

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

Diseño e implementación de prototipo para el monitoreo de la calidad de aire y extracción de exceso de gases en el estacionamiento sección clientes del World Trade Center – Guayaquil

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES

Presentado por:

Carlos Efraín Naranjo Bastidas

Andrea Valentina Onofre Álava

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2022

DEDICATORIA

El presente proyecto se lo dedico a mi familia quienes siempre estuvieron para mí, apoyándome en todo el camino para poder obtener este logro. A mis amigos y colegas que me brindaron sus conocimientos y me aconsejaron.

Andrea Onofre

Este proyecto integrador se lo dedico a mi familia, y en especial a mis padres por ser mis pilares y apoyo incondicional a lo largo de la carrera. A mis amigos que me han acompañado el colegio y la universidad.

Carlos Naranjo

AGRADECIMIENTOS

Agradezco ante todo a Dios por permitirme llegar hasta este punto y seguir avanzando en mi camino. A mi familia, Jacqueline, Amanda, Allison y mis hijos gatunos por todo su apoyo incondicional; en especial a mi papá, Valentín, que me ha acompañado, enseñado y respaldado en todas mis etapas y sobre todo en este proyecto.

A mis profesores y tutores de la ESPOL que me han guiado para alcanzar esta meta.

A mis compañeros de trabajo que me brindaron sus conocimientos y ayuda.

A mi mejor amigo Jaime por siempre estar para mí y brindarme su apoyo y paciencia incondicional. A Matthew, quien nunca ha dejado de creer en mí.

Y por supuesto, a mi compañero de proyecto, Carlos, porque este logro es nuestro.

Andrea Onofre

Mis agradecimientos van principalmente a Dios por darme la sabiduría para alcanzar esta meta y unos padres tan maravillosos. Víctor y Glenda son sin duda unos padres que sacrificaron sus metas para que mis hermanos y yo alcancemos las nuestras, por eso y mucho más siempre estaré agradecido.

A mi hermano mayor, Josafat, por ser un buen ejemplo de perseverancia y enseñarme de que hay que luchar por tus sueños, y a mi hermana menor, Brenda, por enseñarme que un buen hijo siempre tiene que ser incondicional con sus padres en todo momento.

A todos los profesores de ESPOL que alguna vez tuve la oportunidad de recibir sus clases y aprobar su materia.

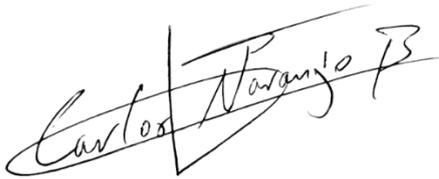
A mis amigos y amigas que me han acompañado entre el kínder, colegio y la universidad, por demostrarme siempre su apoyo total y cariño genuino.

Y finalmente a mi amiga Andrea, por ser una excelente compañera de tesis, y haber estado siempre dispuesta a realizar este proyecto de la mejor manera.

Carlos Naranjo

DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; Carlos Efraín Naranjo Bastidas y Andrea Valentina Onofre Álava, damos nuestro consentimiento para que ESPOC realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”



Carlos Efraín Naranjo Bastidas

Andrea Valentina Onofre Alava

EVALUADORES

Ph.D. Francisco Vicente Novillo Parales
PROFESOR DE LA MATERIA

Ph.D. Germán Ricardo Vargas López
PROFESOR TUTOR

RESUMEN

El presente trabajo de titulación tiene como finalidad diseñar e implementar un prototipo para el monitoreo de la calidad de aire y extracción de exceso de gases en el estacionamiento sección clientes del World Trade Center, debido a que la ubicación del mismo es en el subsuelo y por lo tanto existe el riesgo de que se generen grandes concentraciones de agentes contaminantes, elevadas temperaturas, entre otros.

Este proyecto se consiguió haciendo uso de sensores específicamente diseñados para medir gases como monóxido de carbono o parámetros como temperatura y humedad que permiten evaluar la calidad del aire y por medio de sus mediciones tomar acciones como la extracción de aire y enviar los datos censados via Wifi a la plataforma Ubidots para la visualización de los mismos en tiempo real.

Las mediciones realizadas con el prototipo evidenciaron que se logra disminuir las concentraciones de CO y la temperatura del estacionamiento cuando estas superan los límites establecidos. Además, por medio del dashboard diseñado se pueden realizar monitoreos remotos a cualquier hora del día y cada vez que se excedan los límites de los parámetros, el sistema envía un email al cliente con los datos del evento.

Palabras clave: monitoreo remoto, extracción, monóxido de carbono, temperatura, calidad de aire.

ABSTRACT

The purpose of this degree project is to develop and deploy a prototype for air quality monitoring and excess gases extraction in the customer section parking lot of the World Trade Center, since it is located underground and therefore, there is a risk of generating large concentrations of polluting agents, high temperatures, among others.

This project was done using sensors specifically designed to measure gases such as carbon monoxide or parameters such as temperature and humidity that allow the evaluation of air quality and through their measurements take actions such as air extraction and send the data via Wi-Fi to the Ubidots platform to view them in real time.

The measurements made with the prototype have shown that CO concentrations and parking lot temperatures can be reduced when they exceed the established limits. In addition, by mean of the dashboard designed, remote monitoring can be performed at any time of the day and every time the parameter limits are exceeded, the system sends an email to the client with the event data.

Keywords: *remote monitoring, extraction, carbon monoxide, temperature, air quality.*

ÍNDICE GENERAL

EVALUADORES.....	6
RESUMEN.....	I
ABSTRACT	II
ÍNDICE GENERAL	III
ÍNDICE DE FIGURAS	V
ÍNDICE DE TABLAS.....	VII
CAPÍTULO 1.....	1
1. Introducción.....	1
1.1 Descripción del problema	2
1.2 Justificación.....	2
1.3 Objetivos	3
1.3.1 Objetivo General.....	3
1.3.2 Objetivos Específicos.....	3
1.4 Propuesta de Solución	3
1.5 Metodología.....	4
CAPÍTULO 2.....	5
2. Marco Teórico	5
2.1 Monóxido de carbono	5
2.1.1 Límites recomendados de concentración de CO	6
2.2 Sensores	7
2.3 Ventiladores y ventilación.....	8
2.3.1 Ventiladores.....	8
2.3.2 Ventilación	9
2.4 Estado del arte	10

CAPÍTULO 3.....	12
3. Descripción del Escenario	12
3.1 Diseño de la propuesta.....	13
3.2 Diseño del Prototipo	14
3.2.1 Hardware	15
3.2.2 Funcionamiento del Hardware	20
3.3 Software	22
3.3.1 Ubidots.....	22
3.3.2 Arduino IDE.....	22
3.3.3 Funcionamiento del Software.....	23
CAPÍTULO 4.....	25
4. Resultados y Análisis	25
4.1 Implementación de prototipo	25
4.2 Resultados obtenidos	28
4.3 Análisis de resultados.....	30
CAPÍTULO 5.....	39
5. Conclusiones y Recomendaciones	39
5.1 Conclusiones.....	39
5.2 Recomendaciones.....	40
BIBLIOGRAFÍA.....	41
APÉNDICES.....	44
Apéndice A: Código del sistema de monitoreo y control	45

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1 Plano de la zona seleccionada del estacionamiento	12
Figura 3.2 Diagrama de bloques de la propuesta.....	13
Figura 3.3 Esquema del diseño del prototipo	15
Figura 3.4 Sensor DHT-11.....	16
Figura 3.5 Sensor MQ-9	17
Figura 3.6 Descripción funcional del ESP-32	18
Figura 3.7 Asignación de pines del ESP-32	19
Figura 3.8 Relé SONGLE SRD-05VDC-SL-C.....	19
Figura 3.9 Extractor de aire	20
Figura 3.10 Diagrama del circuito del prototipo	21
Figura 3.11 Diagrama esquemático del circuito.....	21
Figura 3.12 Diagrama de flujo del prototipo.....	24
Figura 4.1 Ensamblaje de prototipo.....	25
Figura 4.2 Vista general del sistema de monitoreo y control; y extractores.....	26
Figura 4.3 Instalación de extractores.....	26
Figura 4.4 Instalación de sistema de monitoreo y control.....	27
Figura 4.5 Diseño de dashboard	27
Figura 4.6 Alertas configuradas.....	28
Figura 4.7 Gráficas de los parámetros con respecto al tiempo del día 1	29
Figura 4.8 Gráficas de los parámetros con respecto al tiempo del día 2.....	29
Figura 4.9 Alertas recibidas	30
Figura 4.10 Gráficas del CO con respecto al tiempo. (a) Mediciones del día 1. (b) Mediciones del día 2.....	31
Figura 4.11 Rango establecido para la gráfica de CO del día 1. (a) Gráfica con pico de CO. (b) Registro de inicio y fin del pico.	32
Figura 4.12 Rango establecido para la gráfica de CO del día 2. (a) Gráfica con pico de CO. (b) Registro de inicio y fin del pico.	33
Figura 4.13 Gráficas de la temperatura con respecto al tiempo. (a) Mediciones del día 1. (b) Mediciones del día 2	34
Figura 4.14 Rango establecido para la gráfica de temperatura del día 1. (a) Gráfica con picos de temperatura. (b) Registro de inicio y fin de un pico.	36

Figura 4.15 Rango establecido para la gráfica de temperatura del día 2. (a) Gráfica con picos de temperatura. (b) Registro de inicio y fin de un pico.37

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Niveles de concentración de CO en estacionamientos cerrados [9].....	7
Tabla 2.2 Síntomas de toxicidad dependiendo la concentración de CO [11]	7
Tabla 4.1 Registro de inicio y fin de los picos en el día 1.	32
Tabla 4.2 Registro de inicio y fin de los picos en el día 2.	33
Tabla 4.3 Registro de inicio y fin de los picos en el rango seleccionado del día 1.	36
Tabla 4.4 Registro de inicio y fin de los picos en el día 2.	37

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

El complejo inmobiliario World Trade Center de la ciudad de Guayaquil tiene dos parqueaderos subterráneos de los cuales uno es para clientes y el otro es para trabajadores. Al ser un edificio que alquila sus pisos y oficinas para distintas empresas y corporaciones, provoca que exista un gran número de ingreso vehicular.

La combustión de los automotores dentro de los estacionamientos hace que se expulsen ciertos contaminantes hacia el ambiente del parqueadero como óxido de nitrógeno, dióxido de carbono y monóxido de carbono, este último es el que tiene más efectos negativos sobre la salud de una persona. El ambiente cerrado de estos parqueaderos subterráneos hace que sean más propensos a almacenar concentraciones nocivas de los gases que son expulsados por los carros [1].

En el presente proyecto se plantea desarrollar el prototipo basado en un sistema de control y monitoreo de la calidad del aire dentro del estacionamiento cerrado para clientes del World Trade center de Guayaquil. Se realizará en este lugar ya que la administración del parqueadero ha reportado a los desarrolladores de este proyecto un crecimiento en la concentración de gases contaminantes y un alza en la temperatura del lugar. En base a esta información el prototipo podrá medir el nivel de la temperatura, humedad y la concentración de CO (monóxido de carbono) del ambiente y mostrará los datos recolectados por medio de una aplicación.

Sin embargo, el objetivo principal no es únicamente que el prototipo muestre los datos de los parámetros establecidos, sino que los utilice para activar unos extractores de aire que regulen el ambiente por debajo de los límites máximos permitidos de concentración y temperatura que debería tener el parqueadero.

1.1 Descripción del problema

En los estacionamientos subterráneos de los centros comerciales y edificios grandes con un amplio ingreso vehicular diario, con frecuencia se concentran los gases combustibles de los automotores que ingresan diariamente.

Por ejemplo, un estudio realizado en el centro comercial Mall del Sol de la ciudad de Guayaquil sobre la acumulación de compuestos gaseosos como el monóxido de carbono, óxido de nitrógeno, y oxígeno, reveló que en las plantas bajas donde se encontraban los estacionamientos la concentración del monóxido de carbono superaba el límite máximo permisible. Similarmente ocurre en el parqueadero subterráneo nivel 2 del C.C. San Marino donde el análisis en la calidad del aire revela que hay una concentración de 60 PPM de monóxido de carbono cuando el límite máximo permisible para ese espacio es 50 PPM [2].

Las consecuencias de la exposición constante e inhalación de monóxido de carbono en grandes concentraciones pueden provocar síntomas como dolor de cabeza leve y fuerte, vómito, visión borrosa, confusión, disnea, falla cardíaca, entre otros [3].

1.2 Justificación

Mantener una correcta ventilación y renovación del aire interior es imprescindible para zonas en las que se genera gran cantidad de gases y agentes contaminantes [4]. Además, en caso de incendio estas zonas son especialmente críticas para la seguridad de las personas y también para el resto de los vehículos o equipos [4]. En el uso habitual de un estacionamiento se generan múltiples contaminantes que deben ser evacuados para garantizar la adecuada salubridad en el interior del mismo.

Entre los contaminantes principales se posiciona el CO y los biológicos. El CO es producido durante la quema de combustibles como la gasolina. Este destaca entre los compuestos químicos que son liberados mediante el escape del motor y que pueden acumularse rápidamente incluso en áreas correctamente ventiladas. Además, dado que el monóxido de carbono es un gas inodoro, incoloro y no irritante, puede causar debilidad, confusión e incluso graves intoxicaciones [5].

Por otro lado, los contaminantes biológicos afectan negativamente la respiración de los clientes del estacionamiento, pudiendo causar problemas respiratorios. Por ejemplo, la presencia de contaminantes biológicos como el moho es causada por una mala ventilación y esta mala ventilación crea condensación en el ambiente, lo que conlleva a la presencia de humedad [6].

Por lo tanto, es muy necesario llevar a cabo una adecuada renovación para garantizar la calidad del aire interior. Por estas razones se plantea el desarrollo de un prototipo que mida y evalúe la calidad de aire y en base a esto active de forma automatizada los extractores.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Diseñar un sistema para la medición de gases, control de extracción y monitoreo remoto de la calidad del aire en el estacionamiento sección clientes del World Trade Center.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Analizar y seleccionar el tipo de sensor que permita realizar la medición y obtención de los parámetros de calidad de aire en un ambiente cerrado.
- Implementar y desplegar un sistema automatizado para el control de extracción del aire en el estacionamiento sección clientes del World Trade Center.
- Diseñar una plataforma web para el monitoreo remoto que permita visualizar los parámetros de la calidad del aire y a su vez enviar alertas.

1.4 Propuesta de Solución

La propuesta de solución consiste en diseñar e implementar un prototipo de un sistema de sensores que mida parámetros de calidad del aire en términos de la concentración de monóxido de carbono, temperatura y humedad. Si se superan los límites establecidos de estos parámetros se mandará una alerta al encargado del estacionamiento y a la vez se activará la extracción de aire para mantener equilibrados los parámetros y no perjudicar la salud de los clientes y del personal del estacionamiento.

1.5 Metodología

Se propone como proyecto el diseño de un prototipo para el monitoreo de calidad de aire en el estacionamiento sección clientes del World Trade Center. Para realizar el proyecto se emplea una metodología secuencial, es decir, el proyecto contiene cinco etapas y progresivamente estas se cumplen en el orden establecido. Las etapas de desarrollo del proyecto son: Inicio, planteamiento, implementación, comprobación, finalización.

Dentro de la etapa de inicio se analiza el trabajo a realizar y la problemática a resolver mostrada por el cliente y a su vez comprende la investigación y análisis del diseño del prototipo que solventa el problema. En la siguiente etapa de planteamiento se escogen los dispositivos y equipos a utilizar en el diseño del prototipo. Se bosqueja la conexión de los sensores dentro del espacio seleccionado dentro del estacionamiento y se realiza el código de programación para automatizar todo el prototipo. Además, se adapta los campos, gráficos, widgets entre otros de la plataforma en la que se registran todos los datos.

La tercera etapa consiste en armar un prototipo a escala del proyecto, lo cual permite analizar posibles mejoras al diseño final, y se configura los parámetros necesarios para que la interacción entre hardware y software funcione correctamente. En la penúltima etapa se procede a realizar las pruebas y casos de uso del prototipo para obtener los resultados y realizar las últimas correcciones. Por último, se expone en un documento en forma de reporte final con toda la información recolectada a lo largo de todas las etapas del proyecto.

CAPÍTULO 2

2. MARCO TEÓRICO

En esta sección se abordarán temas relevantes que permitirán tener una mejor comprensión del proyecto integrador realizado.

2.1 Monóxido de carbono

- **Características**

El monóxido de carbono es un gas compuesto por una molécula de carbono y una molécula de oxígeno, no posee ni sabor, ni color y se considera venenoso o perjudicial para la salud de los seres vivos. Posee menos densidad que el aire respirable, es un gas estable y tiene un tiempo de vida media en el ambiente de 2 a 4 meses [7].

Este gas se genera en el proceso de la combustión incompleta de madera o gasolina, ya que de las cadenas de carbono que se rompen cuando se queman estos elementos se combinan con moléculas de oxígenos provocando los óxidos de carbono con diferentes valencias entre ellos el monóxido y el dióxido de carbono [7].

- **Origen Urbano**

El monóxido de carbono se origina principalmente por los gases que expulsan los automóviles por el tubo de escape, debido a que la mayoría de los motores internos de los carros utiliza como combustible la gasolina. Debido a que las ciudades grandes y áreas urbanas tienen gran flujo de tránsito vehicular el monóxido de carbono está mayoritariamente concentrado en las cercanías de las vías, túneles, estacionamientos subterráneos o cerrados y diferentes tipos de ambientes interiores donde ingresan vehículos [7].

- **Síntomas y efectos sobre la salud**

Los síntomas de intoxicación por haber ingerido o inhalado monóxido de carbono son muy variados ya que dependen del nivel de concentración que ha ingresado al cuerpo humano. Además de ser síntomas inespecíficos, también son difíciles de detectar ya que la mayoría coinciden con el diagnóstico de otras enfermedades, es decir la intoxicación por monóxido de carbono se camufla frente a un gran número de posibilidades de otros síntomas convirtiéndolo en un veneno silencioso.

A este tipo de intoxicaciones se les atribuye el término camaleónicas debido que al ser un gas que no tiene sabor ni olor es imperceptible para los sentidos de los seres humanos. Este gas puede estar siendo inhalado por horas sin provocar síntomas visibles o irritativos [8].

Los principales indicios de haber sido intoxicado por monóxido de carbono son náuseas, fatiga, debilidad, lipotimia y cefaleas. Pero estos síntomas pueden haber sido diagnosticados por múltiples causas como cuadros virales, problemas neurológicos o cardiovasculares, problemas gastrointestinales o cefaleas tensionales. En los casos más serios podrían llegar a tener convulsiones, infartos, accidentes vasculares e incluso caer en estado de coma [8].

2.1.1 Límites recomendados de concentración de CO

Existe un nivel límite de exposición permisible de concentración al monóxido de carbono en donde pasado ese nivel se considera peligroso y mortal [9]. A lo largo del tiempo se han establecido varias referencias como EPA (Environmental Protection Agency), NIOSH (National Institute for Occupational Health and Safety), OSHA (Occupational Safety and Health), ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists), entre otras, que controlan diferentes valores para el límite en partes por millón (ppm) del monóxido de carbono [10]. A continuación, se presenta en la Tabla 2.1 los límites permisibles de CO más relevantes y sus respectivas referencias, así como en la Tabla 2.2 se muestran los síntomas que se suscitarían al estar expuesto a un nivel de concentración de CO específico.

Tabla 2.1 Niveles de concentración de CO en estacionamientos cerrados [9]

Concentración CO (ppm)	Descripción	Referencia
9	Máxima concentración permitida	EPA
25	Máximo nivel de exposición en jornada de 8 horas (TLV - TWA)	ACGIH
35	Máximo nivel de exposición en jornada de 8 horas (PEL - TWA)	NIOSH
50	Máximo nivel de exposición en jornada de 8 horas	OSHA

Tabla 2.2 Síntomas de toxicidad dependiendo la concentración de CO [11]

Concentración CO (ppm)	Síntomas de toxicidad
<35	Cefalea leve o ningún síntoma
50	Disnea en grandes esfuerzos con exposición de 4 horas
100	Dolor de cabeza leve con exposición de 1 a 2 horas
200	Dolor de cabeza leve con exposición de 2 a 3 horas
400	Dolor de cabeza frontal con exposición de 1 a 2 horas
800	Mareos, náuseas, dolor de cabeza luego de 45 minutos de exposición
1600	Mareos, náuseas, dolor de cabeza luego de 20 minutos de exposición
3200	Mareos, náuseas, dolor de cabeza luego de 10 minutos de exposición
6400	Mareos, náuseas, dolor de cabeza luego de 1 a 2 minutos de exposición. Muerte en 15 minutos.
12800	Muerte en 1 a 3 minutos

2.2 Sensores

Son dispositivos capaces de detectar una acción externa específica como por ejemplo presión, temperatura, humedad, entre muchos otros, y transmitir adecuadamente las detecciones realizadas [12]. Los sensores son descritos también como aparatos que transforman magnitudes físicas o químicas como longitud, tiempo, intensidad lumínica y temperatura en magnitudes eléctricas como voltaje, intensidad, energía y potencia [12].

Tipo de Sensores

Los sensores se pueden clasificar por el principio de transducción, es decir, según el tipo de transductor que se utiliza en el sensor. Los tipos son:

- Piezorresistivo
- Capacitivo
- Piezoeléctrico
- Ultrasónico
- Magnético
- Termoeléctrico
- Fotoeléctrico
- Químico

Sin embargo, este tipo de clasificación no ayuda a distinguir la unidad o variable física para la cual fue diseñada el sensor, por lo cual, otra manera de clasificar los sensores es por el tipo de medición que realiza o para la variable física que fue diseñada el sensor [13].

Según la variable física existen sensores de:

- Aceleración, posición y velocidad
- Flujo y presión
- Fuerza y deformación
- Proximidad y nivel
- pH y gas
- Corriente
- Visión, color y luz
- Biométricos

2.3 Ventiladores y ventilación

2.3.1 Ventiladores

Un ventilador es una máquina que produce una corriente de aire por medio de un motor y álabes, en otras palabras, es una turbo-máquina que transmite energía para cumplir su función principal de desplazar un gas o mantener un flujo continuo del mismo [14].

Los ventiladores basan su clasificación según su función, trayectoria del aire y presión, en donde se tiene que:

Función

- Ventiladores con envolvente
 - **Extractores:** intercambian el aire mediante un conducto, cuentan con una entrada entubada con una salida de descarga libre.
 - **Impulsores:** mantienen la entrada libre para expulsar el aire por una salida entubada.
 - **Impulsores-Extractores:** la entrada y salida se encuentran entubadas para realizar ambas funciones.
- Ventiladores murales

Son también denominados extractores, puesto que, trasladan el aire de un espacio a otro el cual está separado por un muro.

Trayectoria del aire

- **Centrífugos:** la dirección del flujo de aire cambia en un ángulo de 90° entre su entrada y salida, y se clasifican por sus álabes del rotor.
- **Axiales:** la dirección del flujo del aire está determinada con el eje del ventilador. Los ventiladores axiales son generalmente usados para trasladar grandes caudales de aire a bajas presiones, y su clasificación se deriva de su envolvente.
- **Transversales:** la dirección del flujo del aire es normal al eje de entrada y de salida atravesando todo el cuerpo.

Presión

- **Baja presión:** son comúnmente centrífugos y no alcanzan los 70 Pascales.
- **Media presión:** suelen ser axiales o centrífugos. Su presión se encuentra entre 70 y 3000 Pascales.
- **Alta presión:** superan los 3000 Pascales.

2.3.2 Ventilación

La ventilación es uno de los factores importantes que intervienen en el diseño de un estacionamiento, ya que este permitirá mantener una calidad de aire propicia. En definición, la ventilación es una técnica que permite el intercambio de aire en

un determinando espacio, además permite controlar la temperatura, humedad y toxicidad de un ambiente, de tal modo que mantiene en condiciones favorables la salud de las personas [15].

Los sistemas de ventilación en estacionamientos se pueden dividir en las siguientes categorías:

- Ventilación por impulsión o inyección

El aire impulsado al interior proviene directamente desde el exterior, es decir, causa sobrepresión en las instalaciones del estacionamiento y a su vez expulsa el aire viciado por las entradas y salidas o cualquier abertura disponible. Una desventaja de este tipo de ventilación es que no se tiene el control de la descarga de las emisiones o contaminantes que se albergan en las instalaciones [16].

- Ventilación por extracción

Este tipo de ventilación es el más común y presenta ventajas como el control sobre la descarga de emisiones y contaminantes por medio de conductores que canalizan el aire extraído hasta el lugar determinado [16].

2.4 Estado del arte

La calidad del aire en espacios cerrados es un factor importante que interviene en la salud de los seres humanos, en los últimos años se ha evidenciado altas concentraciones de agentes contaminantes como monóxido de carbono, dióxido de carbono, entre otros [17], los cuales perjudican el rendimiento, estabilidad, salud y bienestar de las personas quienes no son conscientes de la exposición prolongada a estos agentes contaminantes. Los estacionamientos o parqueaderos subterráneos albergan gran cantidad de estos agentes al ubicarse en los subsuelos de los edificios, ya que no se pueden descargar naturalmente, por lo que necesitan de un sistema de ventilación y extracción que ejecute el proceso y mantenga el aire limpio y libre de gases tóxicos.

En [15] se evidencia el proyecto de extracción de monóxido de carbono en el estacionamiento del centro comercial Galaxy Plaza en Lima – Perú. Se diseñó un sistema de ventilación mecánica que mantiene la calidad de aire adecuada y

salubre dentro del estacionamiento, en donde la implementación se llevó a cabo con sensores de monóxido de carbono, ventiladores tubo JET FAN, un extractor central de flujo mixto de transmisión por polea y faja, y un tablero eléctrico. El sistema se activa cuando la concentración del monóxido de carbono supera el límite de 50 ppm, de tal modo que comienza la extracción del aire contaminado de cada piso del estacionamiento hacia el exterior.

En Taipei – Taiwán, se llevó a cabo el estudio y análisis de 60 estacionamientos subterráneos, en donde se evaluaron los efectos negativos para las personas y su salud, así como el riesgo de desarrollar cáncer por la contaminación del aire. En los análisis de [18] se determinó que los principales contaminantes del aire en la sección de oficinas de los empleados de los estacionamientos fue CO₂, mientras que en las áreas de estacionamientos fue el CO, con lo cual, el riesgo promedio de cáncer es de 1.80×10^{-4} después de una exposición de 29 años. Los investigadores sugirieron mantener una ventilación y extracción adecuada del aire para mantener los niveles de CO y CO₂ por debajo del límite permitido, de tal modo que se reduzca el riesgo de cáncer y a su vez las distintas afectaciones a la salud.

En el trabajo de investigación [19] se realiza una recolección de datos utilizando un analizador de gases móvil T. Este estudio consistió en analizar el material particulado y la cantidad de compuestos contaminantes en el ambiente provocados por la combustión del motor en autos, en dos específicos parqueaderos del distrito metropolitano de Quito. Los dos parqueaderos seleccionados se encuentran en los mercados San Francisco y Comité del pueblo, la recolección de datos se realizó durante 21 días. En el parqueadero del mercado Comité del pueblo los datos registrados presentaron valores por encima del límite máximo en los gases, los cuales fueron dióxido de nitrógeno (NO₂), Óxido nítrico (NO_x) y ozono (O₃). Por otro lado, los gases que fueron representativos en el segundo parqueadero fueron el dióxido (CO₂) y monóxido de carbono (CO) sumados al NO₂, NO_x y O₃.

CAPÍTULO 3

3. DESCRIPCIÓN DEL ESCENARIO

El complejo inmobiliario World Trade Center cuenta con estacionamientos subterráneos en donde la ventilación es un factor muy importante a tener en cuenta.

Datos brindados por la administración del parqueadero de la sección clientes evidencian que el parqueadero cuenta con una capacidad de 150 zonas de estacionamiento en un espacio de 5000 m², en el cual el flujo vehicular promedio es de 600 vehículos por día, siendo los días entre semana la mayor concentración de vehículos debido a los distintos horarios de trabajo, donde el horario de permanencia es de 4 horas en promedio y los días sábados el flujo promedio de vehículos es de 60 al día. Cabe mencionar que el sistema de extracción implementado en el estacionamiento está fuera de funcionamiento. Por lo tanto, la acumulación de los gases de los vehículos que ingresan, la falta de ventilación del lugar, sumado a que es un parqueadero subterráneo con pocas entradas y salidas de aire hacen que la calidad del ambiente dentro del estacionamiento contenga temperaturas elevadas y en algunos casos concentraciones de monóxido de carbono nocivas para la salud de las personas que circulan constantemente en el parqueadero.

La zona escogida para evaluar el prototipo abarca 3 espacios de estacionamiento con un volumen de 120.18 m³, tal como se muestra en la Figura 3.1, en donde se ubica el sistema de monitoreo de temperatura, humedad y concentración de CO, además del sistema de extracción.

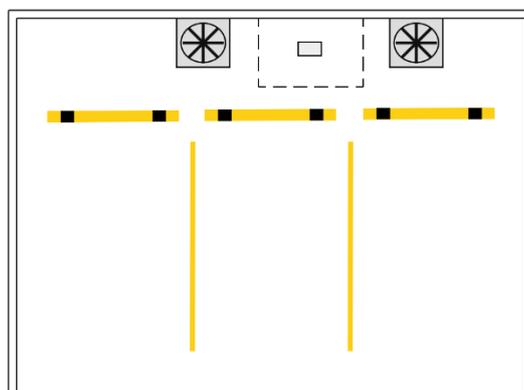


Figura 3.1 Plano de la zona seleccionada del estacionamiento

3.1 Diseño de la propuesta

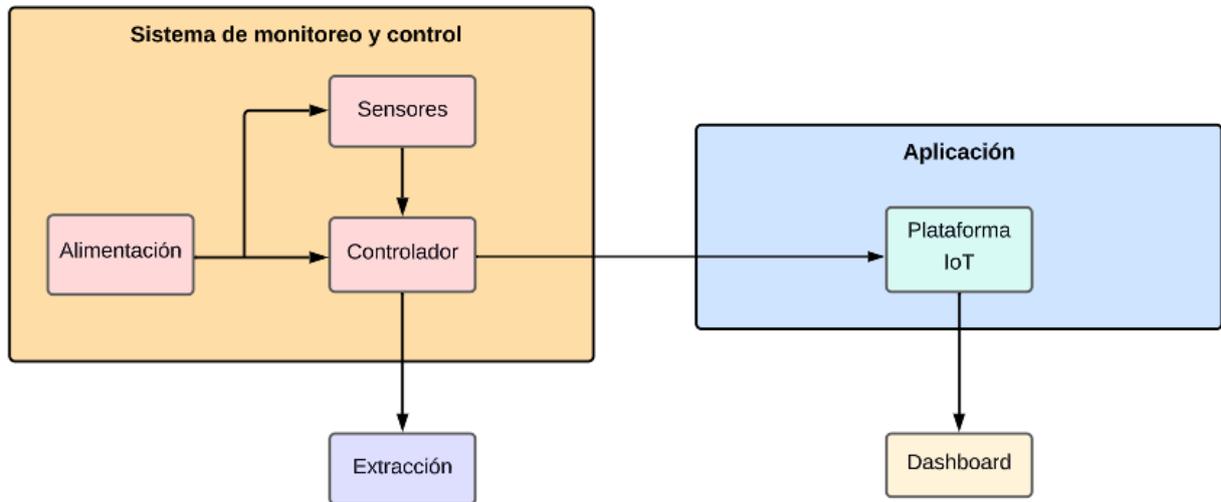


Figura 3.2 Diagrama de bloques de la propuesta

A continuación se describirá cada bloque de la Figura 3.2, y como aportan en el funcionamiento completo del prototipo.

- **Alimentación**

La fuente de alimentación es la parte del proyecto encargada de brindar la energía necesaria para el desempeño óptimo del resto de bloques del prototipo. Es el punto de arranque de todos los dispositivos por lo que se divide la misma en dos partes: para el controlador y para la extracción, ya que funcionan con diferentes cantidades de voltaje.

- **Sensores**

Este bloque está compuesto por dos sensores: DHT-11 que mide temperatura y humedad, y el MQ9 que mide concentración de monóxido de carbono. Ambos son los encargados de brindar la información al bloque de control para que realice sus procesos.

- **Controlador**

En este bloque se trabaja con la información brindada por el bloque sensores y en base a esta información recibida se realizan dos acciones. La primera acción es

la activación para el bloque extracción, es decir, el encendido de los extractores de aire, siempre y cuando las condiciones impuestas en el controlador se cumplan, de lo contrario el sistema permanece inactivo. La segunda acción es la transmisión de los datos a la plataforma diseñada para la visualización de resultados. Estas dos acciones están relacionadas debido a que el mismo dispositivo de control contiene el módulo necesario para la transmisión.

- **Extracción**

Este bloque está compuesto por dos extractores de aire los cuales se encargarán de disminuir la concentración de gases nocivos que detecte el bloque sensores.

- **Plataforma IoT**

Este bloque está compuesto por la plataforma a la cual se envían los datos obtenidos por el sistema de monitoreo y control. La plataforma elegida es Ubidots, ya que esta permite la relación IoT, es decir, la relación entre el ESP-32 y la plataforma con almacenamiento en la nube. Además, gracias al abanico de widgets y parámetros configurables que posee la herramienta se puede diseñar y presentar los datos de diferentes formas de visualización, así como también a lo largo del tiempo.

- **Dashboard**

La visualización de resultados se logra mediante un smartphone, tablet o computadora, ya que la plataforma diseñada en el bloque de aplicación permite la integración con cualquier dispositivo inteligente, de tal forma que permite el monitoreo en tiempo real de la calidad del aire en el estacionamiento.

3.2 Diseño del Prototipo

Para cumplir con los objetivos y la metodología, en la Figura 3.3 se plantea el siguiente esquema que comprende el hardware y software de la solución:

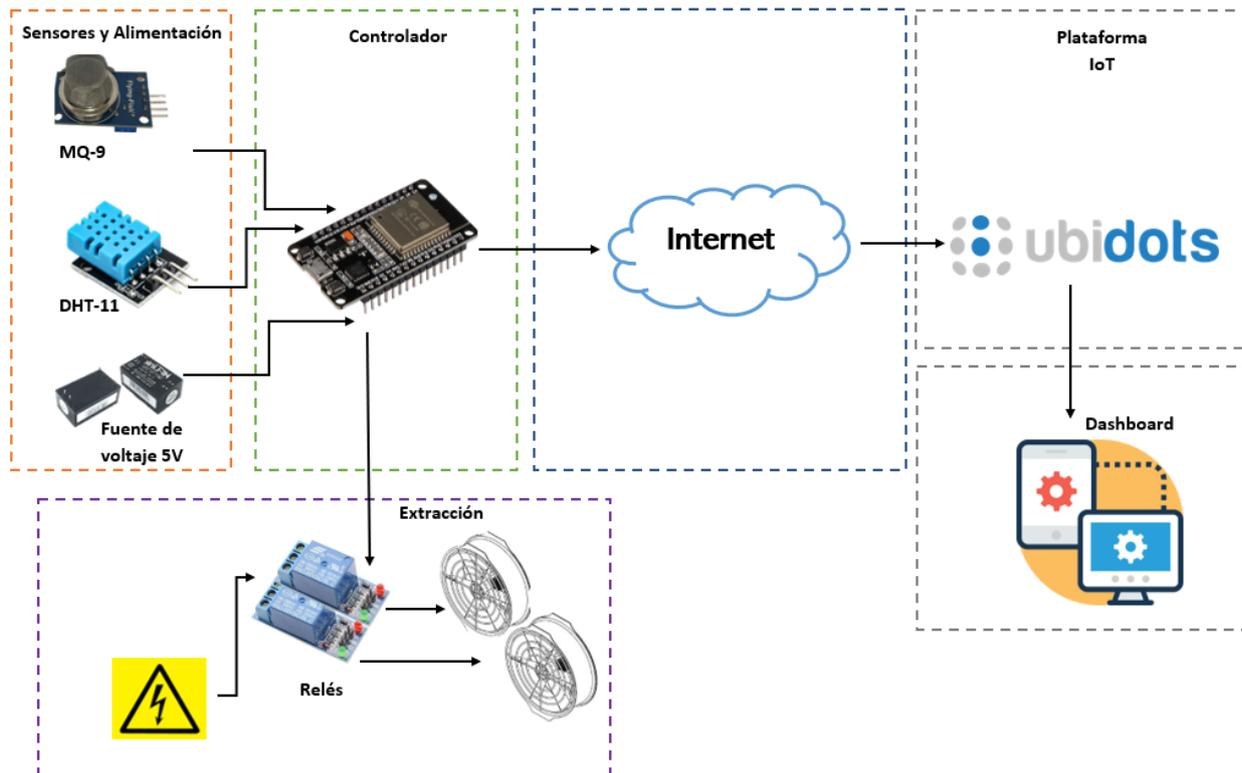


Figura 3.3 Esquema del diseño del prototipo

3.2.1 Hardware

Para la parte tangible del proyecto se tiene como elementos principales los sensores de ambiente como son el DHT-11 útil para medir temperatura y humedad y el sensor MQ-9 utilizado para medir la concentración de monóxido de carbono.

3.2.1.1 Sensores de la calidad de aire

- **Sensor DHT-11**

El DHT-11 es un transductor que permite medir la temperatura y humedad. El sensor dispone de 3 pines como se observa en la Figura 3.4, uno como fuente de alimentación de 3.5 V a 5.5 V, otro pin que emite la temperatura y humedad por medio de datos en serie y el ultimo pin que se conecta a la tierra del circuito [20].

Especificaciones técnicas

- ✓ Fuente de alimentación de 3.3 a 5 V [DC]
- ✓ Precisión de lectura de humedad +/- 5%
- ✓ Precisión de lectura de temperatura +/- 2%
- ✓ Corriente limite 2.5 mA

- ✓ Rango de medición de humedad 20% a 80% de humedad relativa
- ✓ Rango de medición de temperatura de 0 a 50 °C
- ✓ Velocidad de muestreo: 1 por cada segundo
- ✓ Dimensiones: 15.5mm*12mm*5.5mm



Figura 3.4 Sensor DHT-11

- **Sensor MQ-9**

Es un tipo de sensor semiconductor que puede medir la concentración de gas combustible y monóxido de carbono en el ambiente. En la Figura 3.5 se ilustra la función de cada uno de los 4 pines del sensor, de los cuales el primer pin es la fuente de alimentación positiva del sensor, el segundo pin es la alimentación negativa o tierra, mientras que los 2 pines restantes determinan la presencia y concentración respectivamente de los gases mencionados. Siendo el pin con salida digital el que determina la presencia de los gases y el pin con salida analógica el que determina la concentración [21].

Especificaciones técnicas

- Voltaje de calentamiento alto: 5 V [AC o DC]
- Voltaje de calentamiento bajo: 1.4 V [AC o DC]
- Rango de medición:
 Monóxido de carbono (CO): 20ppm-2000ppm
 Metano (CH4) y GLP: 500ppm-10000ppm
- Resistencia de carga ajustable: 10 KΩ a 47 KΩ
- Dimensiones: 20mmx32mm

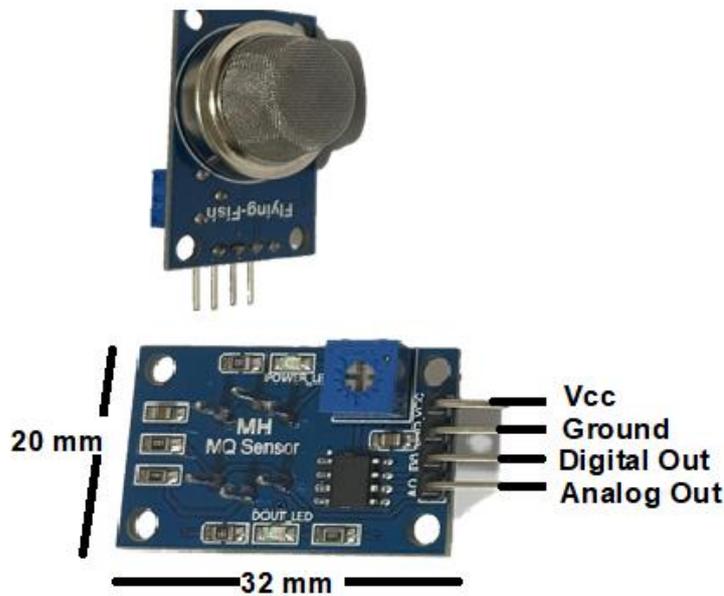


Figura 3.5 Sensor MQ-9

Por otro lado, también se utiliza el ESP32 como micro-controlador y dispositivo inteligente, que también cuenta con un módulo wifi lo cual es necesario para la transmisión de datos inalámbricamente.

3.2.1.2 Microcontrolador ESP-32

El ESP32 es un dispositivo que tiene como finalidad brindar conectividad Wifi y Bluetooth a una frecuencia de 2.4 GHz. Este equipo es el responsable de controlar la seguridad de la información por eso se considera un Centro de Operaciones de Seguridad o SoC por sus siglas en ingles.

El ESP32 posee varias series las cuales incluye:

- ESP32-D0WD-V3
- ESP32-D0WDR2-V3
- ESP32-U4WDH
- ESP32-S0WD (NAND)
- ESP32-D0WDQ6-V3 (NRND)
- ESP32-D0WD (NRND)
- ESP32-D0WDQ6 (NRND)

Debido a que posee un regulador de voltaje en la placa, el ESP32 se puede alimentar con 5v o 3 V, pero puede alimentarse por el puerto micro-USB como se ilustra en la Figura 3.6.

Componentes Clave

- Botón de reinicio
- Botón de descarga
- Chip de puente USB-UART
- Led de encendido de 5 V

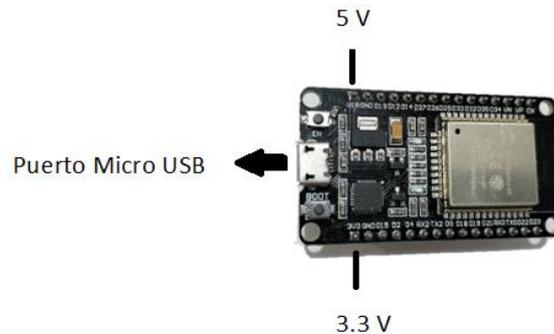


Figura 3.6 Descripción funcional del ESP-32

Especificaciones Técnicas

Tecnología Wi-Fi

- Protocolo 802.11 b/g/n (2.4 GHz) hasta 150 Mbps
- Numero de interfaces virtuales wifi: 4
- Soporte para wifi multimedia (Streams y VoIP)
- TX/RX A-MPDU, RX A_MSDU
- Funcionamiento simultáneo en modo Station y SoftAp

Unidad central de procesamiento (CPU)

- Microprocesador: Xtense ingle-/dual core (32 bits) LX6
- SRAM: 520 KB
- SRAM DE RTC: 16 KB
- ROM: 448 KB
- Soporte QSPI: múltiples chips de memoria SRAM y flash

Interfaces y pines de entrada y salida

- Número de GPIOs programables: 34
- Número de canales ADC: 18 (12 bits de resolución)
- Dos Convertidores digital analógico de 8 bits
- Soporte hasta un máximo de 10 sensores touch
- Interfaces SPI: 4
- Interfaces I2S: 2
- Interfaces UART: 3
- Interfaz Ethernet con acceso directo a memoria
- Interfaz CAN 2.0
- Interfaz IR (TX/RX)
- Sensor Hall: 1 [22]

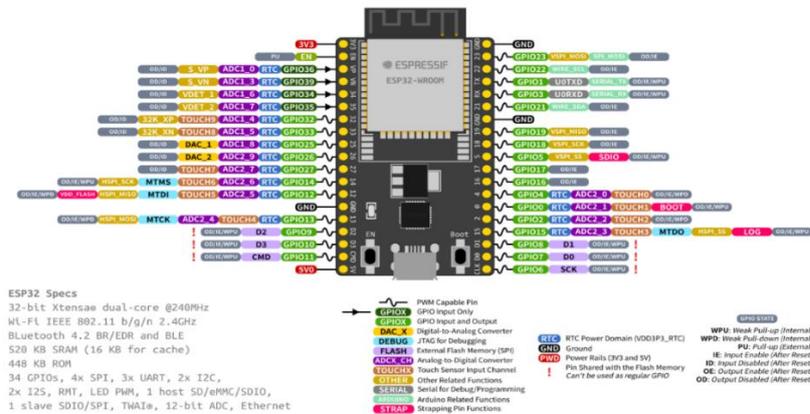


Figura 3.7 Asignación de pines del ESP-32 [22]

3.2.1.3 Relé

Es un dispositivo utilizado para detener o permitir el flujo de corriente continua o alterna de un circuito. Existen diversos tipos de relés que se clasifican por el nivel de corriente y voltaje que puedan soportar. Aunque también se pueden clasificar por el tipo de aplicación que se le da al relé [23].



Figura 3.8 Relé SONGLE SRD-05VDC-SL-C

Características

- Corriente máxima: 10 A
- Voltaje Máximo 250 VAC
- Dimensiones del relé 19.2 mm, 15.5 mm, 15.8mm.
- Resistencia de contacto 100 mΩ.

Como se observa en la Figura 3.8 el relé consta de 6 borneras 3 de entrada y 3 de salida. Las 3 borneras de entrada son la alimentación VCC, la tierra o GND y la señal digital que indica los dos estados posibles del relé es decir abierto o cerrado. La otras 3 borneras son las de salida, se distinguen el contacto normalmente abierto, el común y el normalmente cerrado [24].

3.2.1.4 Extractor

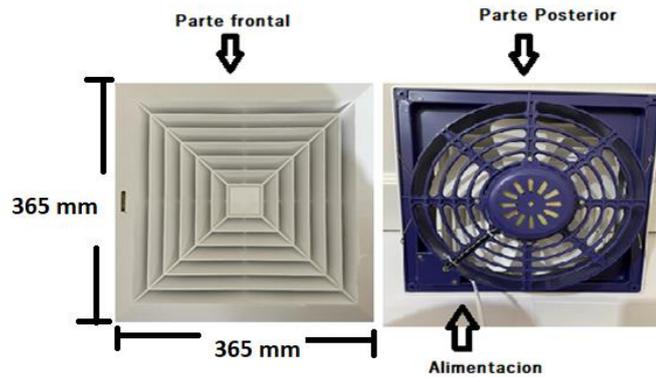


Figura 3.9 Extractor de aire

Especificaciones:

- Diámetro de cuchillas = 300mm o 12"
- Voltaje de alimentación = 110 V
- Potencia = 35 Watts
- RPM = 1000-1200
- Corriente = 10 A
- Flujo de aire = 600 m³/h

El extractor está diseñado para instalarse a una altura mínima de 2.3 m.

3.2.2 Funcionamiento del Hardware

El microcontrolador ESP32 tiene salidas de 5 y 3.3 voltios lo cual es ideal para la alimentación de los sensores, además de que se le pueden conectar hasta un máximo de 18 sensores analógicos [22]. Estos tres elementos son la base del proyecto ya que a través de ellos se realiza la activación o encendido de los extractores de aire.

Por lo tanto, con la conexión entre el sensor MQ9 y el ESP32, se va a obtener la concentración de monóxido de carbono donde se encuentre ubicado. Se establece que, si las concentraciones de CO son iguales o por encima de 35 PPM entonces se activa la extracción de aire, se escogió este valor referencial en base al estándar NIOSH y a la Tabla de 2.2, puesto que a partir de dicho valor se comienza a presentar síntomas que afectan la salud de las personas que se encuentran en constante exposición al monóxido de carbono [25]. Si el microcontrolador detecta que el sensor DHT11 tiene lecturas de temperatura superiores

o iguales a 35 °C entonces se activa los extractores de aire ya que a partir de dicho valor comienza a ser perjudicial para la salud [26]. Entonces si se cumple cualquiera de las dos condiciones antes descritas se encenderá la extracción de aire.

El módulo ESP32 también realiza el envío de los datos vía wifi a la plataforma web donde se puede visualizar los datos de temperatura, humedad y concentración de CO.

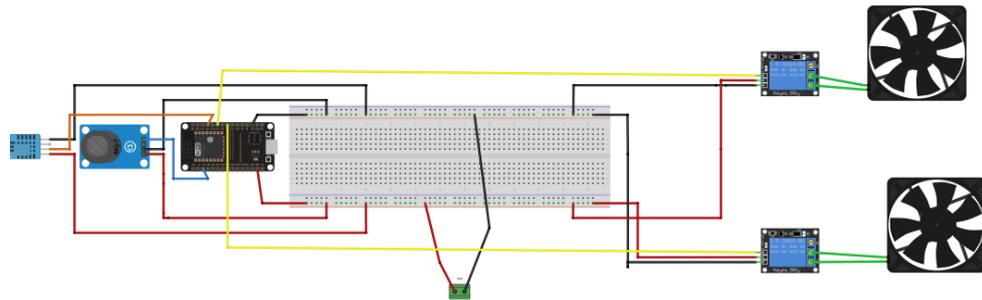


Figura 3.10 Diagrama del circuito del prototipo

La Figura 3.10 muestra el diagrama de circuito del prototipo diseñado. Consta de los sensores DHT11 y MQ9 conectados a controlador ESP-32, los cuales se conectan al pin D21 y D34 respectivamente. La señal digital de uno de los relés está conectado al pin D5 mientras que la del otro relé está conectado al pin D18. Todos los dispositivos a excepción de los extractores tienen una alimentación de 5 voltios que está representado en este diagrama como una terminal de 2 pines. Adicionalmente, se presenta el diagrama esquemático del circuito en la Figura 3.11, en la cual se observa la unión detallada de todos los pines del ESP-32 con el resto de los dispositivos como sensores, relés y alimentación.

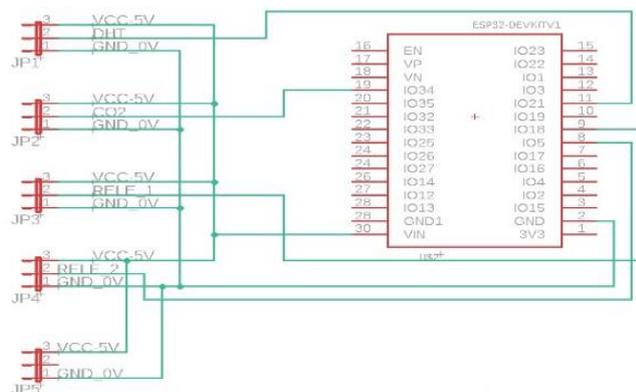


Figura 3.11 Diagrama esquemático del circuito

3.3 Software

Para la sección de envío de datos se procede a utilizar la plataforma Ubidots, la cual presenta las mediciones realizadas por los sensores en tiempo real y las gráficas en función del valor medido con respecto al tiempo, es decir, temperatura vs tiempo, humedad vs tiempo y ppm vs tiempo, de tal modo que se observan las variaciones y a su vez determina la calidad del aire. Ubidots se conecta con los sensores por medio del microcontrolador ESP-32.

3.3.1 Ubidots

Es una plataforma de IoT que permite el envío de gran cantidad de data desde dispositivos con internet hacia la nube, cuenta con varias formas de visualización, configuración de tableros y alertas, es interoperable, hace uso de herramientas de análisis y permite observar mapas de datos en tiempo real [27]. Adicionalmente, Ubidots permite hacer uso de una API REST para leer y escribir datos, esta API es compatible con http y https. Los datos son encriptados para proteger la confidencialidad y dispone de soporte de datos TSL/SSL opcional [27].

Entre sus principales características se encuentran:

- Flexibilidad, permite a los usuarios combinar distintos flujos de datos
- Disponibilidad ubicua
- Seguridad de acceso, autenticación por medio de API o tokens

Cabe mencionar que Ubidots es compatible con Arduino. Se puede hacer uso de las distintas librerías de Ubidots para utilizar los distintos microcontroladores que ofrece la marca Arduino.

3.3.2 Arduino IDE

El ESP-32 es un módulo de wifi de Arduino, por lo tanto, hace uso del programa Arduino IDE para ser programado. Entorno de desarrollo integrado de Arduino, por sus siglas, es un programa que está compuesto por un conjunto de herramientas informáticas de programación [28]. Este programa hace uso de varios lenguajes de programación como Java, C++, entre otros. Arduino IDE en otras palabras es un editor de código, ya que realiza la función de compilar,

depurar y construye interfaces gráficas (GUI) [28]. Además, dispone del software necesario para subir el código en la memoria flash del hardware.

3.3.3 Funcionamiento del Software

La codificación del prototipo se realiza en el microcontrolador ESP-32 a través del entorno de desarrollo integrado de Arduino. En la Figura 3.12 se muestra el diagrama de flujo del funcionamiento. Primero se agregan todas las librerías necesarias para que el ESP-32 funcione correctamente con la plataforma Ubidots, con los sensores y el WiFi, algunas librerías tienen que ser necesariamente llamadas como DHT y UbidotsESP32Mqtt, mientras que otras como la del WiFi y la del sensor MQ9 basta con que sean instaladas por medio del gestor de librerías. Luego, se procede a definir los pines utilizados por los sensores, así como los parámetros iniciales de los sensores, también se establece las credenciales de la red WiFi a la que se conectará el módulo ESP-32.

Del mismo modo, se fija el token y se crean las variables de Ubidots que contendrán los datos de las mediciones de los sensores. Posterior se define la frecuencia con la que se enviarán los datos a la plataforma y los límites de temperatura. Al energizarse el circuito se inician y activan los sensores junto con los relés, pero se ejecuta la sentencia de que los extractores permanezcan apagados al iniciar el sistema.

Después, se establece la conexión WiFi y empieza el bucle con la conexión a la plataforma Ubidots y las mediciones de los sensores, cada 30 mediciones se realiza un promedio y dicho resultado es el que se utiliza para ingresar a la condicional de si estos valores registrados exceden los límites establecidos o no, en caso de que se exceda al menos uno se activan los extractores hasta que el valor se encuentre por debajo del límite, caso contrario permanecen apagados los extractores. Adicionalmente, se realiza la validación de semáforos para cada parámetro, en la cual dependiendo de donde se encuentre el valor medido se encenderá el color verde, naranja o rojo.

Finalmente, se envían a la plataforma Ubidots las mediciones para la visualización de estos y la variación a lo largo del tiempo.

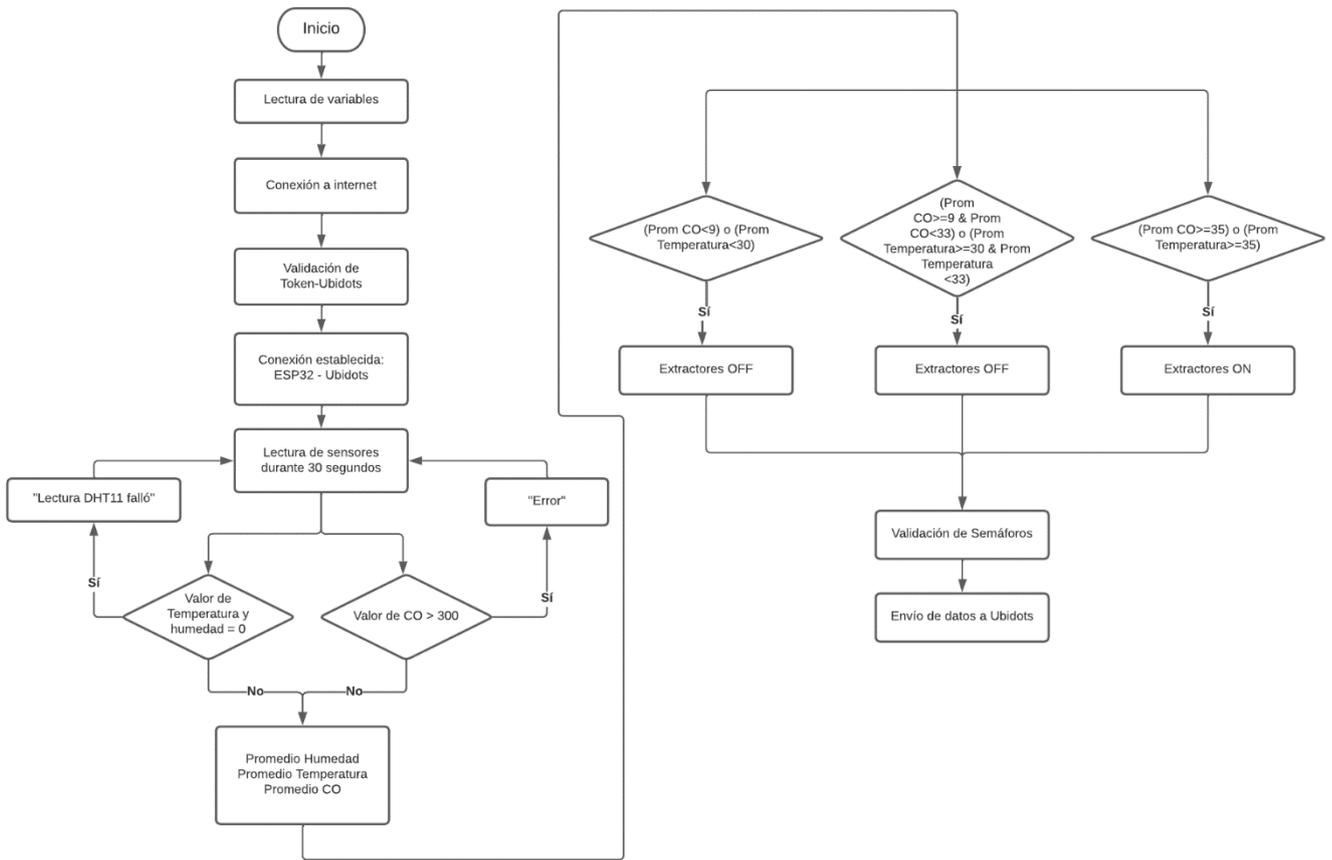


Figura 3.12 Diagrama de flujo del prototipo

CAPÍTULO 4

4. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Para la obtención de resultados en el escenario descrito del capítulo 3, se ensambló el sistema de la siguiente manera.

4.1 Implementación de prototipo

Se diseñó una caja la cual contiene todos los componentes que conforman al sistema de monitoreo, en la Figura 4.1 se presenta una vista de este.



Figura 4.1 Ensamblaje de prototipo

Posteriormente, se procedió a instalar los extractores y el sistema de monitoreo en la zona seleccionada del estacionamiento, evidenciado en la Figura 4.3 y la Figura 4.4 de forma respectiva. Además, en la Figura 4.2 se presenta una vista general de la instalación completa.



Figura 4.2 Vista general del sistema de monitoreo y control; y extractores



Figura 4.3 Instalación de extractores



Figura 4.4 Instalación de sistema de monitoreo y control

Después, en la plataforma Ubidots se diseñó un dashboard que posee las herramientas necesarias para la visualización de los datos como gráficas de los parámetros con respecto al tiempo, semáforos que indican por lógica de colores la calidad del aire, esta puede ser OK, Alerta y Peligro; y la visualización del último valor enviado por el sistema. En la Figura 4.5 se evidencia una captura del dashboard.

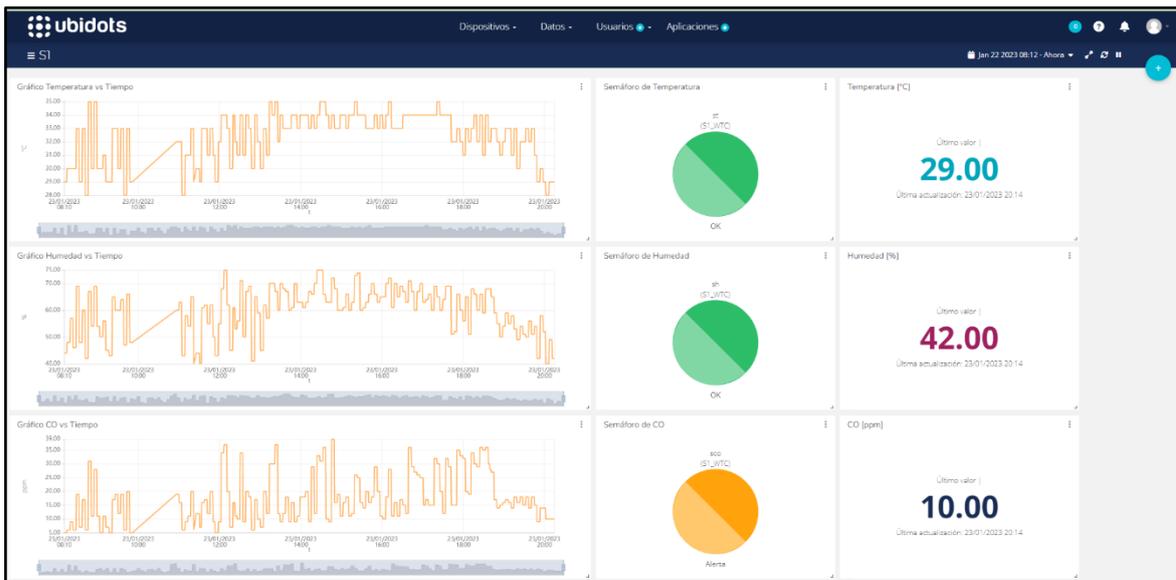
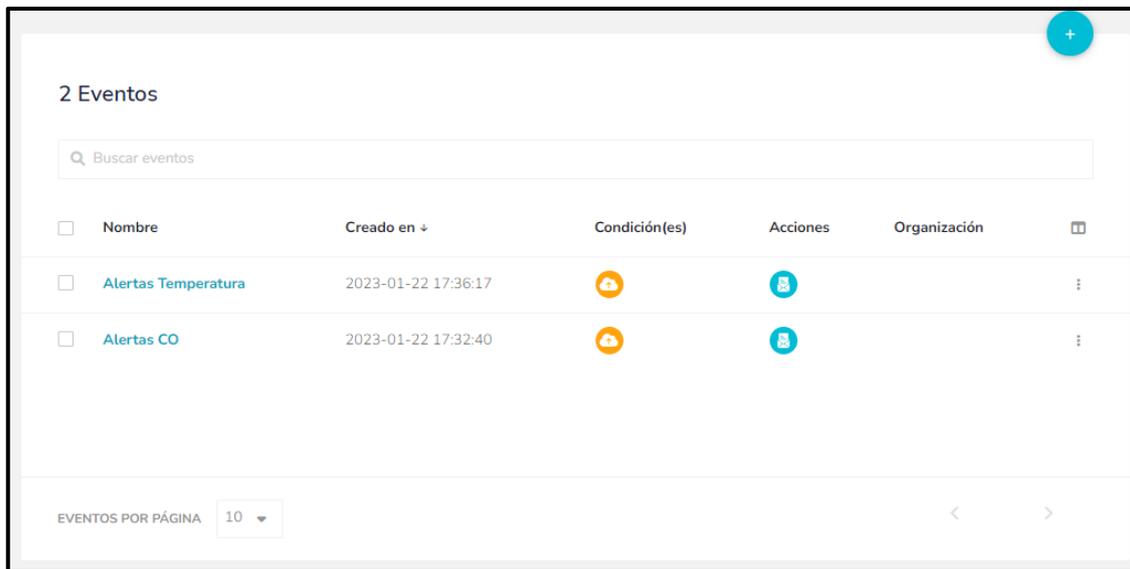


Figura 4.5 Diseño de dashboard

Finalmente, se configuró el envío de alertas desde la plataforma Ubidots al correo electrónico del cliente, estas notificaciones aparecen al excederse los límites establecidos, siendo estos 35 ppm para el parámetro de monóxido de carbono y 35°C para la temperatura. En la Figura 4.6 se visualizan las alertas configuradas en Ubidots.



<input type="checkbox"/>	Nombre	Creado en ↓	Condición(es)	Acciones	Organización	⌵
<input type="checkbox"/>	Alertas Temperatura	2023-01-22 17:36:17				⋮
<input type="checkbox"/>	Alertas CO	2023-01-22 17:32:40				⋮

EVENTOS POR PÁGINA 10

Figura 4.6 Alertas configuradas

4.2 Resultados obtenidos

Las mediciones se realizaron el martes 24 y miércoles 25 de enero desde las 8:00 am hasta las 8:00 pm. El primer día se destinó a la obtención de datos sin ninguna alteración al ambiente, es decir, estuvieron deshabilitados los extractores. Para el segundo día se habilitó el sistema de monitoreo y control en su totalidad para posteriormente realizar una comparación de ambos días.

El sistema obtiene 1 dato cada segundo, luego realiza un promedio de las últimas 30 mediciones y procede a enviar el dato a la plataforma para su respectiva visualización. La frecuencia con la que se envían los datos es cada 30 segundos, lo cual permite que en cada día se obtenga un total de 1440 datos.

A continuación, las Figura 4.7 y Figura 4.8 evidencian las mediciones realizadas el martes y miércoles respectivamente utilizando gráficas lineales.

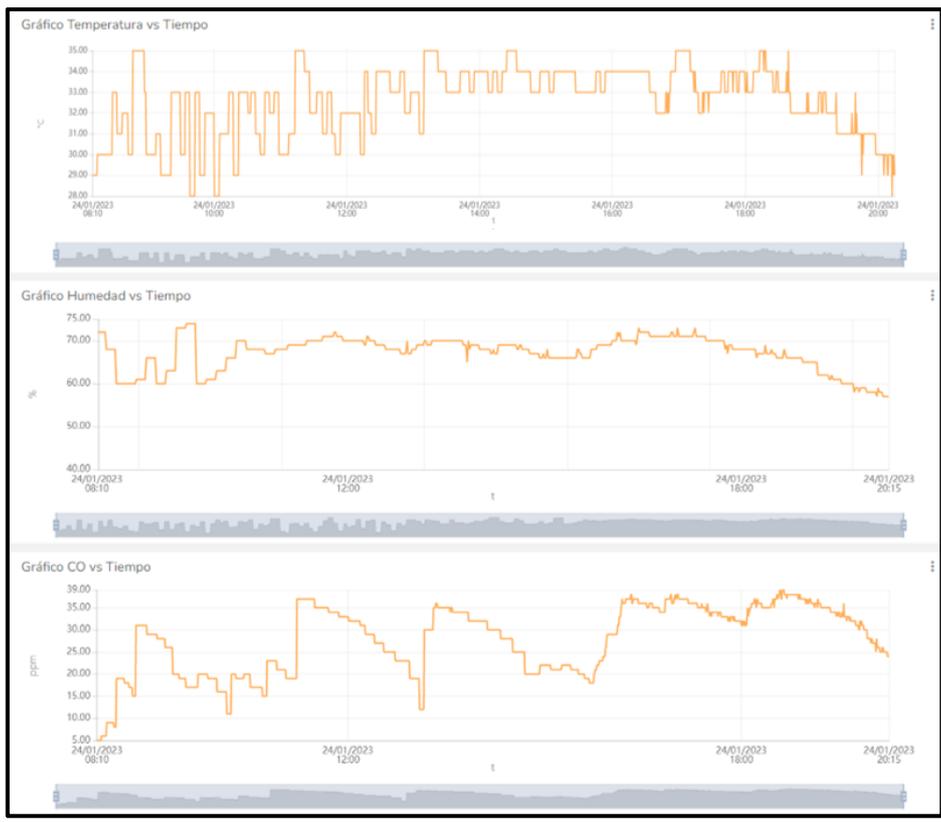


Figura 4.7 Gráficas de los parámetros con respecto al tiempo del día 1

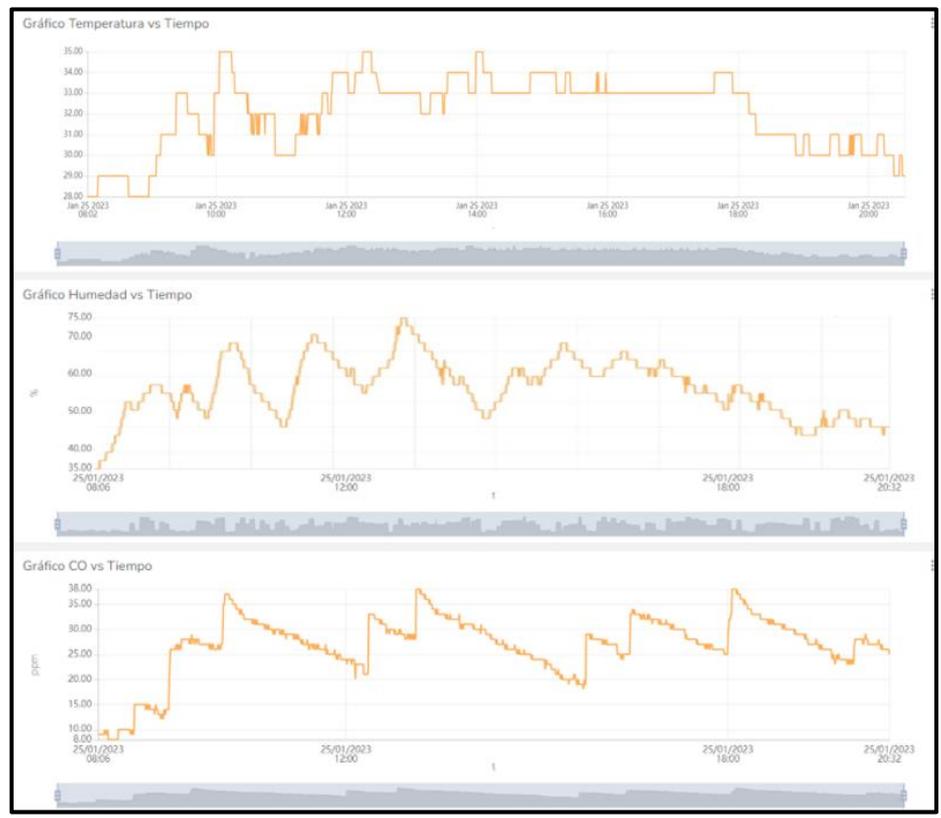


Figura 4.8 Gráficas de los parámetros con respecto al tiempo del día 2

Adicionalmente, se recibieron alertas cuando los valores de los parámetros superaban los límites previamente establecidos. En la Figura 4.9 se visualizan alertas enviadas vía correo electrónico.

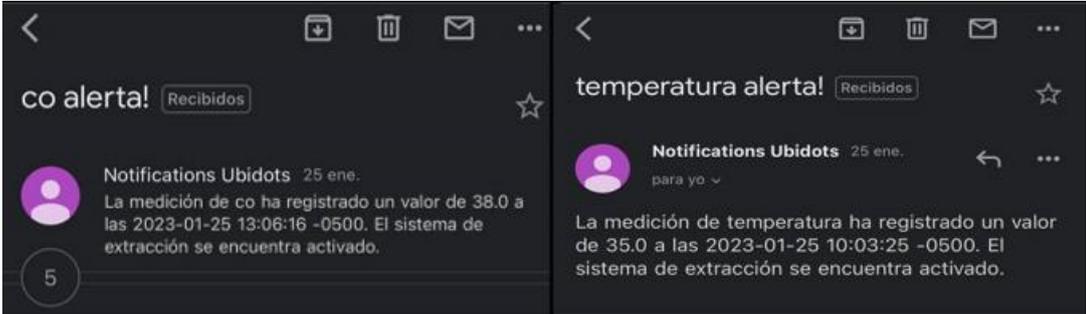


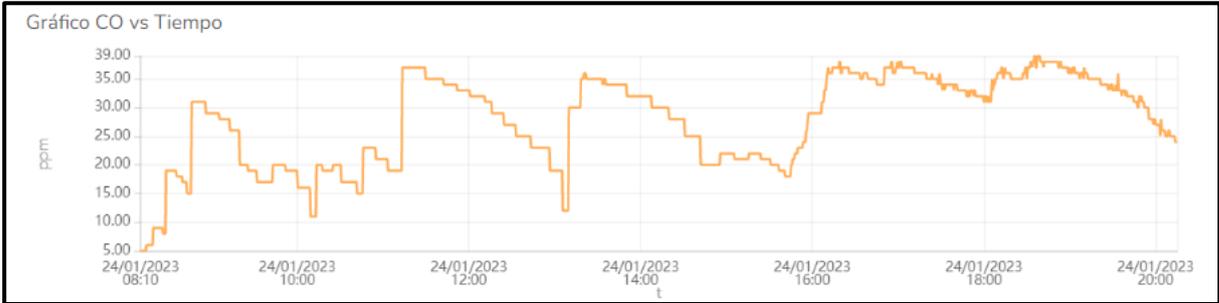
Figura 4.9 Alertas recibidas

4.3 Análisis de resultados

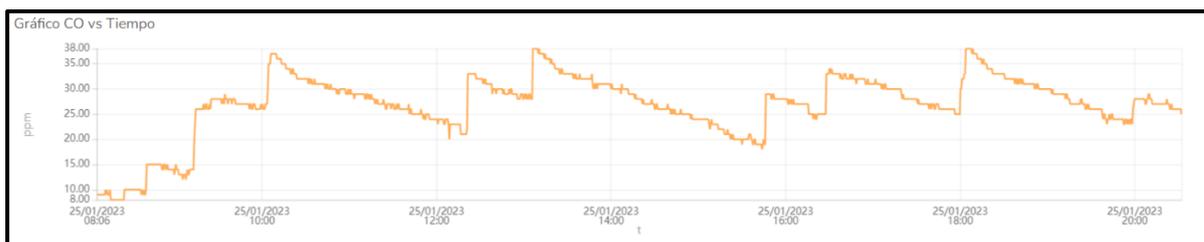
Se disponen de dos conjuntos de mediciones realizadas en diferentes días para el monóxido de carbono y la temperatura.

La finalidad de realizar mediciones antes y después de la implementación es poder observar cambios en los parámetros de calidad de aire, es decir, evidenciar que el sistema disminuya los niveles de gases nocivos y temperatura en el estacionamiento, de tal modo que no represente un riesgo para la salud del personal y clientes que se encuentran en constante exposición a los mismos.

- Monóxido de carbono



(a)



(b)

Figura 4.10 Gráficas del CO con respecto al tiempo. (a) Mediciones del día 1. (b) Mediciones del día 2

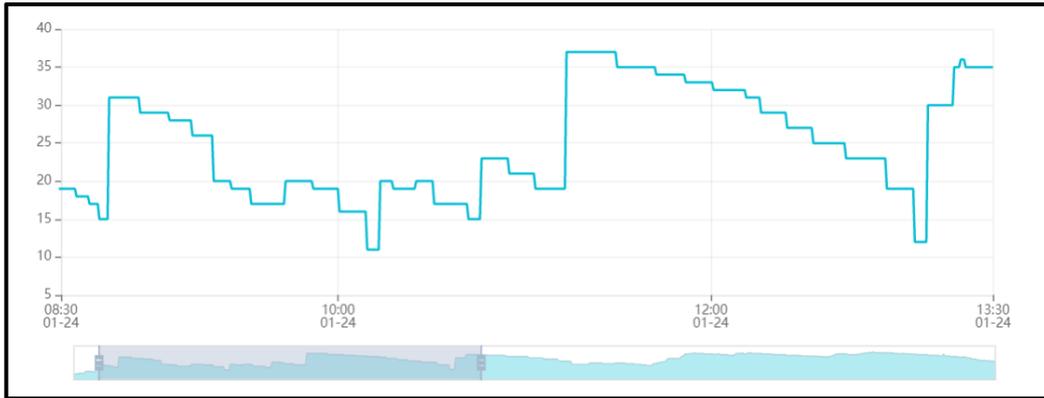
Como se puede observar en la Figura 4.10 la gráfica (a) representa la acumulación de CO sin alteraciones, mientras que en la gráfica (b) representa dicha concentración con la implementación del prototipo realizada.

En detalle, la gráfica (a) evidencia la presencia de cuatro picos en los cuales se excede el límite establecido, siendo el primer pico de 37 ppm medido a las 11:14 am, el segundo pico de 36 ppm ocurrió a la 1:21 pm, el tercer y cuarto pico fueron de 38 ppm a las 4:19 pm y 6:40 pm respectivamente.

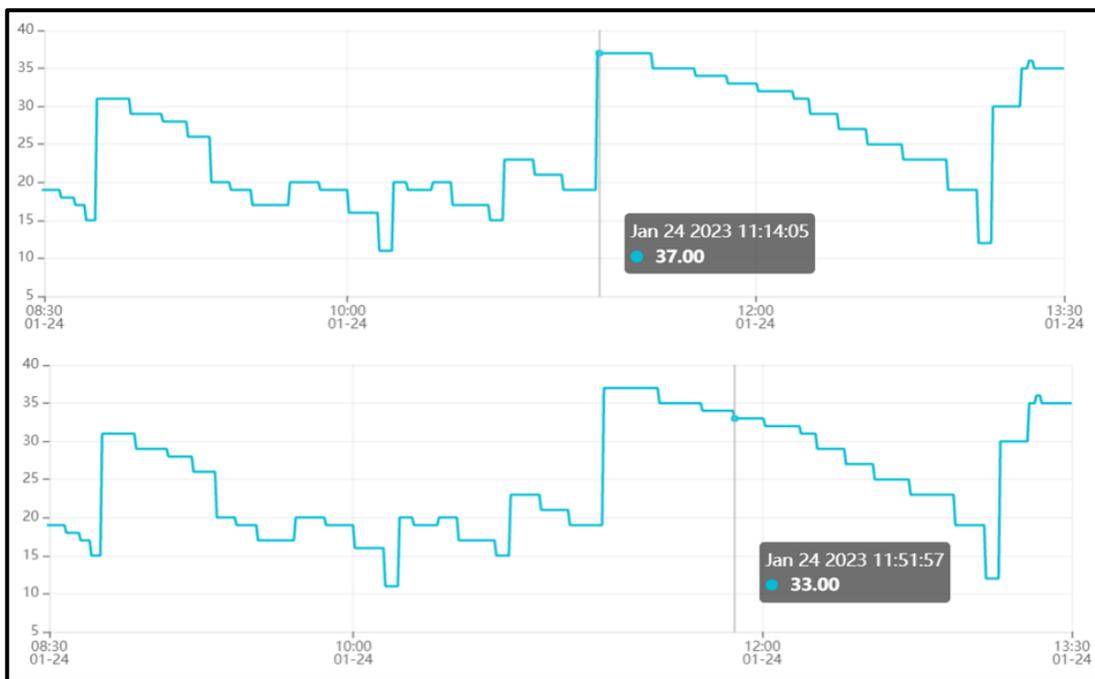
Así mismo, en la gráfica (b) se contemplan tres picos acontecidos a las 10:06 am, 1:06 pm y 6:04 pm con valores de 37ppm, 38 ppm y 38 ppm respectivamente.

La presencia de los picos en las gráficas depende de la afluencia de los automóviles, además otro factor relevante se ve marcado por la hora, puesto que se registró que existe mayor movimiento entre las 10:00 y 11:00 am, luego de 1:00 a 2:00 pm y al finalizar el día laboral que está marcado entre las 5:00 y 7:00 pm.

Por otra parte, para tener una mejor comprensión de los datos al compararlos, se escogió un rango de horas en la cual se presenta un pico, de tal modo que se tenga una mayor visibilidad del evento.



(a)

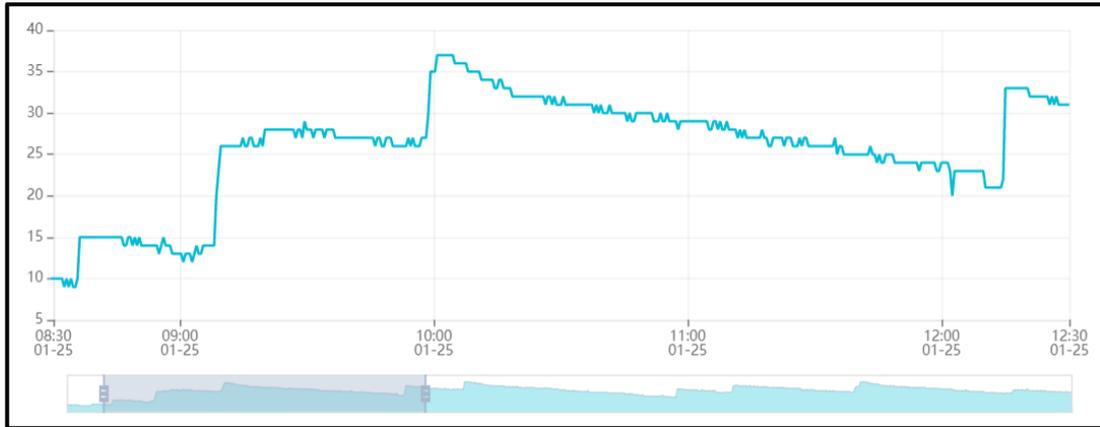


(b)

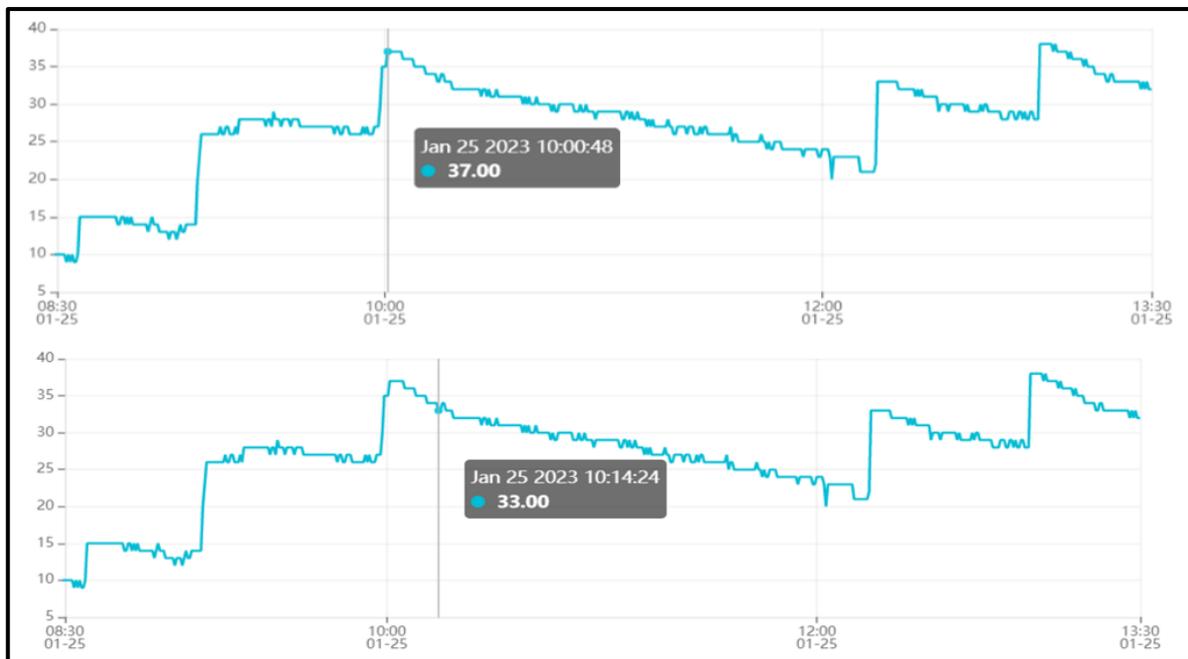
Figura 4.11 Rango establecido para la gráfica de CO del día 1. (a) Gráfica con pico de CO. (b) Registro de inicio y fin del pico.

Tabla 4.1 Registro de inicio y fin de los picos en el día 1.

Concentración	Inicio	Fin	Tiempo total
37	11:14 am	11:51 am	37 min
36	1:21 pm	1:50 pm	29 min
38	4:19 pm	4:55 pm	36 min
38	6:40 pm	7:30 pm	50 min



(a)



(b)

Figura 4.12 Rango establecido para la gráfica de CO del día 2. (a) Gráfica con pico de CO. (b) Registro de inicio y fin del pico.

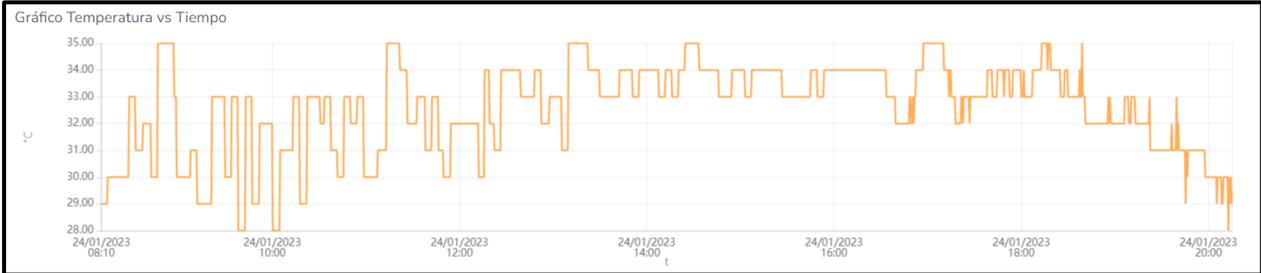
Tabla 4.2 Registro de inicio y fin de los picos en el día 2.

Concentración	Inicio	Fin	Tiempo total
37	10:00 am	10:14 am	14 min
38	1:06 pm	1:24 pm	18 min
38	6:03 pm	6:22 pm	19 min

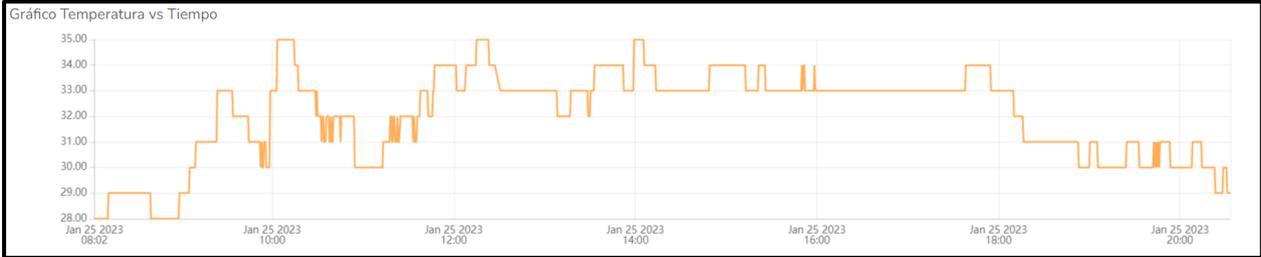
En la Figura 4.11 (a) y la Figura 4.12 (a) se exponen las curvas de CO vs el tiempo con el rango establecido desde las 8:30 am hasta las 12:30 pm. La Figura 4.11 (b) al igual que la Figura 4.12 (b) tienen colocado marcadores que permiten visualizar el inicio y fin del pico, el fin del pico está establecido cuando se llega a 33 ppm siendo este el nivel en el que se apagan los extractores, por lo tanto, se hizo uso de este nivel como referencia tanto para el día 1 como para el día 2, de tal forma que se pueda calcular el tiempo en que se regula el nivel de CO.

Con ayuda de la Tabla 4.1 y la Tabla 4.2 se estableció un promedio de tiempo en el cual se disminuye el exceso de CO a niveles aceptables, con lo cual se obtuvo que para el día 1 el tiempo promedio es de 38 min mientras que para el día 2 el tiempo promedio es de 17 min.

- Temperatura



(a)



(b)

Figura 4.13 Gráficas de la temperatura con respecto al tiempo. (a) Mediciones del día 1. (b) Mediciones del día 2

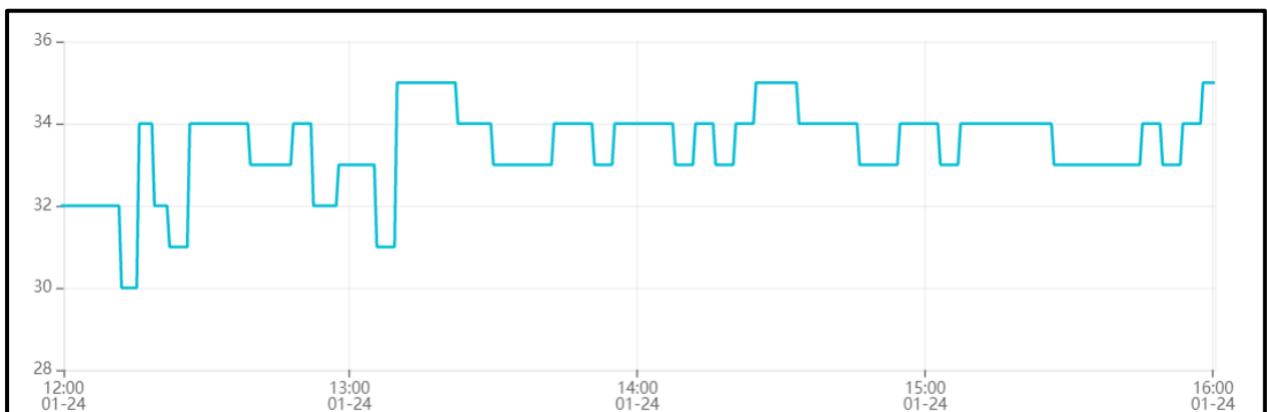
En la Figura 4.13 la gráfica (a) presenta la temperatura sin alteraciones de la zona escogida del estacionamiento, mientras que la gráfica (b) muestra dicha temperatura luego de la implementación del prototipo.

A su vez, en la gráfica (a) se puede apreciar que esta presenta más picos en relación con la gráfica de CO y esto se produce porque la temperatura en un subsuelo es muy variable debido a la circulación de los automóviles, el personal del estacionamiento y los clientes del WTC. Adicionalmente, el máximo valor de temperatura alcanzado en el día 1 fue de 36°C.

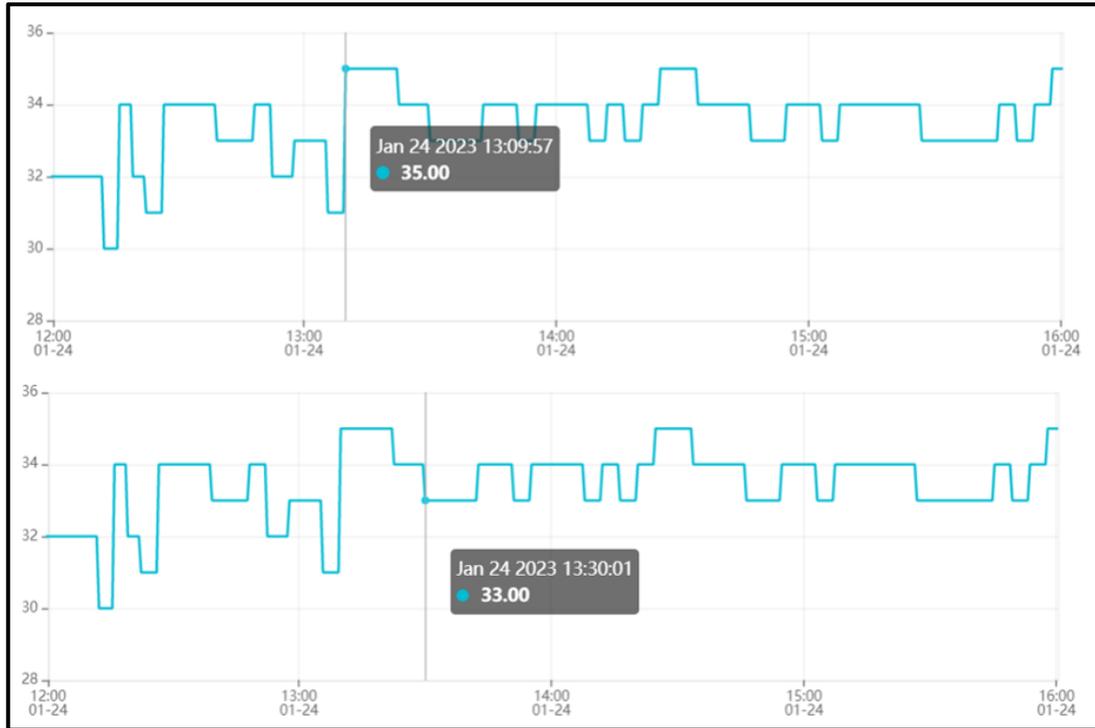
De igual forma, en la gráfica (b) también se evidencian varios picos, pero difieren en que en el día 2 las mediciones son más estables, es decir, los valores de temperatura se mantienen constantes por más tiempo. Además, el valor máximo de temperatura que se alcanzó en dicho día fue de 35°C.

Cabe mencionar que la temperatura en guayaquil aumenta en gran proporción en el rango de 12:00 a 5:00 pm, por lo tanto, dentro del estacionamiento la temperatura también se encontrará elevada en aquellas horas. Otro factor que también interviene es al momento del parqueo o salida de los vehículos, ya que los motores de estos generan calor.

De igual forma que en las gráficas de monóxido de carbono, para realizar un mejor análisis de los datos se escogió un rango de horas en la cual se presentan picos, de tal modo que se tenga una mayor visibilidad para la comparación de estos.



(a)

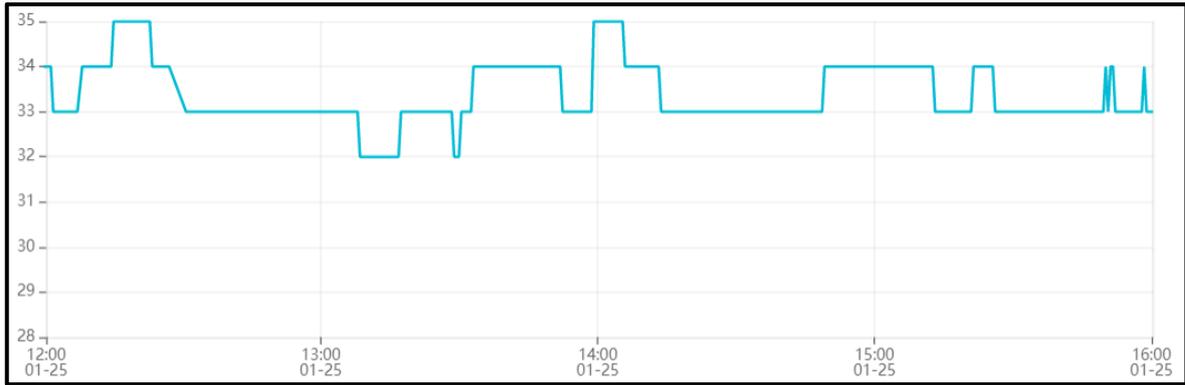


(b)

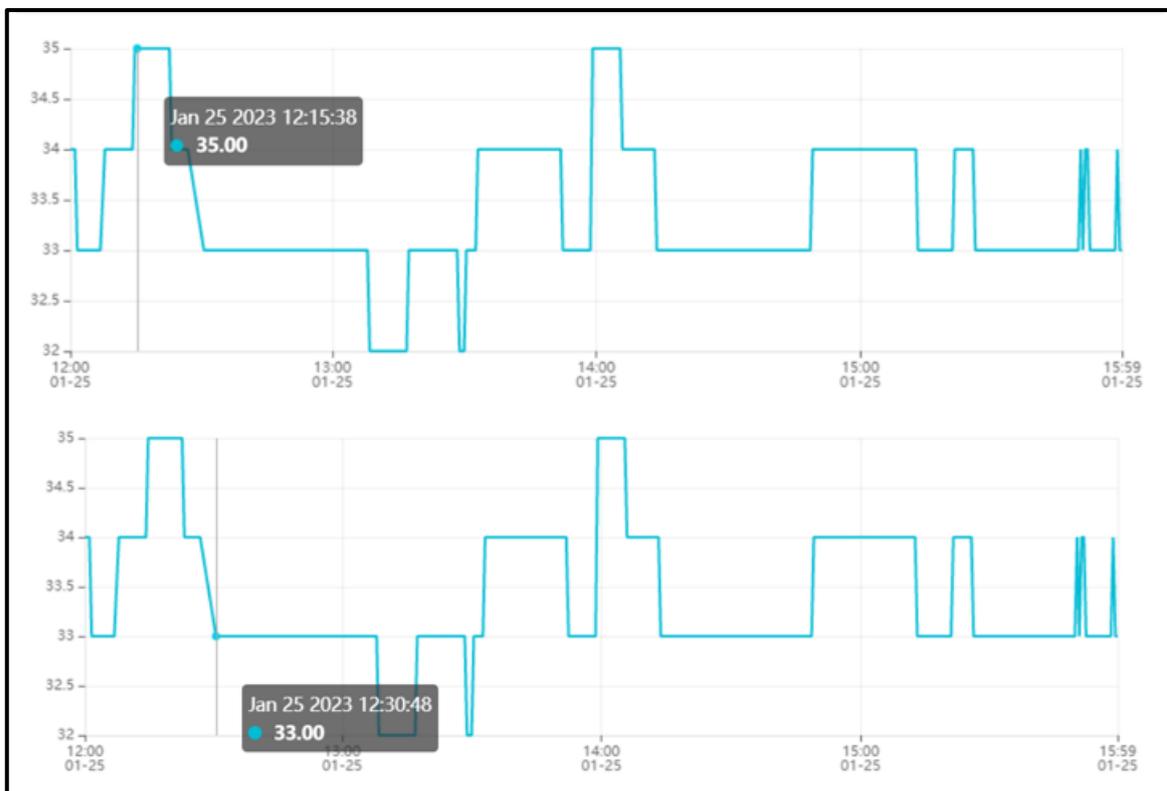
Figura 4.14 Rango establecido para la gráfica de temperatura del día 1. (a) Gráfica con picos de temperatura. (b) Registro de inicio y fin de un pico.

Tabla 4.3 Registro de inicio y fin de los picos en el rango seleccionado del día 1.

Temperatura	Inicio	Fin	Tiempo total
35	8:46 am	8:59 am	13 min
35	11:14 am	11:33 am	19 min
35	1:09 pm	1:30 pm	19 min
35	2:24 pm	2:46 pm	22 min
35	4:57 pm	5:13 pm	16 min



(a)



(b)

Figura 4.15 Rango establecido para la gráfica de temperatura del día 2. (a) Gráfica con picos de temperatura. (b) Registro de inicio y fin de un pico.

Tabla 4.4 Registro de inicio y fin de los picos en el día 2.

Temperatura	Inicio	Fin	Tiempo total
35	10:03 am	10:17 am	14 min
35	12:15 pm	12:30 pm	15 min
35	1:59 pm	2:13 pm	14 min

Para el parámetro de la temperatura se escogió un intervalo de 12:00 a 4:00 pm para realizar el análisis, tal como se contempla en la Figura 4.14 (a) y la Figura 4.15 (a).

De igual forma que en el análisis de CO, también se incluyeron marcadores para calcular el tiempo en que la temperatura disminuye tanto para el día 1 como para el día 2.

En el intervalo seleccionado se evidencia que para la gráfica de la Figura 4.14 (b) el tiempo transcurrido desde que alcanzó un pico hasta que se reguló fue de 19 min, mientras que para la gráfica del día 2 correspondiente a la Figura 4.15 (b) el tiempo fue de 15 min.

Adicionalmente, la Tabla 4.3 y la Tabla 4.4 permiten conocer el tiempo promedio de bajada cuando aparece un pico de temperatura, siendo estos valores de 17.8 min y 14.3 min para el día 1 y día 2 respectivamente.

CAPÍTULO 5

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

La selección de sensores para el desarrollo del prototipo permite obtener mediciones que ayudan a evaluar y analizar los parámetros de calidad de aire en un espacio cerrado, tal como lo es el estacionamiento sección clientes del World Trade Center. Además, al hacer uso del módulo ESP-32, se logró realizar de forma simultánea la extracción de datos por medio de los sensores y el intercambio de estos desde el punto escogido hacia la nube.

Por otro lado, se logró efectuar la implementación del sistema de monitoreo y control, el cual está automatizado para encargarse de la extracción de aire cuando este se encuentre saturado por monóxido de carbono, de tal forma que se regulen los niveles y se encuentre por debajo del límite previamente establecido. Cabe mencionar que la activación de extracción solo está configurada para casos extremos, con lo cual los trabajadores del parqueadero que se encuentran en constante exposición no se vean afectados cuando se produzca un alza de concentración de CO.

Agregando a lo anterior, con los resultados obtenidos se constata que la implementación del prototipo permite reducir a la mitad el tiempo en que se tarda normalmente el regresar a niveles permisibles la concentración de los gases en el ambiente.

Finalmente, el diseño de la plataforma web fue llevada a cabo utilizando la herramienta Ubidots. Este permite la visualización de los niveles de calidad de aire mediante un dashboard, el cual el usuario puede acceder remotamente desde un dispositivo Smart en cualquier momento del día, ya que se encuentra disponible 24/7. Como último detalle, se agregó una configuración de alertas para que sea enviado automáticamente un email cuando los niveles de las variables del ambiente excedan los límites preestablecidos.

5.2 Recomendaciones

- Validar que los pines de entrada y salida del módulo ESP32 correspondan con los que se reflejan en su datasheet, puesto que, al existir múltiples versiones de este, cabe la posibilidad en que no cumplan la misma función.
- Verificar que la conexión a internet sea estable, si bien el módulo ESP32 no consume mucho ancho de banda para transmitir los datos a la nube, el tener una conexión inestable conduciría a la pérdida de datos.
- Para trabajos futuros, si se desea ampliar los parámetros de la calidad del aire se puede habilitar la sensibilidad al gas combustible del sensor MQ9.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] L. F. Roldán, "CONTAMINACIÓN VEHICULAR: Qué es, Tipos, Causas y Consecuencias," *ecologiaverde.com*, 24-Julio-2019.
- [2] J. F. Elías, IMPACTO AMBIENTAL QUE SE GENERA EN LOS PARQUEADEROS SUBTERRANEOS DEL CENTRO COMERCIAL SAN MARINO DE LA CIUDAD DE GUAYAQUIL., Guayaquil, 2016.
- [3] US EPA, "Impacto del monóxido de carbono en la calidad del aire de los interiores," 2018.
- [4] Lasser, "Calidad del aire en garajes y aparcamientos," Lasser, 29-Mar-2021. [Online]. Available: <https://grupolasser.com/calidad-del-aire-en-garajes-y-aparcamientos/>. [Accessed: 16-October-2022].
- [5] "¿Cuáles son los contaminantes primarios y secundarios más peligrosos?," Envira IOT, 10-Jan-2022. [Online]. Available: <https://enviraiot.es/contaminantes-primarios-y-secundarios-mas-peligrosos/>. [Accessed: 16-October-2022].
- [6] F. Guarch, "Mohos en casa un serio problema de salud y humedad," Eliminar humedad - Soluciones y tratamientos contra la humedad, 07-Nov-2020. [Online]. Available: <https://humedadcontrolada.com/mohos-casa-problema-salud/>. [Accessed: 16-October-2022].
- [7] C. Echeverr, Control de la contaminación atmosférica, 1 ed., Ediciones de la U, 2019.
- [8] A. L. María Noel Tortorella, «Escenarios de exposición a monóxido de carbono que orientan la sospecha clínica de intoxicación aguda.,» *Revista Médica del Uruguay*, vol. 37, n 2, 2021.
- [9] E. Espinoza, «LOGEN,» 18 Junio 2018. [Online]. Available: <http://www.logen.com.mx/noticias/control-de-sistemas-de-ventilacion-en-estacionamientos>. [Accessed: 27 Noviembre 2022].
- [10] "Prevención de envenenamiento con monóxido de carbono producido por herramientas y equipos con motores pequeños de gasolina," US CDC, 31-Jan-2019. [Online]. Available: https://www.cdc.gov/spanish/niosh/docs/96-118_sp/default.html. [Accessed: 27-Noviembre-2022].

- [11] Academia Nacional de Bomberos de Chile, “El monóxido de carbono: una amenaza invisible,” 24 Mayo 2019. [Online]. Available: https://www.anb.cl/documentos_sitio/90109_Monoxido.pdf. [Accessed: 8 Enero 2023].
- [12] “¿Qué es un sensor? Tipos y diferencias,” Prototipadolab.com. [Online]. Available: <https://prototipadolab.com/2018/05/05/que-son-los-sensores/>. [Accessed: 6-Enero-2023].
- [13] “¿Qué son los transductores?,” Urany®. [Online]. Available: <https://urany.net/blog/qu%C3%A9-son-los-transductores>. [Accessed: 5-Enero-2023].
- [14] “Como funciona un ventilador,” Gigolariccardi.com, 14-May-2020. [Online]. Available: <https://gigolariccardi.com/es/como-funciona-un-ventilador/>. [Accessed: 5-Enero-2023].
- [15] C. Quispe, “UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR,” Edu.pe. [Online]. Available: http://repositorio.untels.edu.pe/jspui/bitstream/123456789/366/1/Quispe_Carlos_Trabajo_Suficiencia_2017.pdf. [Accessed: 8-Noviembre-2022].
- [16] “Ventilación en estacionamientos,” Com.mx, 12-Jun-2014. [Online]. Available: <https://www.mundohvacr.com.mx/2014/06/ventilacion-en-estacionamientos/>. [Accessed: 27-Noviembre-2022].
- [17] I. Wong, G. Rosas, R. Vega y L. Guarneros, «CALIDAD DE AIRE INTERIOR EN AMBIENTES CERRADOS, CASO DE ESTUDIO: INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CHETUMAL,» 3 Diciembre 2019. [Online]. Available: http://itchetumal.edu.mx/images/2019/12DICIEMBRE/AVACIENT/2/2_Calidad_de_aire_interior_en.pdf. [Accessed: 8-Noviembre-2022].
- [18] W.-T. Hung, C.-H. Tseng, C.-H. Chiang, «The indoor air quality and exposure health effects in underground parking lots» Enero 2011. [En línea]. Available: https://www.researchgate.net/publication/288559743_The_indoor_air_quality_and_exposure_health_effects_in_underground_parking_lots. [Accessed: 13-Noviembre-2022].
- [19] J. L. López Terán, J. Correa Abril, Y. Cano, and J. Bermúdez Portero, “Evaluación de los gases de combustión y material particulado en el aire de parqueaderos del Distrito Metropolitano de Quito, Ecuador” Rev. Cient. ECOCIENCIA, vol. 9, no. 4, pp. 28–46, 2022.
- [20] “DHT11–temperature and humidity sensor,” Components101. [Online]. Available: <https://components101.com/sensors/dht11-temperature-sensor>. [Accessed: 8-Noviembre-2022].

- [21] Electronicoscaldas.com. [Online]. Available: https://www.electronicoscaldas.com/datasheet/MQ-9_Hanwei.pdf. [Accessed: 30-Enero-2023].
- [22] P. BERTOLETI, PROYECTOS CON ESP32 Y LoRa, Sao Paulo: INSTITUTO NCB, 2019.
- [23] "Relay 5VDC SRD-05VDC-SL-C," Naylamp Mechatronics - Perú. [Online]. Available: <https://naylampmechatronics.com/drivers/263-relay-5vdc-srd-05vdc-sl-c.html>. [Accessed: 8-Noviembre-2022].
- [24] "Relevador 5V DC SRD-5VDC-SL-C," UNIT Electronics. [Online]. Available: <https://uelectronics.com/producto/relevador-5v-dc-srd-5vdc-sl-c/>. [Accessed: 8-Noviembre-2022].
- [25] A. Bolaños et al., "Colecta de muestras, análisis, adquisición de datos y control de calidad," Gob.ec. [Online]. Available: http://www.quitoambiente.gob.ec/images/Secretaria_Ambiente/red_monitoreo/informacion/Informe_Calidad_Aire_2018.pdf. [Accessed: 3-Diciembre-2022].
- [26] B. Terrazas, "¿Puede el calor extremo del cambio climático afectar el comportamiento humano?," UNAM Global, 19-Aug-2021. [Online]. Available: <https://unamglobal.unam.mx/puede-el-calor-extremo-del-cambio-climatico-afectar-el-comportamiento-humano/>. [Accessed: 3-Diciembre-2022].
- [27] "Ubidots," Edu.ec. [Online]. Available: <https://observatorioelt.ister.edu.ec/ubidots/>. [Accessed: 3-Diciembre-2022].
- [28] E. Crespo, "IDE Arduino," Aprendiendo Arduino, 11-Dec-2016. [Online]. Available: <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2016/12/11/ide-arduino/>. [Accessed: 31-Enero-2023].

APÉNDICES

Apéndice A: Código del sistema de monitoreo y control

```
////////////////////////////////////UBIDOTS
#include "UbidotsEsp32Mqtt.h"
int cont=0;
////////////////////////////////////Promedio
#include <averager.h>
averager<int,28> voltage;
int co=0;
averager<int,28> temp;
int promediotemp=0;
averager<int,28> hum;
int promediohum=0;
////////////////////////////////////DHT11
#include <SimpleDHT.h>
int pinDHT11 = 21;
SimpleDHT11 dht11(pinDHT11);
float h;
float t;
////////////////////////////////////
int semaforoT=0;
int semaforoCO=0;
int semaforoH=0;
////////////////////////////////////MOQ
#include <MQUnifiedsensor.h>
#define Board ("ESP-32")
#define Pin (34)
#define Type ("MQ-9")
#define Voltage_Resolution (3.3)
#define ADC_Bit_Resolution (12)
#define RatioMQ9CleanAir (9.6) //RS / R0 = 60 ppm

MQUnifiedsensor MQ9(Board, Voltage_Resolution, ADC_Bit_Resolution, Pin, Type);
```

```

const char *UBIDOTS_TOKEN = "BBFF-OjtkYrezvtkskkCuFw7dnQZnHz62R8";
const char *WIFI_SSID = "*****"; // SSID Wi-Fi
const char *WIFI_PASS = "*****"; // contraseña Wi-Fi
const char *DEVICE_LABEL = "est_s1"; // ID del dispositivo
const char *VARIABLE_LABEL = "Temperatura"; // Creación de variables
const char *VARIABLE_LABEL2 = "Humedad";
const char *VARIABLE_LABEL3 = "CO";
const char *VARIABLE_LABEL4 = "ST";
const char *VARIABLE_LABEL5 = "SH";
const char *VARIABLE_LABEL6 = "SCO";

const int PUBLISH_FREQUENCY = 5000;

unsigned long timer;

Ubidots ubidots(UBIDOTS_TOKEN);

//Funciones auxiliares
void callback(char *topic, byte *payload, unsigned int length)
{
  Serial.print("Message arrived [");
  Serial.print(topic);
  Serial.print("] ");
  for (int i = 0; i < length; i++)
  {
    Serial.print((char)payload[i]);
  }
  Serial.println();
}

void setup()
{
  Serial.begin(115200);
  ubidots.connectToWifi(WIFI_SSID, WIFI_PASS);
}

```

```

ubidots.setCallback(callback);
ubidots.setup();
ubidots.reconnect();
timer = millis();
////////////////////////////////////
pinMode(5,OUTPUT);
pinMode(18,OUTPUT);
digitalWrite(5, HIGH);
digitalWrite(18, HIGH);
////////////////////////////////////MQ9
//Modelo matemático para calcular la concentración de ppm
MQ9.setRegressionMethod(1); //_PPM = a*ratio^b
MQ9.setA(599.65); MQ9.setB(-2.244); //
/*
    Exponential regression:
    GAS   | a   | b
    LPG   | 1000.5 | -2.186
    CH4   | 4269.6 | -2.648
    CO    | 599.65 | -2.244
*/

MQ9.init();
Serial.print("Calibrating please wait.");
float calcR0 = 0;
for(int i = 1; i<=10; i ++)
{
    MQ9.update(); // El esp32 comenzará a leer los voltajes
    calcR0 += MQ9.calibrate(RatioMQ9CleanAir);
    Serial.print(".");
}
MQ9.setR0(calcR0/10);
Serial.println(" done!");

```

```

if(isinf(calcR0)) {Serial.println("Warning: Conexión issue, R0 is infinite (Open circuit
detected) please check your wiring and supply"); while(1);}
if(calcR0 == 0){Serial.println("Warning: Conexión issue found, R0 is zero (Analog pin
shorts to ground) please check your wiring and supply"); while(1);}
//////////////////////////////////// Calibración MQ9
MQ9.serialDebug(true);
}
////////////////////////////////////
void loop()
{
////////////////////////////////////DHT11
byte temperature = 0;
byte humidity = 0;
int err = SimpleDHTErrSuccess;
if ((err = dht11.read(&temperature, &humidity, NULL)) != SimpleDHTErrSuccess) {
  Serial.print("Read DHT11 failed, err="); Serial.print(SimpleDHTErrCode(err));
  Serial.print(","); Serial.println(SimpleDHTErrDuration(err)); delay(1000);
  return;
}
Serial.print((int)temperature); Serial.print(" *C, ");
Serial.print((int)humidity); Serial.print(" H, ");

t = temperature;
h = humidity;
////////////////////////////////////MOQ
MQ9.update(); // Lectura de voltaje
MQ9.readSensor(); // Lecturas de ppm
Serial.print(MQ9.readSensor()); Serial.println(" ppm ");
////////////////////////////////////Promedios temperatura
temp.append(t);
promediotemp=temp.getAverage();
Serial.print("t = ");
Serial.print(promediotemp);

```

```

////////////////////////////////////////Promedios Humedad
hum.append(h);
promediohum=hum.getAverage();
Serial.print(" h = ");
Serial.print(promediohum);
////////////////////////////////////////Promedios MQ9
if(MQ9.readSensor()<300)
{
  voltage.append(MQ9.readSensor());
  co = voltage.getAverage();
  Serial.print(" CO = ");
  Serial.println(co);
}
////////////////////////////////////////UBIDOTS
if(cont>=30)
{
  //validación de temperatura y monóxido de carbono
  if((t<30)||co<9)
  {
    digitalWrite(5, HIGH);
    digitalWrite(18, HIGH);
  }

  if(((t>=30)&&(t<33))||((co>=9)&&(co<33)))
  {
    digitalWrite(5, HIGH);
    digitalWrite(18, HIGH);
  }
  if((t>=35)||co>=35)
  {
    digitalWrite(5, LOW);
    digitalWrite(18, LOW);
  }
}

```

////////////////////////////////////Semáforos

```
if(t>=35)
{
    semaforoT=2;
}
if(co>=35)
{
    semaforoCO=2;
}
if((t>=30)&&(t<35))
{
    semaforoT=1;
}
if((co>=9)&&(co<35))
{
    semaforoCO=1;
}
if(t<30)
{
    semaforoT=0;
}
if(co<9)
{
    semaforoCO=0;
}
//Validación de Humedad
if((h>=30)&&(h<60))
{
    semaforoH=0;
}
if(((h>=60)&&(h<70))||((h>=25)&&(h<30)))
{
    semaforoH=1;
}
```

```

if((h>=70)||(h<25))
{
  semaforoH=2;
}
////////////////////////////////////
if (!ubidots.connected())
{
  ubidots.reconnect();
}
////////////////////////////////////
ubidots.add(VARIABLE_LABEL, promediotemp ); // Valor a enviar a la plataforma
ubidots.add(VARIABLE_LABEL2, promediohum );
ubidots.add(VARIABLE_LABEL3, co );
ubidots.add(VARIABLE_LABEL4, semaforoT );
ubidots.add(VARIABLE_LABEL5, semaforoH );
ubidots.add(VARIABLE_LABEL6, semaforoCO );

ubidots.publish(DEVICE_LABEL);
timer = millis();
ubidots.loop();
}
if(cont>31) cont=0;
  cont++;
  delay(1000);
}

```