



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA

FACULTAD DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**PROTOTIPO PORTATIL PARA MONITORIZACIÓN DE CALIDAD DEL
AIRE MEDIANTE IOT**

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO:

INGENIERO EN MECATRÓNICA

PRESENTADO POR:

CARLOS MARTIN MEZÉN PÉREZ

ASESOR: ING. HEGEL LOPEZ

CAMPUS: SAN PEDRO SULA, Julio 2021

DEDICATORIA

Dedico esta tesis primeramente a Dios, a mi padre Carlos Martin Mezén y mi madre Dilia Melvida Pérez por ser el pilar fundamental para no rendirme nunca en mi proceso universitario, a mis hermanos Christian Mezén y Christopher Mezén por darme las ayudas necesarias cuando las he necesitado y por ayudarme a superarme cada día.

A mis amigos por las amistades forjadas en estos 5 años de formación y por los momentos inolvidables que se vivió. A mi tío Tani Pérez por ayudarme adaptarme cuando empecé mi aventura universitaria y por darme un espacio en su hogar al iniciar todo el proceso. A toda mi familia que siempre me apoyo en cualquier momento durante 5 años.

AGRADECIMIENTO

Agradezco al Ing. Hegel López por ayudarme en la correcta redacción de este proyecto.
A la Universidad Tecnológica Centroamericana (UNITEC) por todo el proceso educativo y a sus profesores por enseñarme todo lo que se, muchas gracias.

EPÍGRAFE

"Debes hacer cosas que realmente sean importantes, pero también debes divertirte, porque si no, no tendrás éxito"

-Larry Page

RESUMEN EJECUTIVO

En la presente investigación se presenta el diseño y fabricación de un prototipo portátil para la monitoración y control de la calidad del aire para interiores y exteriores mediante tecnología IOT para la predicción de la calidad del aire ambiental en ciudades. Se implementa el desarrollo de una base de datos capaz de analizar mediante registros posteriores el comportamiento del material particulado todo esto con el entorno de desarrollo de Node Red y un servidor broker MQTT. Este proyecto fue diseñado para que mediante los sensores y adecuándose a las tecnologías emergentes de hoy día se pueda tener un panorama amplio de la contaminación ambiental del material particulado y Dióxido de Carbono que pueda existir especialmente en la ciudad de San Pedro Sula. Mediante una pagina web y una aplicación se pueden visualizar el estado del dispositivo portátil, así como los valores entregados por lo sensores. Para el desarrollo de este prototipo se tomo en cuenta las variables que pueden influir en la operación del sistema portátil.

Palabras Claves— IOT, Base de Datos, material particulado, calidad del aire.

ABSTRACT

This research presents the design and manufacture of a portable prototype for the monitoring and control of indoor and outdoor air quality using IOT technology for the prediction of ambient air quality in cities. The development of a database capable of analyzing the behavior of particulate matter through subsequent records is implemented, all this with the Node Red development environment and an MQTT broker server. This project was designed so that through sensors and adapting to today's emerging technologies, it is possible to have a broad panorama of the environmental pollution of particulate matter and Carbon Dioxide that may exist especially in the city of San Pedro Sula. Through a web page and an application, the status of the portable device can be viewed, as well as the values delivered by the sensors. For the development of this prototype, the variables that can influence the operation of the portable system were taken into account.

Keywords— IOT, database, particulate matter, air quality.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2.1 Procedente del problema.....	2
2.2 Definición del problema.	2
2.3 Justificación.	3
2.4 Preguntas de Investigación.	4
2.5 Objetivos.....	4
2.5.1 Objetivo General.....	4
2.5.2 Objetivos Específicos	4
III. MARCO TEÓRICO.....	5
3.1 CARACTERISTICAS DE LOS CONTAMINANTES DEL AIRE	5
3.2 ESTANDARES DE CALIDAD DEL AIRE AMBIENTAL	7
3.2.1 Material Particulado.....	7
3.2.2 Ozono.....	8
3.2.3 Dióxido de Nitrógeno	9
3.2.4 Dióxido de Azufre	10
3.3 CALIDAD DEL AIRE EN HONDURAS.....	10
3.4 SENSORES PARA LA MEDICION Y CONTROL CALIDAD DEL AIRE	12
3.4.1 Sensores Familia MQ	12
3.4.2 Sensor de Temperatura y Humedad DHT	13
3.4.3 Sensores de Material Particulado.....	14
3.5 INTERNET DE LAS COSAS	15
3.5.1 Raspberry Pi.....	16
3.5.2 IOT Hub.....	17
3.5.3 ThingSpeak	18
3.6 REDES NEURONALES	20
La familia de los sensores MQ miden diferentes magnitudes de gases , sin embargo , el MQ-135 mide magnitudes de gases relacionados a la calidad del aire que consumimos , por ello y en base a esta información es que se escogió este sensor.....	26
4.5 Metodología de Estudio.....	26
Etapa inicial. Requisitos del sistema	27
Etapa 1 Nivel de Sistemas.	28
Etapa 2 Nivel de los Subsistemas.	29
Etapa 3 Realización de las Partes.	31
Etapa 4 Integración de las Partes.	31

Etapa 5 Integración de los Subsistemas.....	32
4.6 Metodología de Validación.....	35
V. Análisis y Resultados.....	36
5.1 Analisis y Sustento del Marco Teórico.....	36
5.2 Estructura Portátil.....	38
5.3 Circuitos Electrónicos.....	39
5.3.1 Esquemáticos sensores calidad del aire.....	39
5.4 Interfaz de Control.....	44
5.4.1 Diseño de dashboard.....	45
5.4.2 Funcionamiento de los sensores.....	50
5.4.2 Integración con redes sociales.....	52
5.5 Algoritmos de funcionamiento.....	56
5.6 Prototipo Final.....	60
Bibliografía.....	64

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Valores promedio anual y media de 24 horas en exposición al material particulado -----	8
Ilustración 2 Valores promedio de presencia del ozono en contacto con una persona -----	9
Ilustración 3 Niveles promedio de Dióxido de Nitrógeno -----	10
Ilustración 4 Arquitectura de diseño integral del sistema basado en IoT -----	13
Ilustración 5 Arquitectura Basada en la Nube con sensores IOT -----	20
Ilustración 6 Arquitectura de una Red Neuronal -----	21
Ilustración 7 Metodología de Estudio V -----	26
Ilustración 8 Niveles de los Sistemas y Subsistema de Dispositivo Portátil para control de calidad del aire -----	27
Ilustración 9 Estructura portátil dispositivo calidad del aire -----	37
Ilustración 10 Esquemático salida reacción PM10 y PM2.5 -----	38
Ilustración 11 Diagrama de conexión sensor SDS011 -----	38
Ilustración 12 Analogía de funcionamiento sensor BMP280 con SPI -----	39
Ilustración 13 Esquemático sensor BMP280 con SDS011 -----	40
Ilustración 14 Conexión del sensor MH-Z19 para le medición de CO2 -----	41
Ilustración 15 Diagrama final de conexión entre los sensores y procesador principal -----	42

Ilustración 16 Interfaz para monitorear material particulado	43
Ilustración 17 Visualización grafica material particulado	43
Ilustración 18 Visualización de Temperatura	44
Ilustración 19 Gauge y Grafica de visualización de la humedad	45
Ilustración 20 Visualización Presión Atmosférica	45
Ilustración 21 Visualización de diversos gases en el ambiente	46
Ilustración 22 Visualización de la cámara en nuestro dispositivo portátil	47
Ilustración 23 Dahsboard final alojado en nuestro servidor en la nube para visualización de las lecturas de los sensores	48
Ilustración 24 Pruebas a las mediciones de los sensores	49
Ilustración 25 Cambios bruscos al probar los sensores particulados	49
Ilustración 26 Reacción de los distintos valores de gases calidad del aire	50
Ilustración 27 Comunicación con raspberry pi por medio de telegram	51
Ilustración 28 Comandos de comunicación con Telegram para material Particulado y CO2	52
Ilustración 29 Comando para solicitar toma de captura mediante la Pi Camera	53
Ilustración 30 Uso de Cayenne para ver el estado central del microprocesador	54
Ilustración 31 Programación de los sensores mediante flujos de Node JS	55

Ilustración 32 Nodo de ejecución de cámara pi en procesador central -----	
-----	56
Ilustración 33 Layout para el diseño del dashboard -----	56
Ilustración 34 Flujo de programación completo con integración de telegram y pagina web -----	57
Ilustración 35 Prototipo final -----	58

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 **Índice de valores de niveles calidad del aire** -----6

Tabla 2 **Familia Sensores MQ** -----13

Tabla 3 **Comparativa de los distintos microprocesadores Raspberry Pi** --17

Tabla 4 **Materiales utilizados en el prototipo** -----23

I. INTRODUCCIÓN

La presente investigación se divide en varias secciones que contribuirán en el desarrollo del prototipo, por consiguiente, se entregará una breve introducción acerca del contenido de estos:

Capítulo II. En este capítulo se tratará el fundamento para el desarrollo de este proyecto, teniendo como idea principal de donde surge la problemática, antecedentes de este y en que lugares del mundo es que se ha estudiado este problema de forma profunda.

Capítulo III. En este capítulo se presentará el marco teórico, el estudio previamente hecho en muchas partes del mundo, sus fundamentos científicos y sus bases que se estudian en diferentes Universidades del mundo. Este capítulo es importante por la relevancia que se pueden encontrar en las investigaciones correspondientes, el uso de esta parte nos puede servir el camino a seguir dentro de nuestras propias investigaciones.

Capítulo IV. En esta sección del informe se presentará la metodología de estudio que se estableció para este proyecto, siguiendo las normas existentes en la actualidad para proveer un prototipo final aceptable tanto a niveles estéticos como la funcionalidad de este.

Capítulo V. En esta sección se presentarán los Análisis y Resultados del prototipo, se caracterizarán todo el proceso que se siguió para llegar al proceso deseado, así como una descripción de los problemas que se presentaron al momento de evaluar y construir el prototipo funcional.

Capítulo VI. En la etapa final del informe se tienen las conclusiones que resultaron de las secciones previas, lo que se pudo lograr y lo que no de acuerdo a los objetivos propuestos para el desarrollo de este prototipo funcional.

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En este capítulo se presentará ampliamente el contexto de la contaminación del ambiente en los países, sus efectos, sus características y la forma en que podemos monitorear estas emisiones de partículas por medio de la tendencia del IOT. Para ello se describirán los antecedentes del problema, la definición del problema, justificación, las preguntas de investigación, y los objetivos que se proponen para el desarrollo de la investigación.

2.1 Procedente del problema.

La contaminación del medio ambiente tiene un papel muy importante en el daño que ocasiona a la tierra. Los efectos que se han visto en la última década se cree que son provocadas en base a la contaminación del aire, siendo específicamente el Dióxido de Carbono uno de ellos, pero no solo eso, el ambiente en general desprende partículas que son dañinos no solo para el medio ambiente, sino a la vida del ser humano (Sruthi Ms & M Newlin Rajkumar, 2017).

Aunque el vínculo entre los contaminantes del aire interior y la salud se realizó ya en el 1700-centenares. No fue hasta la década de 1970 que la investigación sobre los distintos efectos de la salud sobre la calidad del aire comenzó a ganar impulso y hasta el día de hoy se ha vuelto un problema grave para todos los continentes (Luukkaa et al., 2019).

2.2 Definición del problema.

En un planeta tan industrializado en el que vivimos existe un problema colosal tan grande que afectan a las grandes ciudades del mundo y es la contaminación del aire. Las distintas fuentes de contaminación del ambiente que hay en grandes ciudades como los automóviles, fabricas, construcciones, entre otras, ocasionan un tremendo número de partículas contaminantes que afectan de alguna u otra forma nuestro ambiente sanitario y a nuestro sistema respiratorio (Ivanova & Elenkov, 2019).

Dentro de este problema se tiene también los factores que pueden influir en base a estos , como ser el espacio en donde se quiere medir , ya que la contaminación afecta

de forma diferentes en cada una de ellas, también un factor importante a tomar en cuenta son las imágenes que se obtienen para análisis de calidad del aire para cada uno de los países, en base a eso se pueden realizar predicciones que ayudan al desarrollo sostenible de las ciudades, por ello en base a las distintas directrices que tiene todos los países del mundo dado la situación de emergencia por el COVID-19 desde el año 2020 el tema de calidad del aire se ha vuelto importante ya sea para fines de estudio en otras áreas. Lo mismo para SPS del cual es la ubicación en donde se realizó el prototipo.

2.3 Justificación.

La contaminación del aire puede causar muchas enfermedades que pueden ser fatal para la salud humana. La calidad del aire puede ser cambiante cada año y la forma en que se puede monitorear se va adaptando a las nuevas tecnologías que ayuden a resolver este problema para el mundo. La contaminación de los gases en la atmosfera es un tema de máxima prioridad para las organizaciones de todos los países en el mundo. Este problema no solo esta afectando a los seres humanos en su salud ambiental, sino que también a los animales y a las plantas en la esperanza de vida que se tienen para los seres con vida, respirar un oxígeno con menos grados de contaminación es esencial para la salud de los seres vivos, el alto grado de industrialización y la falta de innovación para resolver el problema de emisiones de material particulado son las bases de este problema (Banerjee et al., 2019). En base a las declaraciones de la OMS , alrededor de 249 mil personas muertas de forma prematura suceden en el mundo por la contaminación del aire exterior y acerca de 83 mil en base al aire interior. No solamente por material particulado de las fabricas , sino en base a contaminación por combustibles fósiles, cerca de 7 millones de personas murieron a causa de falta de calidad del aire. Un punto importante es que la mayoría de estas muertes suceden en países de medio y bajo desarrollo , en América Latina mas de 150 millones de personas viven en lugares con aire contaminado(Calidad del aire - OPS/OMS | Organización Panamericana de la Salud, 2016).

2.4 Preguntas de Investigación.

- 1) ¿Cuáles sensores son los mas utilizados para hacer mediciones de particulas en el aire y por qué?
- 2) ¿Qué métodos de transmisión de datos pueden ser implementados para obtener mejores resultados en el control de medición del aire?
- 3) ¿Qué análisis pueden proporcionar la implementación del IOT y las bases de datos para la medición y control de la calidad del aire?

2.5 Objetivos

2.5.1 Objetivo General.

Diseño de prototipo para un sistema de medición y control del aire en tiempo real mediante IOT e BD con fabricación de bajo coste.

2.5.2 Objetivos Específicos

- 1) Implementar el uso de sensores por medio de IOT para medir la calidad del aire que cumpla las normas estándares.
- 2) Desarrollar e implementar una base de datos para la predicción de la calidad del aire.
- 3) Desarrollar e implementar una interfaz por medio Node Red en la nube para la visualización de sensores por medio de un ordenador o aplicación.

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.

3.1 CARACTERÍSTICAS DE LOS CONTAMINANTES DEL AIRE

De acuerdo a (Wang et al., 2004) se afirma

“Los contaminantes del aire se dividen en dos grupos principales: partículas y Gases. Debido a que las partículas consisten en sólidos y / o material líquido, los contaminantes del aire abarcan las tres formas básicas de la materia”

Se tiene como premisa que los problemas sobre la calidad del aire se deben a los productos químicos volátiles y las pequeñas partículas que se transportan en el ambiente. Uno de los efectos que ocasionan estas partículas pueden afectar gravemente los pulmones de las personas. Si embargo a través de otros estudios se ha demostrado que el vapor del agua también puede transportar sustancias mas pesadas que ocasionan efectos adversos para la salud y, en general, se supone que no pueden transportarse por medio del aire, como ser los agentes de limpieza no volátiles (Luukkaa et al., 2019). El SO_2 gaseoso es incoloro, sin embargo, se puede señalar que el humo azulado que sale de las chimeneas de combustión es SO_2 o, mas correctamente, SO_3 o niebla de ácido sulfúrico. Otro compuesto como el óxido nítrico(NO) es otro gas incoloro que se genera en los procesos de combustión. Aunque las propiedades de los gases se tratan adecuadamente en los cursos de química básica, física y termodinámica, es menos probable que se comprenda el comportamiento físico de las partículas (Wang et al., 2004). Las principales fuentes de emisión son los vehículos, las fuentes industriales y domésticas. La materia particulada y los gases como SO_2 , NO_2 , O_3 , NO y CO constituyen la lista de los

contaminantes comunes del aire urbano. Las diminutas partículas transportadas por el aire pueden penetrar profundamente en nuestro cuerpo (pulmones, torrente sanguíneo y corazón) causando enfermedades y cánceres. La mayoría de las ciudades carecen de la infraestructura para monitorear la contaminación del aire debido al alto costo que implica la instalación y el mantenimiento de monitores de contaminación de alta calidad (Sharma et al., 2019).

Las partículas se pueden subdividir en varios grupos. Las partículas atmosféricas consisten en material sólido o líquido con diámetros inferiores a aproximadamente 50 μm (10–6 m). Las partículas finas son aquellas con diámetros inferiores a 3 μm . Las partículas con diámetros superiores a 50 μm se sedimentan con relativa rapidez y no permanecen en el aire ambiente (Wang et al., 2004).

Este tipo de partículas son invisibles al ojo humano, para detectarlas se requiere de tecnologías microscópicas de gran exactitud o por medio de sensores que con diferentes métodos de observación se pueda captar estas partículas extremadamente pequeñas para su detección. La importancia de controlar las emisiones de estas partículas son los efectos que ha provocado en los grandes países del mundo, por ejemplo, en el continente asiático países como China presentan grandes tasas de mortalidad durante las ultimas décadas.

Tabla 1 Índice de valores de niveles calidad del aire

ICA	Color	Clasificación	O3 8h ppm	O3 1h ppm	PM ₁₀ 24h mg/m ³	PM _{2.5} 24h mg/m ³	CO 8h ppm	SO ₂ 24h ppm	NO ₂ 1h ppm
0-50	Verde	Buena	0.000	-	0	0	0	0	0
			0.059	-	54	12	4.4	0.035	0.053
51-100	Amarillo	Moderada	0.060	-	55	12.1	4.5	0.036	0.054
			0.075	-	154	35.4	9.4	0.075	0.100
101-150	Naranja	Dañina a la salud para grupos sensibles	0.076	0.125	155	35.5	9.5	0.076	0.101
			0.095	0.164	254	55.4	12.4	0.185	0.360
151-200	Rojo	Dañina a la salud	0.096	0.165	255	55.5	12.5	0.186	0.631
			0.115	0.204	354	150.4	15.4	0.304	0.649
201-300	Púrpura	Muy dañina a la salud	0.116	0.205	355	105.5	15.5	0.305	0.650
			0.374	0.404	424	250.4	30.4	0.604	1.249
301-400	Marrón	Peligrosa	-	0.405	425	250.5	30.5	0.605	1.250
			-	0.504	504	350.4	40.4	0.804	1.649
401-500	Marrón	Peligrosa	-	0.505	505	350.5	40.5	0.805	1.650
			-	0.604	604	500.4	50.4	1.004	2.049

Fuente: (ABCMotors 2017)

3.2 ESTANDARES DE CALIDAD DEL AIRE AMBIENTAL

Muchas personas están expuestas al aire ambiental local las 27 horas de los 7 días de la semana. En base a estas informaciones es que se formulan los estándares de calidad del aire ambiente. Las Enmiendas a la Ley de Aire Limpio de 1970 (Ley Pública 91-601, firmada el 31 de diciembre de 1970) incluyen estándares de aire ambiental que constan de dos partes: estándares primarios, que están destinados a la protección general de la salud, y los estándares secundarios más restrictivos, que son para la protección contra efectos adversos específicos sobre la salud y el bienestar. "Bienestar" aquí incluye plantas, otros animales y materiales (Wang et al., 2004).

El control de calidad del aire en el ambiente tiene total repercusiones en tiempos de COVID-19, en base a los estudios de un grupo de científicos afirman que las partículas de virus de COVID-19 se pueden transportar por medio del aire, por lo cual es un punto importante que tiene este proyecto de investigación para poder medir y monitorear los efectos de estas partículas en el aire.

3.2.1 Material Particulado

Las pruebas que se han realizado para el material particulado (MP) coinciden con los efectos adversos que se han comprobado en base a los estudios que se han realizado y encontrado. Existe un conjunto de posibilidades que estas pueden provocar en lo que se refiere a la salud del ser humano, pero los sistemas que mas probabilidades tienen que se les afecte de gran manera es el sistema respiratorio y el cardiovascular (*WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_spa.Pdf*, 2005).

Este tipo de partículas son extremadamente pequeñas sin indetectables al ojo humano, monitorear estas mini partículas que causan un gran daño a l sistema respiratorio es esencial en el desarrollo de una ciudad industrializa que esta en desarrollo. Actualmente muchos países tienden al progreso de sus ciudades sin tomar en cuenta las repercusiones que estas pueden tener en sus habitantes, tanto en la tala de arboles, así como en las emisiones de MP que son de mucho riesgo para el ser humano.

En base a las investigaciones de (*WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_spa. Pdf*, 2005) en el que se afirma que:

“En primer lugar, las pruebas para el ozono (O₃) y el material particulado (MP) indican que hay riesgos para la salud con las concentraciones que hoy se observan en numerosas ciudades de los países desarrollados. Además, hay que subrayar que los valores guía que se proporcionan aquí no pueden proteger plenamente la salud humana, porque en las investigaciones no se han identificado los umbrales por debajo de los cuales no se producen efectos adversos.”

En base a esta afirmación en el que se especifica que las emisiones de ozono y especialmente de material particulado en *países desarrollados* es alta. Si no se toma la importancia que debería de existir en estos países desarrollados y que sufren las consecuencias actuales con el cambio climático y la contaminación ambiental, en países en vías de desarrollo es de vital importancia poder monitorear los niveles de contaminación que se emiten a pesar de las complicadas situaciones que se viven estos años.

Guías	
MP_{2,5}:	10 µg/m³, media anual 25 µg/m³, media de 24 horas
MP₁₀:	20 µg/m³, media anual 50 µg/m³, media de 24 horas

Ilustración 1 Valores promedio anual y media de 24 horas en exposición al material particulado.

Fuente: (*WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_spa. Pdf*, 2005)

3.2.2 Ozono

Según afirma la OMS en base a sus estudios estos declaran que:

“El ozono se forma en la atmósfera mediante reacciones fotoquímicas en presencia de luz solar y contaminantes precursores, como los óxidos de nitrógeno (NO_x) y diversos

compuestos orgánicos volátiles (COV). Se destruye en reacciones con el NO₂ y se deposita en el suelo. En varios estudios se ha demostrado que hay una correlación entre las concentraciones de ozono y las de varios otros oxidantes fotoquímicos tóxicos procedentes de fuentes semejantes, como los nitratos de peroxiacilo, el ácido nítrico y el peróxido de hidrógeno. Las mediciones para controlar los niveles de ozono troposférico se concentran en las emisiones de gases precursores, pero es probable que también controlen los niveles y los efectos de varios de esos otros contaminantes.”

El ozono al ser un gas que ofrece ventajas en las capas atmosféricas de la tierra tiene como contrapeso que es tóxico para la salud de las personas, al estar en presencia del ozono en un tiempo prolongado puede causar irritación en algunas personas y otros síntomas característicos que ocasionan problemas a los seres humanos, las aplicaciones que se tienen del ozono en la industria tienen varias funciones como la desinfección del aire y agua, el tratamiento médico y muchas otras mas.

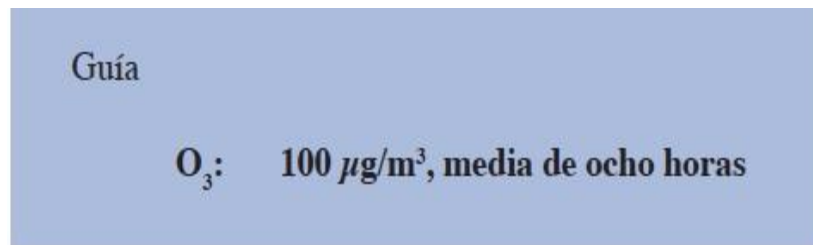


Ilustración 2 Valores promedio de presencia del ozono en contacto con una Persona.

Fuente: (WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_spa.Pdf, 2005)

3.2.3 Dióxido de Nitrógeno

El Dióxido de Nitrógeno pueden afectar gravemente la salud de las personas si se pasan de los niveles permisibles permitido por las organizaciones que se encargan de regular la calidad del aire. Una de sus fuentes principales es la combustión que se utilizan en motores especialmente de diésel, este compuesto en combinación con otros de su composición puede afectar de gran manera al sistema respiratorio de los seres humanos.

Niveles máximos de Dióxido de Nitrógeno pueden provocar irritaciones en los pulmones en los seres humanos. Las personas mas afectadas por este tipo de gas son las propensas a tener una enfermedad base como el asma y donde surgen concentraciones mas elevadas de este gas son en las horas pico de trafico en las ciudades industrializadas (Salud, 2016).

Guías	
NO ₂ :	40 µg/m³, media anual 200 µg/m³, media de una hora

Ilustración 3 Niveles promedio de Dióxido de Nitrógeno

Fuente : (WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_spa.Pdf, 2005)

3.2.4 Dióxido de Azufre

Este es un gas que depende en gran medida a las condiciones meteorológicas que se tienen en diferentes momentos, uno de sus estándares propuesto en base a pruebas que se determinaron con menor exactitud y en momentos oportunos se establece básicamente que no se puede exceder la concentración media de este en gas en 500 µg/m³ durante periodos con una duración media de 10 minutos. Este compuesto al combinarse con los efectos de la naturaleza podía formar acido sulfúrico ocasionando graves daños no solo a los seres humanos sino llegando a poblaciones mas amplias como ser las plantaciones.

3.3 CALIDAD DEL AIRE EN HONDURAS

En lo que nuestro país se refiere el tema de la calidad del aire no ha sido un tema aislado o de poca importancia, distintos proyectos investigativos se han realizado en base a ello con las tecnologías disponibles en el mercado. Sin embargo, esto no es suficiente

para poder detener este problema, cada día las formas de poder monitorear estos sistemas van en constante cambio y el IOT es una de ellas.

En el año 2020 se realizó en el portal de MIAmbiente una conferencia acerca de la calidad del aire en tiempos de COVID-19, en esta conferencia se definió la importancia que tiene estar en un ambiente seguro libre de agentes patógenos y materia particulada para evitar más daños a nuestro sistema respiratorio. Un punto importante que se expresó en esta conferencia es que en el año 2020 no se realizó la medición de partículas en el marco de la pandemia, por el cual no se tiene información confiable acerca del rumbo que tiene Honduras en sus contaminaciones ambientales ni se pueden realizar comparaciones acerca del antes y después de los incendios forestales, así como los gases contaminantes que expulsan las fábricas (*MiAmbiente*, 2020).

Este es un tema de especial consideración ya que si no tenemos información base de lo que se contamina el ambiente esta puede ocasionar un retraso en el accionamiento de toma de decisiones. Sin embargo, debido a la pandemia también se puede afirmar en base a estudios que se han realizado mundialmente que debido a la menor actividad industrial y vehicular en el año 2020 las emisiones de material particulado, así como de los gases contaminantes es menor en comparación a otros años.

Según (*MiAmbiente*, 2020) afirma que:

“En la ciudad de Tegucigalpa se dispone de dos puntos de muestreo: uno situado en el barrio El Centro, en las oficinas de HONDUCOR y el otro situado en la colonia Kennedy, en el edificio de HOSPIMED. Desde 2019 también se tiene la Red de Partículas en San Pedro Sula, la cual consta de un punto de muestreo ubicado en el barrio El Centro.”

En nuestro país principalmente tiene captadores de partículas que tienen la capacidad de detectar en un rango menor 100 μm de diámetro aerodinámico, las partículas PM10 y las partículas PM2.5. Mientras más pequeña sean las partículas están pueden penetrar con mayor facilidad nuestro sistema respiratorio y cardiovascular que

pueden provocar enfermedades graves para la salud de los seres humanos (*MiAmbiente*, 2020).

Controlar los niveles de emisiones de material particulado y gases que afecten al desarrollo de vida del ser humano es un tema de suma importancia para todos, se cree que sin un control óptimo de algunos gases el cambio climático golpea mas fuertes a los países que no tienen un sistema bien estructurado o respaldo de sus actividades agrícolas como ambientales, por ello es de suma importancia no perder de vista el control de estos gases para tener un desarrollo mas saludable en nuestra ciudad.

Según (*MiAmbiente*, 2020) afirma un punto muy importante:

“La tasa de mortalidad global por Covid-19 no excede el 3.4 %, sin embargo, en 2016 la tasa de muertes globales ocasionadas por la contaminación del aire ambiente fue de 7.6%.”

Como se demuestra en el dato anterior, aun el tema de tener un ambiente natural en el que no vaya a afectar ninguna materia particulada en nuestros pulmones es de suma importancia actualmente.

3.4 SENSORES PARA LA MEDICION Y CONTROL CALIDAD DEL AIRE

Un punto importante para tener en consideración para tener un control óptimo en el tema de calidad del aire son los tipos de sensores que hay disponibles y sean accesibles para la elaboración de un sistema que pueda transmitir esos datos de forma real y confiable. Existen diferentes modelos disponibles para medir estas magnitudes, unos se dividen en base al material particulado ya sea mediciones en base a al diámetro de la partícula PM y otros en base al compuesto con el que se integra ya sea ozono, dióxido de carbono, etc.

3.4.1 Sensores Familia MQ

Dentro de la familia de los sensores MQ destacan estos sensores por el bajo coste que se encuentran en el mercado y para el uso de un prototipo de bajo costo esta es la mejor opción.

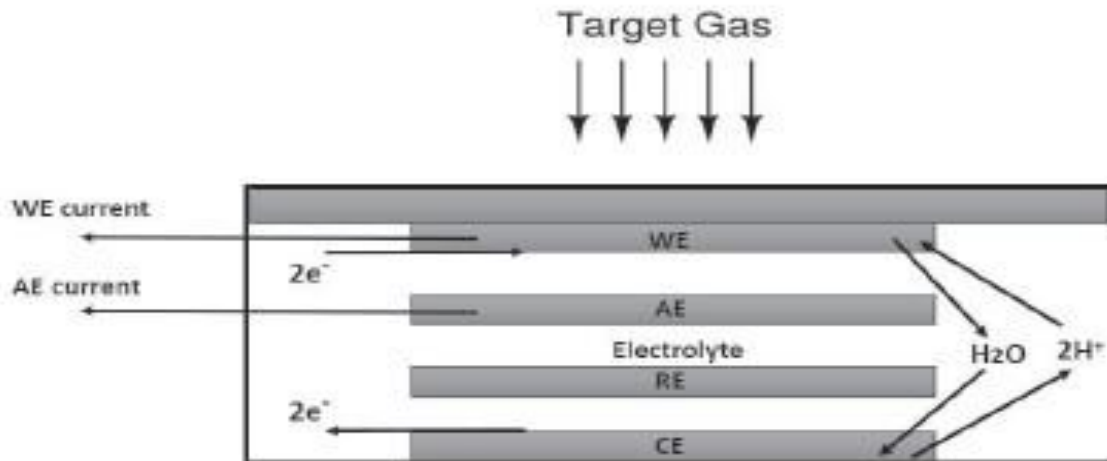


Ilustración 4 Diagrama de un sensor de gas electroquímico de cuatro electrodos

Fuente: (Sharma et al., 2019)

La familia MQ son un conjunto de sensores que miden las magnitudes de muchos gases en el ambiente, estos son sensores analógicos que varían su voltaje en base a lo que están destinados a detectar. Dentro de estas magnitudes se encuentra el ozono, dióxido de carbono, dióxido de nitrógeno, etc. Estos sensores son utilizados con mayor frecuencia con microcontroladores tales como la raspberry pi y arduino.

Tabla 2 Familia Sensores MQ

Number	Model	Nominal Test Target Gas
S1	MQ-8	hydrogen, coal, gas, etc.
S2	MQ-9B	carbon monoxide, etc.
S3	MQ-2	flammable gas, smoke, etc
S4	MQ-5	liquefied petroleum gas, methane, coal gas, etc
S5	MQ-135	ammonia, sulfides, etc.
S6	MQ-3B	alcohol, etc
S7	MQ-7B	carbon monoxide, etc.
S8	MQ-4	natural gas, methane, etc.
S9	MQ-2	flammable gas, smoke, etc.
S10	MQ-6	liquefied petroleum gas, isobutane, propane, etc.
S11	MQ-5	liquefied petroleum gas, methane, coal gas ,etc
S12	MQ-7	carbon monoxide, etc.

Fuente: (Zhang et al., 2021)

3.4.2 Sensor de Temperatura y Humedad DHT

Estos sensores se utilizan principalmente para medir las partículas de humedad y temperatura que se encuentre en el medio ambiente. Los sensores DHT11 son mas básicos y de menor coste respecto a otros sensores de humedad y temperatura, sin embargo, entrega resultados aceptables para la mayoría de las aplicaciones que se le dan normalmente (Banerjee et al., 2019).

Es bastante simple de usar, pero requiere una sincronización cuidadosa para capturar datos. La nueva lectura se obtiene cada 2 segundos. Este sensor es bueno para lecturas de humedad del 20 al 80% con 5% de precisión Tiene 4 pines con un espaciado de 0,1. EL otro sensor de humedad y temperatura que pertenece a esta familia es el sensor DHT22 , que es una versión mejorada de este sensor y que se obtienen datos mas fidedignos en lo que se refiere en la exactitud de sus variables internos, aumenta el precio de su valor pero la transmisión de datos son mas confiables("IOT Based Indoor Air Pollution Monitoring Using Raspberry PI," 2017)

3.4.3 Sensores de Material Particulado

Para la medición de material particulado ya sea PM10 o PM2.5 se utilizan diversos sensores lo cual pueden mas o menos diferir en su calidad. La mayoría de estos sensores utilizan la dispersión laser para hacer las mediciones respectivas. Dentro de esta familia de sensores se tiene el sensor Nova SDS011, un sensor que se utiliza para proyectos de prototipos. Este componente mide partículas contaminantes específicamente de PM10 y de PM2.5 con su principio de dispersión de luz, Un pequeño ventilador produce presión negativa para crear un flujo de aire continuo desde la entrada hasta la cámara de medición, donde un rayo láser irradia luz a la muestra de aire (Tagle et al., 2020). Otro de los sensores que miden las partículas suspendidas en el aire y se utiliza mucho en la industria, aunque su costo es mucho mas alto es el sensor SENSIRION SPS30, que, a diferencia del sensor anterior, este mide partículas que van en los rangos de PM1 hasta PM10 abarcando elementos mas pequeños. Dada la necesidad que se necesita para un

correcto funcionamiento este es uno de los sensores mas confiables que existen para medir contaminación de partículas.

3.5 INTERNET DE LAS COSAS

(Kiruthika & Umamakeswari, 2017) en su investigación afirma:

“La construcción inteligente, la gestión de vehículos inteligentes, la previsión, el control de la contaminación y la supervisión de la calidad son ejemplos de aplicaciones emergentes que utilizan Internet de las cosas (IoT)”

El auge de estas tecnologías actualmente es muy utilizado por muchas industrias. La versatilidad que ofrece el IoT ayuda a que los procesos sean mas eficientes y pueden ayudar a tener un mayor control sobre los procesos que se quieren implementar ya sea de manera remota o controlada manualmente.

Los dispositivos de IoT no solo detectan los datos, sino que también actúan sobre los datos detectados, dando así una infinidad de aplicaciones y ventajas al implementar estos sistemas. En casi todas las aplicaciones que se establecen mediante en IoT, el análisis de datos jugará un papel importante para tomar decisiones dinámicas para un mejor rendimiento. Los dispositivos integrados, como sensores, actuadores y teléfonos inteligentes, brindan un gran potencial comercial hacia la nueva era de IoT, en la que todos los dispositivos pueden interconectarse y comunicarse entre sí a través de Internet. La gran cantidad de dispositivos inteligentes juega un papel importante en la revolución de IoT. Según el informe de Gartner, 100 mil millones de dispositivos se conectarán a la plataforma de IoT para 2020. La tasa de crecimiento económico aproximada es de más del 30% anual. La 4ta Revolución Industrial esta profundamente ligada al uso del Internet de las Cosas (Kiruthika & Umamakeswari, 2017).

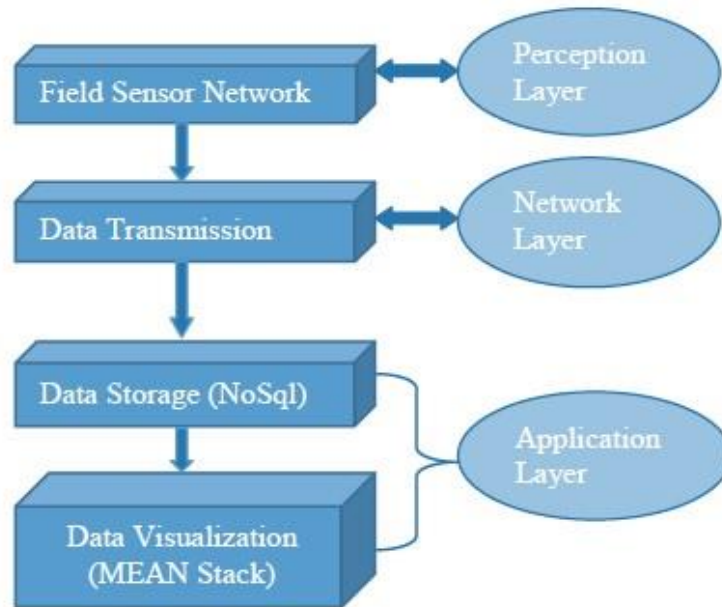


Ilustración 4 Arquitectura de diseño integral del sistema basado en IoT

Fuente: (Parmar et al., 2017)

3.5.1 Raspberry Pi

EL desarrollo de estos dispositivos básicamente consta de un ordenador, un dispositivo portátil como ser un celular y un microcontrolador que puede ser diferentes precios y tamaño. Uno de los mas utilizados en el mercado internacional para la construcción de prototipo es la Raspberry Pi. Este es uno de los microprocesadores que tiene distintos precios en su catalogo con amplio uso de posibilidades en la ejecución de proyectos de gran envergadura (Zakaria et al., 2018).

El uso de la Raspberry Pi va desde la visión artificial mediante una red neuronal implementada dentro de un robot o dispositivo hasta el procesamiento de datos mediante el Big Data, con su capacidad de ser un microordenador de gran capacidad ofrece soluciones mucho mas innovadoras respecto a otros microprocesadores. El coste valor es realmente catalogada como una gran inversión respecto a otras tecnologías de este mismo tipo ofreciendo soluciones mucho mas alcanzables.

Tabla 3 Comparativa de los distintos microprocesadores Raspberry Pi

	Raspberry Pi 2 Model B	Raspberry Pi 3 Model B	Raspberry Pi 3 Model B+	Raspberry Pi Zero	Raspberry Pi Zero W
Puertos USB 2.0	4	4	4	1 (Micro USB)	1 (Micro USB)
Ethernet	10/100 Mbit/s	10/100 Mbit/s	10/100 Mbit/s	No	No
Bluetooth	No	4.1	4.1	no	4.1
WiFi	No	802.11n	802.11 b/g/n/ac	no	802.11 b/g/n
Entrada de Audio	I ² S	I ² S	I ² S	I ² S	I ² S
Salida de Audio	I ² S, análogo (jack de 3.5mm), digital (HDMI)	I ² S, análogo (jack de 3.5mm), digital (HDMI)	I ² S, análogo (jack de 3.5mm), digital (HDMI)	Digital (Mini HDMI), análogo GPIO PWM	Digital (Mini HDMI), análogo GPIO PWM
Entrada de Video	Conector de cámara CSI	Conector de cámara CSI	Conector de cámara CSI	Conector de cámara CSI	Conector de cámara CSI
Salida de Video	HDMI, Compuesto (TRRS)	HDMI, Compuesto (TRRS)	HDMI, Compuesto (TRRS)	Mini HDMI, GPIO Compuesto	Mini HDMI, GPIO Compuesto
Almacenamiento Externo	Micro SD	Micro SD	Micro SD	Micro SD	Micro SD

Fuente: (*Comparando los Raspberry Pi | Mecatrónica Uno, 2018*)

La Raspberry Pi se ejecuta con el sistema operativo denominado Raspbian, en el que se incluyen las librerías necesarias y se desarrollan los controladores para acceder a los sensores. Los controladores y los scripts de la aplicación se desarrollan utilizando PYTHON, que es un lenguaje de programación de múltiples paradigmas que ayuda en el rápido desarrollo e integración de la aplicación con los sistemas (Balasubramaniyan & Manivannan, 2016)

3.5.2 IOT Hub

Existen muchas maquinas virtuales que mediante el machine Learning ayudan a interconectar estos dispositivos. IoT Hub se utiliza para proporcionar un punto de acceso para que los diferentes sistemas de monitoreo de la calidad del aire envíen sus datos. La comunicación bidireccional, es decir, de dispositivo a nube y de nube a dispositivo, la comunicación es posible con IoT Hub. Con esta gestión en la nube se maneja la identidad de los diferentes dispositivos y también permite el control de acceso revocable. También ofrece una canalización de comunicación segura en Azure mediante protocolos de Message Queue, como Message Queue Telemetry Transport (MQTT) y Advance Message Queue Server Protocol (AMQP) (Towakel et al., 2018).

3.5.3 ThingSpeak

Para el análisis y el muestreo de los datos que se obtiene de los sensores se logra mediante una aplicación que pueda comunicar el microprocesador central con los sensores que se colocan. Se llaman las API de Python necesarias y se importan las bibliotecas para cargar los datos del sensor en la nube dentro del software de la aplicación en la Raspberry Pi. Para obtener una información de ubicación clara para el cliente de monitoreo remoto, los parámetros de latitud y longitud de cada nodo están habilitados en la configuración del canal del nodo correspondiente. Para análisis externos y fuera de línea, los datos se pueden importar desde la base de datos ThingSpeak como formato CSV o Jason o PHP. Los clientes en el lugar remoto con una conexión a Internet pueden iniciar sesión en thingspeak.com y pueden ver todos los datos de los diferentes nodos. Los mismos datos se trazan en un gráfico con la configuración de los parámetros de los ejes X e Y respectivos para cada canal (Balasubramaniyan & Manivannan, 2016).

Existen otros sistemas que manejan otros protocolos de comunicación, pero debido a la disponibilidad y a las restricciones que puede haber al momento de registrarse en estos gestores se maneja de acuerdo con la ubicación que se tiene dentro del área permitido por ellos.

Una plataforma de IoT en la nube de código abierto llamada ThingSpeak se utiliza como servicios en la nube para el sensor webnode. Además del monitoreo remoto de datos, los servicios en la nube de ThingSpeak también brindan instalaciones para ejecutar servicios de agregación, toma de decisiones y análisis de datos. La plataforma ThingSpeak también ofrece otros servicios como visualizaciones de datos con soporte MATLAB, alertas, programación y comunicación de dispositivos (Balasubramaniyan & Manivannan, 2016). Los canales se configuran para vista privada o pública según el requisito y la austeridad de los datos para análisis, alerta y reacción.

Debido a la evolución de SBC en las últimas tendencias, un SBC en miniatura y de bajo costo llamado Raspberry Pi basado en el clúster ARM Cortex-A7 de cuatro núcleos como el hardware principal para el nodo web. Un escudo electrónico de tipo plug and play, fácil de usar, llamado GrovePi + se apila sobre Raspberry Pi. El escudo de hardware GrovePi + consta de un controlador compatible con ADC e I2C. El escudo de Raspberry Pi y GrovePi + se comunica mediante la interfaz I2C. (Balasubramaniyan & Manivannan, 2016) Se pueden conectar múltiples sensores analógicos y digitales a Raspberry Pi a través del escudo GrovePi +. El sensor basado en I2C se puede conectar a GrovePi + y Raspberry Pi puede acceder directamente a esos sensores a través de estos buses.

Monitoring es otra forma de poder integrar sistemas basados en IOT, existen diversas formas de poder manipular estos sensores mediante el internet, sin embargo, la disponibilidad que ofrece ThingSpeak y su versatilidad con el uso de una Raspberry Pi lo posiciona como la gran opción respecto a las demás, así mediante la implementación de IOT con un microprocesador tan potente como las Raspberry Pi

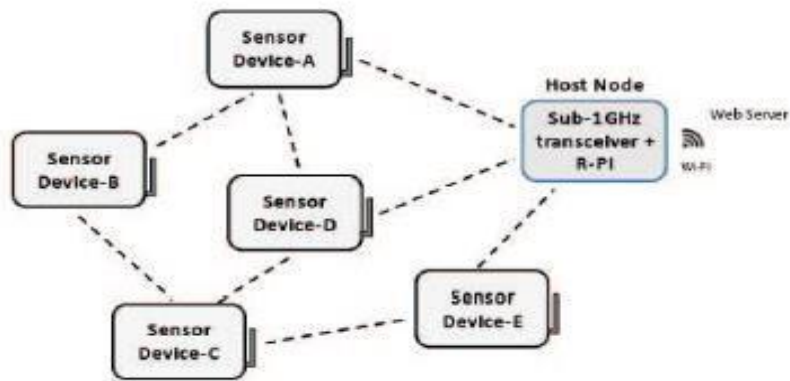


Ilustración 5 Arquitectura Basada en la Nube con sensores IOT

Fuente: (Sharma et al., 2019)

3.6 REDES NEURONALES

Una Red Neuronal generalmente se entrena mediante datos de entrenamiento, y debido a sus propiedades de generalización, ha sido ampliamente utilizado para modelado y pronóstico. Un sistema de procesamiento no lineal o técnica computacional que sigue patrones de sistema nervioso como los del cerebro humano. Úselo para tomar la decisión adecuada utilizando un algoritmo con la ayuda del conjunto de datos recopilados de las mediciones (Yadav & Nath, 2019.). La ANN está constituida por un grupo de unidades básicas de procesamiento interconectadas asociadas a una regla de aprendizaje. Cada unidad se llama neurona y proporciona un procesamiento paralelo de los datos.

$$S = f \left(\sum_{j=1}^n e_j w_j \right)$$

Ecuación 1 Representación del comportamiento matemático de una Red Neuronal ANN.

Fuente: (Yadav & Nath, 2019)

Las redes neuronales artificiales (ANN) se han utilizado con éxito como herramienta para la predicción y el modelado de series de tiempo en una variedad de dominios de aplicación. El modelo autorregresivo no lineal con entradas exógenas (NARX) es una clase importante de sistemas no lineales de tiempo discreto de (ANN) que pueden predecir la contaminación del aire. En tales casos, la aproximación universal y la capacidad de generalización de los modelos NARX parecen justificar su mejor desempeño de predicción. Por lo general, los modelos ANN superan a las técnicas lineales tradicionales, como los conocidos modelos Box-Jenkins, Nejadkoorki, F et Alabama. (2012) aplican una red neuronal de propagación retroactiva con la función de activación sigmoidea tangente hiperbólica y el método de optimización de Levenberg-Marquardt. PrimoIMlakar y col. (1997) utilizan el modelo basado en la red neuronal Perceptron que predice la contaminación del aire (Djebbri & Rouainia, 2017).

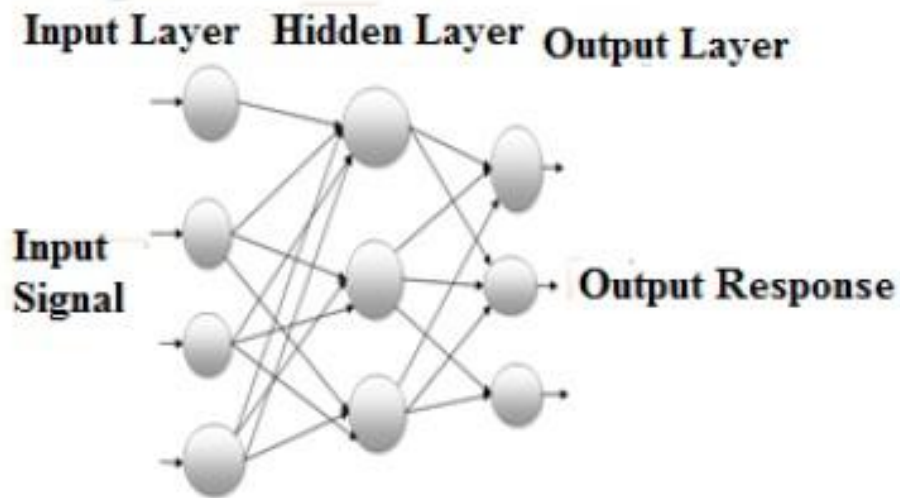


Ilustración 6 Arquitectura de una Red Neuronal

Fuente:(Yadav & Nath, 2019)

IV METODOLOGÍA

Para este capítulo se detallará la metodología que se utilizará, exponiendo cada una de las distintas etapas para llevar a cabo los análisis y pruebas que se desarrollaran

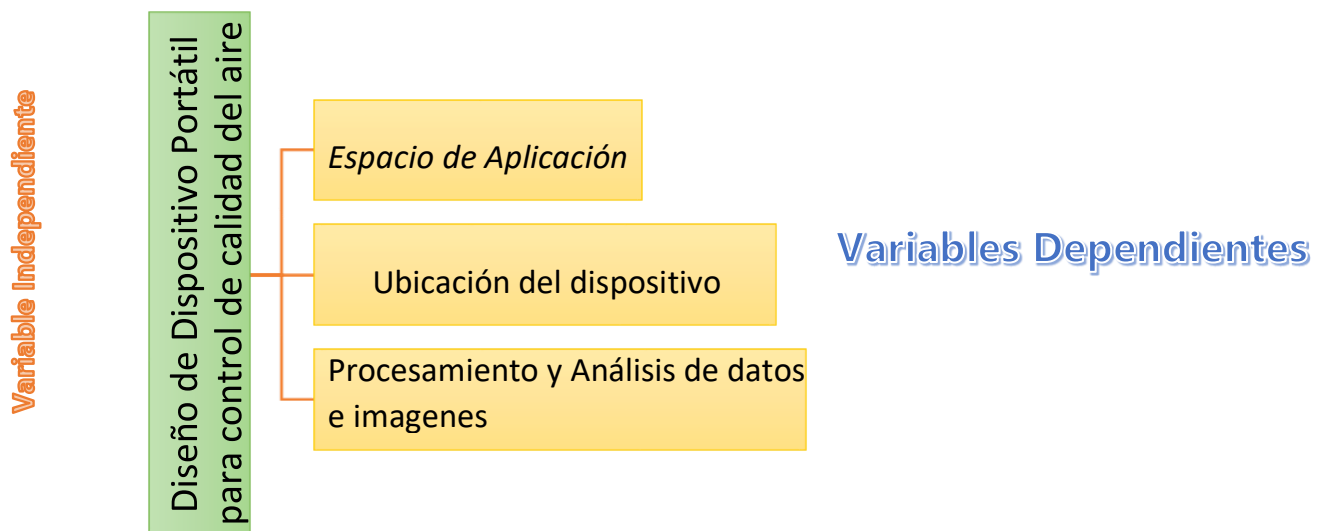
en el proyecto. También se expondrá el enfoque de la investigación, las variables independientes y dependientes, las técnicas y procedimientos aplicados y el cronograma de actividades a realizar para la elaboración del prototipo de un medidor de calidad portátil con Inteligencia Artificial.

4.1 Enfoque

El Enfoque de este proyecto es de carácter cuantitativo, donde se empleará la metodología de estudio en V. En concordancia con esta metodología, se podrá implementar distintos sistemas como el de estructura, el de monitorización y electrónico. Se harán distintas pruebas para comprobar algunas de las mediciones que se obtienen por parte del dispositivo portátil cuando se este en el campo.

4.2 Variable de Investigación

Las variables de Investigación definen cada parámetro que varían dentro del proyecto, así en la siguiente imagen se tienen las variables dependientes y las



Fuente: Elaboración Propia.

independientes del dispositivo para control de calidad del aire para dentro o fuera de espacios cerrados.

Como variable dependiente se tiene el Diseño del Prototipo como tal , esto en base al producto final y es lo que varía en cambio de los demás procesos que se pongan. Es un punto importante para las demás variables que no cambian en base al algoritmo completo de funcionamiento interno del mismo. La variable independiente del espacio es debido al rango de funcionamiento del prototipo , la ubicación por las distintas localidades y las diferentes formas que pueda tener el flujo del aire ya sea contaminada o no y por ultimo el procesamiento y Análisis de los datos que se vengan obteniendo de los sensores.

Tabla 4 Materiales utilizados en el prototipo

Fuente: Elaboración Propia (2021)

Microcontrolador Principal

Familia	Gama	Rasgos distintivos
Arduino	Media	Gama Media
PIC16	Media	Gama Alta Mejorada
Raspberry pi 4	Alta	Gama Alta Mejorada

Como el cerebro principal de nuestro prototipo se escogió la Raspberry Pi 4 debido a facilidad para integrar proyectos que requieran lot , con muchas posibilidades de crear un sistema complejo que requiera todas las exigencias posibles.

Sensor de Partículas

Modelo	Voltaje	Partículas	Precio
SDS011	5 v dc	PM10 y PM2.5	1,235 L
SENSIRION SPS30	3-5 v dc	PM1-PM10	2500 L

Para medir el material particulado se optó por el sensor SDS011 debido a su precio y a su fiabilidad para integrar proyectos de lot por medio la rapsberry pi , a la vez por su facilidad de encontrarlo en el mercado nacional.

Fuente de Alimentación.

Modelo	Voltaje de salida	Amperios	precio
Baterías recargables amazonbasics	12 v	200 mAh	624.86 L
Baterías recargables RadioShack	5,12,24 v	850 mAh	180 L
Power Bank	5v	25000 mA	250 L

Para la fuente de alimentación se decidió por una power bank debido a su fácil transporte y a su duración para un microcontrolador que tiene una capacidad de 3 A en su consumo de corriente directa.

Estructura del Dispositivo.

	Temperatura C	Descomposición T	Nivel de Corrosión
--	---------------	------------------	--------------------

PVC	50 - 75	150 años	Bajo
Aluminio	100 - 150	10 años	Alto
ABS	40 - 100	10 años	Bajo

Para la estructura General se buscó una estructura sencilla pero en el que se aproveche el sistema de ventilación del mismo, ya que mediante mas captación del aire exista , mas probabilidades de obtener mejores resultados se obtenga , a la vez se escogió el Abs como material por su soporte a las altas temperaturas.

Estructura del Housing para microcontrolador principal.

	Temperatura. C	Descomposición. T
PLA	235	5 Años
TPU	210	5 Años
PET	235	1000 Años

El Housing esta hecho en base al microcontrolador principal debido al flujo de aire caliente que ocasiona el microordenador , a la vez dentro del housing esta el fan cooler para una mayor ventilación del mismo.

Sensor de Dióxido de Carbono.

Sensor	Rango ppm	voltaje	Precio	Dimensión
MG-811	400	5 v	L. 1,500	32 x 22 x 27 mm

MH-Z19	0-5%	3v-5v	L. 1,150	29.54 x 19.5 mm
--------	------	-------	----------	-----------------

Para el sensor de Dioxido de Carbono se escogió este debido a su exactitud para hacer este tipo de mediciones , ya que debe ser una lectura confiable dentro del sistema.

Sensor MQ

Sensor	Sustancia	Voltaje	Precio
MQ-7	Monóxido de Carbono	5V	120 L
MQ-131	Ozono	5V	680 L
MQ-135	Benceno, alcohol humo, calidad del aire	5V	150 L

La familia de los sensores MQ miden diferentes magnitudes de gases , sin embargo , el MQ-135 mide magnitudes de gases relacionados a la calidad del aire que consumimos , por ello y en base a esta información es que se escogió este sensor.

4.5 Metodología de Estudio

Para el desarrollo de este prototipo se usará la metodología V. Esta metodología fue seleccionada debido a que se enfoca en optimizar el proceso de diseño y desarrollo del proyecto permitiendo a la vez la retroalimentación de este y la pronta evolución conforme se van identificando deficiencias en este, permitiendo realizar una integración de los tres subsistemas de la ingeniería mecatrónica; la estructura, la electrónica y la de monitorización. Este balance permite diseñar un sistema mecatrónico generando un

estudio individual, pero integrando sus componentes para una sincronía de la funcionalidad.



Ilustración 7 Metodología de Estudio V

Fuente: tutorialspoint (2021)

Etapa inicial. Requisitos del sistema

Diseñar un dispositivo capaz de monitorear y controlar la calidad del aire en el ambiente integrándolo con IA para una eficiencia mayor en donde se logre integrar los sistemas que conforman la ingeniería mecatrónica, como ser un sistema electrónico, estructura y de monitorización, cumpliendo con las Directrices de Calidad del Aire de la OMS.

El prototipo se integrará con los diversos sistemas que se propongan, así como una monitorización que conlleve a simplificar de una manera mas eficiente los procesos que un controlador principal pueda hacer dentro de sus capacidades.

Todo el eje principal se llevará a cabo en tres grandes sistemas que se describirán mejor en el siguiente documento llevando así un orden metodológico para la realización de este proyecto con cada uno de los algoritmos expuestos.

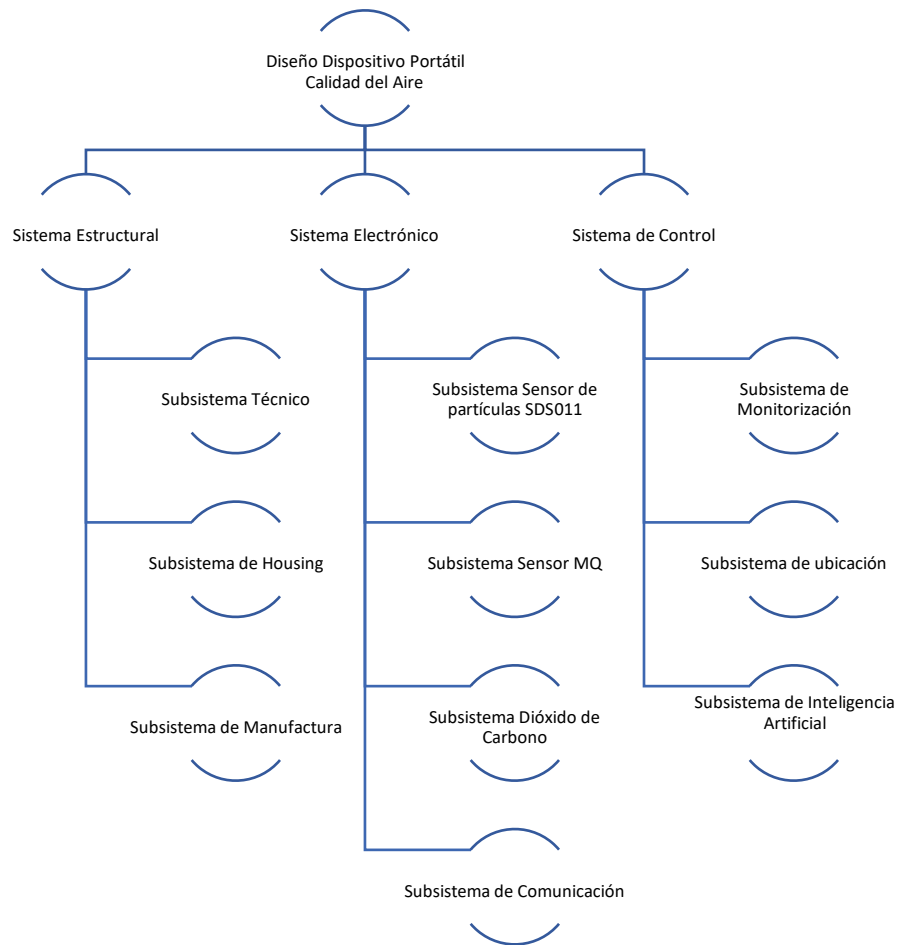


Ilustración 8 Niveles de los Sistemas y Subsistema de Dispositivo Portátil para control de calidad del aire

Fuente: Elaboración Propia, 2021

Etapa 1 Nivel de Sistemas.

A. Sistema Estructural.

Se obtuvo un diseño base para la estructura del dispositivo. Se determinó cuáles son los materiales óptimos para la implementación e interacción con los demás componentes realizando simulaciones de temperatura y otros análisis de interés en Solidwork.

B. Sistema Electrónico.

Se obtuvo los componentes necesarios para el manejo y procesamiento de datos enviados a través de los distintos sensores colocados en el dispositivo, haciendo distintas pruebas para el envío correcto de datos y que se vean afectadas lo menos posible. Gracias al software Proteus Profesional se realizaron los circuitos para la funcionalidad de estos y obtener una idea clara del sistema electrónico.

C. Sistema de Control

Se obtuvo por medio de distintos algoritmos digitales la implementación correcta de lecturas entre los sensores internos del dispositivo, enviando y simplificando en lo más mínimo la pérdida de datos y haciendo posible la recepción de información con menor latencia entre la nube y con el microcontrolador. A la vez que se implementara una cámara por radiofrecuencia integrándola con IA para un mayor control del dispositivo y realizar los análisis correspondientes por medio de una red neuronal.

Etapas 2 Nivel de los Subsistemas.

A Subsistemas Estructural.

Este fue conformado por tres partes principales:

1. Subsistema técnico: se diseñó el CAD de la estructura del robot realizando estudios por medio de una simulación que proporciona el software SolidWorks Simulation.
2. Subsistema de Housing: En este subsistema se definió que el material que se usará será ABS debido a que es fácil de conseguir, es fácil de acomodar y soporta buenas temperaturas, es un material muy dócil, fácil de mecanizar y mantiene un buen acabado dando la mejor forma para nuestro prototipo.
3. Subsistema de Manufactura: En este subsistema se obtuvo la estructura general del dispositivo conformando la parte visual externa de este.

B. Subsistema Electrónico.

Esta fue conformada por cuatro partes principales:

1. Subsistema Sensor de Partícula SDS011: En este subsistema se implemento el sensor de partículas para poder visualizar las partículas PM10 y PM2.5.
2. Subsistema Sensor MQ: En este subsistema se implementó el sensor MQ conectándolo a la Raspberry pi 4 para procesar una lectura y mandarla al ordenador.
3. Subsistema Dióxido de Carbono: En este subsistema se implementa el sensor Mh-Z19 para visualizar los niveles de emisiones de Dióxido de Carbono y enviar esas señales mediante la nube por medio del microprocesador central raspberry pi 4.
4. Subsistema de Comunicación: En este subsistema se diseña la comunicación entre el microcontrolador con la nube y computadora al igual que la cámara con el dispositivo central para ver las imágenes en el proceso de análisis.

C. Subsistemas de Control.

Este fue conformado por tres partes principales:

1. Subsistema de Monitorización: Para la interacción con el usuario se utilizará una interfaz en la que se puede observar mediante un ordenador o un celular mediante el software de ThingSpeak el manejo de los sensores de forma general.
2. Subsistema de Ubicación: Se desarrolla un programa donde por medio de una raspberry se realiza la ubicación del dispositivo automáticamente y saber su ubicación exacta en todo momento siempre conectada a una red WAN o LAN.
3. Subsistema de Inteligencia Artificial: Se desarrolla una red neuronal capaz de predecir la calidad del aire dentro de una ciudad, eliminando la barrera del usuario-

dispositivo y analizar la calidad del aire en cualquier ciudad de Honduras aun en distancias lejanas.

Etapas 3 Realización de las Partes.

Partes Estructural

Se realizaron la estructura del dispositivo, la estructura del Housing y la estructura de movimiento del robot por medio del software de Solidworks según el material seleccionado y se obtuvo mediante cajas plásticas de estancia.

Partes Electrónicos

Se realizaron los diseños de las partes necesarias con sus componentes seleccionados verificando que estén en su funcionamiento normal.

Partes Control

Se realizó la interfaz tomando en cuenta que la lectura de datos era el correcto y si la recepción del mensaje era el ideal para cada sensor evaluando las distintas respuestas que estos ofrecían en determinado momento.

Etapas 4 Integración de las Partes.

Integración Partes Estructurales

Al integrar cada una de las partes estructurales, se realizaron distintas pruebas para que el ensamblaje de los componentes se estableciera de una manera correcta y sin ningún inconveniente que afecte en la simulación del sistema. Al mismo tiempo con la estructura de movimiento se verificó que estas estén acopladas debidamente y estas realicen el movimiento correcto.

Integración Partes Electrónicos

Se integraron cada uno de los componentes electrónicos para su uso ya colectivo y puedan interactuar entre sí, por ello, se implementó un sistema para poder monitorear

y simplificar las distintas señales que producen estos sensores y haya un mayor control de cada uno de ellos en la nube implementando las medidas de ciberseguridad necesarios, a la vez se realizaron los cableados pertinentes para cada uno de los sensores para que logren quedar de forma compacta.

Integración Partes de Control

Se diseñó la interfaz en la cual exista una comunicación óptima entre lo que son los sensores y los actuadores para que el interfaz entre usuario y dispositivo fueran completas sin pérdidas de datos diseñando una base de datos para guardar los valores del dispositivo y el mantenimiento del servidor que aloja nuestro sistema de IOT. También se integró la cámara dentro del dispositivo haciendo pruebas de monitoreo del entorno a la vez que se implementó la red neuronal que se desarrolló para poder predecir de forma eficaz la contaminación ambiental.

Etapas 5 Integración de los Subsistemas.

Integración de los Subsistemas Estructurales.

Integración Subsistema técnico

Se verificó que la estructura del dispositivo no sufriera desgastes por medio de pruebas de presiones, que aseguren su perfecto funcionamiento.

Integración Subsistema Housing

Se verificó que el material escogido para la estructura del housing soporte buenas presiones de fuerza a la vez que la sensación térmica no provoque corrosión en las mismas y no haya interferencias con los demás componentes.

Integración de Manufactura.

Se verificó que los módulos que se escogió para la estructura del dispositivo fuera el adecuado.

Integración de subsistema Electrónico

Integración Subsistema sensor de partículas SDS011.

Se verificó que las conexiones en la base del sensor estén en óptimo funcionamiento y que el cableado no sufra ningún percance en su funcionamiento.

Integración Subsistema Sensor MQ.

Se comprobó que las conexiones del sensor MQ-135 están en un óptimo funcionamiento con la Raspberry pi 4 para procesar lecturas y que sea mostradas en la nube.

Integración Subsistema Dióxido de Carbono.

Se verificó el sistema de Dióxido de Carbono este en óptimo funcionamiento y el haz de luz pueda enviar esos valores con la menor latencia posible a la nube del dispositivo.

Integración Subsistema de Comunicación.

Se comprobó que el subsistema de comunicación funcionara de una forma adecuada comprobando la conexión para una comunicación óptima y estable. A la vez se comprobó el uso correcto de la cámara.

Integración de Subsistemas de Control.

Integración Subsistema Monitorización.

Se verificó el conexionado del microcontrolador con los sensores para que haya una correcta lectura de esta y se esté trabajando de forma eficiente, a la vez asegurar que el diseño de las distintas placas esté en óptimo funcionamiento.

Integración Subsistema de Ubicación.

Se verificó que en la comunicación haya una correcta conexión con los sensores y pueda verificarse que los datos que se envían por medio de wifi en la aplicación sean los correctos en su ubicación respectiva.

Integración de Inteligencia Artificial.

Se verificó que el programa desarrollado para la comunicación Wifi entre dispositivo y el control sea el óptimo para el control de este asegurando que el diseño de los módulos implementados se adapten al ambiente y puedan realizar sus respectivos analisis.

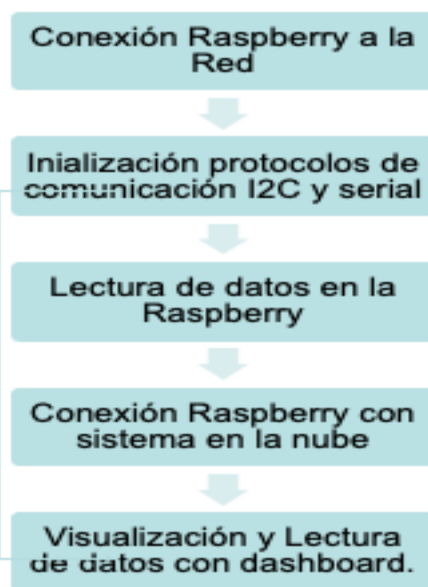
Etapa 6 Integración de los Sistemas.

Integración Sistema Estructural.

Se integró toda la estructura física del dispositivo con todos sus procesos correspondientes y así observar el comportamiento del sistema con todos sus subsistemas integrados evaluando el funcionamiento y las respuestas que ofrece este sistema de acuerdo con los objetivos establecidos

Integración Sistema Electrónico.

Se integran todas las placas necesarias del sistema de acuerdo con los subsistemas establecidos para su funcionamiento y se conectan todos los cables para empezar la transmisión de datos entre toda la estructura del robot y verificando que se están enviando y recibiendo datos en la forma correcta.



Algoritmo de Funcionamiento del Sistema

Fuente : Elaboración Propia (2021)

Integración Sistema Control

Se integran los algoritmos de programación en el cual se comunican lo que es el interfaz del usuario con las señales de los sensores con una Raspberry Pi 4, para que muestre los datos de los sensores y también obteniendo esas lecturas implementadas en el robot y en cualquier dispositivo móvil por medio de la computadora en la nube.

Resultado del Prototipo: Final del Ciclo.

Se diseñó un prototipo funcional para el control y visualización de las normas estándares de calidad del aire mediante análisis de machine learning, creando un diseño CAD del dispositivo en el simulador de SolidWorks, su diseño electrónico en el simulador de proteus y se desarrolló una interfaz con el usuario en la nube.

4.6 Metodología de Validación

Se realizaron distintas pruebas después de la fabricación del dispositivo y se determinaron cada uno de los factores que hacen que el proyecto sea un éxito al desarrollo final. Este dispositivo es capaz de sensar la calidad del aire por medio de sensores confiables a la vez que tiene implementada una red neuronal capaz de predecir la calidad del aire en San Pedro Sula y que se es capaz de manipularlo obteniendo imagen de buena calidad y volverlo más eficiente y novedoso respecto a los métodos tradicionales.

4.7 Cronograma de Actividades

Para el desarrollo de este proyecto se hizo una calendarización de las distintas actividades que se realizaron en las 10 semanas de trabajos , en ellas están descritas lo que se hizo y la importancia de tener una base bien estructurada de todos las acciones que se realizarón.

	Semana 1	Semana 2	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7	Semana 8	Semana 9
Tarea 1	Plantamiento del problema e Hipótesis							
Tarea 2		Inicio del Marco Teórico						
Tarea 3			Inicio construcción del Prototipo					
Tarea 4				Primeras Pruebas del Prototipo				
Tarea 5			Avance del informe en un 80%					
Tarea 6					Finalización y seguimientos de Pruebas del Prototipo			
Tarea 7						Finalización del Prototipo		
Tarea 8							Análisis y Resultados	
Tarea 9							Finalización del Informe y Prototipo	

Cronograma de Actividades

Fuente: Elaboración Propia(2021)

V. Análisis y Resultados

En este capítulo se analizarán y discutirán el proceso de fabricación del dispositivo, así como el comportamiento de cada uno de los distintos algoritmos y componentes implementados en el dispositivo de calidad del aire interpretando el resultado de cada uno de ellos.

5.1 Analisis y Sustento del Marco Teórico

En el desarrollo del Marco Teórico se establecieron puntos importantes para comprender la ejecución de este proyecto de investigación. El tema General de la calidad del aire puede ser estudiado de diversas formas y como se vio anteriormente una de las mas novedosas en la actualidad es mediante el machine learning. Además de solo aplicar el Internet de las cosas en la industria, también nos puede ayudar a tener un control mas eficaz a niveles que quizás en algún momento no se supo que se podía llegar. La Arquitectura de los sistemas lot pueden llegar a ser complejos, pero no difíciles de entender y no complicados de hacer, con dedicación y concentración se pueden llegar a entender lo que sale de la combinación tecnológica como ser el machine learning asi como el IOT.

Un punto importante es comprender toda la arquitectura que se encuentra detrás de un dispositivo IoT y más allá con la IA. Los protocolos de comunicación juegan un papel importante en este tipo de aplicaciones y como se mencionó en el Marco Teórico de este proyecto de investigación la forma de gestionar los mensajes dentro de una red de Internet es fundamental para aplicar prototipos que funcionen en ellas y se demuestre la seguridad que se obtienen dentro de esa red.

Para el desarrollo de este Prototipo se usó el protocolo de comunicación MQTT mediante el entorno de desarrollo de NODE RED, facilitando así el poder comprimir los procesos complejos mediante sensores capaz de implementarlos fuera de su entorno de desarrollo e integrarlo con muchas aplicaciones que funcionen de acuerdo con lo que el usuario final quiere. La tecnología en la nube es clave para el desarrollo de este prototipo, por ello como se describió en el Marco Teórico usar estos protocolos de comunicación seguros y con alta latencia de transmisión de datos ocasiona que el proyecto satisfaga los objetivos propuestos.

Un punto importante que se valida en este proyecto de investigación es la construcción e implementación de una red neuronal, ¿Qué formas de integrarlo existen en productos destinados al IoT? ¿Qué ventajas y desventajas puede provocar en el desarrollo de software en prototipos hechos en base al IoT? ¿Cómo integrar distintos sensores dentro de un sistema complejo de IoT con su respectiva App? Muchas son las preguntas que se requieren al momento de empezar cualquier prototipo, sin embargo, todas ellas se responden en base a lo que se expresó en el marco teórico. La comunicación de Sensores, el uso de IA, protocolos de comunicación, entorno de desarrollo, etc. Todas estas son partes importantes para la ejecución de este proyecto y en base a cada una de ellas vamos a desglosar el desarrollo del prototipo desde su construcción base como los distintos algoritmos que se implementaron. Como partida también se tomará en cuenta la metodología con la que se trabajó, los fundamentos que hacen posible escoger porque la metodología en V fue la mejor decisión de este prototipo y porque las

demás metodologías estudiadas en Mecatrónica se dejaron de lado en la selección de estos.

Gracias a las nuevas tendencias y los nuevos microcontroladores que existen destinados a desarrollar tecnologías mucho mas completas y acorde a las exigencias que hoy en día se requiere se establece el punto primordial de la Raspberry Pi, dado que es en este microordenador donde se instala todas las librerías necesarias para el desarrollo del software necesario para un prototipo de lot. En el Marco Teórico se establecen los puntos primordiales para conseguir, así como otras características importantes e interesantes que se acoplan a la realidad que se experimenta en el mundo mediante tecnologías móviles como ser las redes sociales. Cada uno de estos sistemas mediante el entorno de desarrollo de Node Red ayudan a complementar procesos complejos mediante lenguajes de programación visuales con un microcontrolador de recursos aceptables.

5.2 Estructura Portátil

Siguiendo los pasos de la metodología y en base a los sistemas ordenados jerárquicamente se parte de la base del diseño del prototipo portátil. Para el modelado CAD de este se utilizo el software de Fusion 360, esto debido a su versatilidad y ligereza al momento de modelar sistemas dentro de nuestro ordenador, así como las facilidades de simular procesos de temperatura y soporte de nuestro material. Para el prototipo el material que se utilizo es el ABS ya que proporciona mayor resistencia a la corrosión y debido a su bajo precio de costo.

Al ser un diseño sencillo y con una ventilación en donde pueda existir captación del aire de forma constante es necesario realizarlo de esta forma.

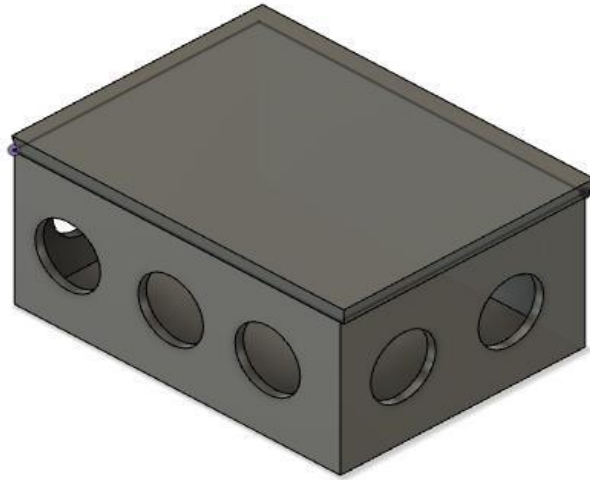


Ilustración 9 Estructura portátil dispositivo calidad del aire

Fuente: Elaboración propia (2021)

5.3 Circuitos Electrónicos

5.3.1 Esquemáticos sensores calidad del aire

5.3.1.1 Sensor de partículas SDS011

En base a lo que se discutió en el marco teórico el sensor de partículas es uno de los que se encuentra disponible en el mercado y dado su bajo precio presenta las mejores condiciones para este proyecto. Como se muestra en la siguiente figura se puede observar la estructura y el diagrama funcional del sensor en donde se visualiza los valores predeterminados del mismo, es decir, un diagrama esquemático de la salida al detectar el material particulado PM10 y PM2.5.

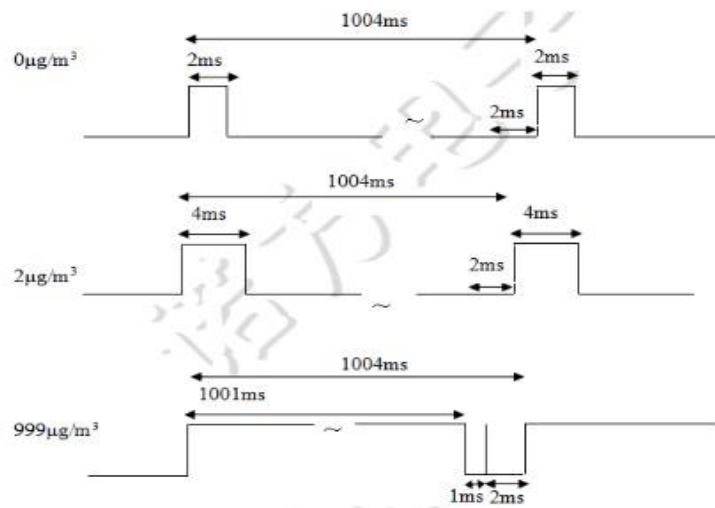


Ilustración 10 Esquemático salida reacción PM10 y PM2.5

Fuente: *(Laser PM2.5 Sensor Specification, 2015)*

Como se puede observar en la figura el sensor actúa en base a la captación de partículas y debido a eso su reacción cambia constantemente, por ejemplo, mientras mas cantidad de material particulado se encuentre en el ambiente su tiempo de transmisión cambia y eso se muestra en el dashboard de este proyecto.

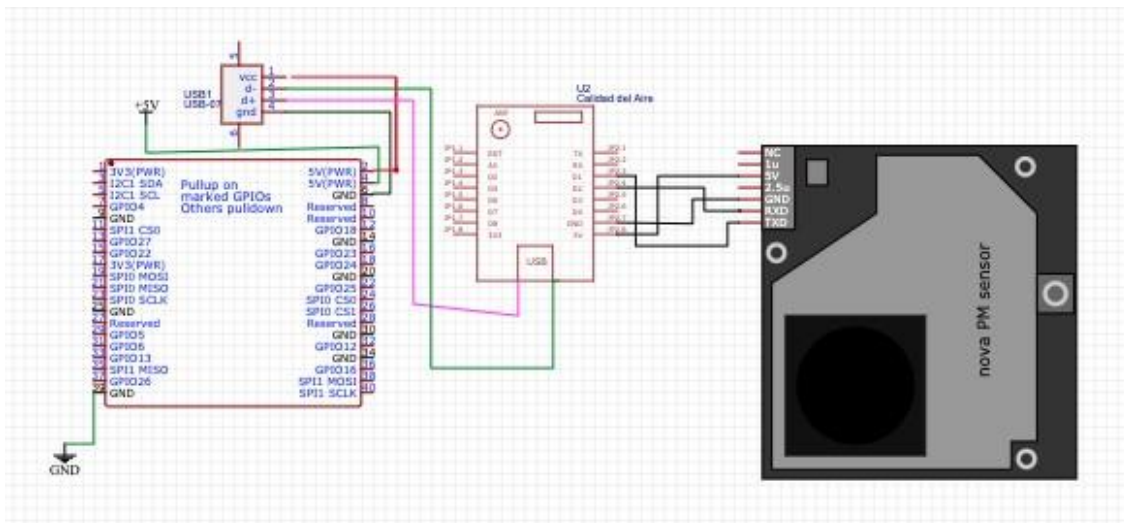


Ilustración 11 Diagrama de conexión sensor SDS011

Fuente: Elaboración Propia (2021)

5.3.1.2 Sensor BMP280

Mediante el sensor BMP280 representa 3 valores importantes para analizar, como ser la temperatura, humedad y la presión atmosférica. Con este sensor de bajo costo proporciona magnitudes que se mide en el instante, en base a la metodología las conexiones de cada uno de los componentes tienen como resultado una lectura de señales de forma eficaz.

Es de suma importancia reconocer el tipo de conexión de los sensores, por ejemplo, los mas comunes son las comunicaciones seriales o el uso de bus de transporte I2C, la forma en que se transmiten la información depende en gran medida de la conexión a la red que exista, sin embargo, la formación de ciudades inteligentes hace preciso usar estos

protocolos de comunicación en nuestros sensores para subirla a la red y visualizar cada uno de estos valores sin importar su ubicación.

Como se va a describir en la siguiente imagen es una comunicación típica entre varios microcontroladores que es un ejemplo de cómo se va a comunicar este procesador central en nuestro prototipo, donde la raspberry pi será el

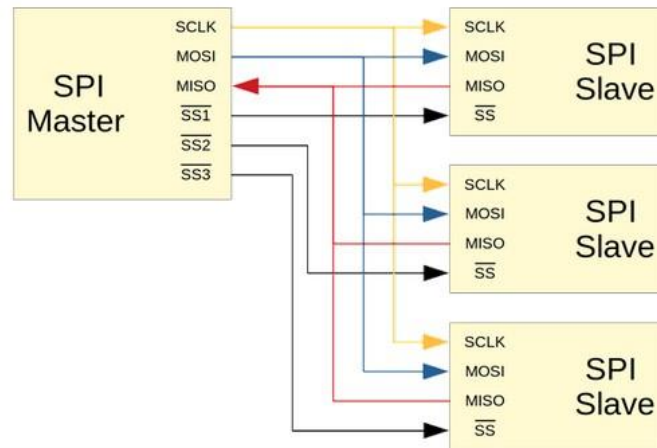


Ilustración 12 Analogía de funcionamiento sensor BMP280 con SPI

Fuente:(*BST-BMP280-DS001-11.Pdf*, 2021)

El diagrama de conexión del sensor es simple, sin embargo, hay que tener en cuenta que debido a no solo es un solo sensor en el que se comunica con la nube, sino con muchos mas sensores que se llevan en camino, por ello y en base a la metodología se establecen los parámetros necesarios que se necesitan para un óptimo funcionamiento.

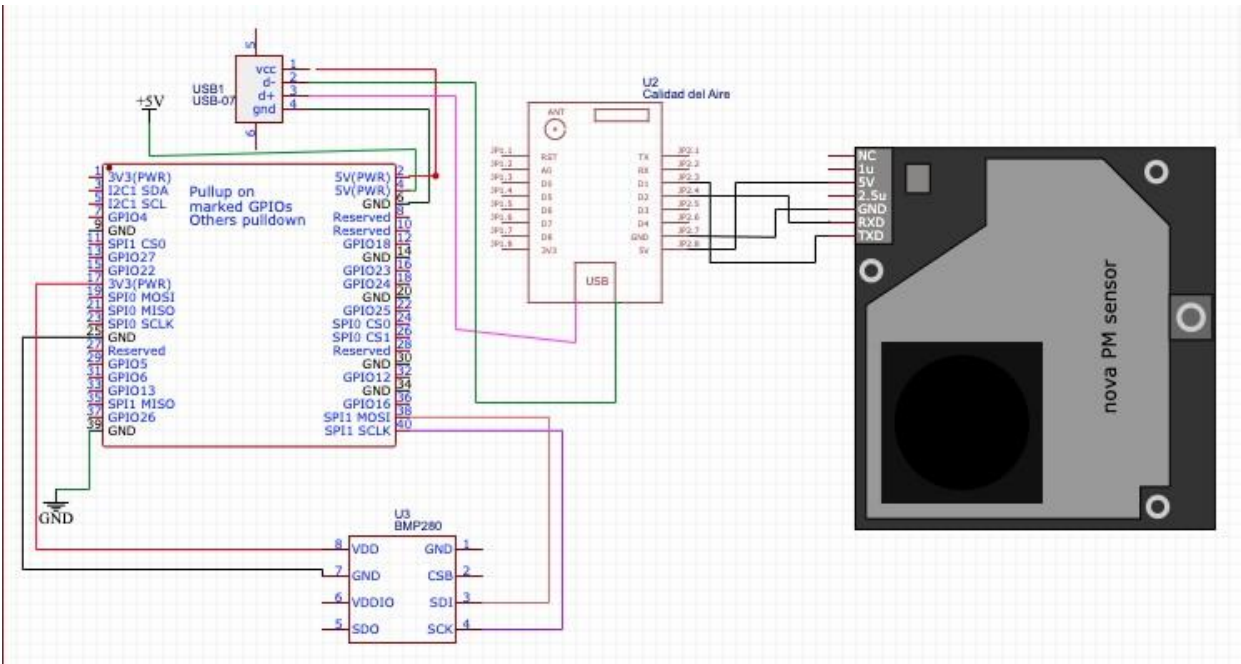


Ilustración 13 Esquemático sensor BMP280 con SDS011

Fuente: Elaboración Propia (2021)

5.3.1.3 Sensor de Dióxido de Carbono MH-Z19

Para la medición de CO₂ se utilizó este sensor para obtener mediciones confiables, dado su fácil uso y su documentación para distintos proyectos de este tipo son una de sus muchas razones para detectar un componente tan importante como lo es el CO₂. Uno de los aspectos importantes acerca de este sensor es que al utilizar un método infrarrojo para hacer la detección de Dióxido de Carbono siguiendo los mismos principios del sensor SDS011 tiene mayor fiabilidad respecto a otros sensores. Con el uso del IoT cada uno de los sensores que se me mencionan anteriormente tienen muchas ventajas en lo que respecta a los demás sistemas tradicionales tanto en su facilidad de crear bases de datos y guardar la información, así como crear modelos de machine learning en donde se pueda analizar cada uno de los datos que se registren dentro de ella ayudando a crear un sistema conforme a las necesidades que hoy en día se requiere.

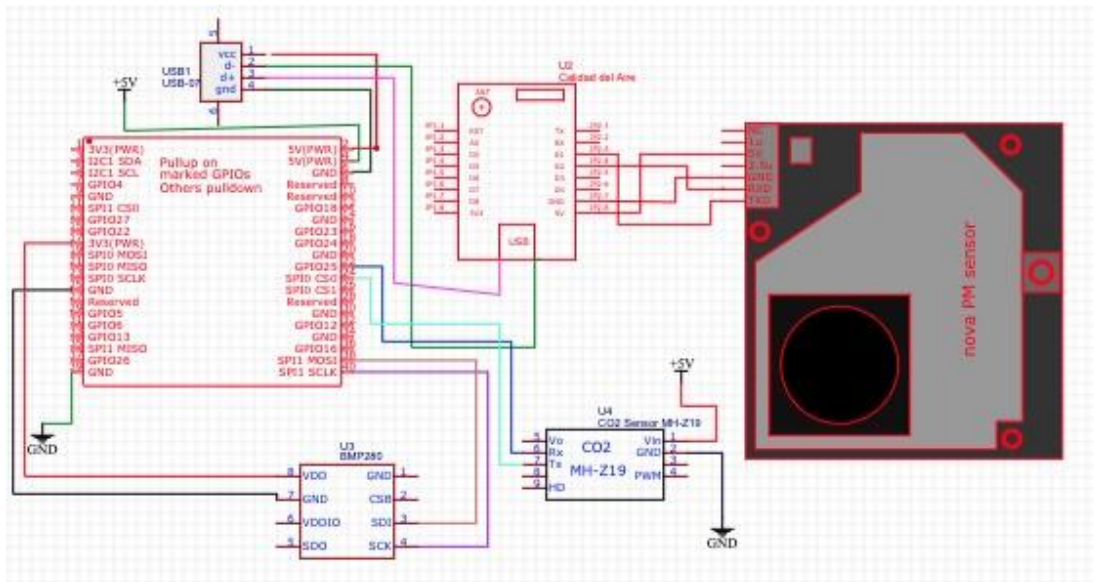


Ilustración 14 Conexión del sensor MH-Z19 para le medición de CO2

Fuente: Elaboración Propia (2021)

5.3.1.4 Sensor MQ135

Dado la cantidad de sensores que hay en la raspberry pi se utilizo otro microcontrolador como ser el arduino nano dado su tamaño pequeño, así mediante un procesador central como la raspberry pi se pueda comunicar con otro microcontrolador que sea al equivalente como un esclavo y maestro y así poder usar múltiples sensores al cual se pueda conectar ya sea utilizando comunicación serial o comunicación I2C. La familia de sensores MQ es grande y cada uno de ellos evalúa muchos gases que se hay en la atmosfera, sim embargo, para fines mas eficaces solo se utilizo el sensor MQ135 ya que es un sensor específicamente para calidad del aire, midiendo a la vez muchas magnitudes que pueden resultar útil en el estudio de predicción de calidad de aire. Cada uno de los sensores aquí descritos se desarrollo pensando en la integración de lot para que sea una lectura mas sencilla y eficaz para procesos complejos.

Como ultimo diagrama de conexión se tiene la parte final de esta parte metodológica, así gracias a las funciones y las pruebas que se realizo para obtener un

prototipo funcional para medir la calidad del aire en el ambiente se obtiene un diseño funcional de conexionado y probado en diferentes circunstancias.

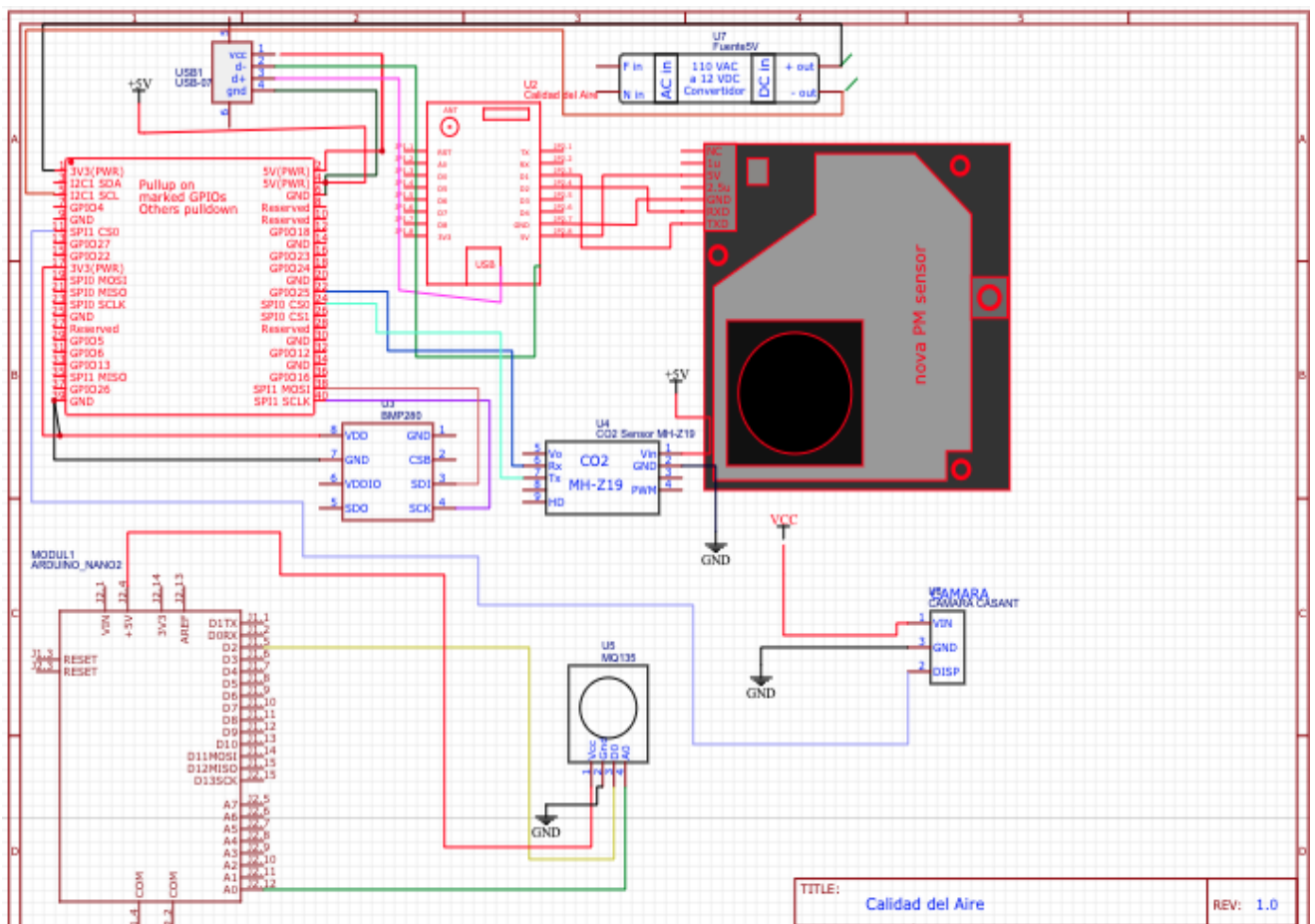


Ilustración 15 Diagrama final de conexión entre los sensores y procesador principal.

Fuente: Elaboración Propia (2021)

5.4 Interfaz de Control

Un punto importante para el desarrollo de este proyecto y que lo diferencia de los demás es la interpretación grafica que se obtiene de ella , es así como se diseño propiamente como representar los datos del sensor y como poder leerlos ya sea desde comandos desde una red social como una pagina web propia con servidor propio dentro de nuestra led LAN en nuestro hogar o en el lugar del trabajo , así como remotamente desde cualquier parte del mundo , por ello , se presentara las diferentes formas de poder observar los valores de cada uno de los sensores.

5.4.1 Diseño de dashboard

5.4.1.1 Material particulado

Para visualizar los diferentes valores de nuestros sensores se realizaron diferentes dashboard para nuestros sensores, en la siguiente ilustración se puede visualizar el dashboard para la medición de material particulado realizado siempre por Node Red integrándolo mediante una pagina web.

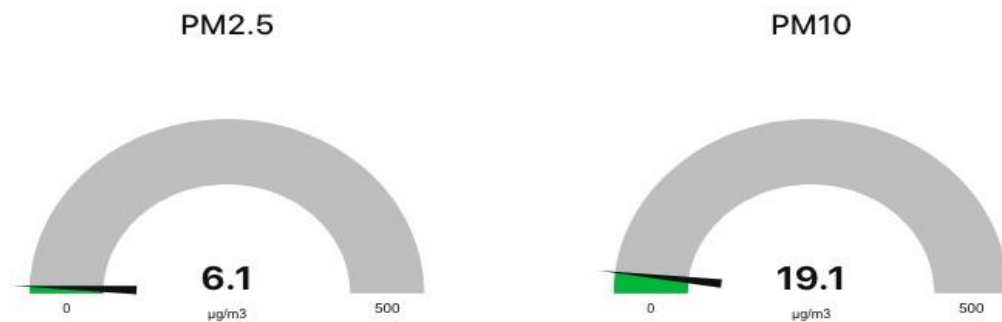


Ilustración 16 Interfaz para monitorear material particulado

Fuente: Elaboración Propia (2021)

Así como se puede visualizar en un gauge el uso la captación de material particulado también gráficamente se puede observar las lecturas que arroja el sensor de material particulado SDS011.

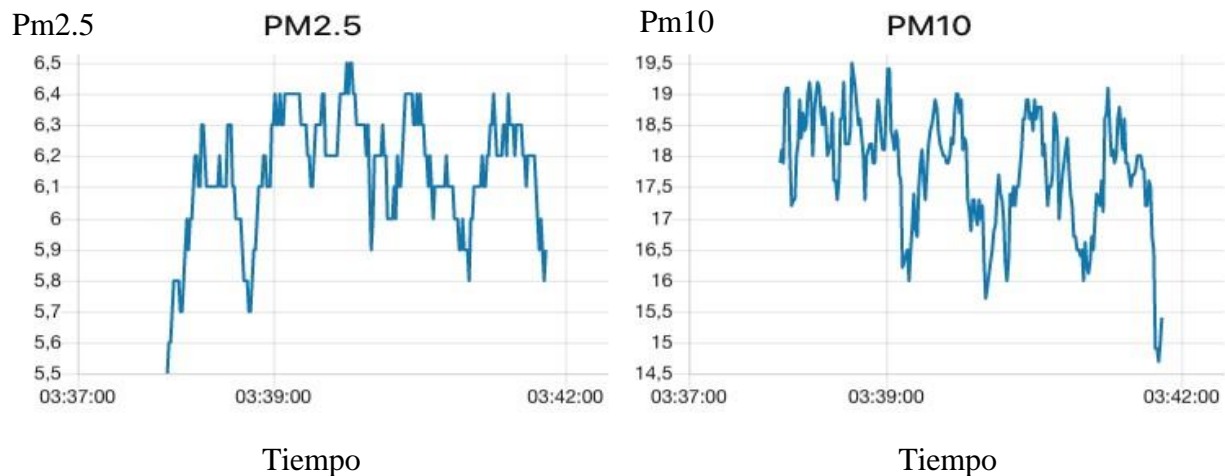


Ilustración 17 Visualización grafica material particulado.

Fuente: Elaboración Propia (2021)

5.4.1.1 Temperatura

Para la visualización de la temperatura básicamente es el mismo principio y diseño de los dashboard, sin embargo para este caso se tuvo que desclasificar el sensor ya que cada una de las lecturas las realizaba en base a un solo mensaje de interpretación, sin embargo, se pudo integrar al dashboard de la página web de control.

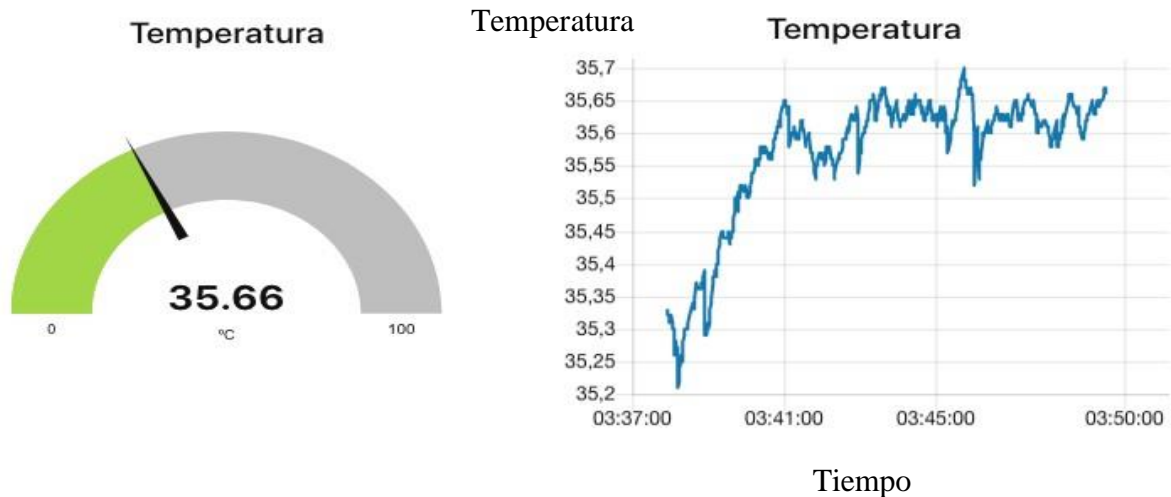


Ilustración 18 Visualización de Temperatura

Fuente: Elaboración Propia (2021)

5.4.1.2 Humedad

Para la visualización de la humedad se tiene un dashboard con el mismo flujo creado a partir de los anteriores, sin embargo, esta tiene una representación del porcentaje de humedad dentro de su sensor, a su vez se tuvo que dividir en su programación la forma en que se muestra su mensaje que será explicado en su principio de programación en el sensor.

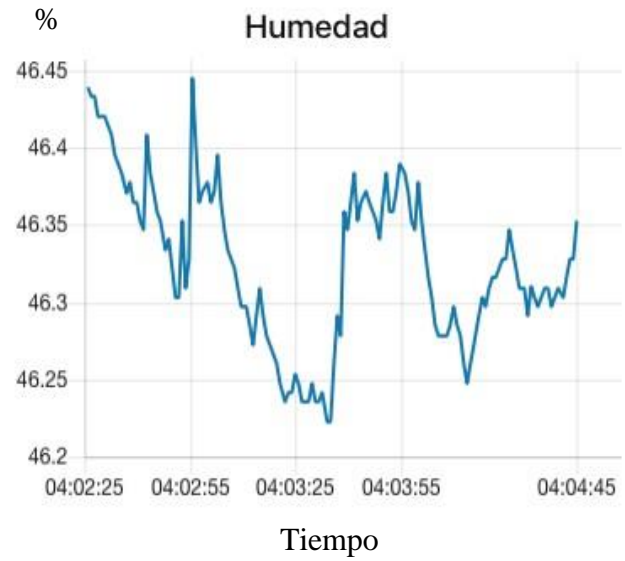
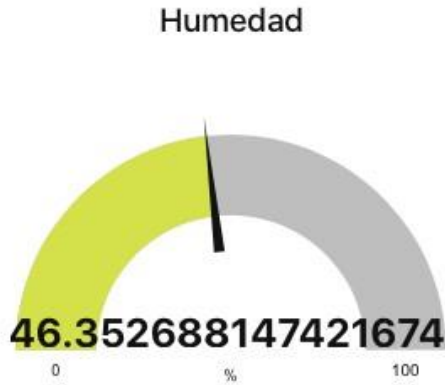


Ilustración 19 Gauge y Grafica de visualización de la humedad

Fuente: Elaboración Propia (2021)

5.4.1.3 Presión Atmosférica

La presión atmosférica puede ser muy importante para la predicción de los cambios repentinos del ambiente, por lo que muchas pueden ser variable en su lectura, así que como las magnitudes físicas mostradas anteriormente tiene el mismo diseño de su dashboard, pero específicamente a la presión atmosférica.

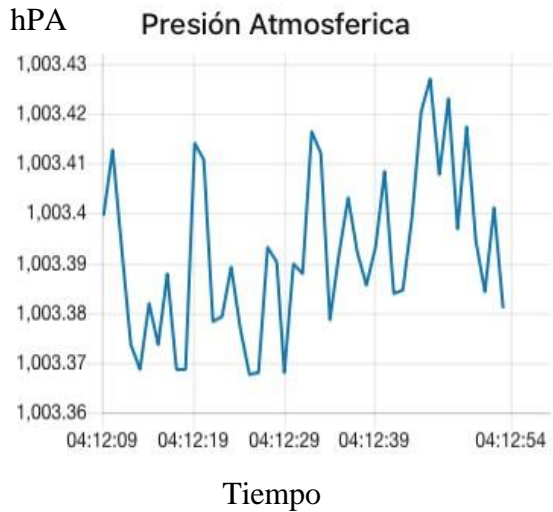
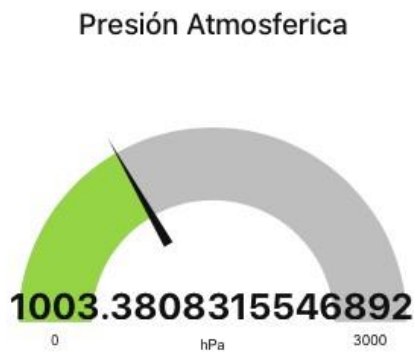
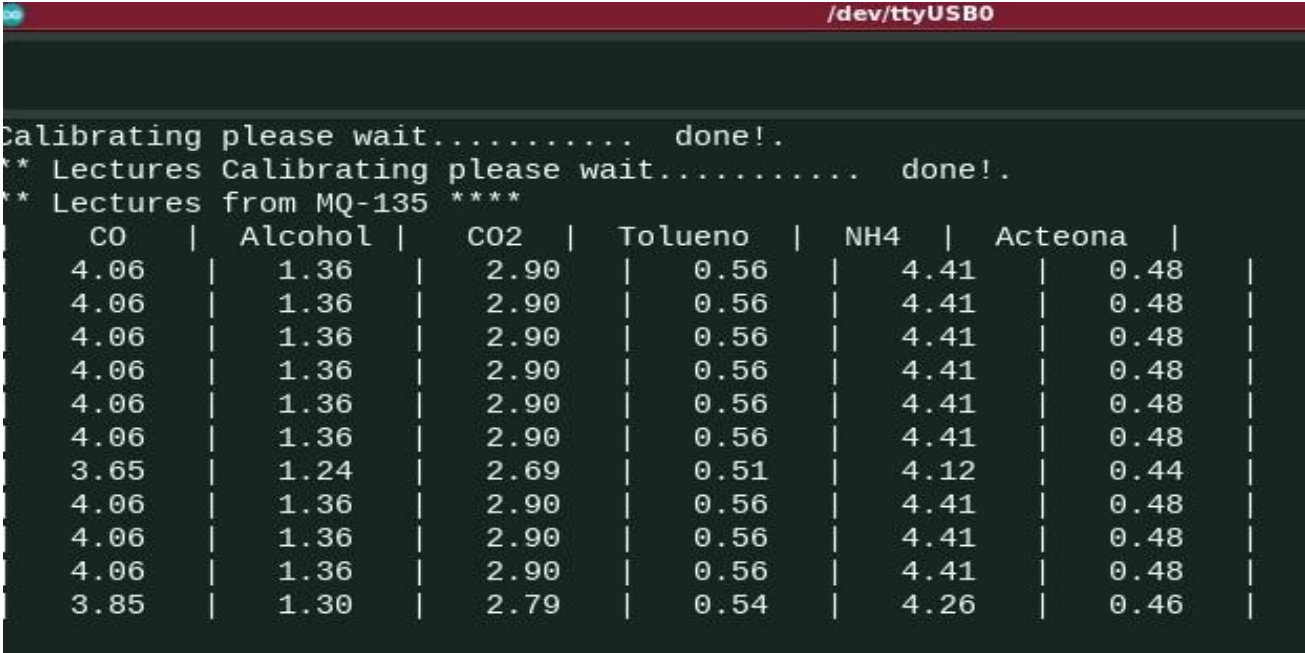


Ilustración 20 Visualización Presión Atmosférica

Fuente: Elaboración Propia (2021)

5.4.1.4 Visualización de otros gases

El dispositivo portátil para la medición de calidad del aire también evaluar diferentes gases para un mayor alcance de sus objetivos , como parte de ello se tiene un dashboard aparte de nuestro servidor web , en donde siempre remotamente se puede visualizar nuestro entorno en representación simbólica de los gases. Una interfaz sencilla pero eficaz para el propósito del proyecto.



The image shows a terminal window with a dark background and a red title bar that reads "/dev/ttyUSB0". The terminal output displays a calibration message followed by a table of gas measurements. The table has six columns: CO, Alcohol, CO2, Tolueno, NH4, and Acteona. The data is presented in a grid format with vertical bars separating the columns. The values for each gas fluctuate slightly across the rows.

```
Calibrating please wait..... done!.
** Lectures Calibrating please wait..... done!.
** Lectures from MQ-135 ****
  CO | Alcohol | CO2 | Tolueno | NH4 | Acteona |
 4.06 | 1.36 | 2.90 | 0.56 | 4.41 | 0.48 |
 4.06 | 1.36 | 2.90 | 0.56 | 4.41 | 0.48 |
 4.06 | 1.36 | 2.90 | 0.56 | 4.41 | 0.48 |
 4.06 | 1.36 | 2.90 | 0.56 | 4.41 | 0.48 |
 4.06 | 1.36 | 2.90 | 0.56 | 4.41 | 0.48 |
 4.06 | 1.36 | 2.90 | 0.56 | 4.41 | 0.48 |
 3.65 | 1.24 | 2.69 | 0.51 | 4.12 | 0.44 |
 4.06 | 1.36 | 2.90 | 0.56 | 4.41 | 0.48 |
 4.06 | 1.36 | 2.90 | 0.56 | 4.41 | 0.48 |
 4.06 | 1.36 | 2.90 | 0.56 | 4.41 | 0.48 |
 3.85 | 1.30 | 2.79 | 0.54 | 4.26 | 0.46 |
```

Ilustración 21 Visualización de diversos gases en el ambiente

Fuente: Elaboración Propia (2021)

5.4.1.3 Cámara

Para la visualización de la cámara se utiliza una cámara pi que se conecta remotamente a la pagina web, donde se encuentra alojado se crea el código Api de conexión en donde se pueda integrar a nuestra aplicación lot y así lograr que se pueda visualizar nuestra cámara web desde la nube, todo esto controlado desde el procesador principal de nuestro microordenador. En la siguiente ilustración se puede visualizar la forma en que se puede ver.

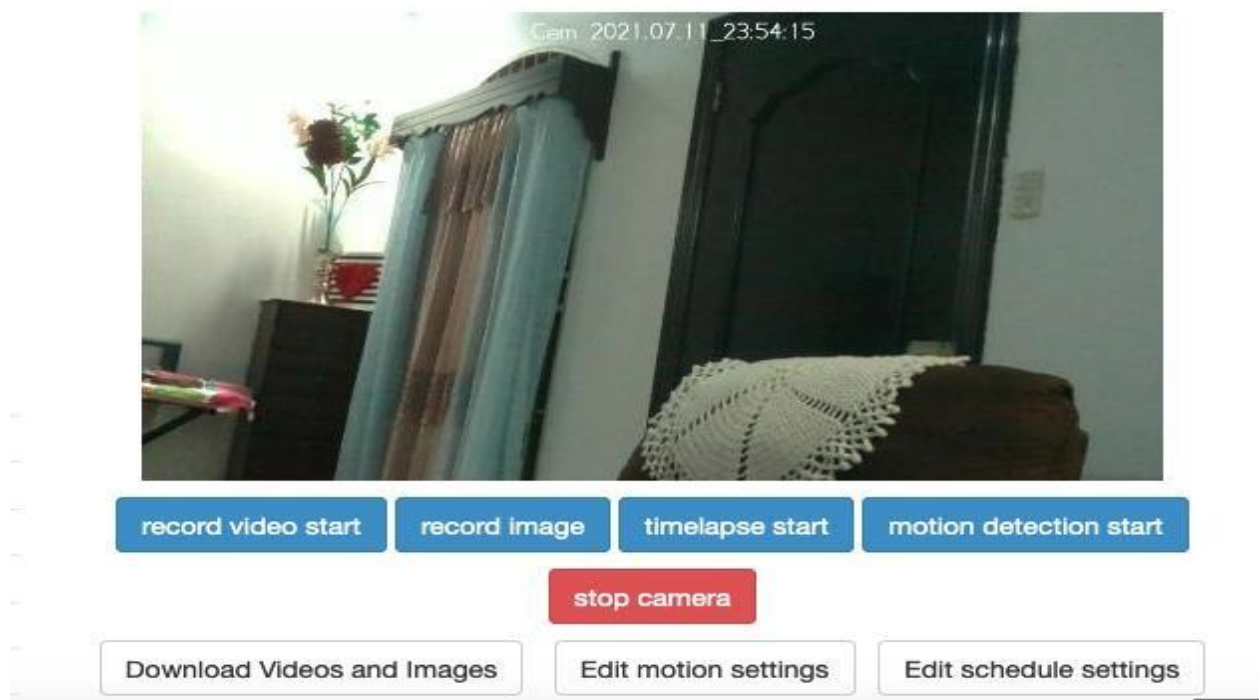


Ilustración 22 Visualización de la cámara en nuestro dispositivo portátil.

Fuente: Elaboración Propia (2021)

Como se puede apreciar previamente en la ilustración nuestra cámara tiene diferentes opciones, tales como la detección de movimiento, graba y guarda al detectar movimiento en su rango de lectura, lo que lo posiciona como una ventaja extra que se obtiene al visualizar todas las fotos y videos en su almacenamiento, cabe destacar que el servidor con el que trabaja se encuentra alojado en nuestra raspberry pi.

Como parte final de la visualización de los datos que se alojan en nuestro sensor , tenemos la implementación final de nuestra pagina web , en donde se pueden visualizar los distintos sensores que se encuentran alojados en nuestro sistema , esto ayuda a que exista una amplia asimilación de los sensores , cabe destacar que esta es una lectura en tiempo real , en donde no se han evaluado las características propias de nuestro entorno en lecturas largas de funcionamiento, sin embargo en los siguientes secciones se explicara acerca de ello.

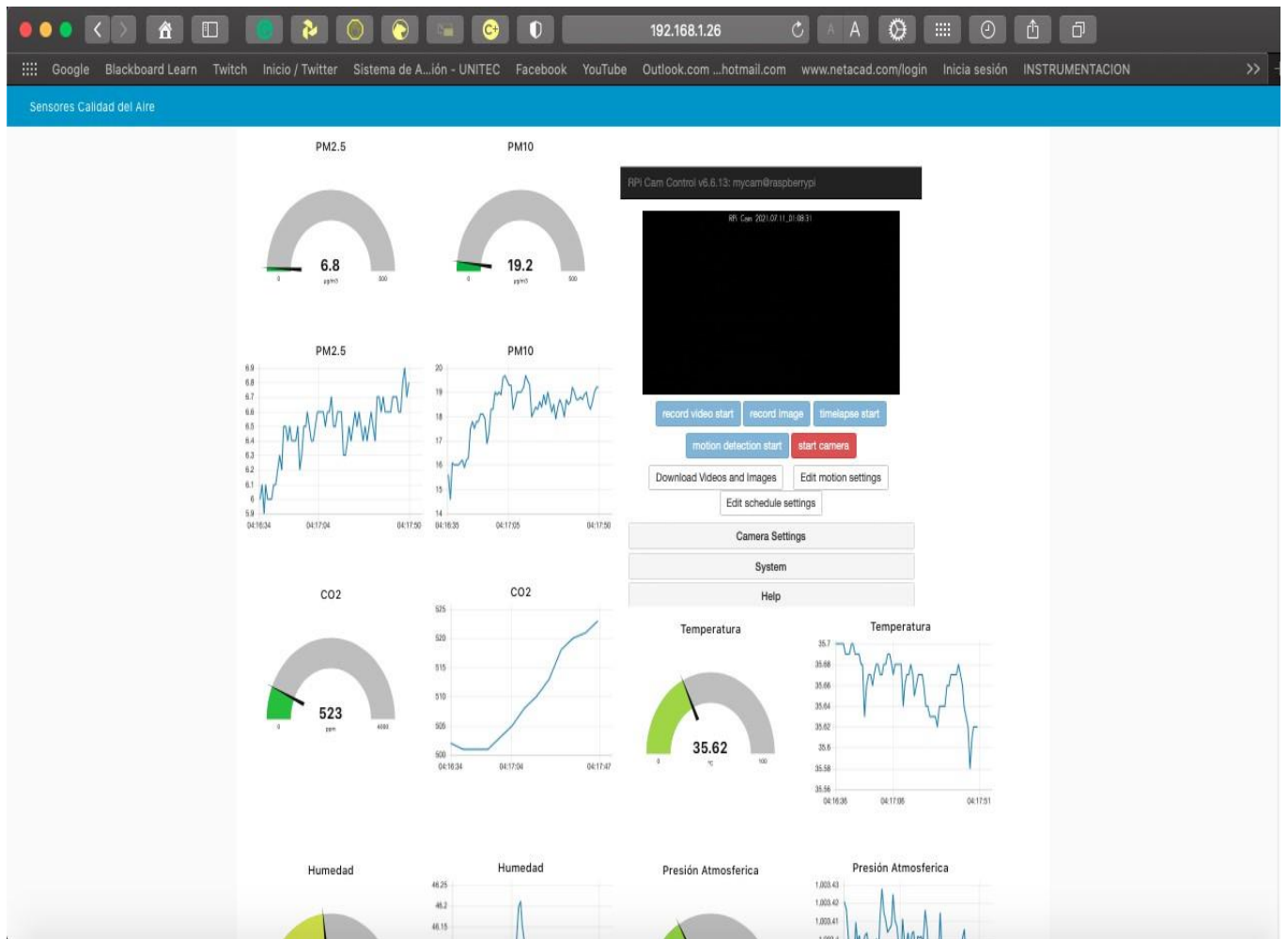


Ilustración 23 Dashboard final alojado en nuestro servidor en la nube para visualización de las lecturas de los sensores.

Fuente: Elaboración Propia (2021)

5.4.2 Funcionamiento de los sensores

Para comprobar que los sensores reaccionan a los distintas reacciones químicas que suceden en el ambiente, se pueden visualizar mediante la generación de combustión con fosforo y se puede observar el cambio de los sensores en aquellas magnitudes que se vieron afectadas por el mismo. Como se muestra en la siguiente ilustración se pueden observar el cambio de los valores de los sensores lo que consecuentemente se prueba el funcionamiento correcto de los distintos sensores.



Ilustración 24 Pruebas a las mediciones de los sensores

Fuente: Elaboración Propia (2021)

En Consecuencia, de ello, se puede observar el cambio brusco, especialmente en el material particulado, en donde se demuestra que el sensor es altamente sensible a la captación de material particulado, así como otros sensores que sufrieron un cambio repentino en sus lecturas.

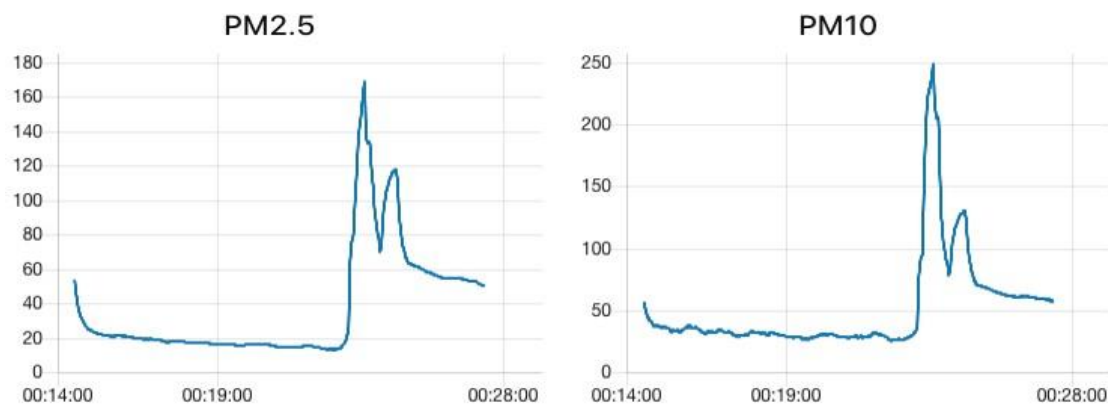


Ilustración 25 Cambios bruscos al probar los sensores particulados.

Fuente: Elaboración Propia (2021)

Como se puede observar en la anterior ilustración, el material particulado llega a niveles altos con 10 segundos de encenderse un fósforo, lo cual nos garantiza unas lecturas confiables ya sea dentro de una casa o en una oficina.

A la vez que los sensores que se van a mostrar en la siguiente ilustración conectados al Arduino Nano y el sensor Mq-135, sufren cambios repentinos en sus lecturas y es debido a la combustión que se generó en esos instantes, por lo cual se completa la parte metodológica al realizar las pruebas correspondientes de los distintos sensores.

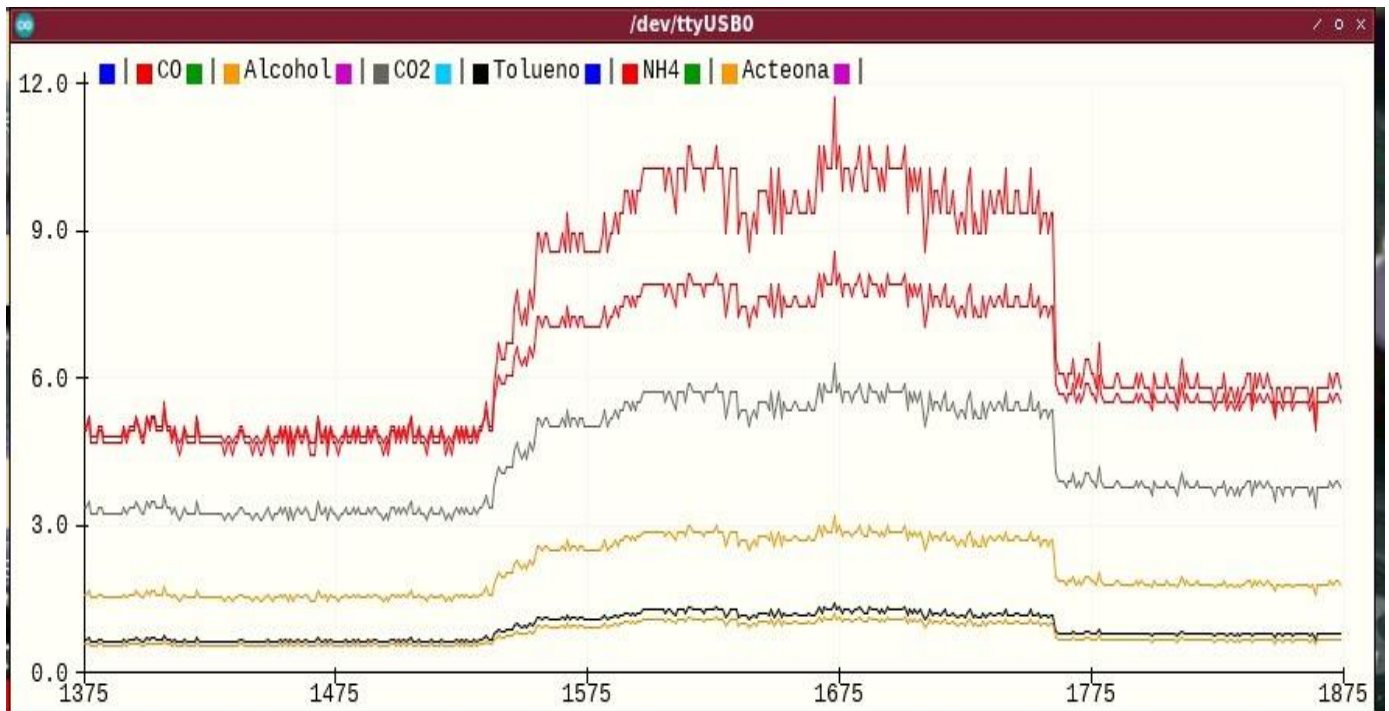


Ilustración 26 Reacción de los distintos valores de gases calidad del aire

Fuente: Elaboración Propia (2021)

Como se observa en las anteriores figuras, el cambio que ocasionó el uso de un fosforo por varios segundos nos indica que, el uso de estos sensores nos da la seguridad que el óptimo funcionamiento de estos es garantía para poder realizar mediciones correctas en el entorno en que se aplique.

5.4.2 Integración con redes sociales

Un punto importante de este proyecto es la integración no solo además del dashboard en nuestro servidor web, sino el uso de permitir consultar los valores del mismo

dispositivo portátil mediante las redes sociales. Existen diferentes mecanismos de cómo poder enviar estos valores a nuestro servidor web, sin embargo, uno de los mas comunes y que ha tomado mucho auge en la actualidad es mediante telegram. El uso de bots creados a partir de telegram para automatizar mensajes, dar notificaciones importantes acerca de los sensores mas relevantes, así como el envío de imágenes de buena definición mediante comandos de telegram en el que se comunica con nuestro servidor en la raspberry pi, hace que sea muy practico y eficaz el poder consultar los valores de los sensores de esta forma.



Ilustración 27 Comunicación con raspberry pi por medio de telegram

Fuente: Elaboración Propia (2021)

Como se puede observar en la figura anterior, por medio de comandos de humedad, temperatura y presión, el bot programado mediante NODE RED y telegram se obtienen procesos realmente grandiosos y con aplicaciones practicas de forma segura, mediante

un token que es equivalente al DNI del bot creado en telegram, se pueden visualizar los datos que registra nuestro prototipo portátil a cualquier día y hora.

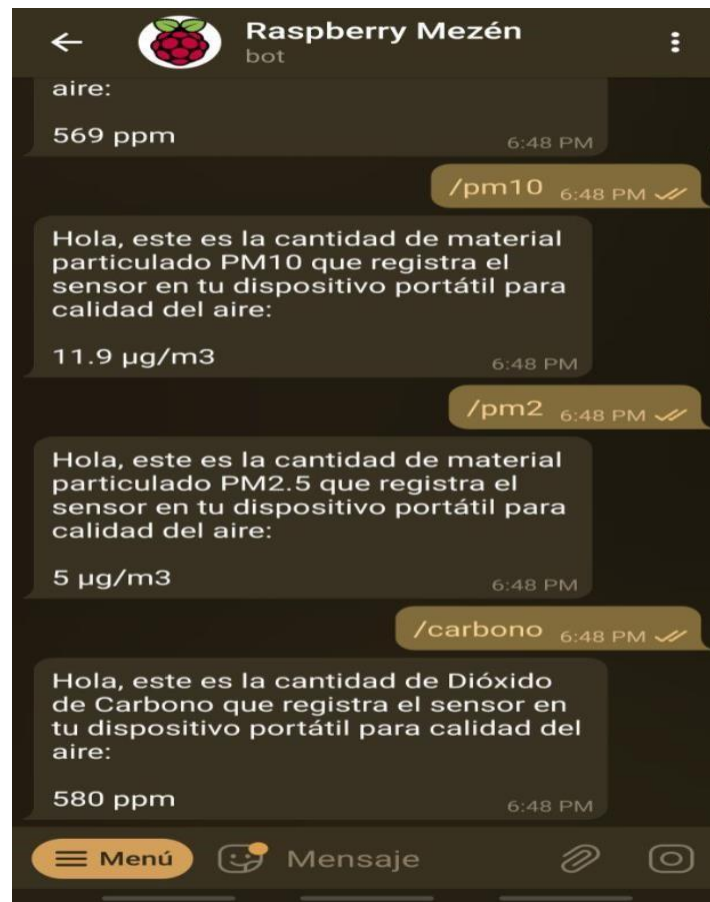


Ilustración 28 Comandos de comunicación con Telegram para material Particulado y CO2

Fuente: Elaboración Propia (2021)

Siguiendo la misma estructura anterior en este caso se solicitó el uso de comandos para material particulado, así como el Dióxido de Carbono para monitorear los niveles en los que se encuentran, desde cualquier parte del mundo podemos visualizar los valores de distintos sensores mediante una red social como lo es telegram, así como un entorno de desarrollo para prototipos complejos en nuestro entorno, gracias a esto se obtiene más versatilidad al momento de consultar sensores.

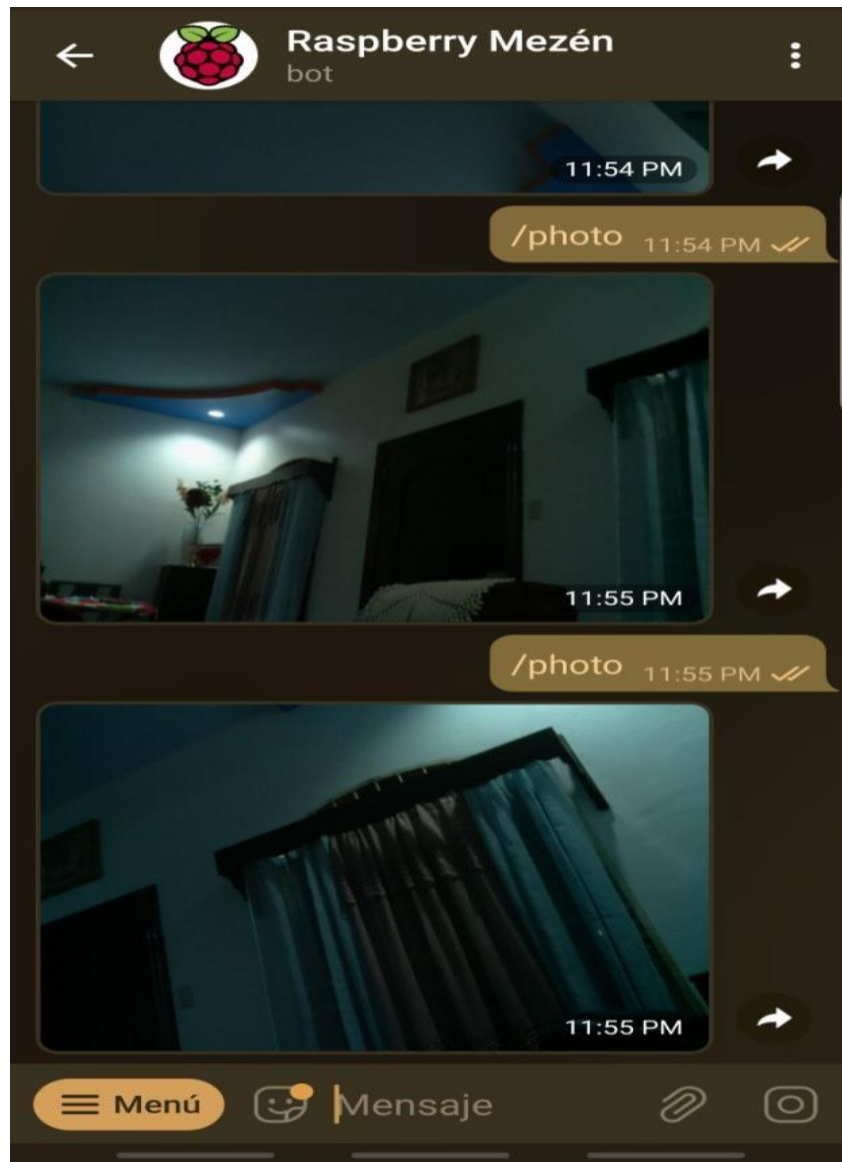


Ilustración 29 Comando para solicitar toma de captura mediante la Pi Camera

Fuente: Elaboración Propia (2021)

Con estos comandos también se puede solicitar el envío de imágenes en donde sea que este nuestro dispositivo, amplificando los usos diversos y saber exactamente el entorno con el que se trabaja. Puede ser de gran ayuda en muchas situaciones haciendo mas amena la comunicación de nosotros como persona, así como la raspberry como el procesador central de una serie de algoritmos que se ejecutan al mismo tiempo.

5.4.2.1 Cayenne como monitor del estado unidad de procesamiento central

Como una forma de visualizar el estado de nuestro procesador central, que en este caso es la raspberry pi 4, podemos monitorear igual de forma automatizada en la nube el estado actual del procesador, una forma muy practica también de saber si existe algún problema de memoria, o el consumo de RAM que se lleva a cabo con las aplicaciones a realizar como finalmente ver la temperatura a la que trabaja nuestra raspberry pi. Gracias a Cayenne que tiene una aplicación móvil se vuelve mas versátil al momento de realizar prototipos con raspberry pi.

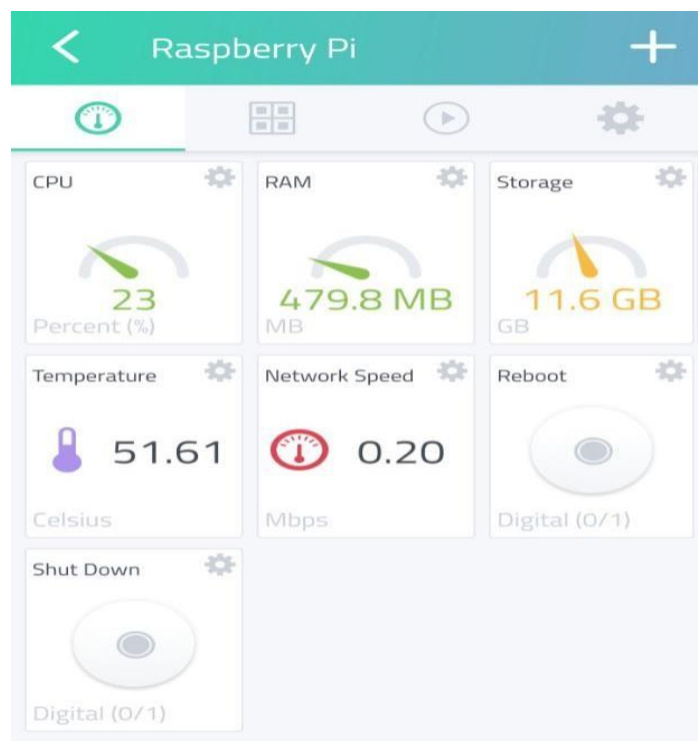


Ilustración 30 Uso de Cayenne para ver el estado central del microprocesador

Fuente: Elaboración Propia (2021)

5.5 Algoritmos de funcionamiento

Para desarrollar prototipos que sean complejos, o con muchas utilizaciones de sensores dentro de una sola red, a la vez de implementarlo mediante IoT, hace que sea un desafío considerable poder realizar. Sin embargo, IBM, creador del proyecto de código abierto Node JS, hace que la realización de estos prototipos sea mas interesante y a la vez muy didácticos, ya que el uso considerable que se le puede dar y la combinación de estos

procesos, ocasionan que existan entornos de desarrollo exclusivos para ellos, gracias a eso se puede crear sistemas altamente competitivos y que se aleja de la forma normal en que se escriben estos algoritmos.

Para los fines de este proyectos se realizaron diversos diagramas de flujo que es en lo que el entorno de desarrollo proporciona al realizar el proyecto propuesto.

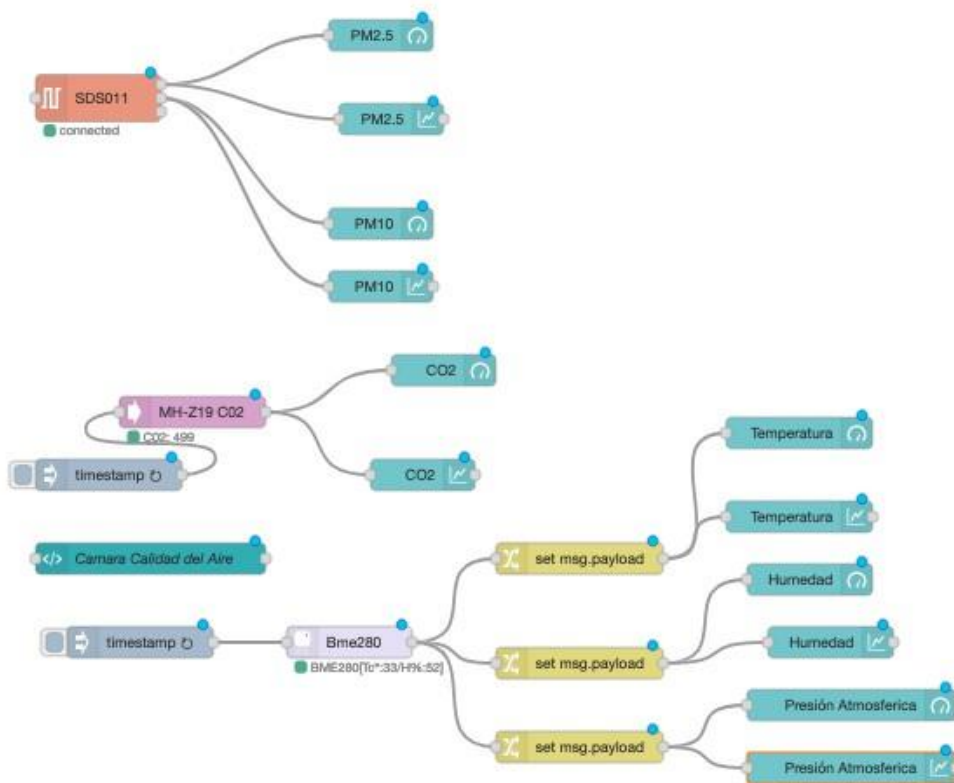


Ilustración 31 Programación de los sensores mediante flujos de Node JS

Fuente: Elaboración Propia (2021)

Previamente en el flujo de programación se realizó la configuración a cada uno de los sensores, excepto MQ-135, a la vez se puede observar la conexión entre los gauges y los charts para la visualización de los datos, La comunidad de Node red, así como la documentación crecen cada día, haciendo el alcance aun mas grande a cada uno de los sensores disponibles en el mercado y con el cual se pueden realizar proyectos lot acerca de ello.



Ilustración 32 Nodo de ejecución de cámara pi en procesador central

Fuente: Elaboración Propia (2021)

La cámara esta alojada en nuestro servidor web de la raspberry pi, sin embargo, para poder acceder a ella es necesario cada una de las credenciales, así como la API de funcionamiento instalado en nuestro servidor, por ello, el flujo se hace consigo en base a un output HTML, en donde al tener el archivo creado y alojarlo en un archivo HTML, se pueda observar en todo momento la cámara pi desde cualquier ángulo.

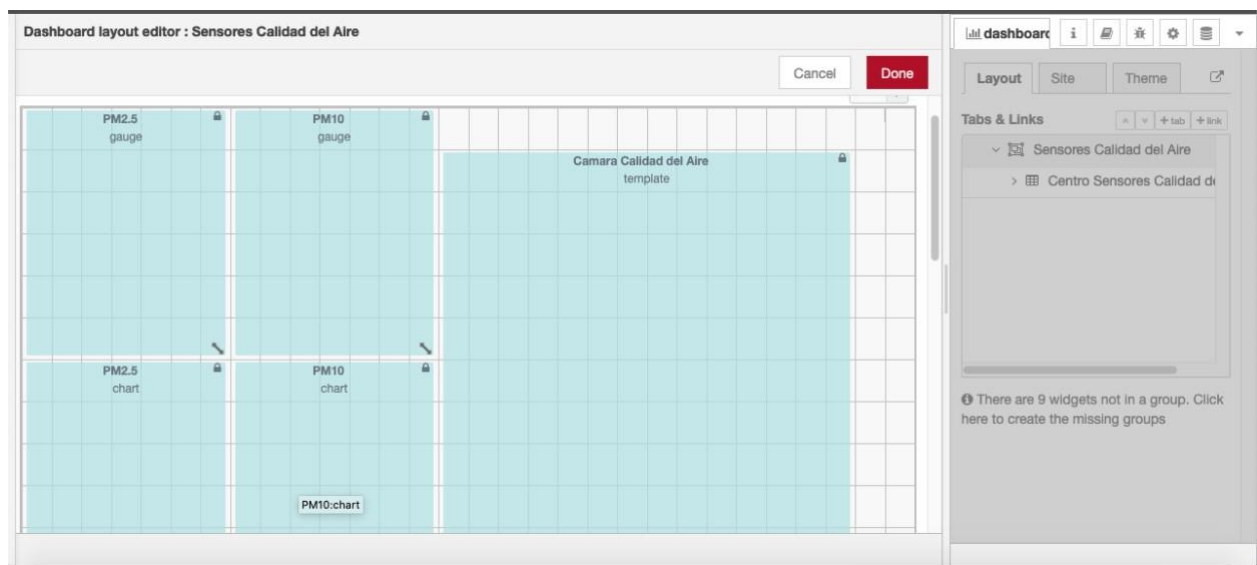


Ilustración 33 Layout para el diseño del dashboard

Fuente: Elaboración Propia (2021)

Como se puede observar en la figura, el archivo HTML es representado en gran parte por una medida especifica dado por el programa, siendo así que es decisión del autor el tamaño que se requiera poner en el dashboard es de suma importancia poder llevar un equilibrio entre cada uno de los gauges y charts para la realización de este proyecto.

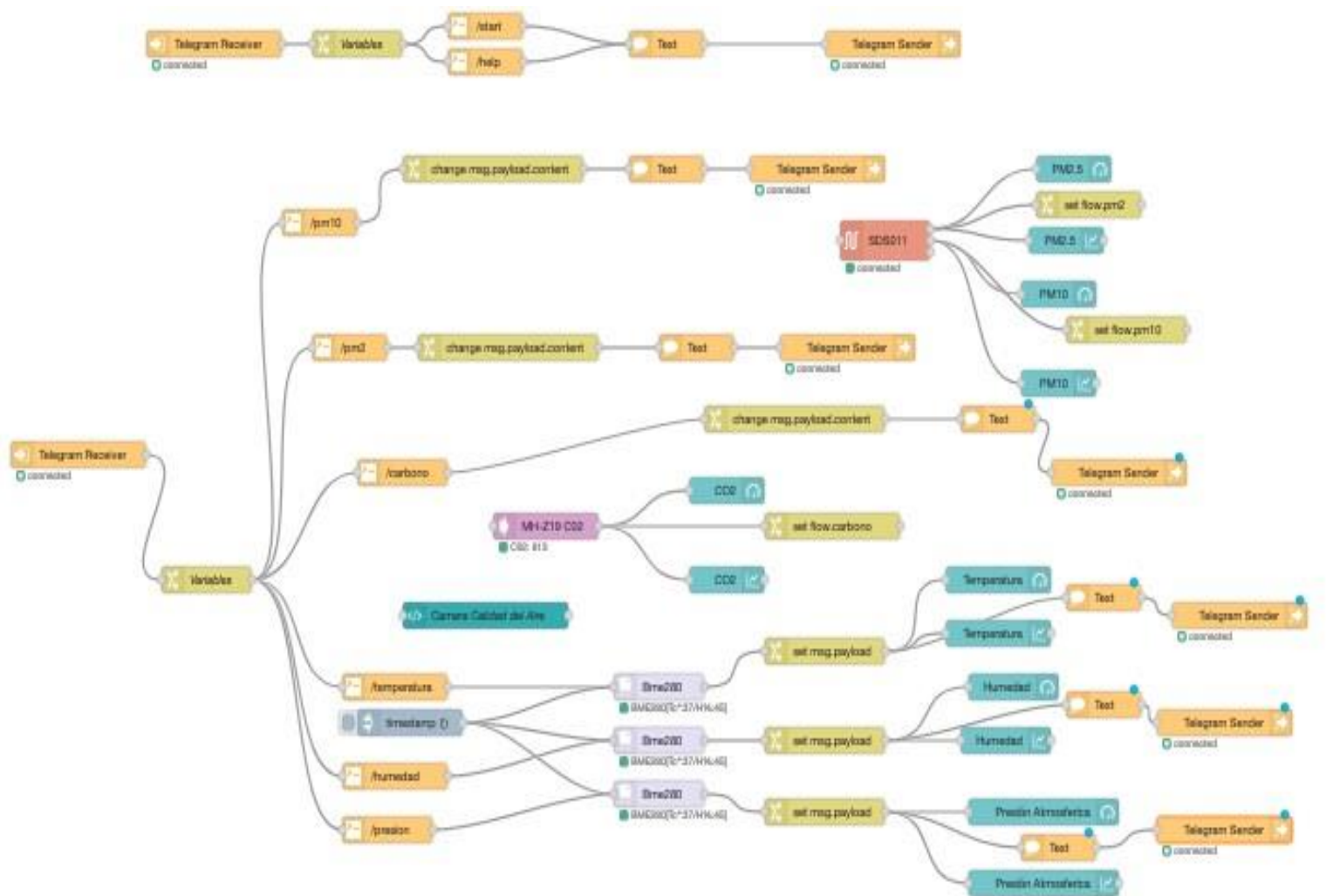
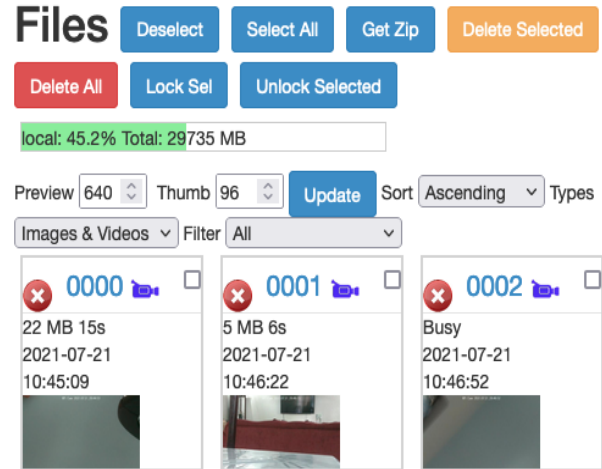
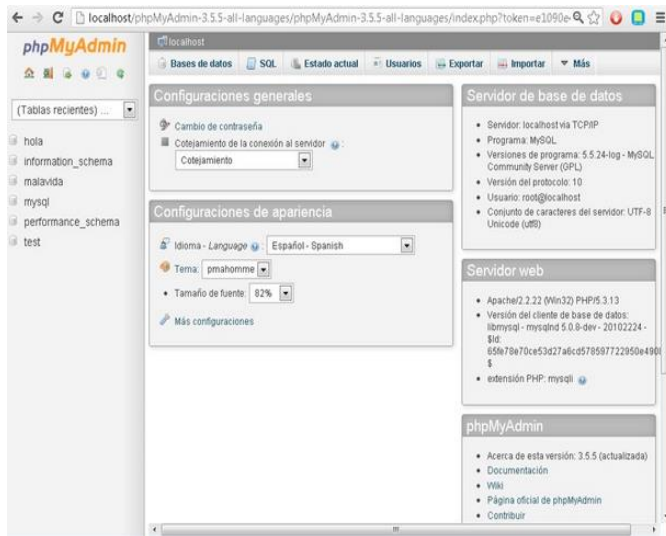


Ilustración 34 Flujo de programación completo con integración de telegram y pagina web

Fuente: Elaboración Propia (2021)

Cabe destacar que la cámara pi este programa también para detección de movimiento, llevando esto a la ventaja de poder guardar las imágenes y videos de aquellos objetos que emiten movimiento y a la vez puedan emitir concentraciones de partículas ya sea de cualquier tipo, por ello este prototipo presenta las mejores condiciones con lo que a otros medidores de calidad del aire existen.



Administración Base de Datos con almacenamiento de datos

Fuente : Elaboración Propia (2021)

5.6 Prototipo Final

Para el prototipo final se implemento todo lo que se propuso en la metodología de investigación, gracias a ello se pudo obtener un prototipo funcional con diversas características que valen la pena resaltar, con los sensores mejor preparado y con las herramientas necesarias para poder llevar a cabo este proyecto.



Ilustración 35 Prototipo final

Fuente: Elaboración Propia (2021)

Como se observa en la figura, se obtuvo un prototipo funcional que nos ayuda a comprender mejor el sistema ambiental del aire con diversas tecnologías llamativas que se realizan hoy en día.

VI. CONCLUSIONES

- 1.) Se implemento el uso de distintos sensores para medir y controlar la calidad del aire mediante los sensores de captación infrarroja SDS011, MH-Z19 y BMP20 y de la familia MQ mediante el entorno de programación de Node Red con el cual se une todo el sistema de sensores dentro del prototipo portátil a la vez que guarda cada uno de los datos para su análisis posterior y mediante un algoritmo de funcionamiento poder consultar sus valores mediante comandos de texto con la red social Telegram.

- 2.) Se creo y se implementó una base de datos con su servidor web alojado en la raspberry pi para el análisis de captación del aire, en valores de ppm y ug/m3 respectivamente, así como una cámara dentro del mismo servidor que nos ayuda a entender mejor el entorno del ambiente captando movimiento y guardándolo dentro del procesador central.

- 2.) Se desarrolló una interfaz amigable por medio del entorno integrado Node Red para su uso en la nube, así como la integración de la Red Social Telegram y la base de datos alojados dentro de nuestro servidor, logrando resultados deseados en la consulta de los valores importantes en cualquier lugar del mundo.

VI. RECOMENDACIONES

Como parte de un sistema integrado con muchos sensores con el cual se fue desarrollando el prototipo , se tienen como recomendaciones las siguientes :

1.) Para un prototipo portátil de lot se recomienda tener una buena ventilación con el sistema total , ya que en elevadas temperaturas y la generación de calor que sucede tanto afuera como adentro del dispositivo ocasionan elevadas temperaturas que pueden traer consecuencias a los mismos.

2.) Utilizar sensores de menor tamaño para así poder medir mas gases que nos sirvan de referencia , ya sea para un uso personal en nuestra comunidad o para propósito de trabajo.

3.) Aumentar la capacidad de servidores si la escala de sensores a utilizar para guardar los datos son mas grandes que los actuales.

4.) Siguiendo otra línea de investigación , la integración de la IA a partir de un medio móvil robótico puede llegar a proporcionar muchas ventajas en el ámbito de la contaminación del aire , con los mecanismos correctos y con una camara de visión adecuado se pueden analizar las diferentes situaciones con la creación de una red neuronal.

Bibliografía

- Balasubramaniyan, C., & Manivannan, D. (2016). IoT Enabled Air Quality Monitoring System (AQMS) using Raspberry Pi. *Indian Journal of Science and Technology*, 9(39).
<https://doi.org/10.17485/ijst/2016/v9i39/90414>
- Banerjee, I., Naskar, R., Deb, K., Saha, D., Bhattacharjee, S., & Roy, D. K. (2019). Advanced Air Quality Monitoring System Using Raspberry Pi. *2019 International Conference on Opto-Electronics and Applied Optics (Optronix)*, 1–4.
<https://doi.org/10.1109/OPTRONIX.2019.8862428>
- BST-BMP280-DS001-11.pdf*. (n.d.). Retrieved July 9, 2021, from
<https://cdnshop.adafruit.com/datasheets/BST-BMP280-DS001-11.pdf>
- Comparando los Raspberry Pi | Mecatrónica Uno*. (n.d.). Retrieved May 31, 2021, from
<https://mecatronicauno.com/comparando-los-raspberry-pi/>
- Conoce cómo se mide la calidad del aire en las ciudades*. (2017, December 3). abc.
https://www.abc.es/motor/reportajes/abci-conoce-como-mide-calidad-aire-ciudades-201712032122_noticia.html
- Djebri, N., & Rouainia, M. (2017). Artificial neural networks based air pollution monitoring in industrial sites. *2017 International Conference on Engineering and Technology (ICET)*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/ICEngTechnol.2017.8308151>
- EPA-poster-Spanish-2008-2.pdf*. (n.d.).
- IOT based Indoor Air Pollution Monitoring using Raspberry Pi. (2017). *International Journal of Innovations in Engineering and Technology*, 9(2). <https://doi.org/10.21172/ijiet.92.03>

- Ivanova, D., & Elenkov, A. (2019). Intelligent System for Air Quality Monitoring Assessment using the Raspberry Pi Platform. *2019 International Conference on Information Technologies (InfoTech)*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/InfoTech.2019.8860883>
- Kiruthika, R., & Umamakeswari, A. (2017). Low cost pollution control and air quality monitoring system using Raspberry Pi for Internet of Things. *2017 International Conference on Energy, Communication, Data Analytics and Soft Computing (ICECDS)*, 2319–2326. <https://doi.org/10.1109/ICECDS.2017.8389867>
- Laser PM2.5 Sensor specification*. (n.d.). 13.
- Luukkaa, J., Visala, A., Harmo, P., & Salkinoja-Salonen, M. (2019). Internet of Things for Indoor Air Quality Measurements. *2019 IEEE 17th International Conference on Industrial Informatics (INDIN)*, 1596–1600. <https://doi.org/10.1109/INDIN41052.2019.8972276>
- MiAmbiente*. (n.d.). Retrieved May 9, 2021, from <http://www.miambiente.gob.hn/blog/view/importante-conferencia-virtual-sobre-lacalidad-del-aire-en-tiempos-del-covid-19-realizo-miambiente>
- Parmar, G., Lakhani, S., & Chattopadhyay, M. K. (2017). An IoT based low cost air pollution monitoring system. *2017 International Conference on Recent Innovations in Signal Processing and Embedded Systems (RISE)*, 524–528. <https://doi.org/10.1109/RISE.2017.8378212>
- Salud, M. (2016, June 27). Dióxido de nitrógeno y Salud |. *Página de Salud Pública del Ayuntamiento de Madrid*. <https://madridsalud.es/dioxido-de-nitrogeno-y-salud/>
- Sharma, A., Mishra, B., Sutaria, R., & Zele, R. (2019). Design and Development of Low-cost Wireless Sensor Device for Air Quality Networks. *TENCON 2019 - 2019 IEEE Region 10*

- Conference (TENCON)*, 2345–2350. <https://doi.org/10.1109/TENCON.2019.8929304>
- Sruthi Ms, & M Newlin Rajkumar. (2017). *IOT Based Smart System for Controlling Co 2 Emission*.
<https://doi.org/10.13140/RG.2.2.26703.33444>
- Tagle, M., Rojas, F., Reyes, F., Vásquez, Y., Hallgren, F., Lindén, J., Kolev, D., Watne, Å. K., & Oyola, P. (2020). Field performance of a low-cost sensor in the monitoring of particulate matter in Santiago, Chile. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192(3), 171.
<https://doi.org/10.1007/s10661-020-8118-4>
- Towakel, P., Guness, S. P., Seeam, A., Bekaroo, G., & Bellekens, X. A. (2018). Air Quality Monitoring in Mauritius. *2018 International Conference on Intelligent and Innovative Computing Applications (ICONIC)*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/ICONIC.2018.8601245>
- Wang, L. K., Pereira, N. C., & Hung, Y.-T. (Eds.). (2004). *Air Pollution Control Engineering*. Humana Press. <https://doi.org/10.1007/978-1-59259-778-9>
- WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_spa.pdf*. (n.d.).
- Yadav, V., & Nath, S. (n.d.). *PREDICTION OF AIR QUALITY USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORK TECHNIQUES: A REVIEW*. 4.
- Zakaria, N. A., Zainal, Z., Harum, N., Chen, L., Saleh, N., & Azni, F. (2018). Wireless Internet of Things-Based Air Quality Device for Smart Pollution Monitoring. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 9(11).
<https://doi.org/10.14569/IJACSA.2018.091110>
- Zhang, H., Srinivasan, R., & Ganesan, V. (2021). Low Cost, Multi-Pollutant Sensing System Using Raspberry Pi for Indoor Air Quality Monitoring. *Sustainability*, 13(1), 370.
<https://doi.org/10.3390/su13010370>