



INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CD. GUZMÁN

TESIS

TEMA:

**SISTEMA SENSORIAL IoT PARA LA MEDICIÓN DE GASES DE EFECTO
INVERNADERO**

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRÍA EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA

PRESENTA:

ING. JOSÉ JAVIER HORTA RAMÍREZ

DIRECTOR DE TESIS:

DR. RAMÓN CHÁVEZ BRACAMONTES

CODIRECTOR DE TESIS:

DR. SERGIO SANDOVAL PÉREZ

CD. GUZMÁN, JALISCO, MÉXICO, ENERO DE 2020



Av. Tecnológico No. 100 C.P. 49100 A.P. 150
Cd. Guzmán, Jal. Tel. Conmutador (341) 5752050
tecnm.mx | itcg.edu.mx



AGRADECIMIENTOS

- A Dios:

Agradezco a Dios por bendecirme con la vida, por guiarme a lo largo de esta etapa. Por ser el apoyo y fortaleza en aquellos momentos de dificultad y de debilidad.

- A mis Padres:

Ma. de los Ángeles Ramírez y José Javier Horta, por ser los principales promotores de mis sueños, por confiar y creer en mis expectativas, por los consejos, valores y principios que me han inculcado.

- A mis Hermanos:

Ulises y Ángeles, a ustedes, porque directa o indirectamente has contribuido al cumplimiento de mis más importantes metas, y porque han sido también una fuente de estímulo y dedicación a mi carrera profesional

- A mi Asesor y Codirectores

Agradezco a los docentes del Instituto Tecnológico de Ciudad Guzmán, por haber compartido sus conocimientos a lo largo de la preparación de mi posgrado, a mi director de Tesis el Dr. Ramón Chávez Bracamontes, a mi Codirector de Tesis el Dr. Sergio Sandoval Pérez, de manera muy especial al Dr. Humberto Bracamontes del Toro que D.E.P. con quién iniciara el presente proyecto de investigación; a cada uno de ellos, quienes con la enseñanza de sus valiosos conocimientos hicieron que pueda crecer día a día como profesional. Por su paciencia, dedicación, apoyo incondicional y amistad.

- Al TECNM y a CONACYT

Por apoyar todo este tiempo mis estudios en la maestría

Reciban este pequeño reconocimiento a cambio de lo mucho que me han otorgado

Resumen

El cambio climático es una problemática actual que está asociada a la contaminación ambiental. Esta problemática incluye a futuro un aumento de la temperatura del planeta, posibles inundaciones, sequías y fenómenos naturales. Este proyecto propone el diseño y la implementación de un sistema para la medición de gases de efecto invernadero en el municipio de Cd. Guzmán Jalisco, mediante los principios de Internet de las Cosas [IoT], alineado al cumplimiento de los compromisos de México ante las Naciones Unidas para el cambio climático. Este sistema tiene como propósito la captura de datos de la calidad del aire, su almacenamiento, y posible publicación en internet. El sistema se realizó tomando como referencia la arquitectura de soluciones de “IoT”, teniendo como resultado un manejo eficaz de los datos, con tiempos cortos de respuesta. De esta forma, es posible detectar los niveles de concentración de los gases contaminantes como el dióxido de carbono [CO₂] y el metano [CH₄], para hacer un seguimiento que pueda contribuir al cumplimiento del compromiso de México ante las Naciones Unidas, que consiste en lograr una reducción del 25% de emisiones de gases de efecto invernadero para el año 2030. Para la realización del presente proyecto se implementó un prototipo con sensores de gas de la familia MQ y sensores de temperatura y humedad DHT22, procesando la información mediante un microcontrolador de 32 bits de la familia STM32 que envía los datos obtenidos a un software que permite la visualización de esa información de forma remota para su posterior análisis.

Abstract

Climate change is a current problem that is associated with environmental pollution. This problem includes in the future an increase in the temperature of the planet, possible floods, droughts and natural phenomena. This project proposes the design and implementation of a system for the measurement of greenhouse gases in the municipality of Cd. Guzmán Jalisco, through the principles of the Internet of Things [IoT], aligned with the fulfillment of Mexico's commitments to the United Nations for climate change. The purpose of this system is to capture air quality data, its storage, and possible publication on the internet. The system will be carried out taking as a reference the architecture of “IoT” solutions, resulting in efficient data management, with short response times. In this way, it is possible to detect the concentration levels of polluting gases such as carbon dioxide [CO₂] and methane [CH₄], to make a follow-up that can contribute to the fulfillment of Mexico's commitment to the United Nations, which consists of achieving a 25% reduction in emissions of greenhouse gases by 2030. To carry out this project, a prototype was implemented with gas sensors from the MQ family and temperature and humidity sensors DHT22, processing the information using a 32-bit microcontroller from the STM32 family that sends the data obtained to a software that allows the viewing that information remotely for later analysis.

Índice general

Resumen.....	1
Abstract.....	2
Capítulo I INTRODUCCIÓN.....	6
1.1 Introducción.....	7
1.2 Antecedentes.....	9
1.3 Objetivo General.....	12
1.4 Objetivos específicos.....	12
1.5 Vinculación.....	12
1.6 Impacto o beneficio.....	13
Capítulo II MARCO TEÓRICO.....	14
2.1 Gases de Efecto Invernadero y Normas Medioambientales.....	15
Gases de Efecto Invernadero.....	16
Dióxido de Carbono (CO ₂).....	17
Metano [CH ₄].....	17
Óxido Nitroso [N ₂ O].....	18
Vapor de agua [H ₂ O].....	18
Normativas medioambientales.....	18
2.2 Sistemas de Monitoreo de Calidad el Aire.....	22
Mecanismos Tradicionales.....	22
Sistemas de Monitoreo bajo los principios del IoT.....	24
Sistemas de monitoreo IoT.....	24
LoRAWAN.....	27
Capítulo III DESARROLLO.....	29
3.1 Metodología.....	30
3.2 Sensor de CO MQ-7.....	32
El principio de operación del MQ-7.....	33
Ajuste de la sensibilidad.....	34
Programa de ajuste de sensibilidad para el sensor MQ-7.....	34
3.3 Sensor de CH ₄ MQ-2.....	35
El principio de operación del MQ-2.....	36
Programa de ajuste de sensibilidad para el sensor MQ-2.....	38
3.4 Sensor de Temperatura y Humedad DHT22.....	40
El principio de operación del sensor DHT22.....	40
Programa de ajuste de sensibilidad para el sensor DHT22.....	41
3.5 Microcontrolador STM32F103C.....	42
Introducción al STM32F103C.....	42
Características del STM32F103C.....	42
Programación del STM32F103C.....	43

3.6 Módulo ESP8266	45
Introducción al ESP8266	45
Programación del módulo ESP8266	47
Programa para conexión a WIFI	48
3.7 Lectura de datos del puerto serial con LabView y Excel	49
Capítulo IV RESULTADOS	51
4.1 Descripción de pruebas realizadas al prototipo	52
Capítulo V CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO	54
5.1 Conclusiones	56
5.2 Trabajo Futuro	57
ANEXOS	62
ANEXO A Documentación oficial	63
Autorización de impresión	64
Designación de jurado	65
ANEXO B Actividad de Movilidad Estudiantil	66
Descripción de la actividad de movilidad estudiantil	67
INTRODUCCIÓN:	67
OBJETIVO:	67
Acciones por realizar para la calibración de la magnitud voltaje mediante Python:	69
Constancia del proyecto de movilidad	74
ANEXO C Datos técnicos de materiales	75
Hoja de datos de sensor MQ-7	76
Hoja de datos de sensor MQ-2	79
ANEXO D Productos registrados ante INDAUTOR	80
Registro de Software “AUTOPYMED-automatización de sistemas de calibración”	81
Registro de Software “Resistencia de Sensibilidad Sensor MQ4”	79

Índice de figuras

Fig 1. Normas Oficiales Mexicanas para la Reducción de Emisiones	21
Fig. 2. Procesos en los mecanismos de medición de calidad del aire tradicionales.....	22
Fig. 3. Procesos en los mecanismos de medición de calidad del aire automáticos	23
Fig. 4. Procesos en los mecanismos de medición de calidad del aire híbridos	23
Fig. 5. Dimensión de comunicación que introduce IoT.	25
Fig. 6. Arquitectura de bloques para una solución basada en IoT. Fuente (Gartner, 2016)	26
Fig. 7 Sensor MQ-7.....	32
Fig. 8 Sensibilidad del sensor MQ-7 a varios gases.....	33
Fig. 9 Relación de Rs y RL.....	34
Fig. 10 Módulo de sensor MQ-2.....	36
Fig.11 Sensibilidad del sensor MQ-2 a varios gases.....	36
Fig. 12 Diagrama de conexiones de los modulos MQ	39
Fig. 13 Sensor DHT22.....	40
Fig. 14 Microcontrolador STM32F103C.....	42
Fig. 15 agregando el fichero SAND.....	44
Fig. 16 Agregando las tarjetas de la familia STM32.....	45
Fig. 17 Conexión del módulo ESP8266	45
Fig. 18 Conexión del Esp8266 con Arduino o STM32	46
Fig. 19 VI para la lectura de datos desde el puerto serial	49
Fig. 20 Configuración para la creación de archivo Excel.....	50
Fig. 21 Temperatura y humedad en ambiente de laboratorio.....	52
Fig. 22 Comportamiento de las mediciones de CH ₄	53
Fig. 23 Concentración de CO ₂	53

Capítulo I

INTRODUCCIÓN

1.1 Introducción

El 12 de diciembre de 2015 se aprobó el Acuerdo de París dentro de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático [COP21]. El 22 de abril de 2016 México y otros 155 países ratifican el Acuerdo de París en la sede de la ONU en Nueva York. Por su parte, nuestro país se compromete a reducir sus emisiones de gas de efecto invernadero en un 25% al 2030. En 2015 de acuerdo con el Inventario Nacional Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero [INECC] entre 1990 y el 2015 las emisiones de México aumentaron un 54%, con una tasa de crecimiento anual [TCMA] de 1.7%. Según la misma fuente, se estima que el sector agropecuario contribuye con el 12.0% de las emisiones totales de gases de efecto invernadero [GEI] a nivel nacional, las emisiones del sector uso del suelo, cambio de uso del suelo y silvicultura representan el 4.9% del total de las emisiones.

Con todos estos problemas y el compromiso de México frente al cambio climático, lo que parece lógico es que todas las estrategias del país se encaminen hacia la reducción del impacto. Sin embargo, los hechos demuestran lo contrario. México, ha presenciado cambios en su agricultura, y en los últimos años, varias hectáreas que solían dedicarse a la producción de cultivos tradicionales (p. ej., maíz, frijol, trigo, arroz) en forma de temporal o zonas que abarcaban bosques y selvas han pasado a estar ocupadas por nuevos tipos de agricultura más rentable y debido a las inversiones que representan, se dedican a la producción de frutas, hortalizas y aguacates que se destinan casi en su totalidad a la exportación.

En el Sur de Jalisco en particular, los principales productos hortofrutícolas que actualmente se producen bajo invernadero son el arándano, la frambuesa, la fresa y la zarzamora, también conocidos como berries; el jitomate saladette, el pimiento morrón, así como el aguacate. Esta producción agrícola ha traído repercusiones negativas tanto a nivel medio ambiental, como económico, político, social y nutricional, entre otros (García y Bermúdez, 2014; He, Qiao, Liu, Dendler, Housni et al., 2015; Yanga et al., 2016). La conversión de ecosistemas naturales en tierras agrícolas es la principal causa de la pérdida de ecosistemas

y biodiversidad en la región, y es un importante acelerador del cambio climático antropogénico.

Los agudos problemas ambientales en el sur de Jalisco obligan a la sociedad y al Estado a enfrentar un debate público importante. Actualmente, la contaminación atmosférica, las grandes urbes, la generación de basura, la escasez de áreas verdes y de agua, están captando el interés de millones de mexicanos, sin embargo, la deforestación, la erosión, el cambio de uso de suelo, la agricultura moderna bajo invernadero, la contaminación de las suelos, ríos y lagos, la extinción de especies, la sobreexplotación de algunos recursos y el desperdicio de otros, entre decenas de problemas ambientales, no reciben la misma atención. Quizás por ver desde lejos estos problemas o quizás por falta de información.

Es en este contexto que radica la importancia del presente proyecto de investigación. Nos proponemos generar un sistema de información para medir y registrar datos continuos de los principales gases de efecto invernadero (CO_2 y CH_4) así como de temperatura y humedad, que permitan, a posteriori, un diagnóstico exacto de la situación ambiental y sobre todo de la emisión de GEI en la zona de Ciudad Guzmán Jalisco.

En ese mismo tenor y aprovechando las fortalezas de un grupo de investigadores del área de electrónica del I.T. de Cd. Guzmán, tomamos la oportunidad de realizar el diseño y la implementación de un sistema para la medición de gases de efecto invernadero, mediante los principios de Internet de las Cosas, alineado al cumplimiento de los compromisos de México ante las Naciones Unidas para el cambio climático.

1.2 Antecedentes

El 12 de diciembre de 2015 se aprobó el Acuerdo de París dentro de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. Este Acuerdo es un instrumento de alcance mundial para enfrentar de manera global el cambio climático, el cual busca que por lo menos 195 países reorienten su desarrollo hacia un mundo más sostenible, con menores emisiones y con capacidad de adaptarse a un clima más extremo.

El 22 de abril de 2016 México y otros 155 países ratifican el Acuerdo de París en la sede de la ONU en Nueva York. Por su parte, nuestro país se compromete a reducir sus emisiones de gas de efecto invernadero en un 25% al 2030. Sin embargo, hoy a unos 10 años del plazo comprometido, resulta que esta labor es casi imposible, los ecosistemas de México están fuertemente deteriorados. Lo que hace algunos años se limitaba a la mera discusión académica o a la de algunos grupos de agricultores afectados, hoy es del dominio público.

De acuerdo con el Inventario Nacional de Emisiones (INEM, 2015), en el año 1990, las emisiones de GEI en México fueron 445 MtCO₂e y el 2015 fueron de 683 millones de toneladas de bióxido de carbono equivalente [MtCO₂e]. Es decir, entre 1990 y el 2015 las emisiones de México aumentaron un 54%, con una tasa de crecimiento anual [TCMA] de 1.7%. No obstante, la TCMA del 2010 al 2015 disminuyó a 0.8%. Según la misma fuente, las emisiones del sector agropecuario fueron de 80,169.09 Gg de CO₂e que contribuyó con 12.0% de las emisiones totales de GEI a nivel nacional. En 2013, las emisiones del sector uso del suelo, cambio de uso del suelo y silvicultura fueron de 32,424.86 Gg de CO₂e, que representa el 4.9% del total de las emisiones. Así las emisiones por tierras convertidas a pastizales, a asentamientos y a otras tierras, así como por incendios que en total contribuyeron con 45,007.61 Gg de CO₂e.

Con todos estos problemas y el compromiso de México frente al cambio climático, lo que parece lógico es que todas las estrategias del país se encaminen hacia la reducción del impacto. Sin embargo, los hechos demuestran lo contrario. México, ha presenciado cambios en su agricultura, y en los últimos años, varias hectáreas que solían dedicarse a la producción de cultivos tradicionales (p. ej., maíz, frijol, trigo, arroz) en forma de temporal o

zonas que abarcaban bosques y selvas han pasado a estar ocupadas por nuevos tipos de agricultura más rentable y debido a las inversiones que representan, se dedican a la producción de frutas, hortalizas y aguacates que se destinan casi en su totalidad a la exportación.

En el Sur de Jalisco en particular, los principales productos hortofrutícolas que se producen bajo invernadero actualmente son el arándano, la frambuesa, la fresa y la zarzamora, también conocidos como berries; el jitomate saladette, el pimiento morrón, así como el aguacate y para este último, Jalisco es considerado como segundo lugar a nivel nacional, con 110 mil toneladas para noviembre 2016 es decir una superficie de 17 mil 812 hectáreas (AMHPAC, 2015; OEIDRUS, 2005, 2008, 2016; SAGARPA, 2011, 2012, 2017). Esta producción agrícola ha traído repercusiones negativas tanto a nivel medio ambiental, como económico, político, social y nutricional, entre otros (García y Bermúdez, 2014; He, Qiao, Liu, Dendler; Housni et al., 2015; Yanga et al., 2016). Para su calidad, por ejemplo, y a pesar de la poca información con la que se cuenta México, Greenpeace publicó en 2016 y con base en las regulaciones internacionales de otros países, como el Convenio de Rotterdam, la OMS y la Comisión OSPAR, una lista de 30 plaguicidas que han sido prohibidos en otras naciones por sus altos niveles de toxicidad para las personas, polinizadores y el medio ambiente en general, y que se siguen empleando y permitiendo en el catálogo oficial de plaguicidas en México, poniendo en riesgo no solo a los productores agrícolas, sino también a la salud de los mexicanos (Arellano-Aguilar y Rendón, 2016). Otros de los impactos negativos de este tipo de producción son exacerbados por el cambio de uso de suelo. La conversión de ecosistemas naturales en tierras agrícolas es la principal causa de pérdida de ecosistemas y biodiversidad en la región, y es un importante acelerador del cambio climático antropogénico. Un equipo de investigación de la Universidad de Stanford (EE. UU.) que ha estudiado los efectos de los cultivos agrícolas sobre las emisiones CO₂ entre 1961 y 2005, señalan que la conversión de vastas áreas naturales en explotaciones agrícolas habría originado emisiones de gases con efecto invernadero mucho mayores, “equivalentes a 600.000 millones de toneladas de CO₂ desde 1961” (La ciencia es Noticia, 2010). Más aún, el uso de los sistemas de riego genera un desperdicio de agua y agotamiento de los mantos acuíferos (Du, Kang, Zhang y Zhang, 2014; Yanga et al., 2016).

Los agudos problemas ambientales en sur de Jalisco obligan a la sociedad y al Estado a enfrentar un debate público importante. Actualmente, la contaminación atmosférica, las grandes urbes, la generación de basura, la escasez de áreas verdes y de agua, está captando el interés de millones de mexicanos, sin embargo, la deforestación, la erosión, el cambio de uso de suelo, la agricultura moderna bajo invernadero, la contaminación de las suelos, ríos y lagos, la extinción de especies, la sobreexplotación de algunos recursos y el desperdicio de otros, entre decenas de problemas ambientales, no reciben la misma atención. Quizás por falta de información, quizá por ver desde lejos estos problemas.

Es en este contexto radica la importancia del presente proyecto de investigación. Medir y registrar datos continuos de los principales gases de efecto invernadero (CO_2 y CH_4) así como de temperatura y humedad, permitirán un diagnóstico exacto de la situación ambiental y sobre todo de la emisión de GEI en ciudad Guzmán Jalisco. El monitoreo continuo en diferentes puntos de la ciudad, así como en sus alrededores, nos llevará a identificar los mayores responsables del problema y por lo tanto a poder generar estrategias para impedir el deterioro.

1.3 Objetivo General

Realizar el diseño y la implementación de un sistema para la medición de gases de efecto invernadero en el municipio de Cd. Guzmán Jalisco, mediante los principios de Internet de las Cosas, alineado al cumplimiento de los compromisos de México ante las Naciones Unidas para el cambio climático.

1.4 Objetivos específicos

1. Realizar un estudio del estado del arte de los sistemas de monitoreo de la calidad del aire para identificar los principales gases de efecto invernadero.
2. Diseñar un sistema de medición de los principales gases de efecto invernadero.
3. Diseñar un sistema de comunicación inalámbrica, mediante los principios de IoT, para enlazar el sistema con un ordenador computacional.
4. Visualizar los resultados en alguna plataforma de monitoreo de las estaciones de medición de gases de efecto invernadero.
5. Implementar y validar el sistema para la medición de gases de efecto invernadero

1.5 Vinculación

El Instituto Tecnológico de Cd. Guzmán consciente de la problemática nacional y regional, tiene la obligación moral de ofrecer soluciones tecnológicas que puedan ayudar a que el desarrollo regional crezca en armonía entre todos sus actores. En este sentido el ITCG propondrá una vinculación estrecha con el gobierno municipal de Cd. Guzmán, así como con investigadores del mismo ITCG para poner a su disposición toda la información recopilada en este sistema y que a su vez sea utilizada de la mejor manera.

1.6 Impacto o beneficio

Este proyecto propone la implementación de una red sensorial para la medición, de los gases de efecto invernadero CO₂ y CH₄, y condiciones temperatura y humedad relativa bajo los principios de IoT. Este sistema propone utilizar transmisión RF, para la transmisión de datos desde el dispositivo de sensado hasta el dispositivo almacenador, realizando la medición y el envío de información en tiempo real, marcando así una gran diferencia con las pocas estaciones de monitoreo de gases que funcionan en algunas ciudades del país.

Dadas las características del proyecto, a futuro se puede el realizar un despliegue de nodos de monitoreo a lo largo de la zona geográfica donde se ubica el Instituto Tecnológico de Cd. Guzmán, se pretende que pueda servir como herramienta a entidades del orden municipal, estatal o nacional como el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) o la Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial (SEMADET), para alimentar sus sistemas de información correspondientes a los niveles de concentración de gases contaminantes. De este modo, las entidades podrán tomar las medidas de adaptación o mitigación necesarias en búsqueda del cumplimiento de los compromisos de México ante las Naciones Unidas para el año 2030.

Capítulo II

MARCO TEÓRICO

2.1 Gases de Efecto Invernadero y Normas Medioambientales

El cambio climático es el más grande desafío ambiental que ha enfrentado el mundo. Es considerado uno de los problemas ambientales más importantes de nuestro tiempo, y puede definirse como todo cambio significativo en el sistema climático del planeta, que permanece por décadas o más tiempo según el inventario nacional de gases de efecto invernadero (INECC, 2018).

La gran cantidad de emisiones de gases contaminantes que se tienen a diario por parte de las industrias, además de los usos inadecuados de recursos naturales, están contribuyendo a la modificación del comportamiento climático alrededor del mundo. Como consecuencia de esto, se presentan fenómenos tales como inundaciones, sequías, y todo tipo de desastres que afectan a la población y por lo tanto reducen su calidad de vida (INSPIRATION, 2018).

Este tipo de efectos son atribuidos a las acciones irresponsables que tiene la sociedad, entre las que se encuentran la tala indiscriminada de árboles, el uso ineficiente del agua potable y la explotación exagerada de las tierras. En este sentido se han formulado normativas de carácter tanto local (INEEC, 2018) como internacional, que han permitido regular los comportamientos de las personas en la sociedad actual, limitando los niveles máximos de emisión de gases contaminantes, apuntando a un uso y cuidado adecuado de los recursos naturales. Sin embargo, dentro de la problemática de contaminación de aire el aspecto que mayor impacto tiene en el ambiente es la emisión de gases de efecto invernadero, los cuales son producidos por las grandes industrias y demás sectores en la mayoría de los países del mundo. Estos gases se alojan en la atmósfera de forma que impiden la salida de los rayos del sol reflejados en la tierra, lo que tiene como resultado el aumento de la temperatura terrestre.

Gases de Efecto Invernadero

Los gases de efecto invernadero [GEI] son aquellos con la capacidad de mantenerse estáticos en la atmósfera, de tal modo que no permiten la salida de los rayos del sol que se reflejan en la tierra. Estos gases tienen un efecto perjudicial para los habitantes del planeta ya que su aumento perjudica ecosistemas y permite que se presenten fenómenos naturales como terremotos, inundaciones, entre otros. El tratamiento de estos gases se ha convertido en un tema prioritario para la mayoría de los países en el mundo, debido a las implicaciones que esto puede tener en un futuro no muy lejano.

Los principales gases de efecto invernadero pueden clasificarse en directos o indirectos. Los GEI directos son aquellos que desde su emisión contribuyen al efecto invernadero alojándose directamente en la atmósfera, en cambio, los indirectos son gases contaminantes, como el monóxido de carbono y compuestos orgánicos distintos al metano, que a medida que se aproximan a la atmósfera van transformándose en GEI directos (Benavdes y León, 2007). Aquellos que tienen un gran impacto en el medio ambiente y aportan de forma importante en el cambio climático son los directos, representados principalmente por: Vapor de agua (H_2O), Dióxido de Carbono [CO_2], Metano [CH_4] y Óxido Nitroso [N_2O], según lo define el Protocolo de (ONU, 1998).

Según el (INECC, 2018), México emitió 683 millones de toneladas de bióxido de carbono equivalente [$MtCO_2e$] de GEI en el 2015. Este es el resultado de la actualización del “Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero [INEGYCEI]” que presenta el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático [INECC] en apego al Artículo 74 de la Ley General de Cambio Climático. Además, de los gases directos, se indica la presencia de gases como los hidrofluorocarbonos [HFC], perfluorocarbonos [PFC] y el hexafluoruro de azufre, quienes impactan en el ambiente en una mínima proporción a comparación del CO_2 y el CH_4 .

Dióxido de Carbono (CO₂)

Es un gas incoloro y compuesto por dos átomos de oxígeno y uno de carbono, se produce principalmente cuando la materia orgánica es quemada o a causa de su descomposición biológica (Adame, 2010). Es uno de los gases con mayor influencia en el ambiente en materia de cambio climático, debido al aumento de la quema de combustibles fósiles como el petróleo y el carbón. Este gas tiene presencia natural en la atmosfera y es necesario para las plantas ya que les permite realizar sus funciones vitales. En el planeta existen depósitos terrestres como los bosques y los océanos, quienes absorben el CO₂, pero debido al desarrollo industrial de las sociedades y la constante tala de árboles, estos depósitos no alcanzan a absorber la totalidad del gas producido por el hombre, teniendo este que alojarse cada vez con mayor proporción en la atmosfera terrestre (Adame, 2010).

La forma en la que las plantas lo absorben es mediante el proceso de fotosíntesis, siendo este importante para conservar su vida. El CO₂ no tiene efectos tóxicos para el ser humano, pero contribuye al efecto invernadero al hacer presencia en la atmosfera y permitir el ingreso de rayos del sol y conservar la energía en forma de calor dentro de la tierra. Tiene presencia en la tropósfera, con un componente aproximadamente de 3500 partes por millón [PPM].

Metano [CH₄]

Es un hidrocarburo incoloro con alta influencia en el efecto invernadero. Se produce en un alto porcentaje por actividades humanas como la agrícola y por el proceso de descomposición de la materia orgánica, seguido por la producción de gas natural y la explotación de carbón mineral. Se estima también, que el proceso de fermentación intestinal de los rumiantes produce hasta un 37% del Metano presente en la atmosfera (Adame, 2010).

El Metano después del dióxido de Carbono es el gas de efecto invernadero más importante, dado a que ha llegado a alojar en la atmosfera hasta 60 millones de toneladas por año

(Bunyard y Mantilla, 2010).

Óxido Nitroso [N₂O]

Es un gas incoloro que no tiene efectos tóxicos y hace parte de la atmosfera de forma natural aproximadamente con una concentración de 0.27 PPM y se estima que contribuye en un 6% al efecto invernadero (Benavides y León, 2007). Es producido por acciones antropógenas y por procesos naturales del suelo en el que intervienen bacterias anaerobias, además del pastoreo y las generadas por el uso de fertilizantes. Se estima que su concentración en la atmosfera tiene un aumento del 0.25% cada año.

Vapor de agua [H₂O]

Es un gas que se produce por la evaporación o ebullición del agua y es un componente natural de la atmosfera terrestre. Tiene alta presencia en zonas marítimas y se evidencia en el ambiente en forma de nubes. Este gas tiene gran importancia debido a que puede actuar de forma equilibrada al concentrar el calor cuando se encuentra lejano a la superficie terrestre y refrigerar el ambiente al estar cerca de la superficie y reflejar los rayos de los incidentes provenientes del sol.

Normativas medioambientales

Alrededor del mundo se han adelantado estrategias para mitigar los efectos medioambientales negativos producidos por los ciudadanos y la industria relativos al cambio climático y las emisiones de gases contaminantes. En consecuencia, se han generado acuerdos internacionales y normativas locales a nivel de cada país enfocados en la preservación de los recursos naturales y la reducción de emisiones de GEI. México ha venido trabajando en la expedición de diversos instrumentos jurídicos, normativos y de política pública, así como en los arreglos institucionales necesarios para enfrentar el cambio climático en el país.

A nivel Federal los instrumentos de política pública relacionados con el cambio climático en México son los siguientes:

- Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos: El Artículo 4º de la constitución mexicana establece que: Toda persona tiene derecho a un medio ambiente sano para su desarrollo y bienestar. El Estado garantizará el respeto a este derecho (Constitución Política de Los Estados Unidos Mexicanos, 2016).
- Reforma Energética: Las reformas constitucionales en materia energética fueron promulgadas en diciembre de 2013 con el objeto de modernizar el sector energético del país. Este nuevo marco sienta las bases para un mercado de generación de fuentes de energía renovables y tecnologías más limpias, además de impulsar la eficiencia energética en la generación, distribución y transmisión de electricidad, entre otras temáticas (Gobierno de México, 2013).
- Ley de Transición energética: Ley publicada en el DOF el 24 de diciembre de 2015, que tiene como objeto regular el aprovechamiento sustentable de la energía, así como las obligaciones en materia de energías limpias y la reducción de emisiones contaminantes de la industria eléctrica (Cámara De Diputados Del H. Congreso De La Unión, 2015).
- Ley General de Cambio Climático [LGCC] (2012). (Última reforma publicada DOF 13-07-2018): Ley publicada en el DOF el 6 de junio de 2012 que tiene como objeto garantizar el derecho a un medio ambiente sano, mediante la elaboración de políticas públicas para enfrentar los efectos adversos del cambio climático y mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero. La Ley determina el alcance de la política nacional de cambio climático, define las obligaciones de las autoridades del Estado y las facultades de los tres órdenes de gobierno; y, establece los mecanismos institucionales necesarios para hacer frente al cambio climático. El pasado 25 de abril de 2018, el Senado de la República aprobó el proyecto de Decreto por el que se reforman, adicionan y derogan diversas disposiciones de la Ley General de Cambio Climático (Cámara De Diputados Del H. Congreso De La Unión, 2018).

- Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos (2008) : Ley publicada en el DOF el 1º de febrero de 2008 que tiene por objeto la promoción y desarrollo de los bioenergéticos con el fin de coadyuvar a la diversificación energética y el desarrollo sustentable como condiciones que permiten garantizar el apoyo al campo mexicano y establece las bases para, entre otras acciones, procurar la reducción de emisiones contaminantes a la atmósfera y de gases de efecto de invernadero (Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, 2008).
- Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA) (1988): Ley publicada en el DOF el 28 de enero de 1988 que tiene como objeto propiciar el desarrollo sustentable y establecer las bases para garantizar el derecho de los mexicanos de vivir en un ambiente sano. El Artículo 5º establece que es facultad de la Federación la formulación y ejecución de acciones de mitigación y adaptación al cambio climático (LGEEPA, 1988).
- Normas Oficiales Mexicanas que contribuyen a la reducción de emisiones: En México se han publicado o actualizado nueve normas de eficiencia energética, cuatro normas de transporte, una en materia de residuos y otra referente a fuentes fijas. Dentro de las normas en materia de transporte destaca la NOM-163-SEMARNAT-SENER-SCFI-2013, la cual establece los parámetros y la metodología para el cálculo del valor máximo permisible de emisiones de bióxido de carbono en términos de rendimiento de combustible (Secretaría de Gobernación, 2018). En la Figura 1 se puede apreciar una tabla con las diferentes Normas Oficiales Mexicanas para la reducción de emisiones mostrando el nombre, objetivo y alcances, así como el sector correspondiente.

Nombre	Objetivo y alcance	Sector		
NOM-042-SEMARNAT-2003 Fecha de publicación 07/09/2005 Actualización en desarrollo para el año 2015	Establece los límites máximos permisibles de emisión de hidrocarburos totales o no metano, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno y partículas provenientes del escape de los vehículos automotores nuevos.			
NOM-044-SEMARNAT-2006 Fecha de publicación 30/06/2014	Establece los límites máximos permisibles de emisiones contaminantes provenientes del escape de motores pesados nuevos que usan diésel como combustible.			
NOM-085-SEMARNAT-2011 Fecha de publicación 02/02/2012	Establece los niveles máximos permisibles de emisión de algunos contaminantes en equipos de combustión de calentamiento indirecto que utilizan combustibles convencionales o sus mezclas.			
NOM-161-SEMARNAT-2011 Fecha de publicación 12/11/2013	Establece los criterios que deberán considerar las entidades federativas y sus municipios en la formulación de planes de manejo de residuos.			
NOM-005-ENER-2012 Fecha de publicación: 06/11/2012	Eficiencia energética de lavadoras de ropa electrodomésticas. Límites, método de prueba y etiquetado.			
NOM-015-ENER-2012 Fecha de publicación 16/02/2012	Fija los límites máximos de consumo de energía de los refrigeradores y congeladores electrodomésticos.			
NOM-017-ENER/SCFI-2012 Fecha de publicación 09/01/2013	Establece los límites mínimos de eficiencia energética y requisitos de seguridad de lámparas fluorescentes compactas autobalastadas.			
NOM-030-ENER-2012 Fecha de publicación 22/06/2012	Establece las especificaciones de eficiencia luminosa de lámparas de LED integradas para iluminación general.			
NOM-031-ENER-2012 Fecha de publicación 06/11/2012	Establece las especificaciones de eficacia luminosa para los luminarios con diodos emisores de luz (LEDs), destinados a vialidades y áreas exteriores públicas.			
NOM-076-SEMARNAT-2012 Fecha de publicación 27/11/2012	Establece los límites máximos permisibles de emisiones contaminantes provenientes del escape de motores pesados nuevos que usan gasolina, gas licuado, gas natural y otros, como combustible.			
NOM-013-ENER-2013 Fecha de publicación 17/06/2013	Establece niveles de eficiencia energética para sistemas de alumbrado en vialidades, promoviendo la optimización de diseños y la aplicación de equipos y tecnologías que incrementen la eficacia.			
NOM-163-SEMARNAT-ENER-SCFI-2013 Fecha de publicación 21/06/2013	Establece los parámetros y la metodología para el cálculo del valor máximo permisible de emisiones de bióxido de carbono en términos de rendimiento de combustible.			
NOM-025-ENER-2013 Fecha de publicación 17/06/2013	Establece los valores mínimos aceptables de eficiencia térmica de los quemadores superiores, así como el consumo de mantenimiento del horno de los aparatos domésticos para cocción de alimentos.			
NOM-007-ENER-2014 Fecha de publicación 07/08/2014	Establece los niveles de eficiencia energética que deben cumplir los sistemas de alumbrado de edificios no residenciales nuevos, ampliaciones y modificaciones de los ya existentes.			
NOM-009-ENER-2014 Fecha de publicación 08/08/2014	Establece eficiencia energética en sistemas de aislamientos térmicos industriales en tuberías y equipos de los procesos industriales nuevos, ampliaciones y modificaciones de los existentes.			
				
Transporte	Fuentes fijas	Residuos	Eficiencia energética	Eficiencia térmica

Fig 1. Normas Oficiales Mexicanas para la Reducción de Emisiones

2.2 Sistemas de Monitoreo de Calidad el Aire

En la actualidad existen diversos mecanismos para el monitoreo de variables ambientales. Estos pueden clasificarse en dos grandes grupos: mecanismos tradicionales y basados en herramientas tecnológicas. Los mecanismos tradicionales, son aquellos que requieren de intervención humana para su funcionamiento y operación, mientras que los mecanismos basados en herramientas tecnológicas realizan los procesos de forma automática, basados en sistemas de información que les permiten gestionar su funcionamiento y almacenar los registros de cada una de las operaciones realizadas.

Los sistemas de monitoreo de la calidad del aire tienen como finalidad llevar a cabo una medición de la cantidad de contaminantes presentes en el aire en un determinado lugar y en un periodo de tiempo. Bajo este concepto existen diferentes mecanismos que dependen de los procedimientos y las herramientas que se usen. Para el caso que concierne a este proyecto se hace relevante la revisión de los mecanismos tradicionales de medición, y los que hacen uso de tecnologías de la información y comunicaciones como el IoT.

Mecanismos Tradicionales

Manuales.

Este tipo de sistema se encuentra construido por equipos totalmente manuales, es decir, que necesitan de intervención humana para funcionar. La principal característica es que necesita de un laboratorio para analizar las muestras tomadas. El principio de funcionamiento se describe en el diagrama de la figura 2. Comienza con la toma de muestra, seguido por análisis, procesamiento de la información y termina con el reporte.



Fig. 2. Procesos en los mecanismos de medición de calidad del aire tradicionales

Cada uno de estos procesos involucra actividades adicionales para su efectivo cumplimiento como lo son la preparación y acondicionamiento de los filtros para la

toma de muestras, actividades directas al análisis y la determinación de la concentración de los contaminantes, entre otras. Todo lo anterior asegurando un alto nivel de confiabilidad.

Automáticos.

A diferencia del sistema manual, éste se encuentra compuesto por equipos automáticos, en donde no se requiere de un análisis posterior a la toma de muestras debido a que éste es realizado directamente por los dispositivos sensores cuando captan los materiales contaminantes. Enseguida se realiza el procesamiento de la información donde se validan los datos captados, para luego emitir reportes.

Los procesos involucrados para funcionamiento de los sistemas automáticos se muestran en la figura 3. Comienzan por toma de muestra y análisis, seguido del procesamiento de la información y termina con el reporte.



Fig. 3. Procesos en los mecanismos de medición de calidad del aire automáticos

Híbridos.

Este sistema toma las mejores características de los sistemas manuales y los sistemas automáticos, realizando los procesos de cada sistema e incorporando un mayor análisis y procesamiento de la información tal y como se muestra en la figura 4.

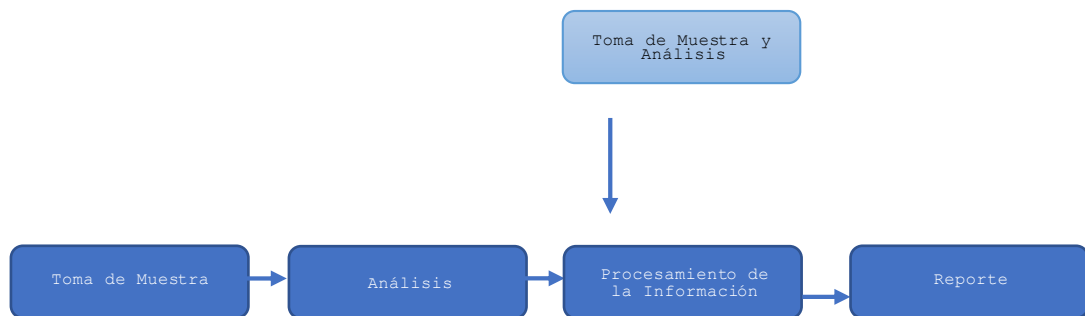


Fig. 4. Procesos en los mecanismos de medición de calidad del aire híbridos

Estos tipos de sistemas de vigilancia de la calidad del aire son los existentes en la

actualidad, solo muy pocos de ellos tienen una conexión directa a internet para que las entidades encargadas de los temas ambientales en cada territorio tengan conocimiento en “tiempo real” de esta información para la toma de decisiones.

En particular, en el estado de Jalisco, las estaciones de monitoreo se encuentran concentradas en la zona metropolitana de Guadalajara (Secretaría de medio ambiente y desarrollo Territorial [SEMADET], 2017), no siendo así en interior del estado. En el caso del municipio de Cd. Guzmán y sus alrededores, no existe ninguna estación de medición que refiera a este tipo de variables.

Sistemas de Monitoreo bajo los principios del IoT

La calidad del aire ha sido uno de los aspectos de mayor afectación a nivel mundial como consecuencia del desarrollo de las industrias alrededor del mundo, ya que su producción está relacionada con la generación de sustancias que contaminan en gran proporción el aire de la zona en la que se encuentran. Por esto, las tecnologías en la actualidad están cada vez más encaminadas a crear aplicaciones y dispositivos que sean más amigables con el medio ambiente y que de cierto modo contribuyan a la mitigación de sustancias que contaminan el ambiente. Una de estas tecnologías es el IoT.

Sistemas de monitoreo IoT

El IoT contempla un campo de acción bastante amplio, en donde se pueden enmarcar soluciones en diferentes aspectos, particularmente, los de carácter ambiental. Dentro de éste, se han desarrollado aplicaciones como solución para el manejo de residuos, contaminación de agua y aire, siendo estos los más vulnerables y quienes mayor daño pueden causar al planeta.

El término Internet de las cosas (IoT) es definido por algunos autores como la interconexión en red de los objetos cotidianos que a menudo están equipados con

inteligencia ubicua (Xia et al., 2012). En la actualidad el IoT tiende a conectar cualquier objeto físico a internet, haciendo uso de capacidades sensoriales y de actuación que permitan a cada objeto tener una independencia. De esta manera se prevé que el IoT aplique a diferentes sectores de la sociedad como ambiente, energía, seguridad, agricultura, transporte, entre otros.

Por otra parte, entes importantes a nivel mundial han dado su propia definición de Internet de las cosas, como por ejemplo la UIT-T quien lo concibe como: “una infraestructura global de la sociedad de la información, que permite ofrecer servicios avanzados mediante la interconexión de objetos (físicos y virtuales) gracias a la inter-operatividad de tecnologías de la información y la comunicación [TIC] presentes y futuras” (Unión Internacional de Telecomunicaciones [ITU por su siglas en inglés] 2012). Este concepto incorpora una nueva dimensión que se refiere a la comunicación con cualquier objeto. En la figura 5 se muestra tal concepto: Situaciones como comunicación a cualquier instante, comunicación con cualquier objeto y comunicación en cualquier lugar están interconectadas.

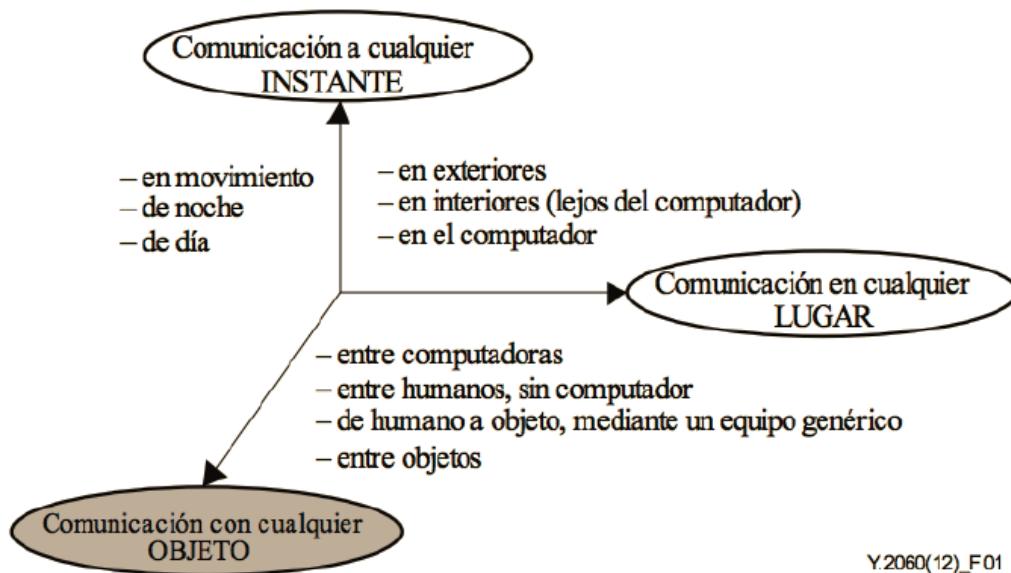


Fig. 5. Dimensión de comunicación que introduce IoT.

De forma similar el Institute of Electrical and Electronics Engineers [IEEE] lo considera como “una red de elementos, cada uno embebido con sensores, que están conectados a Internet” (IEEE 2015).

Bajo estos conceptos entre muchos más existentes, se han desarrollado arquitecturas de soluciones IoT más detalladas, en las que se incluyen especificaciones en cada una de sus capas. Como referencia de esto, la compañía Gartner Inc, (Gartner, 2016), líder en investigación y consultoría, presenta un modelo de solución para proyectos IoT, que incorpora elementos importantes para el desarrollo de este tipo de iniciativas. Dicho modelo se observa en la figura 6. En ella se explican las cuatro capas principales: La primera de ellas, los IoT Endpoints, que corresponden de forma simplificada a los nodos de sensado de diferentes variables, estos recolectan información que a su vez es transmitida hacia la IoT Platform que actúa como Gateway y su función es almacenada y es posible realizar un análisis de la información para luego ser visualizada en la capa de Enterprise Applications, por medio de aplicaciones web y otras herramientas.

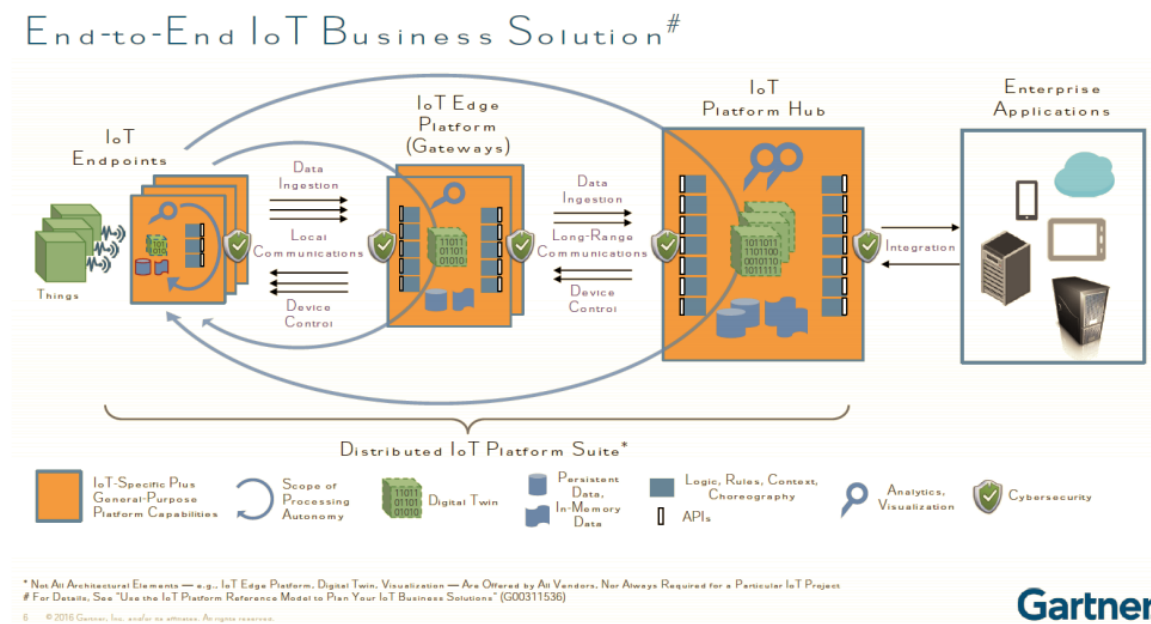


Fig. 6. Arquitectura de bloques para una solución basada en IoT. Fuente (Gartner, 2016)

LoRAWAN

LoRaWAN es un tipo de red totalmente alineado al IoT, ya que garantiza un bajo consumo energético, alta cobertura, y trabajo en frecuencias de uso libre en la mayoría de los países del mundo. Su base de funcionamiento se compone de dispositivos LoRa conectados a un nodo central conocido como Gateway LoRa, que se encarga de recibir los datos y posteriormente enviarlos un servidor LoRa en internet, sirviendo únicamente como intermediario.

El servidor LoRa, se encarga de gestionar cada uno de los dispositivos de la red, proceso que se lleva a cabo habilitando uno o varios Gateways que permiten su conexión hacia él. Presenta una topología de red en estrella, que permite que múltiples dispositivos se conecten a un mismo Gateway sin interferirse entre ellos.

Los dispositivos LoRa existentes pueden ser de 3 clases (Lora-alliance and Technology, 2017):

- Clase A: Esta clase permite una comunicación bidireccional entre el dispositivo y el Gateway. Sin embargo, para que el Gateway envíe hacia el dispositivo (downlink), previamente debió recibir un paquete por parte de él (uplink). Es una de las clases más usadas ya que garantiza compatibilidad para cientos de aplicaciones y consume poca energía.
- Clase B: Presenta similitud con la clase A, con la diferencia que no es necesario el envío de paquetes en uplink para poder recibir en downlink por parte del servidor.
- Clase C: Admite comunicación bidireccional, con la particularidad de siempre estar escuchando y recibiendo datos por parte del servidor, excepto cuando está enviando hacia él.

Por su parte en el servidor de LoRa se utiliza MQTT, un protocolo para la comunicación entre dispositivos para IoT, en el que se utilizó un bróker o gestor Mosquito. Basado en topología estrella, este protocolo permite la gestión de la red y la transmisión de mensajes. La comunicación tiene como base el uso de topics o temas con los cuales el cliente puede tener relación, como publicador o como suscriptor. El primero le permite únicamente

publicar información o enviar mensajes al topic y el segundo suscribirse al topic para escuchar y recibir toda la información contenida allí.

La red LoRaWAN basa su principio de funcionamiento en radiofrecuencia, medio por el cual son enviados los datos desde una tarjeta LoRa hacia la antena más cercana que le esté brindando cobertura. Una vez la información es captada por la antena, es transmitida hacia un Gateway que re-direcciona la información a un servidor web LoRa donde se recibe la información.

El uso de este tipo de redes permite conectar cientos de dispositivos que con solo el módulo de LoRa pueden transmitir la información a un solo Gateway para que sea publicada en internet, sin tener que cada uno de ellos estar conectado a internet.

Capítulo III

DESARROLLO

3.1 Metodología

El sistema de monitoreo ambiental será diseñado bajo los principios del Internet de las cosas. Se implementarán por lo menos tres estaciones para medir los niveles de contaminación de los principales gases de efecto invernadero como lo son el dióxido de carbono (CO_2) y el metano (CH_4). De manera adicional se incluye la medición de temperatura y humedad relativa.

La metodología se realiza teniendo en cuenta los pasos planteados de tal manera que se logre el cumplimiento de cada uno de ellos.

Paso 1: Realizar un estudio del estado del arte de los sistemas de monitoreo de la calidad del aire para identificar los principales gases de efecto invernadero.

Para cumplir al 100% este paso, se realizó una investigación exhaustiva sobre el estado del arte actualizado acerca de las tecnologías electrónicas y de comunicaciones aplicadas a los sistemas de monitoreo de la calidad del aire y así poder identificar y clasificar los principales gases de efecto invernadero. De la misma manera, se hizo un estudio de las diferentes normas medioambientales de carácter nacional e internacional. Se espera que con un estudio de los sistemas de monitoreo de calidad del aire existentes se puedan establecer las diferencias entre los mecanismos tradicionales y aquellos que son bajo los principios del IoT.

Paso 2: Diseñar un sistema de medición de los principales gases de efecto invernadero.

Para lograr el paso 2, se propone utilizar sensores para gas CO_2 y CH_4 así como para temperatura y humedad relativa, todos ellos conectados a un módulo embebido basado en microcontrolador de 32 bits. El sistema de medición se basa en un módulo de microcontrolador (en este caso de la familia STM32), cuatro sensores (CO_2 , CH_4 , Temperatura, HR), una batería, y un transceptor inalámbrico [RF] para poder establecer la red de monitoreo. A este nivel, se estaría terminando un prototipo para el sistema de

monitoreo ambiental, el cual estaría construido de la manera más compacta posible y así poder ubicarlo en una posición y/o lugar estratégico en el municipio.

Paso 3: Implementar comunicación inalámbrica, mediante los principios de IoT, para enlazar la estación de medición con un ordenador computacional

Para el logro del paso 3 nos concentraremos en encontrar la mejor opción para para transmitir a grandes distancias la información. De entrada, se propone utilizar transceptores tipo LoRA y así poder conformar una red LoRAWAN. Se harían pruebas también con transceptores Synapse 802.15.4 y comparar las distancias máximas alcanzadas en las conexiones y con ello proponer diferentes topologías de red (estrella o mesh) en función de la superficie geográfica que se vaya a monitorear. Esta parte del trabajo incorporaría tecnología de punta tanto en transmisores como en sensores de alta precisión y se encaminará hacia servicios orientados al estado mexicano desde la municipalidad de Cd. Guzmán en su esfuerzo por la creación de un sistema regional (ver nacional) de indicadores que permita monitorear y evaluar variables ambientales, en su búsqueda de la reducción de niveles contaminantes para el año 2030.

Paso 4: Visualizar en alguna una plataforma o aplicación el de monitoreo de las estaciones de medición de gases de efecto invernadero.

Paso 5: Implementar y validar la red sensorial para la medición de gases de efecto invernadero.

Los resultados obtenidos en este punto nos permitirán definir las distancias máximas entre los dispositivos del sistema respecto del receptor.

La concentración actual de CO_2 en el aire oscila alrededor de 360ppm a 400ppm, 0,04%, con algunas variaciones día-noche, por otro lado, el metano [CH_4] es un gas de efecto invernadero relativamente potente que contribuye al calentamiento global del planeta tierra ya que tiene un potencial de calentamiento global de 23. Esto significa que en una medida de tiempo de 100 años cada kg de CH_4 calienta la tierra 23 veces más que la misma masa de CO_2 , sin embargo, hay aproximadamente 220 veces más dióxido de carbono en la atmósfera de la Tierra que el gas metano.

La concentración de dióxido de carbono al aire libre oscila entre 360 ppm [partes por millón] en áreas de aire limpio y 700 ppm en las ciudades. El valor máximo recomendado para los interiores es de 1000 ppm y el valor límite para oficinas es de 1500 ppm.

3.2 Sensor de CO MQ-7

El material sensible del sensor de gas MQ-7 es Dióxido de estaño [SnO_2], que con menor conductividad en aire limpio hace detección por método de ciclo de alta y baja temperatura, y detectar CO a baja temperatura (alimentado por 1,5 V). La conductividad del sensor aumenta junto con el CO aumento de la concentración de gas. A alta temperatura (alimentado por 5,0 V), limpia los otros gases adsorbidos a baja temperatura. Los usuarios pueden convertir el cambio de conductividad para corresponder a la señal de salida del gas concentración a través de un circuito simple.



Fig. 7 Sensor MQ-7

La figura 8 muestra las características típicas de sensibilidad del MQ-7 para varios gases $R_L=10k\Omega$, R_o : resistencia del sensor a 100ppm, CO en el aire limpio y R_s : resistencia del sensor a varias concentraciones de gases.

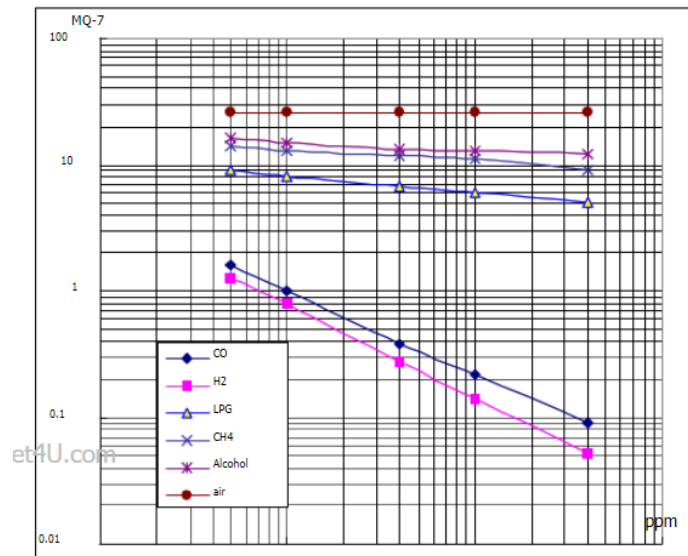


Fig. 8 Sensibilidad del sensor MQ-7 a varios gases

El principio de operación del MQ-7

La resistencia superficial del sensor R_s se obtiene mediante la salida de la señal de voltaje efectuada de la resistencia de carga R_L que se conecta en serie. La relación entre ellos se describe como: $R_s \setminus R_L = (V_c - V_{RL}) / V_{RL}$

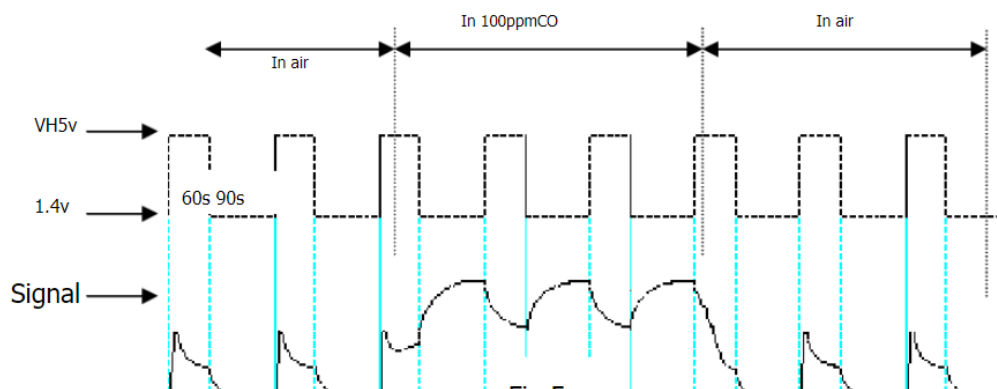


Fig. 9 Relación de Rs y RL

Cuando el sensor se cambia de aire limpio a monóxido de carbono [CO], la medición de la señal de salida se realiza dentro de uno o dos períodos completos de calentamiento (2.5 minutos de alto voltaje a bajo voltaje). La capa sensible de componentes sensibles al gas MQ-7 está hecha de SnO₂ con estabilidad, por lo que tiene una excelente estabilidad a largo plazo. Su vida útil puede alcanzar los 5 años en condiciones de uso continuo.

Ajuste de la sensibilidad

El valor de resistencia del MQ-7 es diferente a varios tipos y concentraciones de gases. Por lo tanto, al utilizar estos componentes, el ajuste de sensibilidad es muy necesario. Se recomienda calibrar el detector para 200 ppm de Co en el aire y utilizar un valor de resistencia de carga que [RL] alrededor de 10 K Ω (5 K Ω a 47 K Ω). Al medir con precisión, el punto de alarma adecuado para el detector de gas debe determinarse después de considerar la temperatura e influencia de la humedad.

Programa de ajuste de sensibilidad para el sensor MQ-7

```
void setup() {
  Serial.begin(9600); //iniciamos el monitor serial
}
void loop() {
  float sensor_volt; //variable donde guardaremos el valor del voltaje
  float RS_air; // Valor de Rs en el ambiente
  float R0; // Valor de R0 en H2, es fijo.
  float sensorValue = 0;
  // Implementamos una media aritmética de 1000 mediciones para obtener un resultado más preciso
  for(int x = 0 ; x < 1000 ; x++)
  {
    sensorValue = sensorValue + analogRead(A0);
    delay(10);
  }
  sensorValue = sensorValue/100.0;
```

```

    sensor_volt = sensorValue/1024*5.0; //Convertimos el valor analógico a Voltaje, en un rango de
0v a 5v
    RS_aire = (5.0-sensor_volt)/sensor_volt;
    R0 = RS_aire/9.8;
    Serial.print("sensor_volt = "); // Se muestra el valor de la resistencia de sensibilidad el cuál será
utilizado en el main
    Serial.print(sensor_volt);
    Serial.println("V");
    Serial.print("R0 = ");
    Serial.println(R0); // Se imprime el valor de R0
    delay(1000);
}

```

Se alimenta el sensor durante 48 horas. Se ajuste la resistencia de carga RL hasta que obtenga un valor de señal que responda a una cierta concentración de monóxido de carbono en el punto final de 90 segundos. Se ajusta la otra resistencia de carga RL hasta que obtenga un valor de señal que responda a una concentración de CO en el punto final de 60 segundos.

3.3 Sensor de CH₄ MQ-2

El sensor de gas MQ-2 tiene sensibilidad especial para medir concentraciones de gas en el aire, es sumamente utilizado para medir metano, propano, hidrógeno, y otros combustibles, siendo un dispositivo ideal para aplicaciones que requieran medir concentraciones o detectar fugas en una casa o industria.



Fig. 10 Módulo de sensor MQ-2

El sensor es analógico, la sensibilidad puede ser ajustada por un potenciómetro. Este pequeño sensor de gas detecta la presencia de gas combustible y humo en concentraciones de 300 a 10000 ppm. Incorpora una sencilla interfaz de tensión analógica que únicamente requiere un pin de entrada analógica del microcontrolador.

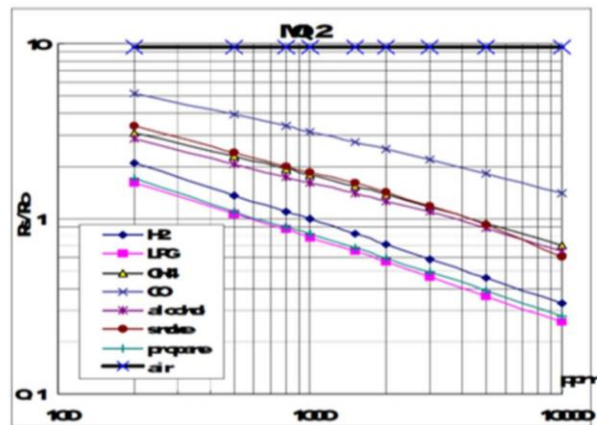


Fig.11 Sensibilidad del sensor MQ-2 a varios gases

El principio de operación del MQ-2

Estructura y configuración de MQ-2 sensor de gas, el sensor compuesto por micro tubo de cerámica Al_2O_3 , capa sensible de Dióxido de Estaño [SnO_2], el electrodo de medida y el calentador se fija en una corteza hecha por el plástico y red de acero inoxidable. El calentador proporciona las condiciones de trabajo necesarias para el trabajo de componentes sensibles. La envoltura MQ-2 tienen 6 pines, 4 de ellos se utilizan para recoger las señales, y otros se utilizan 2 para proporcionar corriente de calentamiento.

- Condiciones de trabajo
- Voltaje de circuito: 5V
- Voltaje de calentamiento: 5v
- Resistencia de carga: puede ser ajustable
- Resistencia del calentador: $33\Omega \pm 5\%$
- Consumo: menos de 800mW

Programa de ajuste de sensibilidad para el sensor MQ-2

```
#define RL_VALOR      (5) //define el valor de la resistencia mde carga en kilo ohms
#define RAL      (9.83) // resistencia del sensor en el aire limpio / RO, que se deriva de la
#define GAS_LP      (0)
float LPCurve[3] = {2.3,0.21,-0.47};
float Ro      = 10;
void setup(){
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("Iniciando ...");
  //configuracion del sensor
  Serial.print("Calibración...\n");
  Serial.print(Ro);
  Serial.print("kohm");
  Serial.print("\n");
}

void loop()
{
  Serial.print("LP:");
  Serial.print(porcentaje_gas(lecturaMQ(MQ1)/Ro,GAS_Metano) );
  Serial.print(" ppm" );
  Serial.print(" ");
  Serial.print("\n");
  delay(200);
}

float calc_res(int raw_adc)
{
  return ((float)RL_VALOR*(1023-raw_adc)/raw_adc);
}

float Calibracion(float mq_pin){
  int i;
  float val=0;
  for (i=0;i<50;i++) { //tomar múltiples muestras
    val += calc_res(analogRead(mq_pin));
    delay(500);
  }
  val = val/50; //calcular el valor medio
  val = val/RAL;
  return val;
}
```



```

float lecturaMQ(int mq_pin){
  int i;
  float rs=0;
  for (i=0;i<5;i++) {
    rs += calc_res(analogRead(mq_pin));
    delay(50);
  }
  rs = rs/5;
  return rs;
}

```

El esquema eléctrico es sencillo. Alimentamos el módulo conectando GND y 5V a los pines correspondientes de Arduino.

Ahora si queremos usar la lectura digital, conectamos la salida DO a una de las entradas digitales de Arduino.

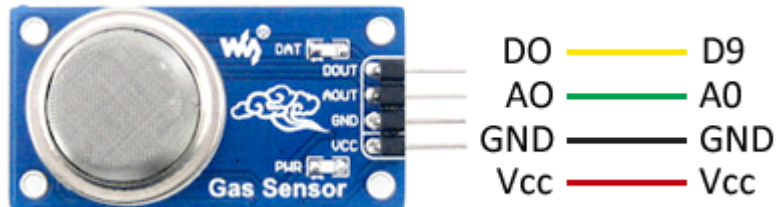


Fig. 12 Diagrama de conexiones de los módulos MQ

Opcionalmente, podemos calibrar el umbral de disparo de la salida digital con el potenciómetro instalado en el módulo.

3.4 Sensor de Temperatura y Humedad DHT22

De acuerdo a las características es un sensor ligeramente más preciso que el sensor DHT11 y cuenta con un rango un poco mayor. Ambos utilizan un único pin digital de salida y son lentos en cierto aspecto, ya que no se puede consultar más de una vez cada uno o dos segundos.

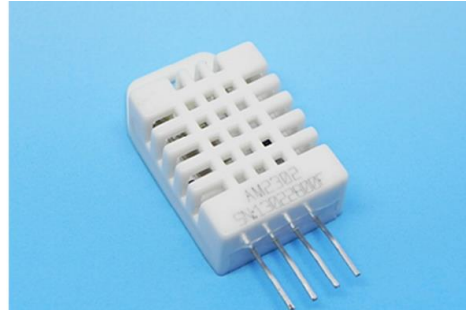


Fig. 13 Sensor DHT22

El principio de operación del sensor DHT22

- Alimentación de 3.3V a 5VDC
- Corriente máxima 2.5mA durante la conversión
- Lectura de humedad con un +/- 2% a 5% de precisión
- Lectura de temperatura con un +/- 0.5°C de precisión
- Capaz de medir humedad de 0% a 100%
- Capaz de medir temperatura de -40°C a 125°C
- No más de 0.5Hz en velocidad de muestreo (una vez cada dos segundos)
- Dimensiones: 15.1mm x 25mm x 7.7mm

Programa de ajuste de sensibilidad para el sensor DHT22

```
// #include "DHT.h"
#define DHTPIN 2
#define DHTTYPE DHT22
// Conectar pin1 del sensor a +5V
// Conectar pin 2 al pin de Arduino
// Conectar pin 4 GND
// Conectar una resistencia de 10K del pin 2 al pin 1 del sensor
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
void setup() {
    Serial.begin(9600);
    Serial.println("DHTxx test!");
    dht.begin();
}
void loop() {
    // Leyendo temperatura y humedad que toma 250ms
    / float h = dht.readHumidity();
    float t = dht.readTemperature();
    if (isnan(t) || isnan(h)) {
        Serial.println("Failed to read from DHT");
    } else {

        Serial.print("Humidity: ");
        Serial.print(h); Serial.print(" %\t");
        Serial.print("Temperature: ");
        Serial.print(t);
        Serial.println(" *C"); } }
```

3.5 Microcontrolador STM32F103C

Introducción al STM32F103C

El STM32F103 es una tarjeta de desarrollo, parecida a las placas de Arduino. Por otra parte, mientras la mayoría de Arduino cuenta con un procesador AVR, el STM32F103 tiene montado un procesador ARM, lo que se traduce en unas especificaciones ampliamente superiores.

El STM32F103 no es la única tarjeta basada en un procesador ARM. De hecho, la propia familia de Arduino tiene un modelo con procesador ARM, el Arduino DUE. También existen otras placas de desarrollo, fuera de la familia Arduino, con procesador ARM.

La particularidad del STM32F103 es que es la primera placa ARM con un costo muy bajo y con prestaciones excelentes en rendimiento.



Fig. 14 Microcontrolador STM32F103C

Características del STM32F103C

- ARM 32-bit Cortex™-M3 CPU Core
- Frecuencia de 72 MHz (1.25 DMIPS/MHz)
- 64 Kbytes de memoria Flash
- 20 Kbytes de SRAM
- 4-16 MHz cristal

- RTC (reloj de tiempo real) integrado
- Modo Sleep, Stop y Standby
- 26 entradas y salidas digitales, la mayoría tolerantes a 5V
- Interrupciones en todas las I/O
- 2 conversores A/D de 12-bit de 1 μ s, (10 entradas analógicas)
- 7 temporizadores
- 2 interface I2C
- 3 interface USARTs
- 2 interface SPIs a 18 Mbit/s
- Interface CAN
- Micro USB para alimentación de la placa y comunicaciones

Programación del STM32F103C

Para programar el microcontrolador se utiliza el IDE de Arduino que presenta una gran ventaja desde el punto de vista de la comodidad y utilidad, permitiéndonos usar un entorno sencillo y bien conocido.

Además, puede emplear muchas herramientas creadas por la comunidad de Arduino. Para nuestro caso la vinculación con Labview para leer los datos de salida en el puerto serial de nuestro ordenador personal y así enviarlos a un archivo de Excel. Se debe tener en cuenta que muchas de las librerías van a necesitar modificaciones para hacerlas funcionar en un STM32.

Arduino no soporta oficialmente las placas de desarrollo basadas en el STM32. Pero, afortunadamente, gracias al trabajo de Roger Clark y otros desarrolladores, se encuentra disponible el STM32 como extensión no oficial. El repositorio de código de compatibilidad del STM32 con Arduino es Open Source.

En primer lugar, abrimos el IDE de Arduino y nos dirigimos al gestor de placas (Herramientas/Placa/Gestor de tarjetas...). Aquí añadimos el soporte para las placas SAND (Zero o similar).

La toolchain de las STM32 necesita ficheros de estas placas ARM para la compilación (en particular "arm-none-eabi-g++").

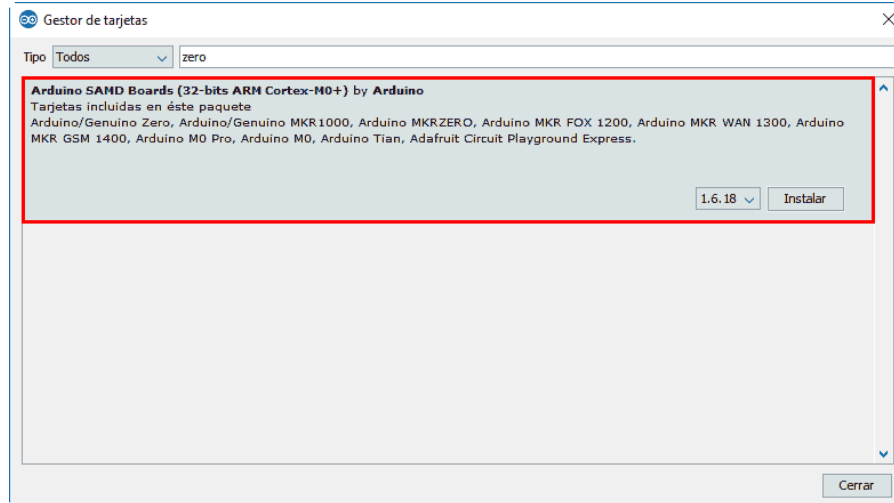


Fig. 15 agregando el fichero SAND

A continuación, vamos a preferencias y, en "Gestor de URLs adicionales de tarjetas", hacemos click en el botón de la derecha y pegamos la siguiente dirección en la ventana que aparece. http://dan.drown.org/stm32duino/package_STM32duino_index.json

Volvemos al gestor de placas, y tendremos disponibles las placas STM32. Instalamos las que necesitemos. En particular, para la BluePill (STM32F103C8T6) vamos a necesitar las STM32F1X.

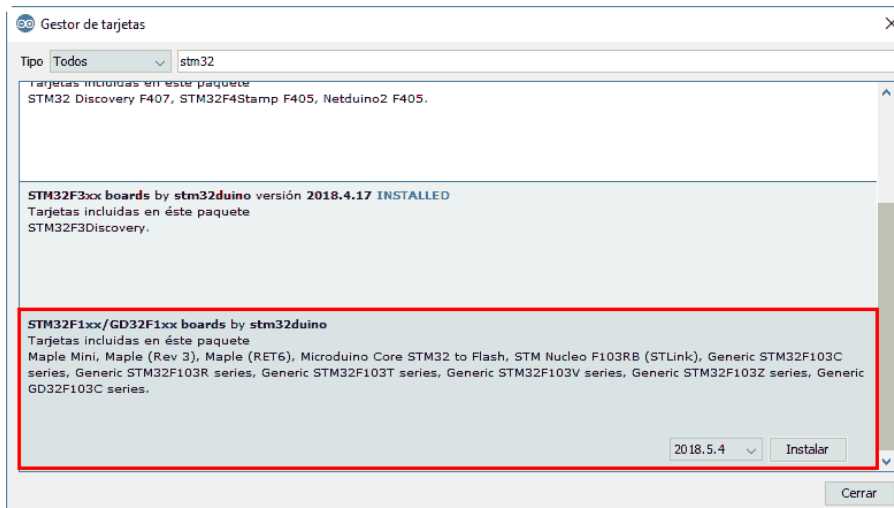


Fig. 16 Agregando las tarjetas de la familia STM32

La tensión de alimentación del STM32 es de 3.3V, por lo que tenemos que asegurar que nuestro convertor TTL trabaja a 3.3V. Normalmente funcionan tanto a 5V como a 3.3V, y se puede elegir la tensión de salida con un jumper de configuración, bien en la placa o bien en los pines de salida.

3.6 Módulo ESP8266

Introducción al ESP8266

El ESP8266 es un microprocesador de muy bajo costo con conexión Wifi integrado. La marca que lo fabrica es Espressif, en la figura 17 se muestra el módulo ESP8266. Antes del ESP8266, las opciones disponibles para conectar un Arduino a Wifi (como el Wifi Shield) eran muy caras. La aparición del ESP8266 ha revolucionado las aplicaciones IoT al ser el primer dispositivo sumamente económico que proporciona conectividad WiFi.

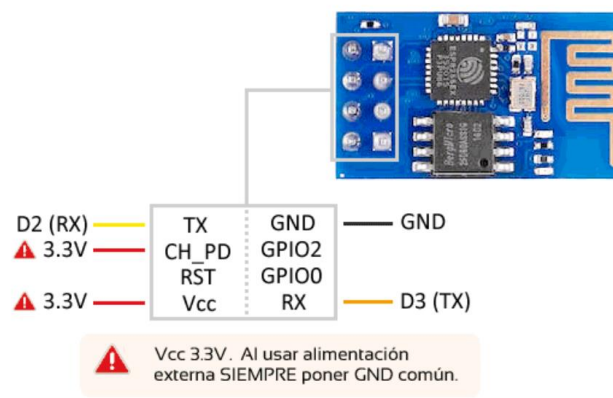
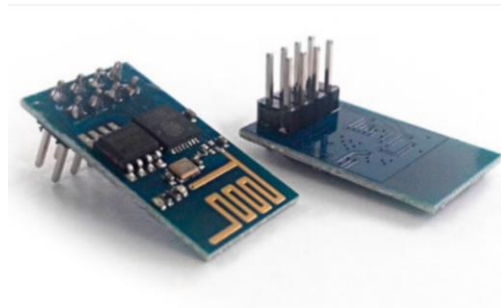


Fig. 17 Conexión del módulo ESP8266

El resto de la conexión no tiene ninguna dificultad. Por un lado, tenemos el pin CH_PD que apaga o enciende el módulo conectándolo, respectivamente, a Gnd o 3.3V. Por su parte, el pin RST reinicia el módulo si se conecta a Gnd. En algunas versiones del módulo podremos dejarlo sin conexión, pero, en general, tendremos que conectarlo a 3.3V para que el módulo arranque.

Finalmente, la comunicación con el módulo se realiza mediante puerto serie. La alimentación del módulo en ningún caso debe exceder los 3.6V. Para la conexión con Arduino podemos emplear el puerto serie normal, pero esto implica que tendremos que desconectar el ESP01 cuando queramos programar Arduino, y no podremos usar el puerto serie para la comunicación con el PC.

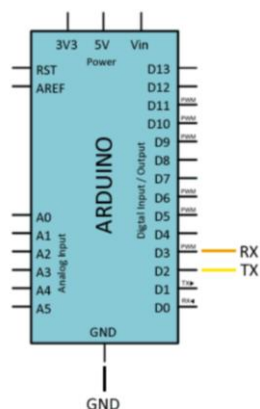


Fig. 18 Conexión del Esp8266 con Arduino o STM32

Existen varias librerías que facilitan el uso del ESP8266 junto con Arduino, una de las más completas es la librería ITEADLIB Arduino WeeESP8266

Este sketch únicamente actúa "puente" entre el puerto serie hardware conectado con el PC, y el puerto serie Soft conectado al ESP01.

Programación del módulo ESP8266

```
// La velocidad depende del modelo de ESP-01 (9600)
const int baudRate = 9600;
#include "SoftwareSerial.h"
SoftwareSerial softSerial(2, 3); // RX, TX
void setup()
{
  Serial.begin(baudRate);
  softSerial.begin(baudRate);
}
void loop()
// enviar los datos de la consola serial al ESP-01,
// y mostrar lo enviado por el ESP-01 a nuestra consola
{
  if (softSerial.available())
  {
    Serial.print((char)softSerial.read());
  }
  if (Serial.available())
  {
    softSerial.print((char)Serial.read());
  }
}
```

Programa para conexión a WIFI

```
#include "ESP8266.h"
#define SSID      "ITEAD"
#define PASSWORD  "12345678"
ESP8266 wifi(Serial1);
void setup(void)
{
  Serial.begin(9600);
  Serial.print("setup begin\r\n");

  Serial.print("FW Version: ");
  Serial.println(wifi.getVersion().c_str());

  if (wifi.setOprToStation()) {
    Serial.print("to station ok\r\n");
  } else {
    Serial.print("to station err\r\n");
  }

  if (wifi.joinAP(SSID, PASSWORD)) {
    Serial.print("Join AP success\r\n");
    Serial.print("IP: ");
    Serial.println(wifi.getLocalIP().c_str());
  } else {
    Serial.print("Join AP failure\r\n");
  }
  Serial.print("setup end\r\n");
}
void loop(void)
{
}
```

3.7 Lectura de datos del puerto serial con LabView y Excel

LabVIEW es un entorno de desarrollo orientado a científicos e ingenieros, que tiene como objetivo ayudarnos a programar gráficamente de una manera sencilla. Además, tiene bibliotecas integradas y específicas para ingeniería con funciones de software e interfaces de hardware y características para análisis, visualización y compartimiento de datos.

Ya contamos con la placa STM32, el IDE de Arduino instalado y el software de LabVIEW de National Instruments, también ya instalado el complemento NI Visa. Para poder trabajar y habilitar los puertos e interfaces de comunicación desde LabVIEW tenemos que instalar el complemento de NI Visa tal como se mencionó. Después creamos el siguiente VI.

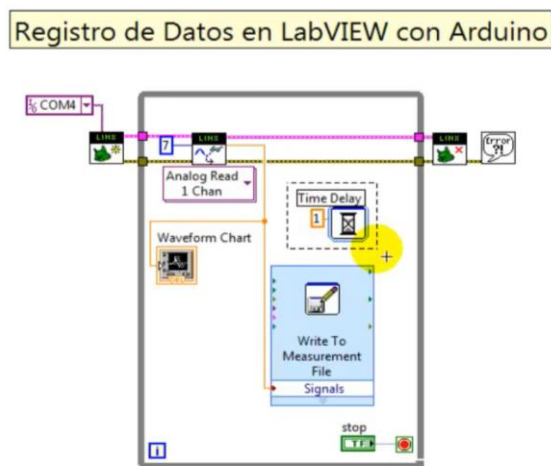


Fig. 19 VI para la lectura de datos desde el puerto serial

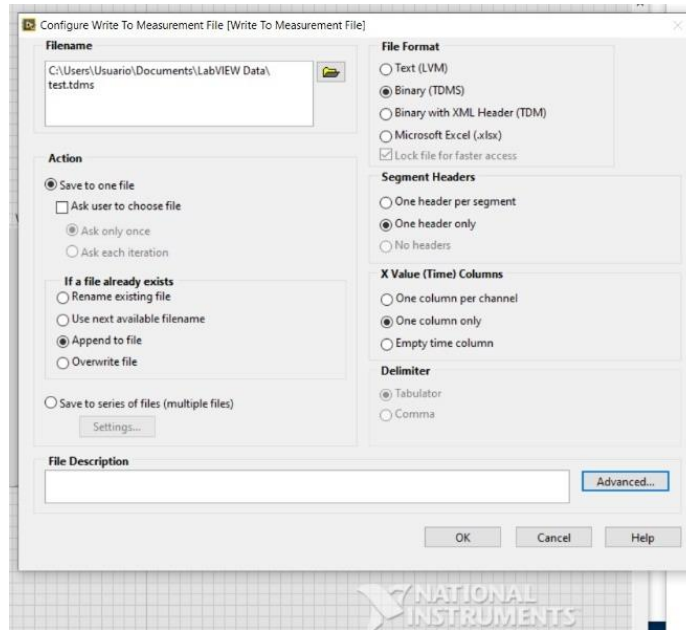


Fig. 20 Configuración para la creación de archivo Excel

Al detener la obtención de datos en Labview, se creará un archivo en Excel en el cual podremos observar los datos leídos por los sensores de nuestro sistema.

Capítulo IV

RESULTADOS

4.1 Descripción de pruebas realizadas al prototipo

Para poder prueba la implementación del sistema de medición de gases de efecto invernadero, se realizó una captura de datos ambientales durante un periodo de una semana, la adquisición de datos se realizó en ambiente cerrado de laboratorio, en donde las condiciones de temperatura, humedad, concentración de CO₂ y CH₄, varían con respecto a entornos abiertos. Esto por motivos de la pandemia de COVID-19 que afecta a nuestro país y al mundo entero.

La información arrojada por el sistema de medición es la de 13 muestras del día 10 octubre de 2020, se observan pequeñas variaciones en cada uno de sus valores. La variación para temperatura y humedad se observa claramente en la Figura 21 donde para cada una de las 13 medidas, la temperatura se conserva entre los 18-21°C, valores normales para el entorno, y la humedad entre un 53-54%.

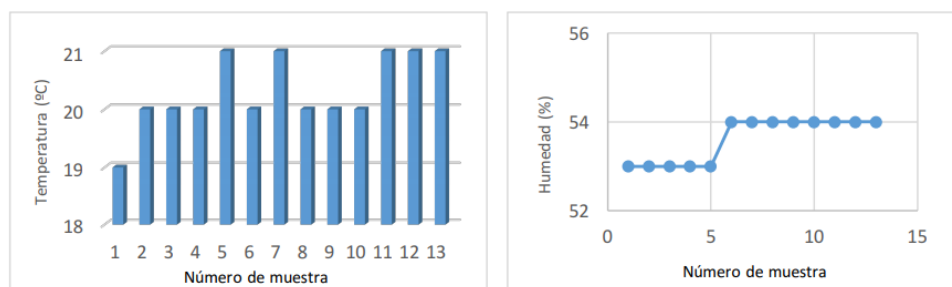


Fig. 21 Temperatura y humedad en ambiente de laboratorio.

Por otra parte, los niveles de concentración de CH₄ y CO₂ obtenidos tuvieron valores propios al ambiente. En el caso del metano el nivel que no superó las 220 PPM, dato justo para un entorno de laboratorio, teniendo en cuenta que las principales fuentes de emisión de este tipo de gases se presentan en el área agrícola y también por motivos de la descomposición de materia orgánica. En la figura 22 se muestra el comportamiento del metano.

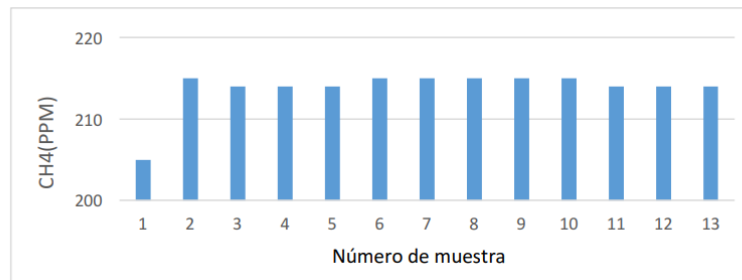


Fig. 22 Comportamiento de las mediciones de CH₄

El comportamiento de la medición de CO₂ fue distinto a los demás, presentando algunas variaciones, debido a que el proceso de respiración humana influye en la medición de este tipo de gas, y al haber varias personas en el ambiente de pruebas era totalmente previsible que se diesen estos cambios. Los datos oscilaron entre las 1100-1400 PPM, valores poco elevados para este tipo de ambientes, tal como lo afirman algunos autores al concluir que las concentraciones de CO₂ pueden superar las 1000 PPM en un ambiente cerrado.

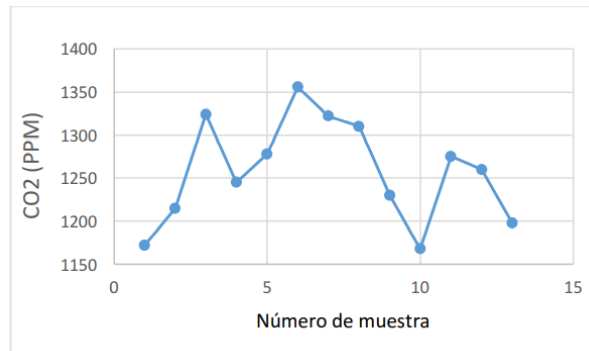


Fig. 23 Concentración de CO₂

Capítulo V

CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

5.1 Conclusiones

Los sistemas de monitoreo de la calidad del aire que existen actualmente en México tienen gran complejidad desde la captación del dato hasta el envío a algún sistema de información. Esto se debe a intervención humana en este proceso. En su mayoría estos sistemas almacenan la información localmente. Si se necesita enviar la información obtenida por los sensores, esta se envía manualmente a la entidad o persona que lo requiera. Este proceso no facilita el conocimiento de los datos. Algunas dependencias gubernamentales, industrias e instituciones necesitan saber las condiciones ambientales de determinados sectores para la toma de decisiones de control. Mediante el uso de nuevas tecnologías se han realizado aproximaciones a sistemas de monitoreo ambiental, utilizando protocolos de Internet tradicionales y redes WiFi para la transmisión de la información. Sin embargo, sistemas simples como el presentado en este proyecto, no han sido plenamente implementadas aún en el país. Por esta razón la importancia de este proyecto, al ser uno de los primeros en enfocarse en temáticas ambientales haciendo uso de nuevas tendencias tecnológicas como el IoT.

Los principales gases de efecto invernadero son Dióxido de carbono, Metano, Oxido Nitroso y vapor de agua, debido a que una vez es producido se van hacia la atmosfera. Estos gases presentan el mayor porcentaje de contaminantes que contribuyen al calentamiento global dadas sus propiedades físicas que impiden la salida de los rayos de luz de la superficie terrestre.

5.2 Trabajo Futuro

El sistema de medición está adaptado para la incorporación de sensores con un rango más amplio de medición y con una mayor precisión, lo que permite tener una mayor certeza en los datos que son captados y publicados en la aplicación web y en el repositorio de datos. La calibración de los sensores de CO₂ y CH₄, fue asumida según los parámetros y las curvas presentadas por el fabricante en la hoja de datos de cada sensor. Se contempla, crear una aplicación web para la presentación de los datos en Internet y así lograr una amplia difusión de la información.

También se contempla el prototipado del sistema en un case apropiado y de tamaño reducido.

Otro trabajo futuro será que el prototipo sea implementado en ambientes abiertos para que teniendo en pleno funcionamiento el sistema, se pueda realizar un seguimiento a los niveles reales de contaminación en un área mucho más amplia, ya que por motivos de tiempo y de la pandemia no fue posible realizarlos.

Referencias

- Adame Romero, A. (2010) Contaminación ambiental y calentamiento global. España: Editorial Trillas. ISBN:9786071703392
- Arellano-Aguilar, O. y Rendón, v. J. (2016). La huella de los plaguicidas en México. México: Greenpeace. Recuperado de:
[http://www.greenpeace.org/mexico/Global/mexico/Graficos/2016/comida-sana/Plaguicidas en agua ok EM.pdf](http://www.greenpeace.org/mexico/Global/mexico/Graficos/2016/comida-sana/Plaguicidas%20en%20agua%20ok%20EM.pdf)
- Asociación Mexicana de Horticultura Protegida [AMHPAC]. (2015). Agricultura protegida en México. Recuperado de: <http://www.amhpac.org/es/index.php/homepage/agricultura-protegida-en-mexico>
- Benavides, H y G. León, G. (2007). Información técnica sobre gases de efecto invernadero y el cambio climático. Instituto de Hidrología, Meteorología y estudios Ambientales – IDEAM Nota técnica. Recuperado de:
<http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21138/Gases+de+Efecto+Invernadero+y+el+Cambio+Climatico.pdf/7fabbbd2-9300-4280-befe-c11cf15f06dd>
- Bunyard, P y R. Mantilla, R. (2010). Caos Climático: Calentamiento global, efecto invernadero y otros factores que amenazan la vida. Grupo Editorial Educar. ISBN: 9580513066
- Cámara De Diputados Del H. Congreso De La Unión (2008). Ley de promoción y desarrollo de los bioenergéticos. Nueva Ley publicada en el Diario Oficial de la Federación el 1 de febrero de 2008 Recuperado de: <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LPDB.pdf>
- Cámara De Diputados Del H. Congreso De La Unión (2015). Ley De Transición Energética. Nueva Ley publicada en el Diario Oficial de la Federación el 24 de diciembre de 2015. Recuperada de:
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/164373/Ley_de_Transici_n_Energ_tica.pdf
- Cámara De Diputados Del H. Congreso De La Unión (2018). Ley general de cambio climático. Nueva Ley publicada en el Diario Oficial de la Federación el 6 de junio de 2012. Recuperado de:
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/347021/LGCC_130718.pdf

- Constitución Política De Los Estados Unidos Mexicanos (2016). Constitución publicada en el Diario Oficial de la Federación el 5 de febrero de 1917. Recuperado:
<http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/htm/1.htm>
- Chou, J.-S.; Truong, N.-S. Cloud Forecasting System for Monitoring and Alerting of Energy Use by Home Appliances. *Appl. Energy* 2019, 249, 166–177. [CrossRef]
- Du, T., Kang, S., Zhang, X., y Zhang, J. (2014). China's food security is threatened by the unsustainable use of water resources in North and Northwest China. *Food and Energy Security*, 3(1), 7-18. doi: 10.1002/fes3.40
- García, M. E., y Bermúdez, G. (2014). Alimentos sustentables a la carta. De la tierra a la mesa. México: Comisión nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad (Conabio).
- Gartner Incorporation (2016) "Use the IoT Platform Reference Model to Plan Your IoT Business Solutions. Recuperado de: <https://www.gartner.com/doc/3447218/use-iot-platform-reference-model>
- Gobierno de México (2013). Reforma energética. Resumen ejecutivo. Recuperado de:
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/164370/Resumen_de_la_explicacion_de_la_Reforma_Energetica11_1_.pdf
- He, X., Qiao, Y., Liu, Y., Dendler, L., Yin, C., y Martín, F. (2016). Environmental impact assessment of organic and conventional tomato production in urban greenhouses of Beijing city, China. *Journal of Cleaner Production* 134, 251-258. doi:
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.12.004>
- Housni, F. E., Macías, M. A., Magaña, G. C. R., Bracamontes, D. H., y Najine, A. (2015). Cambio de uso de suelo por los invernaderos en el municipio de Zapotlán el Grande, Jalisco, México: un análisis multitemporal. *Ingenierías*, 1(1), 40-44. Recuperado de:
<http://citt.itsm.edu.mx/ingenierias/revista2vol1/#/46>
- Inspiration Por un mundo libre de pobreza (2018). Cambio Climático. Recuperado de:
<https://www.inspiration.org/cambio-climatico>
- Institute of Electrical and Electronics Engineers [IEEE]. Towards a definition of the Internet of Things (IoT). Recuperado de:
https://iot.ieee.org/images/files/pdf/IEEE_IoT_Towards_Definition_Internet_of_Things_Revision1_27MAY15.pdf
- Instituto nacional de Ecología y Cambio climático [INECC] (2015). Inventario de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero 1990-2015. Recuperado de:
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/312044/Inventario_introduccion.pdf

- Instituto nacional de Ecología y Cambio climático [INECC] (2015). Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. Recuperado de:
<http://www.gob.mx/inecc/documentos/ley-general-del-equilibrio-ecologico-y-la-proteccion-al-ambiente>
- Instituto nacional de Ecología y Cambio climático [INECC] (2018) ¿Qué es el cambio climático? Recuperado de: <https://www.gob.mx/inecc/acciones-y-programas/que-es-el-cambio-climatico>
- Instituto nacional de Ecología y Cambio climático [INECC] (2018). Marco normativo e instrumentos económicos de México ante el cambio climático. Recuperado de:
<https://www.gob.mx/inecc/acciones-y-programas/legislacion-sobre-cambio-climatico-en-mexico?state=published>
- La ciencia es Noticia [SINC] (2010). Analizan la emisión de CO2 que produce la agricultura moderna. Recuperado de: <https://www.agenciasinc.es/Noticias/Analizan-la-emision-de-CO2-que-produce-la-agricultura-moderna>
- Lora-alliance and Technology (2017). lora-alliance. Recuperado de: <https://www.loraalliance.com>.
- Naciones Unidas [ONU] (1998). Protocolo de Kyoto de la convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático. Recuperado de:
<https://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpspan.pdf>
- Oficina Estatal de Información para el Desarrollo Rural Sustentable [OEIDRUS] Delegación Estatal de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación [SAGARPA] del estado de Jalisco [OEIDRUS Jalisco]. (2005). Padrón de Invernaderos del Estado de Jalisco Región 06 Sur. Mapoteca digital. Recuperado de: http://www.oeidrus-jalisco.gob.mx/geografia/mapoteca/show.php?idlmg=http://www.oeidrus-jalisco.gob.mx/geografia/mapoteca/invernaderos/padron_inv_06.png
- Oficina Estatal de Información para el Desarrollo Rural Sustentable [OEIDRUS] Delegación Estatal de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación [SAGARPA] del estado de Jalisco [OEIDRUS Jalisco]. (2008). Invernaderos de Jalisco. Mapoteca digital. Recuperado de: http://www.oeidrus-jalisco.gob.mx/geografia/mapoteca/show.php?idlmg=http://www.oeidrus-jalisco.gob.mx/geografia/mapoteca/invernaderos/padron_inv_jalisco2008.png
- Oficina Estatal de Información para el Desarrollo Rural Sustentable [OEIDRUS] Delegación Estatal de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación [SAGARPA] del estado de Jalisco [OEIDRUS Jalisco]. (2016). Anuarios estadísticos. Recuperado de: <http://www.oeidrus-jalisco.gob.mx/agricultura/anuarios/index.php?idcurrent=2&nivel=MUN>

- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación [SAGARPA]. (2011). Estudio de gran visión y factibilidad económica y financiera para el desarrollo de infraestructura de almacenamiento y distribución de granos y oleaginosas para el mediano y largo plazo a nivel nacional. Informe. Recuperado de:
http://www.sagarpa.gob.mx/agronegocios/Documents/Estudios_promercado/GRANOS.pdf
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación [SAGARPA]. (2012). Componente Agricultura Protegida (Proap) 2012 Proyectos Pagados. Recuperado de:
<http://www.sagarpa.gob.mx/agricultura/Documents/Padrones%202012/Final/Padron%20Agricultura%20Protegida%20Cierre%202012.pdf>
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación [SAGARPA]. (2017). Aguacate Mexicano Uno De Los Invitados Principales Al Super Bowl Li.
<http://www.sagarpa.gob.mx/Delegaciones/sonora/boletines/2017/febrero/Documents/2017B00012.pdf>
- Secretaria de gobernación (2013). NORMA Oficial Mexicana NOM-163-SEMARNAT-ENER-SCFI-2013. Recuperado de:
http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5303391&fecha=21/06/2013
- Secretaria de medio ambiente y desarrollo Territorial [SEMARNAT] (2017) Calidad de aire. Recuperado de: <http://siga.jalisco.gob.mx/aire2017/Info/Numeraliaimeca.pdf>
- Union Internacional de Telecomunicaciones [2012]. Sector de normalización de las Telecomunicaciones. Recomendación ITU-T- Y.2060. Descripción general de Internet de los objetos. Recuperado de: <https://www.itu.int/rec/T-REC-Y.2060-201206-l/es>
- Xia, F., Yang, L. T., Wang L. y A. Vinel, A. (2012). Internet of things, International Journal Communucation System, 25 (9), 1101- 2012.
- Yanga, H., Dua, T., Qiua, R., Chena, J., Wanga, G., Li c, Y., Wanga, C., Gaoc, L., y Kanga, S. (2016). Improved water use efficiency and fruit quality of greenhouse crops under regulated deficit irrigation in northwest China. Agricultural Water Management, 179(1), 193–204. doi:
<http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2016.05.029>

ANEXOS

ANEXO A

Documentación oficial

Autorización de impresión



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO

Instituto Tecnológico de Ciudad Guzmán

Ciudad Guzmán, 03/enero/2021

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

Asunto: Autorización de impresión de Tesis

ING. JOSÉ JAVIER HORTA RAMÍREZ
CANDIDATO AL GRADO DE MAESTRO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA
PRESENTE

De acuerdo con los Lineamientos para la Operación de los Estudios de Posgrado en el Tecnológico Nacional de México y las disposiciones en este Instituto, habiendo cumplido con todas las indicaciones que la Comisión Revisora realizó con respecto a su Trabajo de Tesis titulado "Sistema sensorial IoT para la medición de gases de efecto invernadero", la División de Estudios de Posgrado e Investigación de este instituto, concede la Autorización para que proceda a la impresión del mismo.

Sin otro particular, quedo de Usted.

ATENTAMENTE

*Excelencia en Educación Tecnológica
"Innova, Transforma y Creó para ser Grande"*

DRA. MARÍA GUADALUPE SÁNCHEZ CERVANTES
ENCARGADA DE LA JEFATURA DE LA DEPI

ccp. Archivo



Av. Tecnológico No. 100 C.P. 49100 A.P. 150
Cd. Guzmán, Jal. Tel. Comutador (341) 5752050
tecnm.mx | itcg.edu.mx



Designación de jurado



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO

Instituto Tecnológico de Ciudad Guzmán

Ciudad Guzmán, **08/enero/2021**

DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

Asunto: Designación de Jurado de Examen de Grado

DR. RAMÓN CHÁVEZ BRACAMONTES
PRESENTE

Por este conducto, me permito informarle que se le designa como miembro del Jurado de Examen para evaluar la obtención del Grado *Maestro en Ingeniería Electrónica*, del Estudiante **José Javier Horta Ramírez** que presenta su trabajo de Tesis *Sistema sensorial IoT para la medición de gases de efecto invernadero* con la función a continuación descrita:

Dr. Ramón Chávez Bracamontes *Presidente del Jurado*

MIE. Raúl Rentería Toriz *Secretario*

Dr. Sergio Sandoval Pérez *Vocal*

Dr. José Abel Chocoteco Campos *Suplente*

Sin otro particular, aprovecho la ocasión para enviarles un cordial saludo.

ATENTAMENTE

Excelencia en Educación Tecnológica
"Innova, Transforma y Crea para ser Grande"

DRA. MARIA GUADALUPE SÁNCHEZ CERVANTES
ENCARGADA DE LA JEFATURA DE LA DEPI

ccp. Archivo



Av. Tecnológico No. 100 C.P. 49100 A.P. 150
Cd. Guzmán, Jal. Tel. Conmutador (341) 5752050
tecnm.mx | itcg.edu.mx



ANEXO B

Actividad de Movilidad Estudiantil

Descripción de la actividad de movilidad estudiantil

INTRODUCCIÓN:

Este proyecto surgió buscando promover la vinculación de los estudiantes de maestría en electrónica con la empresa MetAs (Metrólogos Asociados), la cual solicitaba la elaboración de un proyectó, con el fin de hacer mas automatizada su sistema de medición para la calibración de equipos industriales utilizados en el área tanto eléctrica como en electrónica.

OBJETIVO:

Desarrollar una aplicación en Python que pueda comunicarse con instrumentos de medición para las calibraciones de los equipos de sus clientes.

Este pequeño programa le denominamos “INTERPRETE”, donde la idea es que pueda un equipo de medición ejecute comandos SCPI desde un programa, en base a un dispositivo de comunicación conocido como GPIB.

Nota descriptiva en el convenio entregado y firmado:

El desarrollo del interprete (*entiéndase que: ejecuta el programa directamente traduciendo cada sentencia en una secuencia de uno o más subrutinas ya compiladas en código máquina*) se realizará inicialmente para un solo equipo de medición y con instrucciones básicas definidas en la etapa de definición de especificaciones.

El bus GPIB o *General Purpose Interface Bus*, (bus de interface de propósito general), diseñado para soportar el *estándar de comunicación: IEEE 488.1, IEEE 488.2*, cuya finalidad es interconectar varios equipos (más de 15) controlarlos y operarlos de manera simultánea con su bus de comunicación.

Para hacer la programación, debemos conocer los SCPI o *Estándar Commands for Programmable Instrumentation*, los comandos estándar para la programación de los instrumentos, los cuales fueron adoptados por las marcas más reconocidas e importantes en la fabricación de los equipos de medición como:

- Agilent: Agilent Technologies

- Cec: Capital Equipment Corporation
- Iotech: IOtech hardware.
- Keithley: Keithley
- Mcc: Measurement Computing Corporation
- Ni: National Instruments.

Para tener una absoluta comunicación entre el CPU y los equipos de medición, es importante el uso e instalación de los controladores originales del bus GPIB (en nuestro caso NI-488.2) y de la máscara de VISA (*Virtual Instrument Estandar Architecture*): esta máscara nos permite diseñar un programa o software, para nuestro caso un “intérprete” que mediante comandos específicos de cada equipo, controlemos y ejecutemos una serie de órdenes y acciones, de tal manera que el bus GPIB permita que el equipo de medición y la CPU, envíen y reciban datos, en pocas palabras un BUS para la entrada y salida de información I/O, recordamos que esto es una especificación definida por AGILENT Y NATIONAL INSTRUMENT.

- La macro de Excel.
 - Se programo en Python un ejemplo de calibración de voltaje continuo tal como lo hace la macro de Excel,
 - La macro de Excel es la principal herramienta para el metrologo en ella se realizan las calibraciones de diversas magnitudes (VCD, VAC, OHM, CAP, ICD, IAC).
- Llenado de valores.
 - Para las mediciones de voltaje en la macro, cuando se corre el intérprete en Python, en automático se llena el CSV según la macro que nos fue entregada.
 - El llenado de valores se da para todas las mediciones a realizar, para esto se necesitan modificaciones mínimas (cambios de instrucciones propias de la magnitud a calibrar) o en su caso una ampliación de dicho programa para la ejecución de la calibración de todas las magnitudes en uno solo.
- De la usabilidad de interprete de Python.

- El Excel donde se llenan los valores para las mediciones de calibración, es suficiente convertido a un CSV y direccionarlo en una línea de comando sin necesidad de más.
- De la comunicación.
 - Después de varias pruebas y con el apoyo interno de METAS, se logró hacer la comunicación con el GPIB de National Instruments, sustituyendo el de PROLOGIX
 - Se dejó instalado los programas o software necesario para la comunicación
 - Dentro del Intérprete de Python, se describen los SCPI específicos del GPIB para su comunicación continua, leer y escribir, enviar y recibir.
- De la precisión de los equipos.
 - La precisión de la medición en los equipos prevalece, puesto que las toma con todos los dígitos que el instrumento entrega.

De esta manera, queda por concluida la parte correspondiente al acuerdo firmado según los alcances definidos en la nota aclaratoria del convenio entregado.

Acciones por realizar para la calibración de la magnitud voltaje mediante Python:

1. Instalación de Python (la versión de su preferencia) en la maquina donde se desea ejecutar el programa.
2. Instalación del editor de texto de su preferencia, en caso de requerirlo.
3. Descarga e instalación de controlador NI-VISA, se puede realizar en el siguiente link, <https://www.ni.com/es-mx/support/downloads/drivers/download.ni-visa.html#305862>.
4. Instalación de los controladores del GPIB (NI-488.2).
5. Instalación de las librerías necesarias para la ejecución del código (pandas, numpy, time, visa, pyvisa).

6. Ejecución del siguiente código desarrollado en Python, los comentarios se realizan con un # y estos darán una breve descripción de lo que se realiza, estarán marcados con color azul en este documento:

```
# -*- coding: utf-8 -*-
import pandas as pd
import numpy as np
import time
import pyvisa

#Instrucciones para operar con VISA
rm=pyvisa.ResourceManager()
rm.list_resources()

#Dirección del recurso GPIB
inst=rm.open_resource('ASRL4:INSTR')
print(inst.write("RESET"))

#Lectura de la macro a calibrar, convertida en archivo .CSV previamente
df=pd.read_csv("MacroVDC.csv",header=None)
dataframes=[]
dataframemaster=pd.DataFrame()
def llenar(data):
    fila,columna=data.shape

#Llenado del offset
for i in range(fila):#Filas
    if i<2:
        data[5][i]=input("Introduce el valor del "+str(data[4][i])+"\n")
    else:
        #Llenado de las lecturas
        print ("Unidad de medida: ",data[3][2])
        #Mandar la unidad de medida
        if data[3][2]=="V":
            print ("-----")
```



```

    print ("OUT "+str(data[2][i])+" "+str(data[3][2])+"; OPER")
    print(inst.write("OUT "+str(data[2][i])+" "+str(data[3][2])+", 100 HZ; OPER"))
print ("Se mandaron: "+str(data[2][i]))
print(inst.write("++addr 4")) #Se direcciona el equipo a usar
print(inst.write("OUTP ON")) #Enciende la salida de la fuente E3645A
print(inst.write('SOUR:VOLT {}'.format(str(data[2][i])))) #Se define la instrucción
de la unidad a calibrar, en este caso VOLT

print(inst.write("++addr 5")) #Se direcciona el equipo a usar
for j in range(5,columna-3): #Columnas
    data[j][i]=str(inst.query("READ?")) #Aquí se realiza la lectura del equipo
    print (data[j][i])
    time.sleep(1)

#-----
#-- Crear todos los data frames que hay dentro de la hoja
#-----

ban=0
inicio=0
fin=0
for x in range(1,len(df[1])):
    if len(str(df[1][x]))>3 and ban==0:
        inicio=x
        ban=1
    if len(str(df[1][x]))<4 and ban==1:
        fin=x
    dataframes.append(pd.DataFrame(np.array(df.iloc[inicio-2:fin, 1:15])))
    ban=0
for x in dataframes:
    print ("Valor a calibrar",x[2][0])
    llenar(x)

```

```
dataframemaster=pd.concat(dataframes)
dataframemaster.to_csv('MacroVDC_Lleno.csv',header=False,index=False) #Creación de
nuevo archivo CSV.
```

REFERENCIAS

- [1] A. Fernández, *Python 3 al descubierto*, 2da ed., Alfaomega, Ciudad de México.
- [2] NI-VISA <https://www.ni.com/es-mx/support/downloads/drivers/download.ni-visa.html#305862>
- [3] PY-VISA <https://pyvisa.readthedocs.io/en/latest/>
- [4] E. Duchesnay, *Statics and Machine Learning in Python*, 2018

RESPONSABLES, Por el “INSTITUTO”

Cuerpo académico de ‘Diseño de Sistemas Electrónicos’, representado en este proyecto específico por el docente:

Dr. Ramón Chávez Bracamontes, director del proyecto, rachavez@itcg.edu.mx

Dra. Karla Puga Nathal, Colaboradora, karlapn4@gmail.com

Dr. Humberto Bracamontes del Toro, Colaborador, hbdeltoro@gmail.com

Dr. Jesús Ezequiel Molinar Solís, Colaborador, molinar@gmail.com

Dr. Jaime Jalomo Cuevas, Colaborador, jaimejc@itcg.edu.mx

Alumnos de Posgrado en Ingeniería Electrónica y Ciencias de la Computación

- Ing. Edith Preciado Martínez, No. Control: M18290012, edith.preciado93@gmail.com
- Ing. José Javier Horta Ramírez, No. Control: M18290010, j.javierhorta.r@gmail.com
- Ing. Heriberto Álvarez Contreras, No. Control: M18290007, Heriberto_alvarez3@hotmail.com
- Ing. Salvador Vázquez Cárdenas, No. Control: M18290020, chava_945@hotmail.com
- Ing. Pablo Medina Briseño, No. Control: M18290011, pablobrimed@gmail.com

Constancia del proyecto de movilidad



Apasionados por la Metrología

Centro de Metrología

METAS S. A. DE C. V.
Antonio Caso # 246, Col. Centro
CP: 49000, Cd. Guzmán, Jalisco, México
6 de noviembre de 2019

M.A. María Isabel Álvarez Hernández

Directora del Instituto Tecnológico de Ciudad Guzmán

P R E S E N T E

Por medio de la presente hago constar que el C. **José Javier Horta Ramírez**, alumno del posgrado de Ingeniería Electrónica del Instituto Tecnológico de Ciudad Guzmán realizó actividades de investigación para nuestra empresa MetAs S. A. de C. V. en el prototipo de desarrollo de software denominado **"DESARROLLO DE UN INTÉRPRETE PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE SISTEMAS DE CALIBRACIÓN – AUTOPYMED"**.

Caba hacer notar que el esquema bajo el cual se desarrolló la actividad de desarrollo de software que aquí se menciona fue bajo una estadía del alumno como actividad de movilidad estudiantil en la empresa que represento, durante el periodo de abril a agosto de 2019. Así mismo hacemos mención que la participación del alumno José Javier fue de vital importancia para el logro de los resultados del proyecto antes mencionado, mismo que servirá de referencia para avanzar en las metas que nuestra empresa persigue a largo plazo como es la gestión automatizada en los servicios de metrología eléctrica a todo nuestro mercado tanto nacional como internacional.

Sin otro en particular, quedo a sus órdenes y agradeciendo su atención le envío un cordial saludo.

Atentamente

M. en I. Juan Benjamín Soriano Cardosa
Representante Legal de METAS S. A. DE C. V.

Centro de Metrología

S.A. de C.V.
Apasionados por la Metrología

Página 1 de 1

MetAs, S.A. de C.V.
01 (341) 4 13 61 23 Multi-línea
Internet: www.metas.com.mx E-mail: metas@metas.com.mx
Antonio Caso # 246, Colonia: Centro, CP: 49 000, Cd. Guzmán, Mpio: Zapotlán El Grande,
Jalisco, México.

ANEXO C

Datos técnicos de materiales

Hoja de datos de sensor MQ-7

HANWEI ELECTRONICS CO., LTD

MQ-7

<http://www.hwsensor.com>

TECHNICAL DATA

MQ-7 GAS SENSOR

FEATURES

- * High sensitivity to carbon monoxide
- * Stable and long life

APPLICATION

They are used in gas detecting equipment for carbon monoxide(CO) in family and industry or car.

SPECIFICATIONS

A. Standard work condition

Symbol	Parameter name	Technical condition	Remark
Vc	circuit voltage	5V±0.1	Ac or Dc
V _H (H)	Heating voltage (high)	5V±0.1	Ac or Dc
V _H (L)	Heating voltage (low)	1.4V±0.1	Ac or Dc
R _L	Load resistance	Can adjust	
R _H	Heating resistance	33 Ω ± 5%	Room temperature
T _H (H)	Heating time (high)	60 ± 1 seconds	
T _H (L)	Heating time (low)	90 ± 1 seconds	
PH	Heating consumption	About 350mW	

b. Environment conditions

Symbol	Parameters	Technical conditions	Remark
T _{ao}	Using temperature	-20℃-50℃	
T _{as}	Storage temperature	-20℃-50℃	Advice using scope
RH	Relative humidity	Less than 95%RH	
O ₂	Oxygen concentration	21%(stand condition) the oxygen concentration can affect the sensitivity characteristic	Minimum value is over 2%

c. Sensitivity characteristic

symbol	Parameters	Technical parameters	Remark
R _s	Surface resistance Of sensitive body	2-20k	In 100ppm Carbon Monoxide
a (300/100ppm)	Concentration slope rate	Less than 0.5	R _s (300ppm)/R _s (100ppm)
Standard working condition	Temperature -20℃ ± 2℃ relative humidity 65% ± 5% RL:10K Ω ± 5% Vc:5V±0.1V VH:5V±0.1V VH:1.4V±0.1V		
Preheat time	No less than 48 hours	Detecting range: 20ppm-2000ppm carbon monoxide	

D. Structure and configuration, basic measuring circuit

Structure and configuration of MQ-7 gas sensor is shown as Fig. 1 (Configuration A or B), sensor composed by micro AL₂O₃ ceramic tube, Tin Dioxide (SnO₂) sensitive layer, measuring electrode and heater are fixed into a crust made by plastic and stainless steel net. The heater provides necessary work conditions for work of sensitive components. The enveloped MQ-7 have

TEL:86-371-67169070 67169080

FAX:86-371-67169090

Email: sales@hwsensor.com

6 pin, 4 of them are used to fetch signals, and other 2 are used for providing heating current.

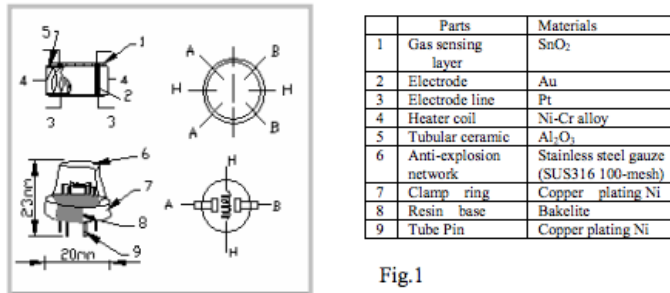


Fig.1

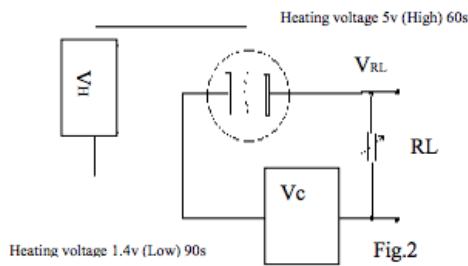
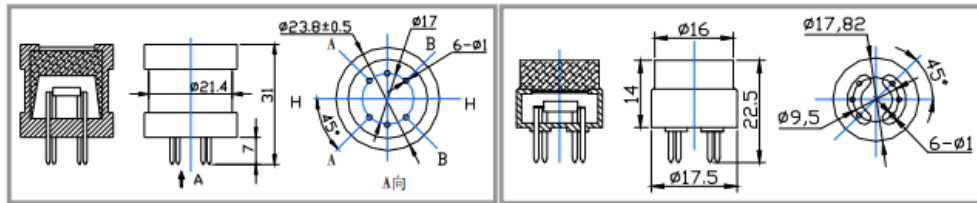


Fig.2

Standard circuit:

As shown in Fig 2, standard measuring circuit of MQ-7 sensitive components consists of 2 parts. one is heating circuit having time control function (the high voltage and the low voltage work circularly). The second is the signal output circuit, it can accurately respond changes of surface resistance of the sensor.

Electric parameter measurement circuit is shown as Fig.2

E. Sensitivity characteristic curve

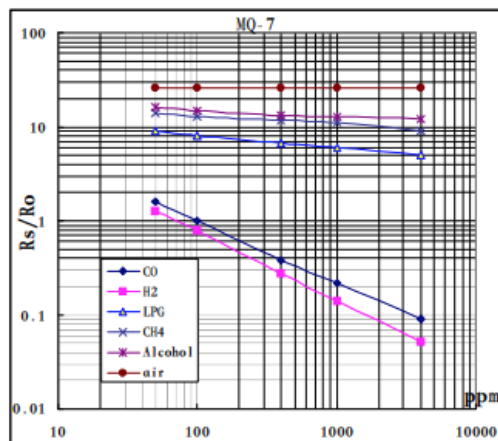


Fig.3 sensitivity characteristics of the MQ-7

Fig.3 is shows the typical sensitivity characteristics of the MQ-7 for several gases.

in their: Temp: 20℃、
Humidity: 65%、
O₂ concentration 21%
RL=10k Ω

Ro: sensor resistance at 100ppm

CO in the clean air.

Rs: sensor resistance at various concentrations of gases.

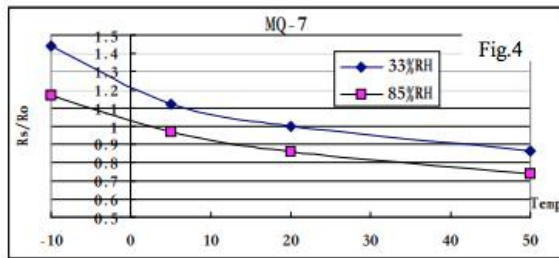


Fig.4 is shows the typical dependence of the MQ-7 on temperature and humidity.

Ro: sensor resistance at 100ppm CO in air at 33%RH and 20degree.

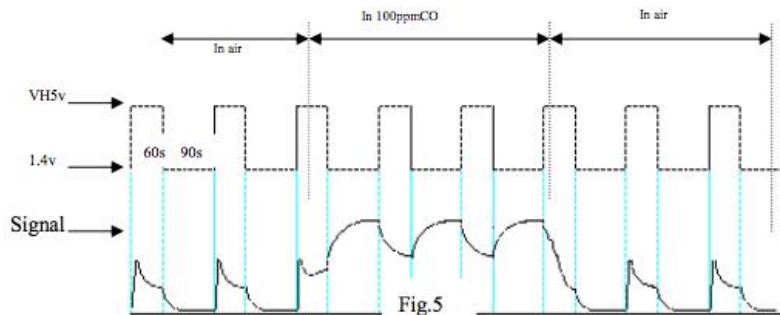
Rs: sensor resistance at 100ppm CO at different temperatures and humidities.

OPERATION PRINCIPLE

The surface resistance of the sensor R_s is obtained through effected voltage signal output of the load resistance R_L which series-wound. The relationship between them is described:

$$R_s/R_L = (V_c - V_{RL}) / V_{RL}$$

Fig. 5 shows alterable situation of R_L signal output measured by using Fig. 2 circuit output



signal when the sensor is shifted from clean air to carbon monoxide (CO), output signal measurement is made within one or two complete heating period (2.5 minute from high voltage to low voltage).

Sensitive layer of MQ-7 gas sensitive components is made of SnO_2 with stability, So, it has excellent long term stability. Its service life can reach 5 years under using condition.

SENSITIVITY ADJUSTMENT

Resistance value of MQ-7 is difference to various kinds and various concentration gases. So, When using this components, sensitivity adjustment is very necessary. we recommend that you calibrate the detector for 200ppm CO in air and use value of Load resistance that (R_L) about 10 K Ω (5K Ω to 47 K Ω).

When accurately measuring, the proper alarm point for the gas detector should be determined after considering the temperature and humidity influence. The sensitivity adjusting program:

- Connect the sensor to the application circuit.
- Turn on the power, keep preheating through electricity over 48 hours.
- Adjust the load resistance R_L until you get a signal value which is respond to a certain carbon monoxide concentration at the end point of 90 seconds.
- Adjust the another load resistance R_L until you get a signal value which is respond to a CO concentration at the end point of 60 seconds.

[Supplying special IC solutions, More detailed technical information, please contact us.](#)

Hoja de datos de sensor MQ-2

TECHNICAL DATA

MQ-2 GAS SENSOR

FEATURES

Wide detecting scope
Stable and long life

Fast response and High sensitivity
Simple drive circuit

APPLICATION

They are used in gas leakage detecting equipments in family and industry, are suitable for detecting of LPG, i-butane, propane, methane ,alcohol, Hydrogen, smoke.

SPECIFICATIONS

A. Standard work condition

Symbol	Parameter name	Technical condition	Remarks
V _c	Circuit voltage	5V±0.1	AC OR DC
V _H	Heating voltage	5V±0.1	ACOR DC
R _L	Load resistance	can adjust	
R _H	Heater resistance	33 Ω ± 5%	Room Tem
P _H	Heating consumption	less than 800mw	

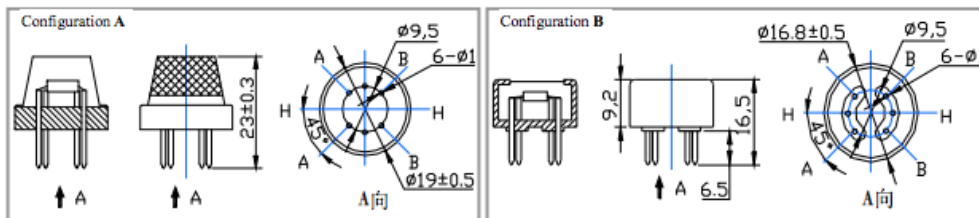
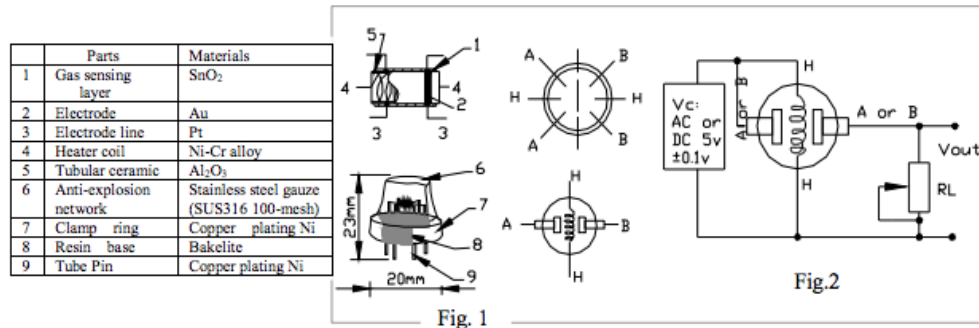
B. Environment condition

Symbol	Parameter name	Technical condition	Remarks
T _{ao}	Using Tem	-20°C-50°C	
T _{as}	Storage Tem	-20°C-70°C	
R _H	Related humidity	less than 95%Rh	
O ₂	Oxygen concentration	21%(standard condition)Oxygen concentration can affect sensitivity	minimum value is over 2%

C. Sensitivity characteristic

Symbol	Parameter name	Technical parameter	Remarks
R _s	Sensing Resistance	3K Ω -30K Ω (1000ppm iso-butane)	Detecting concentration scope: 200ppm-5000ppm LPG and propane 300ppm-5000ppm butane 5000ppm-20000ppm methane 300ppm-5000ppm H ₂ 100ppm-2000ppm Alcohol
α (3000/1000) isobutane	Concentration Slope rate	≤ 0.6	
Standard Detecting Condition	Temp: 20°C ± 2°C V _c : 5V ± 0.1 Humidity: 65% ± 5% V _H : 5V ± 0.1		
Preheat time	Over 24 hour		

D. Structure and configuration, basic measuring circuit



ANEXO D

Productos registrados ante INDAUTOR

Registro de Software

“AUTOPYMED-automatización de sistemas de calibración”

CERTIFICADO

Registro Público del Derecho de Autor

Para los efectos de los artículos 13, 162, 163 fracción I, 164 fracción I, 168, 169, 209 fracción III y demás relativos de la Ley Federal del Derecho de Autor, se hace constar que la **OBRA** cuyas especificaciones aparecen a continuación, ha quedado inscrita en el Registro Público del Derecho de Autor, con los siguientes datos:

AUTORES: ALVAREZ CONTRERAS HERIBERTO
CHAVEZ BRACAMONTES RAMON
HORTA RAMIREZ JOSE JAVIER
MEDINA BRISEÑO PABLO
PRECIADO MARTINEZ EDITH
VAZQUEZ CARDENAS SALVADOR

TITULO: AUTOPYMED - AUTOMATIZACION DE SISTEMAS DE CALIBRACION

RAMA: PROGRAMAS DE COMPUTACION

TITULARES: ALVAREZ CONTRERAS HERIBERTO
CHAVEZ BRACAMONTES RAMON
HORTA RAMIREZ JOSE JAVIER
MEDINA BRISEÑO PABLO
PRECIADO MARTINEZ EDITH
VAZQUEZ CARDENAS SALVADOR

Con fundamento en lo establecido por el artículo 168 de la Ley Federal del Derecho de Autor, las inscripciones en el registro establecen la presunción de ser ciertos los hechos y actos que en ellas consten, salvo prueba en contrario. Toda inscripción deja a salvo los derechos de terceros. Si surge controversia, los efectos de la inscripción quedarán suspendidos en tanto se pronuncie resolución firme por autoridad competente.

Con fundamento en los artículos 2, 208, 209 fracción III y 211 de la Ley Federal del Derecho de Autor; artículos 64, 103 fracción N y 104 del Reglamento de la Ley Federal del Derecho de Autor; artículos 1, 3 fracción I, 4, 8 fracción I y 9 del Reglamento Interior del Instituto Nacional del Derecho de Autor, se expide el presente certificado.

Número de Registro: 03-2019-070813534400-01

México D.F., a 12 de julio de 2019

EL DIRECTOR DEL REGISTRO PÚBLICO DEL DERECHO DE AUTOR

JESUS PARETS GOMEZ


SECRETARÍA DE CULTURA
INSTITUTO NACIONAL DEL
DERECHO DE AUTOR
DIRECCIÓN DE REGISTRO PÚBLICO
DEL DERECHO DE AUTOR

Registro de Software

“Resistencia de Sensibilidad Sensor MQ4”



Dirección del Registro Público del Derecho de Autor

CONSTANCIA DE
REGISTRO DE OBRA
PROVISIONAL

29-10-2020

Número de Registro Provisional: 7129

Tipo de obra: PROGRAMA DE COMPUTO

HORTA RAMÍREZ JOSÉ JAVIER, CHAVEZ BRACAMONTES RAMON

Con fundamento en lo dispuesto en los artículos 163, 168 y 209 fracción III de la Ley Federal del Derecho de Autor 57, 59, 64 y 105 de su Reglamento, así como en el artículo 28, tercer párrafo, de la Ley Federal de Procedimiento Administrativo, se tiene por recibida la solicitud de registro de obra, vía electrónica, y anexos que acompaña a la misma, para su atención y desahogo, en términos de lo dispuesto en el artículo tercero del Acuerdo de fecha 3 de abril de 2020, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 17 de los mismos mes y año, por el que se continúa con la suspensión de los plazos y términos legales en el Instituto Nacional del Derecho de Autor por causa de fuerza mayor.

Habiéndose realizado por esta autoridad el estudio de forma y fondo respectivo, en términos de la Ley Federal del Derecho de Autor y su Reglamento, se le comunica que se tiene por presentada la solicitud de que se trata y por registrada, de manera provisional, bajo el folio que se indica en el presente documento, la obra de que se trata, por lo que, a partir de que se reanuden las actividades que se encuentran suspendidas por parte de este Instituto y con objeto de concluir con el trámite que inició, se le informa que cuenta con un término de 180 días naturales o bien en la fecha que para el efecto se señale, para concluir su trámite, debiendo presentar los documentos originales correspondientes y, consecuentemente, le sea entregado el Certificado de Registro en el que constarán dos fechas, la de la presente constancia y la de expedición; es importante hacer de su conocimiento que, de no dar seguimiento al trámite hasta su conclusión en los términos que en este párrafo se señalan, esta autoridad decretará desechar el mismo.

Datos de la obra materia de la solicitud de registro:

Autor: HORTA RAMÍREZ JOSÉ JAVIER, CHAVEZ BRACAMONTES RAMON

Título: RESISTENCIA DE SENSIBILIDAD SENSOR MQ4

Rama: PROGRAMA DE COMPUTO

Titular: HORTA RAMÍREZ JOSÉ JAVIER, CHAVEZ BRACAMONTES RAMON



Con fundamento en lo dispuesto en los artículos 28 tercer párrafo y 69-C, último párrafo, en relación con el diverso 35 último párrafo, todos ellos de la Ley Federal de Procedimiento Administrativo, el presente documento no contiene firma autógrafa debido a la emergencia sanitaria, por lo que existe impedimento para imprimirlo, suscribirlo y escanearlo, sin embargo, se reconoce y ratifica su contenido. Para verificación de la presente constancia ponerse en contacto con el Director del Registro Público del Derecho de Autor.

Si su trámite proviene de algún Estado de la República, reanudadas las actividades del Instituto que se encuentran suspendidas, podrá enviar los documentos originales a través de la Delegación Federal de la SEP



2020
LEONA VICARIO

