisa y moderna para la alerta temprana hacia las personas. El sistema electrónico diseñado para la medición y transmisión de datos fue eficaz en la captura de gases tóxicos a través de sensores electroquímicos de bajo costo en comparación con los sensores de uso industrial (75% más barato). El sistema electrónico diseñado para la captura, procesamiento de datos, transmisión y almacenamiento mostró ventajas en comparación con otros sistemas como: i) Bajo costo. ii) Flexibilidad en la plataforma Arduino UNO para el uso de sensores analógicos y digitales. iii) Calibración de sensores en condiciones ambientales reales de la cabina de vehículos. iv) Uso de la web como plataforma para la recepción, almacenamiento y administración de la información, permitiendo una gran capacidad de almacenamiento, velocidad de procesamiento y fácil acceso para monitoreo en tiempo real. v) Al estar basado en un código fuente abierto, el sistema puede integrarse a otros sensores y modelos para el manejo de otras aplicaciones.

El sistema de alerta temprana y la plataforma de visualización (la web ThingSpeak y la aplicación Virtuino) son fáciles de usar de tal manera que las personas puedan participar activamente en el sistema, lo que lleva a un monitoreo más eficiente para las cabina de automóviles. El sistema puede ser útil para realizar trabajos de contingencia y planificación para la prevención y manejo oportuno en la cabina del vehículo.

La innovación tecnológica es fundamental para afrontar los grandes retos de la detección y alerta temprana de gases tóxicos en la industria automovilística durante las próximas décadas. Los nuevos equipos electrónicos destinados a su uso en la cabina de automóviles deben ser de bajo costo, útiles, efectivos, eficientes, versátiles en diferentes entornos y fáciles de usar para las personas. El sistema electrónico diseñado en el presente trabajo cumple con estas premisas para ayudar en la prevención y alerta temprana de gases tóxicos en la cabina del vehículo, el problema hoy en día son los gases tóxicos generados por la utilización de

productos químicos en la limpieza y mantenimiento de autopartes de la cabina del vehículo (Yang, et al. 2020; Clausen et al., 2020).

La integración de electrónica, modelado estadístico, procesamiento de datos, tecnología de la información, datos ambientales, información sobre el reglamento de valores límites permisibles para agentes químicos, ha demostrado ser útil en una aplicación de fácil uso por parte de las personas que hacen uso de los automóviles, para la prevención y alerta temprana de gases tóxicos en la cabina del vehículo. El uso masivo de la tecnología es de suma importancia para alcanzar el objetivo de reducir la contaminación atmosférica en interiores.

5. CONCLUSIONES

El sistema electrónico de monitoreo de gases tóxicos para la alerta temprana desarrollado en el presente trabajo fue efectivo para predecir los agentes tóxicos como el benceno y el formaldehído en la cabina del vehículo; además el sistema es fácil de usar y de bajo costo con potencial para un uso masivo por parte de las personas que hace uso de los automóviles. Se concluye que a través de la implementación del sistema electrónico de monitoreo de gases se determinó que a medida que aumenta la temperatura en el interior del vehículo también aumenta la concentración de gases de formaldehído y benceno, es decir las curvas de temperatura y la de los sensores electroquímicos van variando directamente proporcional. Se comprobó de manera estadística utilizando el software SPSS que los datos recolectados en las pruebas de campo resultaron niveles de exposición de benceno entre bajo y moderado y niveles de exposición de formaldehído entre bajo y alto, para las personas en el interior del vehículo.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

(Mayo de 2014). Obtenido de ecured: https://www.ecured.cu/Gases_tóxicos

Accensit.com. (s.f.). *Comparativa de tecnologías para el desarrollo de aplicaciones móviles*. Obtenido de <http://www.accensit.com/index.php/en/accensit-blog-en/150-mobileplatforms.html>

Adrformacion. (2014). *Historia – Plataformas de Distribucion*. Obtenido de <http://www.adrformacion.com/cursos/phonegap1/leccion1/tutorial3.html>

Aguilar, O. (1997). *Gasolina sin plomo. "Lo bueno, lo malo y lo feo"*. Obtenido de <http://www.fim.utp.ac.pa/tecnologia-hoy-vol-i>

Ahmad, S., Kan, M. A., & Kamil, M. (2015). Mathematical modeling of meat cylinder cooking. *Food Science and Technology*, 60(2), 678 - 683. doi:<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.10.061>

- Alper, L. P. (11 de 3 de 2015). *Mom Detective: Are we breathing toxic air inside our car?*.
Obtenido de <https://www.momscleanairforce.org/toxic-air-inside-cars/>
- Álvarez, F., García, L., Callejo, P., Burdaspal, A., del Pozo, M. J., Olmo, M. M., & García, M. V. (2014). ¿Somos lo que comemos? Un estudio sobre la composición tisular y microbiológica de la carne picada de vacuno. *Patología*, 47(4), 235 - 241.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.patol.2014.05.003>
- Alvseike, O., Prieto, M., Torkveen, K., Ruud, C., & Nesbakken, T. (2018). Meat inspection and hygiene in a Meat Factory Cell – An alternative concept. *Food Control*, 90, 32 - 39.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2018.02.014>
- Andrzej Szczurek, M. M. (2016). Categorización para la evaluación de la calidad del aire en la cabina del coche. *ELSEVIER*, 161-170.
- Aplicaciones móviles: Que son y cómo funcionan.* (Setiembre de 2011). Obtenido de <https://www.consumidor.ftc.gov/articulos/s0018-aplicaciones-moviles-que-son-y-como-funcionan>
- Badui, D. (2006). Química de los alimentos.
- Bakhtiari, R., Hadei, M., Hopke, P., Shahsavani, A., Rastkari, N., Kermani, M., . . . Ghaderpoori, A. (Junio de 2018). Investigation of in-cabin volatile organic compounds (VOCs) in taxis; influence of vehicle's age, model, fuel, and refueling. *Environmental Pollution*, 237.
- Bhat, Z. F., Morton, J. D., Mason, S. L., & Bekhit, A. E.-D. (2018). Role of Calpain System in Meat Tenderness: A Review. *Food Science and Human Wellness*, 36.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.fshw.2018.08.002>
- Brimblecombe, P. (2003). *Air Pollution Reviews: The effects of Air Pollution on the Build Environment*. Reino Unido: Imperial College Pres.
- Brito, D. (2006). Babaco.
- Brodzik, K. (2014). In-vehicle VOCs composition of unconditioned, newly produced cars. *Journal of Environmental Sciences*, 1052-1061.
- Cadena, E. (2002). Estudio de prefactibilidad de babaco.
- Caron, F., Guichard, R., Robert, L., Verrielle, M., & Thevenet, F. (Junio de 2020). Behaviour of individual VOCs in indoor environments: How ventilation affects emission from materials. *Atmospheric Environment*, 243.
- Carvajal, L., Ospina, N., Martínez, O., Ramírez, L., Restrepo, C., Adarve, S., & Restrepo, S. (2008). Evaluación de textura a cinco cortes de carne de res conservados por esterilización en envase.
- CEPIS. (2005). *Manual de Autoinstrucción: Orientación para el control de la contaminación del Aire*. Obtenido de http://www.bvsde.paho.org/cursoa_orientacion

- Cerda, A. A., & Garcia, L. Y. (2010). *Contaminación del aire en la Florida (Talca, Chile): Beneficios económicos en salud por la reducción de los niveles PM10*. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.4067/S0034-98872010001200008>
- Chacarrex. (2021). *Detección y sensores de gases tóxico y peligrosos en la era del Covid 19*. Obtenido de <https://www.chacarrex.com/deteccion-sensores-gases-toxicos-peligrosos-covid-19/>
- Chen, X., Feng, L., Luo, H., & Cheng, H. (Marzo de 2016). Health risk equations and risk assessment of airborne benzene homologues exposure to drivers and passengers in taxi cabins. *Environmental Science and pollution*, 4794-4811.
- Chong, M., Leal, J., Balandra, L., & Ramirez, G. (Septiembre de 2017). Sistema de Monitoreo de Gases Tóxicos en Ambientes Cerrados. *Academia Journals*, 9(4).
- Cisneros, N., & Méndes, Z. (Febrero de 2019). APLICACION MÓVIL PARA DETECTAR GASES TÓXICOS EN ESPACIOS HABITABLES. *Academia Journals*, 11(1).
- Clausen, P., Frederiksen, M., Sejbaek, C., Sorli, J., Hougaard, K., Frydendall, K., . . . Meyer, H. (Agosto de 2020). Chemicals inhaled from spray cleaning and disinfection products and their respiratory effects. A comprehensive review. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 229.
- Corzo, C. A., Waliszewski, K. N., & Welte-Chanes, J. (2012). Pineapple fruit bromelain affinity to different protein substrates. *Food Chemistry*, 133, 631 - 635.
doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.05.119>
- Coyago, R., León, F., & Patiño, V. (2010). Evaluación del comportamiento del babaco (vasconcella pentagona) en tres tipos de alturas de podas en plantas de seis años de producción.
- Defensoría del Pueblo. (2009). *La calidad del aire en Lima y su impacto en la salud y la vida de sus habitantes: Seguimiento de las recomendaciones defensoriales*. Lima.
- DIGESA. (2005). *Protocolo de monitoreo de la calidad del aire y gestión de los datos*. Obtenido de http://www.digesa.minsa.gob.pe/norma_consulta/Protocolo-de-Calidad-del-Aire.pdf
- Dominguez, E., Salaseviciene, A., & Ertbjerg, P. (2018). Low-temperature long-time cooking of meat: Eating quality and underlying mechanisms. *Meat Science*, 143, 104 - 113.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.04.032>
- Dos Anjos, M. M., da Silva, A. A., de Pascoli, I. C., Mikcha, J. M., Machinski, M., Peralta, R. M., & de Abreu, B. A. (2016). Antibacterial activity of papain and bromelain on *Alicyclobacillus* spp. *International Journal of Food Microbiology*, 216, 121 - 126.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2015.10.007>
- e-interactive. (18 de Abril de 2013). *Aplicaciones Móviles*. Obtenido de App Híbridas vs App Nativas: <http://www.e-interactive.es/blog/aplicaciones-moviles-apps-hibridas-vs-appsnativas/#axzz3AmDbwpg2>

- Ertbjerg, P., & Puolanne, E. (2017). Muscle structure, sarcomere length and influences on meat quality: A review. *Meat Science*, *132*, 139 - 152.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2017.04.261>
- Expower. (2018). *Gases tóxicos*. Obtenido de <http://www.expower.es/gases-toxicos-incendio.htm>
- FAO. (2014). Calidad de la carne.
- Fernandes, P. (2018). Enzymatic Processing in the Food Industry. *Reference Module in Food Science*, 1 - 13. doi:<https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.22341-X>
- Fernandez, A., Amato, F., Moreno, N., Pacitto, A., Reche, C., Marco, E., . . . Teresa, M. (Febrero de 2020). Chemistry and sources of PM2.5 and volatile organic compounds breathed inside urban commuting and tourist buses. *Atmospheric Environment*, *223*.
- Fernández, J., Castañeda, D., & Hormigo, D. (2017). New trends for a classical enzyme: Papain, a biotechnological success story in the food industry. *Trends in Food Science & Technology*, *68*, 91 - 101. doi:<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.08.017>
- García, H., López, C., & Hill, J. (2011). Enzyme Technology – Dairy Industry Applications. *Comprehensive Biotechnology*, *4*, 576 - 574. doi:<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809633-8.09232-3>
- Gastelum, A., Esquivel, J. L., Robledo, V., Paulina, R., Beltran, M., & Saucedo, J. (Agosto de 2020). Assessment of persistent indoor VOCs inside public transport during winter season. *Chemosphere*, *263*.
- Gearhart, J. (Febrero de 2015). *La nueva guía del centro de ecología sobre sustancias químicas tóxicas en los automóviles*. Obtenido de <https://www.ecocenter.org/article/news/new-ecology-center-guide-toxic-chemicals-cars-helps-consumers-avoid-major-source-indoor>
- Gerard, K. (1999). *Ingeniería Ambiental: Fundamentos, Entornos, Tecnologías y Sistemas de Gestión*. España: McGrawHill.
- Godoy, C. (2009). Introducción a la evaluación sensorial en la industria de alimentos.
- Guadalinfo. (2011). *Tipos de aplicaciones móviles*. Obtenido de http://www.edukanda.es/mediatecaweb/data/zip/1164/page_07.htm
- Guo, J., Miao, Z., Wan, J., & Guo, X. (2017). Pineapple peel bromelain extraction using gemini surfactant-based reverse micelle - Role of spacer of gemini surfactant. *Separation and Purification Technology*, *190*, 156 - 164. doi:<https://doi.org/10.1016/j.seppur.2017.08.051>
- Gysel, N., Welch, W., Chen, C., Dixit, P., Cocker, D., & Karavalakis, G. (2017). Particulate matter emissions and gaseous air toxic pollutants from commercial meat cooking operations. *Journal of Environmental Sciences*, *65*, 162 - 170.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.jes.2017.03.022>

- Hajar, N., Zainal, S., Nadzirah, K., Roha, A., Atikah, O., & Elida, T. (2012). Physicochemical Properties Analysis of Three Indexes Pineapple (*Ananas Comosus*) Peel Extract Variety N36. *APCBEE Procedia*, *4*, 115 - 121. doi:<https://doi.org/10.1016/j.apcbee.2012.11.020>
- Hedrick, H., Aberle, E., Forrest, J., Judge, M., & Merkel, R. (1994). *Principles of meat science*. 3.
- Hedrick, H., Aberle, E., Forrest, J., Judge, M., & Merkel, R. (1994). Principles of meat science.
- Henchion, M., McCarthy, M., Resconi, V., & Troy, D. (2014). Meat consumption: Trends and quality matters. *Meat Science*, *98*, 561 - 568. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.meatsci.2014.06.007>
- Holmberg, K. (2018). Interactions between surfactants and hydrolytic enzymes. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, *168*, 169 - 177. doi:<https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2017.12.002>
- Huang, W., Lv, M., & Yang, X. (Enero de 2020). Long-term volatile organic compound emission rates in a new electric vehicle: Influence of temperature and vehicle age. *Building and Environment*, *168*.
- Hui, Y., Gerrero, I., & Rosmini, M. (2006). Ciencia y tecnología de las carnes.
- Industrial Scientific. (2019). *Sensores electroquímicos*. Obtenido de <http://www.indsci.es/legacy-sensoresselectroqu%C3%ADmicos/>
- Joo, S., Kim, G., Hwang, Y., & Ryu, Y. (2013). Control of fresh meat quality through manipulation of muscle fiber characteristics.
- Kim, H. J., & Taub, I. A. (1991). Specific degradation of myosin in meat by bromelain. *Food Chemistry*, *40*(3), 337 - 343. doi:[https://doi.org/10.1016/0308-8146\(91\)90117-7](https://doi.org/10.1016/0308-8146(91)90117-7)
- Klepeis, N., Nelson, W., Ott, W., Robinson, J., Tsang, A., Switzer, P., . . . Elgelmann, W. (Enero de 2001). The National Human Activity Pattern Survey (NHAPS): A resource for assessing exposure to environmental pollutants. *ResearchGate*, 231-252.
- Kucera, V., & E, M. (1987). *Atmosferic Corrosion In "Corrosion Mechanisms"*. (M. F. Dekker, Ed.) New York.
- Leung, D. (Enero de 2015). Outdoor-indoor air pollution in urban environment: Challenges and opportunity. *Frontiers in environmental science*, *2*, 1-7.
- Li, C., Yen, G., & Cheng Yu, S. R. (Octubre de 2020). Exposure levels of volatile organic compounds and potential health risks for passengers and workers at an intercity bus terminal. *Atmospheric Pollution Research*, *11*.
- Liang, B., Yu, X., Mi, H., Liu, D., Huang, Q., & Tian, M. (Septiembre de 2019). Health risk assessment and source apportionment of VOCs inside new vehicle cabins: A case study from Chongqing, China. *ELSEVIER*, *10*, 1677-1684.

- Liang, B., Yu, X., Mi, H., Liu, D., Huang, Q., & Tian, M. (Septiembre de 2019). Health risk assessment and source apportionment of VOCs inside new vehicle cabins: A case study from Chongqing, China. *Atmospheric Pollution Research*, *10*, 1677-1684.
- Liang, W. (Octubre de 2020). Volatile organic compounds, odor, and inhalation health risks during interior construction of a fully furnished residential unit in Nanjing, China. *Building and Environment*, *186*.
- Lu, Y., Lin, Y., Zhang, H., Ding, D., Sun, X., Huang, Q., . . . Dong, S. (Junio de 2016). Evaluation of Volatile Organic Compounds and Carbonyl Compounds Present in the Cabins of Newly Produced, Medium and Large Size Coaches in China. *Environmental Research and Public Health*.
- Lv, M., Huang, W., Rong, X., He, J., & Yang, X. (Mayo de 2020). Source apportionment of volatile organic compounds (VOCs) in vehicle cabins diffusing from interior materials. Part I: Measurements of VOCs in new cars in China. *Building and Environment*, *175*.
- Masana, M., Meichtri, L., & Rodríguez, R. (2002). Determinación de la vida útil en cortes de bovinos. Mayor Calidad por más tiempo.
- MCI Capacitación. (2018). *Microcontroladores*. Obtenido de <http://cursos.mcielectronics.cl/ques-un-microcontrolador-1/>
- Mehdi, W. A., Yusof, F., Farhan, L. O., Mehde, A. A., & Raus, R. A. (2017). Levels of antioxidant enzymes and alkaline protease from pulp and peel of sunflower. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, *7*(6), 533 - 537. doi:<https://doi.org/10.1016/j.apjtb.2017.05.002>
- MINAM. (2016). *Informe Nacional de la Calidad del Aire 2013-2014*. Obtenido de <http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2016/07/Informe-Nacional-de-Calidad-del-Aire-2013-2014.pdf>
- Ministerio del Ambiente. (2016). *Informe Nacional de la Calidad del Aire 2013-2014*. Obtenido de <http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2016/07/Informe-Nacional-de-Calidad-del-Aire-2013-2014.pdf>
- Mitsuhashi, J., Nakayama, T., & Narai-Kanayama, A. (2015). Mechanism of papain-catalyzed synthesis of oligo-tyrosine peptides. *Enzyme and Microbial Technology*, *75-76*, 10 - 17. doi:<https://doi.org/10.1016/j.enzmictec.2015.03.007>
- Mokalled, T., Adjizian, J., Abboud, M., Liaud, C., & Nassreddine, R. (Mayo de 2019). An assessment of indoor air quality in the maintenance room at Beirut-Rafic Hariri International Airport. *10*, 701-711.
- Mondal, B. (2015). Quantitative recognition of flammable and toxic gases with artificial neural network using metal oxide gas sensors in embedded platform. *ELSEVIER*, 1-6.
- Mondal, B., Meetei, M., Das, J., Chaudhuri, C. R., & Saha, H. (Junio de 2015). Quantitative recognition of flammable and toxic gases with artificial neural network using metal oxide gas sensors in embedded platform. *ELSEVIER*, *18*, 1-6.

- Moreno, T., Pacitto, A., Fernández, A., Amato, F., Marco, E., Grimalt, J., . . . Querol, X. (Mayo de 2019). Vehicle interior air quality conditions when travelling by taxi. *Environmental Research*, 172, 529-542.
- Naylampmechatronics. (2019). *Tutorial sensores de gas MQ2, MQ3, MQ7 y MQ135*. Obtenido de https://naylampmechatronics.com/blog/42_Tutorial-sensores-de-gas-MQ2-MQ3-MQ7-y-MQ13.html
- Nelson, D., & Cox, M. (2005). Principios de la bioquímica.
- Nishimura, T. (2015). Role of extracellular matrix in development of skeletal muscle and postmortem aging of meat. *Meat Science*, 109, 48 - 55.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2015.05.015>
- Niu, Z., Kong, S., Zheng, H., Yan, Q., Liu, J., Feng, Y., . . . Zhu, K. (Enero de 2021). Temperature dependence of source profiles for volatile organic compounds from typical volatile emission sources. *Science of the total Environment*, 751.
- Olua, O., & Edide, R. (2013). Propiedades químicas, microbianas y sensoriales de pasteles de piña confitada y cereza. *Nigerian Food Journal*, 31(1), 33 - 39.
doi:[https://doi.org/10.1016/S0189-7241\(15\)30054-0](https://doi.org/10.1016/S0189-7241(15)30054-0)
- OMS. (2000). *Air quality guidelines for Europe*. Obtenido de http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0005/74732/E71922.pdf
- Pan, A.-D., Zen, H. Y., Foua, G. B., & Li, Y. Q. (2016). Enzymolysis of chitosan by papain and its kinetics. *Carbohydrate Polymers*, 135, 199 - 206.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.08.052>
- Pérula, R. (2010). Sistemas operativos móviles. Obtenido de <https://docplayer.es/7976228-Sistemas-operativos-moviles.html>
- Pfeiler, T., & Eglof, B. (2018). Personality and meat consumption: The importance of differentiating between type of meat. *Appetite*, 130, 11 - 19.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.appet.2018.07.007>
- Popkewitz Alper, L. (11 de 3 de 2015). Obtenido de <https://www.momscleanairforce.org/toxic-air-inside-cars/>
- Porto, J. P., & Gardey, A. (2012). *Definición.de*. Obtenido de <https://definicion.de/temperatura/>
- Ramya, V. (2012). Embedded System for Vehicle Cabin Toxic Gas Detection. *ELSEVIER*, 869-873.
- Ramya, V., Palaniappan, B., Karthick, K., & Prasad, S. (Marzo de 2012). Embedded System for Vehicle Cabin Toxic Gas Detection and Alerting. *Procedia Engineering*, 30, 869-873.
- Reséndiz, V., Ramirez, E., & Gerrero, O. (2013). Empaque para la conservación de carne y productos cárnicos. *Agroproductividad*.
- Roberts, A. (2009). *Manual de control de la calidad del aire*. México.

- Rodríguez, S. (21 de Junio de 2018). *Generaciones de telefonía móvil*. Obtenido de <https://arde.io/2018/06/21/generaciones-de-telefonía-móvil/>
- Selamassakul, O., Laohakunjit, N., Kerdchoechuen, O., Yang, L., & Maier, C. S. (2018). Isolation and characterisation of antioxidative peptides from bromelain-hydrolysed brown rice protein by proteomic technique. *Process Biochemistry*, *70*, 179 - 187. doi:<https://doi.org/10.1016/j.procbio.2018.03.024>
- SENAMHI. (2001). *Guía Básica de Meteorología General*. Obtenido de <http://www.senamhi.gob.pe/?p=1003>
- Simmons, N. J., Daly, C. C., Cummings, T. L., Morgan, S. K., Johnson, N. V., & Lombard, A. (2008). Reassessing the principles of electrical stimulation. *Meat Science*, *80*, 110 - 122. doi:<https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2008.05.006>
- Singh, P. K., Shrivastava, N., & Ojha, B. K. (2019). Enzymes in the Meat Industry. En M. Kuddus, *Enzymes in Food Biotechnology. Production, Applications, and Future Prospects* (págs. 111 - 128). United Kindom: Academic Press. doi:<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813280-7.00008-6>
- Singh, T. P., Siddiqi, R. A., & Sogui, D. S. (2018). Statistical optimization of enzymatic hydrolysis of rice bran protein concentrate for enhanced hydrolysate production by papain. *LWT - Food Science and Technology*, *30*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.09.014>
- Sociedad Francesa de Salud Pública. (1996). *La contaminación atmosférica origen automotriz y salud pública*. Obtenido de <http://fulltext.bdsp.ehesp.fr/Sfsp/Rapports/pollution1996.pdf>
- Sociedad Francesa de Salud Pública. (1996). *La contaminación atmosférica origen automotriz y salud pública*. Obtenido de <http://fulltext.bdsp.ehesp.fr/Sfsp/Rapports/pollution1996.pdf>
- Sociedad Francesa de Salud Pública. (1996). *La contaminación atmosférica origen automotriz y salud pública*. Obtenido de <http://fulltext.bdsp.ehesp.fr/Sfsp/Rapports/pollution1996.pdf>
- Solbyte servicios informáticos. (21 de Julio de 2014). *Tipos de aplicaciones móviles: nativas, webs, híbridas*. Obtenido de <http://blog.solbyte.com/2014/07/21/tipos-de-aplicaciones-moviles-nativas-webshibridas/>
- STARTCAPPS. (2010). Obtenido de <http://www.startcapps.com/blog/que-es-el-app-store/>
- Sun, G., Zhang, X., Soler, A., & Marie, P. (2016). Nutritional Composition of Pineapple (*Ananas comosus* (L.) Merr.). En M. S. Simmonds, & V. R. Preddy, *Nutritional Composition of Fruit Aultivares* (págs. 609 - 637). United Kingdom: Academic Press. doi:<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-408117-8.00025-8>
- Sun, J., Wang, J., Shen, Z., Huang, Y., Zhang, Y., Niu, X., . . . Li, X. (Abril de 2019). Volatile organic compounds from residential solid fuel burning in Guanzhong Plain, China: Source-related profiles and risks. *Chemosphere*, *221*, 184-192.
- SWISSCONTACT. (2004). *Manual de gestión de la calidad del aire*. Lima.

- Szczurek, A., & Maciejewska, M. (Octubre de 2016). Categorisation for air quality assessment in car cabin. *ELSEVIER*, 48, 161-170.
- Szczurek, A., & Maciejewska, M. (Agosto de 2016). Categorisation for air quality assessment in car cabin. *Transportation Research*, 161-170.
- Szczurek, A., & Maciejewska, M. (2016). Categorización para la evaluación de la calidad del aire en la cabina del coche. *ELSEVIER*, 161-170.
- TARTCAPPS. (2010). *¿Qué es Google Play | App Pedia?* Obtenido de <http://www.startcapps.com/blog/que-es-google-play/>
- Tena, M., & Jorin, J. (2010). Estudio cinético de la actividad invertasa de levadura de panadería.
- Tnx Teading. (2014). *Las aplicaciones móviles corporativas*. Obtenido de <http://tnxcorp.com/service/las-aplicaciones-moviles-corporativas/>
- Tong, R., Zhang, L., Yang, X., Zhou, P., & Xu, S. (Marzo de 2018). Probabilistic health risk of volatile organic compounds (VOCs): Comparison among different commuting modes in Guangzhou, China. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*.
- Uso de voz y datos en telefonía celular*. (s.f.). Obtenido de <https://plandedatosyusodevoz.weebly.com/marco-teoacuterico.html>
- Vizcarra, G. (2006). *Estudio de daños ocasionados por la contaminación atmosférica en materiales y monumentos históricos*.
- Wang, H., Zheng, J., Yang, T., He, Z., Zhang, P., Liu, X., . . . Xiong, J. (Septiembre de 2020). Predicting the emission characteristics of VOCs in a simulated vehicle cabin environment based on small-scale chamber tests: Parameter determination and validation. *Environment International*, 142.
- Weinhold, B. (Septiembre de 2001). Don't Breathe and drive? *Environmental Health Perspectives*, 109(9), 422-427.
- Yang, S., Yang, X., & Licina, D. (Marzo de 2020). Emissions of volatile organic compounds from interior materials of vehicles. *Building and Environment*, 170.
- Zhang, Y., & Ertbjerg, P. (2018). Effects of frozen-then-chilled storage on proteolytic enzyme activity and water-holding capacity of pork loin. *Meat Science*, 145, 375 - 382. doi:<https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.07.017>
- Zhao, G., Zhou, M., Zhao, H., Chen, X., Xie, B., Zhang, X., . . . Zhang, Y. (2012). Tenderization effect of cold-adapted collagenolytic protease MCP-01 on beef meat at low temperature and its mechanism. . 1738-1744.

7. ANEXOS

Figura 1

Autoparte de Plástico de un Vehículo.



Figura 2

Instalación del sistema electrónico en el recinto de vidrio para su calibración

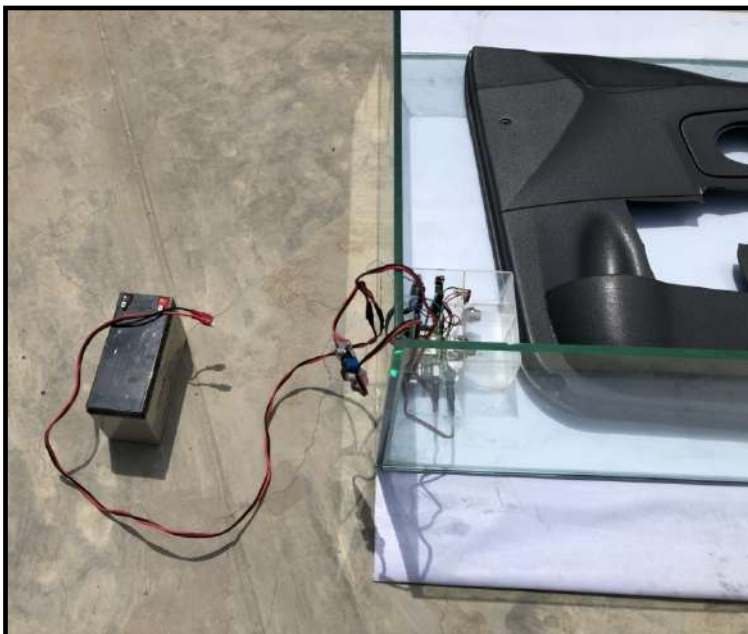


Figura 3

Instalación del sistema electrónico en un vehículo para el trabajo en campo



Figura 4

Instalación del banco de batería de corriente continua en el vehículo



Figura 5

Algoritmos en MATLAB para la Importación de Datos de la Aplicación ThingSpeak

```
clc;
close all;
clear all;

[datos, tiempo, info] = thingSpeakRead(957732, 'DateRange', [datetime('Feb 9,
2020'), datetime('Feb 10, 2020')]);

temperatura = datos(:,1);
presion      = datos(:,2);
humedad      = datos(:,3);
MQ135       = datos(:,4);

extraData = rem(length(temperatura), 60);
temperatura(1:extraData) = [];
presion(1:extraData)     = [];
humedad(1:extraData)     = [];
MQ135(1:extraData)       = [];
tiempo(1:extraData)      = [];

TAM          = length(temperatura);
MQ135Hora    = mean(reshape(MQ135, 60, []))';
temperaturaHora = mean(reshape(temperatura, 60, []))';
presionHora   = mean(reshape(presion, 60, []))';
humedadHora   = mean(reshape(humedad, 60, []))';
maxMQ135porMinuto = max(MQ135)
feb9MQ135     = sum(MQ135Hora(1:end))

timestamps    = tiempo(1:60:TAM);
timestamps    = datetime(timestamps);

figure(1)
subplot(2,1,1)
bar(timestamps, MQ135Hora)
xlabel('Fecha y Hora')
ylabel('MQ135 (ppm/hora)')
grid on
datetick('x', 'dd-mmm HH:MM', 'keeplimits', 'keepticks')
title('Concentración de Gas - 09 de Febrero del 2020')

subplot(2,1,2)
hold on
yyaxis left
plot(timestamps, MQ135Hora)
xlabel('Fecha y Hora')
ylabel('MQ135 (ppm/hora)')
grid on
datetick('x', 'dd-mmm HH:MM', 'keeplimits', 'keepticks')
yyaxis right
plot(timestamps, temperaturaHora, 'r')
ylabel('Temperatura (°C)')
hold off
legend({'MQ135', 'Temperatura'}, 'location', 'northeast')
title('Concentración de Gas VS Temperatura (09 de Febrero del 2020)')
```

8. FIRMA DE AUTOR



Oscar Uchelly Romero Cortez
Autor de Tesis