



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

MEDIDOR DE CO₂ Y DE PARTÍCULAS PARA LA MEDICIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE A

BAJO COSTO

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO:

INGENIERO EN MECATRÓNICA

PRESENTADO POR:

21611003 VÍCTOR KALEB LARA TURCIOS

ASESOR: ING. JOSÉ LUIS ORDOÑEZ

CAMPUS: SAN PEDRO SULA; OCTUBRE, 2020

DEDICATORIA

A mi abuela Otilia, a mi mama Margarita y mi Tía Zoila, por apoyarme en mi etapa de formación académica, todos mis logros se lo dedico a ellas, por ser las mejores y estar conmigo en todo momento, las amo con todo mi corazón.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a:

Mi abuela Otilia Canales, por apoyarme en mi etapa universitaria, sin ella nunca hubiera podido realizar mi sueño de estudiar Ingeniería en Mecatrónica.

Mildred Núñez por tanta ayuda y apoyo que me ha dado en poder culminar mi carrera, también por enriquecer mi vida personal y por ser una persona importante en mi vida.

Mi asesor metodológico, el Ing. José Luis Ordoñez por contribuir y ayudarme en el desarrollo de esta investigación.

La Universidad Tecnológica Centroamericana (UNITEC) por permitirme desarrollar este proyecto de investigación en la carrera de Ingeniería en Mecatrónica.

A todos ellos gracias porque fueron complementos esenciales para formar la persona que ahora soy.

EPÍGRAFE

"Walk into the future, opening new doors and doing new things, because we are curious ... and curiosity continues to lead us down new paths."

-Walt Disney

RESUMEN EJECUTIVO

El aire es una necesidad para todos los seres vivos, pero la calidad del aire es afectada por diferentes contaminantes, volviéndose un problema a nivel mundial. Por la baja calidad del aire que se respira, puede causar diferentes tipos de enfermedades crónicas y agudas, hasta llegar a ser mortales. Los medidores que miden los contaminantes que afectan la calidad del aire, tienen costos muy elevados, dificultando que países como Honduras inviertan para solucionar este problema. Por eso se propone desarrollar un medidor que sea de bajo costo para poder solucionar este problema que está afectando a muchas personas en el mundo. Haciendo uso de la metodología en V, se propone desarrollar este medidor en 6 niveles. Como resultado se obtiene un medidor que es capaz de medir la concentración del CO₂, PM_{2.5} y PM₁₀. También contará con comunicación inalámbrica, que ayudara facilitar la adquirir lo datos de diferentes medidores en la ciudad. Se obtiene un medidor con un costo de \$294.89 siendo más accesible que otros medidores que tienen costos de \$4,000.00 con las mismas características.

Palabras clave: Partícula en suspensión, Microcontrolador, CO₂, Bajo costo.

ABSTRACT

Air is a necessity for all living beings, but air quality is affected by different pollutants, becoming a problem worldwide. Due to the low quality of the air that is breathed, it can cause different types of chronic and acute diseases, up to being fatal. The meters that measure the pollutants that affect air quality have very high costs, making it difficult for countries like Honduras to invest to solve this problem. That is why it is proposed to develop a meter that is low cost in order to solve this problem that is affecting many people in the world. Using the V methodology, it is proposed to develop this meter in 6 levels. As a result, a meter is obtained that is capable of measuring the concentration of CO₂, PM_{2.5} and PM₁₀. It will also have wireless communication, which will help facilitate the acquisition of data from different meters in the city. You get a meter with a cost of \$ 294.89 being more accessible like other meters that have costs of \$ 4000.00 with the same characteristics.

Keywords: particulate matter, microcontroller, CO₂, low cost.

ÍNDICE

I.	Introducción	1
II.	Planteamiento del Problema.....	2
2.1	Precedentes del Problema	2
2.2	Definición del Problema.....	3
2.3	Justificación.....	3
2.4	Preguntas de Investigación.....	4
2.5	Objetivos	4
2.5.1	Objetivos General	4
2.5.2	Objetivos específicos.....	4
III.	Marco Teórico.....	5
3.1	La calidad del aire	5
3.1.1	Principales organizaciones de estándares de calidad del aire	5
3.1.2	Contaminantes en el aire.....	6
3.1.3	Principios básicos sobre contaminantes en el aire	6
3.1.4	Contaminantes de más riesgo en el aire	8
3.1.5	Estándares de la calidad del aire	13
3.1.6	La calidad del aire a nivel mundial.....	14
3.1.7	Medidores comerciales	18
3.1.8	Sensores de gases de bajo costo	19
3.1.9	Sensor de PM.....	21
3.2	Temperatura y Humedad.....	22
3.3	Comunicación Inalámbrica.....	23

3.3.1	Sistemas inalámbricos.....	23
3.3.2	Comunicaciones de RF comunes.....	24
3.3.3	Radio frecuencias de largo alcance	25
3.4	Diseño modular	26
3.4.1	Tipo de modularidad.....	27
Metodología		28
4.1	Enfoque y Método.....	28
4.2	Variables de Investigación.....	28
4.3	Fuentes de Información.....	29
4.4	Materiales	30
4.5	Método de estudio	30
4.6	Etapa Inicial: Requerimientos.....	31
4.7	Ciclo de la metodología V.....	32
4.7.1	Nivel de los sistemas.....	32
4.7.2	Nivel de los subsistemas.....	33
4.7.3	Etapa III Realización de Partes.....	33
4.7.4	Etapa IV Integración de Partes	34
4.7.5	Etapa V Integración de subsistema	34
4.7.6	Etapa VI Integración de Sistemas.....	34
4.8	Cronograma de Actividades.....	34
V.	Resultados y Análisis.....	36
5.1	Análisis de sustento del marco teórico	36
5.2	Etapa III: Hacer las partes.....	36
5.2.1	Diseño de placa electrónica 1.....	41

5.2.2	Diseño de placa electrónica 2.....	41
5.2.3	Diseño de estructura.....	42
5.3	Etapa IV: Integración de las partes.....	45
5.4	Etapa v: Integración de los subsistemas.....	48
5.4.1	Placa de electrónica 1.....	48
5.4.2	Programación.....	50
5.4.3	Placa de electrónica 2.....	52
5.4.4	Subsistema de carga y energía.....	53
5.4.5	Subsistema de transmisión de dato inalámbrico.....	55
5.5	Resultado final.....	56
5.5.1	Costos.....	60
5.6	Comparación con un medidor comercial.....	61
VI.	Conclusiones.....	62
VII.	Recomendaciones.....	63
VIII.	Bibliografía.....	64

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 - Rango de tamaño de partículas en el aire, que muestra las fracciones ultrafinas, PM2.5 y PM10 relacionadas con la salud y el rango de tamaño típico de algunos componentes principales.....	8
Ilustración 2 - Calidad del aire a nivel mundial.	15
Ilustración 3 – A) Concentración de partículas menores a 10 micras en el punto de la colonia Kennedy; DC. Año 2018 y en la Ilustración. B) Concentración de partículas menores a 10 micras en el punto de la colonia Kennedy; DC. Año 2018.....	18
Ilustración 4 - Variables Dependiente e Independiente.....	29
Ilustración 5 - Diagrama de Modelo V.....	30
Ilustración 6 - Diagrama La Bête A Cornes, Método APTE.....	31
Ilustración 7 - Cronograma de Actividades.....	35
Ilustración 8 – Placa Electrónica 1.....	41
Ilustración 9 – Placa Electrónica 2.....	42
Ilustración 10 – Sostenedor de nivel inferior.....	43
Ilustración 11 – Sostenedor nivel superior.....	43
Ilustración 12 – Sostenedor nivel superior.....	44
Ilustración 13 – Renderizado.....	45
Ilustración 14 – Placa Electrónica 1 realizada.....	46
Ilustración 15 – Cambio de resistencia para el módulo MQ-135.....	47
Ilustración 16 – Placa Electrónica 2 realizada.....	48
Ilustración 17 – Subsistema de lectura, modular y transmisión de datos inalámbricos.....	49
Ilustración 18 – Subsistema modular, lectura, transmisión de datos inalámbricos, carga y energía.....	50
Ilustración 19 – Flujograma del ATmega328p.....	51
Ilustración 20 – Flujograma del PIC18F45K22.....	53
Ilustración 21 – Fuente de poder.....	55
Ilustración 22 – Alcance máximo del medidor.....	56
Ilustración 23 – Resultado final del medidor.....	57

Ilustración 24 – Prueba de medición	57
Ilustración 25 – Concentración del CO ₂	59
Ilustración 26 – Concentración del PM2.5 y PM10.....	59
Ilustración 27 – Monitor AQY1 de la marca Aeroqual	61

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 - Respuestas agudas y efectos crónicos causado por el Ozono en la salud humana.....	10
Tabla 2 – Tabla de concentración del CO₂ y sus efectos en el ser humano.	12
Tabla 3 - Pautas y estándares de calidad del aire seleccionados por la WHO	13
Tabla 4 - Pautas y estándares de calidad del aire seleccionados por la EPA	14
Tabla 5 – Rango de detección (ppm) de los sensores MQ-131, MQ-135 y Sensor de gas MICS-6814.	21
Tabla 6 – Rango de medida de concentración del SDS011.	22
Tabla 7 – Detalles técnicos del DHT11 y DHT22	22
Tabla 8 – Tabla de comparación de WiFi y Bluetooth.....	25
Tabla 9 – Tabla de comparación de LoRa y HC-12.	26
Tabla 10 - Características de SDS011	37
Tabla 11 - Características de ATMEGA328P-PU	38
Tabla 12 - Características de HC-12.....	39
Tabla 13 - Características de PIC18F45K22	40
Tabla 14 - Autonomía del medidor.....	54
Tabla 15 – Prueba de medición del medidor por 12 horas.	58
Tabla 16 – Costos totales.	60

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 – Calculo de mejora de autonomía	54
---	----

I. INTRODUCCIÓN

Actualmente, la contaminación del aire es una preocupación mundial, ya que puede causar muchas enfermedades crónicas y mortales. Especialmente en los países en desarrollo está ocurriendo una rápida urbanización, sin prestar atención al medio ambiente. Hay una necesidad de monitorear todos estos contaminantes que están afectando la calidad del aire. Los contaminantes más comunes que afectan son ozono, monóxido de carbono, dióxido de carbono, dióxido de Azufre y partículas en suspensión. Los medidores comerciales que se utilizan para medir estos contaminantes en el exterior, tienen costos muy alto y no son una opción para países en desarrollo como Honduras. Por eso en esta investigación se desarrollará un medidor de calidad del aire de bajo costo y puedan solucionar este problema. Se plantea utilizar la metodología en V para crear un dispositivo que cumplan con los requerimientos con los que se necesita. Este dispositivo contara con comunicación inalámbrica para poder tener acceso de forma remota a su información.

- En el capítulo del planteamiento del problema se explicará los precedentes sobre la medición de la calidad del aire, también se definirá y justificará porque se realizará el proyecto. Como también se harán las preguntas para realizar la investigación y cuáles son los objetivos de esta investigación.
- En el capítulo del marco teórico se realizará un análisis de lo simple a lo complejo, donde se empezará investigando las necesidades básicas de los seres humanos y cuál es la importancia que el aire que consumimos sea de calidad. Terminando el capítulo sobre teorías que se necesitaran para el desarrollo del medidor.
- En el capítulo de metodología se dejará establecido que metodología se usará para desarrollar el medidor, como también estableciendo las variables de investigación a las que va estar sujeto el proyecto y por último la cronología de las actividades a realizar.
- En el capítulo de resultados y análisis se mostrará todo lo que se realizó para poder desarrollar el proyecto, también mostrando los resultados obtenidos para demostrar que se logró realizar el medidor con la teoría investigada y con la ayuda de la metodología usada para realizar el proyecto.

- En el capítulo de conclusión se explica y se concluye todos los resultados obtenidos de acuerdo con las preguntas de investigación y los objetivos planteados en el capítulo de planteamiento del problema.

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En este capítulo se mostrará ampliamente el problema que se va resolver para saber la calidad de aire que se está respirando en lugares como ciudades, colonias o lugares donde hay buen grupo habitantes. Por eso se definirá los precedentes del problema, definición del problema, justificación, preguntas de investigación y los objetivos del problema a resolver. Ya planteado todas las pautas a seguir para lograr el alcance del problema a resolver proseguimos a la siguiente sección.

2.1 PRECEDENTES DEL PROBLEMA

La contaminación del aire es uno de los principales riesgos ambientales para la salud de las personas que viven en América. (Prüss-Üstün et al., 2016)

Los contaminantes atmosféricos más relevantes para la salud son las partículas (PM) con un diámetro de 10 micras o menos, que pueden penetrar profundamente en los pulmones e inducir una reacción superficial y células de defensa. La mayoría de estos contaminantes son producto de la quema de combustibles fósiles, pero su composición puede variar según sus fuentes. Las Directrices de la OMS sobre la calidad del aire recomiendan una exposición máxima de 20 $\mu\text{g} / \text{m}^3$ para PM10 y una exposición máxima de 10 $\mu\text{g} / \text{m}^3$ para PM2.5. (WHO, 2006)

Los riesgos y efectos en la salud no están distribuidos equitativamente en la población. Las personas con enfermedades previas, los niños menores de cinco años y los adultos entre 50 y 75 años de edad son los más afectados. Las personas pobres y aquellas que viven en situación de vulnerabilidad, así como las mujeres y sus hijos que utilizan estufas tradicionales de biomasa para cocinar y calentarse, también corren mayor riesgo. (OPS, 2017)

En 1993 iniciaron los primeros esfuerzos para atender el problema de contaminación del aire en el país, mediante el programa Aire Puro en Centroamérica financiado por la Agencia Suiza para

el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE) y ejecutado por la Fundación Suiza de Cooperación para el Desarrollo Técnico (Swisscontact). Este programa operó en Guatemala, Honduras, Costa Rica, Nicaragua, El Salvador y Panamá apoyando acciones para el establecimiento de un marco legal para regular las emisiones de vehículos automotores, la calidad de los combustibles y la implantación de un programa de inspección técnica vehicular entre otros temas. (IALCMM et al., 2009, p. 6)

Actualmente hay cuatro medidores de aire instalados en Tegucigalpa y San Pedro Sula, estos miden partículas PM2.5 y PM10, como polvo, cenizas, hollín, cemento o polen, dispersas en la atmósfera. En la ciudad se instalaron dos a mediados de 2018, se espera que al finalizar el año se den los primeros resultados, indicó personal de Cescoco. Carlos Muñoz, encargado del monitoreo del aire en la ciudad, estima que el 65% de la contaminación es producida por el sector industrial, mientras que el resto por el parque vehicular. (La Prensa, 2018)

2.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

El aire es una necesidad para cualquier ser humano, pero si no se cumplen ciertos requisitos se convierte en un problema para la salud humana. Con lo visto anteriormente, Honduras en sus ciudades más importantes para el comercio y la industria, se ve afectada su calidad de aire, aumentando así las enfermedades respiratorias que afectan a la población de mayor edad y niños de edades muy bajas. Se ve evidente que se necesita un control de calidad para el aire que se respira para estas ciudades, pero los medidores que se ofrecen en el mercado tienen costos muy altos.

2.3 JUSTIFICACIÓN

La contaminación del aire constituye un serio problema de salud pública en Honduras. Los costos relacionados con los impactos a la salud de la contaminación del aire son un obstáculo para el desarrollo sustentable del país. En el 2004, el Departamento de Estadísticas de la Secretaría de Salud reportó más de un millón de casos de atención médica por enfermedades respiratorias. El 27% de éstos se registró en Tegucigalpa y la mayor parte corresponde a la atención de niños menores de 5 años. Esto se traduce en altos costos relacionados con atención médica, así como en pérdidas en la productividad y competitividad del país. (IALCMM et al., 2009)

La necesidad de medir la calidad del aire en nuestro país es muy evidente, porque es un problema que nos afecta a todos por igual, con lo visto anteriormente cada vez hay un aumento en casos de problemas de respiración por causa de la contaminación que hay en el aire que respiramos.

2.4 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

- 1) ¿Qué sensores serán los correctos para medir la calidad del aire?
- 2) ¿El uso de comunicación inalámbrica será adecuado en el medidor y cuál puede ser su máximo alcance?
- 3) ¿Cuáles serán los componentes para desarrollar un dispositivo eficiente y de bajo costo?

2.5 OBJETIVOS

2.5.1 OBJETIVOS GENERAL

Diseñar y prototipar un dispositivo de bajo costo, que sea capaz de medir diferentes contaminantes en el aire, con comunicación inalámbrica.

2.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 1) Seleccionar los sensores que cumplan con la medición de la calidad del aire.
- 2) Determinar si el uso de la comunicación inalámbrica es adecuado para el medidor y obtener el mayor alcance de comunicación posible.
- 3) Integrar los componentes para el desarrollo de un dispositivo eficiente y de bajo costo.

III. MARCO TEÓRICO

En este capítulo vamos a ver todos los factores que se necesitan analizar en el problema sobre el monitoreo de la calidad del aire. Se hablará de cuáles son los contaminantes del aire, medidas que se necesitan para medir la calidad del aire, estándares, comunicación de radio frecuencia, entre otros temas de interés para la investigación del proyecto.

Necesidades básicas de los seres vivos

Básicamente, los animales y las personas tienen necesidades similares. Todos necesitamos aire, agua, comida, refugio y cuidados para vivir y crecer. Sin embargo, hay una pequeña diferencia en la calidad y cantidad de las necesidades básicas. Todas las necesidades básicas mencionadas anteriormente son importantes para los seres vivos, pero para esta investigación nos concentraremos solamente en el aire. Todos los seres vivos necesitan aire para vivir. Si aguantas la respiración durante unos minutos, tomarás aire automáticamente. De lo contrario, su cerebro se dañará o morirá. (Fallaria et al., 2004)

3.1 LA CALIDAD DEL AIRE

La evaluación de la calidad del aire es importante para evaluar la naturaleza de la exposición de la población a la contaminación del aire. La evaluación de la exposición de la población es necesaria para la evaluación del impacto en la salud, que a su vez es crucial para desarrollar planes para la gestión de la calidad del aire y la protección de la salud pública. (Europe & Organization, 1999)

3.1.1 PRINCIPALES ORGANIZACIONES DE ESTÁNDARES DE CALIDAD DEL AIRE

Hay muchas organizaciones científicas que investigan cuales son las concentraciones adecuadas en las pueda estar expuesto una persona. Pero las organizaciones que destacan más son La organización mundial de la salud y la EPA.

WHO

The World Health Organization (La Organización Mundial de la Salud), fundada en 1948, es una agencia especializada de las Naciones Unidas con un amplio mandato para actuar como autoridad coordinadora en asuntos de salud internacional. (Drew, 2020)

EPA

La Agencia de Protección Ambiental (EPA) se estableció en diciembre de 1970 por orden ejecutiva del presidente Richard Nixon. Es una agencia del gobierno federal de los Estados Unidos cuya misión es proteger la salud humana y ambiental. (Kenton, 2020)

3.1.2 CONTAMINANTES EN EL AIRE

La contaminación del aire se define como la presencia en la atmósfera exterior de uno o más contaminantes en cantidades de una duración que puede dañar la vida humana, vegetal o animal o la propiedad o que interfiere de manera injustificada con el disfrute de la vida o la conducta empresarial. (D. H. F. Liu & Liptak, 1999)

Contaminantes comunes en el aire

Los ejemplos de contaminantes tradicionales incluyen dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono, hidrocarburos, compuestos orgánicos volátiles, sulfuro de hidrógeno, partículas, humo y turbidez. (D. H. F. Liu & Liptak, 1999)

3.1.3 PRINCIPIOS BÁSICOS SOBRE CONTAMINANTES EN EL AIRE

Antes de seguir hablando sobre los contaminantes en el aire, es necesario mencionar algunos principios básicos que ayudaran entender mejor lo que se está investigando.

Contaminantes primarios del aire

Los contaminantes primarios del aire son aquellos que se emiten a la atmósfera desde una fuente, como una chimenea de fábrica o un tubo de escape, o mediante la suspensión del polvo contaminado por el viento. En principio, por lo tanto, es posible medir las cantidades emitidas en la fuente misma. Esto es relativamente sencillo en términos de la chimenea de fábrica o el tubo de escape del vehículo; se vuelve mucho más difícil cuando se consideran fuentes difusas como los polvos arrastrados por el viento. (WHO, 2006)

Contaminantes secundarios del aire

Los contaminantes atmosféricos secundarios son contaminantes formados en la atmósfera como resultado de reacciones como la hidrólisis, la oxidación y la oxidación fotoquímica. Los

contaminantes secundarios del aire incluyen nieblas ácidas y oxidantes fotoquímicos. (D. H. F. Liu & Liptak, 1999)

Contaminantes gaseosos del aire

Los contaminantes gaseosos del aire son aquellos presentes como gases o vapores, es decir, como pequeñas moléculas individuales capaces de pasar a través de los filtros, siempre que no se adsorban o reaccionen químicamente con el medio filtrante. Los contaminantes gaseosos del aire se introducen fácilmente en el sistema respiratorio humano, aunque si son solubles en agua pueden depositarse muy rápidamente en el tracto respiratorio superior y no penetrar en el pulmón profundo. (WHO, 2006)

Partículas contaminantes del aire

Los contaminantes del aire en partículas comprenden material en fase sólida o líquida suspendido en la atmósfera. Dichas partículas pueden ser primarias o secundarias y abarcan una amplia gama de tamaños. Las partículas secundarias recién formadas pueden ser tan pequeñas como 1–2 nm de diámetro ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$), mientras que las partículas de polvo grueso y sal marina pueden ser tan grandes como $100 \mu\text{m}$ ($1 \mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m}$) o 0.1 mm de diámetro. Sin embargo, las partículas muy grandes tienen una existencia atmosférica corta, y tienden a caerse rápidamente a través de la gravedad y los procesos de impacto impulsados por el viento. Por lo tanto, en la práctica hay pocas partículas en la atmósfera que superen los $20 \mu\text{m}$ de diámetro, excepto en áreas muy cercanas a las fuentes de emisión. La materia particulada se puede separar de los gases atmosféricos extrayendo aire a través de un filtro lo suficientemente fino como para retener las partículas, o acelerando el aire a través de un chorro que las dispara a una placa fija, sobre la cual las partículas impactan y se recogen. Los contaminantes del aire en partículas tienen composiciones químicas muy diversas que dependen mucho de su fuente (WHO, 2006). Hay que aclarar que para fines de estudios se clasificaran las partículas suspendidas en el aire según como lo establece la WHO. La manera correcta de clasificarlas es por PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$ y ultrafinas. En la siguiente ilustración 1 se podrá observar una tabla con el rango de tamaños de las partículas suspendidas en el aire.

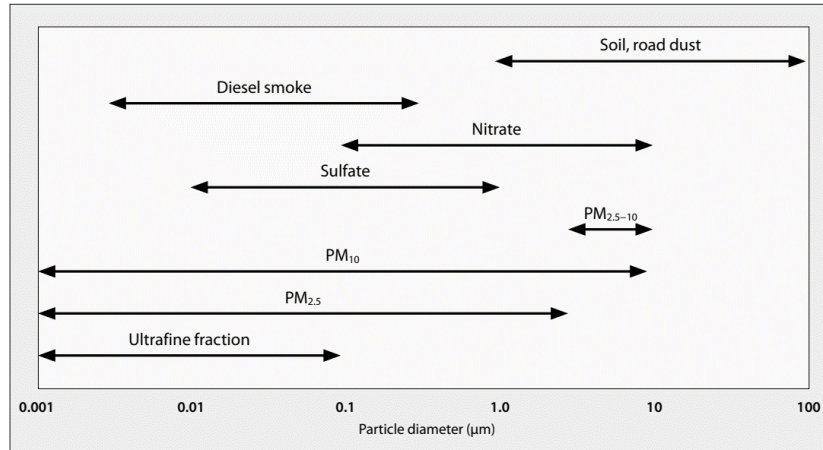


Ilustración 1 - Rango de tamaño de partículas en el aire, que muestra las fracciones ultrafinas, PM2.5 y PM10 relacionadas con la salud y el rango de tamaño típico de algunos componentes principales.

Fuente: Air Quality Guidelines Global Update 2005

Concentración

Las unidades de medida para los estándares son partes por millón (ppm) por volumen, partes por billón por volumen, miligramos por metro cúbico de aire (mg/m³) y microgramos por metro cúbico de aire (µg/m³). (Phalen & Phalen, 2011)

3.1.4 CONTAMINANTES DE MÁS RIESGO EN EL AIRE

Hay muchos contaminantes circulando en el aire, pero hay unos contaminantes que son necesarios mantenerlos monitoreados para saber cómo está la calidad del aire en la zona. Los contaminantes seleccionados de más riesgo en el aire son lo se verán a continuación.

3.1.4.1 PARTÍCULAS EN SUSPENSIÓN

Las partículas en suspensión (PM) son uno de los compuestos más importantes de la contaminación del aire. Los riesgos de contaminación del aire con PM son extremadamente graves para la salud humana y el medio ambiente. Los efectos de las partículas en el medio ambiente dependen del tamaño de partícula y de sus productos químicos. Composición y puede ocurrir de la siguiente manera:

- Factores ambientales de influencia corta y media (aire, agua, suelo) y la condición de fauna y flora a nivel local y regional.
- Efectos a largo plazo del cambio climático a nivel mundial.

Las partículas en suspensión influyen negativamente en el desarrollo de la flora y la fauna. Disminuir el brillo, el oxígeno que se disuelve en el agua, por lo que es una influencia negativa para la fotosíntesis de las plantas, perturbar la respiración de los animales puede ser perjudicial para la salud de los animales.

Las partículas gruesas (más grandes), llamadas PM_{10} , pueden irritar los ojos, la nariz y la garganta. Las partículas finas (más pequeñas), llamadas $PM_{2.5}$, son más peligrosas, pueden desempeñar un papel en causar enfermedades graves y la muerte porque son lo suficientemente pequeñas como para ser inhaladas en los pulmones o incluso en la sangre. Una vez que las partículas finas están en los pulmones, pueden afectar el corazón, los vasos sanguíneos y los pulmones. (Filip & Brezoczki, 2017)

3.1.4.2 OZONO

El ozono (O_3) y otros oxidantes fotoquímicos son contaminantes que no son emitidos directamente por fuentes primarias. Más bien, abarcan un grupo de especies químicas formadas a través de una serie de reacciones complejas en la atmósfera impulsadas por la energía transferida a las moléculas de dióxido de nitrógeno (NO_2) cuando absorben la luz de la radiación solar.

El ozono exhibe una variación espacial considerable ya que, una vez formado, viaja con el viento predominante, y tiende a alcanzar concentraciones más altas en suburbios y lugares remotos a favor del viento o en altitudes más altas. Esto sugiere que es probable que las concentraciones más altas de ozono ocurran en áreas que carecen de análisis instrumental de este contaminante. Esta situación es particularmente importante en la vecindad de los grandes conglomerados urbanos en los países en desarrollo, donde las personas que viven en las afueras de las megaciudades están expuestas a oxidantes que, debido a la falta de un monitoreo adecuado, están en niveles que exceden las pautas de calidad del aire. (WHO, 2006)

El ozono siendo otro más de muchos contaminantes en el ambiente que afecta la salud humana, es necesario saber cuáles son las principales enfermedades que se desarrollan por exponerse altos niveles de ozono. En la siguiente Tabla 1, se observará diferentes enfermedades causada por el ozono.

Tabla 1 - Respuestas agudas y efectos crónicos causado por el Ozono en la salud humana.

Respuestas agudas	Efectos crónicos
Efectos del sistema pulmonar	Función pulmonar reducida
Efectos del sistema cardiovascular	Desarrollo de aterosclerosis
Efectos de morbilidad de series temporales	Desarrollo de asma
Efectos de la mortalidad en series temporales	Reducción de la esperanza de vida

Fuente: Air Quality Guidelines Global Update 2005

3.1.4.3 DIÓXIDO DE NITRÓGENO

Los óxidos de nitrógeno son contaminantes prioritarios, en primer lugar, en las condiciones de las grandes aglomeraciones urbanas modernas con su rico sistema de transporte. Los compuestos de nitrógeno entran a la atmósfera de las ciudades principalmente en forma de óxido nítrico NO, que en el aire urbano se oxida rápidamente por ozono o radicales libres y se convierte en dióxido de nitrógeno - NO₂. Este gas es más reactivo, más tóxico, con mayor velocidad eliminada de la atmósfera en los procesos de deposición húmeda y seca que el NO. La interacción de los óxidos de nitrógeno con la humedad atmosférica conduce a la formación de ácidos nítrico y nitroso. El dióxido de nitrógeno bajo la acción de la radiación visible puede descomponerse, con la formación de óxido nítrico nuevamente y, causando la formación de ozono tóxico en la capa de aire superficial, de oxígeno atómico. Con una disminución en la iluminación, la tasa de descomposición del dióxido de nitrógeno disminuye, y por la noche la proporción de óxidos de nitrógeno en el aire aumenta el NO₂. Debido a tales características fotoquímicas, el dióxido de nitrógeno a menudo se considera un marcador de contaminación por compuestos de nitrógeno, y sobre la base de su concentración, se extraen conclusiones sobre el grado de peligro de la contaminación del aire urbano. (Bednova & Kuznetsov, 2019)

El dióxido de nitrógeno ejerce una variedad de efectos biológicos en animales de experimentación. Estos incluyen efectos sobre el metabolismo pulmonar, estructura, función,

inflamación y defensa del huésped contra infecciones pulmonares. Sin embargo, debido a las diferencias inherentes entre las especies de mamíferos. en su capacidad de inactivar el dióxido de nitrógeno, no se sabe exactamente qué exposiciones conducirían a estos efectos en los humanos, o si se producen algunos efectos. Esto está demostrando ser un impedimento importante que está limitando nuestra comprensión de si, a concentraciones ambientales en humanos, el dióxido de nitrógeno es un tóxico inhalante o no, especialmente cuando está presente en bajas concentraciones durante un período prolongado en el ambiente interior y exterior. (WHO, 2006)

3.1.4.4 DIÓXIDO DE AZUFRE

La principal fuente de dióxido de azufre es la combustión de combustibles fósiles que contienen azufre. Estos son predominantemente carbón y combustible, ya que el gas natural, la gasolina y los combustibles diésel tienen un contenido de azufre relativamente bajo. Hasta hace poco, las emisiones de dióxido de azufre junto a carreteras transitadas, pero en los últimos años se ha visto una reducción muy sustancial en el contenido de azufre del combustible diésel. (Harrison, 2001)

Históricamente, el dióxido de azufre y el PM derivados de la combustión de combustibles fósiles han sido los principales componentes de la contaminación del aire en muchas partes del mundo. Los problemas más graves se han experimentado en grandes áreas urbanas donde el carbón se ha utilizado para calefacción doméstica o para una combustión mal controlada en instalaciones industriales. En tales situaciones, el complejo de contaminantes generalmente se ha considerado colectivamente, basándose en los hallazgos de estudios epidemiológicos llevados a cabo hace décadas en áreas anteriormente muy contaminadas. (WHO, 2006)

Los efectos agudos del dióxido de azufre a concentraciones ambientales pueden estudiarse convenientemente mediante la exposición a corto plazo de voluntarios humanos. Sin embargo, los efectos de la exposición a largo plazo al dióxido de azufre solo pueden estudiarse en animales de experimentación. A concentraciones superiores a 28,6 mg / m³ (10 ppm), se ha demostrado que la exposición prolongada produce daños en el epitelio de las vías respiratorias. Esto puede ser seguido por hiperplasia epitelial, un aumento relacionado con la dosis en las células caliciformes e hipertrofia de las glándulas submucosas. Estos cambios son similares a los

observados en la bronquitis crónica en humanos; La exposición prolongada de ratas y perros al dióxido de azufre se ha utilizado para producir modelos de esta enfermedad. (WHO, 2006)

3.1.4.5 DIÓXIDO DE CARBONO

El dióxido de carbono (CO₂) es un subproducto de la combustión, así como un resultado del proceso metabólico en los organismos vivos. Debido a que el dióxido de carbono es el resultado del metabolismo humano, las concentraciones dentro de un edificio a menudo se utilizan para indicar si se está suministrando suficiente aire fresco al espacio. Los niveles moderados a altos de dióxido de carbono pueden causar dolores de cabeza y fatiga, y concentraciones más altas pueden producir náuseas, mareos y vómitos. La pérdida del conocimiento puede ocurrir a concentraciones extremadamente altas. Para prevenir o reducir las altas concentraciones de dióxido de carbono en un edificio o habitación, se debe suministrar aire fresco al área (Bonino, 2016). En la tabla 2 observara los diferentes efectos que tiene el CO₂ en el ser humano, en diferentes tipos de concentraciones.

Tabla 2 – Tabla de concentración del CO₂ y sus efectos en el ser humano.

Descripción	Concentración (ppm)
Concentración de fondo normal en el aire ambiente exterior	250-400ppm
Concentraciones típicas de espacios interiores ocupados con buen intercambio de aire	400-1.000 ppm
Quejas de somnolencia y falta de aire.	1.000-2.000 ppm
Dolores de cabeza, somnolencia y aire estancado, viciado y congestionado. También puede haber poca concentración, pérdida de atención, aumento de la frecuencia cardíaca y náuseas leves.	2.000-5.000 ppm
Límite de exposición en el lugar de trabajo (como TWA de 8 horas) en la mayoría de las jurisdicciones.	5,000
La exposición puede provocar una grave privación de oxígeno que resulte en daño cerebral permanente, coma e incluso la muerte.	> 40.000 ppm

Fuente: kane.co.uk

3.1.5 ESTÁNDARES DE LA CALIDAD DEL AIRE

El objetivo principal de la gestión de la calidad del aire es proteger la salud pública y el medio ambiente de los efectos adversos de la contaminación del aire. Las estrategias adecuadas de gestión de la calidad del aire abarcan muchas actividades, incluida la evaluación de riesgos, la calidad del aire y el establecimiento de normas de emisión, monitoreo y aplicación, implementación de medidas de control y comunicación de riesgos. Sin embargo, el uso de estándares de calidad del aire se ha convertido en la piedra angular de la gestión de la calidad del aire, cuya función, adoptada y aplicada por las autoridades reguladoras, es definir el nivel de contaminación del aire aceptable para un país o región. (WHO, 2016)

Estándares de calidad del aire por la WHO

En la siguiente Tabla 3 podrá observar los estándares de concentración para contaminantes en ciertos países, también la recomendación de la WHO.

Tabla 3 - Pautas y estándares de calidad del aire seleccionados por la WHO

Contaminante		Tiempo promedio	Nivel
Dióxido de Nitrógeno (NO ₂)		1 hora	200 µg/m ³
		1 año	40 µg/m ³
Ozono (O ₃)		8 horas	100 µg/m ³
Contaminación de Partículas (PM)	PM _{2.5}	24 horas	25 µg/m ³
		1 año	10 µg/m ³
	PM ₁₀	24 horas	50 µg/m ³
		1 año	20 µg/m ³
Dióxido de azufre (SO ₂)		10 min	500 µg/m ³
		24 horas	20 µg/m ³

Fuente: Air Quality Guidelines Global Update 2005.

Estándares de calidad del aire por la EPA

En la siguiente Tabla 4 podrá observar los estándares de concentración para contaminantes recomendados por la EPA.

Tabla 4 - Pautas y estándares de calidad del aire seleccionados por la EPA

Contaminante		Tiempo promedio	Nivel	Recomendación
Dióxido de Nitrógeno (NO ₂)		1 hora	188 µg/m ³	98 percentil de concentraciones máximas diarias de 1 hora, promediado durante 3 años
		1 año	99.64 µg/m ³	Media anual
Ozono (O ₃)		8 horas	0.14 µg/m ³	Cuarta concentración anual máxima de 8 horas, promedio anual durante 3 años
Contaminación de Partículas (PM)	PM _{2.5}	24 horas	35 µg/m ³	Percentil 98, promedio de 3 años
		1 año	12 µg/m ³	media anual, promedio de 3 años
	PM ₁₀	24 horas	150 µg/m ³	No debe excederse más de una vez al año en promedio durante 3 años
Dióxido de azufre (SO ₂)		1 hora	196.5 µg/m ³	99 percentil de concentraciones máximas diarias de 1 hora, con un promedio de 3 años
		3 horas	1.62 mg/m ³	No debe excederse más de una vez al año

Fuente: EPA, 2019.

3.1.6 LA CALIDAD DEL AIRE A NIVEL MUNDIAL

El impacto de la contaminación atmosférica global en el clima y el medio ambiente es un nuevo enfoque en la ciencia atmosférica. El transporte intercontinental y la contaminación atmosférica hemisférica por el ozono ponen en peligro los ecosistemas agrícolas y naturales en todo el mundo y tienen un fuerte efecto sobre el clima. Los aerosoles, que se extienden a nivel mundial, pero tienen un fuerte desequilibrio regional, cambian el clima global a través de sus efectos directos e indirectos sobre el forzamiento radiactivo. En la década de 1990, las emisiones de óxido de nitrógeno de Asia superaron a las de América del Norte y Europa y deberían seguir excediéndolas durante décadas. Las iniciativas internacionales para mitigar la contaminación atmosférica mundial requieren la participación de los países desarrollados y en desarrollo. (Akimoto, 2003)

Nivel Mundial actual

Hay que observar la calidad del aire a un nivel más amplio, por eso en la siguiente Ilustración 2 podrá observar la calidad del aire a nivel mundial.

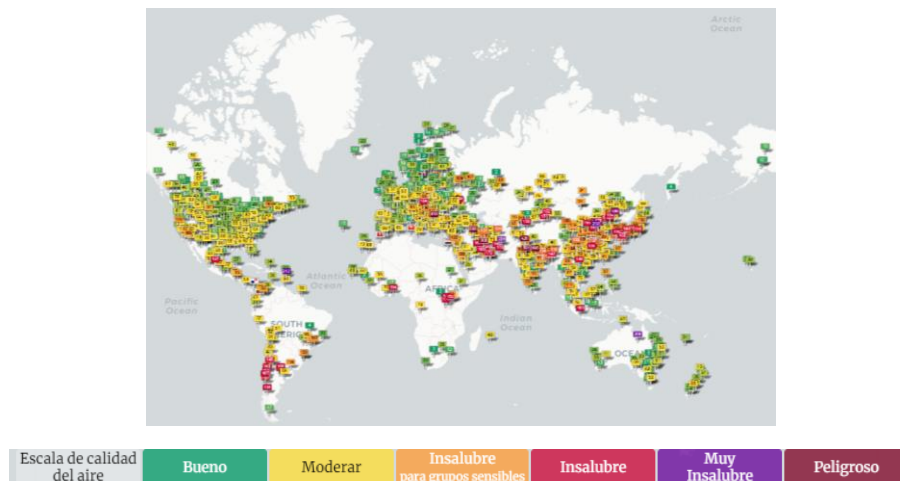


Ilustración 2 - Calidad del aire a nivel mundial.

Fuente: aqicn.org. Fecha de dato adquirido: 3 de agosto del 2020.

China

La economía de China ha estado creciendo rápidamente durante décadas. A pesar del aumento del PIB, su rápido desarrollo ha causado una serie de graves problemas ambientales, especialmente la contaminación del aire. Con la ocurrencia frecuente de fenómenos de contaminación del aire graves y complejos como el smog, el problema de la calidad del aire de China se ha convertido en un foco de investigación de la comunidad internacional, lo que plantea serios desafíos al gobierno chino para mejorar su capacidad de gobernanza ambiental y sus métodos de gobernanza. A pesar de la continua atención del gobierno central a los problemas de calidad del aire, los gobiernos locales tienden a elegir el crecimiento económico sobre la protección del medio ambiente (Y. Liu, 2020).

España

La calidad del aire en España ha mejorado y, en general, es buena en la mayoría de las zonas urbanas. El porcentaje de la población urbana expuesta a las emisiones de PM10 por encima de los valores límite diarios de la UE, ha disminuido significativamente desde 2006, y cayó por debajo de la media de la UE en 2010. Sin embargo, la exposición a la contaminación del aire urbano por

ozono ha sido consistentemente mayor que el promedio de la UE desde 2008, siguiendo algunas reducciones y estabilizaciones entre 2004-2008 (OECD, 2015).

Estados unidos

Después de la Segunda Guerra Mundial, el crecimiento económico, el crecimiento de la población, la rápida su urbanización y el cierre de algunos sistemas de transporte público llevaron a una mayor dependencia de los vehículos personales para el transporte. El número de automóviles y camiones en los Estados Unidos aumentó dramáticamente, al igual que el número de autopistas. Un resultado del rápido aumento de los vehículos automotores fue la contaminación del aire, especialmente en las ciudades, que tuvo graves impactos en la salud pública y el medio ambiente (US EPA, 2015).

Colombia

Los factores de riesgo ambiental son responsables de aproximadamente el 23% de la carga mundial de enfermedad. En el caso de Colombia, esta carga se estima en aproximadamente el 16%. La contaminación del aire es el factor ambiental que plantea uno de los mayores problemas de salud ambiental a nivel mundial. Se ha definido como uno de los tres problemas ambientales prioritarios en Colombia, donde las enfermedades crónicas no transmisibles representan la mayor parte de la carga de la enfermedad: aproximadamente el 86% del total de años de vida perdidos, ajustados por discapacidad. (Rodríguez-Villamizar et al., 2018)

Algunos de los estudios realizados en Colombia han evaluado el efecto de la contaminación del aire en la salud respiratoria con muestras de población específicas. Uno de estos estudios, que estimó el efecto de las partículas en suspensión en el aire de 10 μm o menos de diámetro (PM10) sobre la mortalidad a nivel de la población de la ciudad de Bogotá, informó que la exposición a altos niveles de PM10 se asocia con un aumento en las vías respiratorias y cardiovasculares. mortalidad, especialmente para personas de estratos socioeconómicos bajos. Sin embargo, ninguno de los estudios en Colombia ha estimado los efectos de la contaminación del aire sobre la morbilidad respiratoria y circulatoria en la población general (Rodríguez-Villamizar et al., 2018).

El Salvador

En El Salvador, la Calidad del Aire ha venido deteriorándose con altos niveles de contaminación, dado a diversos factores como el crecimiento poblacional, aumento de flota vehicular, hábitos de quema agrícola, quema de desechos sólidos entre otros.

Desde el año 1997 los datos del monitoreo de la calidad del aire efectuados por FUSADES en cooperación con Swisscontact-ProEco, muestran que la concentración de la mayoría de los contaminantes ya sobrepasaba los valores guía de la Organización Mundial de la Salud (OMS). Y en lo que respecta a la salud de la población, la Unidad Epidemiología del Ministerio de Salud reporta que las enfermedades respiratorias es la primera causa de morbilidad desde el mismo año de referencia a la fecha (Alvarado, 2017).

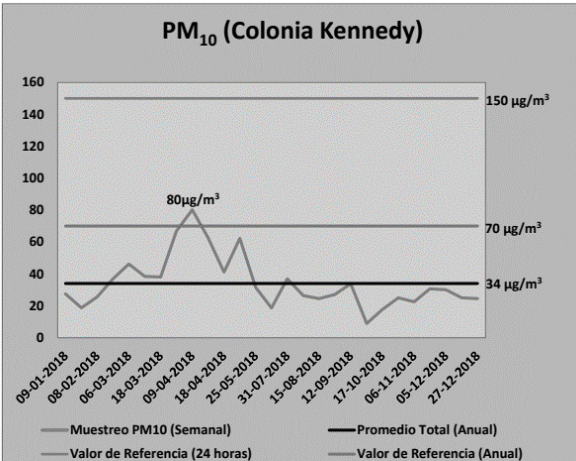
3.1.6.1 HONDURAS

IALCMM, SERNA, et al (2009, p. 5) menciona:

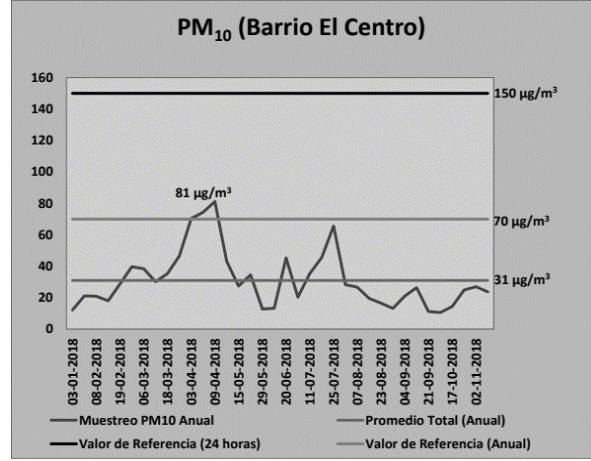
La contaminación del aire afecta la salud y el bienestar de cientos de millones de personas a nivel mundial, principalmente en los países en vías de desarrollo. Honduras no es la excepción. La mala calidad del aire en diversas áreas urbanas ocasiona a nivel mundial cientos de miles de muertes prematuras, miles de millones de dólares en costos de atención médica y cuantiosas pérdidas de productividad, además de severos daños a los ecosistemas y a las propiedades.

Las siguientes mediciones que se observaron en la Ilustración 3A y 3B, se hicieron durante 24 horas de toma de muestra. Los muestreos de PM₁₀ se realizaron semanalmente, durante el periodo comprendido entre enero y diciembre del 2018, en el barrio el Centro y la colonia Kennedy del Distrito Central (DC). (Zavala, 2019)

En la Ilustración 3A se observa un promedio anual de 34 µg/m³ representado en el gráfico con una línea horizontal de color negro, siendo 80 µg/m³ el punto más alto que resultó en este parámetro en la colonia Kennedy. El promedio anual de la colonia Kennedy no cumple con los estándares que recomienda la WHO, el valor de concentración tiene que ser menor o igual a 20 µg/m³.



A



B

Ilustración 3 – A) Concentración de partículas menores a 10 micras en el punto de la colonia Kennedy; DC. Año 2018 y en la Ilustración. B) Concentración de partículas menores a 10 micras en el punto de la colonia Kennedy; DC. Año 2018.

Fuente: miambiente.gob.hn

En la Ilustración 3B se observa un promedio anual de 31 µg/m³ representado en el gráfico con una línea horizontal de color morado, siendo 81 µg/m³ el punto más alto que resulto en este parámetro en el barrio El Centro (Zavala, 2019). Para el barrio centro se vuelve repetir el mismo caso de la colonia Kennedy, que no está en la recomendación de concentración PM₁₀ por la WHO. No se encuentra disponible los datos sobre la concentración de PM_{2.5}, Ozono, Dióxido de azufre y Dióxido de nitrógeno.

3.1.7 MEDIDORES COMERCIALES

La necesidad de medir la calidad del aire es necesario, por eso se mostrará diferentes equipos que están disponibles en el mercado, capaces de medir diferentes parámetros necesarios para saber la calidad del aire.

Monitor de calidad del aire urbano AQS 1

El AQS 1 es un monitor compacto de calidad del aire ambiente que se dirige a contaminantes específicos en el entorno urbano. Se puede configurar para medir dióxido de nitrógeno, ozono y

partículas, que son los contaminantes más comúnmente medidos en el entorno urbano. (Aeroqual, 2017)

AQMesh

AQMesh es un sistema de monitoreo de calidad del aire de pequeño sensor para medir la calidad del aire exterior e interior, que ofrece información localizada en tiempo real y análisis de datos de calidad del aire. Las cápsulas AQMesh miden los contaminantes clave en el aire ambiente utilizando la mejor tecnología de sensores pequeños combinada con el procesamiento de datos patentado derivado de extensas comparaciones globales con datos de referencia. El producto combina una plataforma de hardware robusta con opciones de energía inalámbrica, comunicación GPRS, procesamiento de datos basado en la nube y acceso seguro en línea. Las cápsulas AQMesh se fabrican en el Reino Unido con una calidad excepcionalmente alta basada en la experiencia de muchos años de desarrollar equipos de monitoreo ambiental para entornos hostiles y estándares internacionales desafiantes. (AQMesh, 2020)

AQY1 Monitor

El AQY 1 está diseñado para usarse como un solo dispositivo o implementarse en una red de monitores en un entorno urbano. Pequeño, rentable y fácil de usar, puede ser utilizado por profesionales de la calidad del aire y aquellos que son nuevos en la ciencia de la medición de la calidad del aire, el costo de este medidor es de \$4,000.00.

3.1.8 SENSORES DE GASES DE BAJO COSTO

El crecimiento continuo de las industrias modernas ha dejado al mundo con mala calidad del aire, especialmente en áreas urbanas y entornos de trabajo, lo que representa un gran desafío para la calidad de vida. Los principales contribuyentes a la contaminación atmosférica tradicional son NO_x , SO_x y H_2S , mientras que el NH_3 y los compuestos orgánicos volátiles son motivo de creciente preocupación recientemente. Los monitores tradicionales de calidad del aire basados en especificaciones de masa, espectroscopía infrarroja y cromatografía de gases son caros y no son

adecuados para el despliegue a gran escala. Los sensores de gas electroquímicos proporcionan una opción alternativa barata para el monitoreo generalizado de la calidad del aire. Si bien muchos sensores electroquímicos detectan gases tóxicos en el rango de 1 a 10,000 ppm, los avances recientes en sensores electroquímicos quimioterápicos y de potencial mixto han reducido el rango de detección a partes por mil millones, rango requerido para el monitoreo ambiental. (Ramaiyan & Mukundan (Mukund), 2019)

Sensor de gas

Los sensores de gas son transductores entre una reacción química de un determinado gas y una resistencia de óxido semiconductor y el cambio de resistividad del material con el cual ocurre la reacción. De manera principal, este tipo de sensores se basa en el uso de semiconductores, donde se implementan resistencias con materiales como películas de óxidos semiconductores para realizar la función de detección. El principio de funcionamiento de estos sensores se basa en el comportamiento de la película de óxido semiconductor, la cual, al entrar en contacto con el gas para el cual es sensitivo el material del que está hecha, se genera una reacción química que libera o absorbe electrones. (Ramírez et al., 2014)

Sensor MQ-131

El material sensible del sensor de gas MQ-131 es WO_3 , que con baja conductividad en aire limpio. Cuando existe el gas de ozono, la conductividad del sensor disminuye junto con el aumento de la concentración de gas. Los usuarios pueden convertir el cambio de conductividad a la señal de salida correspondiente de la concentración de gas a través de un circuito simple. El sensor de gas de ozono MQ-131 tiene una alta sensibilidad al ozono y también tiene sensibilidad al óxido fuerte como Cl_2 , NO_2 , etc. Responde opuestamente a los gases de interferencia orgánicos. (Winsen, 2014)

3.1.8.1 SENSOR MQ-135

El sensor de gas MQ-135 se utilizan en equipos de control de calidad del aire y son adecuados para detectar o medir NH_3 , NO_x , alcohol, benceno, humo, CO_2 . El módulo del sensor MQ-135 viene con un Pin digital que hace que este sensor funcione incluso sin un microcontrolador y es útil cuando solo está tratando de detectar un gas en particular. Si necesita medir los gases en

PPM, debe usar el pin analógico. El pin analógico funciona con TTL y funciona con 5V, por lo que puede usarse con la mayoría de los microcontroladores. (Olimex, 2013)

3.1.8.2 MiCS-6814

El MiCS-6814 es un sensor MEMS robusto para detección de contaminación por escapes de automóviles y para olores agrícolas / industriales. (SGX, 2014)

3.1.8.3 TABLA DE RANGOS

En la siguiente Tabla 5, podrá observar los diferentes rangos de detección de cada uno de los gases, para cada sensor mencionado anteriormente.

Tabla 5 – Rango de detección (ppm) de los sensores MQ-131, MQ-135 y Sensor de gas MiCS-6814.

Sensor	Gases que puede detectar	Rango de detección (ppm)
MQ-131	NOx y CL ₂	No especificado
	O ₃	10ppb – 2 ppm
MQ-135	Amoniaco	100-300
	Alcohol	10-300
	Benceno	10-1000
	NOx, Humo y Dióxido de carbono	No especificado
MiCS-6814	CO	1 – 1000
	NO ₂	0.05 – 10
	Etanol	10 – 500
	H ₂	1 – 1000
	Amonio	1 – 500
	Metano	>1000
	Propeno	>1000
	Metilpropeno	>1000

Fuente: Datasheet de MQ-131, MQ135 y MiCS-6814.

3.1.9 SENSOR DE PM

Los sensores PM son capaces de medir el diámetro aerodinámico de las partículas suspendidas en el aire. Las medidas más comunes de medición son las de PM_{2.5} y las de PM₁₀.

3.1.9.1 SDS011

El SDS011 ver la Tabla 6, que utiliza el principio de dispersión láser, puede obtener la concentración de partículas entre 0.3 y 10 µm en el aire. Tiene salida digital y ventilador incorporado, es estable y confiable (Nova, 2015). En la siguiente Ilustración 26 podrá observar los rangos de medida, para el sensor SDS011 mencionado anteriormente.

Tabla 6 – Rango de medida de concentración del SDS011.

Medida	PM2.5 y PM10
Rango	0.0-999.9 µg /m ³

Fuente: Nova Fitness Co., Ltd.

3.2 TEMPERATURA Y HUMEDAD

Como datos adicionales también temperatura y la humedad se miden en los medidores comerciales. Por eso se investigó una familia de sensores que es capaz de medir la temperatura y la humedad, a bajo costo. El DHT11 y el DHT22 (o AM2302) son dos modelos de una misma familia de sensores, que permiten realizar la medición simultánea de temperatura y humedad. En la tabla 7 observara diferentes parámetros de los dos sensores mencionados anteriormente.

Tabla 7 – Detalles técnicos del DHT11 y DHT22

Descripción	DHT11	DHT22
Rango de medición de humedad	20 – 90 %HR	0 – 100 %HR
Rango de medición de temperatura	0 – 50 °C	-40 – 80 °C
Precisión de temperatura	±2 °C	±0.5 °C
Precisión de humedad	±5 %HR	±2 %HR

Fuente: Datasheet del DHT11 y DHT22

3.3 COMUNICACIÓN INALÁMBRICA

La capacidad de comunicarse con las personas en movimiento ha evolucionado notablemente desde que Guglielmo Marconi demostró por primera vez la capacidad de la radio para proporcionar un contacto continuo con los barcos que navegan por el canal inglés. Eso fue en 1897, y desde entonces los nuevos métodos y servicios de comunicaciones inalámbricas han sido adoptados con entusiasmo por personas de todo el mundo. Particularmente durante los últimos diez años, la industria de las comunicaciones de radio móvil ha crecido por órdenes de magnitud, impulsada por las mejoras en la fabricación de circuitos digitales y de RF, la nueva integración de circuitos de circuitos a gran escala y otras tecnologías de miniaturización que hacen que los equipos de radio portátiles sean más pequeños, más baratos y más confiables. Las técnicas de conmutación digital han facilitado el despliegue a gran escala de redes de comunicaciones por radio asequibles y fáciles de usar. Estas tendencias continuarán a un ritmo aún mayor durante la próxima década. (Rishabh, 2012)

3.3.1 SISTEMAS INALÁMBRICOS

En los sistemas inalámbricos, la conexión entre equipos, como una estación móvil y una estación base, se realiza mediante ondas electromagnéticas en lugar de un cable o un cable. En este sentido, los sistemas de comunicaciones ópticas e infrarrojas también son sistemas inalámbricos. Sin embargo, los sistemas inalámbricos discutidos son solo aquellos basados en el medio de conexión de ondas electromagnéticas de radiofrecuencia (RF). Los actuales límites practicables de radiofrecuencia son aproximadamente de 10 kHz a 100 GHz. Los sistemas inalámbricos actualmente operan comúnmente en cientos de MHz o en algunos tienen una distancia de propagación con una atenuación aceptable y una buena capacidad de penetración a través de edificios y vehículos y pueden transportar señales de banda ancha. (Gu, 2006)

Fundamentos de la comunicación inalámbrica

Hay dos aspectos fundamentales de la comunicación inalámbrica que hacen que el problema sea desafiante e interesante. En general, estos aspectos no son tan importantes en la comunicación por cable. Primero está el fenómeno del desvanecimiento: la variación en el tiempo de las intensidades del canal debido al efecto a pequeña escala del desvanecimiento por trayectos múltiples, así como a los efectos a mayor escala, como la pérdida de trayectoria a través de la

atenuación de la distancia y el sombreado por obstáculos. En segundo lugar, a diferencia del mundo cableado donde cada par transmisor-receptor a menudo puede considerarse como un enlace punto a punto aislado, los usuarios inalámbricos se comunican por aire y existe una interferencia significativa entre ellos. La interferencia puede ser entre transmisores que se comunican con un receptor común, entre señales de un solo transmisor a múltiples receptores, o entre diferentes pares de transmisor-receptor. (Tse & Viswanath, 2005)

3.3.2 COMUNICACIONES DE RF COMUNES

La demanda de frecuencias disponibles y canales claros está creciendo cada vez más debido a más canales montados en vehículos y en aficione a Drones. La contención del espectro es más un problema en entornos urbanos donde los dispositivos de los consumidores deben competir por la asignación de frecuencias. También debido a que la mayoría de los sistemas de radio disponibles usan el estándar de frecuencia sin licencia de 2.4 GHz para Bluetooth, Wifi y otros sistemas de comunicación inalámbrica, surgen problemas serios cuando un equipo de RF se confía que su sistema de comunicación en un entorno urbano donde puede ocurrir interferencias inesperadas debido a un exceso uso de frecuencias. (Agbinya, 2011)

WiFi

Se introdujo Wifi para hacer que la versión inalámbrica (WLAN) de las redes locales generales (LAN), que es la Ethernet cableada común. Wifi es la marca de todos los productos que utilizan estándares IEEE 802.11. Wifi funciona en el mismo rango de frecuencia de Bluetooth, pero usa más potencia, mayor velocidad de bits y mayor rango desde la estación (Sathyan et al., 2016). Ver la Tabla 8 para ver la comparación entre el Wifi y el Bluetooth.

Bluetooth

Bluetooth es una tecnología de conectividad inalámbrica de baja potencia utilizada de forma generalizada en tecnología desde sensores de teléfonos celulares y sistemas de teclado a videojuegos. Bluetooth se ha utilizado ampliamente en implementaciones de IoT durante algún tiempo, siendo el dispositivo principal cuando se usa en modo de baja energía (LE) para balizas, sensores inalámbricos, sistemas de seguimiento de activos, controles remotos, monitores de salud, sistemas de alarma. Ver la Tabla 8 para ver la comparación entre el WiFi y el Bluetooth.

Los dispositivos Bluetooth funcionan en la banda de frecuencia sin licencia industrial, científica y médica (ISM) de 2.4000 a 2.4835 GHz. Como se mencionó anteriormente en este capítulo, esta área particular sin licencia está congestionada con otros medios inalámbricos, como el Wi-Fi 802.11. Para aliviar la interferencia, Bluetooth suministra espectro ensanchado por salto de frecuencia (FHSS). (Lea, 2018)

Tabla 8 – Tabla de comparación de WiFi y Bluetooth.

	BLUETOOTH	WIFI
FRECUENCIA	2.4 GHz	2.4 / 5 GHz
ANCHO DE BANDA	50 Mbps	11 / 54 / 100 Mbps
SEGURIDAD	Baja	Moderada
RANGO	hasta 100 metro	hasta 100 metros
CONSUMO	Reducido	Elevado

Fuente: ieee.org y bluetooth.com

3.3.3 RADIO FRECUENCIAS DE LARGO ALCANCE

La comunicación inalámbrica de largo alcance utiliza invariablemente radiofrecuencia (RF). Normalmente, las comunicaciones de largo alcance utilizan las partes con licencia del espectro de RF y se aplican tarifas de usuario. Las comunicaciones de corto alcance pueden utilizar tanto RF como infrarrojos y normalmente utilizan partes del espectro de frecuencias sin licencia. (Thompson et al., 2008)

LoRa

El espectro extendido LoRa es una modulación patentada desarrollada por Smtech basada en la modulación de espectro expandido chirp (CSS). LoRa (abreviatura de "largo alcance") proporciona un consumo de largo alcance y bajo consumo de energía, una velocidad de datos baja y una transmisión de datos segura. Lora se puede usar con redes privadas o híbridas para lograr un mayor alcance que las redes celulares. La tecnología LoRa puede integrarse fácilmente con las redes existentes y permite aplicaciones de Internet de las cosas (IoT) de bajo costo que funcionan con baterías (Seneviratne, 2019). Ver la Tabla 9 para ver la comparación entre el LoRa y el HC-12.

HC-12

Es un módulo de comunicación de puerto serie inalámbrico. Tiene un alcance de aproximadamente un kilómetro en espacio abierto. Dado dos de este dispositivo, puede enviar datos de telemetría a través de un enlace UART. El módulo tiene un microcontrolador incorporado, por lo tanto, podemos configurar el módulo con la ayuda de comandos AT. El módulo HC-12 tiene cuatro modos de operación, FU1, FU2, FU3 y FU4. Los modos de operación mencionados anteriormente se pueden invocar con la ayuda de comandos AT. Cabe señalar que, dados dos de los módulos HC-12, ambos deberían funcionar en el mismo modo. Se sugiere que cuando opere con este módulo tenga un convertidor de USB a serie (Jose et al., 2019). Ver la Tabla 9 para ver la comparación entre el LoRa y el HC-12.

Tabla 9 – Tabla de comparación de LoRa y HC-12.

	LORA	HC-12
FRECUENCIA	915 / 868 / 433 MHz	433.4 ~ 473.0 MHz
ANCHO DE BANDA	250 bps ~ 50 Kbps	1.2 ~ 115.2 Kbps
RANGO	10 ~ 20 Km	hasta 1000 metros
CONSUMO	Reducido	Reducido

Fuente: lora-alliance.org y HC-12 datasheet

3.4 DISEÑO MODULAR

El diseño modular es una técnica de diseño que se puede utilizar para desarrollar productos complejos utilizando componentes similares. Los componentes utilizados en un producto modular deben tener características que les permitan unirse para formar un producto complejo. El diseño modular se puede ver como el proceso de producir unidades que realizan funciones discretas, y luego conectar las unidades entre sí para proporcionar una variedad de funciones. El diseño modular enfatiza la minimización de las interacciones entre los componentes, lo que permitirá que los componentes se diseñen y produzcan de forma independiente. Se supone que cada componente diseñado para modularidad admite una o más funciones. Cuando los componentes se estructuran para formar un producto, admitirán una función más grande o general. Esto muestra la importancia de analizar la función del producto y descomponerla en

subfunciones que pueden ser satisfechas por diferentes módulos funcionales. (Kamrani & Salhieh, 2013)

3.4.1 TIPO DE MODULARIDAD

El modularidad se puede aplicar en las áreas de diseño de productos, problemas de diseño, sistemas de producción o los tres. Es preferible utilizar un diseño modular en los tres tipos al mismo tiempo; Esto se puede hacer utilizando un proceso de diseño modular para diseñar productos modulares y producirlos utilizando un sistema de producción modular o procesos de fabricación modulares.

Modularidad en productos

Los productos modulares son productos que cumplen varias funciones generales a través de la combinación de bloques de construcción o módulos distintos, en el sentido de que la función general realizada por el producto puede dividirse en subfunciones que pueden implementarse mediante diferentes módulos o componentes.

Modularidad en problemas de diseño

La mayoría de los problemas de diseño se pueden dividir en un conjunto de subproblemas más simples y fáciles de administrar. A veces, los problemas complejos se reducen a subproblemas más fáciles, donde un pequeño cambio en la solución de un subproblema puede conducir a un cambio en otras soluciones de subproblemas.

Modularidad en sistemas de producción

El modularidad en los sistemas de producción tiene como objetivo construir sistemas de producción a partir de máquinas modulares estandarizadas. El hecho de que exista una amplia diversidad de requisitos de producción ha llevado a la introducción de una variedad de maquinaria de producción y una falta de acuerdo sobre cuáles deberían ser los bloques de construcción.

METODOLOGÍA

En este capítulo se describirá las características y metodologías para la implementación de los componentes utilizados para desarrollar un medidor de calidad del aire. De igual forma se explicará cada uno de los niveles de sistema aplicados en el desarrollo del proyecto en el cual este se basará en la parte modular, electrónica y de control para lograr un medidor de calidad del aire a bajo costo.

4.1 ENFOQUE Y MÉTODO

La presente investigación tiene un enfoque cuantitativo. El enfoque cuantitativo nos dará los resultados que nos demuestre que el dispositivo a desarrollar será capaz de medir el aire de forma precisa. También demostrará que el costo final por el desarrollo del dispositivo final va ser menor a otros medidores que están disponibles en el mercado actual.

En el proceso de investigación, se debe sustentar las teorías en un método, en la presente tesis se usó el diseño experimental en el cual es un proceso sistemático y una aproximación científica a la investigación en la cual el investigador manipula una o más variables y controla y mide cualquier cambio en otras variables. (Explorable, 2008)

4.2 VARIABLES DE INVESTIGACIÓN

Una parte importante de una investigación de proyecto son las variables, debido a que mediante ellas se fundamentan análisis y observaciones del fenómeno de estudio. El cual debe expresarse en forma de hipótesis mediante los conceptos que son determinados por las variables, en las cuales se distribuye de una forma analítica entre la variable dependiente y variables independientes. (Namakforoosh, 2005). La variable dependiente es la que es afectada por la variable independiente. Este proyecto podemos determinar las siguientes.

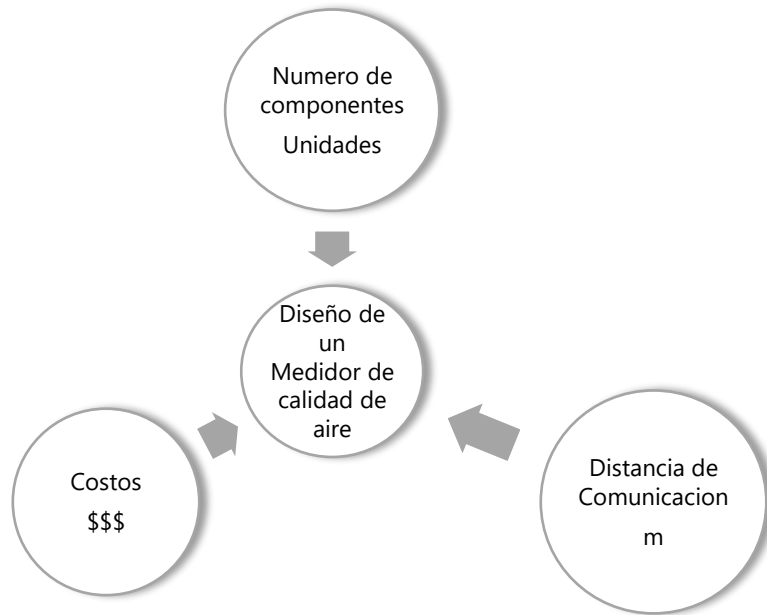


Ilustración 4 - Variables Dependiente e Independiente.

Fuente: Propia (2020).

El medidor de calidad del aire dependerá de las tres variables independientes mostradas en la ilustración 4. Al variar las unidades de las variables independientes se podrá determinar si el medidor es un dispositivo que pueda competir contra otros medidores actuales de preciosos más altos.

4.3 FUENTES DE INFORMACIÓN

La realización de esta tesis trae un alto esfuerzo de investigación en la cual se recopila la información de muchas fuentes diversas en la que son las primarias y secundarias. Las fuentes primarias que contienen la información original siendo fuentes de primera mano tales como: entrevistas, revistas científicas, libros etc. Las fuentes secundarias recopilan, resumen la información de las primarias de la extracción de su información como ejemplo: directorios, enciclopedias.

Fuentes primarias utilizadas:

- Libros
- Revistas de Investigación

Fuentes secundarias:

- Tesis referente a la investigación.
- Se usarán los programas de SolidWorks, Idle Arduino, Fritzing y Mikroc Pro.

4.4 MATERIALES

Los materiales usados fueron con el propósito de un correcto funcionamiento y rendimiento del medidor, veremos a continuación los más importantes:

- Microprocesador: es un circuito integrado que procesara los datos en forma programable.
- Sensores de gases: los sensores de gases son capaces de medir ciertos gases que se encuentra en el aire.
- Baterías: funciona para producir una corriente eléctrica continua.
- Pantalla: es una pantalla grafica que puede mostrar la información que según como se programe.
- Sensor para medir la concentración de las partículas que están suspendidas en el aire.
- Módulo de comunicación inalámbrica de largo alcance.
- Antena para el módulo de comunicación inalámbrica.

4.5 MÉTODO DE ESTUDIO

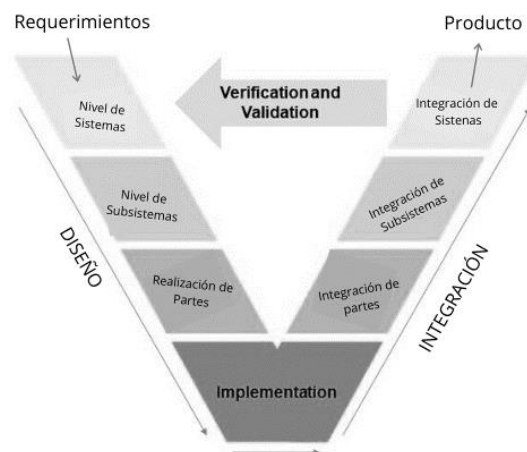


Ilustración 5 - Diagrama de Modelo V

Fuente: Propia (2020).

En la presente sección se remite a los métodos utilizados para el desarrollo del problema planteado anteriormente, especificando las actividades que se realizaron basándose en la metodología adecuada para la validación del proyecto. Para mejorar la eficiencia de la metodología del sistema mecatrónico se a utilizar un proceso de diseño de sistema mecatrónico que se realiza un ciclos que contiene 6 etapas

4.6 ETAPA INICIAL: REQUERIMIENTOS

El primer paso tiene como objetivo identificar las necesidades del proceso de diseño. Para realizar estas identificaciones se utilizó la herramienta de La Bête A Cornes (Ilustración 6) que es el primer paso del método APTE (método de análisis Funcional y análisis de valor).

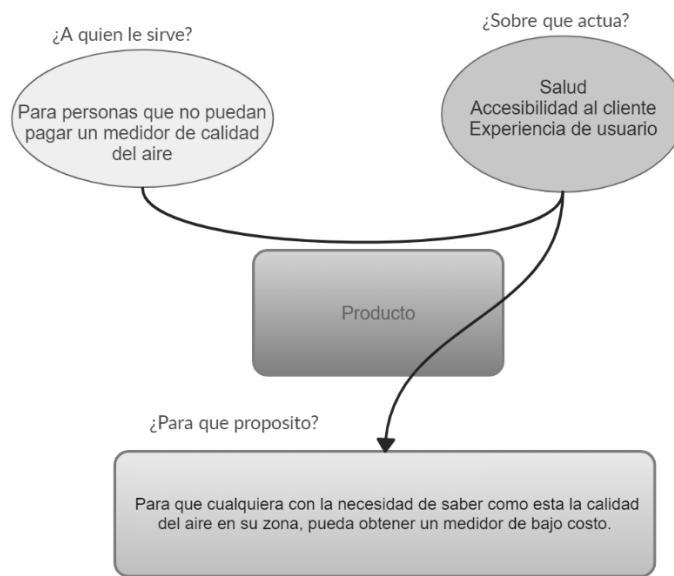


Ilustración 6 - Diagrama La Bête A Cornes, Método APTE

Fuente: Propia (2020).

Basado en la identificación de necesidades, se realiza un análisis funcional para definir las funciones globales del sistema en general. Este análisis debe definir tres tipos diferentes de funciones:

1. La función principal que satisfacen las necesidades y es razones por la que se debe crear un medidor de calidad del aire a bajo costo, es para que sea accesible para todo el público.
2. En la función de Restricción se tiene que verificar que el sistema de control funcione correctamente en el medidor, que la medición sea precisa y confiable.
3. La función complementaria del producto sería un medidor de bajo costo y con comunicación inalámbrica.

La solución final dependerá en gran medida de este análisis: la mayoría de las diferencias entre dos productos que tienen las mismas funciones principales resultan de la restricción y las funciones complementarias.

4.7 CICLO DE LA METODOLOGÍA V

A continuación, se habla de manera detalla del ciclo usado para realizar el medidor de calidad del aire. El ciclo consta de diferentes niveles, empezando con plantear el nivel de los sistemas, después el de los subsistemas y por último la partes que se requieran. Para la parte de integración se realizará diferentes técnicas para desarrollar cada uno de los niveles mencionados anteriormente.

4.7.1 NIVEL DE LOS SISTEMAS

En este paso, descomponemos las funciones expresadas en el paso anterior para obtener los sistemas, luego funciones técnicas y elementales.

- El sistema de lectura y escritura, es donde se va obtener los datos de los sensores y serán procesados para el Sistema de procesamiento y energía, también los datos estarán listos, para poder ser enviados al receptor por medios de comunicación por radio frecuencia.
- El sistema de procesamiento y energía se dedica a procesar los datos obtenidos de los diferentes sensores a valores que se necesitan, para poder después mostrarlo en una pantalla y por último determinar la fuente de poder para el medidor.
- El sistema mecánico es un sistema donde se determina el mejor diseño para hacer un intercambio de sensores de manera fácil y rápido para el usuario, y por último diseño de la estructura para el medidor.

4.7.2 NIVEL DE LOS SUBSISTEMAS

Cada sistema mencionado previamente está conformado por varios subsistemas mencionados a continuación:

Subsistema de lectura

- Un microcontrolador 1 recibirá los datos de los sensores. Las lecturas que se tomarán serán las siguientes: la concentración del CO₂ en unidades de Parte por Millón (PPM), Temperatura en grados Celsius, Humedad relativa, la concentración de PM2.5 y PM10 en unidad de µg/m³. Los datos serán enviados a otro microcontrolador 2 por medio del protocolo Serial para poder mostrarlo en una interfaz.

Subsistema de transmisión de datos inalámbrico

- El microcontrolador 1 estará esperando la señal de un maestro o receptor, para poder enviar los datos que está obteniendo por medio un módulo de radiofrecuencia.

Subsistema de energía y carga:

- La batería que será capaz de alimentar a todos los componentes del medidor por medio de un shield. También el shield será capaz de cargar a la batería.

Subsistema de interfaz

- El microcontrolador 2 recibirá los datos de los sensores por medio del microcontrolador 1 usando un protocolo Serial. Se mostrarán los datos en una interfaz de fácil uso para el usuario.

Subsistema modular

- Se diseñará un método que sea fácil de reemplazar los sensores.

Subsistema de estructura

- Se diseñará la estructura de donde estarán los componentes del medidor.

4.7.3 ETAPA III REALIZACIÓN DE PARTES

En la etapa tres se realizaron las pruebas experimentales individuales para cada componente mencionado en la etapa dos. Se realizará las pruebas para obtener el valor más preciso de los

diferentes sensores, también se hará pruebas de autonomía del dispositivo por largos tiempo usando batería, como también que el sistema modular sea la forma más fácil y sencillo de usar para hacer cambios de sensores y por último saber cuál es la máxima distancia de comunicación inalámbrica.

4.7.4 ETAPA IV INTEGRACIÓN DE PARTES

Para la primera parte de la fase dos se realizaron diferentes pruebas experimentales para los distintos subsistemas. Para las pruebas se utilizaron herramientas como SolidWorks. Cada componente fue evaluado meticulosamente con las pruebas adecuadas para él. Para el sistema de lectura y sistema de procesamiento se hicieron pruebas entre el microprocesador y los sensores. En el sistema de energía y carga se realizaron análisis para determinar la calidad y durabilidad y así comprobar la autonomía del sistema. Y para terminar se hicieron las pruebas del sistema de transmisión de datos para determinar cuál es la máxima distancia en la que se puede transmitir los datos.

4.7.5 ETAPA V INTEGRACIÓN DE SUBSISTEMA

El siguiente paso fue integrar todos los componentes de los subsistemas y comprobar que su funcionamiento en conjunto sea exitoso. Se realizaron diferentes pruebas experimentales para cada sistema.

4.7.6 ETAPA VI INTEGRACIÓN DE SISTEMAS

Para el último paso se integraron todos los sistemas para construir el prototipo de laboratorio que todavía no estaba instalado en el producto final. Este paso es importante porque se realizaron las pruebas necesarias para verificar el funcionamiento en conjunto del producto. Con los resultados de las pruebas se pueden conocer los errores del sistema lo que nos da el conocimiento necesario para poder hacer los cambios necesarios en el siguiente ciclo de modelo V.

4.8 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

En este se detallan las descripciones específicas de las actividades a realizar en este caso se tiene un plazo de 10 semanas para la ejecución del proyecto en el que primero se dio la propuesta y realización de la problemática llevando una mejor organización con respecto a las actividades de

cada semana buscando la información necesaria y comparativa en los costos y elaboración del proyecto asegurando tener los objetivos y ejecución del prototipo en el tiempo establecido.

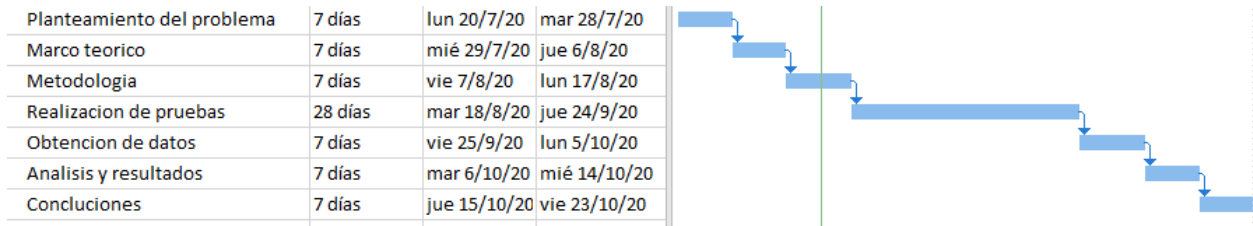


Ilustración 7 - Cronograma de Actividades

Fuente: Propio (2020).

V. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En este capítulo se tiene como objetivo dar a conocer los aportes generados gracias a las teorías de sustento que se dieron a conocer en el marco teórico. Como también de forma resumida, se describirán los aspectos abordados a lo largo de la investigación realizada, los resultados obtenidos y su análisis.

5.1 ANÁLISIS DE SUSTENTO DEL MARCO TEÓRICO

La investigación del marco teórico se basó a diferentes medidores de calidad del aire, para medir en lugares como ciudades, donde hay más contaminación y que las enfermedades respiratorias son más frecuentes por la mala calidad del aire de la zona. Un inconveniente del porque no se mide la calidad del aire en la ciudad es por los altos costos de los equipos, porque un equipo no es suficiente para saber la calidad del aire promedio de la ciudad. Para la investigación se tomaron en cuenta varios factores, para lograr un medidor que sea de bajo costo, pero que también tenga comunicación inalámbrica. Se investigó diferentes sensores que sean capaces de medir diferentes contaminantes que hay en el aire, también diferentes comunicaciones de radio frecuencia, que sean de bajo costo y de fácil implementación. También se investigó para la parte de procesamiento que microcontrolador será el mejor para este medidor y el mecanismo modular que se implementará en el medidor.

5.2 ETAPA III: HACER LAS PARTES

A continuación, se eligieron los componentes específicos que se utilizarán en el desarrollo del prototipo.

Subsistema de lectura

- MQ-135: Los sensores de gases MQ son una familia de dispositivos diseñados para detectar la presencia de distintos componentes químicos en el aire, en este caso sea detectar la concentración de CO₂ en un rango de 10 – 1000 PPM. Para obtener la concentración del CO₂, es de una relación de R_s/R_0 , donde R_0 , es una resistencia fija expuesta al aire y R_s varia su

resistencia según con el gas que es expuesta. Mas adelante se mencionará un problema de fabrica del módulo del MQ-135.

- SDS011: El sensor SDS 011 es un sensor de calidad del aire bastante reciente desarrollado por Nova Fitness, una empresa derivada de la universidad de Jinan (en Shandong). En la Tabla 10 podrá observar las especificaciones del sensor.

Tabla 10 - Características de SDS011

Nombre del parámetro	Valor
Salida	PM2.5, PM10
Rango de medición	0.0-999.9 µg/m ³
Voltaje de entrada	5 V
Corriente máxima	80 mA
Serial	Si
Error relativo	± 10 µg/m ³
Temperatura de trabajo	-10 – 50°C

Fuente: Nova Fitness Co. (2015)

- DHT22: El DHT22 (AM2302) es un sensor digital de temperatura y humedad relativa de buen rendimiento y bajo costo. Integra un sensor capacitivo de humedad y un termistor para medir el aire circundante, y muestra los datos mediante una señal digital en el pin de datos (no posee salida analógica) (T. Liu, 2018).
- Microcontrolador 1: Este microcontrolador recibirá los datos por los sensores y los procesará para poder enviarlo a otro microcontrolador, también para poder enviar los datos por un módulo de radiofrecuencia usando protocolo Serial. El dispositivo que procesará la información dada será el ATMEGA328P-PU por su bajo costo y fácil uso. Se usará el IDE de Arduino para realizar la programación correspondiente del microcontrolador. En la siguiente Tabla 11 se observará unas características básicas del ATMEGA328P.

Tabla 11 - Características de ATMEGA328P-PU

Nombre del parámetro	Valor
Memoria de programa	32 kb
Convertidores ADC	6
Entradas/Salidas Digital	23
Serial	1
Interrupción externa	2
EEPROM	1 Kb

Fuente: Datasheet de ATmega328P. (2015)

Subsistemas de transmisión de datos inalámbrico

- HC-12: El Transceptor HC-12 de 433 MHz es un módulo de comunicación de puerto serie inalámbrico. Este módulo dará la comunicación entre el medidor con el maestro en la Tabla 12 observará especificaciones básicas del módulo de radiofrecuencia. La razón de escoger este módulo, es porque en el país donde estoy Honduras el internet no está en todas partes. el Wifi es el medio más común para conectarse al internet, pero es una señal de radiofrecuencia, pero de corto alcance y el bluetooth también es de corto alcance. Mencionado todo lo anterior no cumpliría la necesidad de mandar datos distancias de 100 metros o más.

Tabla 12 - Características de HC-12

Nombre del parámetro	Valor
Frecuencia de Trabajo	de 433.4 – 473.0 MHz
Voltaje de entrada	5 V
Distancia de Comunicación	0-2 Km
Protocolo	Serial (UART)
Velocidad de Transmisión	de 1.2 – 115.2 Kbps

Fuente: Datasheet de HC-12 (2012)

- Antena SMA de 433 MHz: Para poder mejorar el alcance del módulo HC-12, se usará una antena SMA de 433MHz que sea compatible con el módulo y por su dirección omnidireccional.

Subsistema de energía y carga

- Batería 18650 3.7 V Li-ion: La batería 18650 será la fuente de poder para el medidor, por su pequeño tamaño y su capacidad de 9800 mAh.
- Shield para Batería 18650: Este shield proporciona el funcionamiento de carga para la batería, como regulador de voltaje en su salida de 5 V y 3.3 V.

Subsistema de interfaz

- Microcontrolador 2: Este microcontrolador recibirá los datos del microcontrolador 1 por medio de comunicación Serial. Estos datos serán mostrados en una pantalla donde el usuario podrá verlos. El microcontrolador seleccionado para esta tarea es el PIC18F45K22, por su gran capacidad de procesamiento y con gran cantidad de Entradas/Salidas digitales configurables, y su bajo costo. En la Tabla 13 observara características básicas del microcontrolador. El programa a utilizar para la programación del microcontrolador es Mikroc for Pic.

Tabla 13 - Características de PIC18F45K22

Nombre del parámetro	Valor
Memoria de programa	32 Kb
Convertidores ADC	28
Entradas/Salidas Digital	35
Serial	2
Interrupción externa	3
EEPROM	1 Kb

Fuente: Datasheet de PIC18F45K22. (2016)

- Pantalla: Ya que no se requiere mostrar muchos datos al usuario, una LCD de 20x4 cumple con lo que se pretende mostrar para este proyecto.

Subsistema modular

- Diseño modular: Se diseñará una manera que sea fácil para el usuario hacer cambios de los sensores, si se llegara requerir.

Subsistema de estructura

- Diseño de estructura: Se diseñar partes del medidor donde se encontrará todos los subsistemas mencionados anteriormente, para este caso el programa que se usara es SolidWorks 2018, para crear diferentes piezas que serán necesarias para construir el medidor y como base se usara una caja eléctrica de plástico con unas dimensiones de 20x20x8 cm.

5.2.1 DISEÑO DE PLACA ELECTRÓNICA 1

Siguiendo los pasos de la metodología, se probaron los partes utilizados en los subsistemas.

En los subsistemas de lectura, transmisión de datos inalámbrico y modular, se diseñó una placa de electrónica que se encuentra todos los subsistemas mencionados anteriormente. Puede observar en la Ilustración 14 el resultado final de la placa de electrónica 1, usando el programa Fritzing se diseñó la placa de la Ilustración 13, la placa tiene unas dimensiones de 84x68 cm.

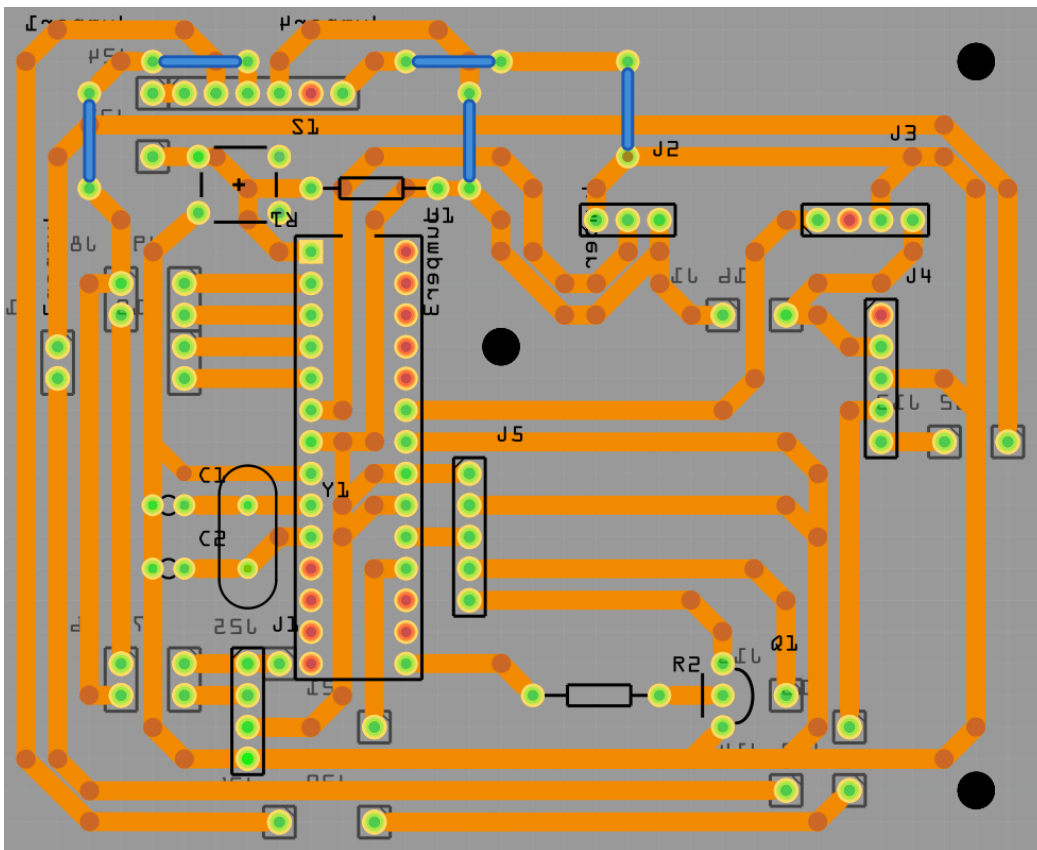


Ilustración 8 – Placa Electrónica 1

Fuente: Propio (2020).

5.2.2 DISEÑO DE PLACA ELECTRÓNICA 2

Después se realizó el diseño de la placa electrónica 2, donde se puede observar en la Ilustración 9, usando el mismo programa mencionado anteriormente. Esta placa compone el subsistema de

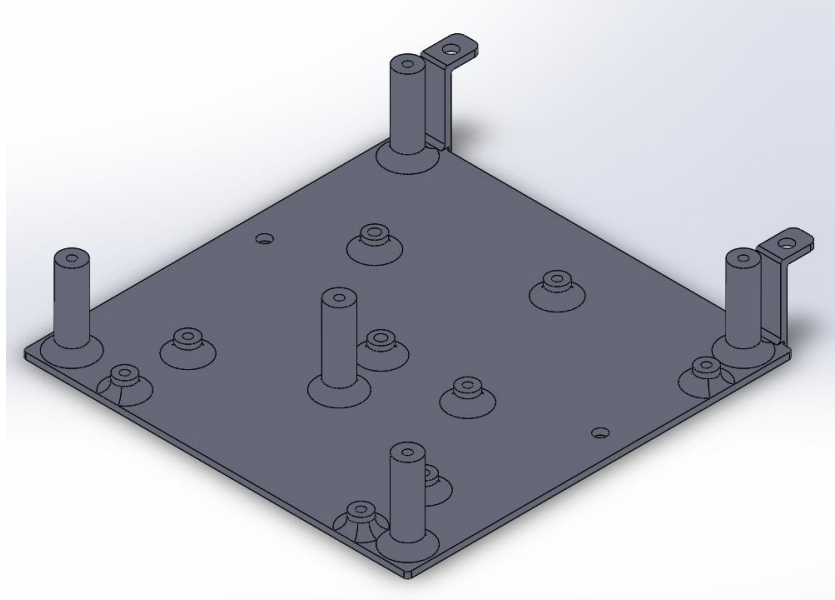


Ilustración 10 – Sostenedor de nivel inferior

Fuente: Propio (2020).

En el nivel superior que se observa en la Ilustración 11, se diseñó para poder colocar la placa electrónica 2, también se tomó en cuenta para subsistema de modular de los sensores. Se tomo en cuenta para que se pueda colocar los interruptores de la alimentación y de la pantalla LCD. Para sostener la placa de electrónica y nivel superior del uso de tornillos para tener una buena fijación.

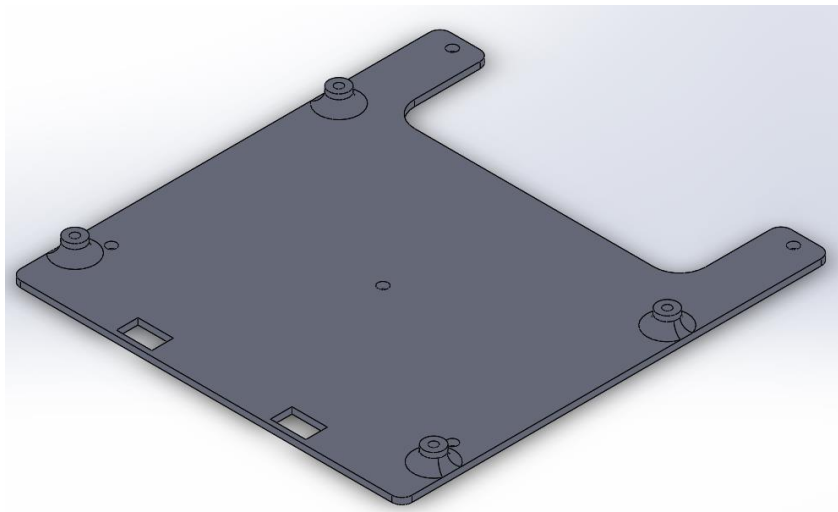


Ilustración 11 – Sostenedor nivel superior

Fuente: Propio (2020).

Para que pueda entrar aire al medidor se diseñó un filtro. La necesidad que entre aire al medidor es necesario porque el medidor va estar sellado, pero se necesita del aire del ambiente para que los sensores puedan medir los diferentes contaminantes en el aire. El filtro se diseñó con el propósito de que se pueda atornillar del exterior de la carcasa del medidor, hay que aclarar que la carcasa solo fue comprada en una ferretería, porque cumplía con las especificaciones necesarias. Con el sostenedor del filtro que va estar adentro de la carcasa. El sostenedor va tener una boquilla en la que se conectará una manquera con la que se unirá con el sensor SDS011.

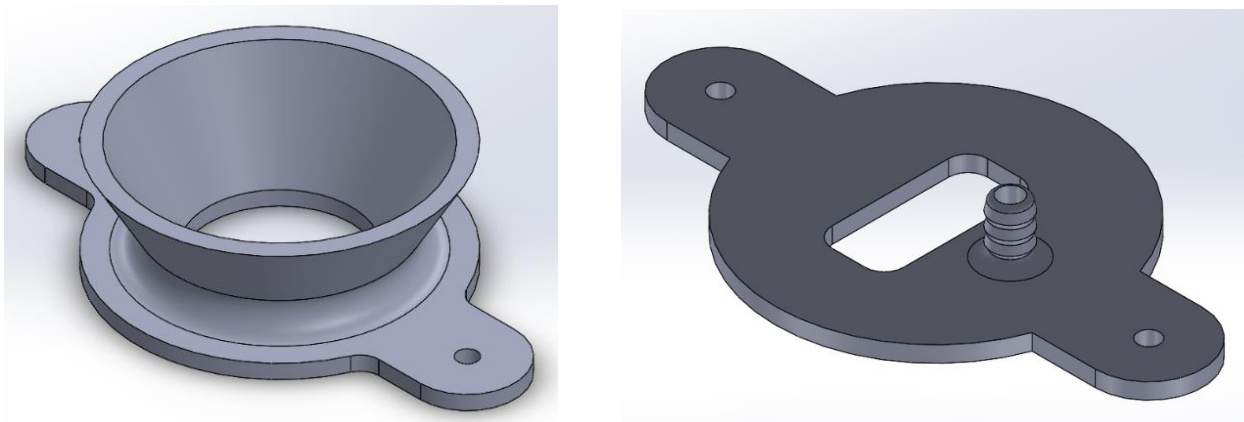


Ilustración 12 – Sostenedor nivel superior

Fuente: Propio (2020).

En el último subsistema se diseñó en una vista explosionada del prototipo final del medidor utilizando el programa SolidWorks como lo podemos observar en la Ilustración 13, donde se observa cada uno de los componentes utilizados para la realización del proyecto. Hay que aclarar que faltaron componentes como conectores, resistencias, entre otros componentes pequeños, este renderizado solo es para hacer una idea de cómo será el medidor y todos los sistemas que componen al medidor.

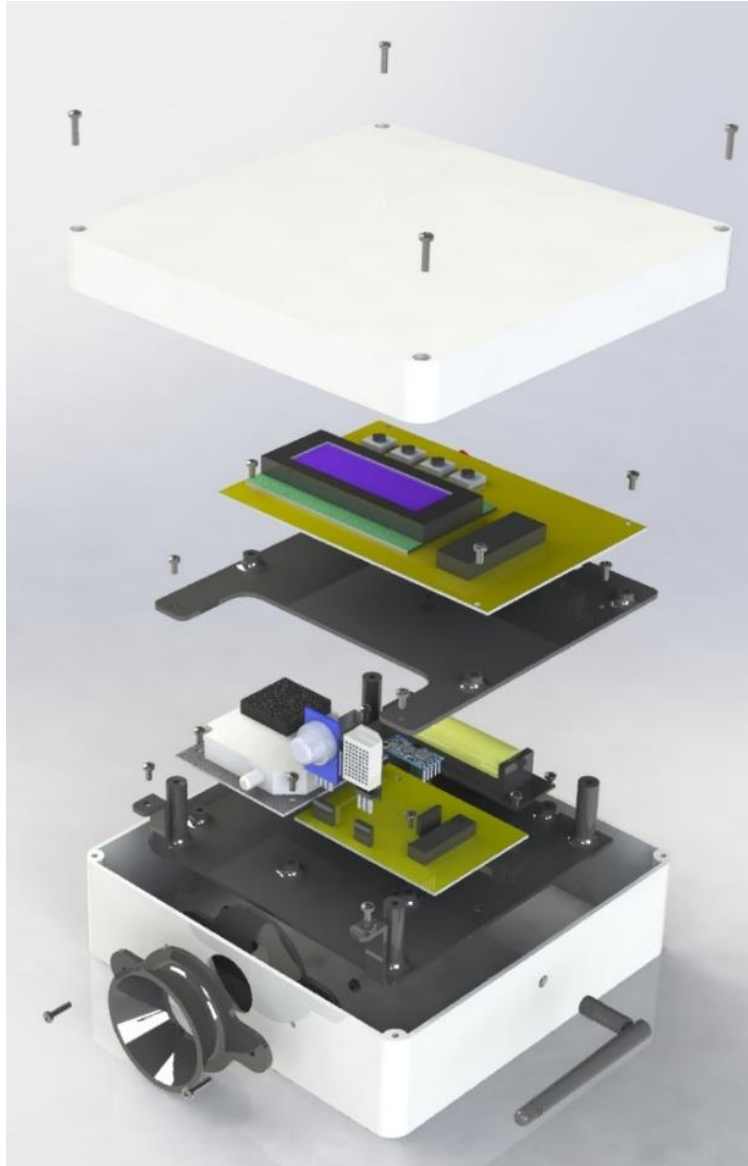


Ilustración 13 – Renderizado

Fuente: Propio (2020).

5.3 ETAPA IV: INTEGRACIÓN DE LAS PARTES

A continuación, se realizarán la fabricación y obtención de los componentes requeridos para realizar el dispositivo.

Como se observa en la Ilustración 14, el área que circulada de rojo es la parte de donde estarán los sensores, que también será el subsistema modular, es conformado de una manera que sea fácil el cambio de los sensores. El cuadro de amarillo es la entrada para el módulo de

radiofrecuencia HC-12, que está conformado por un área pequeña en la placa, porque el módulo tiene un tamaño bien compacto, con unas dimensiones de 14.4x27.8 mm. Ahora en el área que está marcada con un cuadro azul, es una faja de alimentación y de datos que proviene de la placa electrónica 2 que observamos en la Ilustración 14. También se puede observar el ATmega328p, que será el quien reciba los datos de los sensores, que después será enviado a la PIC18F45K22 que podemos observar en la Ilustración 14 La placa tiene componentes comunes para el funcionamiento idea del microcontrolador, con su respectico botón de RESET, su cristal oscilador de 16 MHz, resistencias, capacitor cerámico.

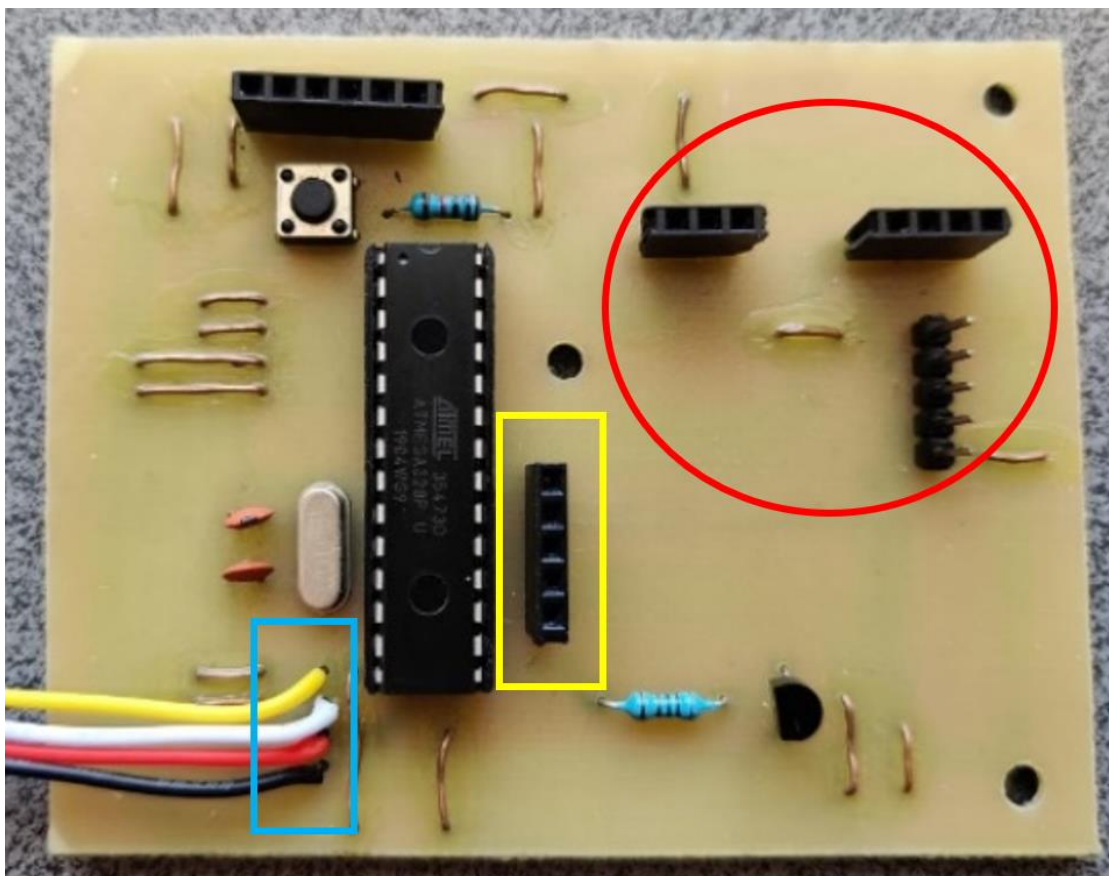


Ilustración 14 – Placa Electrónica 1 realizada

Fuente: Propio (2020).

Cambio de resistencia para el módulo MQ-135

El problema era que el módulo venia con error de diseño del circuito, en la Ilustración 15, podemos observar que una resistencia circulada en rojo es R_L , el fabricante del sensor recomienda que el

valor de la resistencia tiene que andar en un rango de 10K – 47KOhmios. La resistencia que venía de fabrica en el módulo era de un 1K Ohmio, esto es un problema porque no se van obtener valores precisos, para esto se hizo un cambio de la resistencia por una de 10K Ohmio.

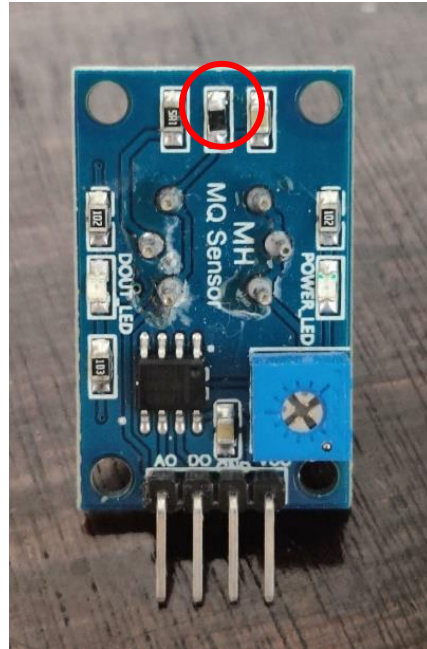


Ilustración 15 – Cambio de resistencia para el módulo MQ-135

Fuente: Propio (2020).

La placa electrónica 2 consta de unas dimensiones de 158x109 mm, también de botones para poder interactuar con la interfaz, para poder observar los datos y poder las diferentes configuraciones del medidor esta la pantalla LCD 20x4 que se ve en la Ilustración 16. A la par de la LCD está el microcontrolador PIC18F45K22, que recibirá los datos del ATmega328p, que en este caso son los datos de los sensores. También tiene la entrada para la fuente de poder, y dos interruptores, un interruptor para activar/desactivar la alimentación, el otro interruptor para activar/desactivar la pantalla de la luz de la LCD. La placa tiene entrada para poder programar del microcontrolador usando de un programador Pickit 3, el oficial por microchip.

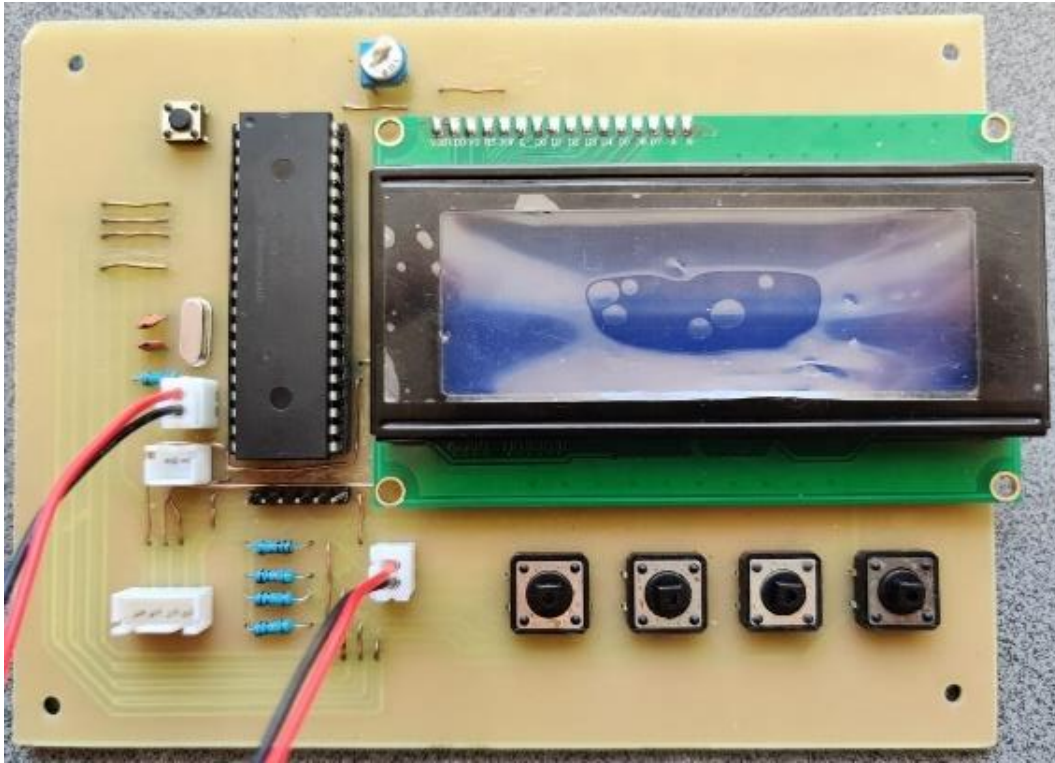


Ilustración 16 – Placa Electrónica 2 realizada

Fuente: Propio (2020).

5.4 ETAPA V: INTEGRACIÓN DE LOS SUBSISTEMAS

En la etapa cinco, partes de los subsistemas se integran para probar su comportamiento juntos.

5.4.1 PLACA DE ELECTRÓNICA 1

Para la placa de electrónica 1, se hicieron varias pruebas porque es la combinación de diferentes partes de cada uno de los subsistemas de lectura, modular y comunicación de dato inalámbrico, observar la Ilustración 17. Para asegurar que la placa cumple con el diseño, se hicieron pruebas como la comprobación de todas las conexiones, soldadura de componentes, corto circuito entre pistas. También se hicieron pruebas a los sensores y al módulo de radio frecuencia para segura que estén funcionando correctamente. Se hizo una prueba al microcontrolador subiéndole una programación básica de lectura del sensor MQ-135, DHT22 y el SDS011, donde los datos observados en el monitor serial del Idle de Arduino. Para el módulo de radio frecuencia se hizo una prueba usando el microcontrolador para que enviara "A" y "B" por el puerto serial del módulo

HC-12, donde otro receptor recibía estos datos para encender o apagar un les dependiendo de la letra que recibiera.

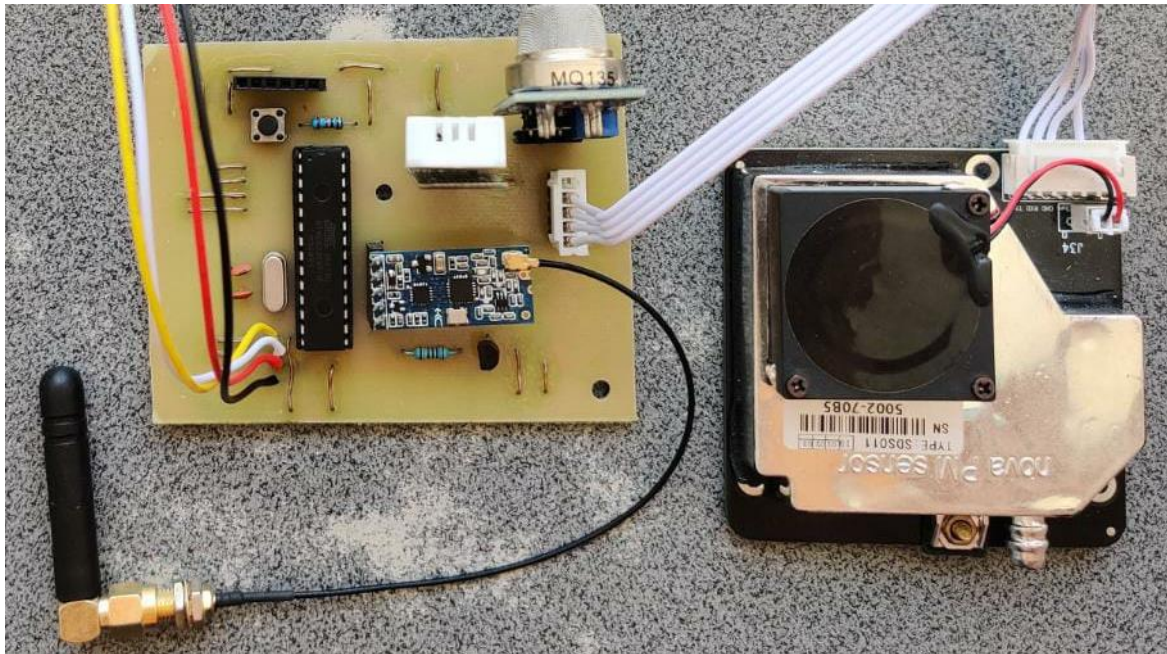


Ilustración 17 – Subsistema de lectura, modular y transmisión de datos inalámbricos

Fuente: Propio (2020).

Ahora vamos la combinación de todos los subsistemas, excepto del subsistema de estructura. En la Ilustración 18 podemos observar que ciertas zonas están marcadas con los colores verde, azul y amarillo. En la zona que está marcada en verde es el subsistema de interfaz, que es donde el usuario podrá interactuar con el medidor, por medio de los pulsadores. El are que está marcada en azul, es la combinación del subsistema de lectura, modular y transmisión de datos inalámbricos. En esta zona se obtendrán los datos de los sensores y también para poder transmitir los datos cual el maestro ocupe los datos del medidor. Y por último en la zona de amarillo es el subsistema de carga y energía, que va ser la fuente que va suministrar la energía al medidor, más adelante vamos observar las pruebas de autonomía del medidor. El subsistema modular está en todas las áreas, en las piezas y los sensores, porque todos son desmontables y para el cambio de partes es fácil porque solo es de atornillar.

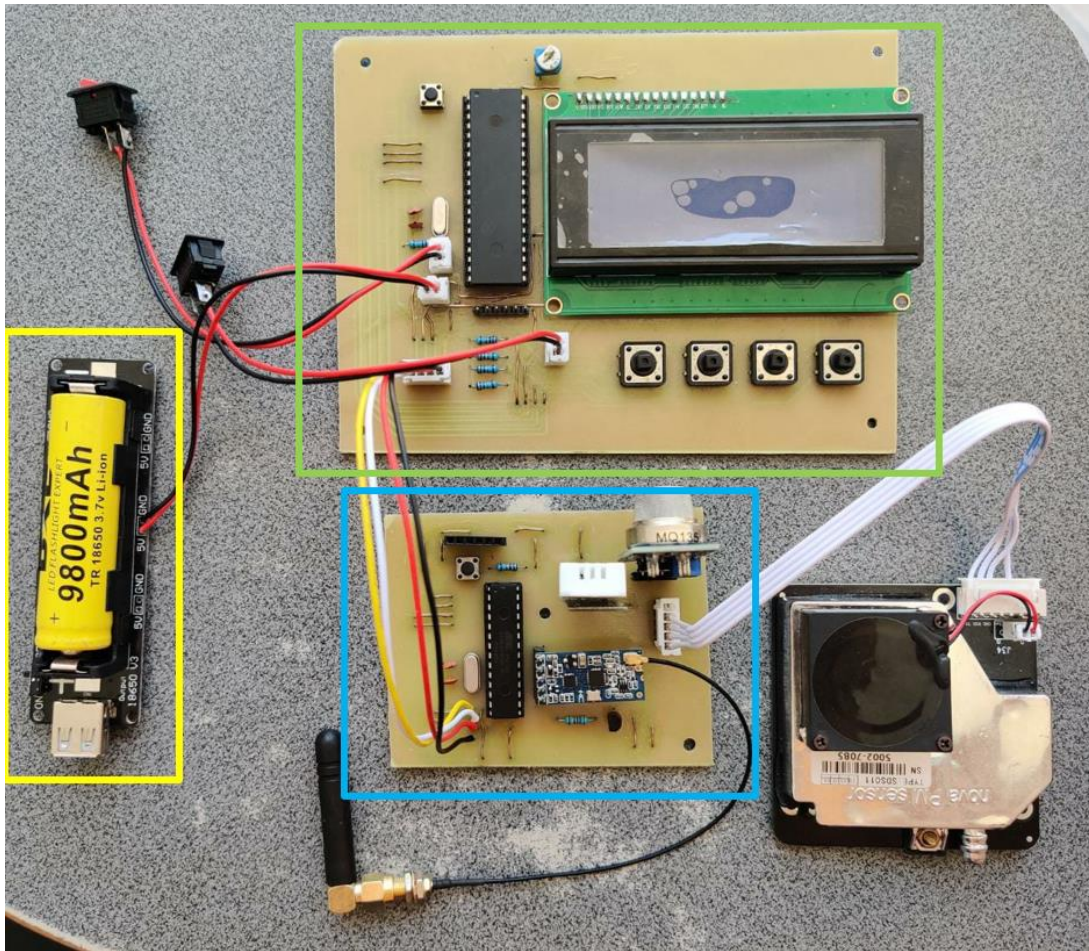


Ilustración 18 – Subsistema modular, lectura, transmisión de datos inalámbricos, carga y energía

Fuente: Propio (2020).

5.4.2 PROGRAMACIÓN

Después se pasó hacer la programación del microcontrolador ATmega328p, para poder combinar todos los subsistemas mencionados anteriormente. Se tiene que tomar en cuenta microcontrolador va ser un esclavo, que estará en espera de lo que le diga su maestro, en este caso el PIC18F45K22. La comunicación entre los dos microcontroladores va ser con el protocolo Serial, donde el maestro le va mandar unos ciertos comandos para que el esclavo ejecute la instrucción esperada, si observan en la Ilustración 19, es un flujo grama de la programación del ATmega328p, de una forma más detallada entendible de lo que se hizo en la programación. La programación no tiene un fin, siempre está en bucles infinitos, esperando recibir una orden del

maestro. Toda orden que reciba es por medio del protocolo serial tanto por la PIC18F45K22 o por el módulo HC-12, que serán lo que van pedirle la información de los sensores para la transmisión correspondiente. Ya que el ATmega328p solo tiene un puerto serial, se hace el uso de una biblioteca de la creación de más puertos seriales por medio de software, porque en este caso se necesita 3 puertos seriales. Los 3 puertos seriales que se utilizan para el sensor SDS011, HC-12 y la comunicación entre los dos microcontroladores, cumpliendo con todas las necesidades requeridas para el proyecto.

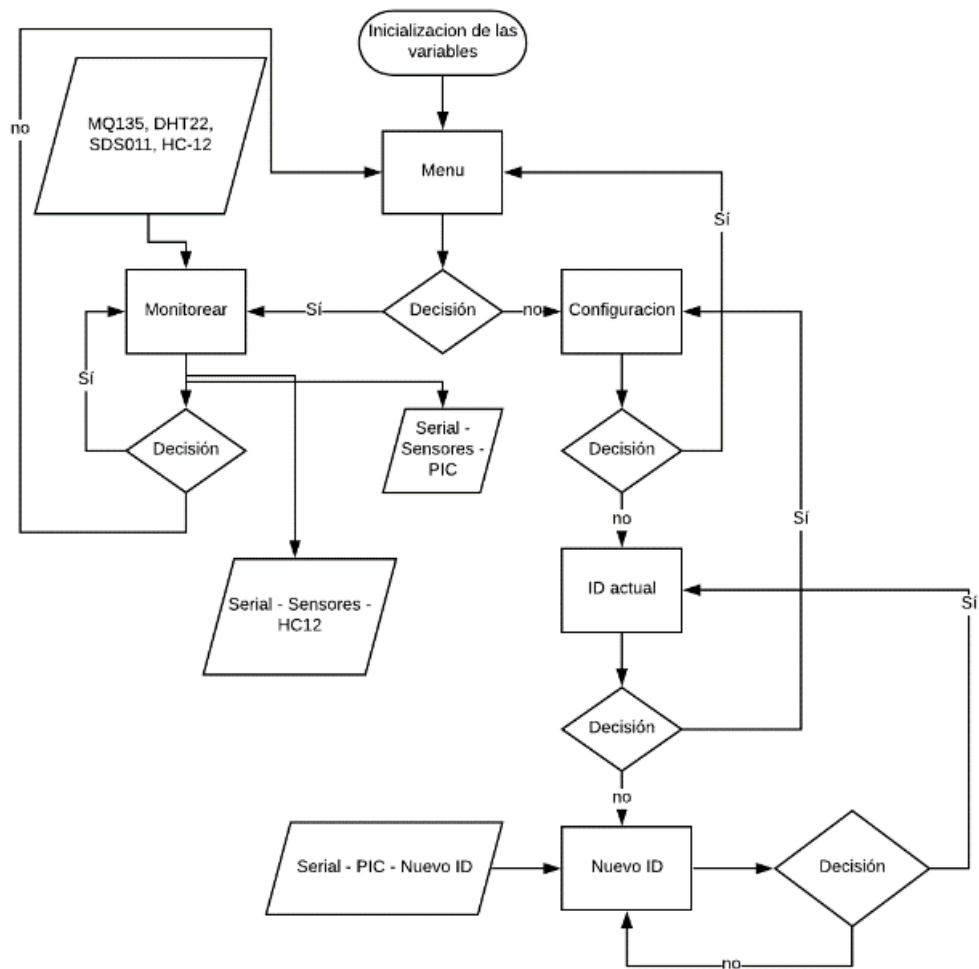


Ilustración 19 – Flujograma del ATmega328p

Fuente: Propio (2020).

5.4.3 PLACA DE ELECTRÓNICA 2

En la placa electrónica 2 consiste del subsistema de interfaz, importante para poder observar los datos del medidor, por eso se hicieron varias pruebas como en la placa anterior, como prueba de conexiones, soldadura correcta, prueba de continuidad en las pistas, dando los resultados esperados. Se hizo la prueba de comunicación entre el microcontrolador PIC18F45K22 y la LCD, observar la Ilustración 16. En la prueba se realizó subiéndole una programación al microcontrolador con la ayuda del programa Mikroc for PIC, haciendo que imprimiera en la LCD el mensaje "Hello World", donde si se obtuvo resultados correctos. También se hicieron con lo diferentes botones para verificar que el microcontrolador recibía lo pulsos, muy importante que lo botones funcionen correctamente porque el usuario de esa manera va poder interactuar con el medidor. Las dos últimas pruebas constaban probar la alimentación por parte del subsistema de carga y energía, y la comunicación Serial con el microcontrolador ATmega328p donde fue exitosa la prueba. También hay que mencionar los intervalos de tiempo para poder observar los datos es cada dos segundos, esto es por la limitación del sensor DHT22, que su tiempo más rápido de muestreo es de dos segundos.

Ahora veremos la programación para la PIC18F45K22 que en este caso va ser el maestro, donde él le va pedir al esclavo que le mande los datos de los sensores, que en este caso es el ATmega328p. La decisión de usar dos microcontroladores es porque si se llegara necesitar agregar nuevos subsistemas como por ejemplo un Micro-Sd que este guardando los datos de los sensores, en este caso de la PIC18F45K22 puede llegar guardar esos datos y poder observarlo en la pantalla LCD. También para esta programación se usó la memoria EEPROM del microcontrolador PIC18F45K22, para poder llegar guardar el Id del dispositivo, por si llegara cambiar. La idea de usar una Id es para que un receptor quisiera saber la lectura del medidor, pueda especificar los datos de cual medidor necesita. Para entender mejor la programación que se hizo para el PIC18F45K22, observe el flujo grama de la Ilustración 20.

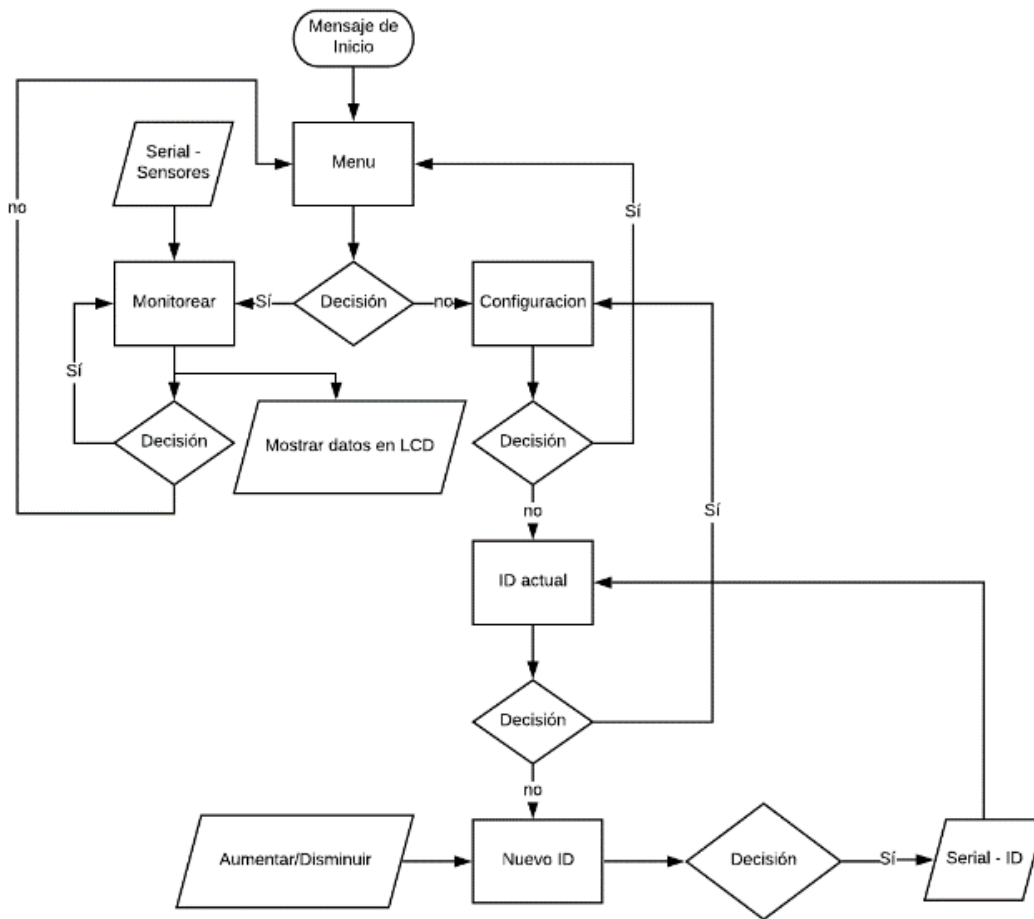


Ilustración 20 – Flujograma del PIC18F45K22

Fuente: Propio (2020).

5.4.4 SUBSISTEMA DE CARGA Y ENERGÍA

El subsistema de carga y energía consiste en poder alimentar a todo el medidor y también poder cargarlo sin la necesidad de sacar la fuente de poder, en la Ilustración 21 podrá observar la batería 18650 de Li-ion de una capacidad de 9800 mAh y el shield para cargar esta misma batería. En la Tabla 14 podrá observar la autonomía del medidor. Con todos los subsistemas funcionando, se hicieron dos pruebas, una consiste usar el medidor de forma continua con la pantalla LCD encendida en todo tiempo y la otra con la pantalla apagada. Se puede observar que con la pantalla apagada se tiene un aumento del 9% en duración de la batería o su equivalente en tiempo seria

13 minutos más. El tiempo de carga empezando del 0% al 100% aproximadamente es de 12 horas. El subsistema cumple con la necesidad de entregar la carga necesaria al sistema.

Tabla 14 - Autonomía del medidor

Nombre del parámetro		Valor
Todos subsistemas funcionando	los con pantalla LCD encendida	2 horas y 7 min
Todos subsistemas funcionando	los con pantalla LCD apagada	2 horas y 20 min

Fuente: Propio (2020).

Con los resultados obtenidos en la Tabla 12, podemos entender que la duración del medidor es muy baja a lo que se esperaría de un medidor. Ahora toca calcular cual valor de batería sería el necesario para durar mínimo 8 horas de monitoreo independiente de que si esta con la pantalla encendida o apagada.

Ecuación 1 – Calculo de mejora de autonomía

$$9800 \text{ mAh} = 2 \text{ horas y } 7 \text{ min} \tag{1}$$

$$\text{bateria equivalente} = 9800 \text{ mAh} * 4 = 39,200 \text{ mAh} \tag{2}$$

$$\text{hora en decimal} = 2 \text{ hora} + \left(\frac{7 \text{ min}}{60 \text{ min}} \right) = 2.12 \text{ hora} \tag{3}$$

$$\text{hora total de funcionamiento} = 2.12 * 4 = 8.48 \text{ hora} \tag{4}$$

$$\text{decimal en hora} = 8 \text{ hora y } (0.48 * 60\text{min}) = 8 \text{ hora y } 29 \text{ min} \quad (5)$$

En la ecuación 1 vemos que una batería de 9800 mAh es equivalente a dos horas y siete minutos, con esto podemos hacer un rápido cálculo, ya que se ocupa alcanzar las 8 horas de autonomía del medidor, solo hay que multiplicar el valor de la batería por 4, como vemos en la ecuación 2. Con el resultado de la ecuación obtendremos la batería equivalente para unas 8 horas de autonomía, pero a cuánto tiempo equivale la batería que obtenemos en la ecuación 2, sencillo convertimos las horas que dura solo mente una batería de 9800 mAh a decimal, que en este caso es de 2 horas y 7 minutos, para el cálculo de la conversión solo hay que transformar los minutos a horas, como podemos ver en la ecuación 3. Ahora con el resultado que se obtuvo de 2.12 hora en la ecuación 3, ahora solo es necesario multiplicar por 4, como podemos observar en la ecuación 4. Ya obteniendo cuanto tiempo equivale 39,200 mAh, se transforma a hora como en la ecuación 5, tenemos un resultado aproximado de 8 horas y 29 min de duración. Los 39,200 mAh equivale a 4 batería de 9,800 mAh en paralelo, para así poder lograr con el valor real que se necesita.



Ilustración 21 – Fuente de poder

Fuente: Propio (2020).

5.4.5 SUBSISTEMA DE TRASMISIÓN DE DATO INALÁMBRICO

Para este subsistema usando el módulo HC-12 y la antena SMA, se obtuvo que la máxima distancia de comunicación dentro de una ciudad, en un área circular con un diámetro aproximada de 350 metros, se puede observar este resultado en la Ilustración 22, en la ciudad del El Progreso, Yoro, Honduras. Pero también se tiene que mencionar que la distancia mencionada anterior, puede

variar por interferencia entre transmisor con el receptor, en las pruebas que se realizaron, hubo casos que la distancia entre el receptor y el transmisor fue menos de 350 metros. Estos resultados se realizaron con una velocidad de datos de 9600 baudios, pero esta distancia de comunicación puede variar según la interferencia que hay algo entre transmisor y el receptor. El alcance puede ser mayor en lugares de amplios, sin edificios, interferencias de otros transmisores, el clima, etc.

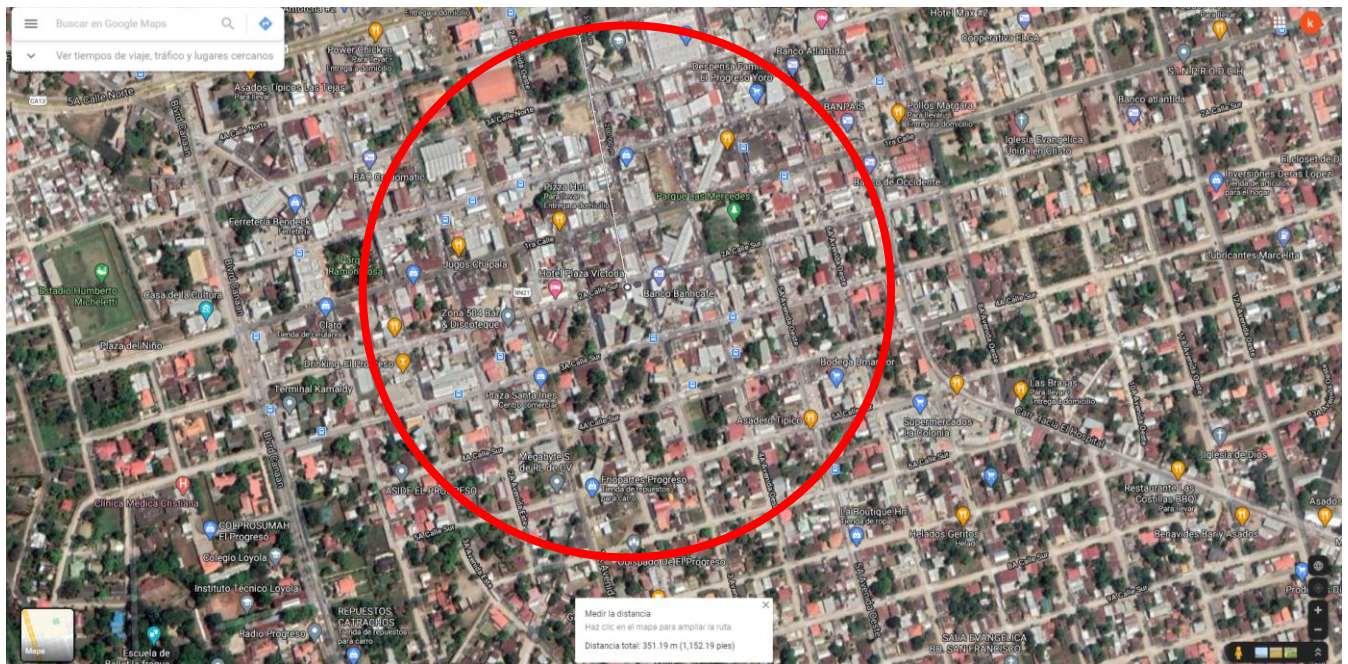


Ilustración 22 – Alcance máximo del medidor

Fuente: Propio (2020).

5.5 RESULTADO FINAL

Con la unión de todos los subsistemas obtenemos como resultado los sistemas que conforman al medidor. Para el resultado final se realizó una prueba de medición por 12 horas, en el centro de la ciudad del El Progreso, Yoro, Honduras. Como resultado final del medidor como se puede observar en la Ilustración 23, el medidor es compacto y pequeño, fácil de cargar en la mano, también por su tamaño deja una gran facilidad colocación para donde requiere medir. Se logra cumplir el diseño modular, donde todas las piezas se pueden desarmar, dando la posibilidad de hacer cambios o llegar hacer reparaciones.

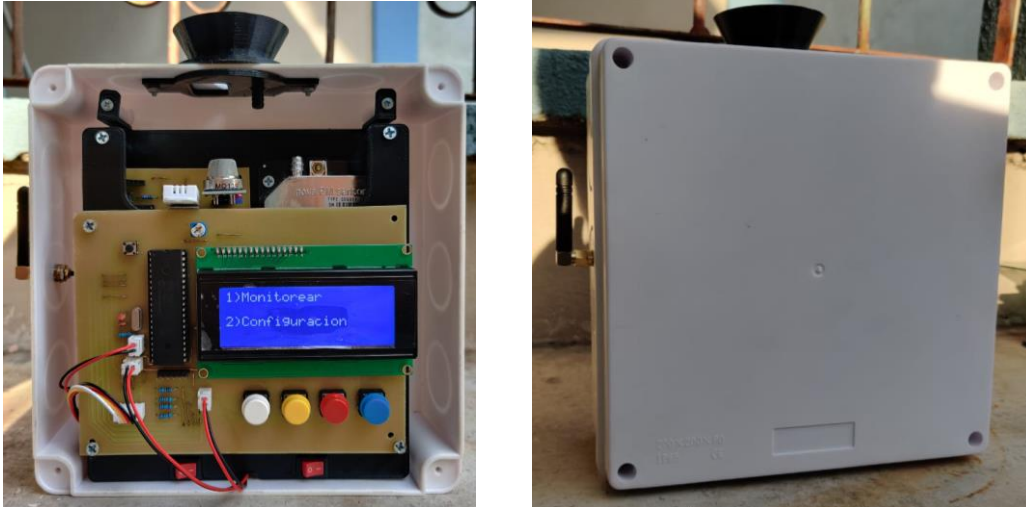


Ilustración 23 – Resultado final del medidor

Fuente: Propio (2020).

Prueba de medición

Para la prueba de medición, concistio en colocar el medidor en el centro de la ciudad del El progreso, Yoro. Como podemos ver en Ilustración 24, el medidor esta en un buen lugar para lograr obtener la calidad del aire en el centro de la ciudad. Hay que mencionar que se tubo que usar una fuente externa para poder lograr que el medidor funcionara las 12 horas esperadas, tambien antes de la medicion se tiene que precalentar el sensor MQ-135 por 24 horas antes de su uso, recomendado por el fabricante.

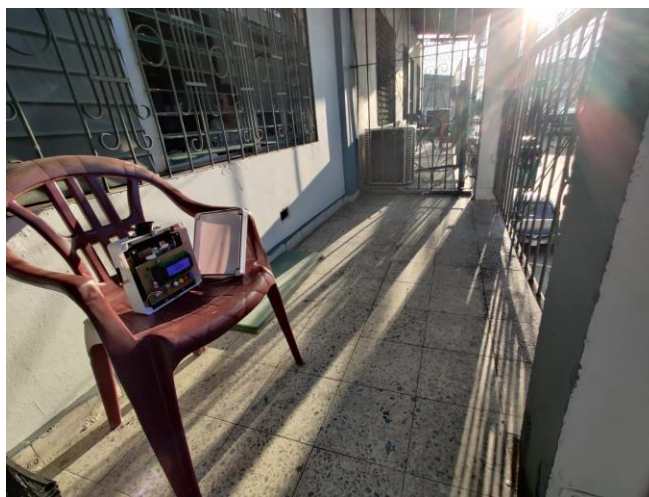


Ilustración 24 – Prueba de medición

Fuente: Propio (2020).

Para adquirir los datos el medidor estuvo expuesto al aire del lugar para poder hacer las mediciones correspondientes, donde obtuvieron los datos del CO₂, PM_{2.5}, PM₁₀, Humedad y Temperatura. Como podemos observar en la Tabla 15 los intervalos de medición fueron de 1 hora, por 12 horas, empezando de las 6:00 AM hasta las 6:00 PM. Ahora hay que analizar los datos, con la ayuda de la gráfica de la Ilustración 25 obtenidos de la tabla anterior, observamos que al empezar la prueba los niveles del CO₂ es bajos, pero va creciendo al pasar tiempo, esto quiere decir que hay un aumento en la concentración, porque hay un aumento de automóviles, personas o cualquier otra cosa que genere CO₂. Calculando el CO₂ promedio podemos comparar con la Tabla 2, que la concentración promedio están en los niveles permitidos a los que una persona puede estar expuesto. Como datos adicionales tenemos la temperatura y la humedad, en este caso la columna podemos ver que hay relación con el aumento de los contaminantes y con el aumento de la temperatura, pero el cambio no está importante.

Tabla 15 – Prueba de medición del medidor por 12 horas.

HORA	CO ₂ (PPM)	PM _{2.5} (µg/m ³)	PM ₁₀ (µg/m ³)	Humedad (%RH)	Temperatura (°C)
6:00 AM	356	5	9	65	31
7:00 AM	378	6	10	64	31
8:00 AM	389	5	10	61	32
9:00 AM	397	6	10	59	33
10:00 AM	402	6	8	57	33
11:00 AM	411	5	9	56	34
12:00 PM	423	6	11	55	35
1:00 PM	421	6	12	55	34
2:00 PM	415	6	10	56	34
3:00 PM	408	5	10	59	33
4:00 PM	412	6	9	58	34
5:00 PM	416	5	10	60	34
6:00 PM	407	5	8	61	32

Fuente: Propia (2020)

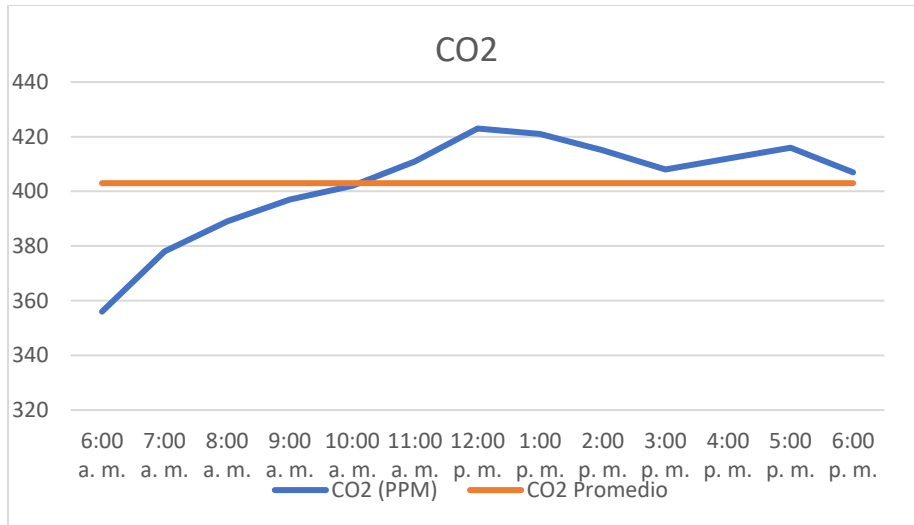


Ilustración 25 – Concentración del CO₂

Fuente: Propio (2020).

Ahora analizaremos la gráfica de la Ilustración 26, que pertenece a los contaminantes del PM2.5 y PM10. Podemos observar que los cambios casi se mantienen constante, solo hay un aumento considerable del PM10 al medio día, pero ahí se mantiene casi al mismo nivel. Obteniendo los promedios de 6 µg/m³ para el PM2.5 y 10 µg/m³ para el PM10, podemos comparar con la tabla 3 y 4, que los niveles de concentración están dentro de los estándares en lo que una persona puede estar expuesta por más de 12 horas, por la WHO y la EPA.

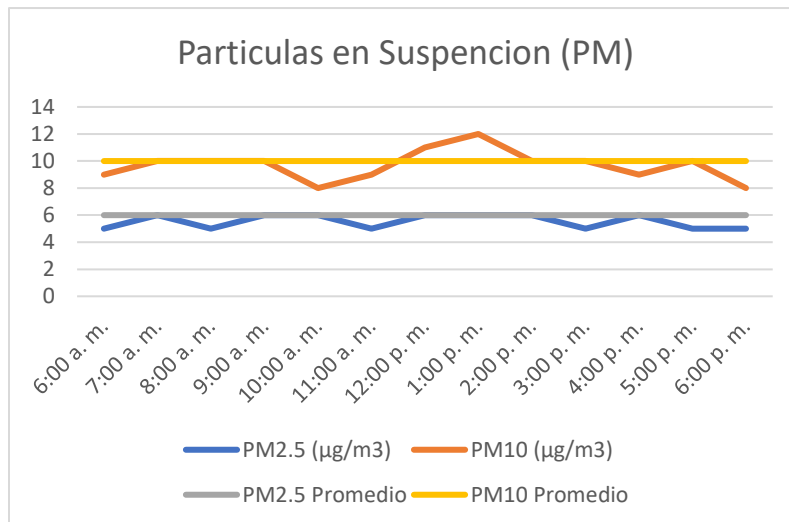


Ilustración 26 – Concentración del PM2.5 y PM10

Fuente: Propio (2020)

5.5.1 COSTOS

Para la realización de este medidor se obtuvo un costo total de \$294.89, quitando gastos de envíos, el precio de todo lo que se usó lo puede observar en la Tabla 16. Estos pueden bajar más mejorando más aun el proceso de fabricación, obtienen los componentes costos más bajos, todo para reducir más el costo del medidor. El medidor puede medir dos contaminantes y dos datos adicionales que son los de temperatura y humedad, se puede aumentar los sensores, pero esto aumentaría el costo del medidor. El medidor se realizó con materiales que cumplan con las necesidades requeridas y con costos muy bajos. En la siguiente sección vamos a ver una comparación con otro medidor comercial de la empresa Aeroqual.

Tabla 16 – Costos totales.

	Cantidad	Costo unitario	Costo	Costo unitario en dólar	Costo en dólar
Placa electrónica 2					
LCD 20x4	1	L 275.00	L 275.00	\$ 11.16	\$ 11.16
PIC18F45K22	1	L 200.00	L 200.00	\$ 8.11	\$ 8.11
Pulsador 12mm	4	L 6.00	L 24.00	\$ 0.24	\$ 0.97
Pulsador 5mm	1	L 4.00	L 4.00	\$ 0.16	\$ 0.16
Resistencia 1/2W	5	L 1.50	L 7.50	\$ 0.06	\$ 0.30
Timmer 10K Ohmios	1	L 4.00	L 4.00	\$ 0.16	\$ 0.16
Cristal 16MHz	1	L 10.00	L 10.00	\$ 0.41	\$ 0.41
Capacitor cerámico 22pf	2	L 5.00	L 10.00	\$ 0.20	\$ 0.41
Sócalo 40 Pines	1	L 20.00	L 20.00	\$ 0.81	\$ 0.81
Pines macho	1	L 10.00	L 10.00	\$ 0.41	\$ 0.41
Conector para pcb 2 pines	3	L 30.00	L 90.00	\$ 1.22	\$ 3.65
Conector para pcb 4 pines	1	L 35.00	L 35.00	\$ 1.42	\$ 1.42
Interruptor	2	L 7.00	L 14.00	\$ 0.28	\$ 0.57
Placa electrónica 1					
ATMega 328p	1	L 105.00	L 105.00	\$ 4.26	\$ 4.26
MQ-135	1	L 100.00	L 100.00	\$ 4.06	\$ 4.06
DHT22	1	L 180.00	L 180.00	\$ 7.30	\$ 7.30
HC-12	1	L 210.00	L 210.00	\$ 8.52	\$ 8.52
SDS011	1	L 1,050.00	L 1,050.00	\$ 42.60	\$ 42.60
Cristal 16MHz	1	L 10.00	L 10.00	\$ 0.41	\$ 0.41
Capacitor cerámico 2 pf	2	L 5.00	L 10.00	\$ 0.20	\$ 0.41
Resistencia 1/2W	1	L 1.50	L 1.50	\$ 0.06	\$ 0.06
Pulsador 5mm	1	L 4.00	L 4.00	\$ 0.16	\$ 0.16
Pines hembra	1	L 10.00	L 10.00	\$ 0.41	\$ 0.41
Sócalo 28 pines	1	L 16.00	L 16.00	\$ 0.65	\$ 0.65
Antena de 433 MHz SMA	1	L 180.00	L 180.00	\$ 7.30	\$ 7.30
Fuente de poder					
Batería de litio 18650	1	L 100.00	L 100.00	\$ 4.06	\$ 4.06
Shield para batería de litio 18650	1	L 165.00	L 165.00	\$ 6.69	\$ 6.69
Otros					
Placa pcb	1	L 210.00	L 210.00	\$ 8.52	\$ 8.52
Tornillo m3x6	23	L 4.00	L 92.00	\$ 0.16	\$ 3.73
Tornillo m3x12	2	L 6.00	L 12.00	\$ 0.24	\$ 0.49
Estructura					
Caja de plástico de 20x20x8	1	L 110.00	L 110.00	\$ 4.46	\$ 4.46
Impresión 3d	3	L 500.00	L 500.00	\$ 20.28	\$ 20.28
Diseño					
Ingeniería	1	L 3,500.00	L 3,500.00	\$ 141.99	\$ 141.99
		Total	L 7,269.00		\$ 294.89

Fuente: Propio (2020)

5.6 COMPARACIÓN CON UN MEDIDOR COMERCIAL

En el mercado hay varias empresas que venden diferentes tipos de medidores, del tipo personal hasta industrial. En este caso vamos hacer una comparación con el medidor AQY1 de la marca Aeroqual, que más se parece en ciertas características con el medidor realizado en esta investigación. El AQY1 es el medidor para exteriores más económico en el catálogo de Aeroqual, el precio de este monitor de calidad del aire ronda los \$4,000.00 que en Lempiras sería 98,600.00, con una tasa de cambio de \$1 es igual a L.24.65. Este medidor es capaz de medir las partículas en suspensión tanto de 2.5 μm y de 10 μm , también de medir el Ozono y dióxido de nitrógeno, aparte de temperatura y humedad relativa. También cuenta con comunicación inalámbrica igual al medidor de esta investigación. Ahora si el costo del dispositivo investigado tiene un costo de \$294.89, si quisiéramos vender el medidor, entonces con una ganancia del 103%, esto sería como \$599.00. Estos medidores si los vendiéramos en países en desarrollo como Honduras, el medidor de bajo costo sería la opción más aceptable para los quieran comprarlo y esto es lo que se quiere conseguir ofrecer la oportunidad de países como Honduras inviertan este tipo de medidores para poder mejorar la calidad del aire en su país.



Ilustración 27 – Monitor AQY1 de la marca Aeroqual

Fuente: Aeroqual

VI. CONCLUSIONES

Se obtuvieron los resultados para demostrar la calidad del aire haciendo uso del medidor diseñado en esta investigación. En la prueba que se realizó en el centro de la ciudad del Progreso, Yoro, las concentraciones estaban en los niveles permitidos a los que puede estar expuesto una persona por 24 horas. Se determinaron los contaminantes necesarios para poder medir la calidad del aire, basándose en los sensores disponibles que se encontraban a la venta. Los contaminantes que se escogieron para medir la calidad son la concentración de partículas en suspensión de $2.5\mu\text{m}$ y de $10\mu\text{m}$, y por último el CO_2 . Los valores promedios del $\text{PM}_{2.5}$ es de $6\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ y del PM_{10} es de $10\ \mu\text{g}/\text{m}^3$, y para el CO_2 el valor promedio es de 403 ppm. Con los valores obtenidos están adentro de los estándares permitidos por la EPA y WHO.

El uso de la comunicación inalámbrica por radiofrecuencia es conveniente para el medidor, porque da la posibilidad de recolectar información de forma remota. El uso de una comunicación inalámbrica por radiofrecuencia, es adecuado para países en desarrollo, por ejemplo, el acceso a internet usando Wifi, no está disponible en cualquier parte de estos países. Dando como resultado que la comunicación por radiofrecuencia es una buena opción por su bajo costo de implementación y no depende de otro medio. En el alcance se logró determinar su máximo alcance adentro de la ciudad, en este caso las pruebas se hicieron en la ciudad del Progreso, Yoro. En los resultados se obtuvo que la máxima distancia es aproximadamente de 350 metros, pero esto puede variar según la interferencia que este entre el receptor y el trasmisor.

Se desarrollo y diseño diferentes sistemas para poder crear un medidor de calidad del aire a bajo costo. Cada parte de la estructura y material elegido fue con el fin de poder realizar un medidor con un costo total del medidor es de \$294.89. Ofreciendo un buen manejo en sistema de control, buen diseño del medidor y del sistema modular para los sensores, que cumplen con la medición necesaria, permitiendo así un medidor de calidad del aire que cumple con los objetivos que fueron planteados.

VII. RECOMENDACIONES

Se recomienda agregar un sistema de almacenamiento al medidor, para poder guardar los datos de los sensores. La razón es porque si el receptor que es quien pide la información a los medidores, llegara a fallar, los mismos medidores tendrán guarda la información.

El aumento de más sensores es necesario, para poder medir otros contaminantes que afectan la calidad del aire. Los otros contaminantes necesarios a medir serian Ozono, Dióxido de Nitrógeno, Dióxido de Azufre y Monóxido de Carbono.

Para poder aumentar los tiempos de trabajo del medidor, es necesario de una fuente que pueda lograr con esa demanda u optimizar los sistemas actuales para mejorar la autonomía misma del medidor.

VIII. BIBLIOGRAFÍA

- Aeroqual. (2017, junio 26). AQS 1 Urban Air Quality Monitor. *Aeroqual*.
<https://www.aeroqual.com/product/aqs-urban-air-quality-monitor>
- Agbinya, J. I. (2011). *Principles of Inductive Near Field Communications for Internet of Things*. River Publishers.
- Akimoto, H. (2003). Global Air Quality and Pollution. *Science*, 302(5651), 1716-1719.
<https://doi.org/10.1126/science.1092666>
- Alvarado, J. C. (2017). *Ministerio de Salud: Unidad de Salud Ambiental: El Salvador—Calidad del Aire* [Informativa]. Ministerio de Salud, El Salvador.
<http://usam.salud.gob.sv/index.php/component/content/article/716>
- AQMesh. (2020). *AQMesh*. AQMesh. /product/aqmesh/
- Bednova, O. V., & Kuznetsov, V. A. (2019). Effect of atmospheric air pollution on local nitrogen cycles in the urban forest ecosystem. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 316, 012076. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/316/1/012076>
- Bonino, S. (2016). *Carbon Dioxide Detection and Indoor Air Quality Control*.
<https://ohsonline.com/articles/2016/04/01/carbon-dioxide-detection-and-indoor-air-quality-control.aspx#:~:text=Carbon%20dioxide%20levels%20and%20potential,of%20drowsines%20and%20poor%20air>
- Drew, A. (2020). The U.S. Government and the World Health Organization. *KFF*.
<https://www.kff.org/coronavirus-covid-19/fact-sheet/the-u-s-government-and-the-world-health-organization/>
- Europe, W. H. O. R. O. for, & Organization, W. H. (1999). *Monitoring Ambient Air Quality for Health Impact Assessment*. WHO Regional Office Europe.
- Explorable. (2008, octubre 9). *Investigación Experimental*.
<https://explorable.com/es/investigacion-experimental>
- Fallaria, R., Apolinario, N., & Ronquillo, J. (2004). *Science Spectrum 3' 2004 Ed.* (1.ª ed.). Rex Bookstore, Inc.

- Filip, G. M., & Brezoczki, V. M. (2017). Particulate matter urban air pollution from traffic car. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 200, 012027. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/200/1/012027>
- Gu, Q. (2006). *RF System Design of Transceivers for Wireless Communications*. Springer Science & Business Media.
- Harrison, R. M. (2001). *Pollution: Causes, Effects and Control*. Royal Society of Chemistry.
- IALCMM, SERNA, & CESSCO. (2009). *Plan Nacional de la Calidad del Aire de Honduras*. El Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. http://www.miambiente.gob.hn/media/adjuntos/libroscescco/None/2018-06-07/21%3A43%3A51%2B00%3A00/Plan_Nacional_de_la_Calidad_del_Aire_de_HN.pdf
- Jose, D. P., D'Souza, A. L., Thomas, A. A., & Daniel, D. (2019). IoT Based Water Management Using HC-12 and Django. *2019 International Conference on Data Science and Communication (IconDSC)*, 1-6. <https://doi.org/10.1109/IconDSC.2019.8816917>
- Kamrani, A. K., & Salhieh, S. M. (2013). *Product Design for Modularity*. Springer Science & Business Media.
- Kenton, W. (2020). *Environmental Protection Agency – EPA*. Investopedia. <https://www.investopedia.com/terms/e/environmental-protection-agency.asp>
- La Prensa. (2018). *Gobierno debe medir la calidad del aire para mitigar impacto*. Diario La Prensa. <https://www.laprensa.hn/honduras/1216093-410/-calidad-aire-impacto-medio-ambiente-honduras-contaminacion->
- Lea, P. (2018). *Internet of Things for Architects: Architecting IoT solutions by implementing sensors, communication infrastructure, edge computing, analytics, and security*. Packt Publishing Ltd.
- Liu, D. H. F., & Liptak, B. G. (1999). *Air Pollution*. CRC Press.
- Liu, T. (2018). *Capacitive-type humidity and temperature module/sensor*. 10.
- Liu, Y. (2020). Air Quality and Local Government Governance in China. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 446, 032067. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/446/3/032067>
- Namakforoosh, M. N. (2005). *Metodologia de la Investigacion* (2a. ed.). Limusa Noriega Editores.

- Nova. (2015). *Laser PM2.5 Sensor specification*. <https://cdn-reichelt.de/documents/datenblatt/X200/SDS011-DATASHEET.pdf>
- OECD. (2015). *OECD Environmental Performance Reviews: Spain 2015*. OECD Publishing.
- Olimex. (2013). *MQ-135 GAS SENSOR*. <https://www.olimex.com/Products/Components/Sensors/Gas/SNS-MQ135/resources/SNS-MQ135.pdf>
- OPS. (2017, enero 24). *OPS/OMS | Contaminación del Aire Ambiental*. Pan American Health Organization / World Health Organization. https://www.paho.org/hq/index.php?option=com_content&view=article&id=12918:ambient-air-pollution&Itemid=72243&lang=es
- Phalen, R. F., & Phalen, R. N. (2011). *Introduction to Air Pollution Science: A Public Health Perspective*. Jones & Bartlett Publishers.
- Prüss-Üstün, A., Wolf, J., Corvalán, C., Bos, R., & Neira, M. (2016). *Preventing disease through healthy environments: A global assessment of the burden of disease from environmental risks* (Second edition). World Health Organization.
- Ramaiyan, K. P., & Mukundan (Mukund), R. (2019). Electrochemical Sensors for Air Quality Monitoring. *The Electrochemical Society Interface*, 28(3), 59. <https://doi.org/10.1149/2.F08193IF>
- Ramírez, L. G. C., Jiménez, G. S. A., & Carreño, J. M. (2014). *Sensores y Actuadores*. Grupo Editorial Patria.
- Rishabh, A. (2012). *Wireless Communication*. S. Chand Publishing.
- Rodríguez-Villamizar, L. A., Rojas-Roa, N. Y., Blanco-Becerra, L. C., Herrera-Galindo, V. M., & Fernández-Niño, J. A. (2018). Short-Term Effects of Air Pollution on Respiratory and Circulatory Morbidity in Colombia 2011–2014: A Multi-City, Time-Series Analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(8), 1610. <https://doi.org/10.3390/ijerph15081610>
- Sathyan, J., N, A., Narayan, N., & Vallathai, S. K. (2016). *A Comprehensive Guide to Enterprise Mobility*. CRC Press.

- Seneviratne, P. (2019). *Beginning LoRa Radio Networks with Arduino: Build Long Range, Low Power Wireless IoT Networks*. Apress.
- SGX. (2014). *The MiCS-6814 is a compact MOS sensor with three fully independent sensing elements on one package*.
https://www.sgxsensortech.com/content/uploads/2015/02/1143_Datasheet-MiCS-6814-rev-8.pdf
- Thompson, T. J., Kumar, C. B., & Kline, P. J. (2008). *Bluetooth Application Programming with the Java APIs Essentials Edition*. Morgan Kaufmann.
- Tse, D., & Viswanath, P. (2005). *Fundamentals of Wireless Communication*. Cambridge University Press.
- US EPA, O. (2015, septiembre 10). *History of Reducing Air Pollution from Transportation in the United States* [Overviews and Factsheets]. US EPA. <https://www.epa.gov/transportation-air-pollution-and-climate-change/accomplishments-and-success-air-pollution-transportation>
- WHO (Ed.). (2006). *Air quality guidelines: Global update 2005: particulate matter, ozone, nitrogen dioxide, and sulfur dioxide*. World Health Organization.
- WHO. (2016). *WHO | Ambient air pollution: A global assessment of exposure and burden of disease*. World Health Organization. <http://www.who.int/phe/publications/air-pollution-global-assessment/en/>
- Winsen. (2014). *MQ131 Ozone Gas Sensor (Low Concentration)*.
<https://aqicn.org/air/view/sensor/spec/o3.winsen-mq131.pdf>
- Zavala, Y. (2019). *Informe de Red de Monitoreo de Partículas Suspensas en el Aire en el Distrito Central. Informe del 2018*.
http://www.miambiente.gob.hn/media/adjuntos/libroscescco/None/2019-07-12/20%3A24%3A00.798103%2B00%3A00/Informe_Red_Monitoreo.pdf