



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA**

**INFORME PROYECTO GRADUACIÓN**

**DISEÑO DE UNA RED DE SENSORES INALÁMBRICOS ESTÁTICOS Y MÓVILES PARA  
MONITOREO DEL CALIDAD DE AIRE Y CONDICIONES AMBIENTALES EN CEUTEC**

**PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO**

**INGENIERO EN ELECTRÓNICA EN EL GRADO DE LICENCIATURA**

**PRESENTADO POR:**

**RODNEY STHEVEN GODOY SÁNCHEZ 11341071**

**ASESOR: ING. KARIO VILAFRANCA**

**CAMPUS TEGUCIGALPA;**

**OCTUBRE, 2021**

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a Dios por guiarme a través de los años, dándome sabiduría y paciencia al momento de cursar cada una de mis clases y principalmente por este gran logro en mi vida, el cual culminó con salud y energía para afrontar el nuevo reto que se aproxima.

A mis padres por la oportunidad de superación que me brindaron, por su apoyo en todo momento, aconsejándome para tomar las mejores decisiones que trajeron beneficios a mi vida como estudiante y persona.

A mi tía por apoyarme con diferentes muestras de cariño, dándome la oportunidad de reanudar mis estudios y culminarlos de manera satisfactoria. A mi abuela que fue parte fundamental en mi formación educativa, dando apoyo, cariño y ánimo para que lograra la mejor formación educativa.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a mis hermanos por sus palabras para que continúe mis estudios con la mejor determinación, a motivarme a superar cada uno de los obstáculos que se presentaron a lo largo del camino. Agradezco a mis amigos que me dieron apoyo y palabras de aliento para que mantuviera fija mi meta de ser ingeniero.

Agradezco a mi tío que jugó un papel importante dándome ayuda académica, consejos para crecer como persona y estudiante, además de las muestras infinitas de cariño.

A mis compañeros de clase con los cuales formé grandes vínculos de amistad, brindándonos apoyo en clases o en cualquier problema que se nos presentara. A los docentes que dieron su mejor empeño para transmitirnos todo su conocimiento, por su trato amable, cordial al momento que tener dudas en sus clases.

## **RESUMEN**

En los últimos años el análisis de calidad del aire y condiciones ambientales en espacios interiores es un tema que ha tomado mucha relevancia por el motivo que las personas pasan la mayor parte de su vida en ambientes cerrados como edificios, aulas, residencias. Tomando en cuenta esta información, se tomó la decisión de desarrollar un sistema de sensores inalámbricos que permiten medir las diferentes variables químicas que alteran la calidad del aire y condiciones ambientales. Se tomo en cuenta las variables más comunes que tienen impacto en la calidad del aire, seleccionando el dióxido de carbono, monóxido de carbono, óxido nitroso, luminosidad, temperatura, humedad y presión. En función de estas variables se diseñó cuatro plataformas de multisensado, dos de ellas son estáticas y las siguientes dos son móviles con el fin de optimizar los recursos y que se cubra el área total que se desea obtener un sensado. El sistema de sensores nos permitirá el monitoreo en varios puntos del área donde ubicaremos las cuatro plataformas, estas tendrán protocolos de comunicación de Internet de las Cosas (IoT). Para verificar el correcto funcionamiento del sistema se debe realizar en un entorno cerrado de tipo residencial, cuyos resultados una vez obtenidos, se analizan y procesan en la interfaz humano máquina.

El sistema de red de sensores inalámbricos una vez su funcionamiento es el correcto, se puede implementar en espacios interiores, como residencias o aulas, tomando en cuenta que el sistema es de bajo costo e instalación.

## **PALABRAS CLAVES**

Calidad del aire	VARIABLES QUÍMICAS	Plataformas multisensado
IoT	Monitoreo	Interfaz humano máquina

## **GLOSARIO**

**Calidad del aire:** Como la concentración de contaminante que llega a un receptor, más o menos lejano de la fuente de emisión, una vez transportado y difundido por la atmósfera.

**IoT:** La agrupación e interconexión de dispositivos y objetos a través de una red (bien sea privada o Internet, la red de redes), dónde todos ellos podrían ser visibles e interactuar. Respecto al tipo de objetos o dispositivos podrían ser cualquiera, desde sensores y dispositivos mecánicos hasta objetos cotidianos como pueden ser el frigorífico, el calzado o la ropa

**Variables químicas:** Es todo aquello que puede asumir diferentes valores en una investigación, desde el punto de vista cualitativo y cuantitativo. En cada procedimiento experimental se presentan variables que se quieren medir, controlar y estudiar.

**Monitoreo:** Es el proceso sistemático de recolectar, analizar y utilizar información para hacer seguimiento al progreso de un programa en la consecución de sus objetivos, y para guiar las decisiones de gestión

**Plataforma multisensado:** Consiste en una plataforma que posee los diferentes sensores químicos que captaran las anomalías en un área específica de trabajo.

**Interfaz humano maquina:** Es la interfaz entre la máquina procesadora y el operario. En esencia, es el panel de control del operario. Es la herramienta principal que los operarios y los supervisores de línea utilizan para coordinar y controlar procesos y máquinas industriales y de fabricación. Los HMI traducen complejas variables de proceso en información utilizable y procesable.

## **ABSTRACT**

In recent years, the analysis of air quality and environmental conditions in indoor spaces is an issue that has become very relevant since people spend most of their lives in closed environments such as buildings, classrooms and residences. Taking this information into account, the decision was made to develop a wireless sensor system that allows measuring the different chemical variables that alter air quality and environmental conditions. The most common variables that have an impact on air quality were considered, selecting carbon dioxide, carbon monoxide, nitrous oxide, luminosity, temperature, humidity and pressure. Based on these variables, four multi-sensed platforms were designed, two of them are static and the next two are mobile in order to optimize resources and to cover the total area to be sensed. The sensor system will allow us to monitor at various points in the area where we will locate the four platforms, these will include Internet of Things (IoT) communication protocols. To verify the correct operation of the system, it must be carried out in a closed residential environment, the results of which, once obtained, are analyzed and processed in the human machine interface.

Once the wireless sensor network system is working correctly, it can be implemented in interior spaces, such as residences or classrooms, considering that the system is low cost and installation.

# Índice

I.	Introducción.....	1
II.	Planteamiento del problema.....	2
2.1.	Antecedentes .....	2
2.2.	Definición del problema .....	6
2.3.	Preguntas de investigación .....	7
2.4.	Hipótesis de investigación .....	8
	Operacionalización de las variables.....	9
2.5.	Justificación .....	10
2.6.	Alcance .....	11
III.	Objetivos.....	12
3.1.	Objetivo general .....	12
3.2.	Objetivos específicos .....	12
IV.	Marco teórico .....	13
4.1.	Principales contaminantes del Aire en espacios interiores .....	13
4.2.	Principales afecciones producidas por la mala calidad de aire en espacios interiores	16
4.3.	Sistemas de calidad de aire .....	18
4.3.1.	Prototipo de sensado de calidad del aire.....	19
	Waspote.....	19
4.3.2.	Prototipo de sistemas de redes de sensado de calidad del aire .....	20
4.3.3.	Raspberry Pi3 .....	21
4.3.4.	Prototipo de sistemas robóticos para el sensado de la calidad del aire.....	22
4.4.	Disposición de sensores para poder medir.....	23

4.4.1.	Ubicación.....	23
4.4.2.	Orientación.....	23
4.4.3.	Materiales de construcción .....	24
4.4.4.	Recomendaciones del fabricante.....	24
4.5.	Sistemas de calidad del aire que se están utilizando en la actualidad .....	24
4.6.	Diseño de la plataforma multisensado de calidad del aire y condiciones ambientales 28	
4.7.	Descripción de la plataforma multisensado .....	29
4.8.	Análisis de los sensores químicos .....	29
	Sensor de calidad del aire .....	29
4.8.1.	Sensor de dióxido de carbono .....	31
4.8.2.	Elección de sensor .....	33
4.8.3.	Sensor de monóxido de carbono .....	35
4.8.4.	Elección de sensor .....	36
4.9.	Sensores de condiciones ambientales.....	37
4.9.1.	Sensor de Humedad y temperatura.....	37
4.9.2.	Elección de sensor .....	38
4.9.3.	Sensor de Luminosidad .....	39
4.9.4.	Elección de sensor .....	40
4.9.5.	Sensor de presión barométrica .....	41
4.9.6.	Elección de sensor .....	42
4.10.	Sistema de Ventilación.....	43
4.11.	Sistema de comunicación.....	44
4.11.1.	Redes inalámbricas (WSN) .....	44
4.11.2.	Arquitectura de la red sensores.....	46

4.11.3.	Protocolo MQTT.....	46
4.11.4.	Topología MQTT.....	47
4.11.5.	Proceso KeepAlive.....	48
4.12.	Sistema de control.....	50
4.12.1.	Tarjeta ESP32 .....	51
4.13.	Sistema de alimentación.....	54
4.13.1.	Rango de trabajo del sistema de multisensado .....	55
4.14.	Análisis de costos de implementación .....	57
4.15.	Análisis de ubicación de una plataforma multisensado .....	58
V.	Metodología.....	59
5.1.	Enfoque y métodos.....	59
	Características de la investigación cuantitativa .....	59
5.2.	Muestra .....	60
5.3.	Técnicas e instrumentos aplicados .....	62
	Técnicas.....	62
	Encuestas.....	62
	Entrevistas .....	62
5.4.	Materiales .....	63
5.5.	Fuentes de información .....	63
	Internet .....	63
5.6.	Cronología de trabajo .....	64
VI.	Resultados.....	66
6.1.	Resultados técnicos .....	66
6.1.1.	Cálculo de tensión, corriente y potencia.....	66

6.1.2.	Cálculo de corriente del sistema .....	67
6.1.3.	Cálculo de corriente del sistema de ventilación.....	68
6.1.4.	Tiempo de operación del sistema multisensado.....	68
6.2.	Resultados demográficos .....	69
6.2.1.	Análisis de encuesta .....	69
6.3.	Resultado de diseño.....	75
VII.	Conclusiones .....	76
VIII.	Recomendaciones .....	77
IX.	Bibliografía .....	78
X.	Anexos.....	81
	Tabla de especificaciones técnicas de sensores .....	83

### **Índice de ilustraciones**

Ilustración 1,	Waspnote.....	19
Ilustración 2,	Raspberry .....	22
Ilustración 3,	Airscope .....	22
Ilustración 4,	AMA GC 5000 BTX .....	27
Ilustración 5,	ZAG 300 .....	28
Ilustración 6,	Sensores de calidad del aire .....	31
Ilustración 7,	Sensor de dióxido de carbono .....	33
Ilustración 8,	Sensor infrarrojo analógico de Gravity para dióxido de carbono .....	34
Ilustración 9,	Sensor de monóxido de carbono.....	35
Ilustración 10,	Sensor MQ-7 para monóxido de carbono .....	36

Ilustración 11, Sensor de Humedad y Temperatura Si7021 .....	39
Ilustración 12, Sensor de Lux VELM7700 .....	41
Ilustración 13, Sensor de presión barométrica MPL115A2 .....	43
Ilustración 14, Fases de medición del Oxido Metálico .....	44
Ilustración 15, Red inalámbrica WSN .....	45
Ilustración 16, Protocolo MQTT .....	47
Ilustración 17, Topología MQTT .....	48
Ilustración 18, Tarjeta ESP32.....	53
Ilustración 19, Batería Lipo de 12V.....	55
Ilustración 20, Precisión de muestra .....	61
Ilustración 21, Cronología de trabajo.....	64
Ilustración 22, Cronología Diagrama de Gantt.....	65
Ilustración 23, esquemático sin conexiones .....	75
Ilustración 24, Esquemático con conexiones .....	75

## **Índice de tablas**

Tabla 1, Operacionalización de variables .....	9
Tabla 2, Clasificación de contaminantes del aire interior .....	15
Tabla 3, Factores que se incluirán en la guía de calidad de aire interior .....	15
Tabla 4, Estimación de enfermedades respiratorias.....	16
Tabla 5, Especificaciones técnicas de la tarjeta ESP32 .....	50
Tabla 6, Ubicación de pines en la tarjeta ESP32.....	54
Tabla 7, Calculo de tensión, corriente y potencia.....	66

## **I. Introducción**

Aproximadamente el 80% de las actividades diarias se realizan en espacios interiores (escuelas, oficinas, hogares, fábricas, etc.), es por ello por lo que la calidad del aire que respira en ocasiones no es la más adecuada, así como las diferentes condiciones ambientales interiores, como la temperatura, la iluminación y la humedad dentro de estos lugares pueden afectar de alguna manera directa a la salud y comodidad de quienes los habitan.

Para poder determinar las condiciones ambientales interiores en estos lugares es importante conocer las fuentes de origen de los componentes que afectan la calidad de aire, además del impacto a corto y largo plazo que tienen en el bienestar de sus habitantes dependiendo del tiempo de exposición a estos. Actualmente han diseñado un amplia variedad de sensores económicos que permiten medir estas condiciones, mismos que se incorporan en diferentes sistemas fijos y móviles, e incluso dentro de nuevas tecnologías como Internet de las cosas (IoT). Estos sistemas dependiendo de las aplicaciones se implementan en conjunto con sistemas robóticos para su uso en la medicina, la industria y el hogar.

En este capítulo se realizará una revisión de los principales contaminantes en espacios interiores, sus afecciones y los sistemas de sensado para su monitorización, que servirán como punto de partida para el desarrollo de los capítulos posteriores.

## **II. Planteamiento del problema**

### **2.1. Antecedentes**

#### **Antecedentes históricos en Honduras sobre control de calidad de aire y condiciones ambientales**

La República de Honduras, ubicada en América Central, contaba en 2008 con una población cercana a los 8 millones de habitantes, de la cual se estima que el 45% vivía en zonas urbanas, concentrada principalmente en los Distritos Centrales de Tegucigalpa (capital del país) y San Pedro Sula, principal centro de la actividad económica de Honduras. Este último distrito cuenta con una importante base de industria ligera y de producción comercial de café, plátano, carne, tabaco y productos forestales. En el 2006, Honduras escaló 13 posiciones en el Informe de Competitividad Global publicado por el Foro Económico Mundial (FEM) con sede en Ginebra, Suiza. En el 2007, su crecimiento económico se expandió un 6%, por lo que el PIB per cápita acumuló un crecimiento del 12% con respecto al periodo 2003-2008. Uno de los primeros esfuerzos que se realizaron en este país centroamericano para mejorar la calidad del aire fue en 1993, año en el que financiado por la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE) y ejecutado por la Fundación Suiza de Cooperación para el Desarrollo Técnico (Swisscontact), se llevó a cabo el “Programa Aire Puro en Centroamérica”. Este programa que incluyó también a Guatemala, Costa Rica, Nicaragua, El Salvador y Panamá, permitió apoyar acciones para el establecimiento de un marco legal para regular las emisiones de vehículos automotores, la calidad de los combustibles y la implantación de un programa de inspección técnica vehicular entre otros temas. (Unidas, 2005)

Contaminación (CESCCO) asumió la vigilancia de la calidad del aire en las principales ciudades del país. Instaló 4 estaciones de monitoreo automático (3 en Tegucigalpa y una en San Pedro Sula), mismas que quedaron fuera de operación por falta de mantenimiento y personal capacitado. Asimismo, no se contaba con normas de calidad del aire que permitieran establecer límites para la protección a la salud de la población de los impactos nocivos de los contaminantes atmosféricos, principalmente partículas suspendidas totales (PST) y partículas menores a 10 micrómetros (PM10), cuyas concentraciones

excedían en más de 9 y 4 veces, respectivamente, los límites promedio anuales establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS). En 2004, el Departamento de Estadísticas de la Secretaría de Salud reporto más de un millón de casos de atención médica por enfermedades respiratorias. El 27% de éstos se registraron en Tegucigalpa y la mayor parte corresponde a la atención de niños menores de 5 años. En 2007, el Banco Mundial estimó que más de 500 muertes prematuras al año podrían ser atribuibles a la contaminación del aire urbano en Honduras. La población afectada está integrada por personas mayores, cuya vida es acortada por la exposición a los niveles actuales de contaminación atmosférica. Los costos asociados con la contaminación del aire en interiores ascienden alrededor de 1,117 millones de lempiras anuales, cantidad que equivale alrededor de 59.3 millones de dólares al año. (Unidas, 2005)

### **Antecedentes Internacionales de desarrollo de dispositivos para control de calidad de aire y condiciones ambientales (Ecuador)**

El desarrollo de las redes inteligentes abarca un sin número de aplicaciones, dentro de estas redes se encuentran las redes de sensores inalámbricas que cada vez toma mayor fuerza debido a la necesidad de tener información precisa de lo que sucede en nuestro entorno, ya sea ambiental, domótica, militar o médico. La aplicación define el protocolo y topología que debe manejarse en el diseño de la red inalámbrica. Es por esta razón, que en este documento se realizó una investigación detallada acerca de los protocolos y topologías que pueden usarse dentro de este tipo de redes.

Este proyecto analiza el comportamiento vehicular a partir de mediciones de concentración de CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono) y niveles de ruido, medidos en porcentaje por millón (ppm) y decibelios (dB) respectivamente. Tales mediciones son extraídas por una red de sensores inalámbrica montada en el sector Calle larga y Hermano Miguel de la ciudad de Cuenca.

La red inalámbrica basada en el estándar Zigbee, se compone de cuatro nodos sensores y un coordinador. Los nodos sensores envían los datos de forma inalámbrica hacia el coordinador, el mismo que a través de una interfaz gráfica desarrollada en JAVA, muestra

el comportamiento que describen las curvas de medición y almacena la información en un servidor web vinculado a MySQL.

El análisis del comportamiento vehicular considera los niveles de ruido y concentración de CO<sub>2</sub> mayores a su valor de referencia base, medidos en un determinado lapso. Graficas comparativas e individuales de ruido y concentración de CO<sub>2</sub> tomadas en dos días de medición, pertenecientes a los nodos, muestran mayor actividad vehicular en horas pico que se reducen al término del día y llegada la media noche, además, del rendimiento individual de los nodos dentro de la red, que depende de la infraestructura del Sistema Integrado de Seguridad ECU911. (Byron & Luis, 2017)

### **Antecedentes actuales sobre calidad de aire con relación al Covid19**

Secretaría de Recursos Naturales y Ambientales, El Centro de Estudios y Control de Contaminantes (CESCCO), con la cooperación de la OPS/OMS, se llevó a cabo una conferencia para celebrar el Día Internacional del Aire Limpio para Cielos Azules, establecido por la Asamblea General de las Naciones Unidas. El evento contó con 190 participantes incluyendo personas de varios países de la Región.

En sus palabras de apertura, el Lic. Carlos Thompson, director de CESCCO-MiAmbiente, manifestó su agradecimiento a la OPS/OMS por apoyar el desarrollo de conferencias con temas relacionados a la salud ambiental y calidad del aire. El gobierno de Honduras desde 1993 a través de CESCCO ha llevado a cabo iniciativas sobre calidad del aire, con la cooperación internacional. Iniciativas como Aire Puro, Aire Limpio, entre otras, ha permitido monitorear la calidad del aire en las principales ciudades. Con la OPS/OMS se llevó a cabo el estudio de calidad del aire en interiores en años recientes y un diagnóstico sobre acceso a la energía (HEART). Este día reflexionamos sobre la importancia de la calidad del aire y su relación con la actual pandemia de COVID-19, pero tendremos un ciclo de conferencias virtuales que continuarán hasta el mes de septiembre.

El Ing. Juan José Castillo, Asesor Regional de Calidad del Aire y Salud de la OPS/OMS, presentó la conferencia “El Futuro del Aire: Retos para la Salud Pública en el

contexto de la COVID-19”. El Ing. Castillo reiteró el compromiso de la OPS/OMS con el país para apoyar los procesos en marcha para mejorar la calidad del aire. “La contaminación del aire es reto común en toda Latinoamérica y con alta mortalidad atribuible a ella. Los costos varían entre el 2-4% del PIB en los países. Problema común con causas comunes: transporte público en las ciudades, combustibles con alto contenido de azufre, entre otros problemas”.

Entre los puntos a resaltar en su presentación están:

- La respuesta al COVID-19 nos mostró estrategias para un aire limpio en ciudades.
- Los beneficios en la salud de un aire limpio requieren una mejora continua de la calidad del aire.
- Existe el riesgo de que el retorno a la “nueva normalidad” eleve la contaminación del aire en la ciudad (y sus impactos sobre la salud).
- La calidad del aire es un factor de riesgo para enfermedades relacionadas con la COVID-19. (Salud, 2021)

## **2.2. Definición del problema**

Con la problemática actual que existe a nivel mundial con el tema de la pandemia COVID 19, se optó a nivel global abandonar los trabajos de manera presencial por no tener un control correcto de la calidad de aire en oficinas o aulas de clases. No solo la actual pandemia es un problema que existe en los espacios cerrados como las aulas, en tiempo atrás había problemas con algún tipo de gas tóxico como el CO<sub>2</sub>. El objetivo de este tipo de red de sensores inalámbricos es reunir información del medio al que se encuentra rodeado, de esta forma se pueden aplicar medidas que mitiguen y a su vez mejoren la calidad de aire que existe en este tipo de ambiente. Este trabajo se desea enfocar en el sensado y monitoreo de las condiciones actuales que existen en las aulas de clase de la universidad CEUTEC.

El proyecto constará de un sistema de sensores interconectados para la recolección de datos, tendrá una red que será controlada por un técnico capaz de interpretar la información que va a generar el sistema, los sensores instalados deberán ser capaces de detectar gases como CO<sub>2</sub>, la intensidad luminosa que existe en un espacio cerrado, entre otros tipos de problema que pueda generar un daño a la salud humana.

### **2.3. Preguntas de investigación**

1. ¿Qué tipo de gases contaminan la calidad de aire en espacios interiores de la universidad CEUTEC?
2. ¿Qué tipo de sensores se utilizarán para captar los gases contaminantes (Monóxido de carbono, Dióxido de carbono)?
3. ¿Cuáles son los fenómenos que alteran las condiciones ambientales en los espacios interiores?
4. ¿Qué tipo de prototipos de sistemas de sensado de calidad de aire y condiciones ambientales existen en la actualidad?
5. ¿Cuáles son las principales afecciones que produce la mala calidad de aire en espacios interiores?
6. ¿Cuál será el prototipo de comunicación que tendrá el sistema de control de calidad de aire?

## **2.4. Hipótesis de investigación**

$H_1$ : Determinar mediante la tensión, corriente y potencia la fuente de alimentación correcta para el funcionamiento normal del sistema de multisensado.

$H_2$ : Calcular la corriente global que tendrá el sistema de multisensado para precisar que tiene de convertidor se utilizará en el sistema.

$H_3$ : Analizar con respecto a la fuente de alimentación el tipo correcto de ventilación que tendremos en sistema de multisensado.

$H_4$ : Realizar un estudio demográfico de cuan familiarizado esta el sector de ingeniería con el uso de sensores químicos y sistemas de control del aire y condiciones ambientales.

## Operacionalización de las variables

Tabla 1, Operacionalización de variables

Variables	Definición conceptual
<b>Calidad de aire</b>	La contaminación del aire representa un importante riesgo medioambiental para la salud. Mediante la disminución de los niveles de contaminación del aire los países pueden reducir la carga de morbilidad derivada de accidentes cerebrovasculares, cánceres de pulmón y neumopatías crónicas y agudas, entre ellas el asma. (OMS/OPS, 2021)
<b>Sensores químicos</b>	Un sensor químico es un dispositivo que transforma información química a una señal analíticamente útil y es capaz de dar la concentración de un componente específico de una muestra. Un sensor se caracteriza por sus dimensiones reducidas, robustez, facilidad de utilizar y capacidad de suministrar información analítica fiable de manera continua. Los sensores químicos usualmente contienen dos componentes básicos conectados en serie: un sistema de reconocimiento molecular –el receptor–, y un transductor fisicoquímico. (Ibagué, 2019)
<b>Humano Máquina</b>	Técnicamente, se puede referir a cualquier pantalla que se use para interactuar con un equipo, pero se utiliza normalmente para las de entornos industriales. Las HMI muestran datos en tiempo real y permiten al usuario controlar las máquinas con una interfaz gráfica de usuario. (CopaData, 2019)
<b>Condiciones Ambientales</b>	Conjunto de parámetros del entorno que caracterizan su ambiente. Dichos parámetros deben ser monitoreados, diagnosticados y tratados adecuadamente con base en la conservación preventiva para que no produzcan riesgos frente a la conservación de la documentación y la salud de los trabajadores. (Bogotá, 2021)

## 2.5. Justificación

El presente proyecto se muestra con una ayuda a la problemática de condiciones ideales de calidad de aire y condiciones ambientales en espacios cerrados, entre los factores que pueden alterar las condiciones ideales, existen diferentes tipos gases tóxicos como monóxido de carbono (CO), Óxidos de nitrógeno (NO, NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>), entre otro tipo de gases que son imperceptibles para el ser humano, además hay otros factores que también pueden generar un cambio, como la alta intensidad luminosa, ruidos con altos decibeles, polvo y humo. Conociendo cada contaminante que existe y daña un sano ambiente laboral se decidió la construcción de un sistema o red de monitoreo a partir de sensores inalámbricos móviles y estáticos que recolectaran la información de un área en específico y las enviara a un receptor para su análisis concreto.

Existen sistemas que ya realizan las acciones mencionadas, pero conllevan un alto costo adquisición, por lo que la construcción de una red de sensores inalámbricos con protocolo de comunicación IoT es una solución más económica que rendirá de manera similar a productos más sofisticados que hay en el mercado.

Se detallará el funcionamiento de la red de sensores, los diferentes tipos de topologías que se necesitará para el correcto desarrollo de la red, los algoritmos importantes de enrutamiento que corresponde a la red.

## 2.6. Alcance

El proyecto se basará principalmente en el diseño y construcción de un sistema que consta de un sistema sensores que se dividen en 4 plataformas, dos de ellas son móviles y dos más estáticas, que serán las que medirán los gases y demás agentes contaminantes que dañan la calidad del aire y demás condiciones ambientales. La red principal del sistema tendrá una plataforma que recopilará y a su vez procesará cada uno de los datos adquiridos. Cuando se analice todos los datos se tendrá un mejor margen de maniobra para realizar los cambios correspondientes que mejoren la calidad del aire en el área donde se hizo el estudio.

Las dos estaciones móviles se les establecerá una trayectoria definida para un análisis más preciso y correcto, las mediciones se realizarán por periodo temporales para un registro completo de todo el día. Las rutas y estaciones estáticas serán bien diseñadas de tal forma que tengan una cobertura máxima del área de sensado. Se tendrá comunicación mediante Wi-fi, para una comunicación confiable y segura, el principal protocolo a utilizar será el internet de las cosas (IoT), el protocolo nos ofrece los estándares específicos para el uso de los sensores del sistema.

Las pruebas del sistema se realizarán en ambientes controlados y en diversas situaciones para recolectar la mayor información posible durante los periodos de prueba específicos, se seguirá un protocolo de muestreo para todo el sensado.

### **III. Objetivos**

#### **3.1. Objetivo general**

Diseño de una red de sensores inalámbricos estáticos y móviles que nos permita el control, sensado, transmisión, almacenamiento y procesamiento de cada uno de los datos obtenidos sobre la calidad de aire y condiciones ambientales en las instalaciones de CEUTEC.

#### **3.2. Objetivos específicos**

- Diseñar las cuatro estaciones, dos estáticas y dos móviles, ambas nos servirán de multisensado, para la obtención de datos sobre las condiciones de calidad de aire y demás agentes contaminantes.
- Mecanizar las plataformas por donde se transportará los dos sensores móviles, el desplazamiento debe ser fluido y en un ambiente cerrado para el correcto sensado.
- Colocar las cuatro estaciones en puntos específicos donde se logre un correcto sensado, procurando tener cobertura total del lugar o espacio interior.
- Implementar una interfaz Humano Maquina, para la interpretación y procesamiento de los datos que obtendremos de las estaciones de sensado.

## **IV. Marco teórico**

### **4.1. Principales contaminantes del Aire en espacios interiores**

El término “calidad del aire interior” se aplica a ambientes de interiores no industriales: edificios de oficinas, edificios públicos (colegios, lugares de ocio, restaurantes, etc.) y viviendas particulares. En los últimos años ha cobrado especial relevancia al asociarse al término “síndrome del edificio enfermo” que comprende un amplio rango de síntomas o enfermedades que las personas que trabajan o habitan en dicho edificio atribuyen al edificio en sí.

Es por ello que cuidando la calidad del aire o ambiente interior, se cuida de la salud de las personas que viven o trabajan, en definitiva, que pasan un tiempo considerable en el interior de dicho edificio.

Es además uno de los factores de salud ambiental que tiene una mayor contribución a la carga de enfermedad. Según el informe “Medio ambiente y salud” de la Agencia Europea de Medio ambiente, las infecciones agudas del tracto respiratorio inferior atribuibles a la contaminación del aire interior explican el 4.6% de todas las muertes y el 3.1% de AVAD (años de vida ajustados por discapacidad).

En el aire interior se encuentra una mezcla de contaminantes procedentes de diferentes fuentes. La mayor parte de estas fuentes se encuentran en el interior, pero es de destacar el hecho de que el aire exterior que entra en la vivienda puede introducir contaminantes que no se originan en este ambiente, por lo que dicho aire exterior se encuentra reseñado como una de las fuentes de contaminación en el interior. El ambiente interior en cualquier clase de edificio, incluidas viviendas, es un resultado de la interacción entre el sistema del edificio (diseño original y las subsecuentes modificaciones en la estructura y los sistemas mecánicos), las técnicas de construcción, las fuentes de contaminación (materiales de construcción y mobiliario, humedad, procesos y actividades dentro del edificio), los ocupantes del edificio y las fuentes externas. (Andulucía, 2018)

La concentración resultante depende de una compleja interacción de varios factores que afecta a la introducción, dispersión y retirada de los contaminantes:

- Tipo, naturaleza y número de fuentes.
- Características de uso de la fuente.
- Características del edificio.
- Tasas de infiltración y ventilación.
- Mezcla de aire entre y dentro de los compartimentos de un espacio interior.
- Tasas de retirada y potencial reemisión o generación por las superficies interiores y transformaciones químicas.
- Existencia y efectividad de sistemas de retiradas del aire contaminado.
- Concentraciones en el exterior. (Andalucía, 2018)

Los principales contaminantes que se encuentran en el aire interior de viviendas, oficinas, locales de ocio, etc. son:

- Monóxido de carbono, CO
- Compuestos orgánicos volátiles, COV
- Dióxido de azufre, SO<sub>2</sub>
- Partículas
- Asbestos
- Ozono
- Contaminantes biológicos
- Productos de uso doméstico
- Óxidos de nitrógeno, NO<sub>x</sub>
- Radón
- Humo ambiental de tabaco. (Andalucía, 2018)

Tabla 2, Clasificación de contaminantes del aire interior

Clasificación de contaminantes del aire interior	
	Monóxido de carbono, dióxido de carbono, óxidos de nitrógeno, partículas, fibras minerales, ozono, óxidos de azufre
	Compuestos orgánicos volátiles (COVs)
	Virus, hongos, bacterias, ácaros, pelo y caspa de mascotas
	Humo ambiental de tabaco, plaguicidas, ambientadores, desinfectantes y otros productos de uso doméstico
	Hongos, mohos, ácaros del polvo, caspa y pelo de mascotas, cucarachas, plantas

Tabla 3, Factores que se incluirán en la guía de calidad de aire interior

Factores que se incluirán en la guía de calidad de aire interior de la OMS		
Formaldehído	Humedad y hongos	Ventilación de estufas
Benceno	Ventilación natural	Chimeneas
Naftaleno	Ventilación mecánica/forzada	Campanas
Dióxido de nitrógeno	Alérgenos: • de ácaros • de mascotas	Tipo de combustible: • sólido • sólido procesado • líquido • gas • electricidad
Monóxido de carbono		
Radón		
Partículas		
Compuestos halogenados		
Hidrocarburos aromáticos policíclicos, benzo-a-pireno		

## 4.2. Principales afecciones producidas por la mala calidad de aire en espacios interiores

Se han documentado efectos de toxicidad aguda o crónica, en relación con la exposición a contaminantes del aire interior. Los primeros van desde efectos leves en el tracto respiratorio alto, como la congestión nasal, estornudos, enfermedades respiratorias agudas, dificultades para respirar, y otros efectos como la conjuntivitis, hasta efectos sistémicos como dolor de cabeza, dificultad para concentrarse, etc. Con respecto a los efectos crónicos adversos, se han documentado desde enfermedades respiratorias crónicas, broncoconstricción, bronquiolitis, diagnóstico de asma, dilatación del corazón, disfunción endotelial, reducción de la capacidad pulmonar, hipersensibilidad bronquial, dolor muscular, convulsiones, secreciones del oído medio, asfixia, enfermedades reproductivas, alteraciones endocrinas, ataques cardíacos, coma, desarrollo de varios tipos de tumores, benignos y malignos, entre otras enfermedades hasta incluso la muerte.

Tabla 4, Estimación de enfermedades respiratorias

Estimación de la carga ambiental de enfermedades respiratorias		
Infecciones del tracto respiratorio inferior	Países desarrollados: 20%	Uso de combustibles fósiles sólidos en el interior. Humo de tabaco
	Países en vías de desarrollo: 46%	
EPOC (Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica)	36%	Ambientales y ocupacionales (exposición a polvo y sustancias químicas)
Cáncer de pulmón	66%	Fumar
	9%	Ocupacionales
	5%	Contaminación exterior
	1%	Uso de combustibles fósiles sólidos en el interior
	--	Otros (exposición a asbestos, radón y productos químicos)

Asma (desarrollo y exacerbación)	20% prevalencia	Exposición en interiores a humedad, ácaros del polvo, alérgenos fúngicos
----------------------------------	-----------------	--

Los efectos adversos que se pueden atribuir a la contaminación del aire en interiores pueden ir desde dolencias leves y localizadas, hasta enfermedades más complejas propiciadas por alteraciones en la homeostasis hormonal y que finalmente producen enfermedades relacionadas con alteraciones casi a todos los niveles del sistema endocrino, principalmente cuando las exposiciones alteran en diversos niveles de los ejes reproductivo, adrenal y metabólico.

Así entre otros efectos asociados con el metabolismo por la exposición a la contaminación del aire en interiores se han referido deshidratación, cianosis, incremento de la concentración de carboxihemoglobina, enfermedad pulmonar obstructiva crónica, bajo peso al nacer, baja talla, reducción en la esperanza de vida, estrés por calor, golpe de calor, falta de aliento, fatiga, reducción de la capacidad pulmonar, fluido en el oído medio inmunodepresión y afecciones de oído en la infancia, infiltraciones de los pulmones, lesiones en la pleura, lesiones en pulmón, y carcinogénesis en varios órganos o sistemas.

Se han referido también algunas alteraciones en la capacidad reproductiva de hombres y mujeres, malformación en sus sistemas reproductores y cambios en los niveles hormonales que regulan diversos procesos metabólicos atribuidos a las exposiciones ambientales a contaminantes químicos. (Andulucía, 2018)

### 4.3. Sistemas de calidad de aire

Un Sistema de Medición de la Calidad del Aire (SMCA) es empleado para la medición, registro y procesamiento de los datos de calidad del aire, debe responder en forma eficiente y confiable a los objetivos del monitoreo y a las necesidades de información establecidas por la normatividad federal y local vigente en materia de calidad del aire.

Un es el conjunto organizado de recursos humanos, técnicos y administrativos empleados para observar el comportamiento de la calidad del aire a través del tiempo en una región dada.

Los principales productos en cuanto a calidad del aire son: las bases de datos, los indicadores, los informes y los pronósticos de la contaminación atmosférica.

Debido al tipo de información que generan los SMCA, éstos podrán intercambiar información con los sistemas de vigilancia epidemiológica que opere el Sector Salud a nivel local y nacional. La Norma Oficial Mexicana para el establecimiento y operación de sistemas de monitoreo de calidad del aire es la NOM-156-SEMAR-NAT-2008.

Cada organización que implemente un SMCA debe considerar los lineamientos establecidos en la normatividad local, nacional e internacional.

Antes de considerar el establecimiento o expansión de un programa de medición de la calidad del aire de cualquier tipo, duración y cobertura, es necesario examinar con detenimiento las capacidades reales del SMCA.

Tanto a nivel nacional como internacional, se han desarrollado estándares de calidad del aire, donde se establecen los límites de concentración de contaminantes, con el objetivo de proteger la salud de la población.

Un SMCA genera datos de la concentración de los contaminantes en el aire en tiempo real, lo que permite determinar si se están rebasando o no los estándares de la calidad del aire.

De igual manera, se han desarrollado los procedimientos estándares de medición de la concentración de contaminantes. El cumplimiento de estos procedimientos normados debe ser observado para asegurar que se están siguiendo metodologías comprobadas y que los datos generados con estas metodologías son válidos.

Adicionalmente a la normatividad ambiental y de los procesos de medición, existen normas de procedimientos de control y aseguramiento de calidad, las cuales se recomienda se apliquen para asegurar la calidad de los datos generados por el SMCA.

Estos procedimientos van desde el mantenimiento y calibración de los equipos, hasta el manejo y análisis de los datos generados, así como el control de un sistema de gestión de calidad. (Mexicano, 2021)

### 4.3.1. Prototipo de sensado de calidad del aire

#### Wasmote

Es una plataforma modular opensource para construir redes de sensores inalámbricas de muy bajo consumo. Creada por la empresa aragonesa Libelium la plataforma comprende:

- La placa Wasmote con microcontrolador, memoria, batería, acelerómetro y sockets para añadir módulos;
- API y compilador opensource
- Diferentes radios de comunicación inalámbrica con el protocolo Zigbee con alcances de hasta 40Km;
- Diversos módulos opcionales para añadir comunicación Bluetooth, GPRS y GPS

Una gran variedad de placas de sensores para medir gases, eventos físicos y parámetros necesarios en el Smart metering. (Gracia, 2012)

The Sensor Device for Developers

FC CE

<p><b>Mínimo Consumo</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Modo hibernate: 0,7uA</li> <li>➤ Modo Deep Sleep: 62uA</li> <li>➤ Async sensor interruptions</li> <li>➤ Sync timers interruptions</li> </ul>	<p><b>Máximo Rango</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ ZigBee ➤ 2.4GHz - 7km</li> <li>➤ 900MHz - 10km</li> <li>➤ 868MHz - 12km</li> <li>➤ Módulos GPRS y Bluetooth</li> <li>➤ Módulos Wifi y RFID/NFC</li> </ul>	<p><b>Máxima Versatilidad</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Over the Air Programming (OTA)</li> <li>➤ Módulo GPS</li> <li>➤ Memoria SD: 2GB</li> <li>➤ Panel Solar</li> </ul>
<p><b>Sensores</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Gases (CO, CO2, CH4...)</li> <li>➤ Temperatura, nivel líquido</li> <li>➤ Peso, presión, humedad</li> <li>➤ Luminosidad, acelerómetro</li> <li>➤ Humedad suelo, radiación solar</li> </ul>	<p><b>Open Source</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Open source API</li> <li>➤ Open source Compiler</li> <li>➤ Completa Documentación</li> <li>➤ Colecciones de ejemplos</li> </ul>	<p><b>Videos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Wifi Module</li> <li>➤ Accelerometer</li> <li>➤ Gases Sensor Board</li> <li>➤ Events Sensor Board</li> <li>➤ Out of the Box</li> </ul>

Ilustración 1, Wasmote

Los protocolos que puede utilizar son:

802.15.4, ZigBee, Wi-Fi, Bluetooth, Bluetooth 4.0, GPRS, 3G, RFID, NFC, RF 868MHz, 900MHz. La idea es utilizar el mismo zócalo que utilizan los módulos Xbee, para que sean todos compatibles. Lo que han diseñado módulos de radio distintos (Wi-Fi, Bluetooth, Radio Frecuencia, etc.) para utilizar el mismo conector de los XBee originales y cualquiera de ellos se conectan al Wasmote a través de la misma toma.

Hace poco, se ha añadido un set de módulos con distintos protocolos de comunicación industrial del tipo RS-485, RS-232, CAN-bus, Modbus y bucle de corriente 4-20mA, que ya veremos también.

Ya tenemos los Wasmotes que se comunican entre ellos con una amplia variedad de radios.

A los que les podemos conectar módulos del tipo RFID (logística, granjas de animales), 3G+GPS (videollamadas, envío/recepción de llamadas y SMS's, etc.), CANbus (automóvil, equipo médico, etc.).

Y una gran cantidad de distintos tipos de sensores como de:

- Gases (polución, control de procesos químicos, fuegos forestales, etc.),
- Líquidos y aguas “Smart water” (monitorizar potabilidad del agua, detección de vertidos químicos en los ríos, niveles de polución marítima, etc.),
- Agricultura (sistemas de riego, estaciones meteorológicas, etc.),
- Ciudades inteligentes “Smart cities” (mapas de ruido, calidad del aire, detección de aparcamientos libres, etc.).

#### **4.3.2. Prototipo de sistemas de redes de sensado de calidad del aire**

El objetivo principal de la implementación de una red de sensores es mejorar la eficiencia dentro del análisis de un entorno. Al igual que el uso de un solo sensor en relación con un sistema de varios sensores limita la adquisición de información, la implementación de un solo sistema de sensado no es suficiente cuando el área de análisis es amplia, es por esto por lo que la implementación de un conjunto de sistemas en red o redes de sensores permite mejorar la cobertura del entorno de estudio.

### 4.3.3. Raspberry Pi3

Raspberry Pi 3 Model B es el primer modelo de la Raspberry Pi de tercera generación. Reemplazó a Raspberry Pi 2 Model B en febrero de 2016. Consulte también Raspberry Pi 3 Model B + , el último producto de la gama Raspberry Pi 3.

- CPU de cuatro núcleos a 1,2 GHz Broadcom BCM2837 de 64 bits
- 1 GB de RAM
- BCM43438 LAN inalámbrica y Bluetooth de baja energía (BLE) a bordo
- 100 Ethernet base
- GPIO extendido de 40 pines
- 4 puertos USB 2
- Salida estéreo de 4 polos y puerto de video compuesto
- HDMI de tamaño completo
- Puerto de cámara CSI para conectar una cámara Raspberry Pi
- Puerto de pantalla DSI para conectar una pantalla táctil Raspberry Pi
- Puerto microSD para cargar su sistema operativo y almacenar datos
- Fuente de alimentación micro USB conmutada mejorada de hasta 2,5 A

Otro objetivo relacionado con el uso de redes en el Internet de las cosas es la interoperabilidad, que es necesaria para gestionar los datos obtenidos por los sensores a aplicaciones o interfaces, y su uso es útil para entornos personales, laborales, médicos e industriales. Muchas otras áreas. Investigadores del IEEE publicaron un artículo en la revista IEEE Internet of Things, enfocándose en el desarrollo de un sistema que se enfoca en predecir el nivel de contaminación y la calidad del aire de una ruta específica, similar a Google Maps, para lo cual implementaron 41 monóxido de carbono, El metano y los sensores de calidad del aire en varios vehículos se envían a un servidor en la nube, que procesa la información para construir un mapa de calor de un área específica e interpola los datos obtenidos por el vehículo.



*Ilustración 2, Raspberry*

#### **4.3.4. Prototipo de sistemas robóticos para el sensado de la calidad del aire**

El uso de robots y plataformas robóticas autónomas es un método alternativo. Es más factible cuando el entorno de detección es grande, porque la tecnología aplicada. El control de robot colaborativo puede cubrir un área de detección más grande menos recursos.

Un sistema llamado AirScope, que consta de una red de sensores instalada en robots autónomos diseñados para detectar PM2.5. Cada robot tiene una Raspberry Pi3, lo que permite. El robot almacena, carga y descarga datos del servidor y, en función de estos. Cada robot puede verificar qué áreas no han sido detectadas para corregir sus datos. Trayectoria. Finalmente, el usuario puede acceder a la pantalla. Percepción en tiempo real de la distribución de variables.

Aunque los robots representan una solución, son. Un entorno más grande reducirá su rendimiento y también es posible. No se puede acceder al entorno más ampliamente, no pueden entrar desde la superficie, digamos. Este estudiante investigador de una universidad alemana publicó un artículo. Acerca del uso de drones para implementar sistemas de detección de la calidad del aire en los EE. UU. Entorno industrial, la gran ventaja del sistema es el nivel de accesibilidad. Premiado con un dron.



*Ilustración 3, Airscope*

## **4.4. Disposición de sensores para poder medir**

### **4.4.1. Ubicación**

Al colocar un sensor de zona es importante hacerlo en un punto representativo, es decir, donde las personas pretendan tener el control de la temperatura y donde la perciban en el ambiente. Hay que considerar que no deben existir fuentes de calor que afecten y provoquen una derivación del valor real, como lo podrían ser la luz directa del sol por una ventana o aparatos que sean una fuente calorífica directa.

No debe haber restricciones en el flujo de aire, ya que es importante que el sensor pueda percibir los cambios que se estén realizando por parte del sistema.\

Si es necesario colocarlo en una pared, la recomendación es en un muro orientado al norte, ya que las paredes tienden a calentarse por la radiación solar. Esto provocaría que la medición sea inexacta y es justo lo que debemos evitar. Existen equipos de medición que incluyen protección contra la radiación.

Hay lugares donde se requiere instalar más sensores de muro, ya sea de temperatura o de CO<sub>2</sub>. En el caso de una oficina es importante tomar en cuenta que cada uno de ellos puede producir calor derivado de sus componentes, por lo que puede ser un error muy común montar un sensor arriba de otro. Existen diversos modelos y series con los que se puede combinar la medición de estos parámetros o, en su defecto, montarlos en paralelo para evitar la acumulación de calor en un sensor que se encuentre arriba de otro.

### **4.4.2. Orientación**

Otro punto importante es la orientación, ya que puede influir en una mala lectura. Si un sensor de temperatura, ubicado dentro de un transmisor, tiene electrónica que puede ser un punto de concentración de calor y, además, está orientado hacia arriba, el calor almacenado en su interior tenderá a buscar una salida por la parte superior del equipo, pues el aire caliente es menos denso que el aire frío. Esto provocará un error sobre la temperatura real del lugar donde se encuentra ubicado.

#### **4.4.3. Materiales de construcción**

Al instalar un sensor de temperatura o de CO<sub>2</sub> es necesario considerar colocarlo debajo de una placa, para que no esté expuesto sobre algún muro que pueda traer efectos negativos a la hora de realizar las lecturas del instrumento. Por ejemplo, existe un proceso químico denominado carbonatación que consiste en la absorción de CO<sub>2</sub> por parte del cemento. Este proceso influirá directamente en la lectura de un sensor de CO<sub>2</sub> instalado en un muro hecho de este material, por lo que puede mostrar lecturas demasiado bajas. En el caso de la temperatura, algunos materiales como el acero, conducen el calor y los sensores podrían no tomar la temperatura del ambiente, sino la lectura de la pared donde se encuentra instalado.

#### **4.4.4. Recomendaciones del fabricante**

El fabricante siempre tendrá algunas recomendaciones, por lo que es importante considerarlas a la hora de realizar una instalación para mejorar y hacer eficaces las lecturas que pueda realizar un sensor. Éste es el caso de los equipos de medición de flujo, ya sea de aire en ductos o agua en tuberías. Por ejemplo, existe una longitud mínima entre un codo, una expansión o reducción para que un sensor de flujo pueda ser instalado de forma óptima y no tenga inconvenientes a la hora de realizar la medición correcta.

De acuerdo con Airmonitor, dentro de su línea de medición de flujo de aire en ductos, existen 3 niveles de instalación, según los puntos de medición que pueda tener la sonda de medición.

### **4.5. Sistemas de calidad del aire que se están utilizando en la actualidad**

La Monitorización en continuo se realiza habitualmente mediante una red formada por un conjunto de estaciones fijas y/o móviles aisladas adecuadamente (térmica y acústicamente) con el fin de garantizar la idoneidad de las condiciones de trabajo de los analizadores y sistemas auxiliares ubicados en su interior.

Estas estaciones incorporan sistemas para la captación de muestras y analizadores automáticos de medida de parámetros contaminantes cuyas características pueden variar en función de la zona, ya sea esta urbana, industrial, de fondo, etc.

De acuerdo con la normativa vigente, los parámetros de medida más habituales son dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), óxidos de nitrógeno (NO<sub>2</sub>/NO/NO<sub>X</sub>), monóxido de carbono (CO), ozono troposférico (O<sub>3</sub>), benceno y partículas en suspensión (PM<sub>10</sub> Y PM<sub>2,5</sub>). También es posible medir otros parámetros de contaminación tales como compuestos volátiles, sulfuro de hidrógeno (H<sub>2</sub>S), fluoruro de hidrógeno (HF), metales (cadmio, plomo...), Black Carbon, etc., .

Tras un análisis global de la problemática objeto de estudio, se seleccionan los parámetros contaminantes a monitorizar y los analizadores más adecuados para obtener unas medidas precisas. Además, suelen implementarse de forma complementaria medidas de parámetros meteorológicos tales como velocidad y dirección del viento, temperatura, humedad relativa, presión, radiación solar y precipitación.

La monitorización en continuo se realiza con analizadores que se basan en los denominados métodos de referencia, es decir, métodos normalizados que producen resultados comparables y con equipos certificados que han superado estrictas pruebas de homologación por parte de laboratorios acreditados y siguiendo las normas de referencia establecidas por las autoridades. (IoT, 2019)

### **Centro de control: ENVIRA DS**

Es el corazón de toda red de medida de calidad del aire. En él se reciben los datos de todas las estaciones de la red y en múltiples ocasiones de otros sistemas de monitorización relevantes para la evaluación de la calidad del aire, como datos de sistemas de control de emisiones a la atmósfera, de otras redes o de estaciones meteorológicas externas. Las tareas que realiza son:

- Control y evaluación continua de la calidad del aire.
- Información a los ciudadanos de situaciones episódicas.
- Soporte para el estudio de la calidad del aire.
- Evolución espaciotemporal a largo plazo de la contaminación atmosférica.

- Generación de informes, alertas y alarmas.
- Validación y explotación de los datos.

El centro de control está adaptado a la legislación vigente, incorpora la legislación en un Módulo de Regeneración de Datos que incluye toda la legislación europea y es particular para cada uno de los parámetros. (IoT, 2019)

### **Sistemas de alarma**

ENVIRA DS dispone de un potente sistema de gestión de situaciones episódicas de superación de niveles marcados por la legislación. Estos sistemas son personalizados para los requisitos específicos de cada cliente tanto en cuanto a los métodos de cálculo, como a la información que se envía a las partes interesadas. El sistema permite enviar mensajes personalizados a los usuarios en función de varios parámetros como contaminante, área afectada, etc. (IoT, 2019)

### **Validación inteligente de los datos.**

ENVIRA ha desarrollado una herramienta de Inteligencia Artificial para la detección precoz de anomalías en el funcionamiento del instrumental de medición de calidad de redes de control y calidad del aire. Este sistema está basado en los últimos desarrollos sobre machine learning y el conocimiento de nuestros especialistas.

El sistema dispone de algoritmos, particularizados para cada tipo de sensor, que analizan los datos de entrada e informa al explotador de posibles anomalías para evitar un uso indebido de los mismos en caso de sospecha de ser incorrectos. (IoT, 2019)

### **Ejemplos de sistemas de calidad del aire que se están utilizando:**

#### **Analizador de BTX**

El modelo GC 5000 BTX se ha desarrollado para el monitoreo continuo de los niveles de contaminantes orgánicos en el aire ambiente, en el intervalo de C4 a C12. El instrumento se caracteriza por su diseño compacto y su sensibilidad de detección en el rango de ppt.

El analizador se puede utilizar para la cumplir la obligación legal de medición de benceno en el aire ambiente, de acuerdo con la Directiva Europea 2000/69/CE del Parlamento Europeo y en base a la norma europea EN 14662-3. Al mismo tiempo, mide concentraciones de otros hidrocarburos aromáticos como el tolueno, etilbenceno y xileno. (Grupo, 2016)



*Ilustración 4, AMA GC 5000 BTX*

### Sistema ZAG 300

La serie ZAG 300 de generadores de aire cero HP elimina continuamente las impurezas orgánicas y el monóxido de carbono de una corriente de aire comprimido. Este aire cero, libre de hidrocarburos, se puede utilizar para alimentar detectores de combustión de analizadores de GC o THC en línea en instalaciones de campo o como referencia cero o gas de dilución para la validación y calibración de dispositivos de monitoreo.

Para una generación de aire cero, el aire comprimido pasa a través de una cámara de catalizador de paladio calentada. La oxidación catalítica y la descomposición de hidrocarburos en esta cámara de catalizador, que se calienta hasta una temperatura tan alta como 480 ° C, asegura una eliminación altamente eficiente de monóxido de carbono e impurezas orgánicas. Finalmente, las partículas, los gases ácidos y el vapor de agua se eliminarán mediante un filtro de salida de alto grado para proteger los instrumentos analíticos y los calibradores que se instalan aguas abajo del generador de aire cero.

El generador de aire cero ZAG 300 HP ha sido diseñado para montaje en rack de 19 " y complementa idealmente a los analizadores para aplicaciones de monitoreo ambiental, de

procesos y de emisiones en el campo. El diseño robusto asegura un funcionamiento confiable en instalaciones industriales y requiere un mantenimiento mínimo. (ETS, 2021)



*Ilustración 5, ZAG 300*

#### **4.6. Diseño de la plataforma multisensado de calidad del aire y condiciones ambientales**

Cuando identificamos todas las diferentes tácticas de sensado que existen en espacios interiores, al momento de analizar los dos tipos de estaciones una fija que por estar estable en un solo lugar su alcance es limitado, por lo que se espera diseñar estaciones móviles que se desplacen a lo largo de la habitación o lugar para lograr una correcta recolección de datos sobre la calidad del aire. Al tener dos diferentes tipos de estaciones tenemos asegurado la recolección de datos con respecto a los gases que deterioran la salud humana, además del análisis de las condiciones ambientales, otra ventaja de tener dos estaciones es el costo y beneficio del proyecto.

La plataforma de multisensado consiste en una primera estación que tendrá como misión la recolección de todas las variables químicas y del medio ambiente, tomando en cuenta que se analizará la temperatura, luminosidad, presión entre otros factores. Con el análisis e investigación previa se determinó los principales agentes contaminantes que serán monitoreados son el CO, CO<sub>2</sub> y demás compuestos que sean de carácter volátil (COV), como se mencionó previamente las condiciones ambientales que se seleccionaron son las variables

de temperatura, humedad, luminosidad y presión barométrica, estas variables son las que tienen un mayor impacto en la salud humana.

#### **4.7. Descripción de la plataforma multisensado**

El objetivo que tendrá la plataforma multisensado, como ya se menciona una red de múltiples sensores con características diferentes, acondicionamiento e instrumentación que nos de la facilidad de recolectar los datos de cada una de las variables seleccionadas. La plataforma consta por los sistemas de medición que se ubicaran a lo largo del área de estudio.

El sistema de control principal será el encargado del manejo de todos los sensores y actuadores de las dos estaciones, además de controlar la comunicación inalámbrica en este caso por IoT, la transmisión y recepción de información de manera inalámbrica. El sistema de alimentación se encargará de administrar los niveles de energía de las diferentes estaciones. El sistema de medición se encargará que recolectará todas las señales que generen cada uno de los sensores de calidad del aire y condiciones ambientales.

#### **4.8. Análisis de los sensores químicos**

##### **Sensor de calidad del aire**

Los sensores de calidad de aire son dispositivos usados para la detección de contaminantes en el aire. Esto incluye partículas, contaminantes y gases nocivos que pueden ser perjudiciales para la salud humana. Se utilizan en aplicaciones como el monitoreo de la calidad del aire, la detección de gas en industrias, controladores de combustión y generadores de oxígeno en aviones. Los sensores de compuestos orgánicos volátiles (VOC) disponibles son capaces de detectar químicos volátiles y contaminantes olorosos.

Un dispositivo común para detectar materia particulada en el aire es la alarma de incendios doméstica. El humo se detecta mediante dos tipos de sensores: detectores de ionización y detectores fotoeléctricos. Los sensores de ionización funcionan mediante el uso de una pequeña fuente radiactiva (Americio-241) que produce partículas alfa a una tasa constante. Las partículas del humo entran en la cámara de ionización e interrumpen la

pequeña corriente de dispersión entre los electrodos. Esto se detecta y hace que la alarma se active.

Los sensores de polvo están disponibles para el monitoreo de la calidad del aire. Estos funcionan mediante el uso de un par de diodo y fototransistor infrarrojo para detectar la luz reflejada por las partículas de polvo. Son detectores de humo de cigarrillo altamente eficaces y pueden utilizar los patrones de la energía reflejada para distinguir entre el polvo del hogar y el humo. Se encuentran en purificadores de aire, acondicionadores de aire y monitores.

Los sensores de gas CO<sub>2</sub> están disponibles en un número de "rangos de detección ppm". Utilizan infrarrojo no dispersivo (NDIR) para detectar la presencia del gas. Las moléculas de CO<sub>2</sub> absorben longitudes de onda específicas de luz y esto es detectado en el sensor. Los sistemas de calefacción y ventilación (HVAC) utilizan estos para suministrar ventilación controlada a demanda (DCV).

Los sensores de gas metano son otro ejemplo de sensores de calidad de aire utilizados en la industria. También se utilizan para detectar LPG, vapores de alcohol e hidrógeno. Un sensor está hecho de un circuito especial que comprende un tubo de alúmina y un sensor de dióxido de estaño con electrodos, y un elemento calefactor para mantener el sensor a la temperatura de calibrado. Sensores similares se utilizan para las pruebas de aliento alcohólico y detectar la presencia de monóxido de carbono.

Los sensores de oxígeno calientan discos de óxido de zirconio en los extremos de un tubo herméticamente sellado. Al calentar a 700 °C, uno de los discos actúa como un "bomba química" y el tiempo que la presión tarda en cambiar en el tubo indica la presión parcial del oxígeno en el ambiente. Estos sensores tienen un tiempo de calentamiento y tiempo de respuesta que permiten que el calor de sensor fluctúe entre las mediciones. Muchos sensores no son selectivos entre una variedad de gases diferentes. Por esta razón, a menudo se producen lecturas erróneas o falsas alarmas causadas por una combinación de compuestos desconocidos. (Arrow, 2020)



*Ilustración 6, Sensores de calidad del aire*

Notas:

**Este tipo de sensor responde a la sensibilidad de 1-32 ppb a partir de este punto comienza a captar los niveles superiores de contaminación en una área especificada según la capacidad del sensor.**

**El rango de cobertura que posee el sensor de calidad del aire para eCO2 es de 400 - 60000 ppm y el rango de cobertura para TVOC es de 0 – 60000 ppb.**

#### **4.8.1. Sensor de dióxido de carbono**

Un sensor de CO2 es un instrumento que se utiliza para la medición de gas de dióxido de carbono en un ambiente determinado. Habitualmente estos aparatos registran el dióxido de carbono en partes por millón (ppm) en los espacios ocupados y nos ofrecen una muestra de la concentración de este gas en el aire que respiramos.

Este tipo de mediciones se han convertido en un elemento imprescindible en un entorno como el actual. Nuestras edificaciones son cada día más herméticas y, en consecuencia, mejor aisladas. La ventilación y concretamente la calidad del aire interior son aspectos primordiales relacionados con la salud y el confort de nuestras viviendas y espacios de trabajo.

Con la utilización de sensores de CO2 se pueden identificar las zonas o estancias habitadas en las que los niveles de dióxido de carbono son superiores a los aceptables. A

partir de aquí habrá que diseñar o ajustar los sistemas de ventilación y el flujo de aire a estas necesidades con el fin de obtener la adecuada renovación y calidad del aire interior.

Como ya hemos comentado, las concentraciones de CO<sub>2</sub> se miden en partes por millón (ppm). Dado que un elevado nivel de CO<sub>2</sub> en el ambiente puede provocar efectos en la salud o en el rendimiento laboral, será aconsejable conocer los niveles considerados aceptables.

#### Niveles válidos de concentración de CO<sub>2</sub>

Con relación a las concentraciones de CO<sub>2</sub> los valores establecidos como válidos serían los siguientes:

- Concentraciones típicas de CO<sub>2</sub> en ambientes exteriores: 350 – 450 ppm
- Concentraciones aceptables de CO<sub>2</sub> en IAQ: 600 – 800 ppm
- Concentraciones tolerables de CO<sub>2</sub> en IAQ: 1000 ppm. (Soler, 2018)

#### Niveles de concentración de CO<sub>2</sub> y sus efectos

Y en cuanto a los distintos niveles de concentración de CO<sub>2</sub> (en ppm) y sus efectos sobre las personas se establecen los siguientes parámetros:

- Hasta 350 ppm; aire exterior
- Hasta 1.000 ppm; sensación de aire enrarecido
- Hasta 4.000 ppm; habitación mal ventilada
- Hasta 5.000 ppm; concentración máxima aconsejable en el lugar de trabajo.
- En concentraciones cercanas a los 30.000 ppm puede causar dolores de cabeza, falta de concentración, somnolencia, mareos y problemas respiratorios.

#### Cómo funciona un medidor de CO<sub>2</sub>

El funcionamiento de un medidor de CO<sub>2</sub> dependerá del sistema que emplee, aunque lo más habitual es encontrar sensores de CO<sub>2</sub> que funcionan por infrarrojos. Estos basan su funcionamiento en el principio de absorción de energía de los compuestos a una determinada longitud de onda, normalmente en el infrarrojo.

El dióxido de carbono y otros gases compuestos por dos o más átomos diferentes absorben la radiación infrarroja (IR) de una forma única y característica. El sensor contiene

un emisor y un receptor de luz que mandan y reciben un haz con la longitud de onda de absorción de CO<sub>2</sub>. Este haz se ve atenuado (diferencia entre lo emitido y lo recibido) de manera proporcional a la cantidad de CO<sub>2</sub> presente en el aire o mezcla de gases que se está analizando.

#### Características de los sensores de CO<sub>2</sub>

Todos los sensores de CO<sub>2</sub> por infrarrojos destinados a la calidad de aire tienen unas características comunes. Estos son los beneficios con respecto a otro tipo de medidores como los químicos:

- Son muy estables y altamente selectivos del gas medido
- Se instalan fácilmente
- Soportan condiciones de humedad alta, polvo, etc.
- Tienen una prolongada vida útil. (Soler, 2018)



*Ilustración 7, Sensor de dióxido de carbono*

#### **4.8.2. Elección de sensor**

##### Sensor infrarrojo analógico de Gravity para dióxido de carbono

El Sensor de CO<sub>2</sub> Infrarrojo Analógico de Gravity es un sensor de alto rendimiento que combina la tecnología de detección de gas de absorción infrarroja madura con un diseño de circuito óptico de precisión y un diseño de circuito sofisticado. Tiene características tales

como alta sensibilidad, alta resolución, bajo consumo de energía, respuesta rápida, interferencia anti-vapor de agua, sin envenenamiento, alta estabilidad y larga duración.

Especificaciones técnicas:

- Detección de Gas: Dióxido de Carbono
- Voltaje de Operación: 4.5 ~ 5.5V DC
- Corriente promedio: <60mA @ 5V
- Corriente máxima: 150mA @ 5V
- Señal de salida: salida analógica (0.4 ~ 2V)
- Rango de medición: 0 ~ 5000ppm
- Precisión:  $\pm$  (50ppm + 3% de lectura)
- Tiempo de precalentamiento: 3 minutos
- Tiempo de respuesta: 120 s
- Temperatura de funcionamiento: 0 ~ 50 °C
- Humedad de funcionamiento: 0 ~ 95% HR (sin condensación)
- Vida útil:> 5 años
- Peso: 34g (Roboshop, 2021)



*Ilustración 8, Sensor infrarrojo analógico de Gravity para dióxido de carbono*

Notas:

**Este tipo de sensor responde a la sensibilidad de 50 ppm dióxido de carbono, a partir de este punto comienza a captar los niveles superiores de contaminación en una área especificada según la capacidad del sensor.**

**El rango de cobertura para el sensor infrarrojo para detección de dióxido de carbono es de 0 – 5000 ppm.**

### 4.8.3. Sensor de monóxido de carbono

Para la medición de CO se estudió el funcionamiento se basa en variaciones de características del material de óxido metálico frente a un gas mediante una reacción química. A los sensores electroquímicos de este tipo se los conoce como sensores potenciométricos ya que obtienen información mediante una relación explícita entre el potencial de un electrodo indicador y la concentración de la especie de interés, lo que hace que su valor de resistencia eléctrica cambie en relación con la concentración del químico.

Si bien estos sensores no son específicos para un solo químico, existen circuitos electrónicos de conexión para mejorar la sensibilidad a un gas en particular. De acuerdo con el fabricante, para realizar la medición de este sensor se debe realizar ciclos de trabajo de 150 segundo, distribuidos en 60 segundos con una tensión de alimentación de 5V para limpiar el sensor, y 90 segundos con una tensión de alimentación de 1.4V, en donde se realizará la toma de datos. Para su correcto funcionamiento es necesario un tiempo de precalentamiento de 48 horas previo a su primer uso.



*Ilustración 9, Sensor de monóxido de carbono*

#### 4.8.4. Elección de sensor

Sensor MQ-7 para monóxido de carbono (CO)

El sensor MQ-7 permite medir gas de Monóxido de Carbono (CO), ideal para detectar concentraciones de dañinas de CO en el aire y así evitar sus daños en la salud. El sensor MQ-7 puede detectar concentraciones en el rango de 20 a 2000ppm. El módulo posee una salida analógica que proviene del divisor de voltaje que forma el sensor y una resistencia de carga. También posee una salida digital regulable por un potenciómetro, esta salida tiene un led indicador.

Especificaciones técnicas

- Voltaje de Operación: 5V DC
- Voltaje de Calentamiento: 5V (alto) y 1.4V (bajo)
- Resistencia de carga: regulable
- Resistencia de calentamiento: 33 Ohm
- Tiempo de Calentamiento: 60s (alto) 90s (bajo)
- Consumo de Resistencia: aprox. 350mW
- Concentración de Oxígeno: 21% (Mechatronics, 2020)



*Ilustración 10, Sensor MQ-7 para monóxido de carbono*

Notas:

**Este tipo de sensor responde a la sensibilidad de  $\pm 3$  ppm de monóxido de carbono, a partir de este punto comienza a captar los niveles superiores de contaminación en una área especificada según la capacidad del sensor.**

**El rango de cobertura para el sensor MQ-7 para detección de monóxido de carbono es de 20 - 2000 ppm.**

## **4.9. Sensores de condiciones ambientales**

Para el diseño total del sistema de sensado de las condiciones ambientales que analizaremos a lo largo del funcionamiento del sistema serán las variables de temperatura, humedad, luminosidad y presión barométrica, este tipo de variables se tomaron de acuerdo con investigaciones previas, donde mencionan que tienen un impacto en la salud de las personas que están un espacio interior ya sea de oficina, estudio o sus casas. Se seleccionaron diversos sensores para la medición de cada variable ambiental, cada sensor cumple con especificaciones técnicas precisas que se necesitan para recolectar los datos sobre las condiciones ambientales, los sensores permiten la detección de luz blanca e infrarroja. Esta información se dirigirá hacia la plataforma principal donde se interpretará de manera adecuada.

### **4.9.1. Sensor de Humedad y temperatura**

El sensor de Humedad y Temperatura ambiental está equipado con un sensor capaz de medir la humedad relativa y temperatura en muchos tipos de ambientes.

De esta forma el sensor puede ser enterrado para obtener datos sobre la humedad del terreno en el ámbito de la jardinería y agricultura, instalado por ejemplo en cámaras de almacenamiento de alimentos, locales públicos con aire acondicionado, a la intemperie para fines meteorológicos, etc.

El sensor de temperatura y humedad es una herramienta valiosa debido a su amplio abanico de aplicaciones. Este sensor es ampliamente usado en el control de riego y cultivo de explotaciones agrícolas y de jardinería. Estas medidas ayudarán a las personas al cargo en la toma correcta de decisiones. (Iotsens, 2021)

## Características

- Montaje Superficie y Conducto, Encapsulado IP65
- Salidas analógicas configurables por el usuario
- Alta precisión tanto en humedad como en temperatura
- Excepcional compensación de temperatura a lo largo de todo el rango
- Sensor recubierto con protección contra la condensación y polución
- Display integrado opcional
- Fácil montaje y configuración (Iotsens, 2021)

### 4.9.2. Elección de sensor

#### Sensor digital de temperatura y humedad I2C – Si7021

El Si7021 es un sensor digital de humedad y temperatura digital de bajo costo y fácil de usar. Este sensor es ideal para la detección del medio ambiente y el registro de datos y es perfecto para la construcción de estaciones meteorológicas o un sistema de control de humedad. Todo lo que necesita son dos líneas para de comunicación I<sup>2</sup>C y tendrá lecturas de humedad relativa y lecturas de temperatura muy precisas como un bono!

Sólo hay cuatro clavijas que necesitan conectarse para comenzar a usar este sensor en un proyecto. Uno para VCC, uno para GND y dos líneas de datos para la comunicación I<sup>2</sup>C. Esta placa de montaje tiene resistencias de pull-up de 10 K $\Omega$  incorporadas para comunicaciones I<sup>2</sup>C.

#### Especificaciones técnicas

- Humedad:  $\pm 3\%$  RH (máx.), 0–80% RH
- Temperatura:  $\pm 0.4$  °C (máx.), –10 a 85 °C
- Rango operativo: 0 a 100% RH
- Rango operativo: –40 a +125 °C
- Voltaje de operación: (1.9 a 3.6 V)
- Modo Bajo consumo 150  $\mu$ A
- Modo standby: 60 nA
- Calibrado de fabrica

- Interfaz I2C
- Low-profile (Electronilab, 2020)



*Ilustración 11, Sensor de Humedad y Temperatura Si7021*

Notas:

**Este tipo de sensor responde a la sensibilidad de  $\pm 3\%$  en el caso de la humedad y  $\pm 0.4$  °C en el caso de la temperatura , a partir de este punto comienza a captar los niveles superiores de contaminación en una área especificada según la capacidad del sensor.**

**El rango de cobertura para el sensor humedad es de 0 – 100% RH y para el caso de la temperatura el rango de cobertura es de -40 – 125 °.**

#### **4.9.3. Sensor de Luminosidad**

Un sensor de luminosidad o crepuscular es un dispositivo que ofrece la posibilidad de encender o apagar las luces de un área determinada automáticamente en función de la luz ambiental e independientemente de la temperatura o humedad existente.

Cabe destacar que este tipo de sensores se pueden instalar tanto en el interior como en el exterior del hogar. Sin duda, el sensor de luz es uno de los elementos más buscados por parte de las personas que desean domotizar su vivienda para mejorar su calidad de vida, así como ahorrar una cantidad considerable en el consumo de luz mensual.

Pero el sensor de luminosidad no solo sirve para controlar la iluminación de la vivienda, sino que también resulta de gran utilidad para regular las persianas y lograr que suban o bajen

dependiendo de la cantidad de luz que incida en ellas. Por tanto, este sensor puede tener dos funcionalidades muy prácticas que facilitará en gran medida la vida de los inquilinos.

Este tipo de sensores permiten la automatización de la instalación eléctrica gracias a la acción del chip fotocelular que incorporan, el cual detecta la diferencia existente entre un ambiente diurno y nocturno para encenderse o apagarse, según cada momento.

Aunque normalmente el sensor de luminosidad suele instalarse en el interior de la vivienda, también es muy práctica su incorporación en un espacio exterior, como una terraza o un jardín, para disfrutar de cualquier situación con total comodidad. (Integrada, 2018)

#### **4.9.4. Elección de sensor**

VEML7700 – Sensor de luz I2C Lux

La mayoría de los sensores de luz solo le dan un número para una iluminación ambiental más brillante / más oscura. El VEML7700 hace más fácil al calcular los luxes, que es una unidad SI para la luz. Obtendrá lecturas más consistentes entre varios sensores porque no está tratando con algunos valores sin unidades.

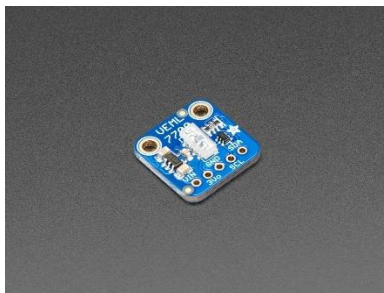
El sensor tiene un rango dinámico de 16 bits para la detección de luz ambiental desde 0 lux hasta aproximadamente 120 klux con resolución de hasta 0,0036 lx / ct, con ganancia de software ajustable y tiempos de integración.

Este sensor utiliza I2C simple y universal. Colocamos este sensor en una board con un regulador de 3.3V y un conversor de nivel lógico para que pueda usarlo con microcontroladores de potencia / lógica de 3.3V o 5V. Hemos escrito librerías para Arduino (C / C++) y también para CircuitPython (Python 3), por lo que puedes usar este sensor con casi cualquier tipo de dispositivo, ¡incluso una Raspberry Pi!

Especificaciones técnicas:

- Fuente de alimentación: 3,3 o 5 Vdc
- Interfaz: I2C
- Dirección I2C: 0x10 (no modificable)

- Rango de medición: 0 a 120.000 lux en 16 bits
- Precisión: 0,0036 lux / ct
- Salida del regulador: 3,3 Vdc / 100 mA máx.
- Dimensiones: 17x17mm x 4mm (Electronilab, Electronilab, 2020)



*Ilustración 12, Sensor de Lux VEML7700*

Notas:

**Este tipo de sensor responde a la sensibilidad de 0.0072 lux, a partir de este punto comienza a captar los niveles superiores de contaminación en una área especificada según la capacidad del sensor.**

**El rango de cobertura para el sensor VEML7700 para detección de luminosidad en áreas de trabajo es de 0 – 120000 lux.**

#### **4.9.5. Sensor de presión barométrica**

El sensor de presión barométrica está diseñado para leer la presión atmosférica y de esta forma estimar indirectamente la Altura sobre el nivel del mar. La presión atmosférica es la fuerza que ejerce el aire (atmósfera) sobre la superficie de la tierra. La presión atmosférica se debe al peso de la columna de aire sobre determinada área, es por esta razón que al medir la presión atmosférica en puntos con mayor altitud, el valor de la presión es menor por ser menor la cantidad de aire. La presión atmosférica también varía con el clima, principalmente con la temperatura, pues esta hace cambiar la densidad del aire, que se ve reflejado en un cambio en el peso y por consiguiente en un cambio de presión.

Entonces, la presión atmosférica varía con la temperatura y la altitud, estas dos variables son las más representativas para el cambio de presión. Factores como la humedad relativa y la velocidad del viento también influyen en la presión atmosférica en menor forma y pueden ser obviados. (Mceatronics, 2019)

#### **4.9.6. Elección de sensor**

Este sensor de presión de Freescale es una excelente solución de detección de bajo costo para medir la presión barométrica. Con una resolución de 1.5 hPa, no es tan preciso como nuestro sensor de presión favorito, el BMP085, que tiene una resolución de hasta 0.03 hPa, por lo que no lo sugerimos como un altímetro de precisión. Sin embargo, es ideal para la detección de presión barométrica básica. El sensor está soldado a una PCB con resistencias pull-up de 10K en el I2C alfileres.

Este chip es bueno para usar con voltajes lógicos y de potencia que van de 2.4V a 5.5V, por lo que puede usarlo con su microcontrolador de 3V o 5V. Hay un sensor de temperatura básico en el interior, pero no hay especificaciones en la hoja de datos, por lo que no estamos seguros de qué tan preciso es

Especificaciones técnicas:

- Peso de PCB: 0.61g
- $V_{in}$ : 2.4 a 5.5 VDC
- Lógica: compatible con 3 a 5V
- Rango de detección de presión: 500-1150 hPa (hasta 10Km de altitud)
- Resolución de altitud 1.5 hPa / 50 m
- Esta placa / chip utiliza I2C Dirección de 7 bits 0x60

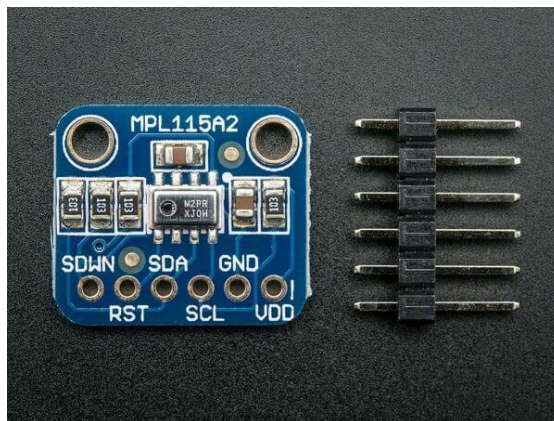


Ilustración 13, Sensor de presión barométrica MPL115A2

Notas:

**Este tipo de sensor responde a la sensibilidad de 500 hPa, a partir de este punto comienza a captar los niveles superiores de contaminación en una área especificada según la capacidad del sensor.**

**El rango de cobertura para el sensor MPL115A2 para detección de presión en áreas de trabajo es de 50 KPa – 115 KPa.**

#### 4.10. Sistema de Ventilación

Los sensores del tipo de óxido metálico que se utilizaran en el sistema están expuestos directamente al químico o gas que se va a estudiar, por esta razón es posible que en los sensores tenga restos de los químicos que quedan adheridos en la membrana del sensor. Por lo que es adecuado realizar una limpieza posterior, los sensores MQ-7 Y SGP30 del tipo MOX, por esto es necesario que se adecue un sistema de ventilación apropiado.

Los sensores para que posean un correcto funcionamiento deben estar ubicados de manera adecuada y estratégicas, donde el sistema de ventilación pueda estar en la entrada y salida del sistema con el fin de dar exactitud y precisión a cada una de las medidas de los sensores. Para adecuar un sistema de ventilación es necesario conocer el funcionamiento de los sensores del tipo de óxido metálico, los sensores tienen tres etapas donde necesita un tipo de ventilación, la primera etapa es la de flujo de aire para retirar partículas adheridas al sensor,

la segunda etapa de ingreso de la muestra que permite que el contenedor reciba la muestra y sea medida y la tercera etapa es la lectura de los sensores.



*Ilustración 14, Fases de medición del Oxido Metálico*

La configuración del sistema de ventilación, con cada uno de los componentes. El sistema consiste en dos partes, el primero de los sensores de tipo MOX, MQ-7 y SGP30, donde se ubicarán los dos ventiladores, uno en cada extremo, uno a la entrada del sistema y el segundo se colocará en la salida del sistema.

El funcionamiento del sistema se dividirá en 3 fases para que los sensores obtengan mejor precisión al momento de realizar las mediciones. La primera de las fases se involucrará el ingreso para el filtrado del aire, que se activan con los dos ventiladores, tanto el que está ubicado en la entrada y el que está en la salida. En la segunda fase que es la de ingreso de la muestra, permite la entrada de aire del medio ambiente, esto también se registrará por un tiempo para la recolección de la muestra dependiendo la configuración global del sistema, por último la etapa medición se procede a leer los datos obtenidos por los sensores, este proceso será repetitivo para que los sensores capturen todo de manera correcta.

## **4.11. Sistema de comunicación**

### **4.11.1. Redes inalámbricas (WSN)**

Las redes inalámbricas de sensores (WSN - Wireless Sensor Network), se basan en dispositivos de bajo coste y consumo (nodos) que son capaces de obtener información de su entorno, procesarla localmente, y comunicarla a través de enlaces inalámbricos hasta un nodo central de coordinación. Los nodos actúan como elementos de la infraestructura de comunicaciones al reenviar los mensajes transmitidos por nodos más lejanos hacia al centro de coordinación. La red de sensores inalámbricos está formada por numerosos dispositivos

distribuidos espacialmente, que utilizan sensores para controlar diversas condiciones en distintos puntos, entre ellas la temperatura, el sonido, la vibración, la presión y movimiento o los contaminantes. Los sensores pueden ser fijos o móviles. Los dispositivos son unidades autónomas que constan de un microcontrolador, una fuente de energía (casi siempre una batería), un radio transceptor (RF) y un elemento sensor.

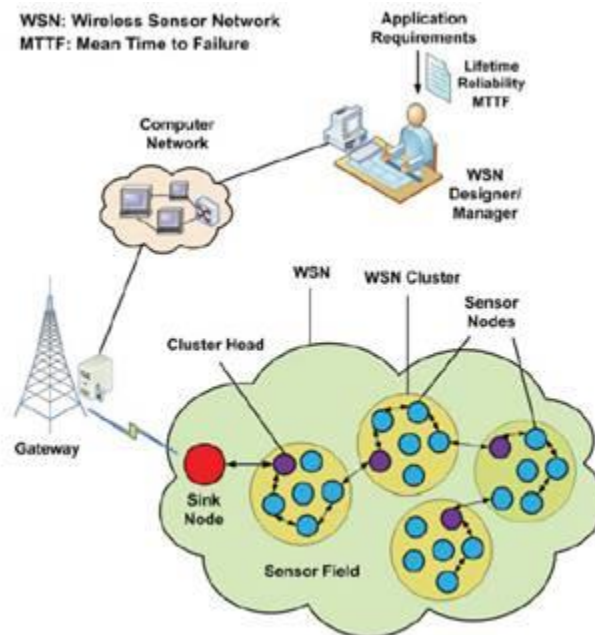


Ilustración 15, Red inalámbrica WSN

Debido a las limitaciones de la vida de la batería, los nodos se construyen teniendo presente la conservación de la energía, y generalmente pasan mucho tiempo en modo ‘durmiente’ (sleep) de bajo consumo de potencia. Las WSN tienen capacidad de auto restauración, es decir, si se avería un nodo, la red encontrará nuevas vías para encaminar los paquetes de datos. De esta forma, la red sobrevivirá en su conjunto, aunque haya nodos individuales que pierdan potencia o se destruyan. Las capacidades de autodiagnóstico, auto-configuración, auto-organización, auto restauración y reparación, son propiedades que se han desarrollado para este tipo de redes para solventar problemas que no eran posibles con otras tecnologías. Las redes de sensores se caracterizan por ser redes desatendidas (sin intervención humana), con alta probabilidad de fallo (en los nodos, en la topología), habitualmente construidas ad-hoc para resolver un problema muy concreto (es decir, para ejecutar una única aplicación). (Barcell, 2020)

#### **4.11.2. Arquitectura de la red sensores**

La red de sensores consiste en la implementación de un nodo servidor y cuatro nodos de medición que se ubicara en las cuatro plataformas de multisensado, donde establecimos previamente que dos de ellas son móviles y las otras dos son del tipo estáticas. Cada uno de los nodos de medición funcionaran mediante Wi-Fi para establecer cada una de las conexiones con el nodo servidor a través de un router, el protocolo de comunicación que usaremos es el MQTT, porque es de bajo consumo de red, ofrece una comunicación bidireccional y su capacidad para ser implementado en microprocesadores.

El nodo servidor está compuesto por servicios de recepción, distribución, almacenamiento y presentación de los datos que se estarán midiendo.

#### **4.11.3. Protocolo MQTT**

MQTT son las siglas MQ Telemetry Transport, aunque en primer lugar fue conocido como Message Queing Telemetry Transport. Es un protocolo de comunicación M2M (machine-to-machine) de tipo mensaje.

Está basado en la pila TCP/IP como base para la comunicación. En el caso de MQTT cada conexión se mantiene abierta y se "reutiliza" en cada comunicación. Es una diferencia, por ejemplo, a una petición HTTP 1.0 donde cada transmisión se realiza a través de conexión.

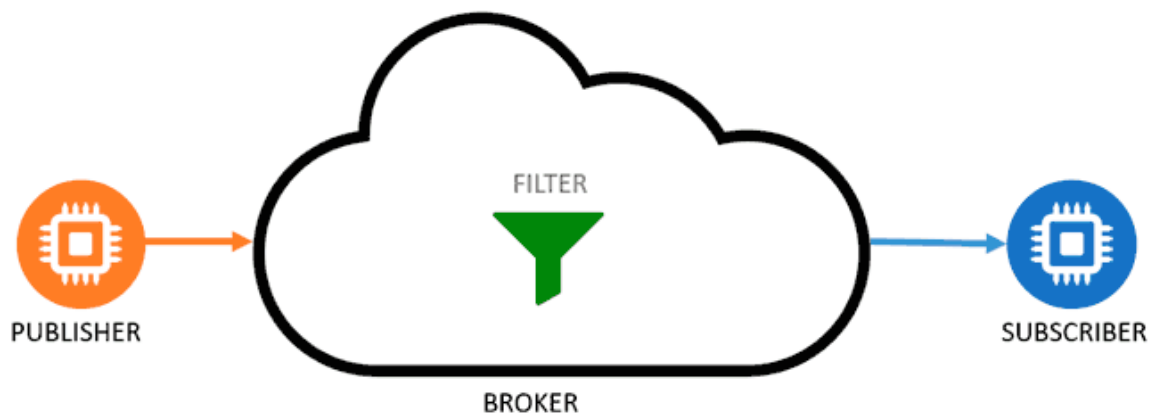
MQTT fue creado por el Dr. Andy Stanford-Clark de IBM y Arlen Nipper de Arcom (ahora Eurotech) en 1999 como un mecanismo para conectar dispositivos empleados en la industria petrolera.

Aunque inicialmente era un formato propietario, en 2010 fue liberado y pasó a ser un estándar en 2014 según la OASIS (Organization for the Advancement of Structured Information Standards).

El funcionamiento del MQTT es un servicio de mensajería push con patrón publicador/suscriptor (pub-sub). Como vimos en la entrada anterior, en este tipo de infraestructuras los clientes se conectan con un servidor central denominado broker.

Para filtrar los mensajes que son enviados a cada cliente los mensajes se disponen en topics organizados jerárquicamente. Un cliente puede publicar un mensaje en un determinado

topic. Otros clientes pueden suscribirse a este topic, y el broker le hará llegar los mensajes suscritos.



*Ilustración 16, Protocolo MQTT*

Los clientes inician una conexión TCP/IP con el broker, el cual mantiene un registro de los clientes conectados. Esta conexión se mantiene abierta hasta que el cliente la finaliza. Por defecto, MQTT emplea el puerto 1883 y el 8883 cuando funciona sobre TLS. (Llamas, 2019)

#### **4.11.4. Topología MQTT**

MQTT (Message Queue Telemetry Transport), un protocolo usado para la comunicación machine-to-machine (M2M) en el “Internet of Things”. Este protocolo está orientado a la comunicación de sensores, debido a que consume muy poco ancho de banda y puede ser utilizado en la mayoría de los dispositivos empotrados con pocos recursos (CPU, RAM, ...).

Un ejemplo de uso de este protocolo es la aplicación de Facebook Messenger tanto para Android y iPhone. La arquitectura de MQTT sigue una topología de estrella, con un nodo central que hace de servidor o “broker”. El broker es el encargado de gestionar la red y de transmitir los mensajes, para mantener activo el canal, los clientes mandan periódicamente un paquete (PINGREQ) y esperan la respuesta del broker (PINGRESP). La comunicación puede ser cifrada entre otras muchas opciones.

En esta forma de comunicación se desacoplan los clientes que publican (Publisher) de los que consumen los datos (Suscribers). Eso significa que los clientes no se conocen entre ellos

unos publican la información y otros simplemente la consumen, simplemente todos tienen que conocer al message broker.

El desacoplamiento se produce en tres dimensiones:

- En el espacio: El publicador y el suscriptor no tienen por qué conocerse.
- En el tiempo: El publicador y el suscriptor no tienen por qué estar conectados en el mismo momento.
- En la sincronización: las operaciones en cualquiera de los dos componentes no quedan interrumpidas mientras se publican o se reciben mensajes.

Es precisamente el broker el elemento encargado de gestionar la red y transmitir los mensajes. (Arduino, 2018)

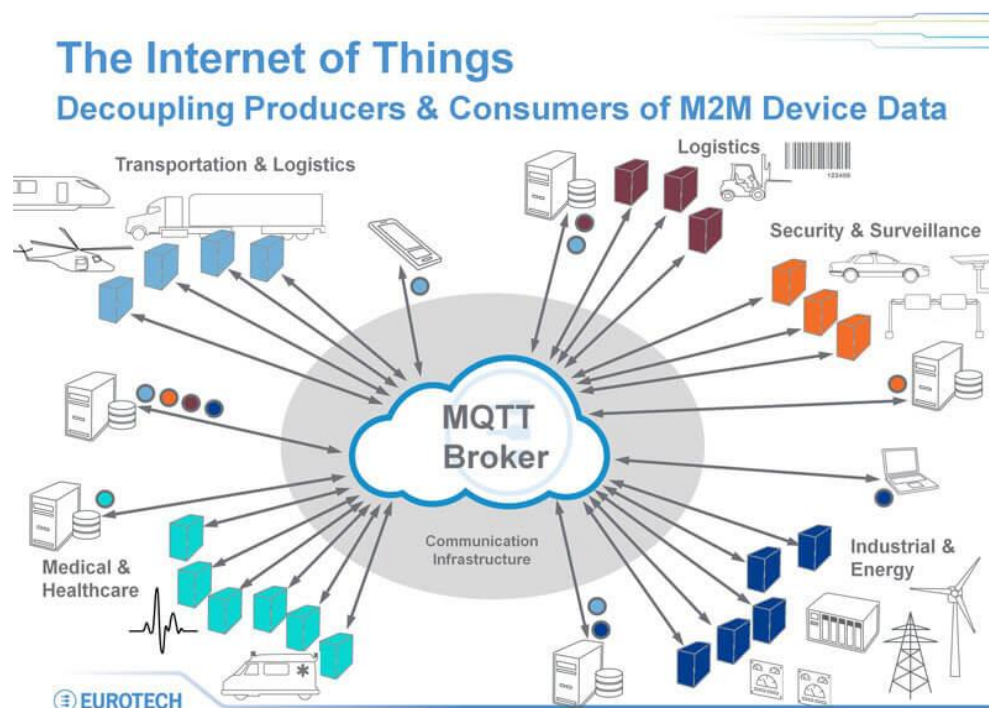


Ilustración 17, Topología MQTT

#### 4.11.5. Proceso KeepAlive

Keep alive (mecanismos de mantenimiento de conexiones) se refiere generalmente a las conexiones de comunicación en una red que no están terminadas pero que se mantienen hasta que el cliente o servidor interrumpe la conexión. La característica clave de mantener las keep

alive es el envío de un mensaje sin contenido entre un servidor y un cliente. Con este mensaje, uno de los usuarios de la red (cliente o servidor) puede controlar si la conexión se mantendrá y evitar que se cancele. Si la conexión todavía está disponible, se puede utilizar para el intercambio de datos.

Las conexiones Keep alive también se denominan HTTP keep-alive, conexiones HTTP persistentes y reutilización de conexiones HTTP. El protocolo HTTP 1.1 soporta keep-alive por defecto, y también utiliza la canalización HTTP para procesar peticiones en lotes. HTTP 2 amplía el proceso de conexiones persistentes con opciones adicionales (por ejemplo, multiplexación). (Ryte, 2018)

## 4.12. Sistema de control

El sistema de control de este proyecto se utilizará una tarjeta de control con el uso de la tecnología y el protocolo de comunicación IoT, el cual en la era actual tiene un gran impulso debido a la facilidad y estabilidad que ofrece un manejo de información entre los dispositivos, se comunican por medio de Wi-Fi y bluetooth, que cada uno de estos medios permite establecer protocolos de comunicación, envío y análisis de datos. Para el montaje de este proyecto será la ESP32 que es fabricada por la empresa Espressif, esta tarjeta tiene las características de poder controlar de cada uno de los sensores ya sea de calidad de aire o condiciones ambientales, la principal cualidad del controlador es que posee un procesador de dos núcleos, que tiene la facultad de realizar procesos de manera paralela e individual.

*Tabla 5, Especificaciones técnicas de la tarjeta ESP32*

**Especificaciones técnicas de la tarjeta ESP32 WROOM32D**

Parámetro	Valor
Nombre	ESP32-WROOM32D
Procesador	2 CPU - Xtensa® 32-bit LX6 MCU
Alimentación	3.0 V ~ 3.6 V
Pines	34 pines programables
Pines PWM	8
Conversores ADC	18 canales de 12 bits
Conversores DAC	2 de 8 bits
Frecuencia de operación	240MHz, 160MHz, 80MHz
Interfaces de conexión	2 - I <sup>2</sup> C, 2 - I <sup>2</sup> S, 3 - UART
Consumo de corriente	~250mA
Memoria flash	4MB, 8MB y 16MB
Timers	4 de 64 bits y 16bits de prescalador
Sensores Touch capacitivos	10
Sensor Hall	1

Cada una de las plataformas debe poseer una tarjeta ESP32 que como se menciona es la encargada de realizar la lectura que los sensores (MQ7, CO2, Analógico infrarrojo), la lectura de datos del proyecto se realizara de acuerdo con periodos medidos de tiempo establecidos

con el fin de realizar con un número estimado de capturas de muestras en los cuatro puntos de sensado dentro del entorno.

#### **4.12.1. Tarjeta ESP32**

A medida que la automatización industrial se acelera, los ingenieros en la fábrica trabajan para conectar los sistemas a internet de las cosas (IoT), lo que, en muchos sentidos, ha hecho que las plantas de fábrica más antiguas queden en el pasado. Sin embargo, tanto para sistemas nuevos como heredados, la conectividad inalámbrica a IoT mediante Wi-Fi o Bluetooth se ha hecho relativamente simple utilizando módulos y kits ESP32.

Creado y desarrollado por Espressif Systems, ESP32, una serie de microcontroladores de bajo costo y de bajo consumo con sistema en chip con Wi-Fi y Bluetooth de modo dual integrados, es un avance para los ingenieros de automatización que no quieren verse envueltos en los matices de la radiofrecuencia (RF) y el diseño inalámbrico. Como una radio combinada Wi-Fi/Bluetooth de bajo costo, la serie ha ganado popularidad no solo entre los aficionados sino también entre los desarrolladores de IoT. Su bajo consumo de energía, sus múltiples entornos de desarrollo de código abierto y sus bibliotecas la hacen perfectamente adecuada para desarrolladores de todo tipo.

Sin embargo, la serie ESP32 viene en tantos módulos y placas de desarrollo diferentes que puede ser difícil seleccionar los modelos correctos.

Este artículo presenta soluciones de la serie ESP32 y muestra cómo los desarrolladores pueden identificar el módulo y la placa de desarrollo correctos para comenzar a conectar su aplicación a IoT.

El módulo ESP32 es una solución de Wi-Fi/Bluetooth todo en uno, integrada y certificada que proporciona no solo la radio inalámbrica, sino también un procesador integrado con interfaces para conectarse con varios periféricos. El procesador en realidad tiene dos núcleos de procesamiento cuyas frecuencias operativas pueden controlarse independientemente entre 80 megahercios (MHz) y 240 MHz. Los periféricos del procesador facilitan la conexión a una variedad de interfaces externas. (Benigno, 2020)

## Consejos y trucos para trabajar con el ESP32

Comenzar a usar el ESP32 no es difícil, y una búsqueda en la web proporcionará descripciones detalladas de cómo configurar los diversos entornos de software. Dicho esto, hay muchos detalles y muchas decisiones que deben tomar en cuenta los desarrolladores que trabajan con el ESP32 por primera vez. A continuación, se brindan algunos "consejos y trucos" para comenzar:

- Identifique y configure cuidadosamente los pines de arranque de un módulo (MTDI, GPIO0, GPIO2, MTDO y GPIO5) para cargar una aplicación desde la fuente de memoria correcta (flash interna, QSPI, descarga, habilitar/deshabilitar mensajes de depuración).
- Establezca la velocidad de transmisión en baudios de salida en serie a la misma velocidad en baudios que tiene el firmware de arranque del ESP32. Esto permitirá el monitoreo de los mensajes de arranque del ESP32 y los mensajes de depuración de la aplicación, sin reconfigurar la velocidad de transmisión en baudios.
- Los usuarios que no tienen experiencia en programación embebida deben grabar MicroPython en el ESP32 para que el código de la aplicación pueda escribirse en el lenguaje del script de Python, que es fácil de aprender.
- Para la aplicación, busque en internet ejemplos y bibliotecas para el ESP32 para acelerar el desarrollo y la integración de la aplicación (ya hay muchos ejemplos excelentes disponibles).
- Durante el diseño, asegúrese de que los pines de interconexión de arranque se puedan usar para arrancar en el modo de actualización. Esto hará que sea muy fácil actualizar el firmware en el campo.

Los desarrolladores que siguen estos consejos y trucos verán que pueden ahorrarse mucho tiempo y muchos inconvenientes al trabajar con el ESP32 por primera vez. (Benigno, 2020)

# ESP32 ESP32S 30P

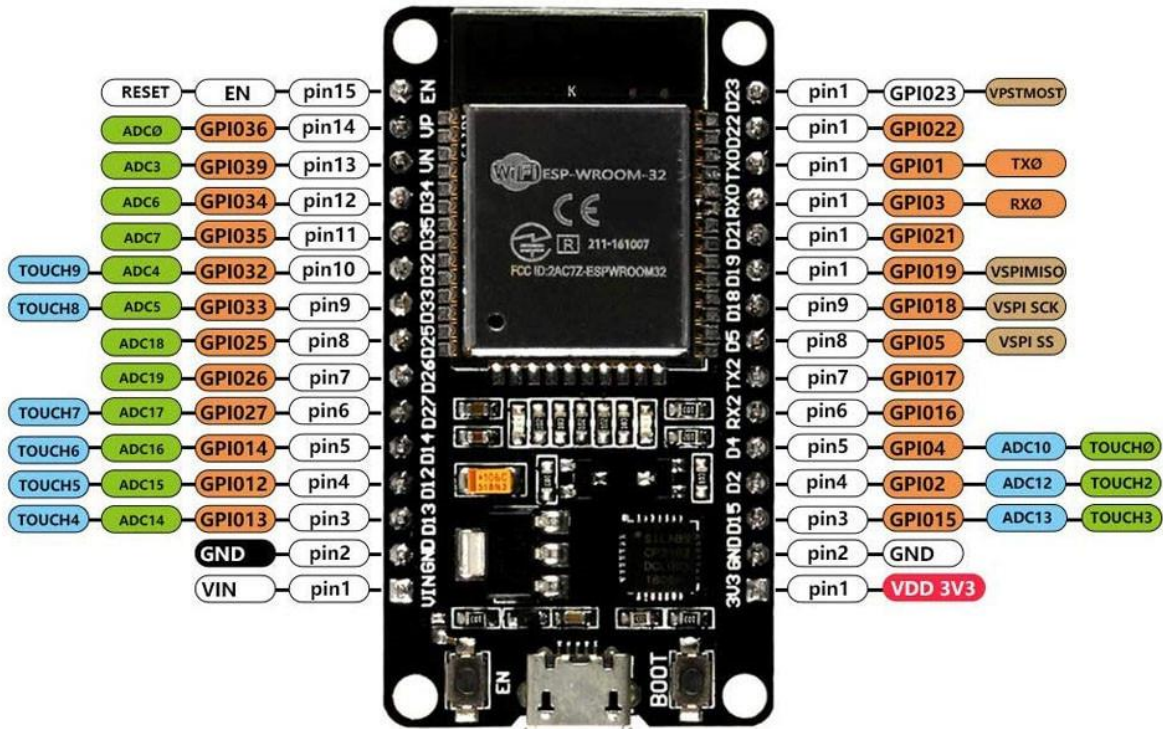


Ilustración 18, Tarjeta ESP32

Tabla 6, Ubicación de pines en la tarjeta ESP32

Pines	Conexión
<b>3V3</b>	Alimentación de 3.3V para los sensores I <sup>2</sup> C: SGP30, Si7021, VEML9900, MPL115A2
<b>GPIO16</b>	Pin de Control para encendido y apagado de los sensores I <sup>2</sup> C
<b>GPIO17</b>	Pin de Control para encendido y apagado de los sensores químicos
<b>GPIO18</b>	Pin de Control ON/OFF para el ventilador "Fan1"
<b>GPIO19</b>	Pin de Control ON/OFF para el ventilador "Fan2"
<b>GPIO21</b>	Pin de comunicación SDA para sensores I <sup>2</sup> C (SGP30, Si7021, MPL115A2, VEML7700)
<b>GPIO3</b>	Pin RX UART del sensor Gravity Analog Infrared CO <sub>2</sub>
<b>GPIO1</b>	Pin TX UART del sensor Gravity Analog Infrared CO <sub>2</sub>
<b>GPIO22</b>	Pin de comunicación SCL para sensores I <sup>2</sup> C (SGP30, Si7021, MPL115A2, VEML7700)
<b>VIN</b>	Pin de alimentación de la tarjeta, entrada a 5v
<b>GPIO14</b>	Pin de conexión a un botón para ejecutar acciones de sincronización
<b>GPIO27</b>	

7

Pines	Conexión
<b>GPIO26</b>	Pin de comunicación al sistema de control de la plataforma robótica
<b>GPIO25</b>	Pin de comunicación al sistema de control de la plataforma robótica
<b>GPIO33</b>	Pin de comunicación al sistema de control de la plataforma robótica
<b>GPIO35</b>	Pin de lectura analógica del sensor de CO (MQ-7)
<b>GPIO34</b>	Pin analógico de reserva
	Pin analógico de reserva

### 4.13. Sistema de alimentación

Esta etapa del proyecto es fundamental en cada una de las estaciones de multisensado, porque es la encargada de proporcionar la energía suficiente a todo el sistema para que funcione de manera idónea. Conociendo cada uno de los componentes electrónicos que utilizaremos para el análisis de nuestras variables de calidad de aire y condiciones ambientales, debemos establecer los periodos de tiempo por el cual estará funcionando el

sistema, con el fin de determinar el consumo por componente y sistema en general para determinar un fuente de alimentación principal.

Realizar esta actividad de diseño del sistema de alimentación tomando en cuenta los requerimientos de energía de cada componente en cada una de las estación, donde están los sensores, actuadores y la tarjeta principal. En el análisis con base a los requerimientos de lo analizado por componentes tanto en su tensión o en su corriente, debemos tener un sistema de alimentación que se distribuya de manera adecuada por todo el sistema y subsistema de forma correcta.

La fuente principal de alimentación del sistema se seleccionó a 12V mediante una batería de tipo LiPo para su distribución al sistema de ventilación de forma eficiente y su regulación a 5 V y 3.3V para el resto de los sistemas. En cuanto a la selección del regulador adecuado para la regulación a 5V se determinó en base al consumo de corriente de todos los componentes que funcionan con este nivel de tensión. Se debe tomar en cuenta que el regulador de 3.3V interno de la tarjeta es de tipo lineal, por lo que la corriente consumida por los sensores a este nivel de tensión será la misma que a la entrada del regulador.



*Ilustración 19, Batería Lipo de 12V*

#### **4.13.1. Rango de trabajo del sistema de multisensado**

Tomando en cuenta la fuente de alimentación que estamos por utilizar para nuestra plataforma de multisensado, como necesitamos que se proporcione energía a todo el sistema para un funcionamiento ideal. Analizando cada una de las variables de calidad de aire y condiciones ambientales en un espacio interior es un proceso lento, donde se

deben implementar extensos períodos de trabajo para obtener información tangible sobre lo que deseamos analizar. Por ello se considera que un periodo de tiempo de 6 horas es adecuado para que el sistema funcione de manera idónea. Se analiza el consumo total del sistema de medición y el sistema de alimentación.

Como ya conocemos la tensión, corriente y potencia de cada sensor y ventilador que se estará utilizando en el sistema global de multisensado, calculamos la corriente mediante la elección del regulador DC y por su parte el sistema de ventilación con la elección de los dos ventiladores que funcionan a 12V

C1: Consumo del sistema de medición

C2: Sistema de ventilación

$$C = \text{Consumo} * \text{Tiempo}$$

$$C_1 = 200 \text{ mA} * 6 \text{ hrs} = 1200 \text{mAh}$$

$$C_2 = 220 \text{ mA} * 1:30 \text{ hrs} = 330 \text{mAh}$$

$$C_T = 1200 \text{mAh} + 330 \text{mAh} = 1530 \text{mAh}$$

$$C' = \frac{1530}{90\%} = 1700 \text{mAh}$$

Este valor nos da la garantía que nuestra batería es la adecuada para el sistema, ya que la batería que seleccionamos es de 2200 mAh.

#### 4.14. Análisis de costos de implementación

Sistema	Componente	Unidades	Costo Unitario	Costo total
Sistema de medición	Sensor MQ-7 (CO)	4	\$9.99	\$39.96
	Sensor Gravity Infrared (CO2)	4	\$52.20	\$208.80
	Sensor SGP30 (Calidad de aire)	4	\$6.33	\$25.32
	Sensor Si7021 (Humedad y temperatura)	4	\$7.69	\$30.76
	Sensor VEML7700 (Luminosidad)	4	\$26.30	\$105.20
	Sensor MPL115A2 (Presión)	4	\$9.00	\$36.00
Sistema de ventilación	Ventiladores DC	4	\$2.50	\$10.00
	Ventiladores DC	4	\$2.50	\$10.00
Sistema de control principal	Controlador ESP32	4	\$6.00	\$24.00
				\$490.04

**Nota cada uno de los componentes como el controlador o sensores del tipo químico y de condiciones ambientales de la plataforma está libre de licencias que limiten su uso. Por lo tanto su uso no requiere ningún costo extra.**

#### **4.15. Análisis de ubicación de una plataforma multisensado**

Este punto tendremos por objetivo determinar cómo se distribuirá las 4 plataformas de multisensado, tomando en cuenta que dos de ellas serán estáticas y las otras dos plataformas serán móviles, es decir que se moverán en un rango de espacio predeterminado y controlado a conveniencia.

Considerando que el proyecto está enfocado a las instalaciones de la universidad Ceutec, considerando que la mayor parte de sus aulas son de dimensiones pequeñas, como puede ser de 8 metros cuadrados y en sus aulas de laboratorio puede ser de 10 a 12 metros cuadrados, Teniendo en cuenta las dimensiones de las aulas de Ceutec se puede determinar cómo se podrán ubicar las 4 plataformas de multisensado para que se cubra la mayor parte del área del aula.

Con esta información se puede ubicar las 2 plataformas estáticas de manera centrada una frente a la otra, para tener un control de la parte central del aula, donde cada sensor realizara su ciclo de trabajo, por su parte se puede determinar que las dos plataformas móviles se transporten por los laterales de las aulas realizando el monitoreo de esa zona dando una cobertura total del aula, se debe tomar en cuenta que las plataformas móviles deben tener un rango inicial y límite para evitar que al momento que este trabajando no exista ningún percance.

## **V. Metodología**

### **5.1. Enfoque y métodos**

Actualmente existen dos enfoques principales de la investigación que son el cualitativo que recolecta la información sin medición numérica y el cuantitativo que busca la recolección de información mediante la medición numérica y análisis estadístico, El enfoque utilizado en esta investigación es el cuantitativo el cual utiliza la recolección y el análisis de datos para contestar preguntas de investigación y probar hipótesis estadística previamente, y confía en la medición numérica, el conteo y el uso de la estadística para tratar establecer con exactitud patrones en una población. Regularmente el estudio cuantitativo elige una idea, que transforma en una o varias preguntas de investigación relevantes; para después derivar las hipótesis y definir las variables; se desarrolla un plan para probar la hipótesis el cual consiste en diseñar la investigación, este método nos permite determinar y medir las variables para poder llegar a una conclusión. (Gomez, 2006)

La investigación tiene un enfoque cuantitativo y descriptivo. El enfoque cuantitativo lo define (Roberto Hernández Sampieri, Carlos Fernández Collado, & Pilar Baptista Lucio, 2014) como:

“El enfoque cuantitativo utiliza la recolección y el análisis de datos para contestar preguntas de investigación y probar hipótesis establecidas previamente, y confía en la medición numérica, el conteo y frecuentemente en el uso de la estadística para establecer con exactitud patrones de comportamiento en una población”

(Roberto Hernández Sampieri et al., 2014) menciona que las investigaciones cuantitativas se basan en la recolección de datos para probar hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico para establecer patrones de comportamiento.

#### **Características de la investigación cuantitativa**

La Metodología Cuantitativa es aquella que permite examinar los datos de manera numérica, especialmente en el campo de la Estadística.

Para que exista Metodología Cuantitativa se requiere que entre los elementos del problema de investigación exista una relación cuya Naturaleza sea lineal. Es decir, que haya claridad entre los elementos del problema de investigación que conforman el problema, que sea posible definirlo, limitarlos y saber exactamente donde se inicia el problema, en cual dirección va y que tipo de incidencia existe entre sus elementos.

Los elementos constituidos por un problema de investigación Lineal se denominan: variables, relación entre variables y unidad de observación.

## **5.2. Muestra**

### Muestra no probabilística

En cuanto a la muestra no probabilística (llamada también muestra dirigida), se menciona que la “elección de los elementos no depende de la probabilidad, sino de causas relacionadas con las características del investigador o del que hace la muestra”, Por lo tanto, procedimiento a seguir no es mecánico, ni se basan en fórmulas de probabilidad, ya que depende del proceso de toma de decisiones de una persona o grupo de personas. Una ventaja de este tipo de muestra se refleja en la utilidad para un determinado diseño de estudio que más que requerir una representatividad de los elementos de una población, se enfoca más en “una cuidadosa y controlada selección de sujetos con ciertas características especificadas previamente”.

### Población:

Está compuesto por personas cercanas al investigador (20) con el conocimiento en el uso de sensores capaces en la detección de gases y condiciones ambientales.

Una de las características que se cuestionará será el conocimiento sobre los riesgos que existen por la exposición a mala calidad de aire y condiciones ambientales en espacios interiores como aulas, oficinas o residencias.

**CALCULO TAMAÑO DE MUESTRA FINITA**

Parametro	Insertar Valor
N	20
Z	1.960
P	50.00%
Q	50.00%
e	3.00%

Tamaño de muestra  
"n" =  
**19.65**

$$n = \frac{N * Z_{\alpha}^2 * p * q}{e^2 * (N - 1) + Z_{\alpha}^2 * p * q}$$

**n** = Tamaño de muestra buscado

**N** = Tamaño de la Población o Universo

**Z** = Parámetro estadístico que depende el Nivel de Confianza (NC)

**e** = Erro de estimación máximo aceptado

**p** = Probabilidad de que ocurra el evento estudiado (éxito)

**q** = Probabilidad de que no ocurra el evento estudiado

Nivel de confianza	Z <sub>alfa</sub>
99.7%	3
99%	2.58
98%	2.33
96%	2.05
95%	1.96
90%	1.645
80%	1.28
50%	0.674

*Ilustración 20, Precisión de muestra*

**“En conclusión tendremos una muestra de 20 personas con conocimientos en ingeniería, uso de sensores, fuentes de alimentación y microcontroladores”**

La muestra para este estudio se analizó y se constató que se debe aplicar a 20 personas del ámbito de ingeniería, estas personas previamente se les pregunto el grado académico antes de aplicarles una encuesta que tiene como fin obtener el nivel de conocimiento sobre sistemas de calidad del aire y condiciones ambientales. Una vez se determinó que las personas poseen ese grado académico de ingeniería se determinó utilizar dos empresas para la obtención de diversas respuestas. El fin de tener dos empresas es saber si en ellos existen estos sistemas de monitoreo de calidad del aire y condiciones, también si sus ingenieros están al tanto de sensores poco comunes del tipo químico y por último saber en el caso determinado que no exista este tipo de tecnología les gustaría que fuera implementado en sus lugares de trabajo. Las empresas que se encuestaron son Tecnología Transaccional e Igetel que son empresas especializadas en aspectos fundamentales de ingeniería y uso de sensores.

### **Tecnología Transaccional**

HONDURAS

Boulevard Morazán, Centro Comercial El Dorado, Nivel 7, Tegucigalpa. Honduras, C.A.

### **Igetel (Ingeniería en telecomunicaciones y sistemas S.A.)**

HONDURAS

Colonia Payaqui, Calle Principal, Casa # 1640, Tegucigalpa

### **5.3. Técnicas e instrumentos aplicados**

#### **Técnicas**

- Investigación documental.
- Entrevistas.
  - Cuestionarios con preguntas iguales, para obtener un resultado concreto.
  - Se buscan respuestas claras que ayuden la investigación.
  - Las preguntas deben ser sencillas, para evitar confusión en los entrevistados.
- Investigaciones previas (nacional e internacional)

#### **Encuestas**

La encuesta es una herramienta que nos permite realizar una serie de preguntas para poder reunir la información que necesitamos para la resolución de un problema, el objetivo de la encuesta es obtener información relativa predominante de una población mediante la aplicación de procesos de interrogación y registro de datos. La encuesta es una actividad bien ejecutada y planteada para indagar y obtener datos sobre hechos, conocimientos, opiniones, juicios y motivaciones. Esto se logra a través de las respuestas orales o escritas a un conjunto de preguntas previamente diseñadas que se aplican en forma masiva. La encuesta es un medio para conocer lo que otros piensan, al hacerlos hablar y escucharlos. En general, el hombre tiene necesidad de comunicarse y esto puede aprovecharse en beneficio de la encuesta. (Córdoba, 2002)

#### **Entrevistas**

La entrevista es una herramienta que nos ayuda obtener información sobre un tema determinado. El impartir y obtener información son instancias ineludibles de cualquier organización, la herramienta más eficaz para la obtención de información es la entrevista, puesto que se trata de un instrumento de precisión que nos ayuda en la medida en que se sostienen en la interacción humana. Esta técnica se ha convertido en una herramienta imprescindible para quienes la utilizan con el propósito de desarrollar un intercambio significativo de ideas dirigida a una mutua interacción, es importante señalar que la entrevista es una forma oral de comunicación interpersonal, que tiene finalidad obtener información en relación con un objetivo. (Acevedo & Lopez, 2000)

#### **5.4. Materiales**

- Computadora
- Libros físicos y digitales
- Tesis previas

#### **5.5. Fuentes de información**

A lo largo de la investigación se utilizaron diversas fuentes de información ya sea del tipo primario o secundario permitiendo enriquecer el proyecto de investigación, se optó por la búsqueda de información científica sobre el tema ayudando a precisar y determinar con claridad la existencia de algún problema en el proyecto, llevando a cabo principalmente las consultas que se realizaron en libros o artículos, las principales fuentes consultadas fueron del tipo primario por que se enfocan en temas específicos y generales sobre lo que se está investigando, esto no significa que las fuentes secundarias sean menos importantes.

“Las fuentes primarias pueden proveer información imposible de obtener de otra forma. Las fuentes secundarias están más disponibles, pero no son tan ricas en detalles como las primarias.” (Salkind, 1999)

#### **Internet**

El internet se ha convertido en una herramienta muy poderosa para la consulta y recolección de la información, comprende una gran variedad de recursos que abonaron durante todo el proceso de investigación, un recurso fundamental fue la biblioteca virtual de UNITEC a través de su centro de recursos para el aprendizaje y la investigación (CRAI), ofrece muchas herramientas de investigación para profundizar más en el tema de la investigación a través de sus libros, artículos, documentales etc. Adicional a este recurso se consultaron otros sitios que comprenden libros electrónicos y artículos referentes al tema de investigación.

## 5.6. Cronología de trabajo

### Cronología de trabajo

Proyecto Graduación

Rodney Godoy

Inicio del proyecto:

lun, 19/07/2021

Semana para mostrar:

1

TAREA	ASIGNADO A	PROGRESO	INICIO	FIN
<b>Cronología de trabajo</b>				
Desarrollo de idea de proyecto	Rodney Godoy	100%	19-7-21	22-7-21
Planteamiento del Problema	Rodney Godoy	100%	19-7-21	8-8-21
Objetivo generales y específico	Rodney Godoy	100%	2-8-21	8-8-21
Marco teórico	Rodney Godoy	100%	9-8-21	5-9-21
Metodología	Rodney Godoy	100%	16-8-21	29-8-21
Resultados y Análisis	Rodney Godoy	100%	23-8-21	5-9-21
Conclusiones y Recomendaciones	Rodney Godoy	100%	6-9-21	19-9-21
Anexos	Rodney Godoy	100%	23-8-21	5-9-21
Preparativos finales	Rodney Godoy	100%	20-9-21	26-9-21

Ilustración 21, Cronología de trabajo



## VI. Resultados

### 6.1. Resultados técnicos

#### 6.1.1. Cálculo de tensión, corriente y potencia

Tabla 7, Calculo de tensión, corriente y potencia

Sistema	Componente	Tensión	Corriente	Potencia
Sistema de medición	Sensor MQ-7 (CO)	5V	70mA	350mW
	Sensor Gravity Infrared (CO2)	5V	60mA	300mW
	Sensor SGP30 (Calidad de aire)	3.3V	48mA	158mW
	Sensor Si7021 (Humedad y temperatura)	3.3V	4mA	13mW
	Sensor VEML7700 (Luminosidad)	3.3V	15mA	50mW
	Sensor MPL115A2 (Presión)	3.3V	5 $\mu$ A	0.16mW
Sistema de ventilación	Ventiladores DC	12V	110mA	1320mW
	Ventiladores DC	12V	110mA	1320Mw
Sistema de control principal	Controlador ESP32	5V	80-240mA	400-1200mW
				4711.16 mW

Tomando en cuenta que la fuente de alimentación del sistema es de 12V del tipo LiPo para que el sistema de ventilación trabaje de forma eficiente, además que el sistema de

regulación a 5V y 3.3V para que el resto de los componentes. Además el regulador de voltaje más adecuado para tener un manejo mejor es de 5V, se tomó en base al consumo de cada uno de los componentes que funcionan con un nivel de tensión igual. Cuando se suma todo el consumo total de los componentes de 437mA.

“En conclusión el tipo de alimentación que se usará con respeto al cálculo de tensión, corriente y potencia será la fuente de 12V del tipo LiPo, basados que es un fuente que nos da rendimientos largos y alimentara de manera constante el sistema”

### 6.1.2. Cálculo de corriente del sistema

$$I_S = I_{ESP32} + I_{MQ-7} + I_{CO2} + I_{SGP30} + I_{SI7021} + I_{VEML7700} + I_{MPL115A2} \quad (1)$$

$$I_S = 240mA + 70mA + 60mA + 48mA + 4mA + 15mA + 5\mu A$$

$$I_S = 437.005mA$$

Una vez obtenido el consumo se decide trabajar con un valor base de 500mA para asegurar que cada uno de los siguientes componentes. La corriente que necesita el suministra el regulador es de 500mA por lo que la elección que se tomo es optar por un convertidor DC-DC Buck, es un regulador variable y permite un amplio rango de voltajes de entrada, con la capacidad de una corriente de salida continua de 2A y con la eficiencia de un 96%.

Al momento del cálculo de la corriente de entrada al sistema en su totalidad se debe calcular el correspondiente de potencia en función, todo el sistema de trabajan a 12V, en cuanto a la eficiencia del 96%.

$$P_{in} = P_{out} * 96\% \quad (2)$$

$$V_{in} * I_{in} = V_{out} * I_{out} * 0.96$$

$$12V * I_{in} = (5V * 500mA) * 0.96$$

$$I_{in} = \frac{2.5W}{12V} * 0.96$$

$$I_{in} = 0.2A = I_{Reg}$$

Con la corriente de entrada en el regulador calculada, debemos calcular el consumo de los ventiladores del sistema.

“En conclusión con la suma de corrientes por sensor, determinamos la corriente global del sistema con el fin de escoger un convertidor del tipo Buck, el cual nos da la ventaja de poder introducir diferentes voltajes de entrada al sistema, el convertidor será de 5V DC”

### 6.1.3. Cálculo de corriente del sistema de ventilación

$$I_{SV} = I_{V1} + I_{V2} \quad (3)$$

$$I_{SV} = 110mA + 110mA$$

$$I_{SV} = 220mA$$

Suma de las corrientes de sistema de medición y sistema de ventilación

$$I_T = I_{V1} + I_{V2}$$

$$I_T = 200mA + 220mA$$

$$I_T = 420 mA$$

“En conclusión con el sistema de alimentación que mantendrá a una temperatura adecuada el sistema al momento que se estén realizando las mediciones de multisensado, se calculó la corriente correspondiente que se necesita para que este funcione de manera adecuada”

### 6.1.4. Tiempo de operación del sistema multisensado

C1: Consumo del sistema de medición (4)

C2: Sistema de ventilación

$$C = \text{Consumo} * \text{Tiempo}$$

$$C_1 = 200 mA * 6hrs = 1200mAh$$

$$C_2 = 220 mA * 1:30hrs = 330mAh$$

$$C_T = 1200mAh + 330mAh = 1530mAh$$

$$C' = \frac{1530}{90\%} = 1700 mAh$$

Este valor nos da la garantía que nuestra batería es la adecuada para el sistema, ya que la batería que seleccionamos es de 2200 mAh.

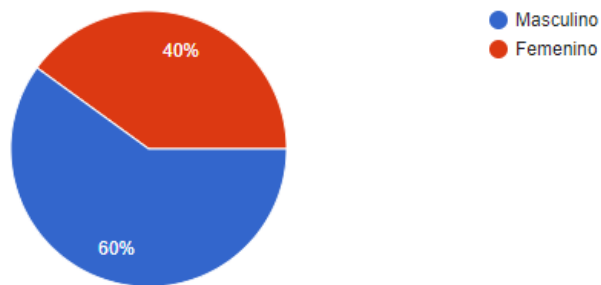
## 6.2. Resultados demográficos

### 6.2.1. Análisis de encuesta

#### 1. Genero

- Masculino
- Femenino

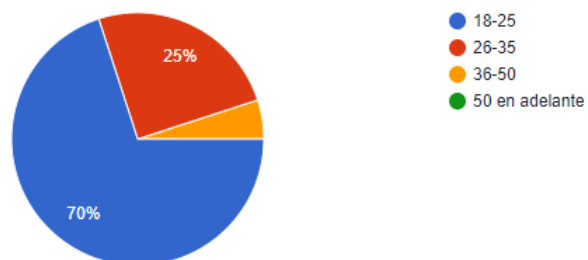
Genero  
20 respuestas



#### 2. Edad

- 18-25
- 26-35
- 36-50
- 50 en adelante

Edad  
20 respuestas



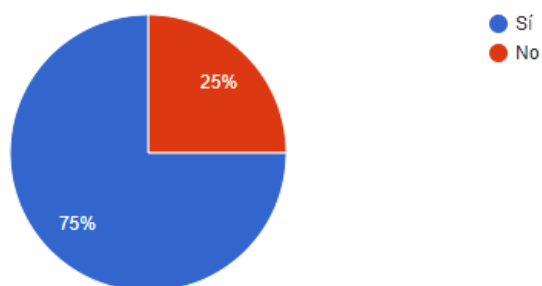
3. ¿Está al tanto sobre la mala calidad de aire y condiciones ambientales en espacios interiores, son nocivos para la salud humana? Ejemplo: (Aulas de clases)

- Sí
- No

¿Esta al tanto sobre la mala calidad del aire y condiciones ambientales en espacios interiores (Ej. Aulas de clases), son nocivos para la salud humana?



20 respuestas



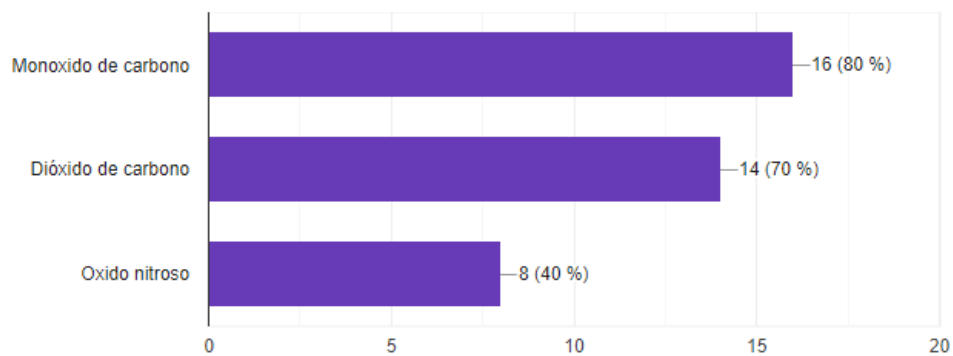
4. Reconoce este tipo de gases tóxicos, que afectan la calidad del aire en espacios interiores

- Monóxido de carbono
- Dióxido de carbono
- Óxido Nitroso

Reconoce este tipo de gases tóxicos, que afectan la calidad del aire en espacios interiores



20 respuestas



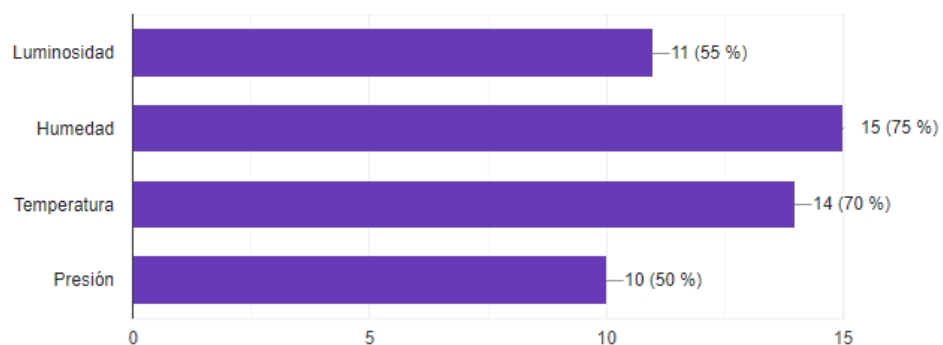
5. Reconoce este tipo de agentes contaminantes los cuales dañan las condiciones ambientales en espacios interiores

- Luminosidad
- Humedad
- Temperatura
- Presión

Reconoce este tipos de agentes contaminantes los cuales dañan las condiciones ambientales en espacios interiores



20 respuestas



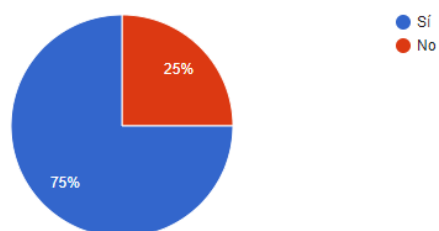
6. ¿Considera que en su lugar de trabajo, estudio o residencia existen este tipo de bajas condiciones en calidad de aire y condiciones ambientales?

- Sí
- No

¿Considera que en su lugar de trabajo, estudio o residencia existen este tipo de mala calidad de aire y condiciones ambientales?



20 respuestas



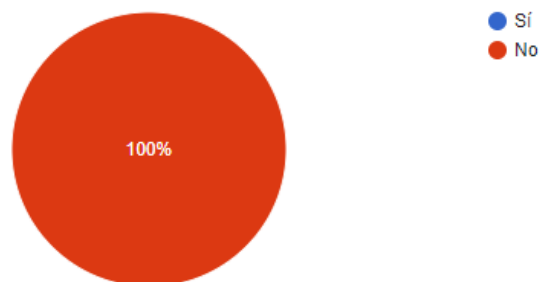
7. ¿Conoce algún tipo de sistema de sensores inalámbricos capaz de detectar la mala calidad del aire y condiciones ambientales?

- Sí
- No

¿Conoce algún tipo de sistema de sensores inalámbricos capaz de detectar la mala calidad del aire y condiciones ambientales?



20 respuestas



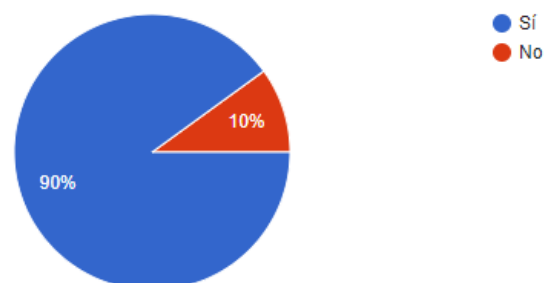
8. ¿Le gustaría la implementación de un sistema de sensores inalámbricos capaz de medir la calidad de aire y condiciones ambientales en espacios interiores?

- Sí
- No

¿Le gustaría la implementación de un sistema de sensores inalámbricos capaz de medir la calidad de aire y condiciones ambientales en espacios interiores?



20 respuestas

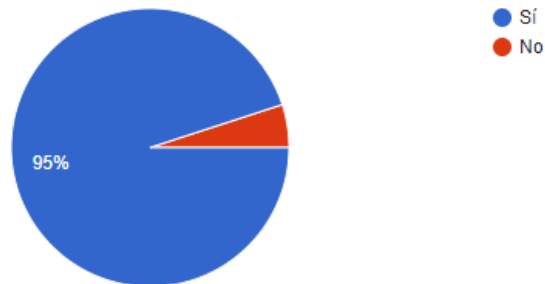


9. En el caso de existir un sistema sensores inalámbricos con la capacidad de medir la calidad de aire y condiciones ambientales, que sea de bajo costo de fabricación e instalación ¿Recomendaría su implementación en su lugar de trabajo, estudio o residencia?

- Sí
- No ¿Por qué?

En el de existir un sistema de sensores inalámbricos con la capacidad de medir la calidad de aire y condiciones ambientales, que sea de bajo costo de fabricación e instalación ¿Recomendaría su implementación en su lugar de trabajo, estudio o residencia?

20 respuestas

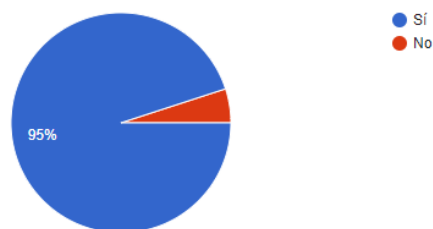


10. ¿Cree que con la implementación del sistema sensores inalámbricos con la capacidad de medir la calidad de aire y condiciones ambientales, existiría un lugar seguro para su salud?

- Sí
- No

¿Cree que con la implementación del sistema de sensores inalámbricos con la capacidad de medir la calidad y condiciones ambientales, existiría un lugar seguro para su salud?

20 respuestas



En conclusión con la recolección de resultados demográficos, realizados con una encuesta a 20 personas con conocimiento en ingeniería y el uso de sensores. Las interrogantes dieron resultados llamativos según cada pregunta que se desarrolló, se cuestionó la presencia de agentes contaminantes en los entornos de trabajo, estudio o residencia que alteran la calidad del aire y condiciones ambientales, su mayoría estaba al tanto de los agentes contaminantes más comunes y conocen sus riesgos de estar al contacto con los mismos.

En el caso de conocer sistemas que sean capaces de detectar este tipo de agentes contaminantes se detectó que no tenían ningún tipo de conocimiento, ya que en sus entornos de trabajo, estudio o residencia no existe este tipo de tecnología, a su vez no gozan del beneficio de trabajar en un entorno controlado y libre de esos agentes contaminantes. Por último se analizó si les gustaría que estos sistemas de detección de mala calidad del aire y condiciones ambientales fueron implementados en los entornos donde se desarrollan, hubo una respuesta positiva ya que en su mayoría optarían por que este tipo de sistemas fueran instalados en cada uno de sus entornos por lo que transitan.

### 6.3. Resultado de diseño

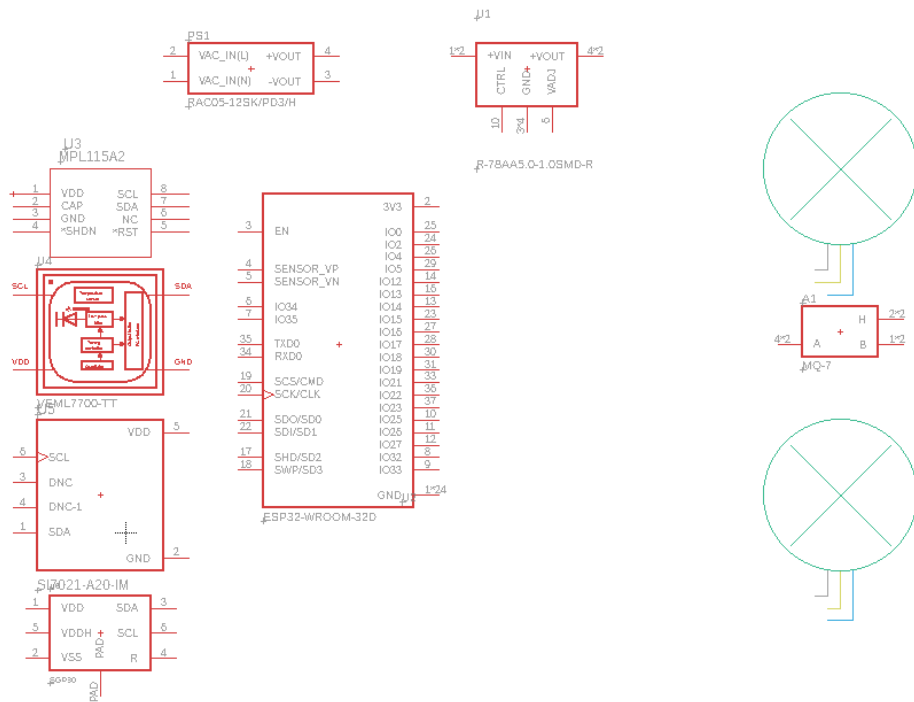


Ilustración 23, esquemático sin conexiones

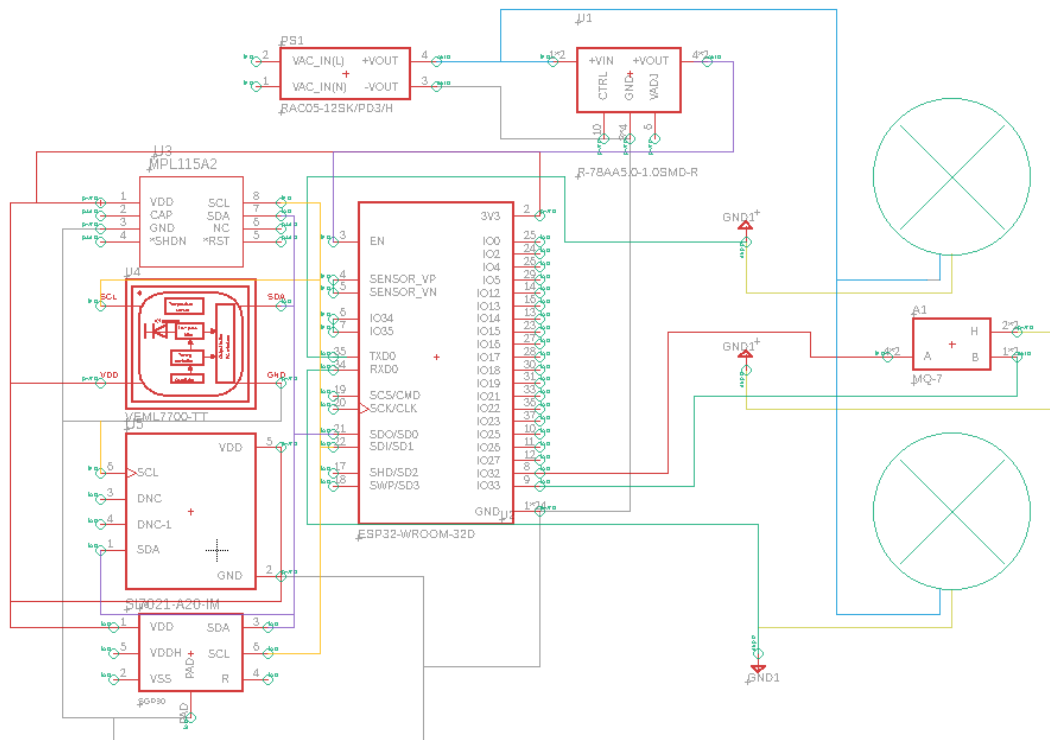


Ilustración 24, Esquemático con conexiones

## VII. Conclusiones

- Se logro diseñar una red sensores inalámbricos estáticos y móviles que nos ofrece el sensado, transmisión y almacenamiento de datos sobre la calidad de aire y condiciones ambientales en espacios interiores, tomando en cuenta el tipo de gases y variables que se desearon analizar.
- Determinamos las principales variables que afectan las condiciones ambientales y calidad de aire y como perjudican el entorno donde se está laborando o descansando, además de las normativas que interponen las principales organizaciones para la salud.
- Se realizo una detallada selección de sensores del tipo MOX que son un tipo especial para la detección de gases contaminantes, conociendo las características químicas y físicas.
- Se determino el mejor microcontrolador para realizar el manejo adecuado de cada sensor según características físicas, además del tipo de fuente de alimentación que se necesita para que todo el sistema global trabaje correctamente.
- Analizamos corriente, tensión y potencia para la elección de una fuente estable y confiable para el funcionamiento completo del sistema.
- Se estableció un estudio demográfico sobre sistemas de calidad del aire y condiciones ambientales, dando el resultado poca familiarización con este tipo de sistema de medición de variables.

## **VIII. Recomendaciones**

- Se recomienda la compra correcta de cada sensor, ya que se estudió el funcionamiento, características principales, además que son de bajo costo y gran rendimiento
- Se recomienda usar la fuente de alimentación seleccionada, para que el sistema trabaje de manera correcta y normal.
- Se recomienda colocar la apropiada ventilación para evitar que el sistema se sobrecaliente y falle al momento de recolectar las muestra de aire.
- Se recomienda tener buen sistema de internet para que al momento que se transmitan los datos, se obtengan de manera correcta y rápida, mejorando el análisis.

## IX. Bibliografía

- Acevedo, I., & Lopez, A. (2000). *El Proceso de la Entrevista. Concepto y Modelos*. México: Limusa.
- Aguilar, O. (23 de Abril de 2020). *PorCobrar*. Obtenido de <https://porcobrar.com/7-ventajas-de-sistemas-de-cobranza-automatizados/>
- Andulucía, O. d. (2018). *Calidad del aire interior*. Andalucía: Editorial Medica Española.
- Arduino. (5 de Febrero de 2018). *Aprendiendo Arduino*. Obtenido de <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/tag/arquitectura-mqtt/>
- Arrow. (15 de Mayo de 2020). *Arrow*. Obtenido de <https://www.arrow.com/es-mx/categories/sensors/air-quality-sensors>
- Barcell, F. (25 de Enero de 2020). *WSN*. Obtenido de <http://www.mfbarcell.es/conferencias/wsn.pdf>
- Benigno, J. (21 de Enero de 2020). *Digi-Key*. Obtenido de <https://www.digikey.com/es/articles/how-to-select-and-use-the-right-esp32-wi-fi-bluetooth-module>
- Bogotá, A. (23 de Abril de 2021). *GOV.CO*. Obtenido de <http://www.sdp.gov.co/transparencia/informacion-interes/glosario/condiciones-ambientales>
- Byron, B., & Luis, B. (2017). *Diseño de una red de sensores inalámbricos para el monitoreo del tránsito vehicular y la contaminación CO2 dentro de un sector urbano*. Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana.
- CopaData. (5 de Julio de 2019). *CopaData*. Obtenido de <https://www.copadata.com/es/productos/zenon-software-platform/visualizacion-control/que-significa-hmi-interfaz-humano-maquina-copa-data/>
- Córdoba, F. G. (2002). *El Cuestionario: Recomendaciones Metodológicas para el Diseño de Cuestionarios*. México: Limusa.
- Electronilab. (6 de Mayo de 2020). *Electronilab*. Obtenido de <https://electronilab.co/tienda/sensor-digital-temperatura-humedad-i2c-si7021/>

- Electronilab. (2 de Julio de 2020). *Electronilab*. Obtenido de <https://electronilab.co/tienda/veml7700-sensor-de-luz-i2c-lux/>
- Gomez, M. M. (2006). *Introducción a la Metodología de la Investigación*. Editorial Brujas.
- Gracia, L. (21 de Agosto de 2012). *¿Un poco de Java?* Obtenido de <https://unpocodejava.com/2012/08/21/que-es-waspmote/>
- Ibagué, U. d. (15 de Mayo de 2019). *Universidad de Ibagué*. Obtenido de <https://www.unibague.edu.co/>
- Integrada, D. (18 de Abril de 2018). *Domótica Integrada*. Obtenido de <https://domoticaintegrada.com/sensor-de-luminosidad/>
- Iotsens. (8 de Febrero de 2021). *Iotsens*. Obtenido de <https://www.iotsens.com/sensores/humedad-y-temperatura/>
- Llama, J. (6 de Octubre de 2020). *Economipedia*. Obtenido de <https://economipedia.com/definiciones/microprocesador.html>
- Llamas, L. (17 de Abril de 2019). *MQTT*. Obtenido de <https://www.luisllamas.es/que-es-mqtt-su-importancia-como-protocolo-iot/>
- Mceatronics, N. (11 de Junio de 2019). *Naylamp Mceatronics*. Obtenido de [https://naylampmechatronics.com/blog/43\\_tutorial-sensor-de-presion-barometrica-bmp180.html](https://naylampmechatronics.com/blog/43_tutorial-sensor-de-presion-barometrica-bmp180.html)
- Mechatronics, N. (15 de Noviembre de 2020). *Nylamp Mechatronics*. Obtenido de <https://naylampmechatronics.com/sensores-gas/74-sensor-mq-7-gas-monoxido-de-carbono-co.html>
- Mexicano, E. A. (2021). *¿Qué son los sistemas de calidad de aire?* *Portal Mexicano*, 1-2.
- OMS/OPS. (2 de Mayo de 2021). *PAHO*. Obtenido de <https://www.paho.org/es/temas/calidad-aire>
- Personas, P. (10 de Julio de 2018). *Protegiendo Personas*. Obtenido de <https://protegiendopersonas.es/sensores-infrarrojos-que-son-y-para-que-se-utilizan/>

- Roboshop. (14 de Marzo de 2021). *Roboshop*. Obtenido de <https://www.robotshop.com/us/es/sensor-co2-infrarrojo-analogico-gravity-para-arduino.html>
- Ryte. (8 de Marzo de 2018). *Ryte*. Obtenido de [https://es.ryte.com/wiki/Keep\\_Alive](https://es.ryte.com/wiki/Keep_Alive)
- Salkind, N. J. (1999). *Métodos de Investigación*. México: Prentice Hall.
- Salud, O. M. (15 de Julio de 2021). *PAHO*. Obtenido de <https://www.paho.org/es/noticias/15-7-2020-conferencia-sobre-calidad-aire-covid-19>
- Soler, P. (19 de Noviembre de 2018). *S&P*. Obtenido de <https://www.solerpalau.com/es-es/blog/sensor-co2/>
- Unidas, P. d. (2005). *Informe del Estado y Perspectivas del Ambiente: Geo Honduras 2005*. Tegucigalpa: GEO25.

## X. Anexos

### CENTRO UNIVERSITARIO TECNOLÓGICO

Facultad de Ingeniería  
Proyecto de Graduación  
“Encuesta”



1. Genero
  - Masculino
  - Femenino
2. Edad
  - 18-25
  - 26-35
  - 36-50
  - 50 en adelante
3. ¿Está al tanto sobre la mala calidad de aire y condiciones ambientales en espacios interiores, son nocivos para la salud humana? Ejemplo: (Aulas de clases)
  - Sí
  - No
4. Reconoce este tipo de gases tóxicos, que afectan la calidad del aire en espacios interiores
  - Monóxido de carbono
  - Dióxido de carbono
  - Óxido Nitroso
5. Reconoce este tipo de agentes contaminantes los cuales dañan las condiciones ambientales en espacios interiores
  - Luminosidad
  - Humedad
  - Temperatura
  - Presión

6. ¿Considera que en su lugar de trabajo, estudio o residencia existen este tipo de bajas condiciones en calidad de aire y condiciones ambientales?
- Sí
  - No
7. ¿Conoce algún tipo de sistema de sensores inalámbricos capaz de detectar la mala calidad del aire y condiciones ambientales?
- Sí
  - No
8. ¿Le gustaría la implementación de un sistema de sensores inalámbricos capaz de medir la calidad de aire y condiciones ambientales en espacios interiores?
- Sí
  - No
9. En el caso de existir un sistema sensores inalámbricos con la capacidad de medir la calidad del aire y condiciones ambientales, que sea de bajo costo de fabricación e instalación ¿Recomendaría su implementación en su lugar de trabajo, estudio o residencia?
- Sí
  - No ¿Por qué?
10. ¿Cree que con la implementación del sistema sensores inalámbricos con la capacidad de medir la calidad de aire y condiciones ambientales, existiría un lugar seguro para su salud?
- Sí
  - No

## Tabla de especificaciones técnicas de sensores

### Sensor de humedad (Si7021)

**Table 1. Recommended Operating Conditions**

Parameter	Symbol	Test Condition	Min	Typ	Max	Unit
Power Supply	V <sub>DD</sub>		1.9	—	3.6	V
Operating Temperature	T <sub>A</sub>	I and Y grade	-40	—	+125	°C
Operating Temperature	T <sub>A</sub>	G grade	-40	—	+85	°C

**Table 2. General Specifications**

1.9 ≤ V<sub>DD</sub> ≤ 3.6 V; T<sub>A</sub> = -40 to 85 °C (G grade) or -40 to 125 °C (I/Y grade); default conversion time unless otherwise noted.

Parameter	Symbol	Test Condition	Min	Typ	Max	Unit
Input Voltage High	V <sub>IH</sub>	SCL, SDA pins	0.7xV <sub>DD</sub>	—	—	V
Input Voltage Low	V <sub>IL</sub>	SCL, SDA pins	—	—	0.3xV <sub>DD</sub>	V
Input Voltage Range	V <sub>IN</sub>	SCL, SDA pins with respect to GND	0.0	—	V <sub>DD</sub>	V
Input Leakage	I <sub>IL</sub>	SCL, SDA pins	—	—	1	μA
Output Voltage Low	V <sub>OL</sub>	SDA pin; I <sub>OL</sub> = 2.5 mA; V <sub>DD</sub> = 3.3 V	—	—	0.6	V
		SDA pin; I <sub>OL</sub> = 1.2 mA; V <sub>DD</sub> = 1.9 V	—	—	0.4	V
Current Consumption	I <sub>DD</sub>	RH conversion in progress	—	150	180	μA
		Temperature conversion in progress	—	90	120	μA
		Standby, -40 to +85 °C <sup>2</sup>	—	0.06	0.62	μA
		Standby, -40 to +125 °C <sup>2</sup>	—	0.06	3.8	μA
		Peak I <sub>DD</sub> during powerup <sup>3</sup>	—	3.5	4.0	mA
		Peak I <sub>DD</sub> during I <sup>2</sup> C operations <sup>4</sup>	—	3.5	4.0	mA
Heater Current <sup>5</sup>	I <sub>HEAT</sub>		—	3.1 to 94.2	—	mA

**Notes:**

1. Initiating a RH measurement will also automatically initiate a temperature measurement. The total conversion time will be t<sub>CONV(RH)</sub> + t<sub>CONV(T)</sub>.
2. No conversion or I<sup>2</sup>C transaction in progress. Typical values measured at 25 °C.
3. Occurs once during powerup. Duration is <5 msec.
4. Occurs during I<sup>2</sup>C commands for Reset, Read/Write User Registers, Read EID, and Read Firmware Version. Duration is <100 μs when I<sup>2</sup>C clock speed is >100 kHz (>200 kHz for 2-byte commands).
5. Additional current consumption when HTRE bit enabled. See Section "5.5. Heater" for more information.

## Sensor de luminosidad (VEML7700)

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS (T <sub>amb</sub> = 25 °C, unless otherwise specified)					
PARAMETER	TEST CONDITION	SYMBOL	MIN.	MAX.	UNIT
Supply voltage		V <sub>DD</sub>	0.4		V
Operation temperature range		T <sub>amb</sub>	-25	+ 85	°C
Storage temperature range		T <sub>stg</sub>	-25	+ 85	°C
Total power dissipation	T <sub>amb</sub> ≤ 25 °C	P <sub>tot</sub>	-	50	mW
Junction temperature		T <sub>j</sub>	-	100	°C

BASIC CHARACTERISTICS (T <sub>amb</sub> = 25 °C, unless otherwise specified)						
PARAMETER	TEST CONDITION	SYMBOL	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
Supply voltage		V <sub>DD</sub>	2.5	3.3	3.6	V
Shut down current (rem_2)	V <sub>DD</sub> is 3.3 V	I <sub>sd</sub>	-	0.5	-	μA
Operation mode current (rem_2)	V <sub>DD</sub> is 3.3 V, PSM = 11, refresh time 4100 ms	I <sub>DD</sub>	-2		-	μA
	V <sub>DD</sub> is 3.3 V, PSM = 00, refresh time 600 ms	I <sub>DD</sub>	-8		-	μA
	V <sub>DD</sub> is 3.3 V, PSM_EN = 0, refresh time 100 ms	I <sub>DD</sub>		45	-	μA
I <sup>2</sup> C clock rate range		f <sub>SCL</sub>	10	-	400	kHz
I <sup>2</sup> C bus input H-level range	V <sub>DD</sub> is 3.3 V	V <sub>ih</sub>	1.3	-	3.6	V
I <sup>2</sup> C bus input L-level range	V <sub>DD</sub> is 3.3 V	V <sub>il</sub>	--		0.4	V
Digital current out (low, current sink)		I <sub>ol</sub>	3-		?	mA
Digital resolution (LSB count)	with ALS_SM = "01"		-	0.005	-	lx/step
Detectable minimum illuminance	with ALS_SM = "01"	E <sub>V min.</sub>	-	0.01	-	lx
Detectable maximum illuminance	with ALS_SM = "10"	E <sub>V max.</sub>	-	167.000	-	lx
Dark offset (rem_2)	with ALS_SM = "01"		-	3	-	step

## Sensor de monóxido de carbono (SGP30)

Parameter	Min.	Typ.	Max.	Unit	Comments
Supply voltage V <sub>DD</sub>	1.62	1.8	1.98	V	Minimal voltage must be guaranteed also for the maximum supply current specified in this table.
Hotplate supply voltage V <sub>DDH</sub>	1.62	1.8	1.98	V	
Supply current in measurement mode <sup>6</sup>		48.2		mA	The measurement mode is activated by sending an "Init_air_quality" or "Measure_raw_signal" command. Specified at 25°C and typical V <sub>DD</sub> .
Sleep current		2	10	μA	The sleep mode is activated after power-up or after a soft reset. Specified at 25°C and typical V <sub>DD</sub> .
LOW-level input voltage	-0.5		0.3*V <sub>DD</sub>	V	
HIGH-level input voltage	0.7*V <sub>DD</sub>		V <sub>DD</sub> +0.5	V	
V <sub>hys</sub> hysteresis of Schmitt trigger inputs			0.05*V <sub>DD</sub>	V	
LOW-level output voltage			0.2*V <sub>DD</sub>	V	(open-drain) at 2mA sink current
Communication	Digital 2-wire interface, I <sup>2</sup> C fast mode.				

## Sensor de dióxido de carbono (MQ-7)

### A. Standard work condition

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

### b. Environment conditions

Symbol	Parameters	Technical conditions	Remark
Tao	Using temperature	-20°C-50°C	
Tas	Storage temperature	-20°C-50°C	Advice using scope
RH	Relative humidity	Less than 95%RH	
O <sub>2</sub>	Oxygen concentration	21%(stand condition) the oxygen concentration can affect the sensitivity characteristic	Minimum value is over 2%

### c. Sensitivity characteristic

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

## Sensor de presión (MP115A2)

(V<sub>DD</sub> = 2.375 V to 5.5 V, T<sub>A</sub> = -40°C to +105°C, unless otherwise noted. Typical values are at V<sub>+</sub> = 3.3 V, T<sub>A</sub> = +25°C.)

Ref	Parameters	Symbol	Conditions	Min	Typ	Max	Units
1	Operating Supply Voltage	V <sub>DD</sub>		2.375	3.3	5.5	V
2	Supply Current	I <sub>DD</sub>	Shutdown (SHDN = GND)	—	—	1	μA
			Standby	—	3.5	10	μA
			Average – at one measurement per second	—	5	6	μA
<b>Pressure Sensor</b>							
3	Range			50	—	115	kPa
4	Resolution			—0.15		—	kPa
5	Accuracy		-20°C to 85°C	—	±1	—	kPa
6	Power Supply Rejection		Typical operating circuit at DC	—	0.1	—	kPa/V
			100 mV p-p 217 Hz square wave plus 100 mV pseudo random noise with 10 MHz bandwidth.	—0.1		—	kPa
7	Conversion Time (Start Pressure Convert)	t <sub>CP</sub>	Time between start convert command and data available in the Pressure register	—0.6		0.7	ms
<b>Temperature Sensor</b>							
8	Range			-40	—	105	°C
9	Conversion Time (Start Temperature Convert)	t <sub>CT</sub>	Time between start convert command and data available in the Temperature register	—0.6		0.7	ms
10	Conversion Time (Start Both Convert)	t <sub>CB</sub>	Time between start convert command and data available in the Pressure and Temperature registers	—0.8		1	ms
11	Resolution		Temperature ADC is 472 counts at 25°C	—	-5.35	—	counts/°C
<b>I<sup>2</sup>C I/O Stages: SCL, SDA</b>							
12	SCL Clock Frequency	f <sub>SCL</sub>		—	—	400	KHz
13	Low Level Input Voltage	V <sub>IL</sub>		—	—	0.3 V <sub>DD</sub>	V
14	High Level Input Voltage	V <sub>IH</sub>		0.7 V <sub>DD</sub>	—	—	V
<b>I<sup>2</sup>C Outputs: SDA</b>							
15	Data Setup Time	t <sub>SU</sub>	Setup time from command receipt to ready to transmit	100	—	—	ns
<b>I<sup>2</sup>C Addressing</b>							
MPL115A2 uses 7-bit addressing, does not acknowledge the general call address 0000000. Slave address has been set to 0x60 or 1100000.							