



UNIVERSIDAD INDOAMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y PRODUCCIÓN

MAESTRIA EN DISEÑO INDUSTRIAL Y DE PROCESOS

TEMA:

**IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MONITOREO CON IOT
PARA LA EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE EN LUGARES
CERRADOS.**

Trabajo de Titulación previo a la obtención del título de Magister en Diseño Industrial y de Procesos

Autor(a)

Villacrés Naranjo Alex Francisco

Tutor(a)

PhD. Pedro Fernando Escudero Villa

AMBATO – ECUADOR

2024

**AUTORIZACIÓN POR PARTE DEL AUTOR PARA LA CONSULTA,
REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL, Y PUBLICACIÓN
ELECTRÓNICA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Yo, Villacrés Naranjo Alex Francisco, declaro ser autor del Trabajo de Titulación con el nombre **“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MONITOREO CON IOT PARA LA EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE EN LUGARES CERRADOS”**, como requisito para optar al grado de Magister en Diseño Industrial y de Procesos y autorizo al Sistema de Bibliotecas de la Universidad Tecnológica Indoamérica, para que con fines netamente académicos divulgue esta obra a través del Repositorio Digital Institucional (RDI-UTI).

Los usuarios del RDI-UTI podrán consultar el contenido de este trabajo en las redes de información del país y del exterior, con las cuales la Universidad tenga convenios. La Universidad Tecnológica Indoamérica no se hace responsable por el plagio o copia del contenido parcial o total de este trabajo.

Del mismo modo, acepto que los Derechos de Autor, Morales y Patrimoniales, sobre esta obra, serán compartidos entre mi persona y la Universidad Tecnológica Indoamérica, y que no tramitaré la publicación de esta obra en ningún otro medio, sin autorización expresa de la misma. En caso de que exista el potencial de generación de beneficios económicos o patentes, producto de este trabajo, acepto que se deberán firmar convenios específicos adicionales, donde se acuerden los términos de adjudicación de dichos beneficios.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Ambato, a los 03 días del Mes de octubre del 2024, firmo conforme:

Autor: Villacrés Naranjo Alex Francisco

Firma:

Número de Cédula: 180449835-8

Dirección: Tungurahua, Ambato, San Roque, Huachi Chico.

Correo Electrónico: alexvillacres1@gmail.com

Teléfono: +593 992667562

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Trabajo de titulación “**IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MONITOREO CON IOT PARA LA EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE EN LUGARES CERRADOS**” presentado por Alex Francisco Villacrés Naranjo, para optar por el Título de Máster en Diseño Industrial y de Procesos.

CERTIFICO

Que dicho trabajo de investigación ha sido revisado en todas sus partes y considero que reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte de los pares evaluadores que se designe.

Ambato, 22 de mayo del 2024

.....

PhD. Pedro Fernando Escudero Villa.

DIRECTOR

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Quien suscribe, declaro que los contenidos y los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación, como requerimiento previo para la obtención del Título de Magister en Diseño Industrial y de Procesos, son absolutamente originales, auténticos y personales y de exclusiva responsabilidad legal y académica del autor

Ambato, 03 de octubre del 2024

.....
Alex Francisco Villacrés Naranjo
C.C.: 180449835-8
AUTOR

APROBACIÓN DE LECTORES

El trabajo de Titulación, ha sido revisado, aprobado y autorizada su impresión y empastado, sobre el Tema: **“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MONITOREO CON IOT PARA LA EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE EN LUGARES CERRADOS.”** previo a la obtención del Título de Máster en Diseño Industrial y de Procesos, reúne los requisitos de fondo y forma para que el estudiante pueda presentarse a la sustentación del trabajo de titulación.

Ambato, 03 de octubre del 2024

.....
PhD. Varela Aldas José Luis
PRESIDENTE DE TRIBUNAL

.....
Mg. Lara Calle Andrés Rogelio
EXAMINADOR

DEDICATORIA

Por ustedes y para ustedes, este trabajo de Titulación quiero dedicar de una manera muy especial a Dios mi guía espiritual, a mi Madre, a mi Padre, mis Hermanos, a mi abuelito Luis Humberto Naranjo Moncayo que en sus 97 años de vida me vio recibir mi título, y a mi abuelita desde el cielo Leonor Vinelly gracias por haberme permitido llegar hasta esta etapa de mi vida siendo mi ayuda incondicional, acompañándome en cada uno de mis pasos, por darme fuerza, apoyo, consejos, salud y por la educación que me han brindado para poder cumplir con mis objetivos y los que me faltan.

Finalmente dedico este trabajo de Titulación, a todos aquellos que me apoyaron moral y económicamente, Andrea Alarcón mi novia que nunca me abandono y siempre me apoyo en todo sentido para llegar a este logro tan anhelado, David Acurio compañero de carrera y de vida quien me apoyo con su conocimiento en la realización de mi tesis, y familia Villacrés López & Asociados, personas que estaban en mis momentos difíciles de mi vida, gracias totales por permitirme haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional.

**ALEX FRANCISCO VILLACRÉS
NARANJO**

AGRADECIMIENTO

Como persona fielmente creyente quiero iniciar agradeciendo a Dios por brindarme su sabiduría y la fuerzas para continuar desempeñando metas (Todo lo puedo en Cristo que me fortalece - Filipenses 4:13).

A José Villacres mi Padre, Susana Naranjo mi Madre, hermanos Carolina Villacres y Luis Villacres y mi abuelito Luis Humberto Naranjo Moncayo, por manifestar su apoyo incondicional, amor, sus consejos y por enseñarme que decaer no es una opción, gracias por todo su esfuerzo para darme lo necesario en mis estudios, por sus excelentes consejos que me encaminaron en el buen camino, a todos ellos la dedicatoria por que fueron fundamentales para este logro.

A mi hermana Carolina Villacres, aunque estés lejos siempre estás en mi corazón y mente, gracias por brindarme ese apoyo para ser un profesional y abrirme horizontes.

A mi Padre; por facilitar el abrir las puertas de mi vida profesional y enseñarme el valor del trabajo desde niño, y a todos los ingenieros de la universidad que impartieron sus conocimientos, risas y ayuda en el trascurso de mi carrera.

Gracias.

ÍNDICE

PORTADA.....	i
APROBACIÓN DEL TUTOR.....	iii
DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD.....	iv
APROBACIÓN DE LECTORES	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS	x
RESUMEN EJECUTIVO	xv
ABSTRACT.....	xvi

CAPITULO I INTRODUCCIÒN

Introducción	1
Antecedentes	4
Justificación	7
Objetivos:.....	9

CAPITULO II INGENIERÌA DEL PROYECTO

Diagnóstico de la situación actual de la empresa.....	10
Área de estudio.....	15
Modelo operativo	16
Desarrollo del modelo operativo.....	16
Propuesta y resultados esperados	24

CAPITULO III PROPUESTA Y RESULTADOS ESPERADOS

Presentación de la propuesta	25
Resultados esperados	24
Cronograma de Actividades.....	30
Análisis de costos.....	31

CAPITULO IV EJECUCIÒN DE LA PROPUESTA Y RESULTADOS OBTENIDOS

Proceso de ejecución.....	33
---------------------------	----

Justificación de la ejecución	33
Desarrollo y seguimiento	33
Resultados obtenidos.....	36
Presentación de los resultados obtenidos	36
Evaluación de la ejecución.....	56
Evaluación económica	56

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones	57
Recomendaciones.....	59
BIBLOGRAFIA.....	60

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Tabla de datos obtenidos con monitor de calidad del aire tomados en la empresa.	13
Tabla 2: Área de estudio	15
Tabla 3. Materiales usados para el proyecto de monitoreo de calidad del aire....	26
Tabla 4. Cronograma de actividades para implementar el Sistema de monitoreo de calidad del aire en Talleres Pepe Lucho.....	30
Tabla 5. Índice de calidad del aire con respecto a la temperatura y humedad en un ambiente cerrado.	39
Tabla 6. Resultados de temperatura y humedad del dispositivo marca BLATN y el Sistema Implementado.	39
Tabla 7. Tabla de rangos permitidos en microgramos sobre metros cúbicos las unidades más usados para el estudio de calidad del aire.....	44
Tabla 8. Tabla de valores obtenidos con el dispositivo comercial y el dispositivo implementado para la variable NH ₄	44
Tabla 12. Valores de momentos estadísticos previos para verificar si la variable tiene una desviación normal o no la tiene.	46
Tabla 10. Tabla de resultados de prueba de Kolmogorov-Smirnov para 2 muestras en diferentes intervalos de tiempo.....	48
Tabla 11. Prueba final de Wilcoxon para muestras emparejadas o relacionadas no paramétricas.	48
Tabla 12. Tabla de rangos permitidos en microgramos sobre metros cúbicos las unidades más usados para el estudio de calidad del aire.....	51
Tabla 13. Tabla de valores obtenidos con el dispositivo comercial y el dispositivo implementado para la variable CO.....	51
Tabla 14. Valores de momentos estadísticos previos para verificar si la variable tiene una desviación normal o no la tiene.	53
Tabla 15. Tabla de resultados de prueba de Kolmogorov-Smirnov para 2 muestras.	55
Tabla 16. Prueba final de Wilcoxon para muestras emparejadas o relacionadas no paramétricas.	55

ÍNDICE DE GRAFICAS

Gráfica 1. Temperatura vs Tiempo del área de trabajo de la empresa.....	37
Gráfica 2. Humedad vs Tiempo del área de trabajo de la empresa.....	38
Gráfica 3. Cuantil-Cuantil permite observar cuan cerca está la distribución de un conjunto de datos a alguna distribución ideal ó comparar la distribución de dos conjuntos de datos.	41
Gráfica 4. Partes por millón del gas sobre el tiempo que se dejó monitoreando el sistema.....	42
Gráfica 5. Dispersión de los periodos del Amonio NH ₄	47
Gráfica 6. Partes por millón del gas sobre el tiempo que se dejó monitoreando el sistema.....	49
Gráfica 7. Dispersión de los periodos del monóxido de carbono CO.....	54

ÍNDICE DE IMAGENES

Imagen 1. Calidad del aire del 2013 al 2023.....	5
Imagen 2. Volumen de cada compuesto incluido en la mezcla de la pintura industrial.....	11
Imagen 3. Porcentaje de emisión de gases de vehículos a gasolina y diésel.....	12
Imagen 4. BLATN Monitor de calidad del aire dióxido de carbono PM2.5 PM10 formaldehído probador de temperatura y humedad para interiores y exteriores, detector de contaminación del aire con alarma de audio.	12
Imagen 5. Modelo operativo del procedimiento a realizar para el monitoreo de calidad del aire.	16
Imagen 6. Diagrama de bloques del proceso para realizar el sistema de monitoreo de calidad del aire.....	18
Imagen 7. Modelo virtual de las conexiones a realizarse para el Sistema de monitoreo de calidad de aire.	18
Imagen 8. Estructura inicial de la baquelita para el proyecto de sistema de monitoreo de calidad del aire.	19
Imagen 9. Estructura final de la placa para el proyecto de sistema de monitoreo de calidad del aire.	20
Imagen 10. Plataforma en la nube para recolección y análisis de datos (ThingSpeak).....	21
Imagen 11. Logo oficial de MIT App Inventor creador de aplicaciones Android	22
Imagen 12. Logo oficial de software Arduino para programación.	22
Imagen 13. Código Arduino en diagrama para enviar los datos directamente a la plataforma ThingSpeak.	23
Imagen 14. NTP 607: Guías de calidad de aire interior: contaminantes químicos.	24
Imagen 15. Microcontrolador Esp32 versión básica.	27
Imagen 16. Sensor Mq135 Gas-Calidad de aire.....	28
Imagen 17. Sensor Mq135 Gas-Calidad de aire.....	28
Imagen 18. Curva S de costos aproximados para la implementación del Sistema de calidad del aire en Talleres Pepe Lucho.....	31

Imagen 19. Plataforma ThingSpeak con 4 canales de temperatura, humedad, CO, y NH ₄	34
Imagen 20. Aplicación web instalada en celular móvil con monitoreo activo de variables.	34
Imagen 21. Placa de sistema de calidad del aire soldada y adjuntada a la caja aislante de golpes.	35
Imagen 22. Instalación de sistema de monitoreo de calidad del aire en la empresa Talleres Pepe Lucho.	36

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Casa de la calidad del sistema de monitoreo de calidad del aire.....	66
Anexo 2. Tabla de intervalos de calidad del aire de según OMS.....	67
Anexo 3. Fotografías del sistema al armarlo y proceso de instalación en la empresa.	68
Anexo 4. NTP 607: Guías de calidad de aire interior: contaminantes químicos ANEXO 4 (Sanchez, 2010).....	71
Anexo 5. MIT APP INVENTOR con sus respectiva codificación en bloques y captura de aplicación final.	74

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA INDOAMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y PRODUCCIÓN
MAESTRIA EN DISEÑO INDUSTRIAL Y DE PROCESOS

TEMA: “IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MONITOREO CON IOT PARA LA EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE EN LUGARES CERRADOS.”

AUTOR: Villacrés Naranjo Alex Francisco

TUTOR: PhD. Pedro Fernando Escudero Villa

RESUMEN EJECUTIVO

En el presente trabajo de titulación analiza la problemática de las empresas que al paso de los años de funcionamiento han crecido de manera progresiva en el campo de la tecnología, y mantienen un régimen enfocado en cumplir las normas Ecuatorianas de funcionamiento y los procesos ambientales pertinentes, pero se abstienen de un sistema de seguridad y salud al trabajador en cuestión a la calidad del aire que respiran las personas que laboran en las diferentes áreas de trabajo; su principal problemática es la falta de equipos de protección de los trabajadores hacia los agentes patógenos que están en el aire de sus zonas de trabajo y el daño que causarían a corto o largo plazo, los estudios hechos en Novacero y Assa empresas que utilizan maquinaria pesada y materiales que afectan al trabajador como; pintura, fibra de zapata de freno, residuos del esmeril al pulir un metal, humo de los vehículos, entre otros, el propósito del presente trabajo de titulación es implementar un sistema de monitoreo de calidad del aire en Talleres Pepe Lucho y realizar un estudio de recolección de datos para tabularlos con técnicas estadísticas (Wilcoxon) y dar un resultado óptimo (datos en tiempo real de NH₄, CO, temperatura y humedad) para que el gerente realice las respectivas sugerencias, y aplicar las normas de seguridad y salud al trabajador para proteger de las partículas dañinas al sistema respiratorio de los empleados que trabajan en esas áreas, de la misma manera que este trabajo de titulación sirva de guía para futuras investigaciones.

Palabras clave: Calidad del aire, IOT, MIT App Inventor, ThingSpeak, monitoreo de aire.

POSGRADOS

Master's Degree in Industrial and Process Design

AUTHOR: VILLACRES NARANJO ALEX FRANCISCO

TUTOR: PHD. ESCUDERO VILLA PEDRO

ABSTRACT

IMPLEMENTATION OF AN IOT MONITORING SYSTEM FOR INDOOR AIR QUALITY ASSESSMENT

This research addresses the issue faced by companies that have progressively grown in the field of technology over the years and maintain a system to meet Ecuadorian operational norms and relevant environmental processes. These companies lack a system for ensuring worker safety and health, concerning the air quality that employees breathe in different work areas. The main problem is the absence of protective equipment for workers against airborne pathogens in their work zones, which can cause damage in the short or long term. Studies conducted at Novacero and Assa, companies that use heavy machinery and materials that affect workers – such as paint, brake shoe fibers, metal polishing residues, and vehicle exhaust fumes – highlight this issue. The purpose of this thesis is to implement an air quality monitoring system at Pepe Lucho Workshops and conduct a data collection study to tabulate results using statistical techniques (weighted average). This will provide optimal results (real-time data on NH, CO, temperature, and humidity) for the manager to make necessary adjustments and apply worker safety and health standards to protect employees from harmful particles affecting the cardiorespiratory system. Additionally, this work aims to serve as a guide for future research.

KEYWORDS: Air, Arduino, Quality, IoT, MIT App Inventor, ThingSpeak.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Introducción

En el presente año, el medio ambiente ha sido afectado en su mayoría por algunos tipos de contaminación, y el contagio aéreo tiene un alto impacto a razón de ser la causa de muchos tipos de enfermedades cancerígenas, haciendo que se sumen cada vez más los casos de muerte en los diferentes lugares del mundo como son las principales potencias a nivel global por sus industrias son las que tienen el porcentaje más alto en evolución de la contaminación del aire, a raíz de sus grandes compañías (Bart Van Hoof, 2018), sea por emanación de gases en industrias avícolas, farmacéuticas, energéticas por radiación entre otras, se ha pronosticado un menor estándar de vida en la actualidad, para remediar dichas enfermedades patógenas, hay estudios que aclaran la calidad del aire, el ruido y el agua respectivamente en (Barandiaran, 2019) y (Barcenas, 2021). Hoy en día la monitorización mediante internet de las cosas (IOT), tiene un soporte mediante un seguimiento para controlar o monitorear la calidad del aire con la ayuda de sensores económicos con baja durabilidad (1 año) o de alto precio con mayor tiempo de vida del dispositivo (3 a 5 años), estos están hechos para detectar un resultado correcto en concentraciones de los contaminantes en el aire (Kaginalkar et al., 2023), y son creados con la finalidad de dar un informe completo y conciso de algún contaminante en particular ,al generar una señal cuantificable que se transmite electrónicamente a través del Internet de las cosas (OMS, Región del Pacífico Occidental, s. f.), esto es un gran paso en la domótica para cualquier tipo de empresa, industria, restaurantes o para las mismas residencias de los habitantes de un país o ciudad en específico (Hashmy et al., 2023), el auge de esta digitalización se consigue por sensores inteligentes y conectados mediante internet y pueden medir varios tipos de contaminantes según se disponga (Fahim et al.,

2023). Con el propósito de dar una alternativa para dar seguimiento a la contaminación en lugares cerrados, se realizó un sistema de monitorización de aire en lugares cerrados basado en IOT, realizando un código en el programa Arduino capaz de detectar varios tipos de contaminantes aéreos como pueden ser dióxido de carbono, algunos compuestos orgánicos volátiles como NH₄, CO₂, CO, la humedad en un ambiente cerrado, formaldehidos, aerosoles dañinos, metano entre otros, y dar una posible solución al problema de la contaminación del aire empezando desde un lugar cerrado de área pequeña hasta una industria que necesite la purificación del aire para sus empleados y minimizar el riesgo de enfermedades profesionales a corto plazo(Siva Krishna et al., 2023).

Actualmente en el planeta gracias al desarrollo en la tecnología, prácticamente las personas tienen la posibilidad de acceder a inmuebles y servicios, con esta deducción se puede resolver que según (Samano-Ortega-Mendez y otros., 2020) manifiestan que el aumento de la población aceleradamente en estos años, conjuntamente con la industrialización y la generación de residuos aéreos, trastornan la calidad del aire que respiramos en el día a día en un ambiente laboral (Pico et al., 2023).

En Latinoamérica Volentini habla sobre la recaudación de los residuos se realiza en recipientes grandes por calles o casa por casa según el país, esto genera gases que en su mayoría hay la posibilidad que generen efectos dañinos sobre los trabajadores y deberían ser medidos tiempo real y estudiados para verificar como afecta al trabajador, así mismo como en los talleres varios de metalmecánica, maderera, vehicular existen varios agentes en el aire que afectan a las personas que laboran con maquinaria y también generan gases.

En la cita de Bozorgi podemos encontrar que la recolección de basura, cortado de madera en partes, proceso de calentamiento para pegar zapata freno de vehículo, residuos metalmecánicos, entre otros están entre los más peligrosas de los trabajos en el planeta, debido a las condiciones en las que se mantienen los trabajadores y el tiempo en el que se exponen a estos gases o residuos dañinos, causantes de diversas enfermedades laborales ya sean a corto o largo plazo.(Bozorgi et al., 2023)(«13th International Symposium on Ambient Intelligence, ISAmI 2022», 2023).

Es relevante dar mucha importancia a la Industrialización 4.0 a razón de acoger una gran tendencia en la automatización y el intercambio de datos basado en todas las nuevas

tecnologías de fabricación que permiten optimizar los procesos de producción, esta certifica el incremento de diseños o prototipos de sensor que puedan detectar en las áreas de trabajo los niveles de contaminación en el ambiente laboral a los que están expuestas las personas que trabajan en la empresa, y en la parte de la implementación del sistema aporta en un gran porcentaje a los trabajadores expuestos a estos tipos de patógenos aéreos y lleven un control más adecuado de los factores ambientales influyentes, se tiene una gran cantidad de contaminantes atmosféricos que está debidamente documentados y monitoreados en base a las medidas de calidad del aire para un área o sector que se desee en específico, pero siguen siendo limitadas y con esto hay una deducción que no existen las suficientes medidas de seguridad para personas expuestas a estos entornos de trabajo donde las concentraciones de gases dañinos y el material articulado está expuesto en altas cantidades (Bouza et al., 2022), también se expone los tipos de placas o microcontroladores que se usan en la actualidad para monitorear la calidad del aire y otras variantes atmosféricas al alcance de cualquier persona que desee usarla, ya que tienen una licencia libre para su programación y existen bases de datos en la nube de internet que ayudan a la recolección de datos para cada cierto tiempo mejorar la producción de dispositivos que ayuden a minimizar las enfermedades en el trabajo generados a partir de los patógenos que existen en el aire y así poder monitorearlos con una aplicación en la que lleguen notificación a un Smartphone cada cierto intervalo de tiempo y en las diferentes condiciones meteorológicas que se exponga el trabajador en la empresa o industria (Rodríguez, 2021).

En 2016 en Ecuador se realizó un estudio por parte de Ribeiro Moran y otros para analizar dos aspectos grandemente indispensables y crear un plan de prevención de riesgos laborales, los principales factores de riesgo analizados (CO y gases de efecto invernadero) en las diferentes empresas relacionadas con los ambientes laborales industriales como son; metalmecánica, maderera, de calzado, automotriz, entre otras, y se aplicaron factores base (medidores de calidad del aire) para calcular estadísticamente como procedían estas empresas para el proceso de prevención o el incidir en un accidente laboral, finalmente la reacción a enfermedades profesionales, y se dedujo la relación directa hacia los empleados en los puestos o lugares cerrados de las empresas o industrias, y la intranquilidad por los riesgos en los trabajadores, a mayor incidencia de patógenos aéreos

hay maximización de la impaciencia por parte de las personas que trabajan expuestas a los riesgos en el ambiente laboral y daños psicosociales que se identificaron con una afectación mayoritaria a mujeres que a hombres. (Morán & de la Cruz, 2022)

Considerando lo expuesto anteriormente se tiene como finalidad que los ambientes laborales en empresas de mantenimiento automotriz a los que se mencionaron que tienen un gran porcentaje de riesgo de cáncer pulmonar y físico por parte del CO, NO_x, SO_x para las personas que trabajan en estas empresas o industrias, y en relación a la calidad del aire en el ambiente de trabajo representa una gran cantidad de carga hacia la salud de los trabajadores, en 2019 y 2020 el NH₄ o amonio se pone en los primeros lugares para estudios en Ecuador a razón de su uso por parte de personas que mezclaban demasiados desinfectantes en sus hogares, uso de pintura en lugares cerrados o puestos de trabajo, y esto reflejaba efectos como, fuertes dolores de cabeza, vómitos, mareos entre otros y esto enfatiza en las personas la preocupación por el bien de sus familiares, ya que en el transcurso de los años da como resultado el riesgo resultante que al envejecer son más propensos a estas enfermedades pulmonares y la contaminación del aire con patógenos que afectan la calidad de vida (Ribeiro et al., 2022).

Antecedentes

La contaminación del aire o también llamada contaminación atmosférica se refiere a la modificación de la estructura química del aire incitada por gases dañinos, estos se han creado y originado especialmente por el ser humano en los últimos años según estudios (Waluyo et al., 2023). El medio ambiente de nuestro planeta se ve afectados por algunos eventos inducidos por estos gases y sustancias, y conlleva a un grave resultado en la depuración del aire respirado por el ser humano y animales (Roffi & Jamhari, 2023). Los diferentes tipos de contaminantes mató a un gran número de personas en 2016 que la enfermedad de inmunodeficiencia, en este caso la tuberculosis y la malaria unidos (Ching et al., 2023), el viento y la lluvia llevan el aire sucio que se respira en la superficie de la tierra y el mar y la difusión de estas sustancias a grandes recorridos desde su lugar de origen es aventajada también por las nubes y las altas temperaturas (Lambor et al., 2023). Como ejemplo, los últimos 10 años están evidentes por un vínculo asociado los daños ambientales, algunos de ellos es la lluvia ácida, la debilitación de la capa de ozono, el calentamiento global y el efecto invernadero, en las grandes ciudades la atmosfera está

contaminada por el tránsito vehicular y la actividad de industrias y talleres, también la calefacción doméstica y la concentración de óxidos de azufre, ozono y material articulado entre otros, se ha construido prototipos WMS (WaterMeasureStation), con sensores de PH, humedad, temperatura y conductividad con Raspberry Pi y se conecta mediante 2G hasta 4G y Wi.Fi o punto a punto en Bluetooth (García, 2022). En Latinoamérica se han diseñado dispositivos IOT con la finalidad de ayudar a los peatones, ciclistas, trabajadores entre otros, sugiriendo rutas según datos adquiridos en un trayecto de tiempo para verificar el porcentaje del aire contaminado en lugares pequeños, y se han logrado incorporar en los teléfonos móviles monitores de estos patógenos y el interés por la contaminación del planeta tierra, con estos estudios se obtuvo datos pertinentes sobre las variantes que afectan al aire y compartirlas con desarrolladores terceros (Guerrero-Ulloa et al., 2023). En Ecuador se han realizado alianzas estratégicas con grupos que están netamente interesados en el tema de la contaminación atmosférica y se han lanzado aplicaciones para captar la atención del usuario mejorando las políticas de las diferentes entidades públicas y privadas para que lleguen a concientizarse y usar métodos de minimización de contaminantes u optar por movilizarse en otros medios que no usen material petrolero o que afecte al medio ambiente directamente (Niu et al., 2023).

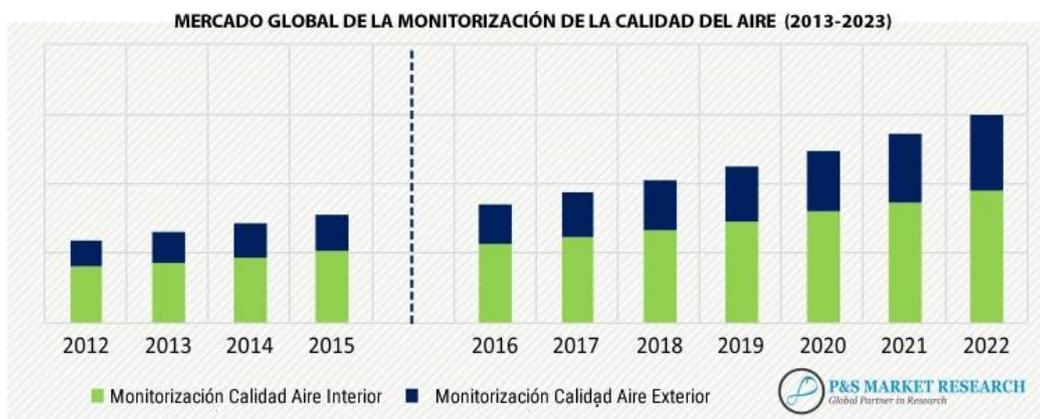


Imagen 1. Calidad del aire del 2013 al 2023.

Fuente: (Bozorgi et al., 2023)

En la imagen 1 se puede visualizar el aumento de conciencia en los efectos de la calidad del aire en 10 años anexando nuevas tendencias a diferentes regulaciones gubernamentales de manera favorable para regular este factor, esto hace que crezca el mercado mundial del control de la calidad del aire en años venideros, mayoritariamente en lo que se refiere a la monitorización continua de estos parámetros.

En empresas ecuatorianas (Petroecuador, ASSA entre otras) de usos de automotriz o que trabajan con maquinaria que utiliza derivados de petróleo, al realizar estudios sobre el monóxido de carbono que emanan se obtiene como resultado que en un área de 62m³ la concentración de CO es de 9 ppm en 8 horas laborales y de 25 ppm a corto plazo o 1 hora, tomando en cuenta que los trabajadores no usan mascarar protectoras, también industrias de pintura de vehículos al horno o con soplete que se lo realiza más comúnmente, el rango normal es de 15 a 45 µ/dL (de 11 a 32 µmol/L) pero si se sobrepasara tiene efectos dañinos en el cuerpo humano, dicho estudio se toma en cuenta como motivación para realizar un sistema de monitoreo de calidad de aire no solo para las grandes empresas sino para las PYMES como la empresa de estudio Talleres Pepe Lucho en Ecuador, que son las más afectadas al no tener las precauciones al trabajar en estos campos industriales.

El presente documento plantea el desarrollo de un sistema de monitoreo de la calidad del aire a partir de una aplicación móvil y el uso del software Arduino con el que se programara en un microcontrolador ESP32 y sensores de diferentes tipos de patógenos en el ambiente que se trabaja y así brindar una posterior solución como la de implementar un sistema de absorción de partículas y sacar la maquinaria hacia lugares abiertos ya que generan patógenos, residuos entre otros en cuestión de que se lo anhele realizar a futuro.

El documento es una implementación, y muestra el enfoque encaminado en bases teóricas usadas en el desarrollo de un sistema de monitoreo de calidad del aire en empresas esto se basa en indagar las relaciones causa-efecto entre las condiciones manipuladas y los resultados obtenidos.

La investigación se desarrolló en base a la metodología encontrada en bibliografías, con ejemplares de empresas que realizaron los mismos proyectos con finalidad del desarrollo del sistema de calidad de aire, para realizarlo se revisó diferentes repositorios en línea, informes, artículos científicos entre otros y esta búsqueda es una base teórica, y se empleó para avanzar en el conocimiento adquirido del tema, enfocarse en los principios dados por diferentes autores en este diseño del sistema, y ayudan a determinar los objetivos conocidos del documento.

Aquí se aplicó una metodología llamada investigación de campo (in situ), a razón de recolectar información al interior de los lugares cerrados de la empresa por medio del uso

del sistema de monitoreo a base de un microcontrolador ESP32 y varios sensores de patógenos en el ambiente laboral de la empresa.

Esta observación permitió determinar los distintos procesos en las diferentes áreas cerradas con sus adecuadas acciones primordiales que forman alguna empresa para el servicio que realicen, luego se dedujo cómo se están implantando actualmente los procesos en de taller mecánico y las razones por las que los trabajadores no usan protección contra los distintos tipos de patógenos en el aire de los lugares principales de trabajo con las variantes de temperatura, humedad, CO2 entre otros , y se concluirá con el desarrollo de un modelo eficaz de análisis de los datos reflejados en una aplicación móvil, usando la caracterización de procesos para finalmente identificarlos más dañinos al trabajador respectivamente.

Para esta parte se realizara primeramente la compra de los materiales necesarios como son el microcontrolador ESP32 y los sensores necesarios para armar el circuito y realizar pruebas de funcionamiento en un lugar cerrado y se lo plasmara en una placa impresa a laser para después enviar los datos a la plataforma ThingSpeak y dejarlo por 72 horas mínimo y realizar el análisis del archivo en el programa Excel para luego pasarlo a una media aritmética de los datos estadísticos y se obtendrá un porcentaje para determinar el nivel de toxicidad que se tiene en la empresa Talleres Pepe Lucho, en una determinada área cerrada de 45 metros cuadrados, y se establecerá las conclusiones con los niveles de calidad de aire según la normativa propuesta por la OMS.

Justificación

En esta propuesta de trabajo de titulación se plantea desarrollar un sistema dedicado al monitoreo de la calidad del aire, se presenta en detalle la implementación de hardware y software con la finalidad contribuir principalmente en proporcionar el diseño del circuito electrónico, los problemas de hardware y software detectados al diseñarlo y las soluciones encontradas para realizar este sistema basado en IOT, aquí se presentan todos los datos recopilados durante las pruebas para ser monitoreadas desde cualquier teléfono móvil, se presentan los resultados y se proponen debates con una conclusión para trabajos futuros adicionales.

La **importancia** de implementar un sistema de monitoreo de aire en hogares, industrias, empresas entre otros es indispensable a raíz de mejorar la calidad de vida de las personas; esto se rige en la cultura de ayudar al planeta, disminución de alteraciones en la atmosfera, y el fomento de obtener una calidad de aire con la que se pueda vivir a futuro sin alterar más el medio ambiente.

El trabajo de titulación generará un gran **impacto**, debido a que la elaboración de un sistema de monitorización de calidad de aire de un bajo costo ayudaría a cualquier persona usarla de forma casera, o para empresas generadoras de sustancias dañinas minimicen el daño al medio ambiente y las personas que respiran el aire de esa zona.

La **utilidad** del documento está enfocada en que el sistema propuesto es un instrumento esencial a nivel mundial para monitorear el aire que se respira y proporciona las bases para realizar e implementar un sistema de monitoreo de aire a la vez que ayudara a investigaciones futuras por parte de usuarios que decidan mejorar este sistema basado en IOT.

Los **beneficiarios** son los usuarios que quieran utilizarlo de forma personal casera o que conforman una organización, industria o empresa y generar nuevas fuentes de trabajo para monitorear el aire respirado y corregir el estatus de vida de seres humanos en áreas cerradas; también se evidenciaría un aumento en el desarrollo en la comunidad del país.

El proyecto es **factible** al afirmar que este dispositivo se puede realizar de forma casera y con los costos más bajos en materiales electrónicos al alcance de cualquier estudiante y en caso de implementarlo en algún lugar para análisis, de parte del gerente de Talleres Pepe Lucho se da total apertura a la empresa para realizar el sistema relacionado con el tema de contaminación del aire, sin inconvenientes para el posterior análisis de lo que se solicite en la el área de trabajo cerrada de la empresa, tomando como referencia los gastos requeridos que son mínimos para su implementación y adaptables al usuario.

Objetivos:

- **Objetivo general**

Implementar un sistema de monitoreo basada en IOT para la evaluación de la calidad del aire en lugares cerrados.

- **Objetivos específicos**

1. Analizar la problemática de presencia de contaminantes en lugares cerrados.
2. Diseñar el sistema basado en sistemas de acceso libre con una aplicación móvil basada en IOT.
3. Implementar el sistema en la empresa para realizar pruebas de funcionamiento puesto a punto del sistema en ambiente de laboratorio.
4. Evaluar el sistema completo en un ambiente real de trabajo.

CAPÍTULO II

INGENIERÍA DEL PROYECTO

Diagnóstico de la situación actual de la empresa

Cuando se manifiesta el monitoreo de calidad del aire se puede obtener información a partir del ISSH (Instituto de Seguridad y Salud Humana), el cual refleja muchas anomalías en los últimos años a razón de la contaminación de las empresas hacia el medio ambiente, en el caso de la empresa de caso de estudio Talleres Pepe Lucho dedicada al mantenimiento de vehículos livianos y pesados, a razón de la negligencia de las personas a cargo de este tipo de empresas que fabrican o utilizan algunos tipos de aerosoles con componentes como amonio, y aspiran monóxido de carbono directo de los tubos de escape de los vehículos, estos son dañinos para la salud de sus trabajadores o personas que viven a sus alrededores, se tiene como resultado enfermedades cardio respiratorias, cancerígenas y enfermedades profesionales que afectan directamente a las personas de esa área, esto puede seguir incrementándose en el transcurso del tiempo a niveles gigantes si no se toma una medida pronta para frenar a estas industrias, o regularlas de manera que puedan normar y certificarse para funcionar de manera correcta, purificando las áreas cerradas de trabajo (Samano-Ortega et al., 2023).

Según Basurto, Zamora y otros autores actualmente las empresas latinoamericanas tienen conciencia de que existen muchos factores que afectan directamente a la calidad del aire del espacio laboral, pero al no tomar importancia el uso de EPPS (Equipos de Protección Personal) contra agentes que afectan directamente al trabajador al respirar el aire en lugares cerrados, la poca capacitación a los empleados en relación a la seguridad industrial, infraestructura incorrecta, entre otras razones que consecuentemente abarcan

enfermedades profesionales se plantea implementar el Sistema de monitoreo de calidad de aire para las empresas de América latina. (Villacrés Lopez, 2020).

Para iniciar el diagnóstico de la empresa se conoce que en este taller trabajan con fibra de zapata, pintura para autos acrílica y vinil, también existe la emanación de gases de los automóviles ya que esta empresa se dedica a la reparación y cambio de escapes de los vehículos, por esa razón hemos realizado la identificación de las siguientes variables que afectan la calidad del aire.

En la imagen 2 se puede apreciar el volumen de cada componente incorporado en las pinturas que se venden al público por lo que se verifica en recipientes de pintura los químicos mezclados y se obtiene NH_4 , olueno, xileno, compuestos alifáticos, cetonas, alcoholes, ésteres y ésteres glicólicos. La cantidad de compuestos orgánicos volátiles (VOC) que se liberan es similar a la de las pinturas a base de agua (Barcenas, 2021).

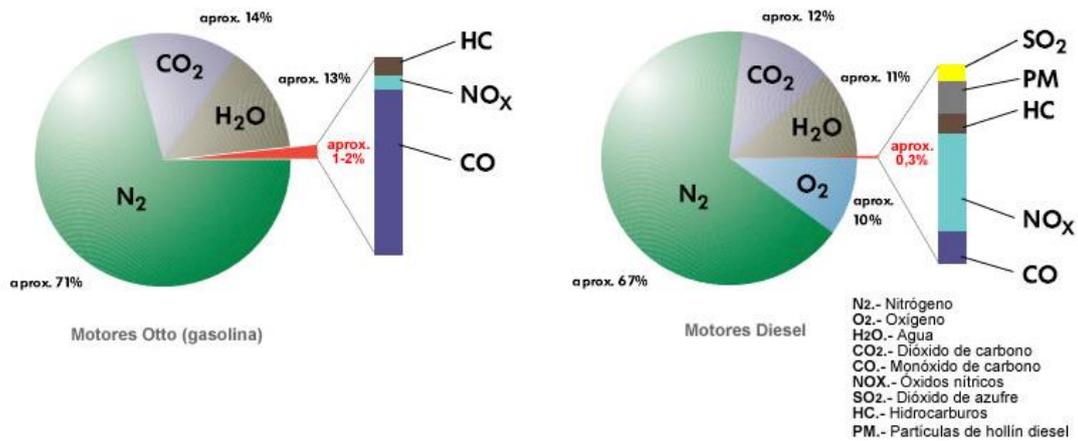


Imagen 2. Volumen de cada compuesto incluido en la mezcla de la pintura industrial.

Fuente: (Barcenas, 2021)

Se puede complementar que también después de la pintura usan masilla para después realizar el lijado, proceso que también emana sustancias volátiles y serían puesto a consideración de estudio en el documento.

También se verifica en el estudio de (Caicedo, 2017), la presencia de gases químicos verificados en la emisión de humo en los vehículos como; Dióxido de carbono (CO_2), Monóxido de carbono (CO), Óxidos de nitrógeno (NO_x), Hidrocarburos no quemados (HC), Benzopireno, Anhídrido Sulfuroso, Compuestos de plomo entre otros, en la empresa se exponen los trabajadores a diario a este tipo de gases sin precaución alguna.



Composición de los gases de escape

Imagen 3. Porcentaje de emisión de gases de vehículos a gasolina y diésel.

Fuente: (Camisón, Cruz, & González, 2016).

Las verificaciones de estos componentes químicos en este taller dan apertura para realizar un monitoreo de calidad del aire en algunos lugares cerrados y semicerrado de la empresa para esto se realiza un monitoreo previo con un dispositivo de venta libre con la marca Blatn, y después de 3 días en 8 horas laborables de la empresa se recopilará los resultados.



Imagen 4. BLATN Monitor de calidad del aire dióxido de carbono PM2.5 PM10 formaldehído probador de temperatura y humedad para interiores y exteriores, detector de contaminación del aire con alarma de audio.

Fuente:(Blatn., 2023)

En la imagen 3 se describe la recolección de los datos en el dispositivo, se descargan de una memoria externa en formato .txt y se visualizan para dividirlos en excel y realizar la

estadística de las variables; monóxido de carbono, dióxido de carbono y TVOC (Compuestos orgánicos volátiles) en los que se incluyen el NH₄ (amonio), hay que tomar en cuenta que el dispositivo refleja los datos cada minuto.

En la tabla 1 refleja cómo se realiza la tabulación de los datos de las siguientes variables; monóxido de carbono, dióxido de carbono, el formaldehído (HCHO) es un gas incoloro de olor sofocante, muy soluble en agua y que en la cual polimeriza rápidamente, todo esto nos arroja un resultado en la parte inferior del dispositivo verificando la calidad del aire del lugar propuesto, tomando como referencia la media aritmética en un archivo de Excel, sumando todos los datos y dividiendo para el total de los mismos, para la respectiva comparación con la tabla internacional.

Tabla 1: Tabla de datos obtenidos con monitor de calidad del aire tomados en la empresa.

Date:20240511	Time:0759	PM1.0:004	PM2.5:008	PM10:013	CO2:0601
Date:20240511	Time:0800	PM1.0:003	PM2.5:006	PM10:006	CO2:0548
Date:20240511	Time:0801	PM1.0:002	PM2.5:006	PM10:015	CO2:0542
Date:20240511	Time:0802	PM1.0:002	PM2.5:006	PM10:008	CO2:0530
Date:20240511	Time:0803	PM1.0:003	PM2.5:006	PM10:008	CO2:0530
Date:20240511	Time:0804	PM1.0:007	PM2.5:014	PM10:020	CO2:0536
Date:20240511	Time:0805	PM1.0:004	PM2.5:009	PM10:015	CO2:0526
Date:20240511	Time:0806	PM1.0:003	PM2.5:006	PM10:008	CO2:0536
Date:20240511	Time:0807	PM1.0:003	PM2.5:006	PM10:007	CO2:0516
Date:20240511	Time:0808	PM1.0:004	PM2.5:006	PM10:014	CO2:0494
Date:20240511	Time:0809	PM1.0:003	PM2.5:006	PM10:008	CO2:0477
Date:20240511	Time:0810	PM1.0:003	PM2.5:006	PM10:009	CO2:0466
Date:20240511	Time:0811	PM1.0:004	PM2.5:006	PM10:007	CO2:0459
Date:20240511	Time:0812	PM1.0:003	PM2.5:006	PM10:015	CO2:0460
Date:20240511	Time:0813	PM1.0:002	PM2.5:006	PM10:010	CO2:0470
Date:20240511	Time:0814	PM1.0:002	PM2.5:004	PM10:006	CO2:0470
Date:20240511	Time:0815	PM1.0:002	PM2.5:006	PM10:009	CO2:0480
Date:20240511	Time:0816	PM1.0:004	PM2.5:006	PM10:015	CO2:0479
Date:20240511	Time:0817	PM1.0:003	PM2.5:003	PM10:006	CO2:0472
Date:20240511	Time:0818	PM1.0:004	PM2.5:005	PM10:009	CO2:0465
Date:20240511	Time:0819	PM1.0:002	PM2.5:005	PM10:006	CO2:0462
Date:20240511	Time:0820	PM1.0:001	PM2.5:002	PM10:006	CO2:0447
Date:20240511	Time:0821	PM1.0:002	PM2.5:002	PM10:006	CO2:0451
Date:20240511	Time:0821	PM1.0:002	PM2.5:002	PM10:006	CO2:0454
Date:20240511	Time:0823	PM1.0:002	PM2.5:002	PM10:006	CO2:0454
Date:20240511	Time:0824	PM1.0:000	PM2.5:002	PM10:002	CO2:0464

Date:20240511	Time:0825	PM1.0:000	PM2.5:002	PM10:002	CO2:0503
Date:20240511	Time:0826	PM1.0:001	PM2.5:002	PM10:002	CO2:0475
Date:20240511	Time:0827	PM1.0:001	PM2.5:002	PM10:002	CO2:0448
Date:20240511	Time:0828	PM1.0:002	PM2.5:002	PM10:002	CO2:0447
Date:20240511	Time:0829	PM1.0:002	PM2.5:002	PM10:002	CO2:0472
Date:20240511	Time:0831	PM1.0:001	PM2.5:002	PM10:003	CO2:0482
Date:20240511	Time:0832	PM1.0:001	PM2.5:002	PM10:003	CO2:0496
Date:20240511	Time:0833	PM1.0:001	PM2.5:002	PM10:003	CO2:0531
Date:20240511	Time:0834	PM1.0:002	PM2.5:002	PM10:003	CO2:0564
Date:20240511	Time:0835	PM1.0:002	PM2.5:002	PM10:003	CO2:0571
Date:20240511	Time:0836	PM1.0:002	PM2.5:002	PM10:003	CO2:0565
Date:20240511	Time:0837	PM1.0:003	PM2.5:004	PM10:010	CO2:0569
Date:20240511	Time:0838	PM1.0:002	PM2.5:004	PM10:004	CO2:0571
Date:20240511	Time:0839	PM1.0:001	PM2.5:004	PM10:006	CO2:0575
Date:20240511	Time:0840	PM1.0:001	PM2.5:004	PM10:006	CO2:0585
Date:20240511	Time:0841	PM1.0:002	PM2.5:004	PM10:006	CO2:0606
Date:20240511	Time:0841	PM1.0:002	PM2.5:004	PM10:006	CO2:0606
Date:20240516	Time:1652	PM1.0:000	PM2.5:000	PM10:000	CO2:0000
Date:20240516	Time:1653	PM1.0:001	PM2.5:003	PM10:003	CO2:0000
Date:20240516	Time:1655	PM1.0:001	PM2.5:003	PM10:003	CO2:0216
Date:20240516	Time:1656	PM1.0:000	PM2.5:001	PM10:001	CO2:0619
Date:20240516	Time:1657	PM1.0:002	PM2.5:001	PM10:004	CO2:0561
Date:20240516	Time:1658	PM1.0:002	PM2.5:001	PM10:004	CO2:0559
Date:20240516	Time:1659	PM1.0:002	PM2.5:001	PM10:002	CO2:0551
Date:20240516	Time:1700	PM1.0:001	PM2.5:001	PM10:002	CO2:0612
Date:20240516	Time:1701	PM1.0:001	PM2.5:001	PM10:002	CO2:0582
Date:20240516	Time:1702	PM1.0:001	PM2.5:001	PM10:002	CO2:0532
Date:20240516	Time:1703	PM1.0:001	PM2.5:001	PM10:002	CO2:0518
Date:20240516	Time:1703	PM1.0:002	PM2.5:001	PM10:002	CO2:0518
Date:20240516	Time:1704	PM1.0:001	PM2.5:003	PM10:002	CO2:0514
Date:20240516	Time:1705	PM1.0:001	PM2.5:003	PM10:002	CO2:0519
Date:20240516	Time:1706	PM1.0:000	PM2.5:002	PM10:002	CO2:0519
Date:20240516	Time:1707	PM1.0:001	PM2.5:002	PM10:002	CO2:0516
Date:20240516	Time:1708	PM1.0:001	PM2.5:002	PM10:002	CO2:0513

Elaborado por: Villacrés Alex, 2024

Aquí se han tomado las variables que se necesita para un posterior estudio con una estrategia estadística elegida después de hacer una prueba de normalidad de datos para datos pareados en los resultados finales y comparar datos obtenidos en la empresa Talleres Pepe Lucho, se verificara en la normativa NTE INEN 2204 rige en Ecuador desde el año

2002, este reglamento técnico se encarga de regular los límites permitidos de emisiones producidas por vehículos automotores que emplean gasolina y la norma técnica estatal ambiental ntea-024-semagem-ca-2023, que establece los umbrales de compuestos orgánicos volátiles (COV) y criterios para su cuantificación en las fuentes fijas de competencia estatal (Cortés, 2017), también se aplicara la casa de la calidad a partir de todos los datos obtenidos por las personas que trabajan en esta empresa y se encuentra plasmada en el **ANEXO 1** del documento con su respectiva explicación de los ¿Qué?, ¿Cómo?, y su relación según la descripción de cada característica del dispositivo de 1 como baja relación y 5 como alta relación entre descripción del que hacer y el cómo realizarlo, en esta parte trabajo se implementa el análisis de factores aplicado a los resultados de las encuestas de la calidad del servicio de ventilación en lugares cerrados.

Área de estudio

Tabla 2: Área de estudio

ANÁLISIS	
El área de estudio de la propuesta metodológica es:	Automatización y Control
Dominio:	Tecnología y sociedad
Línea de investigación:	Sistemas Industriales
Campo:	Ingeniería Industrial
Área:	Automatización
Aspectos:	Sistema de monitoreo de calidad de aire
Objetivos:	Diseñar un Sistema de monitoreo de calidad del aire en la empresa Talleres Pepe Lucho.
Periodo de análisis:	Enero 2022 – Julio 2023

Elaborado por: Villacrés Alex, 2024

La tabla 2 muestra el área de estudio en los cuales se toma en cuenta los subtemas que son dominio del tema con sus respectivas definiciones en la derecha.

Modelo operativo

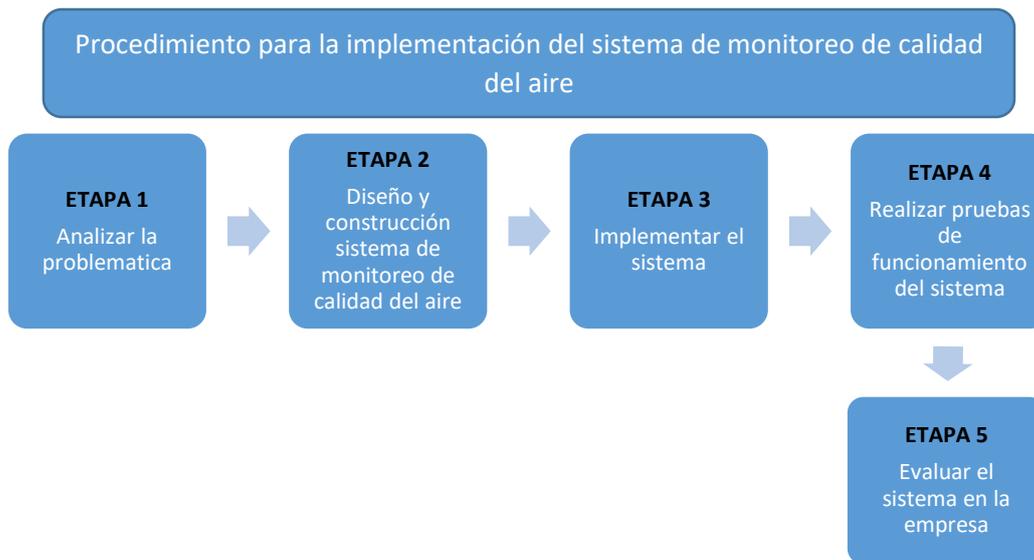


Imagen 5. Modelo operativo del procedimiento a realizar para el monitoreo de calidad del aire. **Elaborado por:** Villacres Alex, (2023).

Desarrollo del modelo operativo

La imagen 5, visualiza el desarrollo del modelo operativo para la ejecución del Sistema de monitoreo de calidad del Aire expresado en un documento a partir de la aplicación de sensores como son; DHT11 (Temperatura y Humedad), Mq135 (NH₄), Mq9 (CO) que captan las variables dichas anteriormente para luego ser tabuladas en un estudio de esta empresa y el porcentaje de seguridad para el trabajador en enfermedades respiratorias a corto o largo plazo con estas variables, consta de cinco etapas para la ejecución de la Propuesta Metodológica las cuales se realizarán comparando la situación actual de Talleres Pepe Lucho con la implementación de este método de monitoreo de calidad del aire con IOT (Internet of things) de manera adecuada y finalizar creando una aplicación para teléfonos Android y facilitar el monitoreo con la plataforma ThingSpeak para recolectar datos desde cualquier punto con conexión a internet y conseguir un efecto satisfactorio para cuando la empresa decida aplicar el sistema para su área de trabajo.

Para iniciar esta etapa se mostrará los pasos a seguir para iniciar con la incorporación del sistema de calidad del aire a una caja aislante de partículas dañinas o golpes en el lugar predeterminado donde se generan temperaturas altas, Co (Monóxido de carbono) y NH₄ (Amonio).

Etapa 1. Se analiza la problemática a partir de una investigación documental bibliográfica sobre la calidad del aire en los últimos años en las fuentes como (Bart Van Hoof, 2018) y (Donozo & Santa María, 2015) se verifica los componentes que comúnmente existen en los talleres industriales que realizan mantenimiento vehicular y pintado al horno de los mismos, y se visualiza el cómo ha sido contaminado el aire y que se han propuesto por mejorar esta situación en el país, también como punto principal se realizara un monitoreo con un sistema de calidad del aire de marca Temptop comercializado en la plataforma Amazon, este dispositivo está fabricado para monitorear CO₂, El formadehído (HCHO), COV (Compuestos orgánicos volátiles) y se encontró que los niveles que contienen ese lugar cerrado está de los 3 colores verde(Buena), amarilla(media) y roja(mala) y predominando el amarillo que significa realizar una intervención para minimizar la contaminación aérea, a razón de esto se realizará el estudio en una empresa en dicha empresa que se pueda realizar el proyecto del monitoreo de calidad del aire.

Etapa 2. La segunda etapa se realiza el diseño del sistema IOT para el monitoreo de la calidad del aire de ese lugar predeterminado, primeramente, creando un diagrama de bloques en el que se pueda visualizar los pasos a seguir en el sistema y posteriormente se compraran los elementos para formar el circuito que son Sensor DHT22, Sensor MQ9 y Sensor MQ135, el microcontrolador Esp32, cables, Protoboard, para las posteriores pruebas en un lugar cerrado y posteriormente enfocararlo en instalarlo en una empresa, en la imagen 6 se muestra la elaboración de un diagrama de bloques que se usara como base del modelo a diseñar para el monitoreo de la calidad del aire de la empresa.

Etapa 3. En la tercera etapa, con el microcontrolador ESP32, el sensor de temperatura y humedad, y los sensores de la calidad del aire Mq135 y Mq9 se usaran para soldarlos directamente en una placa impresa a laser y una caja protectora aislante de golpes, después de sus pruebas respectivas y se tomará en cuenta el lugar cerrado donde se realizará las pruebas para tener una referencia del funcionamiento del mismo en esa área y a su vez poder determinar el lugar específico de instalación, en este caso una empresa de mantenimiento vehicular (Talleres Pepe Lucho) en el que se instalará el circuito completo y se lo dejará funcionando por 1 hora.

Aquí se realizó una placa para soldar el circuito completo después de las pruebas correspondientes, el programa usado para realizar esta placa se llama EasyEDA que es un diseñador y simulador de circuitos de PCB (placa de circuito impreso) gratuito y fácil de usar, primeramente se modifica el tamaño de la placa a un tamaño de 5x5 y buscamos en la librería una ESP32 y se dibujó los orificios y 11 orificios más para los 3 sensores, estos separados por 3mm y así mismo en la librería buscamos los sensores para ponerlos correctamente hacer los orificios e imprimirla, en la imagen 8 y 9 se puede observar cómo se realizó la placa con las medidas específicas del microcontrolador y los sensores respectivo para el sistema el que se modificó a gusto del usuario la forma y el tamaño de la placa para luego soldarla y ponerla en puesto a punto.

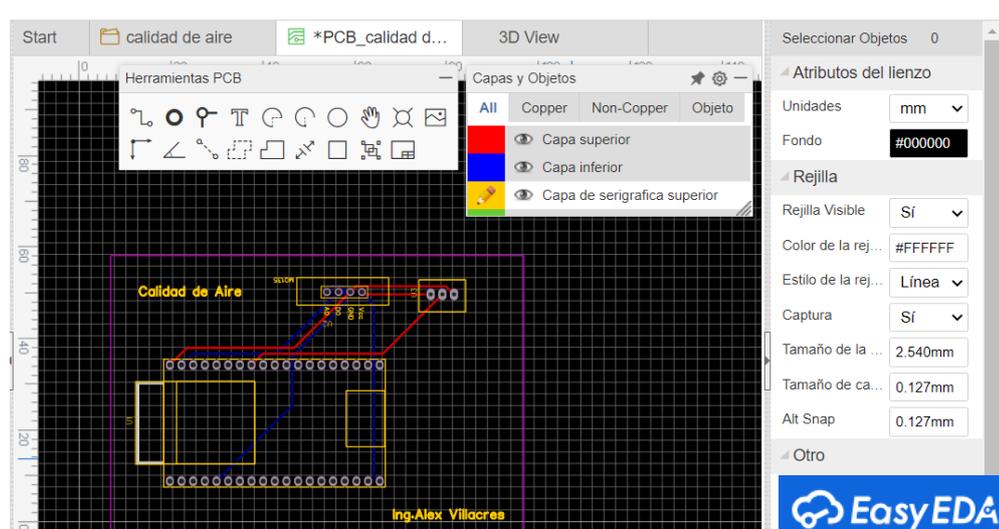


Imagen 8. Estructura inicial de la baquelita para el proyecto de sistema de monitoreo de calidad del aire.

Elaborado por: Villacres Alex, (2023).

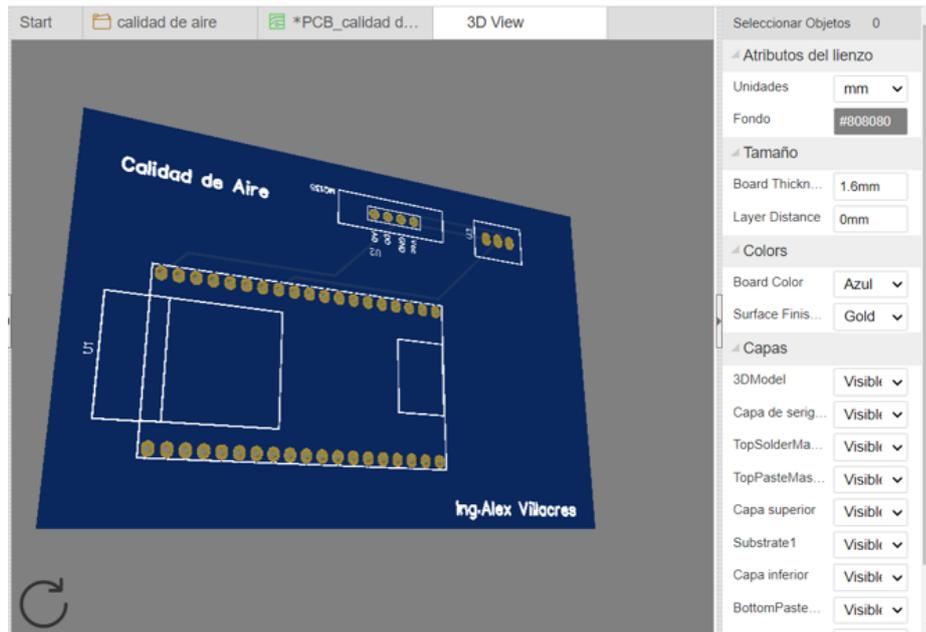


Imagen 9. Estructura final de la placa para el proyecto de sistema de monitoreo de calidad del aire.

Elaborado por: Villacres Alex, (2023).

Etapa 4. Aquí se ejecutarán las pruebas del funcionamiento del sistema con los sensores en tiempo real y se enviarán los datos a la plataforma ThingSpeak (Plataforma que permite conectar personas con objetos) en la nube se recolectan datos y los envía directamente a una aplicación creada en MIT Inventor la cual se monitorea en un celular con sistema Android con las variables NH_4 (ppm), CO(ppm), Temperatura ($^{\circ}\text{C}$) y humedad(%) y se dejara por 1 hora laborable en la empresa para después establecer las variables que tomamos en cuenta en la calidad del aire del área de trabajo.

ThingSpeak es una plataforma en la nube que es abierta para aplicaciones, diseñada para orientar a una conexión personas con objetos, es Open Source con API para recuperar y a su vez almacenar datos usando el protocolo HTTP o vía puerto LAN, las principales desventajas de usar esta plataforma son: los datos se envían de 1 a 15 segundos en la versión gratuita < 3 millones de mensajes/año o ~8200 mensajes/día, mientras que en la pagada 33 millones de mensajes en un período de un año (~90.000 mensajes/día), el costo es elevado para este tipo de proyectos con un costo de 275 dólares anuales el más económico, en el gratuito el número de canales que se puede usar son 4 como máximo, tampoco tiene la

función de crear un canal de imágenes y solo son admitidos los formatos JPEG/JPG a un tamaño de 5Mb máximo, La versión de código abierto, por otro lado, tiene la limitación de que faltan por completo las aplicaciones, lo que lamentablemente no se menciona ni en los sitios web oficiales ni en el repositorio de GitHub. Esto significa que no puede reenviar los datos de ThingSpeak a otra plataforma, por ejemplo, ni recuperar datos adicionales de Internet. Esto, a su vez, significa que está completamente restringido a la funcionalidad del canal y a las posibilidades de visualización del propio ThingSpeak. En este punto, por supuesto, todavía existe la posibilidad de cubrir escenarios más complejos recuperando los datos de otra aplicación y procesándolos allí. (Gil & Rubio, 2020).

En la imagen 7 se puede observar la operación que realiza la plataforma con la conexión de algún dispositivo o microcontrolador.

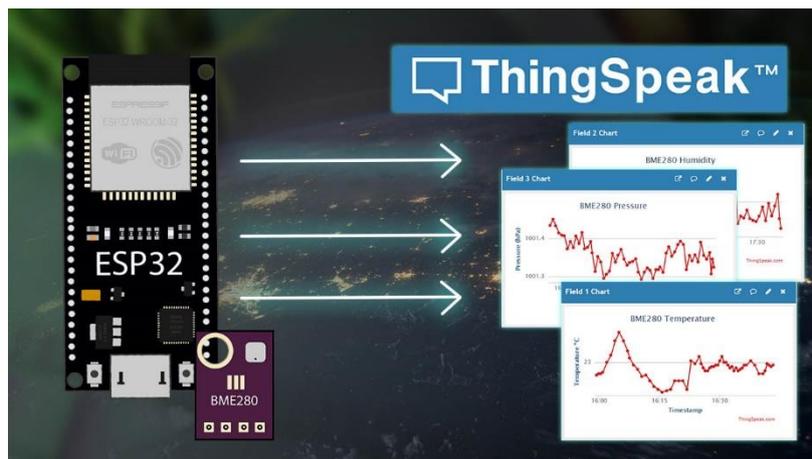


Imagen 10. Plataforma en la nube para recolección y análisis de datos (ThingSpeak)

Fuente:(Arriaga-Colina et al., 2004).

MIT App Inventor es una plataforma realizada por Google Labs con la finalidad de crear las innovadoras aplicaciones para Smartphones con para sistemas Android, está diseñada exclusivamente para teléfonos inteligentes y tablets que tengan un sistema operativo Android, no es válido para IOS que es el sistema operativo que usa Apple se observa en la imagen 10.(Orgaz-Agüera et al., 2022).

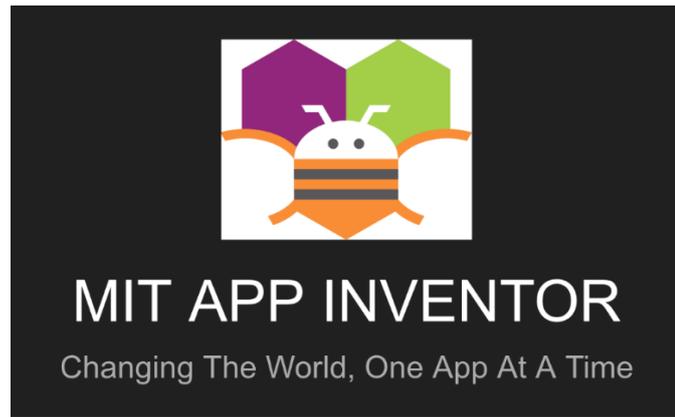


Imagen 11. Logo oficial de MIT App Inventor creador de aplicaciones Android
Fuente: (Orgaz-Agüera et al., 2022).

Arduino es un programa usado para el código que se necesita al monitorear la calidad del aire, en este caso usaremos las librerías para programar la ESP32 explicada anteriormente, se vincula directamente a través de una librería instalada y se puede programar normalmente y usarlo como se lo hace con el microcontrolador Arduino, Arduino UNO, Arduino Mega, entre otros.

En la imagen 11 se puede observar el logo oficial del programa Arduino de software libre.



Imagen 12. Logo oficial de software Arduino para programación.
Fuente: (Herrera, 2015).

El código usado para llevar a cabo este proyecto se realizó en el Software Arduino, descargando librerías como son las del ESP32. La biblioteca de Adafruit para el DHT11 nos suministra datos en °F y °C. Para conseguir los datos usamos la misma función, "readTemperature()".

Si no le pasamos ningún parámetro, devuelve la temperatura en grados centígrados. Si le pasamos el valor verdadero, devuelve la temperatura en grados Fahrenheit. La humedad se consigue con la función "readHumidity()".

Para el sensor Mq135 utilizamos la codificación `boolean mq_estado = digitalRead(pin_mq); // Leemos el sensor` `if(mq_estado) // si la salida del sensor es 1,` y para ver la presencia de buena calidad de aire sería `Serial.println("Sin presencia de patógenos aéreos");` y para la mala calidad de aire sería, `Serial.println("Mala calidad de aire detectada");` con esta codificación se realizó correctamente la recolección de datos directamente a ThingSpeak.

```
7 String ruta= "calidaddeaire";
8 #include "DHT.h"
9 #include "MQ135.h"
0 #define ANALOGPIN A0 // Define l
1 #define RZERO 206.85 // Define l
2 MQ135 gasSensor = MQ135(ANALOGPIN);
3 // Definiciones
4 #define DHTPIN 0 // tipo de sensor
5 #define DHTTYPE DHT11 // pin para e
6 // #define PIN_MQ_DIGITAL 2 // pin d
7 #define PIN_MQ_ANALOGICO A0 // pin
8
```

Imagen 13. Código Arduino en diagrama para enviar los datos directamente a la plataforma ThingSpeak.

Fuente: Villacres Alex, (2023).

Etapa 5. La última etapa de este proyecto es la recolección de los datos para tabularlos con la técnica estadística escogida para el análisis de normalidad de los datos obtenidos a partir de una media ponderada de los datos del sistema en 1 hora de funcionamiento, en la que se pueda obtener un dato específico transformado de ppm a $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y comparar con los datos de la norma específica para la calidad NTP 607: Guías de calidad de aire interior: contaminantes químicos, aquí dice que el aire color verde (ICA de 0 a 50) Moderada: Color amarillo (ICA de 51 a 100) Dañina a la salud para grupos sensibles: Color naranja (ICA de 101 a 150) Dañina a la salud: Color rojo (ICA 151 a 200).

TABLA 1
Estándares de la EPA de calidad de aire

Contaminante	Tiempo	Valor del estándar	Tipo de estándar
Monóxido de carbono (CO)	8 horas promedio	9 ppm (10 mg/m ³)	Primario
	1 hora promedio	35 ppm (40 mg/m ³)	Primario
Dióxido de nitrógeno (NO ₂)	Media aritmética anual	0,053 ppm (100 µg/m ³)	Primario y secundario
	1 hora promedio	0,12 ppm (235 µg/m ³)	Primario y secundario
Ozono (O ₃)	8 horas promedio	0,08 ppm (157 µg/m ³)	Primario y secundario
Plomo (Pb)	Promedio cuatrimestral	1,5 µg/m ³	Primario y secundario
Partículas (PM 10)	Media aritmética anual	50 µg/m ³	Primario y secundario
Partículas con diámetro de 10 micras o menos	24 horas promedio	150 µg/m ³	Primario y secundario
Partículas (PM 2,5)	Media aritmética anual	15 µg/m ³	Primario y secundario
Partículas diámetro de con 2,5 micras o menos	24 horas promedio	65 µg/m ³	Primario y secundario
Dióxido de azufre (SO ₂)	Media aritmética anual	0,03 ppm (80 µg/m ³)	Primario
	24 horas promedio	0,14 ppm (365 µg/m ³)	Primario
	3 horas promedio	0,50 ppm (1300 µg/m ³)	Secundario

Imagen 14. NTP 607: Guías de calidad de aire interior: contaminantes químicos.
Fuente: Villacres Alex, (2023).

En la imagen 14 se muestra la guía técnica que se va a usar para comparar el sistema de monitoreo de calidad del aire con sus respectivos datos para verificar los niveles de calidad del aire con las variables medidas, al realizar este proceso tenemos un porcentaje alto de precisión para realizar el proyecto ya que se utiliza plataformas y materiales certificados para solventar el trabajo.

Resultados esperados

Se pretende obtener un resultado óptimo del sistema de monitoreo de calidad del aire el mismo que al inicio se planifico con el gerente de la empresa, el sistema instalado en la empresa finalizaría al validarlo en comparación con el dispositivo comercial ayudando a la empresa a ilustrarse sobre los daños emitidos de estas variables, como protegerse ante ellos y fomentar el uso de equipos de protección personal brindando una solución en el área de trabajo planificada, recolectando datos en tiempo real del dispositivo de calidad del aire verificar el aire que respiran las personas que laboran en esa área y de ser el caso; se manifestó una futura implementación de ventilación en el lugar o instalar un purificador de aire en esa área de trabajo para cuando gerencia lo requiera de la empresa para mejorar la calidad del aire de los trabajadores.

CAPÍTULO III

PROPUESTA Y RESULTADOS ESPERADOS

Presentación de la propuesta

Partiendo del estudio realizado en el área cerrada de la empresa en el cual se considera que se concentran las variables a analizar (CO, NH₄, Temperatura y humedad), parte del área de trabajo se escogió a razón de que cuando los empleados en la parte de mantenimiento los vehículos emanan gases por el tubo de escape y utilizan un horno para pegar la fibra de zapata de freno con fuerte humo (CO), al terminar el día para limpiar los equipos se usan los productos de limpieza de los surgen olor fuerte (NH₄) que se mezclan y son altamente dañinos para la salud del trabajador, esto se lo realiza en un lugar cerrado de 15m², para ello es necesario un monitoreo de la calidad del aire de esta área de la empresa, entonces se realizara una lista de materiales y posteriormente armarlo, se hará una prueba del sistema en una Protoboard para posteriormente después de verificar que este armado correctamente se lo plasma en una placa impresa para instalarla en el lugar cerrado para que se pueda realizar la adquisición de datos reales por un tiempo optimo, se recogerán y se tabularan los datos para compararlos con normativa de la calidad del aire respirado y verificar si está en el rango establecido por el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, en la tabla 3 se representa el diagrama de bloques que se utilizara en este proyecto, se presenta una lista de los materiales detallados con las funciones que cumple cada uno de ellos y los software necesarios para en el capítulo IV realizar la implementación en la empresa.

Tabla 3. Materiales usados para el proyecto de monitoreo de calidad del aire.

Materiales	Materiales para realizar el circuito de Sistema de calidad del aire.		
	Nombre	Descripción	N°
-Sistem on Chip (SOC)	ESP32	Procesador de bajo costo en el mercado que muestra robustez, versatilidad y confiabilidad en el uso de diversas aplicaciones, incluyendo Bluetooth y Wi-Fi.	1
-Sensor	DHT11	Sensor de temperatura y humedad relativa que obtiene datos con una medida entre 0-100% y una tolerancia del 5% en humedad y del 2% en temperatura.	2
-Sensor	Mq135 y Mq9	Indica se usa para monitorear la calidad del aire, la detección de contaminación del medio ambiente de variantes como CO y NH4.	3
-App Creator	MIT APP INVENTOR	Sirve para crear las innovadoras aplicaciones para Smartphones con sistemas Android	4
-Internet Plantform	ThingSpeak	Plataforma para recopilar y almacenar datos en la nube a través de objetos a través de Internet utilizando un protocolo HTTP.	5
-Program	Arduino	Software de programación de sistemas como compiladores de datos directamente a alguna plataforma	6

Elaborado por: Villacres Alex, (2023)

En la tabla 3 se describe los materiales y el uso de cada uno, para realizar las pruebas necesarias en una simulación de un programa online llamado fritzing, para luego determinar en qué área sería factible usarlo y armarlo en una placa de circuito PCB y unirlo a la caja hecha a la medida del circuito, se la sellará y será expuesta en un lugar cerrado de la empresa para monitorear la calidad del aire en esa área cerrada y que tan dañina sería para los trabajadores que están expuestos a ese ambiente laboral de su área de trabajo.

Microcontrolador Esp32

Para la implementación de este sistema de calidad de aire se utilizará el módulo Esp32 en su versión básica que incluye wi-fi y bluetooth, ya que es suficiente para los puertos que

se usaran para los varios sensores certificados para medir la calidad del aire, en la imagen 15 se puede observar la placa con sus puertos.

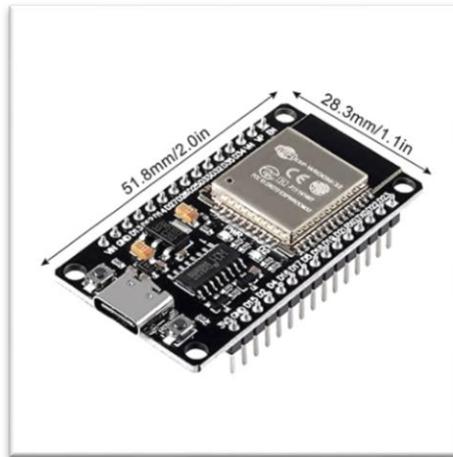


Imagen 15. Microcontrolador Esp32 versión básica.

Fuente: (Rodríguez et al., 2021)

Sensor Mq135 Gas – Calidad de Aire

Este tipo de sensor como su nombre lo indica se usa para monitorear la calidad del aire, la detección de contaminación del medio ambiente, se puede usar como implemento de alarmas de seguridad en los hogares o sitios en donde se requiera para verificar la cantidad de contaminación del NH_4 (amonio), AIRE, CO (monóxido de carbono) y CO_2 (dióxido de carbono), en el caso de industrias químicas o lugares donde se propaguen las variables, estos son componentes nocivos para la salud del trabajador o edificios u oficinas, se maneja con 5V-DC, 150mA, un potenciómetro ajustable, detecta amoniaco, sulfuro, benceno, humo, tiene una concentración de oxigeno de 2 al 21 % y su humedad de operación es menor del 95 % con una temperatura de operación de -20 grados Centígrados hasta 70 grados centígrados (Arriaga-Colina et al., 2004).

En la imagen 16 se puede observar el sensor Mq135 y sus características, así como las dimensiones que tiene.

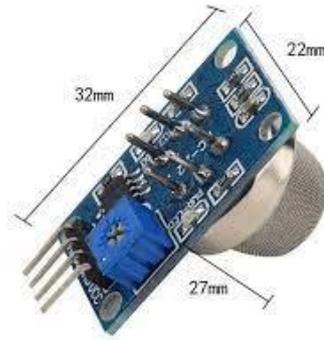


Imagen 16. Sensor Mq135 Gas-Calidad de aire.
Fuente: (Arriaga-Colina et al., 2004).

Sensor Mq9 Gas – Calidad de Aire

Este tipo de sensor como su nombre lo indica se usa para monitorear la calidad del aire, la detección de contaminación del medio ambiente, es un sensor muy sencillo de utilizar, aplica para Monóxido de Carbono (CO), CH₄ y Aire; prácticamente es un MQ-7 mejorado al extremo, propicio para detectar las concentraciones en el aire. El MQ-9 puede detectar concentraciones de CO de 10 a 10000 ppm (partes por millón) y de 100 a 10000 ppm de gas combustible. El sensor se puede utilizar para detectar diferentes gases que contengan CO y combustibles, el material sensible del sensor de gas MQ-9 es SnO₂(Arriaga-Colina et al., 2004).

En la imagen 17 se puede observar el sensor Mq9 y sus características.



Imagen 17. Sensor Mq135 Gas-Calidad de aire
Fuente:(Arriaga-Colina et al., 2004)

El área que se realizara la instalación emulada, es el campo laboral de un taller de mantenimiento vehicular, para conocer la temperatura, humedad y calidad del aire exacta en las variables CO y NH₄ en la cual, se verificara si existe una tolerancia de las variables medidas, y en conclusión un resultado satisfactorio de los datos pero mejorable, ya que en el rango de buena calidad del aire del espacio cerrado tenemos la norma NTP 607: Guías de calidad de aire interior: contaminantes químicos; nos ayudara a visualizar el rango en el que está el monitoreo y verificar si es mejorable y no dañino a los trabajadores de la empresa si se lo considera a tiempo;

Según el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT) dice que la temperatura adecuada para el área de una oficina debería tener 17 y 27 °C, mientras que, en trabajos como el mencionado de los trabajadores del taller de mantenimiento de esta empresa, la temperatura adecuada sería entre los 14 y los 25°C, se ve en el ANEXO 3.

Concordando como anteriormente con el INSHT, la humedad relativa del aire debería estar en 30% y 70%, si el trabajo es de oficina se recomienda usar aire acondicionado, pero en esta ocasión no existiría presencia de humedad excesiva ya que el trabajo es en campo abierto.

Para la calidad de aire se tiene los siguientes datos del INSHT medidos en PPM;

Buena: Color verde (ICA de 0 a 50)

Moderada: Color amarillo (ICA de 51 a 100)

Dañina a la salud para grupos sensibles: Color naranja (ICA de 101 a 150)

Dañina a la salud: Color rojo (ICA 151 a 200) 43

Por lo que se realizara la tabulación de los datos anteriormente citados desde la plataforma ThingSpeak y se recolectaran en unas tablas para realizar las respectivas transformaciones y validar los datos obtenidos con los de la norma internacional en miligramos sobre metro cubico que es la unidad en la que se miden estas variables, a continuación, se presenta el cronograma de actividades a realizarse y las fechas para implementar la propuesta.

Cronograma de Actividades

Tabla 4. Cronograma de actividades para implementar el Sistema de monitoreo de calidad del aire en Talleres Pepe Lucho.

No	GRUPO	ACTIVIDADES:	PLANIFICACION POR SEMANA																Total actividad	
			SEMANA 1				SEMANA 2				SEMANA 3				SEMANA 4				Semana	%
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16		
1	1	Adquirir los elementos para sistema de monitoreo de calidad del aire.	■	■															2	4.2
2	1	A partir de una programación en el software arduino se realizara el código para monitorear temperatura, humedad, NH4 y CO.		■	■														2	4.2
3	1	Se realizara pruebas previas en una protoboard con el microcontrolador ESP32 y los sensores.			■	■													3	6.3
4	1	Se creara una aplicación móvil en MIT APP Inventor a partir de los datos enviados a la plataforma ThingSpeak en la nube.	■	■	■														3	6.3
5	1	Una vez realizada las pruebas propuestas se imprimira una placa en laser para soldar todos los componentes.			■	■													2	4.2
6	1	En una impresora 3D se realiza la caja con las medidas específicas para en circuito.				■	■	■	■										4	8.3
7	1	Una vez incorporado el circuito a la caja correctamente se procede a implementarlo en el lugar cerrado propuesto de la empresa .				■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	45	93.8
8	1	plataforma ThingSpeak por 3 días laborales tomando en cuenta las 8 horas de trabajo.				■				■				■				11	22.9	
9	1	Realizar la tabulación de los datos obtenidos en la plataforma ThingSpeak por medio de un archivo de Excel proporcionado por la plataforma en la nube.						■				■				■		3	6.3	
10	1	Realizar los respectivos gráficos y tablas que se obtuvieron como resultado de los datos obtenidos.													■			2	4.2	
TOTAL			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■			

24 100%

Elaborado por: Villacres Alex, (2023)

La tabla 4 muestra las planificaciones realizadas cada mes para el correcto funcionamiento del sistema de monitoreo de calidad del aire, hay que tomar en cuenta que estos datos son de 8 horas diarias laborales y se deberán hacer pruebas mensualmente ya que el sistema puede adquirir alguna avería o algún tipo de golpe o desperfecto y se debe revisar cada cierto tiempo.

Análisis de costos

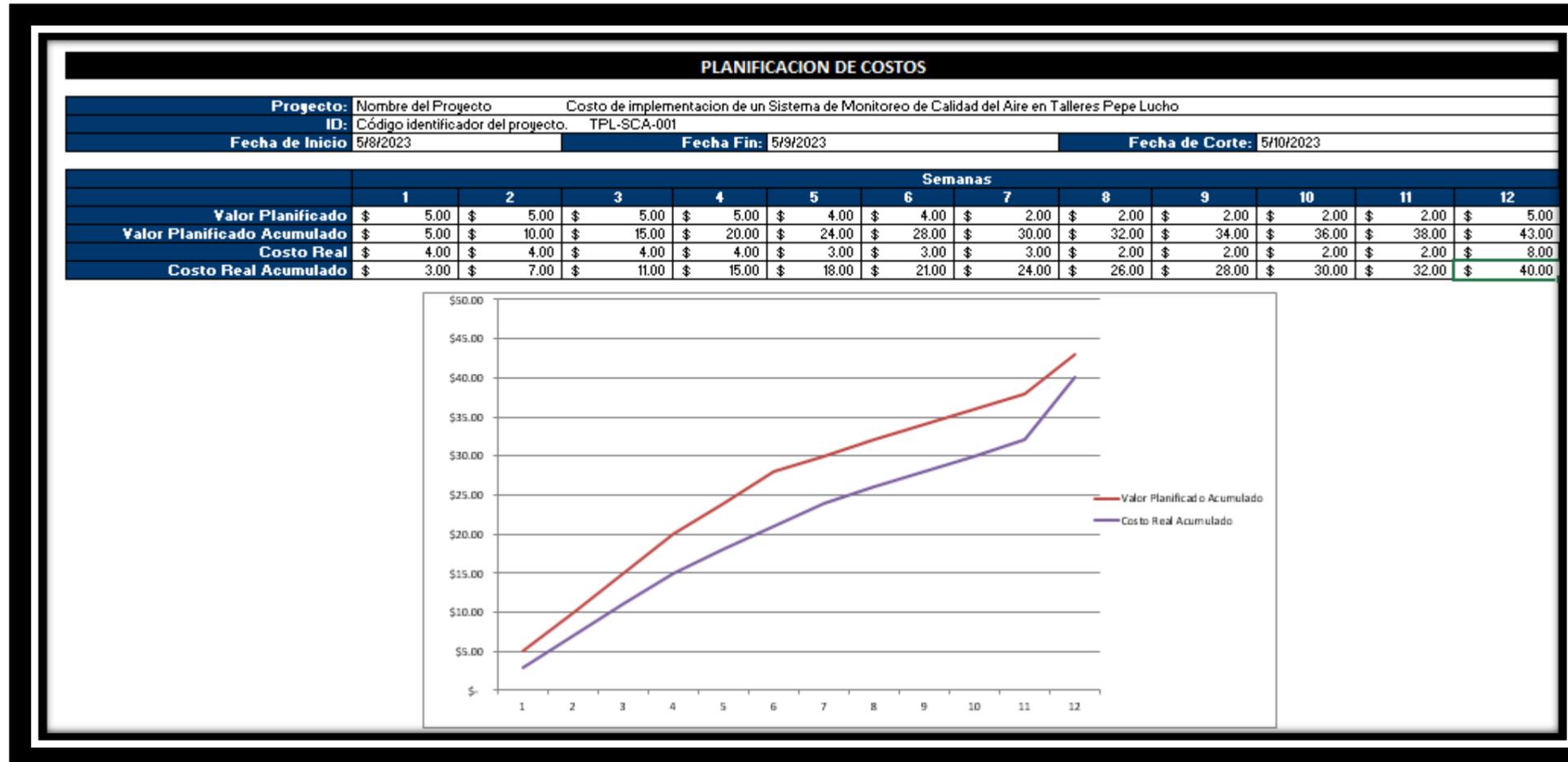


Imagen 18. Curva S de costos aproximados para la implementación del Sistema de calidad del aire en Talleres Pepe Lucho
Elaborado por: Villacres Alex

La imagen 18 visualiza el diagrama S con la finalidad de analizar los costos en la planificación en las semanas propuestas para la implementación del sistema de monitoreo de calidad del aire iniciando de 05 de agosto del 2023 y clausura del 05 de octubre del 2023 la empresa debe tener conocimiento de estos costos y cuando hay algún factor que retrase la planificación aplazar las fechas, los valores previstos por mes exponen cual será el costo acorde a la planificación propuesta en la página antecesora, los costos planificados y reales se obtienen desde el costo del primer mes sumado el valor anterior ya sea el real o el acumulado. (Villacrés Lopez, 2020).

Componente Ambiental

La emisión de material particulado esta entre los potenciales impactos cuando hablamos de calidad del aire, esto se produce principalmente en las actividades como remachada de fibra de zapata de freno, uso del esmeril al pulir metales, pintura con soplete de componentes de vehículos, entre otros y uno de los potenciales en la calidad del aire en la actualidad es la emisión de gases como Dioxido de Azufre (SO₂), hidrocarburos, monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), entre otros que afectan notablemente la salud de las personas que están aledañosamente trabajando en estas empresas sin la seguridad correspondiente, los sistemas de ventilación en los talleres que se dedican a estas actividades son estrictamente necesarios para la manutención de la calidad del aire y conservar el ambiente saludable y libre de enfermedades profesionales, estos son espacios sensibles a los altos niveles de contaminación procedentes de los procesos antes mencionados, en cuanto a la humedad los niveles recomendables es del 30% al 70%, respecto a la temperatura entre los 14 y 17 grados centígrados en lugares que se realicen trabajos ligeros, la renovación de la calidad del aire en estos locales comerciales son 30 metros de aire limpio por hora y trabajador en caso de tener un trabajo sedentario en ambientes no calurosos ni contaminados por humo de trabajo y 50 metros cúbicos en los casos restantes a fin de evitar el ambiente de aire vaciado y olores desagradables, así el sistema de ventilación empleado y, en particular, la distribución de las entradas de aire limpio y salidas de aire vaciado, deberán asegurar una efectiva renovación del aire del local de trabajo.

CAPÍTULO IV

EJECUCIÓN DE LA PROPUESTA Y RESULTADOS OBTENIDOS

Proceso de ejecución

Justificación de la ejecución

En esta parte del capítulo se plantea el desarrollo de un sistema de monitoreo de la calidad del aire a partir de una aplicación móvil y el uso del software Arduino con el que se programara en un microcontrolador ESP32 y sensores de diferentes tipos de patógenos (CO, NH₄, Temperatura y humedad) en el ambiente cerrado en el que trabajan las personas en un lugar cerrado de la empresa y así brindar una posterior solución como la de implementar un sistema de absorción de partículas con la finalidad de evitar o minimizar enfermedades para las personas que están más expuestas a inhalar aire contaminado y mover la maquinaria hacia lugares abiertos a razón de que generan patógenos, residuos en el aire, entre otros en cuestión y dar una solución factible y económica para el gerente de la empresa y si desea seguir realizando mejoras a futuro.

Desarrollo y seguimiento.

En la imagen 19 se observa cómo se creó una cuenta en la plataforma ThingSpeak para que todos los datos que lleguen se puedan monitorear a través de internet, en la nube se suben los datos y se van guardando para obtener resultados reales en 4 canales diferentes que es el máximo en la versión gratuita, y el límite de 15 segundos de intervalo por dato enviado, uno para temperatura el segundo para humedad el tercero para monóxido de carbono y el cuarto para amonio para luego poder tabularlos.

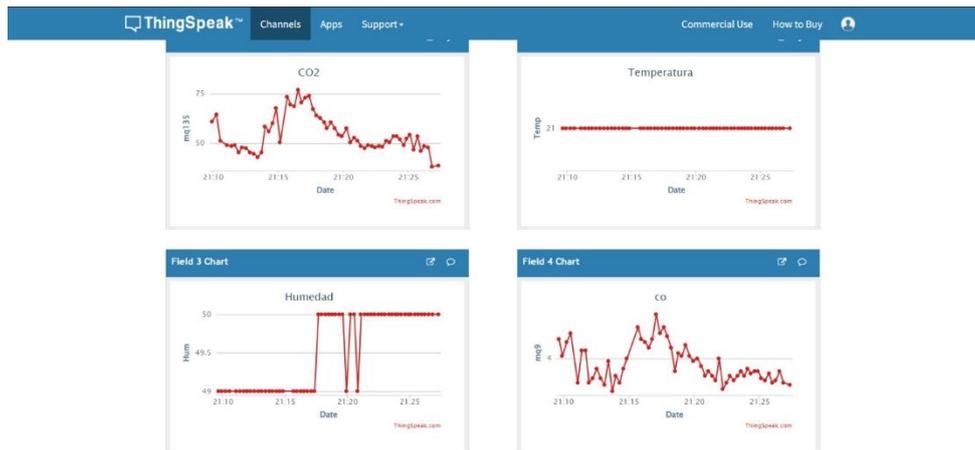


Imagen 19. Plataforma ThingSpeak con 4 canales de temperatura, humedad, CO, y NH₄.
Elaborado por: Villacres Alex, (2023)

Posteriormente se realizó la aplicación web en MIT Inventor, esta permite a partir de una aplicación para Smartphones con sistema Android y IOS puedan observarlos desde cualquier lugar donde tengan conexión a internet, se la realiza a base de programación en bloques (Java Script), para crear lenguaje visual y es más fácil de usar que una aplicación de programación por su facilidad de insertar la unión de bloques y botones, como de adjuntar imágenes y texto para una app básica para principiantes, en la imagen 18 se puede observar los datos enviados de ThingSpeak hasta la aplicación web descargada en el celular del usuario.

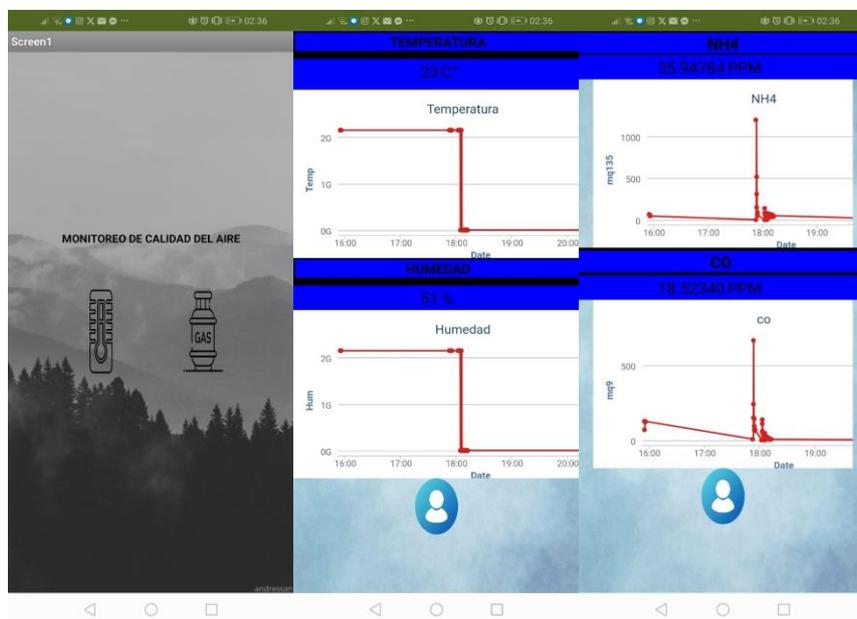


Imagen 20. Aplicación web instalada en celular móvil con monitoreo activo de variables.
Elaborado por: Villacres Alex, (2023)

Después de tener todos los complementos para el monitoreo se realizó la instalación del circuito en la placa impresa y se soldó los componentes para unirle a la caja a medida de

los circuitos y sensores que sobresalen para que ingrese el aire a cada uno de ellos y se pueda verificar la calidad del aire del lugar cerrado que tiene de área 45 metros cuadrados en donde más se concentra las variantes dichas, la caja protectora está hecha de plástico y se puede encontrar en cualquier lugar de venta de implementos electrónicos, por lo general se la usa para la instalación de cámaras de seguridad y tiene unas dimensiones aproximadas de 10.5cm de ancho x 11 cm de largo x 7 cm de profundidad; la placa se la hizo en una superficie de baquelita de 10cmx 7 cm y realizamos un lijado de la superficie con una esponja de hilos de acero, después se lo limpia con alcohol antiséptico; en este proceso se imprime el diagrama realizado en la aplicación EASYEDA en papel fotográfico, y finalmente se lo coloca encima del lugar lijado de la baquelita y lo pegamos a ella para después con una plancha en su máxima temperatura y después de 10 minutos de planchado obtendremos la placa grabada con la tinta y con ácido férrico preferiblemente en un recipiente cerrado la dejamos por 25 minutos y después la secamos y volvemos a lijar con la esponja de acero y el resultado se visualiza en la imagen 21 ya complementado e instalado en el protector con sus respectivas conexiones.

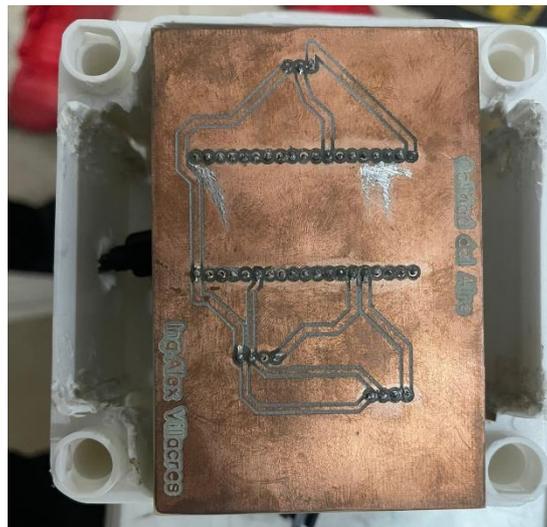


Imagen 21. Placa de sistema de calidad del aire soldada y adjuntada a la caja aislante de golpes.
Elaborado por: Villacres Alex, (2023)

Hay que tomar en cuenta la facilidad de conseguir los materiales y la precisión como un aparato de monitoreo que se encuentra en el mercado y sobresale su económico precio de cada sensor y el microcontrolador con esto se ayuda a la creación de sistemas de calidad del aire para cualquier empresa con una mínima inversión y al alcance de las personas para realizarlo y para finalizar se realizó la instalación del sistema de monitoreo en el lugar propuesto de área 45 metros cuadrados y se dejó por una hora laborable, en horario

de trabajo se lo encendía y al terminar solo desconectaba, con esto se enviaron los datos de las variables a la plataforma ThingSpeak para realizar su posterior análisis de datos de cada una de las variables, en la imagen 22 se muestra la instalación del sistema de monitoreo en la empresa.



Imagen 22. Instalación de sistema de monitoreo de calidad del aire en la empresa Talleres Pepe Lucho.
Elaborado por: Villacres Alex, (2023)

Resultados obtenidos

Presentación de los resultados obtenidos

Se recogieron los datos de 3 días de los 3 parámetros propuestos como temperatura, humedad y calidad del aire de la empresa con los que se podrán determinar los resultados obtenidos de todo este proceso y ayudar al responsable del taller para posteriores implementaciones. de sistemas de control mejorados.

Los datos fueron tomados aproximadamente a partir de las 07:59 horas. del 10/06/2024 hasta las 09:00 pm del 10/06/2024, aquí se determinaron los rangos adecuados para la salud del trabajador y se determinó un excelente control por el sistema que ya tiene el taller instalado. Dado que la tolerancia de este sensor no es más del 2%-5%, no hay variaciones fuertes para realizar cambios.

La primera variante que se analizó fue la temperatura del área de trabajo en la que se presenta la mala calidad del aire, luego de 12 horas de enviar datos a la nube de ThingSpeak, se tomó una media aritmética de todos los datos, dando como resultado en la gráfica 1 de temperatura versus tiempo.



Gráfica 1. Temperatura vs Tiempo del área de trabajo de la empresa.
Elaborado por: Villacres Alex, (2023)

El resultado luego del análisis de todos los datos de temperatura en ese intervalo de tiempo fue procesado en Excel y luego determinamos la media aritmética, dando como resultado lo siguiente.

Media aritmética = 15,0121 °C

Este resultado ayuda a determinar que la temperatura en la tarde baja un grado del rango determinado para laborar en la empresa conociendo que el rango de temperatura para el trabajador está entre 14 y 25 °C, pero no afecta significativamente al trabajador tomando en cuenta que el sensor tiene un intervalo mínimo de falla.

La segunda variante que se analizó fue la humedad del taller en lo que se obtuvo, luego de 1 hora de enviar datos a la nube de ThingSpeak, se realizó una media aritmética de todos los datos, dando como resultado la siguiente gráfica 2 de humedad versus tiempo.



Gráfica 2. Humedad vs Tiempo del área de trabajo de la empresa.
Elaborado por: Villacres Alex, (2023)

El resultado luego del análisis de todos los datos de humedad en ese intervalo de tiempo se procesó en Excel y luego se determinó la media aritmética, dando como resultado lo siguiente.

Media aritmética = 24,2326 %

Este resultado ayuda a determinar que la humedad en la empresa está en el rango adecuado que sería de 30 y 70 % y esto no afecta significativamente al trabajador y el fallo es mínimo del intervalo del sensor.

Calculo de índice de calidad del aire en lugares cerrados de temperatura y humedad.

Clima interior: temperatura (T) y humedad relativa (RH)

Se mide la temperatura y la humedad relativa porque es, ante todo, una cuestión de confort para las personas de un lugar cerrado. Se ha descubierto que las altas temperaturas y la humedad aumentan las concentraciones de ciertos contaminantes. Además, regular los niveles de temperatura y humedad minimiza el riesgo de crecimiento de moho en el interior, previniendo así enfermedades como el síndrome de la enfermedad en lugares cerrados.

Para el IAQI (Inside Air Quality Index), la relación entre temperatura y humedad relativa se calcula y se presenta en una escala del 1 al 6 con una calificación de Excelente a Severo. Una calificación superior a 3 requiere que se tomen medidas para ajustar la temperatura

o la humedad del lugar cerrado, a fin de minimizar mejor el riesgo de moho y la contaminación del aire y al mismo tiempo maximizar el confort.

En la 5 tabla se puede observar los niveles de calidad del aire en un lugar cerrado, conforme a la temperatura y humedad relativa, la usaremos para calificar en qué nivel se encuentra la calidad del aire medida en el lugar cerrado de la empresa en la que se realizó la implementación.

90%	6	5	4	3	3	3	3	4	5	5	6	6	6
80%	5	4	2	2	2	2	2	3	4	5	5	5	6
70%	5	4	3	2	1	1	1	2	3	4	5	5	6
60%	5	4	3	2	1	1	1	2	2	3	4	5	6
50%	5	5	4	3	2	1	1	1	2	3	4	5	6
40%	6	5	5	4	3	3	3	2	2	3	4	5	6
30%	6	5	5	4	4	4	4	4	4	4	4	5	6
20%	6	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	6
10%	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
0% / 15C	16C	17C	18C	19C	20C	21C	22C	23C	24C	25C	26C	27C	28C

Tabla 5. Índice de calidad del aire con respecto a la temperatura y humedad en un ambiente cerrado.
Fuente: (Breeze, 2021).

Los resultados de la temperatura y humedad son:

	Dispositivo implementado
Temperatura °C	17,0121
Humedad (%)	24,2326

Tabla 6. Resultados de temperatura y humedad del dispositivo del Sistema Implementado.
Elaborado por: Villacres Alex, (2023).

En la tabla 6 se muestran los resultados de temperatura y humedad del dispositivo implementado y se define que en comparación con la tabla 5 de índice de temperatura y humedad están en el rango de 5 que resultaría una intervención para mejorar estas variables y quedar en un rango de mínimo de 3 que es lo recomendable.

Para los sensores de calidad del aire hay que tomar en cuenta que los valores para cualquier variable nos dan en PPM (Partes por millón), el sensor actúa de la siguiente manera;

El termino partes por millón se refiere a masa, entonces el valor de 1ppm es igual a 1mg de sustancia contaminante en un 1Kg de aire teniendo en cuenta la densidad del aire a 20 grados centígrados como factor de conversión de ppm a mg/m³.

$$1\text{ppm}=1,2\text{mg}/\text{m}^3$$

Con esta explicación realizaremos el análisis de las dos variables como son NH₄ (Amonio) y CO (Monóxido de Carbono) ya que los sensores captan de esta manera la calidad del aire del lugar donde se le ubico y para saber que variable necesitamos tabular los rangos que se deben obtener para el sensor MQ135.

Análisis Estadístico

Las variables de estudio son temperatura, humedad, CO y NH₄, en las que, a través de la toma de datos realizada con el dispositivo comercial y el prototipo realizado por el investigador, con la ayuda de herramientas estadísticas se podrá verificar si es válido o no la diferencia significativa entre los 2 dispositivos implementados en la empresa.

Estadística descriptiva

Para empezar, realizamos el grafico necesario para determinar el rango que se ha obtenido en la toma de datos de esta contaminante y se inicia el proceso de calcular la tolerancia permitida de estas variables captadas por el sensor en los trabajadores.

Para corroborar los resultados y usar una herramienta estadística y verificar la eficiencia de todas las variables se realiza una prueba de normalidad de las variables y definiéndose de la siguiente manera:

Hay 3 tipos de pruebas de normalidad:

Test de Shapiro-Wilk-Cuando hay datos menores a 50

Prueba de **Kolmogorov-Smirnov**-Cuando hay datos mayores a 50

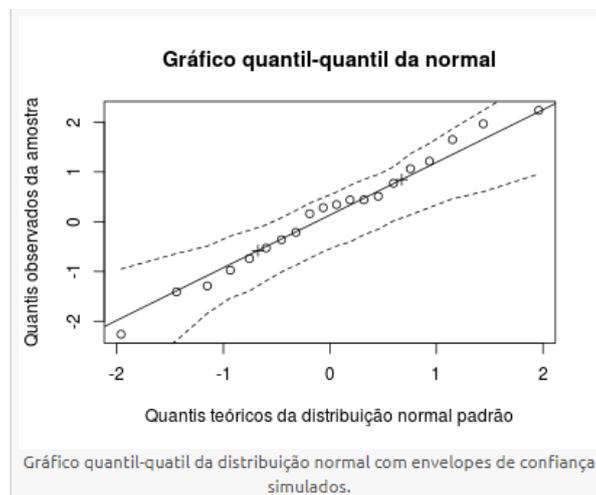
Prueba de Kolmogorov-Smirnov-Lilliefors-Cuando hay datos menores a 50 pero mejorado o adaptado y tiene nivel de significancia menor a 0.02.

Se usará la prueba de **Kolmogorov-Smirnov** con datos mayores a 50.

Se define qué; si al obtener los gráficos y analizarlos siguen una distribución normal se aprueba la hipótesis nula al contrario se acoge la alternativa; para ello se realiza el análisis en la aplicación SPSS.

Primero calculamos la media moda y mediana y si tienen un valor aproximado entre los 3 podríamos suponer que la desviación es normal sino lo contrario (distribución no normal), si el P-valor es mayor a 0.05 entonces se ajustan a una distribución normal, podemos observar posteriormente cuando se realice para los datos de las variables en el dispositivo comercial y el dispositivo implementado.

Continuamos con la realización del gráfico QQ-PLOT; los gráficos Q-Q (cuantil-cuantil) comparan dos distribuciones de probabilidad mediante el trazado de sus cuantiles uno contra el otro. Un gráfico Q-Q se utiliza para comparar las formas de las distribuciones, proporcionando una vista gráfica de cómo las propiedades, como la ubicación, la escala y la asimetría, son similares o diferentes en las dos distribuciones para comparar las formas de distribuciones de los datos, proporcionando una vista grafica de como las propiedades, ubicación, escala y asimetría son similares o diferentes en las dos distribuciones.



Gráfica 3. Cuantil-Cuantil permite observar cuan cerca está la distribución de un conjunto de datos a alguna distribución ideal ó comparar la distribución de dos conjuntos de datos.

Fuente: (Bart Van Hoof, 2018).

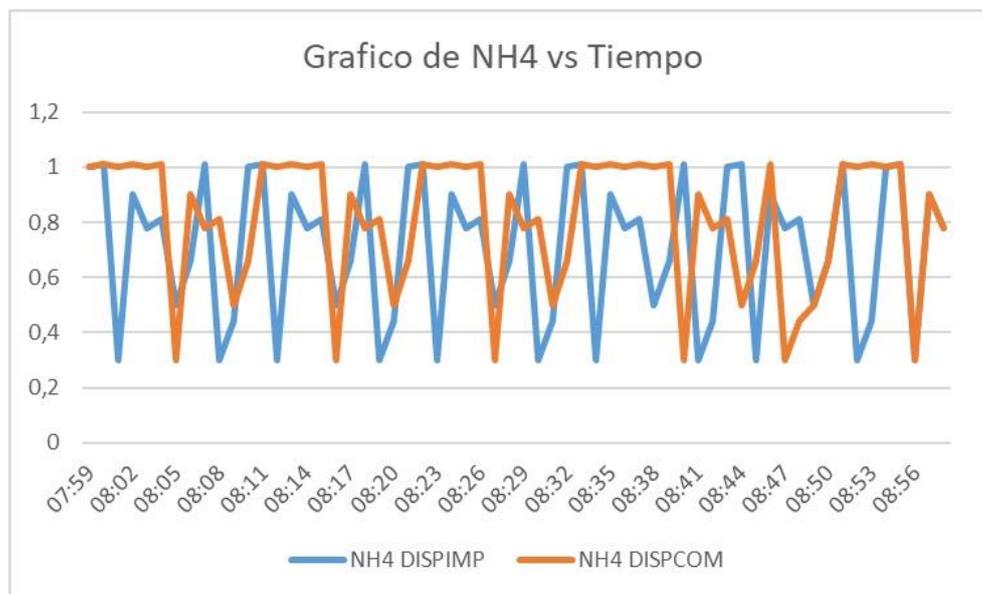
En este caso el Amonio y el monóxido de carbono, se toma las 2 columnas de la variable a verificar, obtenidas del dispositivo implementado y el dispositivo comercial; y al realizar un gráfico de dispersión y verificar si los cuantiles se acercan a la línea se prepara previamente para verificar las hipótesis y tomar una decisión.

H₀: LOS GRUPOS SIGUEN UNA DISTRIBUCION NORMAL

H₁: LOS GRUPOS NO SE AJUSTAN A UNA DISTRIBUCION NORMAL

Se concluye que los datos al estar poco dispersos cumplen la hipótesis nula (H₀) y se analiza para la realización de un histograma validada en la campana de gauss.

Y para finalizar en el caso de que las variables tengan una distribución normal se puede usar la tecnica de T-Student y en el caso de no ser una distribución normal se usara el método de Wilcoxon o Mann Whitney para distribución no paramétrica.



Gráfica 4. Partes por millón del gas sobre el tiempo que se dejó monitoreando el sistema.

Elaborado por: Villacres Alex, (2023)

En la gráfica 7 se observa claramente el monitoreo después del tiempo determinado y se concluye que el sensor guarda los datos de un mínimo de un aproximado de 0,3 y máximo de 1,03 aproximadamente como pico esto varía según la precisión del sensor, y se tomaron los datos para la siguiente tabulación y se dio el resultado de la media ponderada.

El resultado luego del análisis de todos los datos de partículas de NH₄ en ese intervalo de tiempo se procesó en Excel y luego se determinó la media aritmética, dando como resultado lo siguiente.

Media aritmética = 0,709 ppm

Debemos tomar en cuenta que este resultado nos arroja en ppm (partes por millón) entonces la fórmula para realizar la transformación es la siguiente:

El peso molecular se obtiene de la siguiente manera:

Tenemos 1 molécula de Nitrógeno y 4 partículas de hidrógeno y el peso atómico del Nitrógeno es 14,0067 y del hidrogeno 1,008 y realizamos la siguiente multiplicación:

$$\text{NH}_4 \left\{ \begin{array}{l} 1N = 1 \times 14g = 14g \\ 4H = 4 \times 1g = 4g \end{array} \right.$$

Estos se suman y dan como resultado **18g** en total del amonio.

Y para transformar a mg/m³ seria:

$$\text{mg}/\text{m}^3 = \frac{(X \text{ ppm})(\text{peso molecular})}{24,45} = 0,0409$$

Donde 24,45 es el volumen en litros que ocupa una mol de aire a 25 °C y 760 torr.

Estas fórmulas se pueden usar cuando las medidas se toan a 25 °C y la presión de aire a 760 torr como máximo (=1 atmosfera o 760 mm Hg).

Esto nos da como total **18g** que son los que usaremos para transformar a mg/m³

$$\text{NH}_4 \left(\frac{\text{mg}}{\text{m}^3} \right) = 0.0409 \times \text{concentracion ppm media aritmetica} \times \text{peso molecular}$$

$$\text{NH}_4 \left(\frac{\text{mg}}{\text{m}^3} \right) = 0.0409 \times 0.709 \times 18$$

$$\text{NH}_4 \left(\frac{\text{mg}}{\text{m}^3} \right) = 0,5219 = 5,2190 \left(\frac{\text{ug}}{\text{m}^3} \right)$$

Este resultado ayuda a determinar que se aspira aproximadamente 5,2190 ug/m³ de moléculas de NH₄ (Amonio), según la tabla del máximo que se puede aspirar de este compuesto es que a concentraciones de 280 mg/m³ , se produce irritación de la tráquea inmediatamente; a 1200 mg/m³ , se produce tos; a 1700 mg/m³ existe el riesgo de muerte y a una concentración entre 3500 y 7000 mg/m³ ,la muerte es inminente (Heredia, 2015), entonces se muestra el rango en el que se encuentra esa área cerrada en este momento.

Tabla 7. Tabla de rangos permitidos en microgramos sobre metros cúbicos las unidades más usados para el estudio de calidad del aire.

Contaminante	CO/8h		NO2/1h		O3/1h		PM10/24h		SO2/1h		NH4/8h(COVT)	
Clasificación	Min ug/m3	Max ug/m3										
Muy mala	1500		315		240		75		525			7000
Mala	1000	1499	200	314	180	239	50	74	350	524	1400	3500
Mejorable	600	999	140	199	120	179	30	49	230	349	700	1700
Buena	300	599	70	139	60	119	15	29	115		350	1200
Muy buena	0	299	0	69	0	59	0	14	0		0	280

Fuente: Álvarez, (2023).

Con esto podemos definir en la tabla 7 que está en un estado de mejorable ya que el valor es de 5.2190 ug/m³ (0.71 PPM/1h) y el rango es de 1200 ug/m³ hasta 1700ug/m³ entonces los obreros de esta empresa inhalan un rango aceptable, pero la recomendación es que usen mascarilla ya que este es un químico que si se aspira en grandes cantidades causaría hasta la muerte, se verifica en NTP 607: Guías de calidad de aire/contaminantes químicos donde el máximo es 50PPM en 8h -ANEXO 4 (Sanchez, 2010).

Para corroborar los resultados y usar una herramienta estadística al final de todas las variables, se realiza una prueba de normalidad de la variable humedad y se obtiene los siguientes datos:

Tabla 8. Tabla de valores obtenidos con el dispositivo comercial y el dispositivo implementado para la variable NH₄.

Hora	NH4 DISPIMP	NH4 DISPCOM
07:59	1	1
08:00	1.01	1.01
08:01	0.3	1
08:02	0.9	1.01
08:03	0.78	1
08:04	0.81	1.01
08:05	0.5	0.3
08:06	0.66	0.9
08:07	1.01	0.78
08:08	0.3	0.81
08:09	0.44	0.5
08:10	1	0.66
08:11	1.01	1.01
08:12	0.3	1
08:13	0.9	1.01
08:14	0.78	1
08:15	0.81	1.01

08:16	0.5	0.3
08:17	0.66	0.9
08:18	1.01	0.78
08:19	0.3	0.81
08:20	0.44	0.5
08:21	1	0.66
08:22	1.01	1.01
08:23	0.3	1
08:24	0.9	1.01
08:25	0.78	1
08:26	0.81	1.01
08:27	0.5	0.3
08:28	0.66	0.9
08:29	1.01	0.78
08:30	0.3	0.81
08:31	0.44	0.5
08:32	1	0.66
08:33	1.01	1.01
08:34	0.3	1
08:35	0.9	1.01
08:36	0.78	1
08:37	0.81	1.01
08:38	0.5	1
08:39	0.66	1.01
08:40	1.01	0.3
08:41	0.3	0.9
08:42	0.44	0.78
08:43	1	0.81
08:44	1.01	0.5
08:45	0.3	0.66
08:46	0.9	1.01
08:47	0.78	0.3
08:48	0.81	0.44
08:49	0.5	0.5
08:50	0.66	0.66
08:51	1.01	1.01
08:52	0.3	1
08:53	0.44	1.01
08:54	1	1
08:55	1.01	1.01
08:56	0.3	0.3
08:57	0.9	0.9
08:58	0.78	0.78

Elaborado por: Villacres Alex, (2023).

Primero calculamos la media moda y mediana y si tienen un valor aproximado entre los 3 podríamos suponer que la desviación es normal o no la sea, podemos observar en la tabla 9 a detalle.

		Estadístico	Error estándar	
NH4DispIMP	Media	108,5258	8,58975	
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	91,5861	
		Límite superior	125,4654	
	Media recortada al 5%	106,8447		
	Mediana	1,0100		
	Varianza	14609,180		
	Desv. estándar	120,86844		
	Mínimo	,30		
	Máximo	256,00		
	Rango	255,70		
	Rango intercuartil	241,84		
	Asimetría	,226	,173	
	Curtosis	-1,968	,344	
	NH4DispCom	Media	95,1689	8,43062
95% de intervalo de confianza para la media		Límite inferior	78,5431	
		Límite superior	111,7948	
Media recortada al 5%		92,0599		
Mediana		1,0100		
Varianza		14072,929		
Desv. estándar		118,62937		
Mínimo		,30		
Máximo		246,00		
Rango		245,70		
Rango intercuartil		240,22		
Asimetría		,460	,173	
Curtosis		-1,806	,344	

Tabla 9. Valores de momentos estadísticos previos para verificar si la variable tiene una desviación normal o no la tiene.

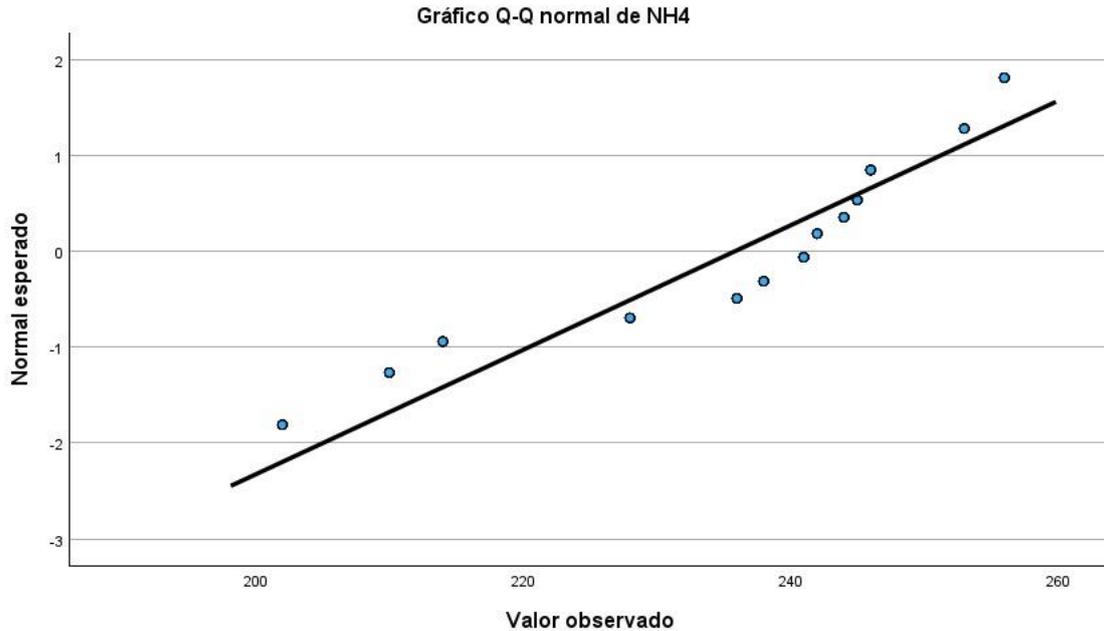
Elaborado por: Villacres Alex, (2023)

Continuamos con la realización del grafico QQ-PLOT para comparar las formas de distribuciones de los datos, proporcionando una vista grafica de como las propiedades, ubicación, escala y asimetría son similares o diferentes en las dos distribuciones.

Para finalizar se colocan los valores de la variable, en este caso del NH₄, para tomar las 2 últimas columnas y realizar un gráfico de dispersión y verificar si los cuartiles se acercan a la línea o están muy dispersos para verificar las hipótesis y tomar una decisión.

H₀: LOS DATOS SIGUEN UNA DISTRIBUCION NORMAL

H_i: LOS DATOS NO SE AJUSTAN A UNA DISTRIBUCION NORMAL



Gráfica 5. Dispersión de los periodos del Amonio NH4.

Elaborado por: Villacres Alex, (2023).

Concluimos que los datos al estar dispersos de la distribución normal, en conclusión, cumplen que rechazamos la hipótesis nula (HO) y se toma la hipótesis alternativa o la planteada por el investigador.

Se usará la prueba de Kolmogorov-Smirnov con datos mayores a 50, esta técnica es mucho más precisa que otras como ANOVA y más fácil de usar.

Se define que al obtener los gráficos y analizarlos siguen una distribución normal por lo tanto se aprueba la hipótesis nula y se realiza el análisis en la aplicación SPSS.

En la tabla 10 podemos observar cómo se obtuvo los resultados a partir del uso del programa SPSS y observamos un grado de significancia menor a 0.01 por lo que, conociendo que:

Si $p < 0.05$ se rechaza la hipótesis nula y se acepta la alterna.

Si $p > 0.05$ se rechaza la hipótesis alternativa y se acepta la hipótesis nula.

En la tabla 13 se muestra el valor final del grado de significancia después de realizar la prueba de Kolmogorov-Smirnov.

Pruebas de normalidad

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
NH4DispIMP	,369	198	<.001	,640	198	<.001
NH4DispCom	,397	198	<.001	,625	198	<.001

a. Corrección de significación de Lilliefors

Tabla 10. Tabla de resultados de prueba de Kolmogorov-Smirnov para 2 muestras en diferentes intervalos de tiempo.

Elaborado por: Villacres Alex, (2023).

Se observa que el valor de significancia bilateral es menor que 0.05 por lo que se concluye tomar la hipótesis alternativa, los datos no tienen una distribución que es normal porque no están dentro del rango de la distribución, por esa razón se usara la prueba de Wilcoxon para datos no paramétricos y verificar la diferencia significativa entre los dispositivos.

Se define que la correlación es mayor a 0.05 aceptando la hipótesis nula y rechazando la alternativa, y se realiza la prueba de Wilcoxon a razón de que para realizar esta comparación se necesitan tener datos de una misma variable en diferentes intervalos de tiempo y se comprobó que no tienen una distribución normal, a razón de eso para dato no paramétricos se usa esta prueba estadística, entonces cumple el requisito para usar la herramienta estadística, en la tabla 11 se visualiza el resultado de la prueba de Wilcoxon después de los cálculos realizados en SPSS.

Estadísticos de prueba^a

	CODispCom - CODispIMP
Z	1,00 ^b
Sig. asin. (bilateral)	1,000

a. Prueba de rangos con signo de Wilcoxon

b. La suma de rangos negativos es igual a la suma de rangos positivos.

Tabla 11. Prueba final de Wilcoxon para muestras emparejadas o relacionadas no paramétricas.

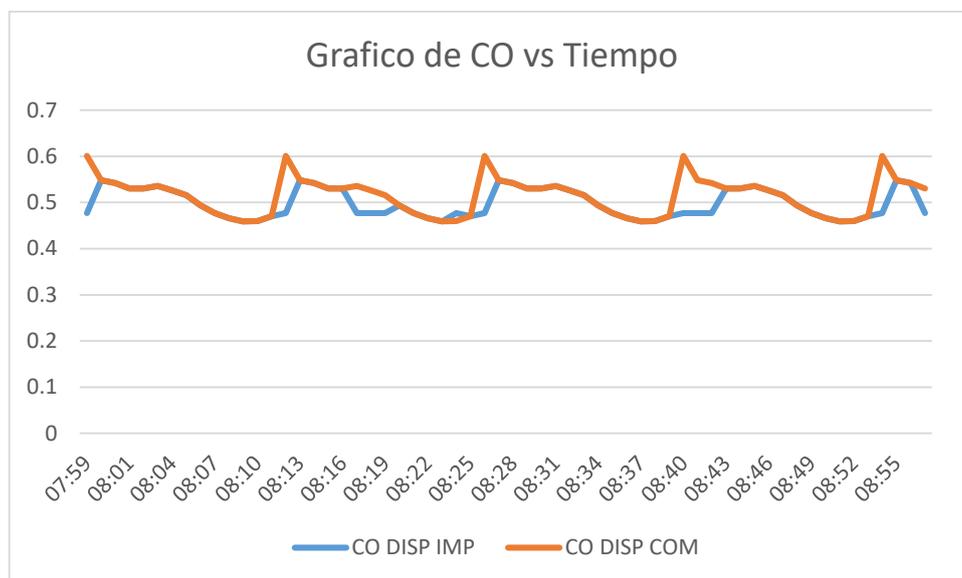
Elaborado por: Villacres Alex, (2023).

Se obtiene el resultado que el valor de P (0,05) de las 2 variables; el mismo es mayor a 0.05 y se descarta la hipótesis alternativa, para dar paso a la hipótesis que en este caso significaría aceptar que existe diferencia significativa nos referimos a que es poco

probable que el resultado se produzca debido a la casualidad o a la fluctuación aleatoria entre los datos tomados en diferentes tiempos de la misma variable, en fin no existe diferencia significativa entre las variables y es aceptado el prototipo con respecto a los datos tomados con el dispositivo comercial.

En el sensor MQ9 existe una gráfica que demuestra la pendiente en la que se usa la concentración de ese gas (monóxido de carbono), este se obtuvo en la unidad de partes por millón según el dispositivo implementado y el comercial, pero para comparar con una norma internacional necesitamos transformar a $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (microgramo/metro cubico).

Para empezar, realizamos el grafico necesario para determinar el rango que se ha obtenido en la toma de datos de esta contaminante y se inicia el proceso de calcular el rango permitido para aspirar esta variable del sensor en humanos.



Gráfica 6. Partes por millón del gas sobre el tiempo que se dejó monitoreando el sistema.
Elaborado por: Villacres Alex, (2023).

En la gráfica 7 se observa claramente el monitoreo después del tiempo determinado y se concluye que el sensor guarda los datos de un mínimo de un aproximado de 0.47 y máximo de 0,61 como pico esto varía por la precisión del sensor, y se tomaron los datos para la siguiente tabulación y se dará el resultado de la media ponderada.

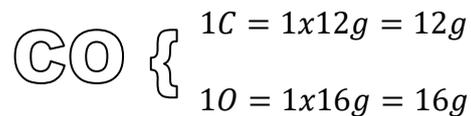
El resultado luego del análisis de todos los datos de partículas de CO en ese intervalo de tiempo se procesó en Excel y luego se determinó la media aritmética, dando como resultado lo siguiente.

Media aritmética = 0,43 ppm

Debemos tomar en cuenta que este resultado nos arroja en ppm o partes por millón entonces la fórmula para realizar la transformación es la siguiente:

El peso molecular se obtiene de la siguiente manera:

Tenemos 1 molécula de Nitrógeno y 4 partículas de hidrógeno y el peso atómico del Nitrógeno es 14,0067 y del hidrogeno 1,008 y realizamos la siguiente multiplicación:



Estos se suman y dan como resultado **28g** en total del monóxido de carbono.

Y para transformar a mm/m³ seria:

$$\text{mg}/\text{m}^3 = \frac{(X \text{ ppm})(\text{peso molecular})}{24,45} = 0,0409$$

Donde 24,45 es el volumen en litros que ocupa una mol de aire a 25 °C y 760 torr.

Estas fórmulas se pueden usar cuando las medidas se toan a 25 °C y la presión de aire a 760 torr como máximo (=1 atmosfera o 760 mm Hg).

Esto nos da como total **28g** que son los que usaremos para transformar a mm/m³

$$\text{CO} \left(\frac{\text{mg}}{\text{m}^3} \right) = 0.0409 \times \text{concentracion ppm media aritmetica} \times \text{peso molecular}$$

$$\text{CO} \left(\frac{\text{mg}}{\text{m}^3} \right) = 0.0409 \times 0.46 \times 28$$

$$\text{CO} \left(\frac{\text{mg}}{\text{m}^3} \right) = 0,5267 = 5,2670 \left(\frac{\text{ug}}{\text{m}^3} \right)$$

Este resultado ayuda a determinar que se aspira aproximadamente 5,2670 ug/m³ (0.46 PPM/1h) de moléculas de CO (Monóxido de carbono), según la tabla del máximo que se puede aspirar de este compuesto es que a concentraciones del CO es de 35 ppm (40060 ug/m³) como un tiempo de horario laboral de 8 horas y un límite máximo de 200 ppm (Heredia, 2015), entonces se muestra el rango en el que se encuentra esa área cerrada en este momento es aceptable y es notable ya que los vehículos están aproximadamente a 10 metros de ese lugar donde tienen la maquinaria.

Tabla 12. Tabla de rangos permitidos en microgramos sobre metros cúbicos las unidades más usados para el estudio de calidad del aire.

Contaminante	CO/8h		NO2/1h		O3/1h		PM10/24h		SO2/1h		NH4/8h(COVT)	
Clasificación	Min ug/m3	Max ug/m3	Min ug/m3	Max ug/m3								
Muy mala	1500		315		240		75		525			7000
Mala	1000	14999	200	314	180	239	50	74	350	524	1400	3500
Mejorable	600	9999	140	199	120	179	30	49	230	349	700	1700
Buena	300	5999	70	139	60	119	15	29	115		350	1200
Muy buena	0	2999	0	69	0	59	0	14	0		0	280

Fuente: Alvarez, (2023)

Con esto podemos definir en la tabla 13 que está en un estado de mejorable ya que el valor es de 5,2670 ug/m3 (0.46 PPM/1h) y el rango es de 0 ug/m3 hasta 3000 ug/m3 entonces los obreros de esta empresa inhalan un rango aceptable de estas moléculas, pero la recomendación es que usen mascarilla al entrar en contacto con los tubos de escape de vehículos ya que este es un gas que a la cercanía provoca tos y que si se aspira en grandes cantidades causaría daños pulmonares, se verifica en NTP 607: Guías de calidad de aire interior: contaminantes químicos ANEXO 4 (Sanchez, 2010).

Para corroborar los resultados y usar una herramienta estadística al final de todas las variables, se realiza una prueba de normalidad de la variable monóxido de carbono y se obtiene los siguientes datos:

Tabla 13. Tabla de valores obtenidos con el dispositivo comercial y el dispositivo implementado para la variable CO.

Hora	CO DISP IMP	CO DISP COM
07:59	0.771	0.601
07:59	0.743	0.548
08:00	0.711	0.542
08:01	0.704	0.53
08:02	0.698	0.53
08:03	0.675	0.536
08:04	0.467	0.526
08:05	0.467	0.516
08:06	0.455	0.494
08:07	0.433	0.477
08:08	0.456	0.466
08:09	0.567	0.459
08:10	0.460	0.46
08:11	0.571	0.47
08:12	0.610	0.601
08:13	0.448	0.548
08:14	0.442	0.542

08:15	0.530	0.53
08:16	0.557	0.53
08:17	0.439	0.536
08:18	0.626	0.526
08:19	0.616	0.516
08:20	0.594	0.494
08:21	0.675	0.477
08:22	0.566	0.466
08:23	0.559	0.459
08:24	0.460	0.46
08:25	0.465	0.47
08:26	0.402	0.601
08:27	0.548	0.548
08:28	0.445	0.542
08:29	0.435	0.53
08:30	0.435	0.53
08:31	0.556	0.536
08:32	0.526	0.526
08:33	0.665	0.516
08:34	0.494	0.494
08:35	0.477	0.477
08:36	0.466	0.466
08:37	0.459	0.459
08:38	0.464	0.46
08:39	0.474	0.47
08:40	0.601	0.601
08:41	0.548	0.548
08:42	0.542	0.542
08:43	0.434	0.53
08:44	0.534	0.53
08:45	0.536	0.536
08:46	0.526	0.526
08:47	0.516	0.516
08:48	0.556	0.494
08:49	0.432	0.477
08:50	0.455	0.466
08:51	0.466	0.459
08:52	0.560	0.46
08:53	0.455	0.47
08:54	0.651	0.601
08:55	0.558	0.548
08:56	0.654	0.542

Elaborado por: Villacres Alex, (2023).

Primero se realizó lo mismo que con la variable NH4, se verifican todos los valores de las 2 muestras para realizar la prueba de normalidad, en la tabla 14 se visualiza los datos previos a la prueba de normalidad.

Descriptivos			Estadístico	Error estándar
CODispCom	Media		,5137	,00540
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	,5029	
		Límite superior	,5246	
	Media recortada al 5%		,5119	
	Mediana		,5260	
	Varianza		,002	
	Desv. estándar		,04151	
	Mínimo		,46	
	Máximo		,60	
	Rango		,14	
	Rango intercuartil		,07	
	Asimetría		,360	,311
	Curtosis		-,493	,613
	CODispIMP	Media		,5137
95% de intervalo de confianza para la media		Límite inferior	,5029	
		Límite superior	,5246	
Media recortada al 5%			,5119	
Mediana			,5260	
Varianza			,002	
Desv. estándar			,04151	
Mínimo			,46	
Máximo			,60	
Rango			,14	
Rango intercuartil			,07	
Asimetría			,360	,311
Curtosis			-,493	,613

Tabla 14. Valores de momentos estadísticos previos para verificar si la variable tiene una desviación normal o no la tiene.

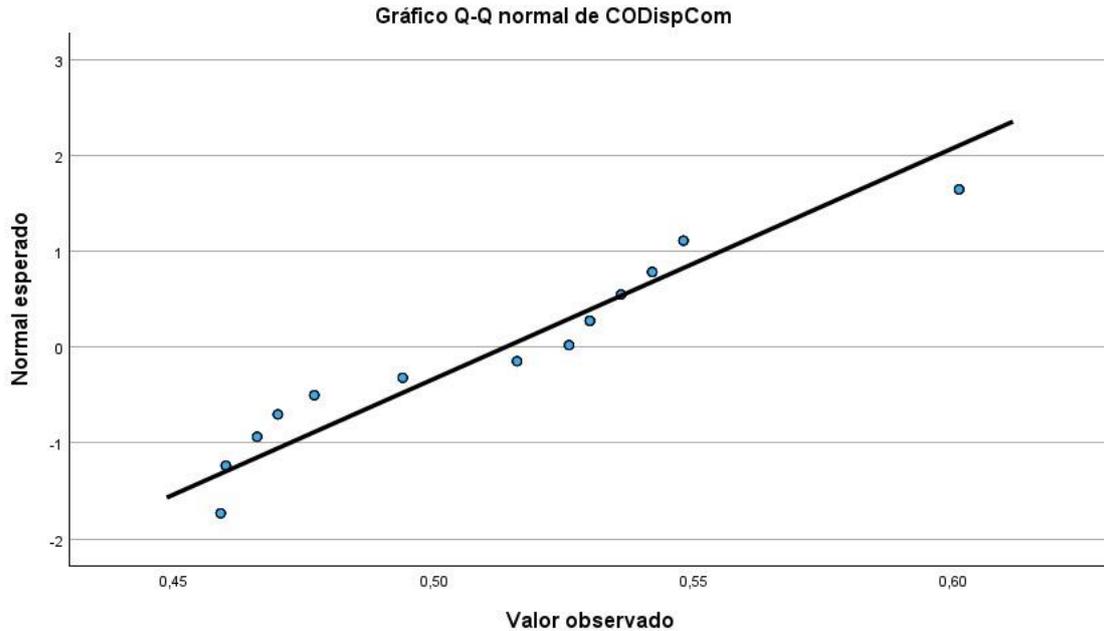
Elaborado por: Villacres Alex, (2023)

Continuamos con la realización del gráfico QQ-PLOT para comparar las formas de distribuciones de los datos, proporcionando una vista gráfica de como las propiedades, ubicación, escala y asimetría son similares o diferentes en las dos distribuciones.

Para tomar las 2 últimas columnas y realizar un gráfico de dispersión y verificar si los cuartiles se acercan a la línea o están muy dispersos para verificar las hipótesis y tomar una decisión.

H₀: LOS DATOS SIGUEN UNA DISTRIBUCION NORMAL

H_i: LOS DATOS NO SE AJUSTAN A UNA DISTRIBUCION NORMAL



Gráfica 7. Dispersión de los periodos del monóxido de carbono CO.

Elaborado por: Villacres Alex, (2023).

Se deduce que los datos al estar dispersos de la distribución normal, en conclusión, cumplen que rechazamos la hipótesis nula (HO) y se toma la hipótesis alternativa o la planteada por el investigador.

Se usará la prueba de Kolmogorov-Smirnov con datos mayores a 50, esta técnica es mucho más precisa que otras como ANOVA y más fácil de usar.

Se define que al obtener los gráficos y analizarlos siguen una distribución normal por lo tanto se aprueba la hipótesis nula y se realiza el análisis en la aplicación SPSS.

En la tabla 15 podemos observar cómo se obtuvo los resultados a partir del uso del programa SPSS y observamos un grado de significancia menor a 0.01 por lo que, conociendo que:

Si $p < 0.05$ se rechaza la hipótesis nula y se acepta la alterna.

Si $p > 0.05$ se rechaza la hipótesis alternativa y se acepta la hipótesis nula.

En la tabla 15 se muestra el valor final del grado de significancia después de realizar la prueba de Kolmogorov-Smirnov.

Pruebas de normalidad

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
CODispCom	,151	59	,002	,901	59	<.001
CODispIMP	,151	59	,002	,901	59	<.001

a. Corrección de significación de Lilliefors

Tabla 15. Tabla de resultados de prueba de Kolmogorov-Smirnov para 2 muestras.

Elaborado por: Villacres Alex, (2023).

Se observa que el valor de significancia bilateral es menor que 0.05 por lo que se concluye tomar la hipótesis alternativa, los datos no tienen una distribución normal porque no está dentro del rango de la distribución, para los datos que no tienen una distribución normal se usara la prueba de Wilcoxon para datos no paramétricos y verificar la diferencia significativa entre los dispositivos

Se define que la correlación es mayor a 0.05 aceptando la hipótesis nula y rechazando la alternativa, y se realiza la prueba de Wilcoxon a razón de que para realizar esta comparación se necesitan tener datos de una misma variable en diferentes intervalos de tiempo y se comprobó que no tienen una distribución normal, a razón de eso para dato no paramétricos se usa esta prueba estadística, entonces cumple el requisito para usar la herramienta estadística, en la tabla 16 se visualiza el resultado de la prueba de Wilcoxon después de los cálculos realizados en SPSS.

Estadísticos de prueba^a

	CODispCom - CODispIMP
Z	1,00 ^b
Sig. asin. (bilateral)	,000

a. Prueba de rangos con signo de Wilcoxon

b. La suma de rangos negativos es igual a la suma de rangos positivos.

Tabla 16. Prueba final de Wilcoxon para muestras emparejadas o relacionadas no paramétricas.

Elaborado por: Villacres Alex, (2023).

Se obtiene el resultado que el valor de P (0,05) de las 2 variables; el mismo es mayor a 0.05 y se descarta la hipótesis alternativa, para dar paso a la hipótesis nula que en este caso significaría aceptar que no existe diferencia significativa, nos referimos a que es

poco probable que el resultado se produzca debido a la casualidad o a la fluctuación aleatoria entre los datos tomados en diferentes tiempos de la misma variable.

Conclusión: Se observa que no existe una diferencia significativa, se refiere a que es poco probable que el resultado se produzca debido a la casualidad o a la fluctuación aleatoria, se rechaza la hipótesis alternativa y se acepta la nula existiendo una aceptación del dispositivo implementado en consideración al comercial que ya es certificado y normado, la certeza en el sistema realizado con el microcontrolador ESP32 y los sensores DHT22, MQ135 y MQ9 con el monitor de calidad del aire marca Temtop es eficaz.

Evaluación de la ejecución

Se obtiene un resultado favorable después de implementar este sistema de monitoreo, en la situación inicial de la empresa se tenía en cuenta que no tenían conocimiento de la afectación de estos patógenos (CO, NH₄, temperatura y humedad) hacia el trabajador y después de finalizar el proceso de monitoreo y evaluación de los datos se tiene una favorable acogida de parte de gerencia para dar equipos de protección personal y mejorar la ventilación del área cerrada, con esto se minimiza en gran manera la afectación de las variables evaluadas anteriormente y ayuda a mejorar la calidad del aire que se respira en esta empresa.

Evaluación económica

Para la cuestión económica es muy favorable a la empresa teniendo en cuenta que un sistema de monitoreo de calidad de aire es muy costoso y el más económico se encuentra por los 100 dólares según sea el área dispuesta de la empresa u organización dispuesta a adquirirlo, el sistema implementado tiene un valor mínimo de hasta 20 dólares y con resultados muy buenos, tomando en cuenta que el propietario podría instalarlos en algunas de sus áreas de trabajo y monitorearlo desde cualquier dispositivo móvil para verificar como está marchando la mejora de la calidad del aire en el sistema.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- Se realizó un estudio de la situación actual de la empresa en base a un análisis documental-bibliográfico y se dedujo que hay poco interés por parte de gerencia de la empresa y sus trabajadores no utilizan equipos de protección personal adecuados, para finalizar se realiza una toma de datos reales con un equipo de monitoreo de calidad del aire de venta libre y se obtienen los siguientes resultados de las variables; CO (monóxido de carbono) = 5.267 ug/m³ (0.46 PPM/h), NH₄ (Amonio) = 5.219 ug/m³ (0.71 PPM/h), Temperatura = 15,0121 °C y Humedad = 24,2326 y se verificaron los datos según la escala numérica de calidad del aire (IQCA) está en un rango de color amarillo necesario para una intervención.
- Se armó un modelo compacto y económico con el microcontrolador ESP32, Sensor MQ9, MQ135 y DHT22 para monitoreo de calidad de aire basado en IOT, y con la ayuda de la plataforma ThingSpeak a la cual llegaba los datos de las variables comentadas anteriormente, se vinculó una aplicación creada en MIT App Inventor para monitorear de mejor manera y desde cualquier lugar con la ayuda de cualquier Smartphone con sistema Android, destinado para un lugar cerrado de la empresa, aquí se concentran variables como CO (escapes de vehículos), NH₄ (pintura, implementos de limpieza con amonio), la temperatura y humedad (Horno de pegado de zapata de freno), y se realizan pruebas de funcionamiento exitosas para su posterior armado del circuito en una placa impresa y complementado con una caja protectora de golpes y líquidos.
- Se implementó y se realizaron pruebas de campo en un área cerrada del taller de 45 metros cuadrados por 3 días laborables de 8 horas por cada día, y se obtuvieron como resultados de los gases; 15,0121 °C en cuestión a la temperatura, este resultado ayuda a determinar que el rango de temperatura para el trabajador según

la normativa está entre 14 y 25 °C, dando un resultado entre el rango permitido, 47,2326 % este resultado ayuda a determinar que la humedad en la empresa está en el rango adecuado por la normativa que sería de 30 y 70 % y esto no afecta significativamente al trabajador, 1499000 ug/m³ de moléculas de NH₄ (Amonio), según la tabla del máximo que se puede aspirar de este compuesto es que a concentraciones de 280000 ug/m³, 2940 ug/m³ de moléculas de CO (Monóxido de carbono), según la tabla del máximo que se puede aspirar de este compuesto es que a concentraciones del CO es de 35 ppm (40060 ug/m³) como un tiempo de horario laboral de 8 horas.

- Al comparar los 2 dispositivos, el monitor de venta libre marca BLANT y el sistema realizado por el investigador a partir de una herramienta estadística llamado proceso de diferencias significativas, se realizó con mucho éxito a razón de que se estima un 95% de aceptación y se puede definir que el sistema de monitoreo de calidad aire realizado a comparación con el monitor de calidad del aire comprado en Amazon marca BLANT son muy similares con un 5% de error, a diferencia que el que se realizó con los sensores y el ESP32 tiene más ventajas, porque al ser gratuito y tener una conexión de hombre-objeto a través de la web se puede monitorear desde cualquier lugar en el que este la persona que desee siempre y cuando sea un celular con sistema Android y se descargue la aplicación que se creó en MIT Inventor.
- La comparativa de los resultados detectados utilizado el sistema de monitoreo de calidad del aire basado en IOT, que están en rango intermedio de los recomendados por la normativa y a pesar de que la empresa no aplica dichas limitaciones de las tablas establecidas se puede mejorar la ambientación del lugar cerrado para cumplir con lo determinado en el plan Nacional del Buen Vivir.
- Este dispositivo tiene la capacidad de medir las variables determinadas por un máximo de 8 horas laborables en 5 días de la semana, y los datos llegan cada 15 segundos en el caso de tener una cuenta en la plataforma ThingSpeak, de ser el caso de querer obtener una cuenta Premium tiene un costo mensual en el cual los datos llegarían cada segundo, pero se debe tomar en cuenta que no es necesario ya que con la cuenta gratuita es suficiente para el monitoreo de un mes.

Recomendaciones

- Conservar informado a las personas que trabajan en la empresa y aún más a los que están en el área de pulido y corte para que usen sus respectivos implementos de seguridad ante los patógenos aéreos.
- Orientar el sistema de calidad del aire a la mejora continua ya que siempre habrá actualizaciones de mejores métodos para realizar un excelente monitoreo de calidad del aire en este tipo de empresas que emiten residuos diminutos que afectan a la salud por medio del sistema respiratorio de quien lo inhale.
- Usar los datos requeridos por el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT) para cualquier tipo de estudio de calidad del aire a razón de obtener resultados seguros para el trabajador de alguna empresa de este tipo.
- Tener en cuenta la limpieza del sistema cada 3 meses por lo menos para evitar daños en los circuitos o el ingreso de cualquier líquido que pueda dañar la fuente o el circuito.
- Conservar un historial de todos los datos en un archivo intangible en una pc o memoria ya que son datos muy pesados para archivarlos en hojas físicas.

BIBLOGRAFIA

- 13th International Symposium on Ambient Intelligence, ISAmI 2022. (2023). *Lecture Notes in Networks and Systems, 603 LNNS*. Scopus.
- Arriaga-Colina, J. L., West, J. J., Sosa, G., Escalona, S. S., Ordúñez, R. M., & Cervantes, A. D. M. (2004). Measurements of VOCs in Mexico City (1992-2001) and evaluation of VOCs and CO in the emissions inventory. *Atmospheric Environment, 38*(16), 2523-2533. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2004.01.033>
- Bouza, E., Vargas, F., Alcázar, B., Álvarez, T., Asensio, Á., Cruceta, G., Gracia, D., Guinea, J., Gil, M. A., Linares, C., Muñoz, P., Olier, E., Pastor, P., Pedro-Botet, M. L., Querol, X., Tovar, J., Urrutia, I., Villar, F., & Palomo, E. (2022). Air pollution and health prevention: A document of reflection. *Revista Espanola de Quimioterapia, 35*(4), 307-332. Scopus. <https://doi.org/10.37201/req/171.2021>
- Bozorgi, S. M., Golsorkhtabamiri, M., Yazdani, S., & Adabi, S. (2023). A smart optimizer approach for clustering protocol in UAV-assisted IoT wireless networks. *Internet of Things (Netherlands), 21*. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.iot.2023.100683>
- Ching, P. Y., Dahari, Z., & Muhamad, N. A. (2023). *Internet of Things (IoT) Based Air Quality Monitoring System with Audio Feedback System. 2643*. Scopus. <https://doi.org/10.1063/5.0110287>
- Fahim, M., El Mhouti, A., Boudaa, T., & Jakimi, A. (2023). Modeling and implementation of a low-cost IoT-smart weather monitoring station and air quality assessment based on fuzzy inference model and MQTT protocol. *Modeling Earth Systems and Environment*. Scopus. <https://doi.org/10.1007/s40808-023-01701-w>

- García, D. H. (2022). Impacts of Covid-19 on air quality, Land Surface Temperature and Urban Heat Island on Local Climatic Zones in the city of Granada (Spain). *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, 42(2), 409-444. Scopus. <https://doi.org/10.5209/aguc.85177>
- Gil, B. E. R., & Rubio, A. E. (2020). Cleaner production alternatives in air quality for the pottery sector, Sogamoso (Boyacá). *Produccion y Limpia*, 15(2), 46-70. Scopus. <https://doi.org/10.22507/pml.v15n2a3>
- Guerrero-Ulloa, G., Andrango-Catota, A., Abad-Alay, M., Hornos, M. J., & Rodríguez-Domínguez, C. (2023). IdeAir: IoT-Based System for Indoor Air Quality Control. *Lecture Notes in Networks and Systems*, 603 LNNS, 197-206. Scopus. https://doi.org/10.1007/978-3-031-22356-3_19
- Hashmy, Y., Khan, Z. U., Ilyas, F., Hafiz, R., Younis, U., & Tauqeer, T. (2023). Modular air quality calibration and forecasting method for low-cost sensor nodes. *IEEE Sensors Journal*, 1-1. Scopus. <https://doi.org/10.1109/JSEN.2023.3233982>
- Kaginalkar, A., Kumar, S., Gargava, P., & Niyogi, D. (2023). Stakeholder analysis for designing an urban air quality data governance ecosystem in smart cities. *Urban Climate*, 48. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2022.101403>
- Lambor, S., Mahajan, A., Bodhankar, A., Prasad, D., Mahajan, S., Pujari, A., & Dhakalkar, R. (2023). Indoor Air Pollution Monitoring. *Lecture Notes in Networks and Systems*, 624 LNNS, 434-441. Scopus. https://doi.org/10.1007/978-3-031-25344-7_40
- Morán, R. C. D., & de la Cruz, V. A. O. (2022). Mites in ventilation systems of industrial buildings: Bioindicators of indoors air quality. *Boletín de Malariología y Salud Ambiental*, 62(3), 369-375. Scopus. <https://doi.org/10.52808/bmsa.7e6.623.002>

- Niu, J.-S., Chen, P.-L., Chang, C.-W., Tsai, J.-H., Lin, K.-W., Hsu, W.-C., & Liu, W.-C. (2023). Hydrogen detecting characteristics and an improved algorithm for data transmission of a palladium nanoparticle/amorphous InGaZnO thin film based sensor. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 377. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2022.133091>
- Orgaz-Agüera, F., Jáquez, J. C. C., Núñez, V. A. R., & Santana, R. L. G. (2022). Evaluation of air quality in the tourist beaches of the north of the Dominican Republic. *Cuadernos Geograficos*, 61(2), 5-20. Scopus. <https://doi.org/10.30827/cuadgeo.v61i2.21649>
- Penagos, H. P., Poveda, J. N., & Moreno, A. (2019). *Acquisition of data for an air quality measurement system based on IoT. 2019-July*. Scopus. <https://doi.org/10.18687/LACCEI2019.1.1.121>
- Pico, A. N. R., Oliveros, E. P. R., & Valdivieso, Ó. J. Z. (2023). Design and execution of a sensor to measure air quality in work environments. *Human Review. International Humanities Review / Revista Internacional de Humanidades*, 19(2). Scopus. <https://doi.org/10.37467/revhuman.v19.4998>
- Ribeiro, A. N., Pavani, B. F., Ribeiro, A. C. G., Sosa, P. R. B., de Almeida Sinisgalli, P. A., & de Sousa, W. C., Jr. (2022). Valuation of the air quality regulation ecosystem service: Impacts from a Brazilian Northeast industrial complex. *Ambiente e Sociedade*, 25. Scopus. <https://doi.org/10.1590/1809-4422ASOC2021150R1VU2022L4OA>
- Rodriguez, M. X. G., Plazas, D. E. G., Quinche, J. E. P., Saad, A. P., & Gutierrez, B. E. O. (2021). *Assessment of the institutional capacity to respond to poor air quality in the municipality of Soacha*. 8th Congreso Colombiano y Conferencia

Internacional en Calidad de Aire y Salud Publica, CASAP 2021 - Proceedings.

Scopus. <https://doi.org/10.1109/CASAP54985.2021.9703403>

Rodríguez, S. (2021). Ambient air quality, inhaled pollutants, and emergency department visits. *Emergencias*, 33(6), 411-412. Scopus.

Roffi, T. M., & Jamhari, C. A. (2023). Internet of things based automated monitoring for indoor aeroponic system. *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, 13(1), 270-277. Scopus. <https://doi.org/10.11591/ijece.v13i1.pp270-277>

Samano-Ortega, V., Mendez-Guzman, H., Martinez-Nolasco, J., Padilla-Medina, A., Santoyo-Mora, M., & Zavala-Villalpando, J. (2023). Electrical energy consumption monitoring system in the residential sector using IoT. *IEEE Latin America Transactions*, 21(1), 158-166. Scopus. <https://doi.org/10.1109/TLA.2023.10015138>

Scopus—Detalles del documento—Beneficios económicos y para la salud de cumplir con las pautas de calidad del aire de la OMS, Región del Pacífico Occidental. (s. f.).

Recuperado 24 de febrero de 2023, de [https://www-scopus-com.indoamerica.idm.oclc.org/record/display.uri?eid=2-s2.0-](https://www-scopus-com.indoamerica.idm.oclc.org/record/display.uri?eid=2-s2.0-85147319142&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=calidad+de+aire&sid=dc3a77b045307d5fe143c972a5e5d876&sot=b&sdt=b&sl=30&s=TITLE-ABS-KEY%28calidad+de+aire%29&relpos=0&citeCnt=1&searchTerm=)

[85147319142&origin=resultslist&sort=plf-](https://www-scopus-com.indoamerica.idm.oclc.org/record/display.uri?eid=2-s2.0-85147319142&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=calidad+de+aire&sid=dc3a77b045307d5fe143c972a5e5d876&sot=b&sdt=b&sl=30&s=TITLE-ABS-KEY%28calidad+de+aire%29&relpos=0&citeCnt=1&searchTerm=)

[f&src=s&st1=calidad+de+aire&sid=dc3a77b045307d5fe143c972a5e5d876&sot=b&sdt=b&sl=30&s=TITLE-ABS-](https://www-scopus-com.indoamerica.idm.oclc.org/record/display.uri?eid=2-s2.0-85147319142&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=calidad+de+aire&sid=dc3a77b045307d5fe143c972a5e5d876&sot=b&sdt=b&sl=30&s=TITLE-ABS-KEY%28calidad+de+aire%29&relpos=0&citeCnt=1&searchTerm=)

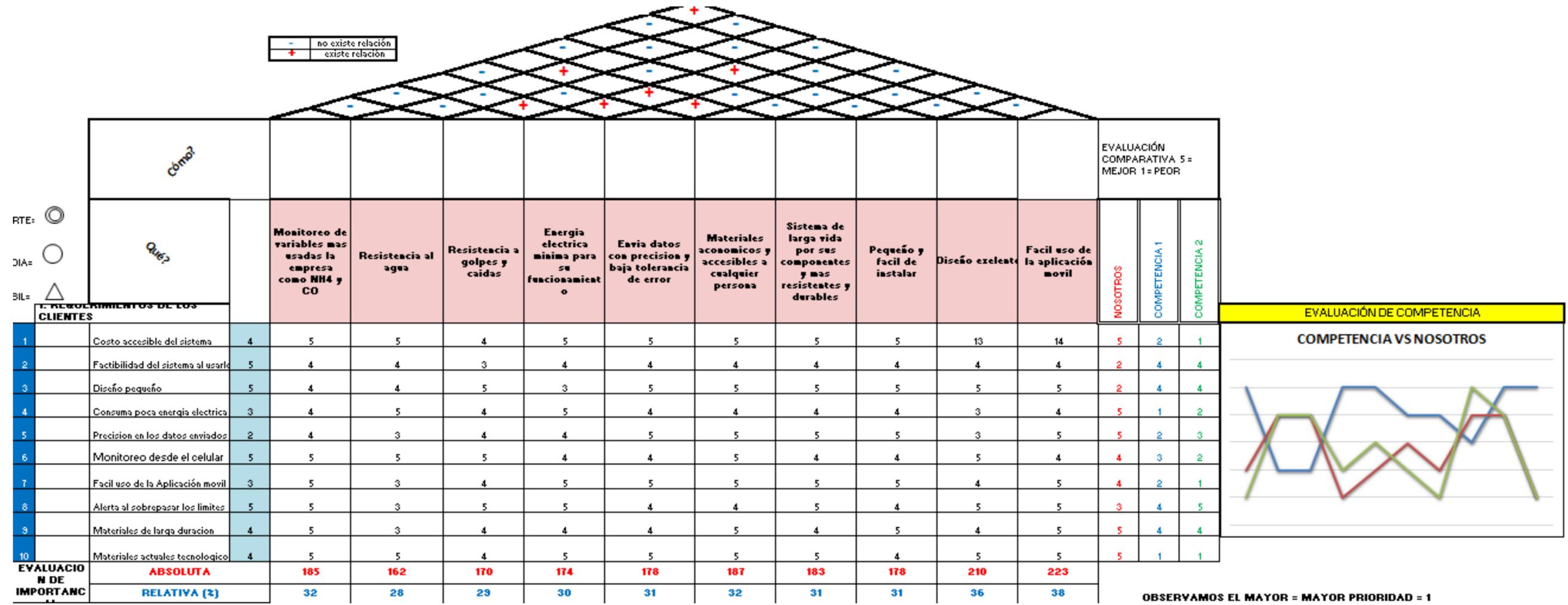
[KEY%28calidad+de+aire%29&relpos=0&citeCnt=1&searchTerm=](https://www-scopus-com.indoamerica.idm.oclc.org/record/display.uri?eid=2-s2.0-85147319142&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=calidad+de+aire&sid=dc3a77b045307d5fe143c972a5e5d876&sot=b&sdt=b&sl=30&s=TITLE-ABS-KEY%28calidad+de+aire%29&relpos=0&citeCnt=1&searchTerm=)

Siva Krishna, K., Satish, T., & Mishra, J. (2023). Machine Learning-Based IOT Air Quality and Pollution Detection. *International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication*, 11, 132-145. Scopus. <https://doi.org/10.17762/ijritcc.v11i1s.5994>

- Subbulakshmi, P., Vimal, S., Robinson, Y. H., Verma, A., & Nayak, J. (2023). Comparative Evaluation of Attribute-Enabled Supervised Classification in Predicting the Air Quality. *Spatial Information Research*. Scopus. <https://doi.org/10.1007/s41324-023-00507-3>
- Volentini, E. D., Paraván, C. A., Younes, J., Saade, S. D., Tek, L. A., & Gómez López, M. D. L. A. (2020). *Description of an IoT system for the measurement and recording of air quality*. 2020 IEEE Congreso Bienal de Argentina, ARGENCON 2020 - 2020 IEEE Biennial Congress of Argentina, ARGENCON 2020. Scopus. <https://doi.org/10.1109/ARGENCON49523.2020.9505461>
- Waluyo, Widura, A., Hadiatna, F., & Fikri, R. S. (2023). IoT-Based Air Conditioning Control System for Energy Saving. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 13(1), 8-16. Scopus. <https://doi.org/10.18517/ijaseit.13.1.17152>

ANEXOS

Anexo 1. Casa de la calidad del sistema de monitoreo de calidad del aire.



Elaborado por: Villacres Alex, (2023)

En este anexo se muestra los resultados después de haber realizado una encuesta a 10 personas sobre el sistema de monitoreo de calidad del aire, sobre sus costos, uso, factibilidad, durabilidad entre otros y se tiene como resultado una buena acogida del sistema ya que es muy accesible para los usuarios y tiene un margen de error bajo hacia los de más alto costo en el mercado.

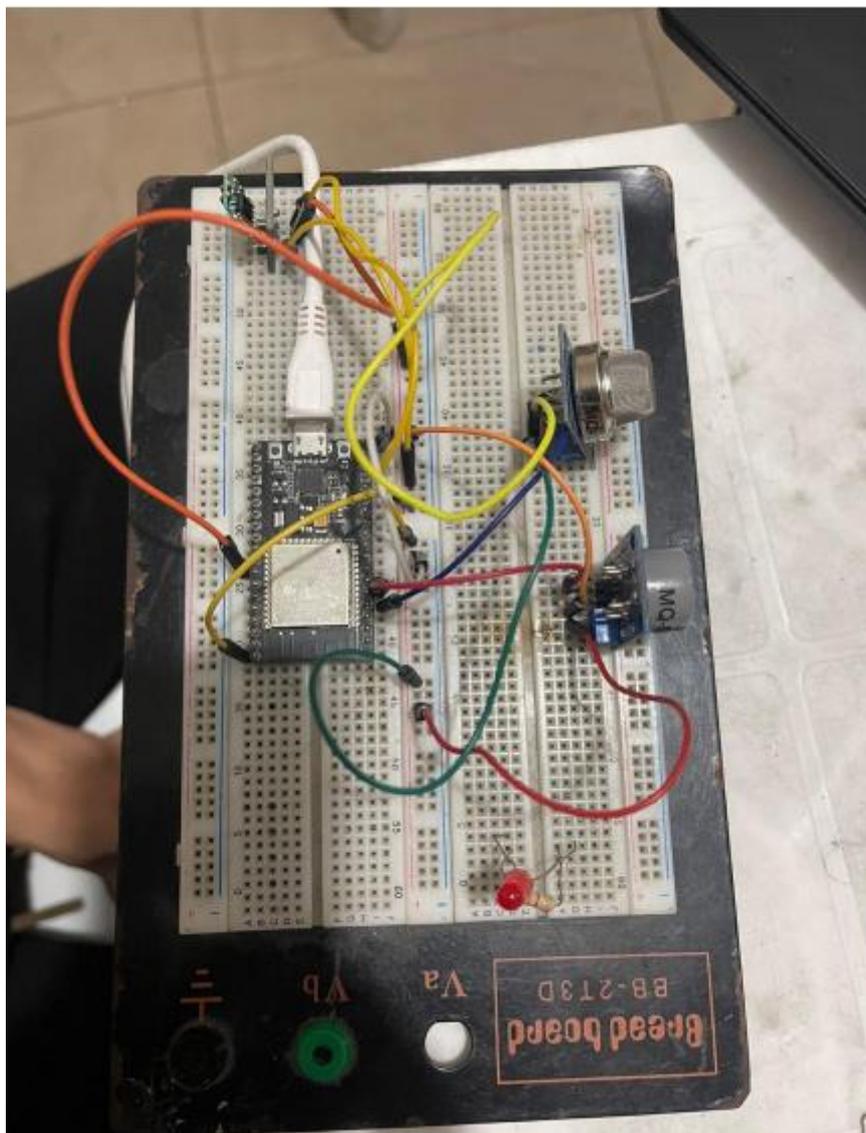
Anexo 2. Tabla de intervalos de calidad del aire de según OMS.

ICA	Clasificación
0-50	ICA Bueno
51-100	ICA Moderado
101-150	ICA Desfavorable para grupos sensibles
151-200	ICA Dañino para la salud
201-300	ICA Muy dañino a la salud

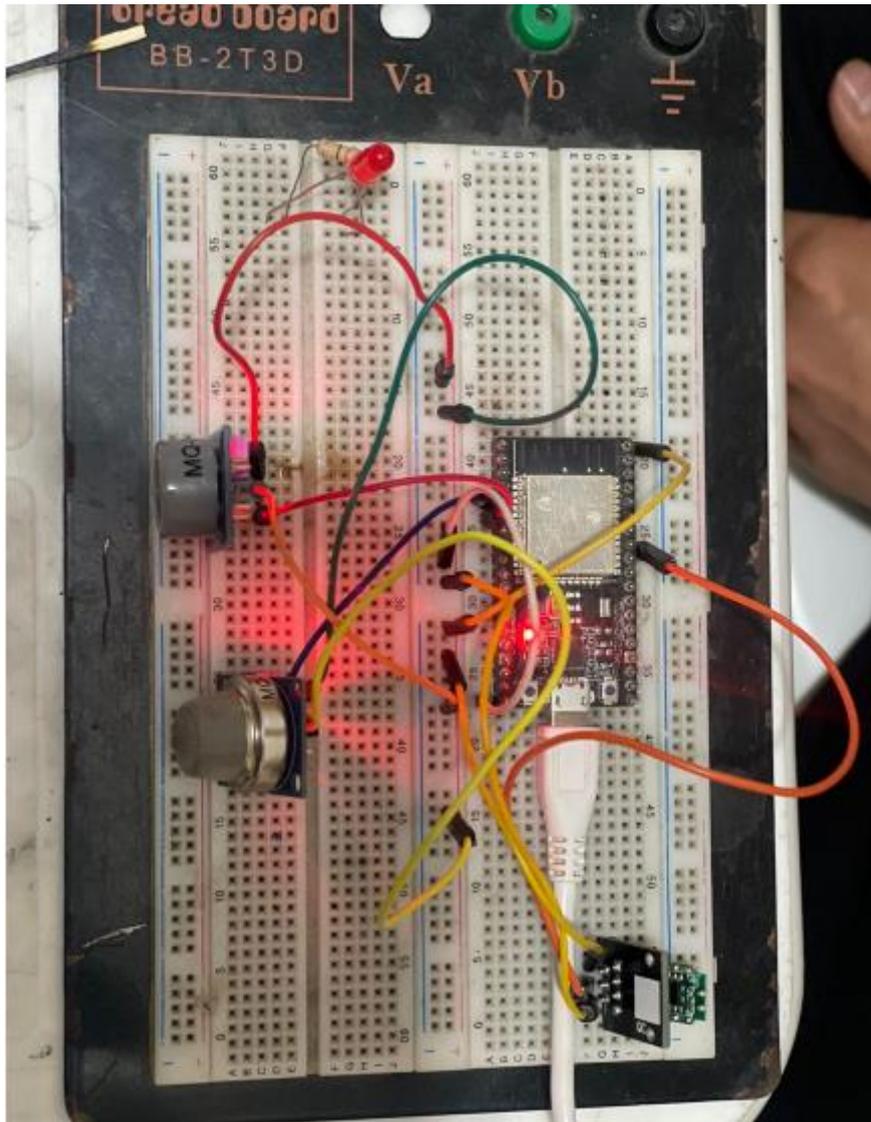
	US AQI Level	PM2.5 (µg/m ³)	Health Recommendation (for 24 hour exposure)
	Good 0-50	0-12.0	Air quality is satisfactory and poses little or no risk.
	Moderate 51-100	12.1-35.4	Sensitive individuals should avoid outdoor activity as they may experience respiratory symptoms.
	Unhealthy for Sensitive Groups 101-150	35.5-55.4	General public and sensitive individuals in particular are at risk to experience irritation and respiratory problems.
	Unhealthy 151-200	55.5-150.4	Increased likelihood of adverse effects and aggravation to the heart and lungs among general public.
	Very Unhealthy 201-300	150.5-250.4	General public will be noticeably affected. Sensitive groups should restrict outdoor activities.
	Hazardous 301+	250.5+	General public at high risk of experiencing strong irritations and adverse health effects. Should avoid outdoor activities.

Anexo 3. Fotografías del sistema al armarlo y proceso de instalación en la empresa.

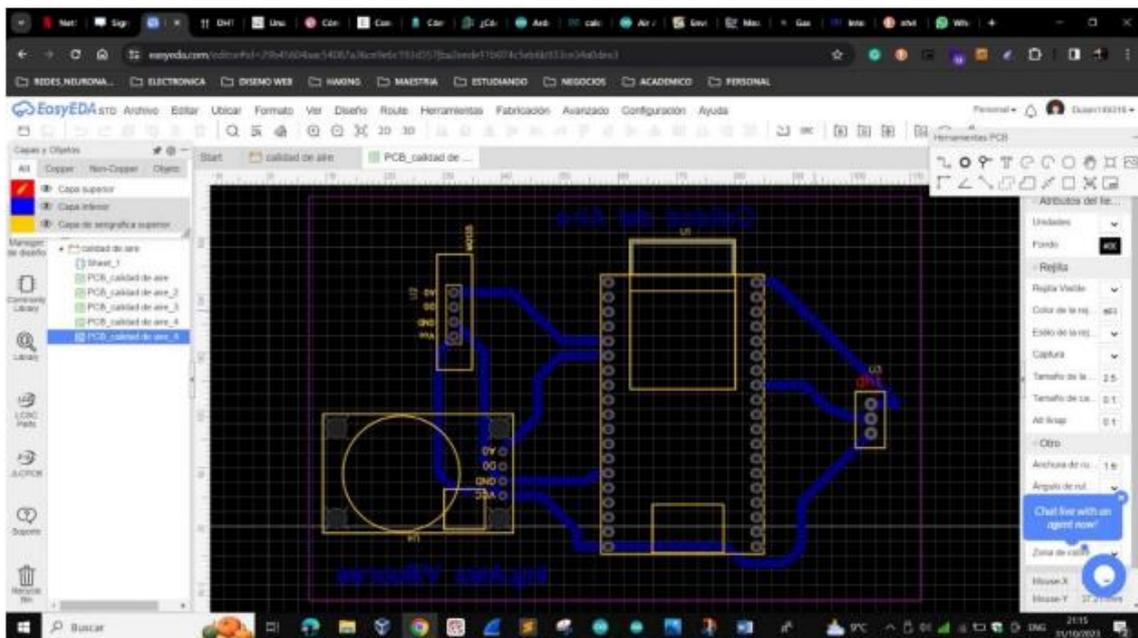
Fotografía 1. Pruebas en Protoboard del sistema de monitoreo.



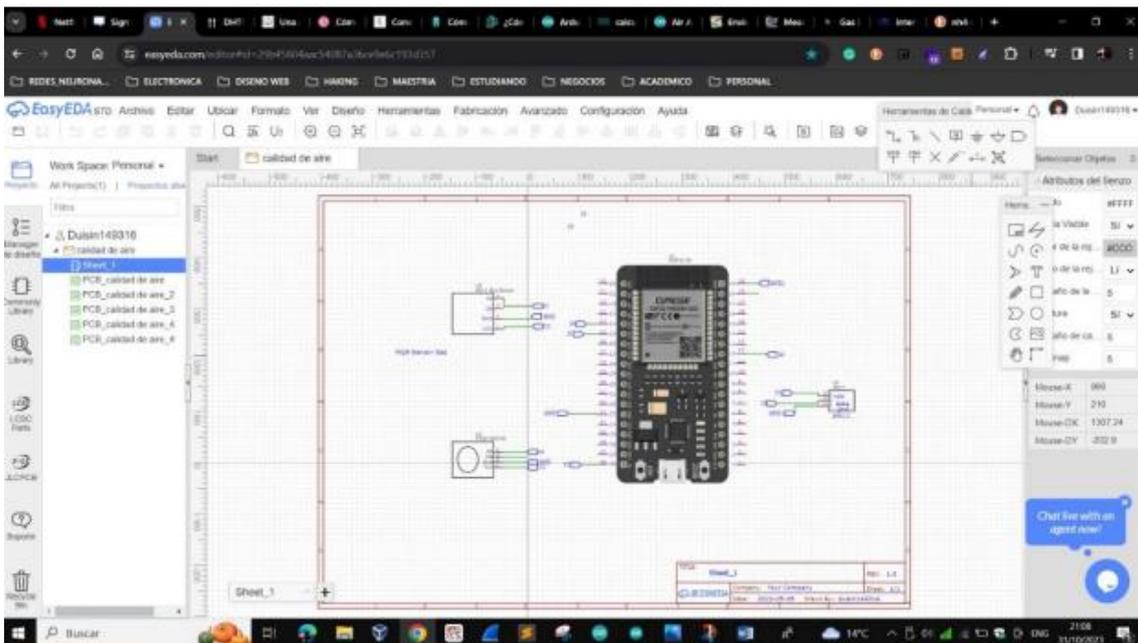
Fotografía 2. Finalización de pruebas en Protoboard del sistema de monitoreo y envío de datos a la plataforma.



Fotografía 3. Creacion de placa en la aplicación EasyEda Online.



Fotografía 4. Medidas acopladas a la placa que se imprimió para precisión de los sensores y el microcontrolador.



Fotografía 5. Instalación del sistema en la empresa para la toma de datos y la tabulación de datos.



Anexo 4. NTP 607: Guías de calidad de aire interior: contaminantes químicos ANEXO 4 (Sanchez, 2010).

TABLA 1
Estándares de la EPA de calidad de aire

Contaminante	Tiempo	Valor del estándar	Tipo de estándar
Monóxido de carbono (CO)	8 horas promedio	9 ppm (10 mg/m ³)	Primario
	1 hora promedio	35 ppm (40 mg/m ³)	Primario
Dióxido de nitrógeno (NO ₂)	Media aritmética anual	0,053 ppm (100 µg/m ³)	Primario y secundario
	1 hora promedio	0,12 ppm (235 µg/m ³)	Primario y secundario
Ozono (O ₃)	8 horas promedio	0,08 ppm (157 µg/m ³)	Primario y secundario
Plomo (Pb)	Promedio cuatrimestral	1,5 µg/m ³	Primario y secundario
Partículas (PM 10)	Media aritmética anual	50 µg/m ³	Primario y secundario
Partículas con diámetro de 10 micras o menos	24 horas promedio	150 µg/m ³	Primario y secundario
Partículas (PM 2,5)	Media aritmética anual	15 µg/m ³	Primario y secundario
Partículas diámetro de con 2,5 micras o menos	24 horas promedio	65 µg/m ³	Primario y secundario
Dióxido de azufre (SO ₂)	Media aritmética anual	0,03 ppm (80 µg/m ³)	Primario
	24 horas promedio	0,14 ppm (365 µg/m ³)	Primario
	3 horas promedio	0,50 ppm (1300 µg/m ³)	Secundario

TABLA 2
Valores límite para contaminantes presentes en aire ambiente

Contaminante	Periodo de promedio	Valor límite	Margen de tolerancia	Fecha de cumplimiento del valor límite
Dióxido de azufre	1 hora	350 µg/m ³ , valor que no podrá superarse en más de 24 ocasiones por año civil.	90 µg/m ³ , reduciendo el 1 de enero de 2003 y posteriormente cada 12 meses 30 µg/m ³ , hasta alcanzar el valor límite el 1 de enero de 2005	1 de enero de 2005
	24 horas	125 µg/m ³ , valor que no podrá superarse en más de 3 ocasiones por año civil.	Ninguno	1 de enero de 2005
Dióxido de nitrógeno y óxidos de nitrógeno	1 hora	200 µg/m ³ de NO ₂ que no podrán superarse en más de 18 ocasiones por año civil.	80 µg/m ³ , reduciendo el 1 de enero de 2003 y posteriormente cada 12 meses 10 µg/m ³ , hasta alcanzar el valor límite el 1 de enero de 2010	1 de enero de 2010
	1 año civil	40 µg/m ³ de NO ₂ .	16 µg/m ³ , reduciendo el 1 de enero de 2003 y posteriormente cada 12 meses 2 µg/m ³ , hasta alcanzar el valor límite el 1 de enero de 2010	1 de enero de 2010
Partículas (PM ₁₀) (Fase I)	24 horas	50 µg/m ³ de PM ₁₀ . Que no podrán superarse en más de 35 ocasiones por año.	15 µg/m ³ , reduciendo el 1 de enero de 2003 y posteriormente cada 12 meses 5 µg/m ³ , hasta alcanzar el valor límite el 1 de enero de 2005	1 de enero de 2005
	1 año civil	40 µg/m ³ de PM ₁₀ .	4,8 µg/m ³ , reduciendo el 1 de enero de 2003 y posteriormente cada 12 meses 1,6 µg/m ³ , hasta alcanzar el valor límite el 1 de enero de 2005	1 de enero de 2005
Partículas (PM ₁₀) (Fase II)	24 horas	50 µg/m ³ de PM ₁₀ . Que no podrán superarse en más de 7 ocasiones por año.	Se derivará de los datos y será equivalente al valor límite de la fase I.	1 de enero de 2010
	1 año civil	20 µg/m ³ de PM ₁₀ .	20 µg/m ³ , el 1 de enero de 2005, reduciendo el 1 de enero de 2006 y posteriormente cada 12 meses 4 µg/m ³ , hasta alcanzar el valor límite el 1 de enero de 2010	1 de enero de 2010

Plomo	1 año civil	0,5 µg/m ³ .	0,3 µg/m ³ , reduciendo el 1 de enero de 2003 y posteriormente cada 12 meses 0,1 µg/m ³ , hasta alcanzar el valor límite el 1 de enero de 2005. 0,5 µg/m ³ , en las inmediaciones de fuentes específicas, notificadas, reduciendo el 1 de enero de 2006 y posteriormente cada 12 meses 0,1 µg/m ³ , hasta alcanzar el valor límite el 1 de enero de 2010.	1 de enero de 2005 o el 1 de enero de 2010, en las inmediaciones de fuentes industriales específicas, situadas en lugares contaminados a lo largo de decenios de actividad industrial.
Benceno	Año civil	5 µg/m ³ .	5 µg/m ³ , reduciendo el 1 de enero de 2006 y posteriormente cada doce meses 1 µg/m ³ , hasta alcanzar el valor límite el 1 de enero de 2010	1 de enero de 2010
Monóxido de carbono	Media de 8 horas máxima en un día	10 mg/m ³ .	6 µg/m ³ , reduciendo el 1 de enero de 2003 y posteriormente cada doce meses 2 mg/m ³ , hasta alcanzar el valor límite el 1 de enero de 2005.	1 de enero de 2005
Ozono	Valor medio en 8 horas	110 µg/m ³ .	-	-

TABLA 3
Valores guía para "contaminantes clásicos", según la OMS, basados en efectos conocidos para la salud

Compuesto	Punto final sobre la salud	Valor guía (µg/m ³)	Tiempo de exposición
Dióxido de azufre	Cambios en la función pulmonar en asmáticos.	500	10 minutos
		125	24 horas
	Aumento de los síntomas respiratorios en individuos sensibles	50	1 año
Dióxido de nitrógeno	Ligeros cambios de la función pulmonar en asmáticos	200 (0,1 ppm)	1 hora
		40 (0,02 ppm)	1 año
		100.000 (90 ppm)	15 minutos
Monóxido de carbono	Nivel crítico de COHb <2,5%	60.000 (50 ppm)	30 minutos
		30.000 (25 ppm)	1 hora
		10.000 (10 ppm)	8 horas
Ozono	Respuestas de la función respiratoria	120	8 horas
Plomo	Nivel crítico de Pb en sangre <100-150 µg Pb/l	0,5	1 año

TABLA 4.
Valores guía para compuestos no cancerígenos, según la OMS, basados en efectos conocidos para la salud

Compuesto	Punto final sobre la salud	Valor guía (µg/m ³)	Tiempo promedio
Ácido acrílico	Lesiones nasales en ratones	54	1 año
Acetaldehído	Irritación en humanos	2.000	24 horas
	Irritación relacionada con la carcinogenicidad en ratas	50	1 año
Acroleína	Irritación ocular en humanos	50	30 minutos
2-Butoxietanol	Hemotoxicidad en ratas	13100	1 semana
Cadmio	Efectos renales en la población	5 x 10 ⁻³	1 año
1,4-diclorobenceno	Aumento de peso del órgano y en las proteínas urinarias	1.000	1 año
Diclorometano	Formación de COHb en sujetos normales	3.000	24 horas
Diesel (emisiones)	Inflamación alveolar crónica en humanos	5,6	1 año
Etilbenceno	Aumento de peso del órgano	22.000	1 año
Estireno	Efectos neurológicos en trabajadores	260	1 semana
Fluoruros	Efectos sobre el ganado	1	1 año
Formaldehído	Irritación en humanos de nariz y garganta	100	30 minutos
Manganeso	Efectos neurotóxicos en trabajadores	0,15	1 año

Metacrilato de metilo	Cambios degenerativos en el epitelio olfativo de roedores	200	1 año
Mercurio, inorgánico	Efectos sobre el túbulo renal en humanos	1	1 año
Monoclorobenceno	Disminución del apetito, aumento del peso del órgano, lesiones y cambios en los parámetros sanguíneos	500	1 año
Sulfuro de carbono	Cambios funcionales en el SNC de trabajadores	100	24 horas
Sulfuro de hidrógeno	Irritación ocular en humanos	150	24 horas
Tetracloroetileno	Efectos sobre el riñón en trabajadores	250	24 horas
Tetracloruro de carbono	Hepatotoxicidad en ratas	6,1	1 año
Tolueno	Efectos sobre el sistema nervioso central en trabajadores	260	1 semana
1,3,5-Triclorobenceno	Metaplasia e hiperplasia del epitelio respiratorio en ratas	200	1 año
1,2,4-Triclorobenceno	Aumento de las porfirinas urinarias en ratas	50	1 año
Vanadio	Efectos respiratorios en trabajadores	1	24 horas
Xilenos	Efectos sobre el sistema nervioso central en voluntarios humanos	4.800	24 horas
	Neurotoxicidad en ratas	870	1 año

TABLA 5
Valores guía para compuestos cancerígenos, según la OMS

Compuesto	Punto final sobre la salud	Unidad de riesgo ^(a)	Clasificación según la IARC ^(b)
Acetaldehído	Tumores nasales en ratas	(1,5-9) x 10 ⁻⁷	2B
Acrlonitrilo	Cáncer de pulmón en trabajadores	2 x 10 ⁻⁶	2A
Arsénico	Cáncer de pulmón en humanos expuestos	1,5 x 10 ⁻³	1
Benceno	Leucemia en trabajadores expuestos	(4,4-7,5) x 10 ⁻⁶	1
Benzo[a]pireno	Cáncer de pulmón en ratas	8,7 x 10 ⁻²	1
Bis(clorometil)éter	Epiteliomas en ratas	8,3 x 10 ⁻³	1
Cloroformo	Tumores de riñón en ratas	4,2 x 10 ⁻⁷	2B
Cloruro de vinilo	Hemangiosarcoma en trabajadores expuestos. Cáncer de hígado en trabajadores expuestos	1 x 10 ⁻⁶	1
Cromo (VI)	Cáncer de pulmón en trabajadores expuestos	(1,1-13) x 10 ⁻²	1
1,2-Dicloroetano	Formación de tumores en roedores	(0,5-2,8) x 10 ⁻⁶	2B
Diesel (emisiones)	Cáncer de pulmón en ratas	(1,6-7,1) x 10 ⁻⁶	2A
HAP (BaP) ^(c)	Cáncer de pulmón en ratas	8,7 x 10 ⁻²	1
Humo de tabaco	Cáncer de pulmón en humanos expuestos	10 ⁻³	-
1,1,2,2-Tetracloroetano	Carcinomas hepatocelulares en ratones	(0,6-3,0) x 10 ⁻⁶	3
Tricloroetileno	Tumores celulares en pruebas con ratas	4,3 x 10 ⁻⁷	2A

^(a) Riesgo adicional de contraer cáncer, estimado a partir de una exposición de por vida a una concentración de 1 µg/m³ del agente cancerígeno.
^(b) Internacional Agency for Research on Cancer.
^(c) HAP (BaP): Hidrocarburos aromáticos policíclicos. (Benzo(a)pireno)

Anexo 5. MIT APP INVENTOR con sus respectiva codificación en bloques y captura de aplicación final.

