



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA PARA
MEJORAR LA CALIDAD DEL AIRE EN UN CONSULTORIO
ODONTOLÓGICO EMPLEANDO TECNOLOGÍA IoT**

**Trabajo de Titulación para optar al título de Ingeniero en
Electrónica y Telecomunicaciones**

Autor:

Faicán Paredes Steven Andrés

Tutor:

Phd. Daniel Antonio Santillán Haro

Riobamba, Ecuador. 2022

DERECHOS DE AUTORÍA

Yo, Faicán Paredes Steven Andrés, con cédula de ciudadanía 1725518714, autor del trabajo de investigación titulado: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AIRE EN UN CONSULTORIO ODONTOLÓGICO EMPLEANDO TECNOLOGÍA IOT, certifico que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas son de mí exclusiva responsabilidad.

Asimismo, cedo a la Universidad Nacional de Chimborazo, en forma no exclusiva, los derechos para su uso, comunicación pública, distribución, divulgación y/o reproducción total o parcial, por medio físico o digital; en esta cesión se entiende que el cesionario no podrá obtener beneficios económicos. La posible reclamación de terceros respecto de los derechos de autor (a) de la obra referida, será de mi entera responsabilidad; librando a la Universidad Nacional de Chimborazo de posibles obligaciones.

En Riobamba, a los 02 días de diciembre del 2022.



Steven Andrés Faicán Paredes

C.I: 1725518714

DICTAMEN FAVORABLE DEL TUTOR Y MIEMBROS DE TRIBUNAL;

Quienes suscribimos, catedráticos designados Tutor y Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AIRE EN UN CONSULTORIO ODONTOLÓGICO EMPLEANDO TECNOLOGÍA IoT, presentado por Faicán Paredes Steven Andrés, con cédula de identidad número 1725518714, certificamos que recomendamos la APROBACIÓN de este con fines de titulación. Previamente se ha asesorado durante el desarrollo, revisado y evaluado el trabajo de investigación escrito y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba a los 02 días de diciembre del 2022.

Mgs. Edgar Giovanni Cuzco Silva.
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO



MSc. Marco Antonio Nolivos Vimos.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



Dr. Klever Hernán Torres Rodríguez
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



PhD. Daniel Antonio Santillán Haro
TUTOR



CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AIRE EN UN CONSULTORIO ODONTOLÓGICO EMPLEANDO TECNOLOGÍA IoT, presentado por Faicán Paredes Steven Andrés, con cédula de identidad número 1725518714 bajo la tutoría de PhD. Santillán Haro Daniel Antonio; certificamos que recomendamos la APROBACIÓN de este con fines de titulación. Previamente se ha evaluado el trabajo de investigación y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba a los 02 días de diciembre del 2022.

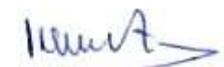
Mgs. Edgar Giovanni Cuzco Silva.
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO



MSc. Marco Antonio Nolivos Vimos.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



Dr. Klever Hernán Torres Rodríguez
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



CERTIFICACIÓN ANTI PLAGIO

Que, **FAICÁN PAREDES STEVEN ANDRÉS** con CC: **1725518714**, estudiante de la Carrera **ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES, NO VIGENTE**, Facultad de **INGENIERÍA**; ha trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AIRE EN UN CONSULTORIO ODONTOLÓGICO EMPLEANDO TECNOLOGÍA IOT”**, cumple con el **7%**, de acuerdo al reporte del sistema Anti plagio **URKUND**, porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional, por consiguiente autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, 22 de noviembre de 2022



PhD. Daniel Antonio Santillán Haro
TUTOR TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

DEDICATORIA

A mis padres por ayudarme a crecer como persona, por la motivación brindada para seguir adelante, a mis hermanos por brindarme el apoyo y consejos con palabras de aliento para culminar mis sueños.

Si quieres encontrar los secretos del universo, piensa en términos de energía, frecuencia y vibración.

Steven Andrés Faicán Paredes

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional de Chimborazo por formar parte de la misma y culminar mis estudios de ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones con un alto nivel de formación profesional y humano. Finalmente, a mis docentes y compañeros, aprendí mucho de ellos en el transcurso de la carrera.

Mi cerebro es solo un receptor, en el Universo hay un núcleo del cual obtenemos conocimiento, fuerza e inspiración.

Steven Andrés Faicán Paredes

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS.....	11
ÍNDICE DE FIGURAS.....	12
RESUMEN	14
1. INTRODUCCIÓN	16
1.1. Planteamiento del Problema	18
1.2. Formulación del Problema.....	20
1.3. Justificación.....	20
1.4. Objetivos	21
1.4.1. Objetivo General	21
1.4.2. Objetivos Específicos	21
2. MARCO TEÓRICO.....	23
2.1. Estado del Arte	23
2.1.1. Monitoreo de la calidad del aire en Sonora, México.....	23
2.1.2. Emisiones de gases en la ciudad de Pasto.....	24
2.1.3. Calidad del aire en ambientes interiores, prototipo de bajo costo	24
2.1.4. Estudio y control de la Calidad del aire en interiores.....	25
2.1.5. Monitorización de la calidad del aire en espacios interiores	26
2.1.6. Monitoreo de la calidad del aire en un ambiente odontológico.....	27
2.2. Contaminación microbiológica del aire dentro de un ambiente odontológico	28
2.2.1. Partículas que generan contaminación en un ambiente interior	29
2.3. Calidad del aire en ambiente interiores.....	30
2.3.1. Distribución Arquitectónica.....	30
2.4. Normativas internacionales y nacionales referentes a la calidad del aire	31
2.4.1. Organismos Internacionales.....	31
2.4.2. Organismos Nacionales	32
2.5. Sensores de la clase MQ.....	34
2.6. Sensor de temperatura LM35 y de humedad DHT11.....	34
2.6.1. Sensor de temperatura LM35.....	35
2.6.2. Sensor de humedad DHT11	35
2.7. Comunicación y transmisión de datos	35
2.7.1. Dispositivo Raspberry Pi 4	36
2.7.2. Internet de las Cosas (IoT) y su relación con la Raspberry Pi 4.....	37
2.7.3. Conexiones posibles con IoT.....	37
2.7.4. Protocolo MQTT	38

2.7.5.	Modelo Publicación/suscripción.....	38
2.7.5.1.	Cliente MQTT.....	38
2.7.5.2.	Broker MQTT.....	39
2.7.6.	Heroku en conjunto con GitHub para el desarrollo de una plataforma web.....	39
2.7.7.	Convertor analógico-digital MCP3008.....	40
2.7.8.	Módulo de relés.....	41
3.	METODOLOGÍA.....	43
3.1.	Tipo de investigación.....	43
3.1.1.	Enfoque de la investigación.....	43
3.1.2.	Alcance de la investigación.....	43
3.2.	Diseño de la investigación.....	43
3.3.	Métodos y Técnicas de investigación.....	44
3.3.1.	Métodos de la investigación.....	44
3.3.2.	Técnicas de recolección de datos.....	44
3.3.3.	Instrumentos de recolección de datos.....	44
3.4.	Población y muestra.....	45
3.4.1.	Población.....	45
3.4.2.	Muestra.....	45
3.4.3.	Cálculo de la muestra.....	46
3.5.	Hipótesis y variables.....	48
3.5.1.	Hipótesis.....	48
3.5.2.	Operacionalización de variables.....	48
3.5.3.	Variable Independiente.....	48
3.5.4.	Variable Dependiente.....	48
3.6.	Escenario de prueba.....	49
3.6.1.	Diseño del prototipo en el software de simulación PROTEUS.....	49
3.6.2.	Implementación del prototipo en el interior del consultorio odontológico.....	50
3.6.3.	ETAPA 1: La recolección de información.....	50
3.6.4.	ETAPA 2: nodo Gateway.....	51
3.6.5.	ETAPA 3: diseño de la aplicación web.....	52
3.6.6.	ETAPA 4: sistemas de ventilación o extracción de manera automatizada.....	53
3.7.	Métodos de análisis.....	55
3.8.	Procesamiento de datos.....	55
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	56
4.1.	Análisis e Interpretación de datos.....	56
4.2.	Monitoreo de los gases con tecnología IoT.....	56

4.2.1.	Evaluación de los gases para determinar puntos de contaminación	58
4.3.	Monitoreo de los gases con sistemas de extracción de aire.....	59
4.3.1.	Evaluación de los gases con sistemas de extracción de aire.....	61
4.3.1.1.	Prueba de Hipótesis de la variable CO2 EN H2.....	61
4.3.1.2.	Prueba de Hipótesis de la variable CO EN H2.....	63
4.3.1.3.	Prueba de Hipótesis de la variable CO2 EN H3.....	65
4.3.1.4.	Prueba de Hipótesis de la variable CO EN H3.....	67
4.3.1.5.	Prueba de Hipótesis de la variable GLP EN H3.....	69
5.	CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES	72
5.1.	Conclusiones	72
5.2.	Recomendaciones	74
6.	BIBLIOGRAFÍA.....	75
7.	ANEXOS.....	79
7.1.	Anexo A1: Simulación del prototipo de monitoreo de la calidad del aire.	79
7.2.	Anexo A2: Líneas código para separación de variables de los sensores MQ.....	79
7.3.	Anexo B: Programación para conectar Raspberry Pi con Internet.	81
7.4.	Anexo C1: Alojamiento de archivos fuente y codigos de programación en GitHub	81
7.5.	Anexo C2: Integración de archivos fuente en la plataforma Heroku.	82
7.6.	Anexo C3: Pagina web creada para la visualización de datos.....	82
7.7.	Anexo D: Incorporación de extractores de aire con Raspberry Pi.....	83
7.8.	Anexo E: Distribución arquitectónica del consultorio odontológico San Gregorio	84

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1. Niveles máximos aceptables de un gas contaminante dentro de un ambiente interior según normativas internacionales	32
Tabla 2. Niveles máximos aceptables de un gas contaminante dentro de un ambiente interior según normativa ecuatoriana de la calidad del aire en ambientes interiores	33
Tabla 3. Niveles de confianza y significación para determinar el cálculo de la muestra	46
Tabla 4. mediciones prueba para determinar el tamaño de la muestra	47
Tabla 5. Operacionalización de variables del proyecto de investigación	49
Tabla 6. Datos obtenidos por parte de los sensores sin sistemas de extracción de aire	58
Tabla 7. Análisis descriptivo de los datos referidos al monitoreo de los gases contaminantes en el consultorio odontológico	59
Tabla 8. Datos obtenidos por parte de los sensores con sistemas de extracción de aire	61
Tabla 9. Prueba T student para igualdad de medias del CO ₂ en H ₂ en el software SPSS	62
Tabla 10. Estadísticas de grupo para el CO ₂ en H ₂	62
Tabla 11. Prueba T student para igualdad de medias del CO en H ₂ en el software SPSS	64
Tabla 12. Estadísticas de grupo para el CO en H ₂	64
Tabla 13. Prueba T student para igualdad de medias del CO ₂ en H ₃ en el software SPSS	66
Tabla 14. Estadísticas de grupo para el CO ₂ en H ₃	67
Tabla 15. Prueba T student para igualdad de medias del CO en H ₃ en el software SPSS	68
Tabla 16. Estadísticas de grupo para el CO en H ₃	69
Tabla 17. Prueba T student para igualdad de medias del GLP en H ₃ en el software SPSS	70
Tabla 18. Estadísticas de grupo para el GLP en H ₃	71

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Capacidad de entrada de las partículas en el organismo en función de su tamaño	29
Figura 2. Plano arquitectónico del consultorio odontológico San Gregorio	31
Figura 3. Partes de un sensor MQ	34
Figura 4. Partes de un sensor LM35	35
Figura 5. Sensor DHT11	35
Figura 6. Componentes de una Raspberry PI4 Modelo B.....	36
Figura 7. Ejemplo modelo suscripción/publicación.....	38
Figura 8. Logo plataforma de desarrollo colaborativa GitHub	39
Figura 9. Logo plataforma de servicio en la nube Heroku.....	40
Figura 10. Conexión de puertos GPIO entre Raspberry Pi 4 y el conversor analógico digital MCP3008	41
Figura 11. Módulo de 4 relés.....	42
Figura 12. Diagrama de bloques de las etapas del desarrollo del proyecto	50
Figura 13. Prototipo para monitoreo de gases mediante sensores MQ y Raspberry Pi 4	51
Figura 14. Explicación del broker MQTT y clientes MQTT	52
<i>Figura 15. Prototipo final implementado en el consultorio odontológico San Gregorio de la ciudad de Quito.....</i>	<i>54</i>
Figura 16. Diagrama de cajas de la variable CO2 EN H2, antes y después de incorporar extractores de aire.....	63
Figura 17. Diagrama de cajas de la variable CO EN H2, antes y después de incorporar extractores de aire	65
Figura 18. Diagrama de cajas de la variable CO2 EN H3, antes y después de incorporar extractores de aire.....	67
Figura 19. Diagrama de cajas de la variable CO EN H3, antes y después de incorporar extractores de aire	69
Figura 20. Diagrama de cajas de la variable GLP EN H3, antes y después de incorporar extractores de aire.....	71
Figura 21. Diseño de un sistema para mejorar la calidad del aire en el interior de un consultorio odontológico en el software de simulación PROTEUS	79
Figura 22. Repositorio subido a GitHub, plataforma que contiene los archivos y códigos fuente ...	81
Figura 23. Heroku integrando el repositorio en GitHub para la visualización de datos en tiempo real	82
Figura 24. Visualización del diseño de la página web en heroku para la visualización de los datos medidos en tiempo real	82

Figura 25. Ubicación de extractores de aire en puntos estratégicos	83
Figura 26. Instalación de conductos de aluminio para extracción de aire	83
Figura 27. Entrada principal al consultorio odontológico, área de espera	84
Figura 28. Área de cirugía, se visualiza al fondo área de desinfección a la derecha y oficina a la izquierda.....	84
Figura 29. Área de desinfección, única ventana se visualiza al lado derecho del área.....	84

RESUMEN

En la actualidad, el desarrollo de la tecnología IoT evoluciona apresuradamente, permitiendo incorporar nuevos y modernos sistemas con menores costos de instalación, los encontramos en su mayoría en ciudades inteligentes, refrigeradores inteligentes, casas domóticas, automóviles inteligentes, entre otros, por lo cual nace la necesidad de implementar un sistema capaz de monitorear, evaluar y ubicar zonas contaminadas en el interior de un consultorio odontológico para incorporar sistemas de extracción de aire en puntos estratégicos con el fin de mejorar la Calidad del Aire (IAQ) en el interior del consultorio odontológico “San Gregorio” ubicado en la ciudad de Quito. El enfoque de la investigación se basa en el análisis de datos estadísticos, se da a partir de la recolección y medición de variables para la obtención de cuadros o gráficos estadísticos mediante el software “IBM SPSS Statistics” cumpliendo con su validez y confiabilidad, el alcance de la investigación es cuantitativa-experimental, ya que permite en el estudio examinar el comportamiento de los fenómenos a partir de los datos obtenidos en el ambiente, además la investigación documental es el punto de partida para el desarrollo de la investigación debido al hecho de entender fenómenos en estudios relacionados con la IAQ. Como población se han seleccionado los diferentes niveles de concentración de los gases en ppm (porcentaje por millón) como: dióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono (CO) y benceno (GLP), la muestra es de 91 datos obtenidos de cada gas por parte de los sensores en cada zona del consultorio odontológico. El instrumento para la recolección de datos fue mediante programación en la tarjeta Raspberry Pi 4 (RPI4) en conjunto con los sensores MQ135 y MQ7. La RPI4 se conecta con internet vía inalámbrica, permitiendo la interacción y visualización de datos en tiempo real en una plataforma web atractiva para el usuario, los resultados obtenidos corroboran la hipótesis alternativa para cada caso, se obtuvo un valor de significatividad de 0,00 que al analizarlo con la prueba estadística “T student” concluye: Un sistema de monitoreo de las variables relacionadas con la calidad del aire (CO, CO₂, GLP) en el interior del consultorio odontológico San Gregorio antes y después de la incorporación de sistemas de extracción de aire con tecnología IoT, los niveles de concentración de la IAQ son distintos, observando un mejoramiento en la IAQ en zonas contaminadas.

Palabras Claves:

< Calidad del aire en Interiores: IAQ >, < Internet de las cosas: IoT >, < Raspberry Pi 4: RPI 4 (Dispositivo de programación) >, < Porcentaje por millón: ppm (unidad de medida en cm³ de gases contaminantes)>, < Monóxido de Carbono: CO (Gas contaminante) >, < Dióxido de Carbono: CO₂ (Gas contaminante) >, < Benceno: GLP (Gas contaminante) >

ABSTRACT

Currently, the development of IoT technology evolves rapidly, allowing the incorporation of new and modern systems with lower installation costs, we find them mostly in smart cities, smart refrigerators, home automation, smart cars, among others, Therefore, the need arises to implement a system capable of monitoring, evaluating and locating contaminated areas inside a dental office to incorporate air extraction systems at strategic points in order to improve the Air Quality (IAQ) inside the dental office "San Gregorio" located in the city of Quito. The research approach is based on the analysis of statistical data, it is given from the collection and measurement of variables to obtain statistical tables or graphs using the software "IBM SPSS Statistics" complying with its validity and reliability, the scope of the research is quantitative-experimental, since it allows in the study to examine the behavior of the phenomena from the data obtained in the environment, also the documentary research is the starting point for the development of the research due to the fact of understanding phenomena in studies related to the IAQ. As a population, the different levels of concentration of gases in ppm (percentage per million) such as: carbon dioxide (CO₂), carbon monoxide (CO) and benzene (LPG) have been selected, the sample is 91 data obtained from each gas by the sensors in each area of the dental office. The instrument for data collection was programmed on the Raspberry Pi 4 (RPI4) board in conjunction with the MQ135 and MQ7 sensors. The RPI4 connects to the internet via wireless, allowing the interaction and visualization of data in real time on a web platform attractive to the user, the results obtained corroborate the alternative hypothesis for each case, a significance value of 0.00 was obtained, which when analyzed with the statistical test "T student" concludes: A monitoring system of variables related to air quality (CO, CO₂, LPG) inside the San Gregorio dental office before and after the incorporation of air extraction systems with IoT technology, the IAQ concentration levels are different, observing an improvement in IAQ in polluted areas.

Keywords: < Indoor Air Quality: IAQ >, < Internet of Things: IoT >, < Raspberry Pi 4: RPI 4 (Programming Device) >, < Percent per million: ppm (unit of measurement in cm³ of polluting gases)>, < Carbon Monoxide: CO (Polluting Gas) >, < Carbon Dioxide: CO₂ (Polluting Gas) >, < Benzene: LPG (Polluting Gas) >.



Firmado electrónicamente por:

**SANDRA
LILLIANA
ABARCA GARCIA**

Reviewed by:

Lic. Sandra Abarca García Mgs.

ENGLISH PROFESSOR

C.C. 0601921505

CAPÍTULO I.

1. INTRODUCCIÓN

El control y monitoreo de los diferentes niveles de concentración de gases en interiores es de gran interés para las organizaciones de la salud e incluso para la seguridad y salud ocupacional de las personas que realizan diferentes tipos de labores, esto se debe porque el ser humano genera diferentes tipos de actividades, sean metabólicas o biológicas, hábitos de fumar, incluso los materiales de construcción, equipos e instalaciones eléctricas generan contaminantes como monóxido, dióxido de carbono, ozono, plomo, entre otros.

En la actualidad se admite que aquellos ambientes que no disponen de ventilación natural y que están cerrados, para conseguir un mayor rendimiento del sistema de aire acondicionado, pueden ser áreas de exposición a contaminantes. Entre ellos se encuentran oficinas, edificios públicos, escuelas y guarderías, edificios comerciales e, incluso, residencias particulares [1].

En la práctica, el número de quejas relacionadas con los quebrantos de salud de los trabajadores, viene siendo motivada por la aparición del Síndrome del Edificio Enfermo reconocido como enfermedad por la OMS en 1982. Término que describe situaciones en las cuales los ocupantes de un edificio presentan síntomas diversos (oculares, nasales, de garganta, bucales, digestivos, cutáneos, de tensión, entre otros) en una proporción mayor al 20%. [2].

El problema con el análisis de la calidad de aire en ambientes cerrados radica en el bajo flujo de aire limpio o un mal sistema de ventilación, promoviendo la generación de concentraciones de contaminantes que afectan negativamente a las personas, estas concentraciones no siempre están distribuidas equitativamente dentro del área cerrada, donde factores como una mayor concentración de personas o la disposición física del lugar, pueden influenciar la ubicación de más o menos contaminantes en sectores específicos. Debido a esta distribución, la implementación de una red de sensores distribuida en el área cerrada de tal manera que permita un análisis global del área toma importancia en el análisis de esta problemática [3]

El monitoreo de ciertos gases nos permite tener un mejor control de la calidad del aire en interiores, por lo cual se deberá analizar: ¿Qué tipo de gases y en que niveles de concentración pueden afectar a la salud humana? ¿Cuáles sensores son necesarios para poner en funcionamiento el sistema? ¿Es necesario hacer uso de cálculos matemáticos y estadísticos? ¿Es ineludible visualizar los valores de

los sensores en alguna plataforma? ¿Es necesario hacer un análisis de los datos? ¿Será óptimo instalar sistemas de ventilación y accionamiento de alarmas?

Para garantizar una buena calidad de aire en el interior de un ambiente, es necesario analizar las limitaciones de determinados gases en interiores, su comportamiento y en que niveles son de peligro para las personas, en este proyecto se instrumentará un sistema de monitoreo que usó sensores electroquímicos y una tarjeta Raspberry Pi, capaces de estimar la información de ciertos gases de manera independiente, estos sensores son de la clase MQ, los mismos que miden varios gases en un mismo sensor por lo cual es necesario hacer el uso de un cálculo matemático en la programación para separar los gases que se van a monitorear, los gases se medirán en forma de concentración ppm (porcentaje por millón) según el datasheet de cada sensor y la norma ecuatoriana orientada a la calidad de aire en interiores, los gases que se pretende monitorear son: temperatura del ambiente, humedad, CO, CO₂ y GLP, de la misma manera se aplicará tecnología IoT para la visualización de datos en una plataforma web.

Al obtener la información por parte de los sensores y la tarjeta Raspberry Pi, la misma que debe ser procesada e interpretada, es por ello por lo que entra el concepto de IoT para ayudar con la necesidad de procesar e interpretar la información obtenida, exponiéndola y compartiendo esta información con las personas a través de Internet, este método para el procesamiento de información ayuda a obtener datos por parte del usuario en cualquier lugar y reducción de costes, ya que la ventaja al usar una tarjeta Raspberry Pi es que tiene conexión a redes.

De igual manera, al realizar el monitoreo de ciertos gases se incorporó medidas para contrarrestar estos gases que estén superando el nivel permisible para la salud humana como sistemas de extracción de aire, si no se controlan estos gases a corto, mediano o largo plazo la persona tendrá molestias, agotamiento en el área de trabajo e incluso enfermedades respiratorias y cardiovasculares, con el sistema propuesto se logró reducir los niveles excesivos de gases en lugares de mayor contaminación, de igual manera este proyecto está orientado a mejorar la calidad del aire en interiores para prevenir enfermedades futuras y ayudar a la evolución de la construcción en edificaciones con nuevos sistemas de ventilación y extracción de aire, relacionados con IoT.

Para evaluar el funcionamiento del sistema, en la programación se comparó la información obtenida por parte de los sensores en ppm de las variables (gases) con la norma ecuatoriana relacionada con la calidad de aire en interiores NECA que tiene información de valores máximos de concentración

de un gas en interiores, si el nivel medido por parte de los sensores es mayor al que establece la NECA, se activarán ventiladores juntamente con filtros de aire y extractores de aire para garantizar confort a la persona y una óptima calidad del aire en el interior de un ambiente laboral.

1.1. Planteamiento del Problema

La Calidad Ambiental Interior -CAI- (Indoor Air Quality: IAQ), esta norma introduce los conceptos de polución generada por personas y edificios, calidad del aire percibida (CAI), categorías de CAI, fuentes de polución, eficiencia de la ventilación, etc., y sus unidades, que ayudan a establecer los criterios de diseño para mantener una aceptable calidad de aire interior [4].

A causa del incremento del uso vehicular y la situación industrial, se ha evolucionado diferentes enfermedades virales, sensoriales y otras clases de afecciones, deteriorando la evolución de un ambiente saludable, tranquilo y estable, el cual permita desarrollar las actividades naturales del hombre. Pero el asunto no solo involucra a la corporación mundial, sino a los individuos. La quema de basura y el irracional consumo de las familias de productos en aerosol, han logrado aumentar el hueco de la capa de ozono. Esto ha causado un desbordado aumento del efecto invernadero, se suma a este devastador panorama, el tráfico vehicular que produce el smog que contamina el aire trayendo graves problemas respiratorios [5].

En el Ecuador no se cuenta con información precisa sobre el estado de la calidad de aire en interiores, esto se debe a que la gestión en ese sector es de origen reciente, la ciudad que posee información diaria y confiable sobre las emisiones de los contaminantes del aire (monóxido de carbono, dióxido de azufre, material particulado, óxidos de nitrógeno, ozono e hidrocarburos no consumidos) es Quito, debido a que posee una Red de Monitoreo Atmosférico, no obstante, en Guayaquil, Cuenca y Ambato se han realizado mediciones de estos contaminantes, pero estos estudios están orientados en exteriores [6].

Durante la respiración humana no solamente se emiten aerosoles, sino también gases como el dióxido de carbono (CO₂). Si hay personas en un ambiente cerrado, la concentración de CO₂ aumenta en función tanto a la actividad que realicen estas personas como a otros factores tales como sexo, edad, peso, entre otras [7].

Los avances tecnológicos en construcción han llevado al empleo, en mayor cantidad, de materiales de construcciones sintéticos, contribuyendo a ofrecer espacios cómodos a un menor costo. Sin embargo, han propiciado que los ambientes interiores alojen fácilmente contaminantes, como compuestos orgánico-volátiles (COV) provenientes de diferentes fuentes, entre las que se destacan: la calefacción, los microorganismos, e incluso los mismos materiales de construcción (pinturas, barnices, disolventes y conservantes) [8].

En ambientes laborales, el problema podría ser mayor debido a los factores de los entornos propios del sitio de trabajo, tales como niveles elevados de polvo, uso excesivo de computadores, altas temperaturas, poca o ninguna ventilación de aire exterior, mala iluminación, falta o inadecuado mantenimiento de los sistemas de aire acondicionado e insuficientes regímenes de limpieza; estos factores pueden afectar directamente la capacidad inmunológica de los trabajadores al ejercer un control sobre las amenazas del entorno en su sitio de trabajo [8].

Además, la NECA una norma técnica de aplicación obligatoria en el Ecuador, su objetivo principal es preservar la salud de las personas, la calidad del aire ambiente interior, el bienestar de los ecosistemas y del ambiente en general. Para cumplir con este objetivo, esta norma establece los límites máximos permisibles de contaminantes en el aire ambiente con respecto al nivel de suelo. La norma también provee los métodos y procedimientos destinados a la determinación de las concentraciones de contaminantes en el aire ambiente [9].

Las graves consecuencias que se han generado en el ser humano al no tener un conocimiento adecuado de la calidad de aire en ambientes cerrados, hacen necesario la implementación de sistemas de monitoreo y control de ciertos tipos de gases, desarrollar varias estrategias y acciones para el tratamiento de datos de los gases que interactúan en el interior de un hogar, oficina, institución educativa, entre otros.

Con el tratamiento adecuado de las variables que se van a medir en un ambiente cerrado, se podrá definir qué tipo de sensores son adecuados, qué gases no están en el nivel permisible para la salud humana, cuáles son los factores que los ocasionan, y de esta manera ver diferentes tipos de soluciones viables para obtener una mejor calidad del aire en ambientes interiores.

En la actualidad existe tratamiento a la mala calidad del aire con un mayor enfoque a ambientes exteriores, pocos estudios se han realizado en ambientes interiores relacionados con la calidad del

aire, estos proyectos tienen una perspectiva orientada al monitoreo de gases para encontrar las causas de diferentes enfermedades ocasionadas por la mala calidad del aire.

Debido a los problemas mencionados anteriormente se ejecutó un análisis complejo respecto a que sensores se van a utilizar, a su calibración y sensibilidad, el uso adecuado de los datos y el procesamiento de la señal para que el usuario o cliente pueda tener acceso a la información leída por los sensores, este proyecto de investigación no solo se orientó al monitoreo de datos y en ver la causas que ocasionan la mala calidad del aire, sino en dar un tratamiento adecuado a la información para tomar las medidas necesarias e implementar nuevos mecanismos para generar una óptima calidad del aire en interiores.

Al tener conocimiento de los gases que ocasionan una mala calidad del aire en interiores, se podrá optar por soluciones viables para mejorar la calidad del aire, en este caso se implementó un sistema capaz de monitorear gases contaminantes en un ambiente odontológico ubicado en la ciudad de Quito, con el fin de conocer los factores que afectan a la mala calidad del aire, se hará el uso de sensores en 4 zonas del consultorio: área de espera, área de cirugía, oficina y desinfección, al tener conocimiento de las variables (CO, CO₂ y GLP) que afecten al ambiente interior, se tomarán medidas en el diseño de la construcción del ambiente interior incorporando tecnología IoT, para asegurar una buena calidad del aire en ambientes cerrados.

1.2. Formulación del Problema

¿El empleo de sistemas de ventilación y/o extracción de aire en conjunto con tecnología IoT en espacios interiores en qué medida mejorará la calidad del aire en el consultorio odontológico de la ciudad de Quito?

1.3. Justificación

Debido a la problemática de la mala calidad del aire en interiores, se plantea crear un sistema capaz de monitorear variables que afecten a la salud humana dentro de un ambiente interior, medirlas de tal forma que se pueda brindar una solución adecuada y sustentable, por medio de la tecnología adecuada, modelos matemáticos para separar variable y una plataforma web obteniendo un costo beneficio favorable para el ambiente estudiado.

Esta investigación aporta a la seguridad y salud humana, de cierta forma a la construcción de nuevas edificaciones, a monitorear variables que se encuentran en el aire en formas de partículas, entender los fenómenos que ocasionan que las partículas del aire sean dañinas para la persona, interactuar con los datos que analizan dichos fenómenos y buscar una solución adecuada para el control de las mismas mediante nuevas tecnologías, mejorando de cierta manera el rendimiento de las personas en un ambiente laboral, implementar nuevos sistemas de ventilación para prevenir enfermedades futuras, incluso mejorar aspectos socio ambientales, financieros y económicos.

El control de la calidad del aire es un ámbito nuevo de investigación, especialmente en interiores, debido a que muchas enfermedades respiratorias se deben al mal uso de la ventilación, calefacción, combustibles fósiles, materiales de construcción que se deterioran conforme el tiempo e incluso el humo del tabaco que están presentes en nuestro hogar, oficinas, aeropuertos, instituciones educativas, entre otras.

Además, el presente proyecto de investigación está orientado a impulsar nuevas alternativas en el beneficio de las necesidades que tienen los edificios en la actualidad al no tener un uso adecuado de la calidad del aire sin identificar qué factores lo ocasionan, ayudar al desarrollo y evolución de la construcción de nuevas edificaciones, a la seguridad y salud humana, prevención de enfermedades a mediano y largo plazo, así mismo, se monitorearán los gases para identificar las causas de la mala calidad del aire, se tomarán medidas en el diseño de la construcción de nuevos edificios incorporando tecnología IoT, sistemas de alarmas y nuevos sistemas de ventilación para el mejoramiento de la calidad del aire en ambientes cerrados.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Diseñar e implementar un sistema de monitoreo para mejorar la calidad del aire en el interior de un consultorio odontológico mediante el uso de tecnología IoT.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Comparar la información de los diferentes niveles de concentración de los gases estudiados en un ambiente interior con la NECA, para identificar que gases son nocivos para la salud humana.

- Establecer los protocolos necesarios para la conexión entre los sensores de la clase MQ con la tarjeta Raspberry Pi y una plataforma web.
- Mostrar la información de los diferentes gases en una plataforma web capaz de visualizar la información simultáneamente con IoT.
- Implementar un sistema capaz de estimar la información sobre las componentes causantes a la mala calidad del aire interior y establecer sistemas de ventilación, filtros y extractores de aire en interiores para mejorar la calidad del aire en el interior de un consultorio odontológico.

CAPÍTULO II.

2. MARCO TEÓRICO.

2.1. Estado del Arte

2.1.1. Monitoreo de la calidad del aire en Sonora, México

El problema principal a enfrentar es la calidad del aire, mientras no se tenga de forma clara la situación a la que nos enfrentamos no será posible aplicar medidas para resolverla, es por este motivo que se plantea una herramienta alternativa que son los sensores de bajo costo para obtener información suficiente para plantearnos cuál es la situación actual de la calidad del aire, cabe mencionar que el resultado no fue exitoso, los valores medidos estuvieron muy alejados de los reales [10].

Para solventar el problema de la calibración de los sensores existen varios métodos de limpieza de los sensores o calibración de los mismos, esto se debe que los sensores estarían en constante contacto con partículas generadas en un ambiente cerrado, existen dos maneras para calibrar sensores, las cuales se abordarán como opción 2a y 2b, descritas a continuación [10].

- a. Desafiando la entrada o el contacto superficial del sensor de un gas de concentración conocida [10].

Esta opción se basa en contar con un gas de concentración conocida que se hace pasar por el sensor para comprobar si la respuesta obtenida es ya conocida, la ventaja es que hay en el mercado botellas de gas de calibración y son relativamente baratas, por lo que ya existe un mercado [10].

- b. Teniendo alguna respuesta definida, activando un circuito que establecería alguna salida predeterminada y haría, sucesivamente, establecer la concentración de la lectura de salida del dispositivo [10].

Esta opción se basa en el principio de que se establece un medio electrónico o electromecánico desafiando al sensor para un efecto conocido de salida resultante del sensor, que permite re escalar a un valor preestablecido. Para esto se tiene que conocer la respuesta teórica supuesta basada en las especificaciones del fabricante [10].

2.1.2. Emisiones de gases en la ciudad de Pasto

A causa del incremento del uso vehicular y la situación industrial, se ha evolucionado diferentes enfermedades virales, sensoriales y otras clases de afecciones, deteriorando la evolución de un ambiente saludable, tranquilo y estable, en el cual se permita desarrollar las actividades naturales del hombre [5].

Es por esto por lo que se hace necesaria la búsqueda de soluciones que permitan el estudio de la situación actual con herramientas específicas para este propósito, que entregue una medición pertinente de sectores críticos de una población y que puedan contribuir con el establecimiento de algunas estrategias que mejoren el escenario y que actualmente no existen [5].

Para la definición de variables se hace necesaria la comprensión e interiorización de cada uno de los factores que influyen en la calidad del aire, de esta manera, se logra una apropiación del tema, ineludible para continuar con las diferentes etapas del trabajo propuesto en este punto [5].

El principal objetivo de esta investigación fue realizar un estudio para la implementación de un Sistema de Monitoreo de Inmisión de gases contaminantes como el monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre (SO₂), dióxido de nitrógeno (NO₂), Ozono (O₃), medidos en microgramos por metro cúbico (µg/m³), dióxido de carbono (CO₂), medido en partes por millón (ppm) [5].

De acuerdo con la investigación que se hizo de las variables caso de estudio, se analizó los valores que el prototipo midió en diferentes situaciones, lo cual dio como resultado que el tráfico vehicular aumenta considerablemente los valores de los diferentes gases, al igual que se observó que el ozono baja los valores en horas de la noche y que la afluencia de personas incrementa los valores del dióxido de carbono [5].

2.1.3. Calidad del aire en ambientes interiores, prototipo de bajo costo

En la actualidad la mayor parte de la población urbana desarrolla sus actividades cotidianas en instalaciones de ambiente cerrado tales como oficinas, aulas de clase, empresas, fábricas, talleres y viviendas, y al permanecer mucho tiempo en este tipo de instalaciones, se puede estar expuesto a respirar un aire contaminado, ya que en el aire coexisten diferentes partículas y agentes como: humo

de tabaco, humo de vehículos o de las diferentes industrias, bacterias y virus, produciendo contaminación ambiental que puede generar efectos nocivos en la salud de las personas [11].

Existen tipos de sensores MQ, son electroquímicos, tienen una resistencia interna y en el momento de estar expuestos a determinados gases, la resistencia cambia de valor debido a que internamente posee un calentador que aumenta la temperatura interna y así provoca el cambio en el valor de la resistencia. El calentador comúnmente necesita un voltaje que varía entre 5 y 2 voltios, por otra parte, el sensor necesita una resistencia (RL) para cerrar el circuito y de esta manera poder hacer un divisor de tensión para ser leído desde el microcontrolador [11].

Ppm (porcentaje por millón), es la unidad empleada usualmente para valorar la presencia de elementos en pequeñas cantidades (traza) en una mezcla. Generalmente, suele referirse a porcentajes en peso en el caso de sólidos y en volumen en el caso de gases (caso de la unidad ppm utilizada en calidad del aire) [11].

En este proyecto, la medición se realizó en los laboratorios de telecomunicaciones de la Universidad Piloto de Colombia que se encuentran en el segundo piso, este lugar se escogió porque a lo largo del semestre se desarrollan diferentes tipos de proyectos que usan productos que generan gases contaminantes tales como soldadura, pinturas, elementos eléctricos que por el uso se calientan y muchas veces se queman y generan partículas que quedan en el aire [11].

Para este edificio se realizó la medición en dos lugares muy concurridos por los estudiantes, el primero ya fue mencionado, el segundo de ellos es el primer piso, exactamente en la entrada de este, ya que en las horas de clase se encuentran los estudiantes que antes de ingresar o al salir de clase fuman cigarrillo [11].

El desarrollo del presente prototipo permite efectuar pequeñas modificaciones en su estructura con la intención de poder realizar mediciones en otros tipos de edificios como oficinas, bodegas, almacenes de cadena, centros comerciales, bombas de gasolina con el fin de ampliar su uso y el beneficio que tiene para todas las personas que habitan este tipo de ambientes [11].

2.1.4. Estudio y control de la Calidad del aire en interiores

Dada las limitaciones en cuanto a condiciones laborales que garanticen una calidad del aire óptima, la poca información que existe sobre ello en Cuba y ante la necesidad de estudiar el comportamiento de determinados gases, vapores y otras variables ambientales en interiores, en este trabajo se desarrolló un sistema basado en sensores químicos y físicos y en la plataforma Arduino Megacon un módulo de comunicación inalámbrica XBee que resulta más económico que los dispositivos comerciales [12].

Este sistema está destinado a monitorizar las concentraciones de algunos compuestos orgánicos volátiles (COVs) y oxígeno, así como la humedad relativa y temperatura, en ambientes interiores. Ello permite evaluar parcialmente la calidad del aire de forma automatizada [12].

2.1.5. Monitorización de la calidad del aire en espacios interiores

El problema con el análisis de la calidad de aire en ambientes cerrados radica en el bajo flujo de aire limpio o un mal sistema de ventilación, promoviendo la generación de concentraciones de contaminantes que afectan negativamente a las personas. Estas concentraciones no siempre están distribuidas equitativamente dentro del área cerrada, donde factores como una mayor concentración de personas o la disposición física del lugar pueden influenciar la ubicación de más o menos contaminantes en sectores específicos, debido a esta distribución, la implementación de una red de sensores distribuida en el área cerrada de tal manera que permita un análisis global del área toma importancia en el análisis de esta problemática [3].

Para este estudio se puso en marcha dos sistemas de ventilación, utilizando dos materiales para la construcción del contenedor, uno en acrílico y otro en acero inoxidable. El sistema trabaja en tres etapas, la primera es la de flujo de aire para la limpieza de los sensores, en la segunda etapa se realiza el ingreso del químico a medir, y finalmente en la tercera etapa se realiza la lectura de los sensores. En cada uno de los sistemas se realizaron pruebas utilizando un filtro de aire para la limpieza de los sensores [3].

Para realizar las pruebas de funcionamiento del sistema en los entornos descritos en la sección 0, en donde se mantuvieron puertas y ventanas cerradas, condiciones que el habitante mantenía habitualmente en su día a día [3].

En cuanto a las variables químicas, tanto el CO, como TVOC se mantuvieron en valores normales, llegando a picos de CO de 22.2 ppm y de TVOC de 234.6 ppm, mientras que los valores de CO₂

presentaron un aumento considerable de la concentración, específicamente en el área del dormitorio, lugar donde permaneció un habitante durante el periodo de prueba, llegando a valores pico de CO₂ de 1575 ppm ubicando a este valor en un rango de concentración peligroso para la salud [3].

La principal contribución del proyecto es la prevención de múltiples problemas o enfermedades causadas por los gases o partículas contaminantes que se encuentran en el interior de las edificaciones que por nuestras actividades cotidianas permanecemos una gran cantidad de nuestro tiempo. Esto puede evitar desde una simple fatiga o molestia al respirar, infecciones o enfermedades más graves como el cáncer [3].

2.1.6. Monitoreo de la calidad del aire en un ambiente odontológico

Para garantizar una buena calidad del aire en un ambiente interior, es necesario conocer las limitaciones, características y beneficios de los proyectos mencionados anteriormente, estos proyectos están orientados al monitoreo de gases y buscar las causas que afectan a la salud de una persona en un ambiente interior, llegando a la conclusión que varios gases como CO₂, GLP y CO, son nocivos para la persona si están por encima de valores establecidos por la normativa que regula la calidad del aire en interiores de cada país, estos gases se producen por el uso de vehículos, computadoras, dispositivos electrónicos, compuestos químicos que se usan para la construcción en edificaciones e incluso las mismas personas generamos CO₂, si estos gases no se llegan a controlar a tiempo afectan al confort y salud del ser humano, en este proyecto de investigación además de analizar las causas que afectan al ambiente estudiado, se tratará de buscar soluciones viables para mejorar la calidad del aire en un ambiente odontológico empleando tecnología IoT juntamente con el uso de sistemas de extracción y ventilación de aire.

El presente proyecto consta de varias etapas, en las etapas principales se usará una tarjeta Raspberry Pi y sensores de la clase MQ, lm35 para la temperatura y dht11 para la humedad, estos sensores recolectarán mediciones para después analizarlas estadísticamente mediante un software informático IBM SPSS, los sensores MQ internamente requieren utilizar varios cálculos matemáticos para llegar a obtener un valor en ppm (cálculo de porcentaje por millón), de igual manera requieren separar las variables que necesitamos medir, por ejemplo si necesitamos medir dióxido de carbono, es necesario recurrir a una fórmula matemática para separar las variables debido a que los sensores de la clase MQ miden varias variables en un mismo sensor, el sensor MQ4 es ideal para medir gases como

butano, gas natural, metano, propano, monóxido de carbono y requieren programación de acuerdo con la tarjeta que estén enlazadas para medir los gases necesarios en la investigación planteada.

Una vez conocida la causa, en dónde se genera el problema y qué tipos de gases son los que afectan a la salud humana, se elaboró el diseño de una plataforma web que en conjunto con IoT y sistemas de extracción de aire se pretende mejorar la calidad del aire en el interior del consultorio.

2.2. Contaminación microbiológica del aire dentro de un ambiente odontológico

Uno de los mayores problemas del aire es la carga de partículas biológicas como: hongos, bacterias, esporas, toxinas, virus, entre otras. Los bioaerosoles o partículas biológicas en suspensión en el aire como medio de transporte y dispersión, llegando de esta manera a las personas que respiran un promedio de 14 m³ de aire por día [13].

El uso de turbinas de alta velocidad, dispositivos para desinfección de instrumentos quirúrgicos, raspadores ultrasónicos, jeringas triples utilizan aire y agua provocando la formación de aerosoles. Por aerosol se entiende cualquier volumen de aire que contiene partículas sólidas o líquidas en suspensión. Estas partículas flotantes pueden permanecer por un período corto o más largo, dependiendo de su tamaño, que puede variar entre 0,001 y 10 µm¹ [13].

El tamaño de las partículas se expresa en micras el efecto final es variable, en función a su composición química y el tamaño de las partículas de más de 10 µm de diámetros se considera generalmente como polvo. A partir de este tamaño y a medida que va disminuyendo el diámetro de las partículas, estas son capaces de llegar a los alveolos pulmonares y difundirse a todo el cuerpo a través de la sangre (*Ver en la figura 1*) [13].

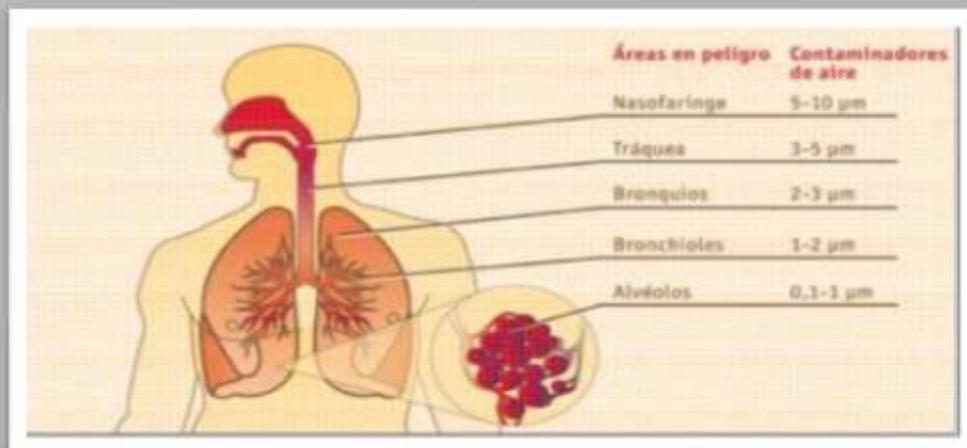


Figura 1. Capacidad de entrada de las partículas en el organismo en función de su tamaño

Fuente: [13].

Algunos de los efectos más comunes de estas partículas en suspensión: irritación de los ojos, vías respiratorias, agravamiento de episodios asmáticos y de enfermedades cardiovasculares y aumento de cáncer al pulmón a largo plazo [13].

El odontólogo, personal auxiliar, pacientes y personas en sala de espera están expuestos a los aerosoles generados por el uso de los destartarizadores ultrasónicos dentro de la cavidad bucal, estos emiten cerca de 1 000 unidades formadoras de colonias bacterianas, otros estudios han reportado que los microorganismos se han encontrado a 1,80 metros, de la turbina en uso (equipo de limpieza bucal), las concentraciones más altas de microorganismos se encuentran a 60 centímetros enfrente del paciente [13].

2.2.1. Partículas que generan contaminación en un ambiente interior

Existen varios gases o partículas que generan contaminación en el aire de un ambiente interior y provocan afecciones en la salud de las personas, este proyecto de investigación monitoreó los siguientes gases para observar las causas que afectan al bienestar físico de la persona:

- ✚ Monóxido de carbono (CO): Presenta gran afinidad por la hemoglobina, que se encarga de transportar el oxígeno en los glóbulos rojos de la sangre. Al desplazar la molécula de O₂ de la hemoglobina y unirse la de CO, la hemoglobina deja de llevar a cabo su función esencial

de llevar oxígeno a todas nuestras células, y acabamos asfixiados. A su vez el CO abandona la hemoglobina de manera muy lenta, evitando que la pueda ocupar de nuevo el oxígeno [14].

- ✚ Gas licuado de petróleo (GLP): Puede provocar condiciones graves para el cuerpo de los individuos por la falta de oxígeno, lo cual puede llevar a la pérdida de la conciencia, daño cerebral y en ocasiones la muerte [15].
- ✚ Dióxido de carbono (CO₂): Uno de los principales parámetros que caracteriza la calidad del aire y que es generado en los interiores de un ambiente de trabajo es el CO₂ dióxido de carbono, este en ambientes interiores no industriales tiene como principal foco de afectación la respiración humana, ya que es un gas incoloro e inodoro [16].

2.3. Calidad del aire en ambiente interiores

Calidad del aire interior que tiene como siglas (CAI), sus siglas en Ingles "indoor air quality" - (IAQ) es una palabra que es conocida como un ambiente con aire limpio en las oficinas y locales no industriales, la cual está relacionada con la salud el bienestar de los ocupantes. Para el caso en estudio, comprende el estudio de los ambientes de salud, tales como consultorios y centro médicos, ya que las personas generalmente pasan entre el 80% y el 90% en ambientes cerrados con cierta contaminación [17].

La calidad del aire en el interior de un consultorio odontológico es variante debido a diversas causas que pueden ocasionar una mala calidad del aire, como: ubicación geográfica, distribución arquitectónica, número de personas y actividades que desarrollen en el interior del consultorio, instrumentos odontológicos, turbinas de agua y succionadores en sala de operación, materiales químicos, entre otros.

2.3.1. Distribución Arquitectónica

La disposición física del edificio y del sistema de climatización del edificio determina cómo el aire se mueve por todo el edificio y cuán fresco el aire entra en el edificio desde el exterior, por ejemplo, el cambio de la disposición de un edificio mediante la construcción de las paredes o divisores de interior se puede cambiar la circulación del aire, los patrones de circulación y conducir a una mala circulación de aire o una concentración de contaminantes en ciertas áreas [17].

El consultorio odontológico San Gregorio dispone de cuatro áreas: sala de espera, sala de operaciones, oficina y sala de desinfección, en la *figura 2* se observará la distribución arquitectónica del lugar.



Figura 2. Plano arquitectónico del consultorio odontológico San Gregorio

Fuente: Por el autor

Para que exista una buena calidad del aire debe existir una buena ventilación y sistemas de extracción de aire de ciertas partículas contaminantes al ambiente, en el plano se puede apreciar que no existen ventanas más que en el área de desinfección y el acceso principal que es la puerta corrediza de ingreso al establecimiento, los baños cuentan con ventanas, pero estas no ayudan a la circulación correcta de aire, lo cual el ambiente es el ideal para estudiar los gases que contaminan el aire en el interior del consultorio odontológico. Ver anexo E: *figura 27, figura 28 y figura 29.*

2.4. Normativas internacionales y nacionales referentes a la calidad del aire

Existen organismos internacionales y nacionales que emiten normativas para poder regular los niveles de sustancias peligrosas relacionadas con la calidad del aire en un ambiente interior.

2.4.1. Organismos Internacionales

Entre los principales organismos internacionales que regulan los niveles de sustancias peligrosas se resaltan los siguientes:

- ✚ La Organización Mundial de la Salud (OMS), desarrolla y elabora directrices sobre la calidad del aire en las que recomienda límites máximos de exposición a los principales contaminantes del aire [18].
- ✚ ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers) publicó el documento “Calidad del aire interior: mejores prácticas para el diseño, construcción y puesta en marcha”, la cual es una nueva guía para el logro de una mejor calidad del aire interior en edificios de gran tamaño [19].
- ✚ LA NTP 243, NTP 549 (Ambientes cerrados: calidad del aire) brinda una serie de métodos de control de la calidad del aire, basados en la higiene industrial, como la eliminación o sustitución de la fuente, mitigación de la acción de la fuente, dilución del aire interior con aire menos contaminado, comprobación de la eficacia de ventilación, control de las diferencias de presión y extracción localizada [19].

En la *tabla 1*, se aprecia los niveles aceptables de los diferentes contaminantes en el aire dentro de un ambiente de estudio.

CONTAMINANTE	NIVEL ACEPTABLE	REFERENCIA
Monóxido de Carbono (CO)	60 mg/m ³ (50 ppm) para 30 minutos	Lineamientos para la Calidad del Aire Europa (OMS)
	40 mg/m ³ (35 ppm) por 1 hora	Estándares americanos de la Calidad del Aire
Dióxido de Carbono (CO₂)	500 ppm para 8 horas	ASHRAE
	1800 mg/m ³ (1000 ppm)	OMS
	800 ppm	NTP 549

Tabla 1. Niveles máximos aceptables de un gas contaminante dentro de un ambiente interior según normativas internacionales

Fuente: [19].

2.4.2. Organismos Nacionales

La NECA es una norma técnica de aplicación obligatoria en el Ecuador para evaluar el estado de la contaminación atmosférica. Su objetivo principal es preservar la salud de las personas, la calidad del aire ambiente, el bienestar de los ecosistemas y del ambiente en general, para lo cual se ha

determinado límites máximos permisibles de contaminantes en el aire ambiental con respecto al suelo, así como los métodos y procedimientos que permitan su determinación y cuantificación en aire ambiente [20].

La NECA define a la contaminación como: "la presencia de sustancias en la atmósfera, que resultan de actividades humanas o de procesos naturales, presentes en concentración suficiente, por un tiempo suficiente y bajo circunstancias tales que interfieren con el confort, la salud o el bienestar de los seres humanos o del ambiente" [20].

La *tabla 2*, indica los límites máximos permitidos por contaminante.

Contaminante	Valor	Unidad	Periodo de medición	Excedencia permitida
Partículas sedimentales	1	mg/cm ²	Máxima concentración de una muestra colectada durante 30 días de forma continua	No se permite
CO	10	mg/m ³	Concentración en 8 horas consecutivas	1 vez por año
	30	mg/m ³	Concentración máxima en 1 hora	1 vez por año
Benceno	5	ug/m ³	Promedio aritmético de todas las muestras colectadas en 1 año	No se permite
Mercurio inorgánico (vapores)	1	ug/m ³	Promedio aritmético de todas las muestras colectadas en 1 año	No se permite

Tabla 2. Niveles máximos aceptables de un gas contaminante dentro de un ambiente interior según normativa ecuatoriana de la calidad del aire en ambientes interiores

Fuente: [20].

Al tener conocimiento de los niveles máximos permitidos de un gas contaminante en un ambiente interior, según normativas internacionales y nacionales, para la implementación del sistema se intenta controlar los gases tales como: CO₂, CO y GLP mediante el uso de relés y programación en la RPI4

para activar sistemas de extracción de aire cuando sean requeridos, además el sistema mide temperatura y humedad.

2.5. Sensores de la clase MQ

Los sensores de la clase MQ son sensores electroquímicos: son los más usados para la detección de gases tóxicos como monóxido de carbono, cloro y óxidos de nitrógeno. Funcionan por medio de señales de electrodos cuando se detecta el gas [21].

Los sensores de gas son dispositivos que podemos conectar a una tarjeta de programación y que sirven para detectar la presencia de componentes químicos específicos en el aire, una familia de sensores muy conocida es la MQ, hay muchos tipos de sensores de gases de esta familia, cada uno está especializado en detectar uno o más componentes químicos en particular: “La serie MQ de Sensores de gas usan un pequeño calentador interno junto a un sensor electro-químico. Ellos son sensibles para un rango de gases y son usados en sitios cerrados a temperatura de cuarto” [22].



Figura 3. Partes de un sensor MQ

Fuente: [23].

- ✚ Sensor MQ-7: El sensor de gas es un semiconductor de monóxido de carbono, es adecuado para detectar concentraciones de CO en el aire. Puede detectar concentraciones de CO gas que oscilan entre 20 y 2000 ppm. Este sensor tiene una alta sensibilidad y un tiempo de respuesta rápido [21].
- ✚ Sensor MQ-135: El sensor de gas MQ135 tiene alta sensibilidad al amoníaco, sulfuro y vapor Benzeno, también sensible al humo y otros gases nocivos [21].

2.6. Sensor de temperatura LM35 y de humedad DHT11

La temperatura y la humedad dentro del consultorio odontológico se medirán por parte de los sensores LM35 Y DHT11 respectivamente.

2.6.1. Sensor de temperatura LM35

Los dispositivos LM35 permiten realizar mediciones de temperatura que constan de un circuito integrado para obtener una mejor precisión, con un voltaje de salida lineal y proporcional a la temperatura centígrada [24].

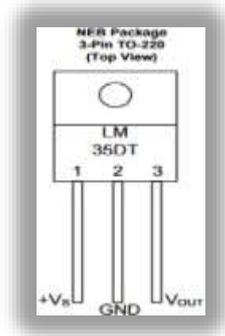


Figura 4. Partes de un sensor LM35

Fuente: [24].

2.6.2. Sensor de humedad DHT11

DHT11, Sensor de humedad atmosférica. - Tarjeta con sensor de humedad DHT11 resistivo ideal para sistemas de medición climatológicos o controles de temperatura y humedad [25].

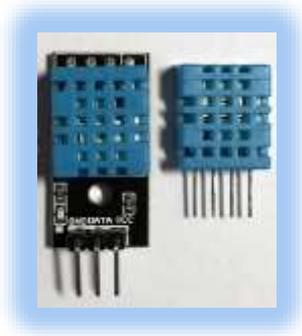


Figura 5. Sensor DHT11

Fuente: [26].

2.7. Comunicación y transmisión de datos

La comunicación y transmisión de datos se obtiene con una combinación de software, hardware, protocolos, librerías y electrónica; como hardware la Raspberry Pi 4 es ideal para el desarrollo del proyecto, ya que estas tarjetas son diseñadas para tareas de computación en tiempo real, el software utilizado es basado en GNU/LINUX la distribución debian, varios elementos electrónicos como módulos de relés para la activación de extractores de aire, un MCP 3008 que es un conversor analógico digital para la conversión de datos tomados por parte de los sensores, MQTT que es un protocolo necesario de mensajería ligero diseñado para conectarse con internet y varias librerías que permiten establecer una conexión entre el MCP3008, la Raspberry Pi 4 y los sensores para convertir los datos leídos de analógicos a digitales y visualizarlos en una aplicación web. A continuación, se detallará cada uno de los dispositivos, protocolos y librerías necesarias para la comunicación y transmisión de datos.

2.7.1. Dispositivo Raspberry Pi 4

La Raspberry Pi es una computadora de una sola placa o SBC por sus siglas en inglés (Single Board Computer). Diseñado por la fundación Raspberry Pi Foundation como un ordenador de uso general, económico y de altas prestaciones orientado a la enseñanza. Considerado como un sistema embebido debido a la integración de su arquitectura, consta de memoria RAM, Procesador y periféricos. Integrados en un solo chip o SoC por sus siglas en inglés (System on Chip) de la marca Broadcom [27].

En la *figura 6*, se visualiza los componentes que contiene la Raspberry Pi 4 modelo B.



Figura 6. Componentes de una Raspberry PI4 Modelo B

Fuente: [28].

Componentes; 1: chip de silicio, conocido como circuito integrado, mismo que tiene como su unidad central de procesamiento (CPU) y que se conjunta con su procesador gráfico (GPU); 2: Memoria RAM la cual pierde su contenido al apagar la Raspberry Pi; 3: Su Radio la cual actúa como radio Wifi y Bluetooth cubierta del logotipo de la Raspberry Pi; 4: Circuito integrado de administración de energía (PMIC); 5: Cuatro puertos USB 2.0; 6: Puerto Ethernet para conexión por cable; 7: Conector de 3.5 mm el cual es capaz de transmitir audio y video; 8: Interfaz en serie para cámara (CSI); 9: Conector HDMI para transmisión de audio y video; 10: Micro USB para conectar la Raspberry Pi a la energía eléctrica; 11: Conector de pantalla o Display Serial Interface (DSI) y 12: Tablero de 40 pines, mismos que permiten la conexión de periféricos externos como sensores de temperatura, monitores de frecuencia de pulso, entre otros [27].

2.7.2. Internet de las Cosas (IoT) y su relación con la Raspberry Pi 4

El concepto de Internet de las Cosas se define como una infraestructura global que aporta servicios basados en la interconexión de objetos, física y virtualmente, basada en tecnologías de la información y comunicación inter operables existentes y en evolución [29].

Los dispositivos del Internet de las cosas, han irrumpido en muchos hogares de forma transparente para sus usuarios, como neveras conectadas a Internet que hacen la compra si detectan la falta de algún alimento, un sistema domótico que detecte cuándo el usuario está de camino a casa para encender la calefacción, pero este concepto no solo se aplica a ambientes de hogar, también se ha explicado antes a ambientes laborales, industriales, entre otros, usando por ejemplo sensores para indicar la calidad del aire, medidores de acidez de la tierra, o sensores en bosques para detectar fuego en tiempo real [29].

2.7.3. Conexiones posibles con IoT

Las principales conexiones en el IoT son: people to people (P2P), machine to people (M2P) y machine to machine (M2M) [30].

En este proyecto de investigación se considera emplear una conexión M2M ya que es un concepto de telecomunicaciones que permite el establecimiento de algún tipo de conexión entre dos máquinas para una transmisión de datos de monitorización y control en su forma más simple y centrada en el

hardware y software en exclusiva, el concepto de M2M engloba las tecnologías, dispositivos y protocolos usados para realizar la conexión entre las máquinas [29].

2.7.4. Protocolo MQTT

El protocolo MQTT (Message Queue Telemetry Transport) se trata de un protocolo de mensajería asíncrona, usado en el ámbito de las comunicaciones machine-to-machine (M2M), en el campo de IoT (Internet de las cosas). Su funcionamiento se basa en el intercambio de mensajes mediante el modelo de publicación y suscripción [31].

2.7.5. Modelo Publicación/suscripción

El modelo publicación y suscripción funciona a través de la conexión a un nodo central, llamado broker, por parte de los clientes. Tanto para el envío de los mensajes, como para su posterior recepción, ambos se suscriben a un topic donde se disponen los mensajes, convirtiendo así este modelo en un modelo no-bloqueante [31].

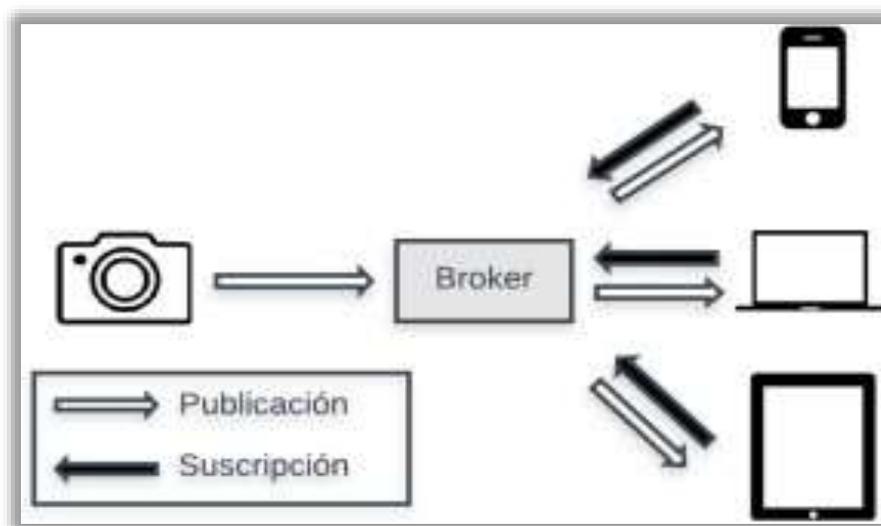


Figura 7. Ejemplo modelo suscripción/publicación

Fuente: [31].

2.7.5.1. Cliente MQTT

Los suscriptores y los publicadores, son cada uno de ellos un cliente MQTT. Un cliente MQTT puede ser tanto suscriptor como publicador, o ambos a la vez [31].

La ventaja que tienen los clientes MQTT es la facilidad de implementación, y al ser un protocolo ligero, el hardware no es un problema, ya que un cliente puede ser desde un ordenador hasta cualquier otro dispositivo como un microcontrolador [31].

2.7.5.2. Broker MQTT

El broker MQTT se trata del servidor encargado de la distribución de los mensajes a los receptores. El broker recibe los mensajes, hace un chequeo del topic al que están suscritos y los encamina hacia los clientes suscritos a este topic. El broker nos brinda la posibilidad de que los mensajes sean persistentes, es decir, que se guarden los mensajes hasta que el cliente al que va dirigido se conecte [31].

El broker MaQiaTTo es el óptimo para el desarrollo de aplicaciones con IoT.

MaQiaTTo es un agente de mensajes MQTT gratuito y en línea listo para usar por desarrolladores de IoT. Eso significa que no necesitará comprar una instancia en la nube para acceder a su bróker desde cualquier ubicación, ni instalar bibliotecas o herramientas para el subsistema de mensajería. Fue totalmente desarrollado para desarrolladores de IoT por desarrolladores de IoT que ya han abordado los problemas de comunicación basados en la nube en diferentes plataformas [32].

2.7.6. Heroku en conjunto con GitHub para el desarrollo de una plataforma web



Figura 8. Logo plataforma de desarrollo colaborativa GitHub

Fuente: [31].

GitHub: es una plataforma de desarrollo colaborativo que permite alojar, revisar el código, administrar proyectos y crear software junto con una gran comunidad de desarrolladores [33]

En GitHub se podrá alojar o subir el repositorio del escritorio remoto a la plataforma de GitHub, con el fin de integrar a Heroku, es decir, que la plataforma GitHub permite la integración de otras plataformas como Heroku para realizar diferentes acciones como el control y calidad del código para su respectiva visualización del código en una aplicación web por parte de Heroku.



Figura 9. Logo plataforma de servicio en la nube Heroku

Fuente: [31].

Heroku: Es una plataforma como servicio en la nube que permite a los desarrolladores, equipos de trabajo y empresas implementar, administrar y escalar aplicaciones web [33].

Características de Heroku: entre las principales se tiene:

- ✚ Heroku Runtime: ejecuta las aplicaciones dentro de contenedores inteligentes en un entorno de tiempo de ejecución completamente administrado [33].
- ✚ Escalabilidad: permite escalar en un instante tanto de forma vertical como horizontal [33].
- ✚ Complementos: ayuda a extender, mejorar y administrar las aplicaciones con servicios pre-integrados como MongoDB, SendGrid, ClearDB MySQL, entre otros [33].
- ✚ Integración GitHub: permite que cada solicitud de extracción se convierta en una aplicación de revisión desechable para la prueba [33].
- ✚ Contenedores inteligentes: todas las aplicaciones se ejecutan en contenedores inteligentes (dynos) que facilitan la supervisión, parcheo y actualización del sistema [33].

2.7.7. Conversor analógico-digital MCP3008

El convertidor analógico-digital transmite los datos a la Raspberry Pi utilizando la interfaz de datos serie SPI de la misma. Posee 8 entradas analógicas y una única salida digital, por la cual salen los datos en serie [34].



Figura 11. Módulo de 4 relés

Fuente: [36].

CAPÍTULO III.

3. METODOLOGÍA.

3.1. Tipo de investigación

Existen diferentes tipos de investigación científica, se catalogan de diferentes maneras según la aplicación del estudio.

3.1.1. Enfoque de la investigación

El proceso de investigación se concentra en las mediciones numéricas, utiliza la observación del proceso en forma de recolección de datos y los analiza para llegar a responder sus preguntas de investigación. Este enfoque utiliza los análisis estadísticos. Se da a partir de la recolección, la medición de parámetros, la obtención de frecuencias y estadígrafos (representación gráfica de datos obtenidos) de la población [37].

3.1.2. Alcance de la investigación

Del mismo modo, es importante emplear la investigación cuantitativa experimental, este tipo de investigación es de gran importancia en el estudio, ya que en el estudio se van a manipular variables dependientes e independientes, de esta manera, podemos analizar datos y entender los fenómenos que causan la mala calidad del aire en interiores para poder mejorar de cierta forma la calidad de vida de las personas, disminuir las enfermedades provocadas por mala calidad del aire en el país y obtener un mejor rendimiento en los trabajadores de una organización e incluso en el hogar con modernos sistemas de extracción de aire para cierto tipo de contaminantes.

La investigación documental es el principal punto de partida para una investigación científica, esta investigación se apoyará en estudios realizados respecto a la calidad del aire para entender varios fenómenos que ocasionan una mala calidad de aire en interiores.

3.2. Diseño de la investigación

En el presente proyecto de investigación se utiliza la investigación aplicada, debido a que en esta investigación se utiliza la experiencia del investigador y estos conocimientos los aplica en estudios de campo, por ende, la investigación de campo es fundamental en este estudio, el sistema se

implementó en un consultorio odontológico ubicado en la zona norte de la ciudad de Quito en el sector de Las Casas, en este consultorio se monitorearon gases en valores de ppm según la norma de la calidad del aire en Ecuador, con el uso de dicha información podremos identificar los factores que afectan a dicha construcción con el fin de brindar una solución ya sea mediante ventilación automática con el uso de filtros, ventiladores o extractores de aire.

3.3. Métodos y Técnicas de investigación

3.3.1. Métodos de la investigación

El método de investigación analítica se empleó en este proyecto, este considera analizar las causas que provocan una mala calidad del aire en el interior del consultorio odontológico, la información obtenida por parte de los sensores relacionada con la calidad del aire en ambientes interiores y sus normativas, con el fin de realizar un prototipo de monitoreo que se someta a pruebas experimentales para evaluar y mejorar la calidad del aire en el interior del ambiente estudiado.

3.3.2. Técnicas de recolección de datos

Para la recopilación de la información se hará el uso de la técnica de recolección de datos: *Observación experimental*, mediante esta técnica se recolectó información referente a la calidad del aire en el interior del consultorio odontológico, fue necesario, obtener varias tomas de datos en varias horas del día, los datos que se obtuvieron por medio de los sensores son primarios debido a que se tomaron varias mediciones para después ser analizadas y dar un respectivo control mediante sistemas de ventilación o extracción de aire.

Para la recolección de los datos, estos se obtendrán mediante programación en la Raspberry Pi 4 permitiendo guardar los datos obtenidos por los sensores en un archivo de texto, esos datos se tratarán en el software estadístico SPSS para comprobar su validez y confiabilidad.

Para el desarrollo de la investigación se realizará la recolección de datos para dos casos, el primer caso se recopilará datos de los gases para monitorear las áreas afectadas, el segundo caso se hará la recolección de datos con sistemas de extracción de aire. Los datos se tratarán en el capítulo de resultados y discusión.

3.3.3. Instrumentos de recolección de datos

Como instrumentos de recolección de datos, los sensores de la clase MQ y la tarjeta Raspberry Pi, son de gran importancia debido a que en la tarjeta se puede programar los sensores para obtener información de los parámetros relacionados con la calidad del aire en el interior del consultorio odontológico, además estos dos elementos de recolección de datos se conectan con IoT, obteniendo los valores al instante y visualizándolos en una plataforma web, los datos obtenidos vienen a ser fuentes de información primaria, ya que son datos que provienen directamente de la muestra de la población.

De cierta forma, en esta investigación se comparte fuentes de información secundaria debido a que los datos que se obtendrán se compararán con datos establecidos de la NECA, dando veracidad y objetividad al tema planteado, el análisis y procesamiento de la información obtenida por parte de fuentes informativas primarias y secundarias, estará incluida en la programación del sistema propuesto.

3.4. Población y muestra

3.4.1. Población

En este proyecto de investigación se definirá como población a los diferentes niveles de concentración de los gases en ppm (porcentaje por millón) como CO₂, CO y GLP, estos están relacionados con la calidad del aire en interiores, se propone estudiarlos en un consultorio odontológico ubicado en la ciudad de Quito en el barrio de Las casas, sector ubicado en medio de mucho tráfico vehicular y circulación de personas.

3.4.2. Muestra

En este punto se realizará una muestra aleatoria en el consultorio odontológico San Gregorio que está ubicado en Las Casas en la ciudad de Quito, se aplicará el monitoreo de los gases en 4 diferentes zonas del consultorio odontológico: sala de espera, sala de cirugía, sala de desinfección, oficina, una vez ubicados los sensores en estos puntos y al ser analizados los factores que afectan a la calidad del aire interior se hará uso de sistemas de ventilación de tipo mecánica con tecnología IoT, así llegando a controlar los gases a un nivel permisible para el ser humano.

En el presente proyecto de investigación se recolectaron 91 muestras de niveles de concentración en ppm de cada gas contaminante como: CO2, CO y GLP, estas muestras son tomadas en cada área del consultorio odontológico.

3.4.3. Cálculo de la muestra

Para una población infinita, la fórmula del tamaño de la muestra es la que muestra a continuación.

$$n = \left(\frac{Z_{\alpha/2} * \sigma}{e} \right)^2 \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

n = Tamaño de la muestra para una población infinita

σ = Desviación estándar

$Z_{\alpha/2}$ = Valor crítico

e = Error de estimación máximo aceptado

Nivel de confianza	α	Valor crítico, $Z_{\alpha/2}$
90 %	0,10	1,645
95 %	0,05	1,96
99 %	0,01	2,575

Tabla 3. Niveles de confianza y significación para determinar el cálculo de la muestra

Fuente: [37].

Antes de determinar el tamaño de la muestra, es necesario, calcular la desviación estándar, se utiliza la siguiente fórmula:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(X-\bar{X})^2}{n-1}} \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

σ = Desviación estándar

x = valor de gas medido

\bar{X} = media

n = número de datos

Para obtener el valor de la desviación estándar es necesario realizar mediciones de prueba.

Mediciones de prueba de CO2		
N	valor en ppm	$(X - \bar{X})^2$
1	340,82	0,07541
2	340,32	0,05079
3	340,42	0,01572
4	340,54	0,0002
5	340,82	0,07541
6	340,26	0,08144
7	340,31	0,05540
8	340,72	0,03049
9	340,29	0,06522
10	340,69	0,02091
11	340,26	0,08144
12	340,82	0,07541
13	340,82	0,07541
	\bar{X}	340,54
	$\sum (X - \bar{X})^2$	0,7031

Tabla 4. mediciones prueba para determinar el tamaño de la muestra

Fuente: Autor

Al determinar la sumatoria de las mediciones de prueba que en este caso es de 0,7031, se calcula la desviación estándar que es de 0,2421, en el presente proyecto de investigación se estableció un nivel de confianza del 95% y un α de 0,05, según la *tabla 3*, se escoge un valor crítico de 1,96.

$$\sigma = \sqrt{\frac{0,7031}{13 - 1}}$$

$$\sigma = 0,2421$$

Con los valores de σ y el valor crítico, se podrá calcular el tamaño de la muestra para el estudio de la calidad del aire en el interior del consultorio odontológico.

$$n = \left(\frac{1,96 * 0,2421}{0,05} \right)^2$$

$$n = 90,03$$

Se obtiene un valor de tamaño de muestra de 90,03 lecturas del sensor para cada gas estudiado.

3.5. Hipótesis y variables

3.5.1. Hipótesis

El diseño de un sistema de monitoreo de las variables relacionadas con la calidad del aire (CO, CO2 y GLP) en el interior del consultorio odontológico San Gregorio, antes y después de la incorporación de sistemas de extracción de aire con tecnología IoT los niveles de concentración de cada variable son distintos.

Se realiza la prueba de hipótesis de medias independientes respecto de cada variable en cada zona del consultorio odontológico mediante el software estadístico IBM SPSS.

3.5.2. Operacionalización de variables

3.5.3. Variable Independiente

Diseño e implementación de un sistema de monitoreo de la calidad del aire.

3.5.4. Variable Dependiente

Mejoramiento de la calidad del aire en el interior de un consultorio odontológico empleando tecnología IoT.

VARIABLE INDEPENDIENTE	CONCEPTO	INDICADORES	INSTRUMENTOS
Diseño e implementación de un sistema de monitoreo de la calidad del aire.	Capacidad del sistema de monitoreo para interpretar las diferentes variables existentes relacionadas con la calidad del aire en interiores a través de los sensores.	Niveles de medición de los gases en partes por millón (ppm): CO2, CO, GLP, varios tipos de humos.	Sensores, Análisis y procesamiento de la calidad del aire con sensores.
VARIABLE DEPENDIENTE	CONCEPTO	INDICADORES	INSTRUMENTOS

Mejoramiento de la calidad del aire en el interior de un consultorio odontológico empleando tecnología IoT.	La finalidad del mejoramiento de la calidad del aire es activar los sistemas de ventilación o extracción de aire mediante tecnología IoT cuando sean requeridos.	Mejoramiento de la calidad del aire en interiores (Efectividad del sistema)	Raspberry Pi 4, Sistemas de ventilación o extracción de aire, Tecnología IoT.
---	--	---	---

Tabla 5. Operacionalización de variables del proyecto de investigación

Fuente: Autor

3.6. Escenario de prueba

3.6.1. Diseño del prototipo en el software de simulación PROTEUS

Para determinar la viabilidad del sistema de monitoreo para mejorar la calidad del aire en el interior de un consultorio odontológico, es necesario, realizar una simulación del sistema en el software PROTEUS, el objetivo de la simulación es evaluar el sistema en un ambiente virtual, con la finalidad de mejorar la eficiencia del sistema, reducir costos, mejorar la calidad del prototipo, acortar el lapso de tiempo en la implementación del prototipo, proyectar escenarios excesivos en niveles de contaminación de la calidad del aire.

Dentro de la simulación se utiliza potenciómetros para obtener valores en niveles de concentración (ppm), un sensor lm35 para la temperatura y un sensor dht11 para la humedad, cabe mencionar que los datos obtenidos por los potenciómetros como: CO, CO2 y GLP se comparan con mediciones obtenidas por parte del instrumento para detectar gases GX-3R Pro de RKI Instruments, al comparar los datos de la aplicación con el instrumento se obtiene un 87,6% en similitud, en la programación dentro de la RPI4 se obtiene valores en ppm de CO para el potenciómetro MQ7 y en el caso del potenciómetro MQ135 otra que indicará mediciones de CO2 y GLP, la finalidad de poner potenciómetros activos dentro de la simulación es poder manipular las variables a un nivel alto o bajo, con estos valores sean elevados o mínimos de los contaminantes se podrá llegar a controlar un ambiente mediante extractores de aire. *Ver anexo A1: figura 21.*

Los potenciómetros dentro de la simulación indican a los sensores que se usarán en la implementación dentro del consultorio odontológico, estos sensores según la hoja de cálculo, miden varios gases en un mismo sensor por lo cual se tendrá que usar una fórmula matemática en la

programación para poder separar los gases independientemente de cada sensor y obtener un valor por cada gas estudiado, estos valores de los gases vienen en escala logarítmica y cada gas se comporta de manera diferente según el gráfico, una vez separado cada gas se hará un cálculo capaz de convertir los gases que están en forma exponencial y logarítmica en un valor de medida de concentración de gases que sería ppm (cálculo de porcentaje por millón de gases). *Ver anexo A2.*

3.6.2. Implementación del prototipo en el interior del consultorio odontológico

Para el desarrollo del proyecto, se propone realizar la implementación de un sistema de monitoreo para mejorar la calidad del aire en interior de un consultorio odontológico utilizando el diagrama de bloques que se indica en la *figura 12*.



Figura 12. Diagrama de bloques de las etapas del desarrollo del proyecto

Fuente: Autor

Se ha propuesto aplicar varias etapas que se describirán según la imagen propuesta.

3.6.3. ETAPA 1: La recolección de información

hará uso de un broker MQTT gratuito en el web conocido como MaQiaTTo, el cual establecerá conexión entre la Raspberry Pi 4 - Internet.

En este proyecto de investigación se establecerán 3 clientes MQTT y un broker MQTT, el primer cliente sería la tarjeta Raspberry Pi 4 que en conjunto con el conversor analógico a digital MCP3008 y los sensores, se encargará de publicar los datos obtenidos por los sensores en el broker MaQiaTTo, el segundo cliente MQTT se encargará de establecer una plataforma de gestión o página web mediante el uso de heroku y github, trabajará como publicador y suscriptor, y como tercer cliente se contará con un teléfono móvil o una laptop para recibir los datos de la plataforma de gestión y mostrar los datos al usuario mediante una página web atractiva y entendible. En la *figura 14* se puede apreciar lo mencionado anteriormente.

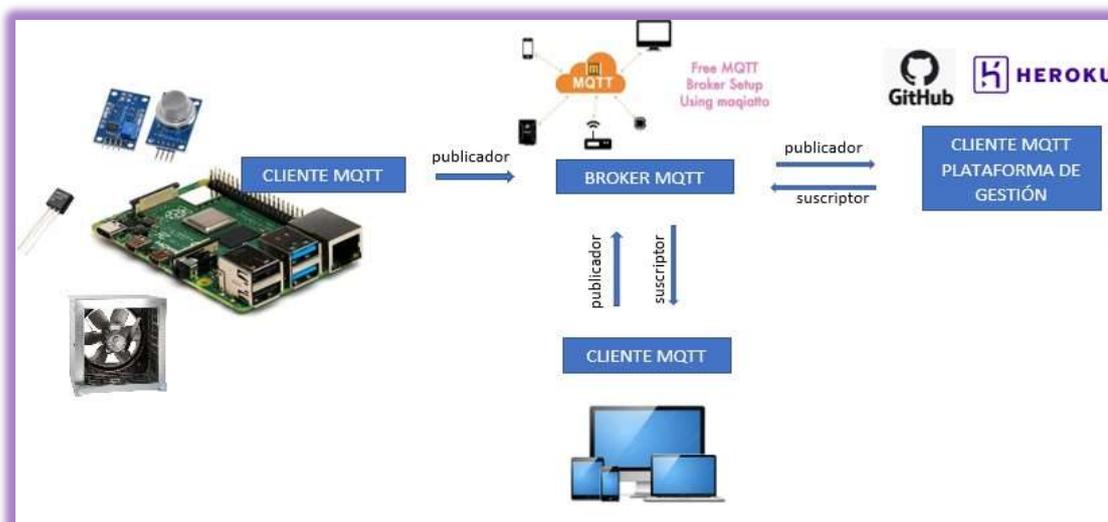


Figura 14. Explicación del broker MQTT y clientes MQTT

Fuente: Autor

Para que este proceso se lleve a cabo es necesario programar en la tarjeta Raspberry PI 4 los comandos necesarios para que se conecte con el broker MaQiaTTo y pueda realizar el intercambio de información en tiempo real, programación *ver en anexo B*, se debe tener en cuenta que para visualizar los datos es necesario la creación de una plataforma web (plataforma de gestión) que se tratará en la etapa 3.

3.6.5. ETAPA 3: diseño de la aplicación web

En primer lugar, se hará el uso de la plataforma GitHub, en esta plataforma se procederá a subir los archivos código fuente (carpetas, imágenes, códigos) creando un repositorio remoto, es decir, esta aplicación almacenará los archivos de código permitiendo una integración con otra plataforma para la gestión y control de los archivos de código, en caso de que la aplicación web no funcione se podrá recurrir al código fuente que está en GitHub para una nueva integración en Heroku. *Ver anexo C1: Figura 21.*

Al alojar los archivos necesarios en la plataforma GitHub se podrá integrar con la plataforma de servicio en la nube Heroku, permitiendo visualizar los archivos contenidos en GitHub en un enlace web entregado por Heroku, además dentro de los archivos contenidos en GitHub hay líneas código que permite la integración con el broker MaQuiaTTo para la visualización de datos en tiempo real. *Ver anexo C2: Figura 23.*

En el diseño propuesto, en la aplicación web se podrá visualizar la información obtenida mostrando valores en niveles de concentración ppm, para los gases CO₂, CO, GLP, humo (estaño, tabaco, entre otros), humedad y valores de temperatura, estos valores se visualizarán en tiempo real en la página web de Heroku.

Se hará el empleo de un celular o un ordenador portátil para que el usuario pueda ver los datos de medición al instante, la tarjeta Raspberry Pi debe estar conectada a internet y configurado el servidor MQTT para la visualización de datos. *Ver anexo C3: Figura 24.*

3.6.6. ETAPA 4: sistemas de ventilación o extracción de manera automatizada

En esta etapa se empleará sistemas para ayudar a mejorar la calidad del aire en el interior del consultorio odontológico, al analizar varios tipos de gases que están presentes en el interior de un área de trabajo, se logró determinar que el área de cirugía y el área de desinfección son las más contaminadas.

Por medio de sistemas de extracción de aire en el área de desinfección y el área de cirugía se tratará de disminuir los gases que estén ocasionando una mala calidad del aire en el interior del ambiente. *Ver anexo D: figura 25 y figura 26.*

Para determinar el valor en unidad de ppm del monóxido de carbono (CO) y el valor del GLP (benceno) es necesario recurrir a la *ecuación 3*.

$$\text{valor en ppm} = \frac{24,45 \cdot \text{valor en mg/3}}{\text{masa molecular de la sustancia}} \quad \text{Ecuación 3}$$

En el caso del monóxido de carbono (CO) según la NECA para una concentración máxima permitida en un ambiente interior es de 30 mg/m³, al hacer uso de la *ecuación 3* se obtiene un valor de 26,18 ppm, para el GLP (Benceno) con un valor de 5 mg/m³ se calcula un valor de 4,36 ppm y en el caso del dióxido de carbono (CO₂) según la normativa ASHRAE el valor en ppm es de 500 ppm.

Se detectaron niveles excesivos de gases en el área de cirugía con un valor máximo de 611,23 ppm para el caso del dióxido de carbono (CO₂), el valor de 33,56 ppm para el monóxido de carbono (CO) y en el área de desinfección niveles de contaminación de 800,04 ppm para el caso del dióxido de carbono (CO₂) y el valor de 37,56 ppm para el monóxido de carbono (CO) llegando a contaminar el ambiente en el interior del consultorio odontológico, ya que superan el nivel permitido por la norma ecuatoriana relacionada con la calidad del aire en interiores. El prototipo final del sistema de monitoreo y control de la calidad del aire en el interior del consultorio odontológico se podrá apreciar de mejor manera en la *figura 15*.

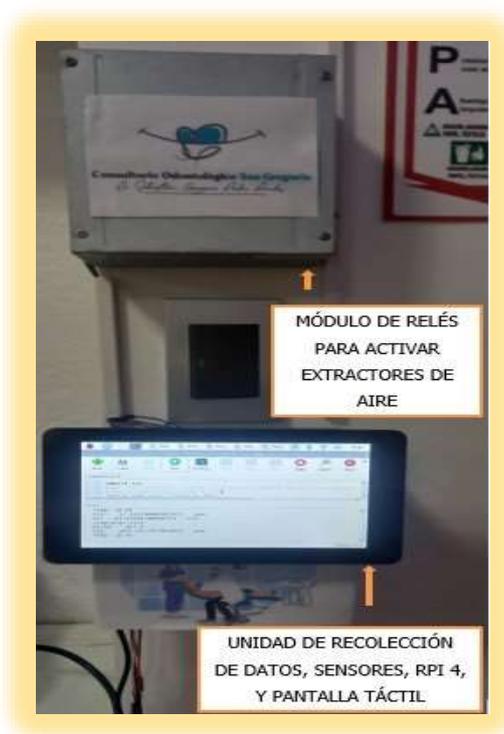


Figura 15. Prototipo final implementado en el consultorio odontológico San Gregorio de la ciudad de Quito

Fuente: Autor

3.7. Métodos de análisis

Para el análisis de los datos, en primer lugar se realizó el monitoreo de los gases contaminantes sin sistemas de extracción de aire, este método se aplicó para comparar las medias entre las muestras y obtener datos de niveles máximos y mínimos del CO₂, CO y GLP en cada área del consultorio odontológico, con el fin de identificar zonas con mayor contaminación, en segundo lugar se realizó una prueba estadística T student a los datos obtenidos con sistemas de extracción de aire en puntos estratégicos, esta prueba lo que hace es analizar los datos obtenidos del antes y después de la incorporación de los extractores de aire para reconocer si existe algún cambio en la calidad del aire, estas pruebas estadísticas se efectuaron mediante el software estadístico IBM SPSS.

3.8. Procesamiento de datos

Para el análisis y procesamiento de los datos obtenidos por parte de los sensores con ayuda del software IBM SPSS Statistic se podrá obtener gráficos y tablas para comprobar la hipótesis planteada en cada gas contaminante.

CAPÍTULO IV.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Análisis e Interpretación de datos

Para el análisis e interpretación de los valores en ppm obtenidos por parte de los sensores, en primer lugar, se realiza el monitoreo de los gases en las 4 áreas del consultorio odontológico: desinfección, cirugía, espera y oficina, en segundo lugar, una vez ubicadas las áreas contaminadas se procede a la instalación de sistemas de extracción de aire, luego se analiza los datos obtenidos por los sensores para saber si existe una disminución de estos gases contaminantes en el área afectada.

4.2. Monitoreo de los gases con tecnología IoT

Para la interpretación de datos obtenidos en las diferentes zonas del consultorio odontológico se tomaron 91 muestras para cada gas en cada zona del consultorio, estos valores se detallan en la *tabla 6*.

N	H1			H2			H3			H4		
	CO2	CO	GLP									
1	340,82	22,65	3,11	381,18	21,02	2,34	131,71	15,58	1,21	132,67	17,80	1,45
2	320,64	21,63	2,64	194,29	6,09	1,02	145,66	16,30	1,45	236,38	20,24	2,25
3	107,25	14,29	1,00	381,18	21,02	2,34	131,71	16,30	1,45	283,66	22,80	3,14
4	107,25	14,21	1,10	394,74	22,96	2,67	160,87	17,04	1,45	322,66	24,56	3,77
5	340,82	22,65	2,11	421,29	28,86	1,02	180,45	17,04	1,22	376,67	24,80	4,66
6	320,64	21,63	2,64	381,18	21,02	2,34	406,96	26,82	4,31	308,23	23,00	3,44
7	340,82	22,65	2,11	194,29	6,09	1,02	526,71	31,20	5,84	236,38	20,24	2,25
8	320,64	21,63	1,64	406,96	26,82	3,99	580,67	29,27	2,07	308,23	22,00	3,44
9	381,18	21,02	2,34	412,22	27,34	2,01	215,09	19,40	1,89	236,38	20,24	2,25
10	194,29	6,09	1,02	390,60	22,90	2,66	180,45	17,04	1,22	223,48	18,64	1,98
11	88,07	2,74	0,58	406,96	26,82	3,99	215,09	19,40	2,07	223,48	18,64	1,98
12	194,29	6,09	1,02	412,22	27,34	1,01	526,71	31,20	5,84	381,18	21,02	2,34
13	194,29	6,09	1,02	411,23	27,67	2,09	526,71	31,20	5,84	194,29	6,09	1,02
14	131,71	15,58	1,21	194,29	6,09	1,02	406,96	26,82	4,31	308,23	23,00	3,44
15	131,71	15,58	1,21	145,60	16,30	1,33	312,45	25,33	4,31	306,96	23,82	4,31
16	107,25	14,29	1,00	145,66	16,02	1,32	402,34	26,03	4,33	180,45	17,04	1,22
17	107,25	14,21	0,91	406,97	25,80	3,69	312,45	25,33	4,31	131,71	15,58	1,21
18	131,71	15,58	1,21	527,71	30,06	2,00	320,64	21,63	6,64	131,71	15,58	1,21
19	131,71	15,58	1,21	311,65	24,80	2,89	381,18	21,02	2,34	311,65	24,80	2,89
20	107,25	14,29	1,00	406,97	25,80	3,69	194,29	6,09	1,02	211,23	21,67	4,09
21	340,82	22,65	2,11	381,18	21,02	2,34	381,18	21,02	2,34	311,65	24,80	2,89
22	320,64	21,63	2,64	194,29	6,09	1,02	406,96	22,96	2,67	236,97	23,80	3,69
23	381,18	21,02	2,34	131,71	15,58	1,21	406,96	28,86	4,02	408,23	26,00	3,44
24	194,29	6,09	1,02	230,34	18,45	2,87	381,18	21,02	2,34	311,65	24,80	2,89
25	88,07	2,74	0,58	226,23	17,93	3,10	406,96	22,96	2,67	236,38	20,24	2,25
26	194,29	6,09	1,02	194,29	6,09	1,02	406,96	28,86	4,02	198,23	18,00	3,44
27	194,29	6,09	1,02	131,71	15,58	1,21	381,18	21,02	2,34	381,18	21,02	2,34
28	88,07	2,74	0,58	230,34	18,45	2,87	611,89	30,06	2,67	194,29	6,09	1,02
29	194,29	6,09	1,02	381,18	21,02	2,34	528,90	28,86	4,02	381,18	21,02	2,34
30	381,18	21,02	2,34	406,96	22,96	2,67	381,18	21,02	2,34	381,18	21,02	2,34

31	194,29	6,09	1,02	406,96	28,86	1,02	230,34	18,45	2,87	394,74	22,96	2,67
32	194,29	6,09	1,02	381,18	21,02	2,34	411,23	27,67	4,09	321,29	22,86	4,02
33	88,07	2,74	0,58	406,96	22,96	2,67	406,96	22,96	2,67	381,18	21,02	2,34
34	194,29	6,09	1,02	406,96	28,86	2,02	406,96	28,86	4,02	206,96	22,96	2,67
35	194,29	6,09	1,02	381,18	21,02	2,34	381,18	21,02	2,34	236,96	22,86	4,02
36	131,71	15,58	1,21	406,96	22,96	2,67	406,96	22,96	2,67	321,29	23,86	4,02
37	131,71	15,58	1,21	456,67	28,86	3,02	406,96	28,86	4,02	381,18	21,02	2,34
38	107,25	14,29	1,00	411,23	27,67	2,09	411,23	27,67	4,09	194,29	6,09	1,02
39	107,25	14,21	0,91	411,23	27,67	2,09	340,82	22,65	1,11	381,18	21,02	2,34
40	131,71	15,58	1,21	381,18	21,02	2,34	320,64	21,63	2,64	381,18	21,02	2,34
41	131,71	15,58	1,21	194,29	6,09	1,02	381,18	21,02	2,34	289,96	22,96	2,67
42	107,25	14,29	1,00	381,18	21,02	2,34	381,18	21,02	2,34	206,96	22,86	4,02
43	340,82	22,65	2,11	194,29	6,09	1,02	406,96	22,96	2,67	222,66	23,56	1,77
44	320,64	21,63	1,64	131,71	15,58	1,21	406,96	28,86	4,02	276,67	24,80	2,66
45	381,18	21,02	2,34	230,34	18,45	2,87	381,18	21,02	2,34	222,66	23,56	2,77
46	107,25	14,29	1,00	483,66	25,80	3,14	406,96	22,96	2,67	376,67	25,80	4,66
47	107,25	14,21	0,91	381,18	21,02	2,34	406,96	28,86	4,02	381,18	21,02	2,34
48	131,71	15,58	1,21	406,96	22,96	2,67	381,18	21,02	2,34	194,29	6,09	1,02
49	131,71	15,58	1,21	406,96	28,86	2,02	406,96	22,96	2,67	381,18	21,02	2,34
50	381,18	21,02	2,34	411,23	27,67	3,09	406,96	28,86	4,02	381,18	21,02	2,34
51	194,29	6,09	1,02	230,34	18,45	2,87	411,23	27,67	4,09	206,96	22,96	2,67
52	381,18	21,02	2,34	483,66	25,80	3,14	406,96	28,86	3,02	226,96	22,86	4,02
53	194,29	6,09	1,02	230,34	18,45	2,87	411,23	27,67	3,09	230,34	18,45	2,87
54	381,18	21,02	2,34	483,66	25,80	3,14	230,34	18,45	2,87	131,71	15,58	1,21
55	230,34	18,45	2,87	230,34	18,45	2,87	381,18	21,02	2,34	107,25	14,29	1,00
56	194,29	6,09	1,02	411,23	27,67	1,09	406,96	22,96	2,67	340,82	22,65	1,11
57	381,18	21,02	2,34	381,18	21,02	2,34	406,96	28,86	3,02	320,64	21,63	2,64
58	230,34	18,45	2,87	406,96	22,96	2,67	230,34	18,45	2,87	381,18	21,02	2,34
59	194,29	6,09	1,02	466,78	28,86	2,02	230,34	18,45	2,87	230,34	18,45	2,87
60	381,18	21,02	2,34	411,23	27,67	2,09	381,18	21,02	2,34	122,66	18,56	3,77
61	230,34	18,45	2,87	476,67	25,80	3,66	194,29	6,09	1,02	376,67	23,80	4,06
62	230,34	18,45	2,87	408,23	26,00	3,44	230,34	18,45	2,87	306,96	22,96	2,67
63	230,34	18,45	2,87	230,34	18,45	2,87	411,23	27,67	3,09	406,96	28,86	4,02
64	381,18	21,02	2,34	131,71	15,58	1,21	131,71	15,58	1,21	230,34	18,45	2,87
65	194,29	6,09	1,02	107,25	14,29	0,44	107,25	14,29	1,00	211,23	21,67	4,09
66	381,18	21,02	2,34	340,82	22,65	2,11	340,82	22,65	2,11	230,34	18,45	2,87
67	194,29	6,09	1,02	320,64	21,63	1,64	320,64	21,63	3,64	230,34	18,45	2,87
68	88,07	2,74	0,58	381,18	21,02	2,34	381,18	21,02	2,34	381,18	21,02	2,34
69	194,29	6,09	1,02	436,75	22,65	3,11	406,96	28,86	4,02	266,96	22,96	2,67
70	194,29	6,09	1,02	320,64	21,63	2,64	800,04	37,56	2,77	276,96	21,86	4,02
71	88,07	2,74	0,58	381,18	21,02	2,34	676,67	27,80	4,03	230,34	18,45	2,87
72	194,29	6,09	1,02	381,18	21,02	2,34	406,96	28,86	4,02	122,66	23,56	3,77
73	381,18	21,02	2,34	406,96	22,96	2,67	622,66	33,56	2,77	276,67	24,80	4,66
74	194,29	6,09	1,02	485,65	28,86	2,02	476,67	25,80	4,00	251,18	21,02	2,34
75	194,29	6,09	1,02	611,23	33,56	3,44	406,96	28,86	4,02	206,96	22,96	2,67
76	88,07	2,74	0,58	578,56	27,80	2,66	381,18	21,02	2,34	206,96	21,86	4,02
77	194,29	6,09	1,02	400,01	26,03	2,87	406,96	22,96	2,67	230,34	18,45	2,87
78	194,29	6,09	1,02	230,34	18,45	2,87	406,96	28,86	4,02	131,71	15,58	1,21
79	131,71	15,58	1,21	137,34	15,58	1,10	622,66	33,56	,77	107,25	14,29	1,00
80	131,71	15,58	1,21	215,09	21,10	2,25	476,67	25,80	1,16	340,82	22,65	4,11
81	107,25	14,29	1,00	381,18	21,02	2,34	340,82	22,65	3,11	320,64	21,63	3,64
82	194,29	6,09	1,02	194,29	6,09	1,02	320,64	21,63	1,64	381,18	21,02	2,34
83	381,18	21,02	2,34	131,71	15,58	1,21	381,18	21,02	2,34	340,82	22,65	3,11
84	194,29	6,09	1,02	230,34	18,45	2,87	230,34	18,45	2,87	320,64	21,63	3,64
85	131,71	15,58	1,21	226,23	17,93	3,10	381,18	21,02	2,34	381,18	21,02	2,34
86	230,34	18,45	2,87	194,29	6,09	1,02	406,96	22,96	2,67	381,18	21,02	2,34
87	226,23	17,93	3,10	131,71	15,58	1,21	406,96	28,86	4,02	106,96	17,96	2,67

88	194,29	6,09	1,02	230,34	18,45	2,87	381,18	21,02	2,34	206,96	20,86	4,02
89	131,71	15,58	1,21	476,67	25,80	2,66	406,96	22,96	2,67	222,66	23,56	2,77
90	230,34	18,45	2,87	408,23	26,00	3,44	406,96	28,86	4,02	276,67	23,80	4,66
91	131,71	15,58	1,21	145,66	16,30	1,32	230,34	18,45	2,87	230,34	18,45	2,87

Tabla 6. Datos obtenidos por parte de los sensores sin sistemas de extracción de aire

Fuente: Autor

4.2.1. Evaluación de los gases para determinar puntos de contaminación

Estimación de los gases: monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂) y benceno (GLP), en el interior del consultorio odontológico “San Gregorio” ubicado en la zona norte de la ciudad de Quito, H1: representa el área de espera para los clientes, H2: el área de cirugía, H3: área de desinfección y H4: la oficina.

Como resultado del análisis de los datos se obtuvo la *tabla 7* como estadística descriptiva, existen gases con niveles por encima de los valores permitidos por las normativas en H2 y H3, siendo H2 la sala de cirugía y H3 la sala desinfección, se encontró valores máximos de 611,23 ppm para el caso del dióxido de carbono (CO₂) y 33,56 ppm para el monóxido de carbono (CO) en la sala de cirugía H2 y en el área de desinfección H3 niveles de contaminación de 800,04 ppm para el caso del dióxido de carbono (CO₂) y de 37,56 ppm para el monóxido de carbono (CO), con estos valores se determina que existe mala calidad del aire en el interior del consultorio odontológico, ya que el CO y CO₂ superan el nivel permitido por la norma ecuatoriana relacionada con la calidad del aire en interiores.

Además, se puede determinar que existe un excedente de benceno (GLP) en la zona de desinfección con valores máximos de 6,64 ppm, superando el nivel permitido que es 4,66 ppm por las normas que regulan la calidad del aire en ambientes interiores.

		Descriptivos							
		N	Medi a	Desv. Desvia ción	Desv. Error	95% del intervalo de confianza para la media		Míni mo	Máxi mo
						Límite inferio r	Límite superio r		
CO ₂	H1	91	210,0 986	97,163 83	10,185 54	189,86 32	230,33 39	88,07	381,1 8

	H2	91	331,6 030	119,80 369	12,558 84	306,65 26	356,55 33	107,2 5	611,2 3
	H3	91	371,8 820	122,53 489	12,845 15	346,36 29	397,40 11	107,2 5	800,0 4
	H4	91	271,5 511	84,768 70	8,8861 7	253,89 72	289,20 50	106,9 6	408,2 3
	Total	364	296,2 837	123,14 382	6,4544 9	283,59 08	308,97 65	88,07	800,0 4
CO	H1	91	13,36 18	6,6981 7	0,7021 6	11,966 8	14,756 7	2,74	22,65
	H2	91	20,95 53	6,5196 2	0,6834 4	19,597 5	22,313 1	6,09	33,56
	H3	91	23,52 88	5,4226 6	0,5684 5	22,399 5	24,658 1	6,09	37,56
	H4	91	20,64 68	4,1375 7	0,4337 3	19,785 1	21,508 5	6,09	28,86
	Total	364	19,62 32	6,8961 6	0,3614 6	18,912 3	20,334 0	2,74	37,56
GLP	H1	91	1,504 8	0,7397 4	0,0775 5	1,3508	1,6589	0,58	3,11
	H2	91	2,259 2	0,8363 7	0,0876 8	2,0850	2,4334	0,44	3,29
	H3	91	2,927 9	1,1767 6	0,1233 6	2,6828	3,1730	0,77	6,64
	H4	91	2,794 0	0,9850 4	0,1032 6	2,5888	2,9991	1,00	4,26
	Total	364	2,371 5	1,0985 5	0,0575 8	2,2583	2,4847	0,44	6,64

Tabla 7. Análisis descriptivo de los datos referidos al monitoreo de los gases contaminantes en el consultorio odontológico

Fuente: Autor

4.3. Monitoreo de los gases con sistemas de extracción de aire

Una vez ubicadas las zonas y gases con niveles de contaminación, se colocó extractores de aire en puntos estratégicos en la zona de cirugía y la zona de desinfección, se tomaron 91 muestras de cada gas en las dos zonas para evaluar la calidad del aire.

N	H2			H3		
	CO2	CO	GLP	CO2	CO	GLP

1	340,82	22,65	3,11	132,67	17,80	1,45
2	320,64	21,63	2,64	236,38	20,24	2,25
3	107,25	14,29	1,00	283,66	22,80	1,14
4	107,25	14,21	1,10	322,66	24,56	2,77
5	340,82	22,65	2,11	376,67	24,80	2,66
6	320,64	21,63	2,64	308,23	23,00	3,44
7	340,82	22,65	2,11	236,38	20,24	2,25
8	320,64	21,63	1,64	308,23	22,00	3,44
9	381,18	21,02	2,34	236,38	20,24	2,25
10	194,29	6,09	1,02	223,48	18,64	1,98
11	88,07	2,74	0,58	223,48	18,64	1,98
12	194,29	6,09	1,02	381,18	21,02	2,34
13	194,29	6,09	1,02	194,29	6,09	1,02
14	131,71	15,58	1,21	308,23	23,00	1,44
15	131,71	15,58	1,21	306,96	23,82	2,31
16	107,25	14,29	1,00	180,45	17,04	1,22
17	107,25	14,21	0,91	131,71	15,58	1,21
18	131,71	15,58	1,21	131,71	15,58	1,21
19	131,71	15,58	1,21	311,65	24,80	2,89
20	107,25	14,29	1,00	211,23	21,67	2,09
21	340,82	22,65	2,11	311,65	24,80	2,89
22	320,64	21,63	2,64	236,97	23,80	1,69
23	381,18	21,02	2,34	311,65	24,80	2,89
24	194,29	6,09	1,02	411,23	24,00	1,44
25	88,07	2,74	0,58	236,38	20,24	2,25
26	194,29	6,09	1,02	198,23	18,00	1,44
27	194,29	6,09	1,02	381,18	21,02	2,34
28	88,07	2,74	0,58	194,29	6,09	1,02
29	194,29	6,09	1,02	381,18	21,02	2,34
30	381,18	21,02	2,34	381,18	21,02	2,34
31	194,29	6,09	1,02	394,74	22,96	2,67
32	194,29	6,09	1,02	321,29	22,86	2,02
33	88,07	2,74	0,58	381,18	21,02	2,34
34	194,29	6,09	1,02	206,96	22,96	2,67
35	194,29	6,09	1,02	236,96	22,86	2,02
36	131,71	15,58	1,21	321,29	23,86	1,02
37	131,71	15,58	1,21	381,18	21,02	2,34
38	107,25	14,29	1,00	194,29	6,09	1,02
39	107,25	14,21	0,91	381,18	21,02	2,34
40	131,71	15,58	1,21	381,18	21,02	2,34
41	131,71	15,58	1,21	289,96	22,96	2,67
42	107,25	14,29	1,00	206,96	22,86	2,02
43	340,82	22,65	2,11	222,66	23,56	1,77
44	320,64	21,63	1,64	276,67	24,80	2,66
45	381,18	21,02	2,34	222,66	23,56	2,77
46	107,25	14,29	1,00	376,67	24,81	1,66
47	107,25	14,21	0,91	381,18	21,02	2,34
48	131,71	15,58	1,21	194,29	6,09	1,02
49	131,71	15,58	1,21	381,18	21,02	2,34
50	381,18	21,02	2,34	381,18	21,02	2,34
51	194,29	6,09	1,02	206,96	22,96	2,67
52	381,18	21,02	2,34	226,96	22,86	1,02
53	194,29	6,09	1,02	230,34	18,45	2,87
54	381,18	21,02	2,34	131,71	15,58	1,21
55	230,34	18,45	2,87	107,25	14,29	1,00
56	194,29	6,09	1,02	340,82	22,65	1,11
57	381,18	21,02	2,34	320,64	21,63	2,64

58	230,34	18,45	2,87	381,18	21,02	2,34
59	194,29	6,09	1,02	230,34	18,45	2,87
60	381,18	21,02	2,34	122,66	18,56	1,77
61	230,34	18,45	2,87	376,67	23,80	1,06
62	230,34	18,45	2,87	306,96	22,96	2,67
63	230,34	18,45	2,87	406,96	25,86	2,02
64	381,18	21,02	2,34	230,34	18,45	2,87
65	194,29	6,09	1,02	211,23	21,67	1,09
66	381,18	21,02	2,34	230,34	18,45	2,87
67	194,29	6,09	1,02	230,34	18,45	2,87
68	88,07	2,74	0,58	381,18	21,02	2,34
69	194,29	6,09	1,02	266,96	22,96	2,67
70	194,29	6,09	1,02	276,96	21,86	1,02
71	88,07	2,74	0,58	230,34	18,45	2,87
72	194,29	6,09	1,02	122,66	23,56	1,77
73	381,18	21,02	2,34	276,67	24,80	1,66
74	194,29	6,09	1,02	251,18	21,02	2,34
75	194,29	6,09	1,02	206,96	22,96	2,67
76	88,07	2,74	0,58	206,96	21,86	2,02
77	194,29	6,09	1,02	230,34	18,45	2,87
78	194,29	6,09	1,02	131,71	15,58	1,21
79	131,71	15,58	1,21	107,25	14,29	1,00
80	131,71	15,58	1,21	340,82	22,65	2,11
81	107,25	14,29	1,00	320,64	21,63	2,64
82	194,29	6,09	1,02	381,18	21,02	2,34
83	381,18	21,02	2,34	340,82	22,65	1,11
84	194,29	6,09	1,02	320,64	21,63	1,64
85	131,71	15,58	1,21	381,18	21,02	2,34
86	230,34	18,45	2,87	381,18	21,02	2,34
87	226,23	17,93	2,10	106,96	17,96	2,67
88	194,29	6,09	1,02	206,96	20,86	3,02
89	131,71	15,58	1,21	222,66	23,56	2,77
90	230,34	18,45	2,87	276,67	23,80	2,66
91	131,71	15,58	1,21	230,34	18,45	2,87

Tabla 8. Datos obtenidos por parte de los sensores con sistemas de extracción de aire

Fuente: Autor

4.3.1. Evaluación de los gases con sistemas de extracción de aire

4.3.1.1. Prueba de Hipótesis de la variable CO2 EN H2

Al realizar la prueba de hipótesis de medias independientes respecto de la variable CO2 en H2 (área de cirugía)

✚ Hipótesis nula (H_0)

$$H_0: \mu_1 = \mu_2$$

Donde:

μ_1 es la media de los datos obtenidos en nivel de concentración ppm del CO2 en H2 sin incorporar extractores de aire y μ_2 es la media del CO2 en ppm con la implementación de sistemas de extracción de aire.

✚ Hipótesis alternativa (H_1)

$$H_1: \mu_1 \neq \mu_2$$

Prueba de muestras independientes										
		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	Gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
									Inferior	Superior
CO2	Se asumen varianzas iguales	10,162	0,000	7,514	180	0,000	121,50440	16,17002	89,59721	153,41158
	No se asumen varianzas iguales			7,514	172,642	0,000	121,50440	16,17002	89,58800	153,42079

Tabla 9. Prueba T student para igualdad de medias del CO2 en H2 en el software SPSS

Fuente: Autor

Como P_valor es igual a $0,000 < 0,05$ entonces se rechaza la hipótesis nula y se aprueba la hipótesis alternativa, es decir, que la media de la concentración de CO2 en H2 (sala de cirugía) antes y después de la incorporación de sistemas de extracción de aire son distintas.

✚ Discusión

c					
	H2	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
CO2	Antes	91	331,6030	119,80369	12,55884
	Después	91	210,0986	97,16383	10,18554

Tabla 10. Estadísticas de grupo para el CO2 en H2

Fuente: Autor

La media antes de incorporar sistemas para extracción de aire es de 331,6030 ppm y después de 210,0986 ppm, es decir, que existe un cambio al implementar estos sistemas, con un 63,35% de mejora en la calidad del aire.

$$\frac{210,0986}{331,6030} * 100 = 63,35\%$$

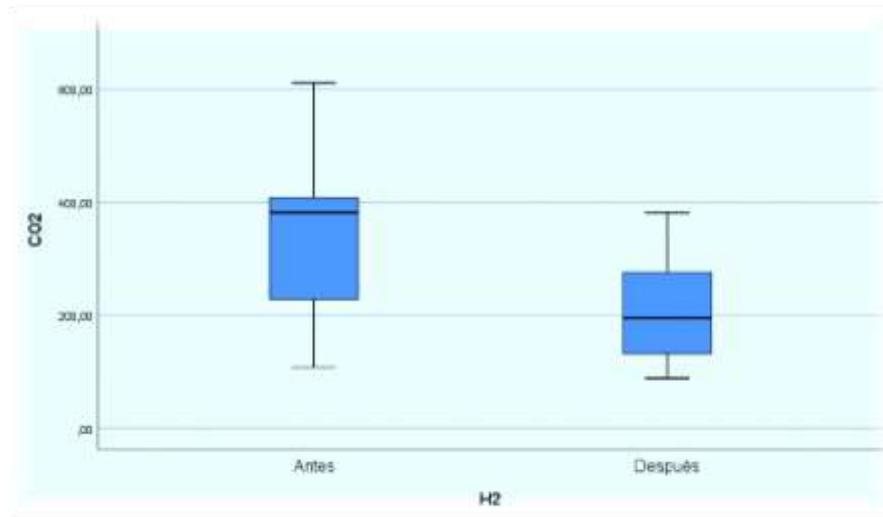


Figura 16. Diagrama de cajas de la variable CO2 EN H2, antes y después de incorporar extractores de aire

Fuente: Autor

En la figura 16, se evidencia que la dispersión de valores tomados después de incorporar sistemas de extracción de aire es menor y mucho más estable que los valores tomados antes de implementar sistemas de extracción de aire de la variable CO2 en H2.

4.3.1.2. Prueba de Hipótesis de la variable CO EN H2

Al realizar la prueba de hipótesis de medias independientes respecto de la variable CO en H2 (área de cirugía)

✚ Hipótesis nula (H_0)

$$H_0: \mu_1 = \mu_2$$

Donde:

μ_1 es la media de los datos obtenidos en nivel de concentración ppm del CO en H2 sin incorporar extractores de aire y μ_2 es la media del CO en ppm con la implementación de sistemas de extracción de aire.

✚ Hipótesis alternativa (H_1)

$$H_1: \mu_1 \neq \mu_2$$

Prueba de muestras independientes										
		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
									Inferior	Superior
CO	Se asumen varianzas iguales	3,410	,066	7,632	180	0,000	7,47901	0,98000	5,54525	9,41277
	No se asumen varianzas iguales			7,632	179,872	0,000	7,47901	0,98000	5,54524	9,41278

Tabla 11. Prueba T student para igualdad de medias del CO en H2 en el software SPSS

Fuente: Autor

Como P_valor es igual a $0,000 < 0,05$ entonces se rechaza la hipótesis nula y se aprueba la hipótesis alternativa, es decir, que la media de la concentración de CO en H2 (sala de cirugía) antes y después de la incorporación de sistemas de extracción de aire son distintas.

✚ Discusión

Estadísticas de grupo					
	H2	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
CO	Antes	91	20,8408	6,52153	,68364
	Después	91	13,3618	6,69817	,70216

Tabla 12. Estadísticas de grupo para el CO en H2

Fuente: Autor

La media antes de incorporar sistemas para extracción de aire es de 20,8408 ppm y después de 13,3618 ppm, es decir, que existe un cambio al implementar estos sistemas, con un 64,11% de mejora en la calidad del aire.

$$\frac{13,3618}{20,8408} * 100 = 64,11\%$$

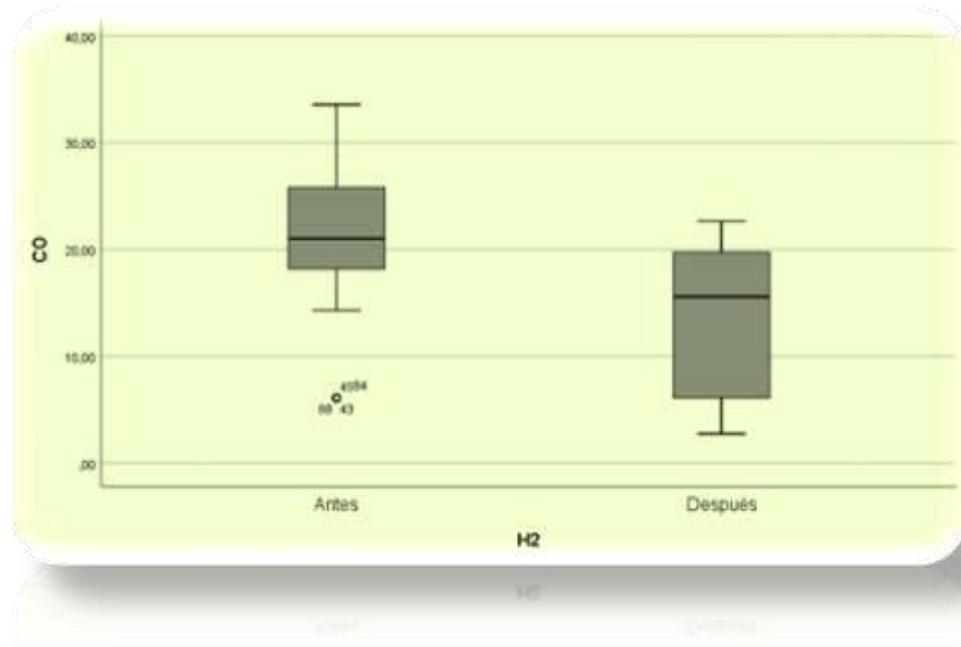


Figura 17. Diagrama de cajas de la variable CO EN H2, antes y después de incorporar extractores de aire

Fuente: Autor

En la *figura 17*, se evidencia que la dispersión de valores tomados después de incorporar sistemas de extracción de aire es menor y mucho más estable que los valores tomados antes de implementar sistemas de extracción de aire de la variable CO en H2.

4.3.1.3. Prueba de Hipótesis de la variable CO2 EN H3

Al realizar la prueba de hipótesis de medias independientes respecto de la variable CO2 en H2 (área de desinfección)

✚ Hipótesis nula (H_0)

$$H_0: \mu_1 = \mu_2$$

Donde:

μ_1 es la media de los datos obtenidos en nivel de concentración ppm del CO₂ en H3 sin incorporar extractores de aire y μ_2 es la media del CO₂ en ppm con la implementación de sistemas de extracción de aire.

✚ Hipótesis alternativa (H_1)

$$H_1: \mu_1 \neq \mu_2$$

Prueba de muestras independientes										
		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
									Inferior	Superior
C O 2	Se asumen varianzas iguales	1,445	,231	6,420	180	0,000	100,29791	15,62252	69,47108	131,12475
	No se asumen varianzas iguales			6,420	160,147	0,000	100,29791	15,62252	69,44519	131,15063

Tabla 13. Prueba T student para igualdad de medias del CO₂ en H3 en el software SPSS

Fuente: Autor

Como P_valor es igual a $0,000 < 0,05$ entonces se rechaza la hipótesis nula y se aprueba la hipótesis alternativa, es decir, que la media de la concentración de CO₂ en H3 (sala de desinfección) antes y después de la incorporación de sistemas de extracción de aire son distintas.

✚ Discusión

Estadísticas de grupo					
	H3	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio

CO 2	Antes	91	371,882 0	122,53489	12,84515
	Después	91	271,584 1	84,82301	8,89187

Tabla 14. Estadísticas de grupo para el CO2 en H3

Fuente: Autor

La media antes de incorporar sistemas para extracción de aire es de 371,8820 ppm y después de 271,5841 ppm, es decir, que existe un cambio al implementar estos sistemas, con un 73,02% de mejora en la calidad del aire.

$$\frac{271,5841}{371,8820} * 100 = 73,02\%$$

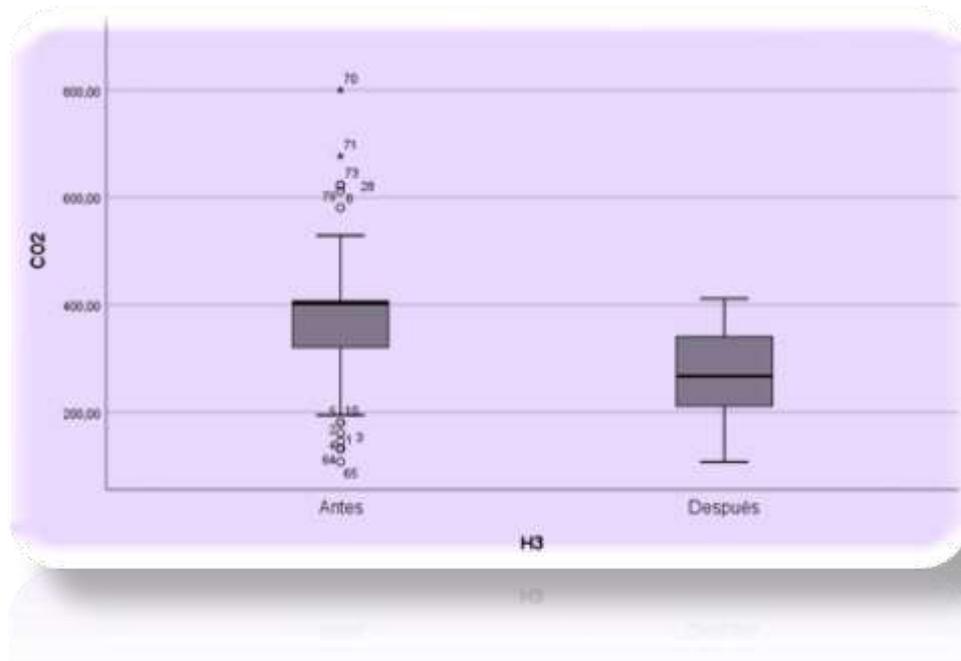


Figura 18. Diagrama de cajas de la variable CO2 EN H3, antes y después de incorporar extractores de aire

Fuente: Autor

En la figura 18, se evidencia que la dispersión de valores tomados después de incorporar sistemas de extracción de aire es menor y mucho más estable que los valores tomados antes de implementar sistemas de extracción de aire de la variable CO2 en H3.

4.3.1.4. Prueba de Hipótesis de la variable CO EN H3

Al realizar la prueba de hipótesis de medias independientes respecto de la variable CO en H3 (área de desinfección)

✚ Hipótesis nula (H_0)

$$H_0: \mu_1 = \mu_2$$

Donde:

μ_1 es la media de los datos obtenidos en nivel de concentración ppm del CO en H3 sin incorporar extractores de aire y μ_2 es la media del CO en ppm con la implementación de sistemas de extracción de aire.

✚ Hipótesis alternativa (H_1)

$$H_1: \mu_1 \neq \mu_2$$

Prueba de muestras independientes										
		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
									Inferior	Superior
C O	Se asumen varianzas iguales	11,471	,001	4,156	180	0,000	2,94780	,70925	1,54828	4,34732
	No se asumen varianzas iguales			4,156	166,502	0,000	2,94780	,70925	1,54751	4,34809

Tabla 15. Prueba T student para igualdad de medias del CO en H3 en el software SPSS

Fuente: Autor

Como P_valor es igual a $0,000 < 0,05$ entonces se rechaza la hipótesis nula y se aprueba la hipótesis alternativa, es decir, que la media de la concentración de CO en H3 (sala de desinfección) antes y después de la incorporación de sistemas de extracción de aire son distintas.

✚ Discusión

Estadísticas de grupo					
	H3	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
CO	Antes	91	23,5288	5,42266	0,56845
	Después	91	20,5810	4,04618	0,42416

Tabla 16. Estadísticas de grupo para el CO en H3

Fuente: Autor

La media antes de incorporar sistemas para extracción de aire es de 23,5288 ppm y después de 20,5810 ppm, es decir, que existe un cambio al implementar estos sistemas, con un 87,47% de mejora en la calidad del aire.

$$\frac{20,5810}{23,5288} * 100 = 87,47\%$$

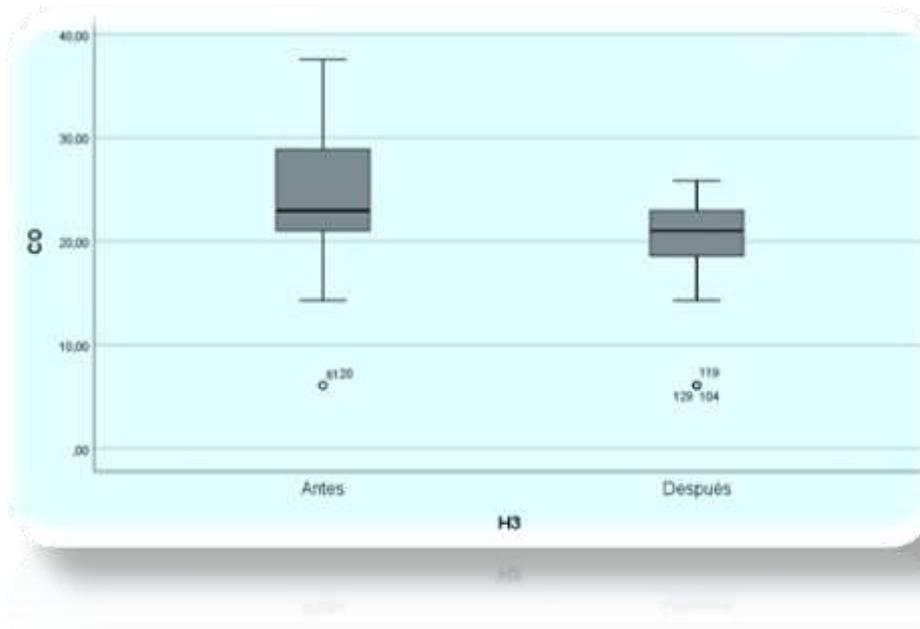


Figura 19. Diagrama de cajas de la variable CO EN H3, antes y después de incorporar extractores de aire

Fuente: Autor

En la figura 19, se evidencia que la dispersión de valores tomados después de incorporar sistemas de extracción de aire es menor y mucho más estable que los valores tomados antes de implementar sistemas de extracción de aire de la variable CO en H3.

4.3.1.5. Prueba de Hipótesis de la variable GLP EN H3

Al realizar la prueba de hipótesis de medias independientes respecto de la variable GLP en H3 (área de desinfección)

✚ Hipótesis nula (H_0)

$$H_0: \mu_1 = \mu_2$$

Donde:

μ_1 es la media de los datos obtenidos en nivel de concentración ppm del GLP en H3 sin incorporar extractores de aire y μ_2 es la media del GLP en ppm con la implementación de sistemas de extracción de aire.

✚ Hipótesis alternativa (H_1)

$$H_1: \mu_1 \neq \mu_2$$

Prueba de muestras independientes										
		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
									Inferior	Superior
GLP	Se asumen varianzas iguales	17,223	,000	5,750	180	0,000	,81527	,14179	,53550	1,09505
	No se asumen varianzas iguales			5,750	142,394	0,000	,81527	,14179	,53500	1,09555

Tabla 17. Prueba T student para igualdad de medias del GLP en H3 en el software SPSS

Fuente: Autor

Como P_valor es igual a $0,000 < 0,05$ entonces se rechaza la hipótesis nula y se aprueba la hipótesis alternativa, es decir, que la media de la concentración de GLP en H3 (sala de desinfección) antes y después de la incorporación de sistemas de extracción de aire son distintas.

✚ Discusión

Estadísticas de grupo					
	H3	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
GL	Antes	91	2,9279	1,17676	0,12336
P	Después	91	2,1126	0,66681	0,06990

Tabla 18. Estadísticas de grupo para el GLP en H3

Fuente: Autor

La media antes de incorporar sistemas para extracción de aire es de 2,9279 ppm y después de 2,1126 ppm, es decir, que existe un cambio al implementar estos sistemas, con un 72,15% de mejora en la calidad del aire.

$$\frac{2,1126}{2,9279} * 100 = 72,15\%$$

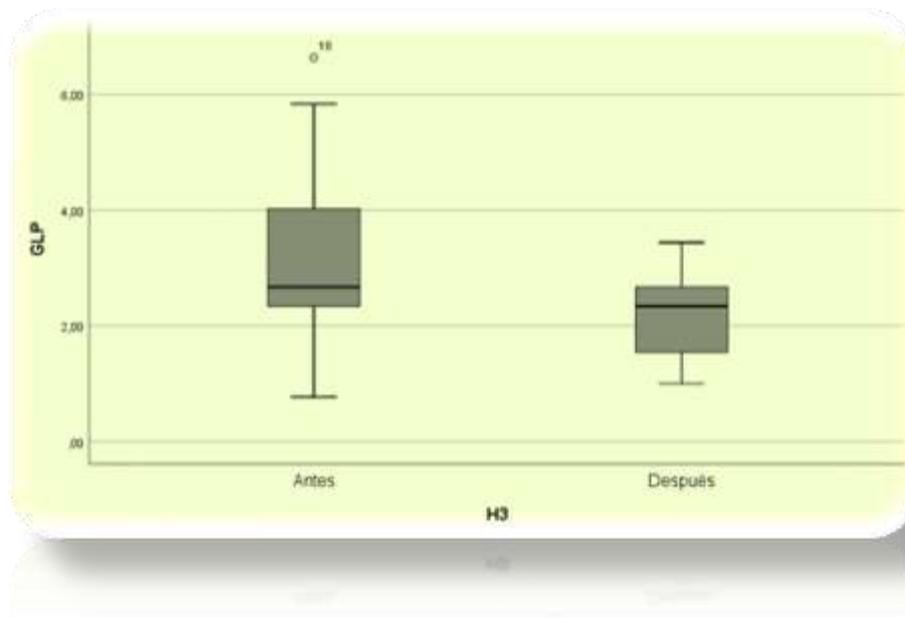


Figura 20. Diagrama de cajas de la variable GLP EN H3, antes y después de incorporar extractores de aire

Fuente: Autor

En la figura 20, se evidencia que la dispersión de valores tomados después de incorporar sistemas de extracción de aire es menor y mucho más estable que los valores tomados antes de implementar sistemas de extracción de aire de la variable GLP en H3.

CAPÍTULO V.

5. CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- ✚ Se hallaron valores máximos de 611,23 ppm para el caso del dióxido de carbono (CO₂) y 33,56 ppm para el monóxido de carbono (CO) en la zona de cirugía H2, en el área de desinfección (H3) se encontraron niveles de contaminación de 800,04 ppm para el caso del dióxido de carbono (CO₂), 37,56 ppm para el monóxido de carbono (CO) y de 6,44 ppm para el caso del GLP llegando a determinar que existe una mala calidad del aire en el área de cirugía (H2), optando por la incorporación de sistemas de extracción de aire activados mediante relés de manera automática en puntos estratégicos.
- ✚ Siendo la hipótesis general: Un sistema de monitoreo de las variables relacionadas con la calidad del aire (CO, CO₂, GLP) en el interior del consultorio odontológico San Gregorio antes y después de la incorporación de sistemas de extracción de aire con tecnología IoT, los niveles de concentración de la calidad del aire son distintos, la que infiere con la prueba estadística T student, para el caso del CO₂ en H2 (área de cirugía) se obtuvo un valor de probabilidad de 0,000, en donde se rechaza la hipótesis nula y se aprueba la hipótesis alternativa, es decir, que la media de la concentración de CO₂ en H2 antes y después de la incorporación de sistemas de extracción de aire son distintas, observando un mejoramiento en la calidad del aire de un 63,35%.
- ✚ En el caso del CO en H2 se obtuvo un valor de probabilidad de 0,000 según el análisis estadístico T student en el software SPSS, en donde se rechaza la hipótesis nula y se aprueba la hipótesis alternativa, es decir, que la media de la concentración de CO en H2 antes y después de la incorporación de sistemas de extracción de aire son distintas, observando un mejoramiento en la calidad del aire de un 64,11%.
- ✚ En el caso del CO₂ en H3 (área de desinfección) se obtuvo un valor de probabilidad de 0,000 según el análisis estadístico T student en el software SPSS, en donde se rechaza la hipótesis nula y se aprueba la hipótesis alternativa, es decir, que la media de la concentración de CO₂ en H3 antes y después de la incorporación de sistemas de extracción de aire son distintas, observando un mejoramiento en la calidad del aire de un 73,02%.
- ✚ En el caso del CO en H3 se obtuvo un valor de probabilidad de 0,000 según el análisis estadístico T student en el software SPSS, en donde se rechaza la hipótesis nula y se aprueba la hipótesis alternativa, es decir, que la media de la concentración de CO en H3 antes y

después de la incorporación de sistemas de extracción de aire son distintas, observando un mejoramiento en la calidad del aire de un 87,47%.

- ✚ En el caso del GLP en H3 (área de desinfección) se obtuvo un valor de probabilidad de 0,000 según el análisis estadístico T student en el software SPSS, en donde se rechaza la hipótesis nula y se aprueba la hipótesis alternativa, es decir, que la media de la concentración de GLP en H3 antes y después de la incorporación de sistemas de extracción de aire son distintas, observando un mejoramiento en la calidad del aire de un 72,15%.
- ✚ El uso de la Raspberry Pi 4, ayuda a integrar el sistema con IoT, adquiriendo un mejor procesamiento al visualizar datos en tiempo real sin interrumpir el proceso de adquisición de datos, tiene un bajo costo, posee un sistema operativo y permite almacenar los datos obtenidos por parte de los sensores para poder analizarlos en un software estadístico.
- ✚ La finalidad de este proyecto es contribuir a investigaciones futuras en el desarrollo tanto de tecnología IoT, implementación de nuevos sistemas de ventilación o extracción de aire relacionados con calidad del aire en edificaciones nuevas, mejoramiento en la calidad de vida de las personas y la prevención de enfermedades respiratorias o cardiovasculares ocasionadas por mala calidad del aire en interior.
- ✚ El empleo de sistemas de ventilación y extracción de aire en edificaciones sin su respectivo control con sistemas de monitoreo pueden ocasionar más agravantes a la salud de las personas, ya que pueden propagar contaminantes en varias direcciones del ambiente.

5.2. Recomendaciones

- ✚ Se plantea establecer una toma de muestras más prolongadas con el fin de cubrir condiciones ambientales con mayor exigencia y de igual manera probar la estabilidad del sistema, además es necesario hacer un seguimiento al rendimiento del sensor debido a las diferentes condiciones ambientales y diferentes contaminantes presente en el consultorio odontológico.
- ✚ El empleo de sistemas con plataformas IoT permite integrar, desarrollar y trabajar con los códigos fuente almacenados, permitiendo modificar la programación para continuar con esta línea de investigación en proyectos como monitoreo del calentamiento global, casas o ciudades inteligentes, aplicaciones, entre otros.
- ✚ El sistema implementado cuenta con una caja metálica con elementos aislantes, pero no brinda protección contra polvo, agua, entre otros factores que pueden alterar el funcionamiento de los sensores o dispositivos electrónicos, provocando consecuencias como corto circuitos, datos erróneos, entre otros, por lo cual se propone hacer un estudio óptimo sobre la protección de los dispositivos en condiciones extremas.
- ✚ Para implementar un sistema más robusto se sugiere realizar un estudio del análisis del flujo de aire antes de colocar sistemas de extracción o ventilación de aire, ya que es fundamental hacer este tipo de análisis para saber cuántos extractores colocar y en qué puntos colocarlos, y de esta manera no generar más contaminación en un ambiente interior.

CAPÍTULO VI.

6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] D. Chuquilín and N. Rojas, “Calidad microbiológica del aire interior del Mercado Central de Cajamarca - 2020,” *Universidad Privada del Norte*, Feb. 2021, Accessed: Nov. 14, 2022. [Online]. Available: <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/24944>
- [2] A. J. Castillo Belalcázar and L. M. Obregón Hurtado, “Incidencia del Síndrome del Edificio Enfermo en la salud de los trabajadores de la Dirección Seccional de Impuestos y Aduanas de Buenaventura.,” Jan. 2018, Accessed: Nov. 14, 2022. [Online]. Available: <https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/handle/10893/10759>
- [3] D. M. López Meza and E. F. Mena Rueda, “Diseño e implementación de una red de sensores inalámbricos fijos y móviles para la monitorización de la calidad de aire y condiciones ambientales en espacios interiores,” 2021, Accessed: Nov. 14, 2022. [Online]. Available: <http://repositorio.espe.edu.ec/jspui/handle/21000/23804>
- [4] E. Sáez Cifre, “Análisis de la calidad de aire interior en función de la tipología de ventilación. Aplicación al prototipo E3 (edificación eco-eficiente) de la UPV,” 2017.
- [5] R. P. Gurrola and L. Rodriguez, “MEDICIÓN DE GASES, MUY BUENO TRABAJO DE GRADO,” 2015.
- [6] Burbano Yadira, “Sistema embebido móvil de reconocimiento de patrones de calidad del aire en la ciudad de Ibarra,” 2019, Accessed: Nov. 14, 2022. [Online]. Available: <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/9155>
- [7] F. Velarde, R. Mamani, and M. Andrade, “Estimation of the probability of contagion of covid-19 by aerosols in closes environments: Applications to cases in the city of la Paz, Bolivia,” *Revista Boliviana de Física*, vol. 37, no. 37, pp. 22–30, 2020, Accessed: Nov. 14, 2022. [Online]. Available: http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1562-38232020000200004&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- [8] M. Á. Daza Pérez, D. X. Martínez Benavides, and P. A. Caro Hernández, “Contaminación microbiológica del aire al interior y el síndrome del edificio enfermo,” *Biociencias, ISSN-e 2390-0512, Vol. 10, N°. 2, 2015 (Ejemplar dedicado a: BIOCIENCIAS), págs. 37-50*, vol. 10, no. 2, pp. 37–50, 2015, Accessed: Nov. 14, 2022. [Online]. Available: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5460365&info=resumen&idioma=SPA>
- [9] C. de Estadística, N. Rodriguez, and A. Jaqueline, “Análisis geoestadístico de los contaminantes atmosféricos primarios y secundario en el Distrito Metropolitano de Quito en

- el período 2012-2017,” 2019, Accessed: Nov. 14, 2022. [Online]. Available: <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/19870>
- [10] K. G. Rico Soto and G. García Navarrete, “Sensores de bajo costo para el monitoreo de la calidad del aire en la ciudad de Hermosillo, Sonora,” 2018, Accessed: Nov. 14, 2022. [Online]. Available: <http://repositorioinstitucional.uson.mx/handle/20.500.12984/2749>
- [11] C. Castiblanco Avendaño and N. Cañón Alfonso, “Prototipo de bajo costo para monitoreo de calidad del aire en ambientes interiores,” Feb. 2019, Accessed: Nov. 14, 2022. [Online]. Available: <http://repository.unipiloto.edu.co/handle/20.500.12277/4880>
- [12] D. Garnier and B. Lambert, “Sistema sensor inalámbrico para el estudio y control de la calidad del aire en interiores,” 2019. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-54212019000300440 (accessed Nov. 14, 2022).
- [13] J. L. Ramirez Bonilla, “Contaminación microbiológica del aire causado por aerosoles dentales en el consultorio odontológico del CLAS Centro de Salud San Francisco Tacna – 2016,” *Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann*, 2017, Accessed: Nov. 14, 2022. [Online]. Available: <http://repositorio.unjbg.edu.pe/handle/UNJBG/2344>
- [14] E. Boldo, “La contaminación del aire,” *La contaminación del aire*, Oct. 2016, doi: 10.4321/REPISALUD.7274.
- [15] A. E. Estrella Vera and K. J. Jibaja Contreras, “Diseño de una red de sensores inalámbricos con un sistema de detección de gas GLP en un ambiente de domótica para minimizar riesgos de accidentes e incendios.,” 2018, Accessed: Nov. 14, 2022. [Online]. Available: <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/33011>
- [16] Y. Suarez Tineo, “Factores de riesgo del dióxido de carbono (CO₂) en ambientes interiores asociados a la ventilación,” Jun. 2022, Accessed: Nov. 14, 2022. [Online]. Available: <https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/5565>
- [17] M. García, “Calidad de aire interior en oficinas y locales no industriales,” 2016. <https://repositorio.unbosque.edu.co/handle/20.500.12495/5780> (accessed Nov. 14, 2022).
- [18] I. P. Saca Morocho and D. S. Ulcuango Chicaiza, “Implementación de un dispositivo electrónico para la identificación y cuantificación de tipos de carbono en ambientes para determinar la calidad del aire en pequeñas y medianas empresas del sector de San Felipe de la ciudad de Latacunga provincia de Cotopaxi.,” 2021, Accessed: Nov. 14, 2022. [Online]. Available: <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/8086>
- [19] E. V. Mata, “Calidad de aire interior en edificios”.
- [20] M. Ródas, “Alcalde Metropolitano de Quito,” 2017, Accessed: Nov. 14, 2022. [Online]. Available: www.quitoambiente.gob.ec,

- [21] A. Florez Martinez, J. O. Vargas Flórez, H. E. Pérez Waltero, and L. F. Quintana Fuentes, “Análisis de componentes principales utilizando python para identificar clúster asociados a muestras de cacao seco sano e infectado con monilia en Norte de Santander,” *Aibi revista de investigación, administración e ingeniería*, pp. 16–22, Jun. 2020, doi: 10.15649/2346030x.712.
- [22] A. M. Rosales Morales, A. J. Delgado Fuentes, and H. J. Canales Molina, “Creación de una estación de monitoreo ambiental utilizando microcontrolador Arduino Yun y sensores electroquímicos para la realización de mediciones de monóxido de carbono, ozono y material particulado de 2.5 y 10um, presentes en el aire en la ciudad de León, con capacidad de enviar datos a través de una red para su posterior consulta en un sitio web especializado, durante el período noviembre 2017 - marzo 2018,” 2018.
- [23] T. L. Paspuel Pozo, “Sistema inteligente de alerta de incendios o fugas de gas licuado de petróleo para viviendas de adultos mayores utilizando el protocolo Lora,” Jul. 2022, Accessed: Nov. 14, 2022. [Online]. Available: <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/12613>
- [24] J. S. Correa Varas and I. G. Zavala Chacón, “Diseño e implementación de un sistema de detección y monitoreo de gas metano en una maqueta de planta de tratamiento de aguas,” 2020, Accessed: Nov. 14, 2022. [Online]. Available: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/18651>
- [25] J. Nolasco Cruz, Á. D. Zavariz Román, D. Trejo Enríquez, M. E. Tejeda Del Cueto, and M. O. Viguera Zúñiga, “Evaluación técnica de implementación de tarjeta arduino para interconexión con termopares y manómetros”.
- [26] L. del Valle Hernández, “Escoger el mejor sensor de temperatura para Arduino,” 2019.
- [27] M. A. Gonzalez Alonso, “Modelo de consumo de energía de Raspberry Pi 4 B con escalamiento de frecuencias,” 2021.
- [28] I. Pérez Tavera, “Raspberry Pi,” *Vida Científica Boletín Científico de la Escuela Preparatoria No. 4*, vol. 9, no. 17, pp. 40–41, Jan. 2021, Accessed: Nov. 14, 2022. [Online]. Available: <https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/prepa4/article/view/6655>
- [29] R. Amador Pérez, “Despliegue de Liota (Little IoT Agent) en Raspberry PI,” Jul. 2017.
- [30] C. R. Cusi Vaca and D. F. Sánchez Morocho, “Estudio y diseño de un prototipo para el monitoreo de acuarios utilizando tecnología Wifi (IEEE 802.11b/g/n) enfocada al IoT (Internet of things) mediante una plataforma Raspberry Pi y el sistema operativo Android,” Nov. 2016, Accessed: Nov. 14, 2022. [Online]. Available: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/16904>

- [31] F. Mahedero Biot, “Desarrollo de una aplicación IoT para el envío de imágenes mediante el protocolo MQTT,” Universitat Politècnica de València, 2020.
- [32] D. Fidalgo Oliveres, “Sistema IOT para el control de accidentes en carretera usando MQTT,” 2020, Accessed: Nov. 14, 2022. [Online]. Available: <https://idus.us.es/handle/11441/106942>
- [33] D. X. Landy Rivera, “Plataforma web de facturación como servicio,” 2019.
- [34] L. Oyarzun Aritz and J. M. Álvarez, “Monitorización del consumo eléctrico de un hogar: procesado de datos mediante Raspberry Pi,” 2015, Accessed: Nov. 14, 2022. [Online]. Available: <https://academica-e.unavarra.es/xmlui/handle/2454/19212>
- [35] F. Bustinza Macedo, “Diseño e implementación de un sistema de comunicación y supervisión remota usando la plataforma Raspberry Pi para el proyecto de investigación de efectividad de la luz azul en el tratamiento de la ictericia neonatal,” *Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco*, 2019, Accessed: Nov. 14, 2022. [Online]. Available: <https://repositorio.unsaac.edu.pe/handle/20.500.12918/4494>
- [36] C. González Domínguez, “Aplicaciones orientadas a la domótica con Raspberry Pi,” 2015, Accessed: Nov. 14, 2022. [Online]. Available: <https://biblus.us.es/bibing/proyectos/abreproy/90330/fichero/Memoria+TFG.pdf>
- [37] A. Otero Ortega, “Enfoques de Investigación,” 2018.

CAPÍTULO VII.

7. ANEXOS

7.1. Anexo A1: Simulación del prototipo de monitoreo de la calidad del aire.

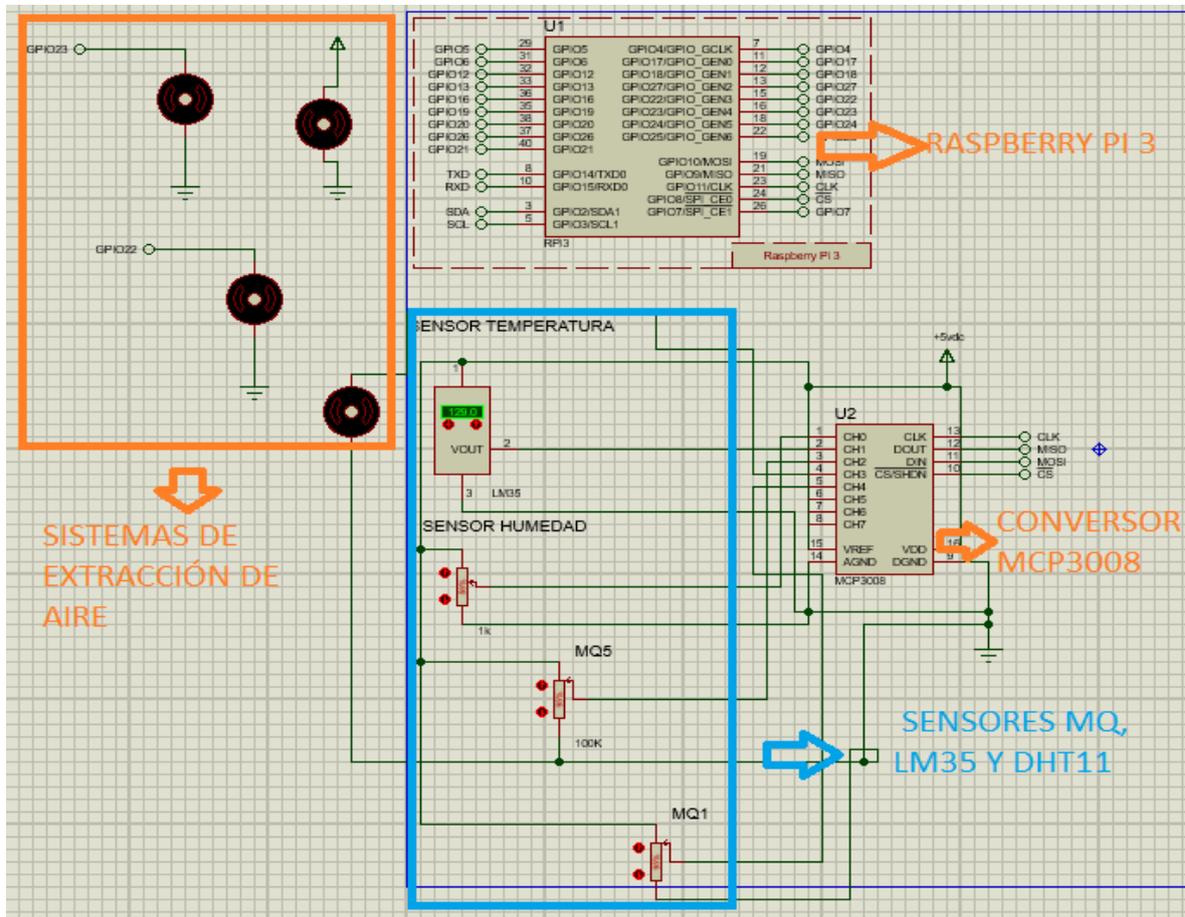


Figura 21. Diseño de un sistema para mejorar la calidad del aire en el interior de un consultorio odontológico en el software de simulación PROTEUS

Fuente: Autor

7.2. Anexo A2: Líneas código para separación de variables de los sensores MQ

```
global val
```

```
val = 0.0
```

```
for i in range(50):
```

```
    %#print (i)# take multiple samples
```

```

val += data
time.sleep(50/1000)
val = val/50
sensor_volt = (val*3.3)/float(1023)
RS_air = 5*((3.3-sensor_volt)/sensor_volt)
%#print("RS_Air "+str(RS_air))
val= val/9.83
global ro
ro = 9.8
R_ratio = $RS_air/ro$
GLP = $(math.pow(10,((math.log(R_ratio)-(1.412))/(-0.473)) ))$
print(GLP)
if GLP > 3,14 :
GPIO.output(motor1B,GPIO.HIGH)
else:
GPIO.output(motor1B,GPIO.LOW)
return GLP

```

MQCalibration

```

def mqCO(data,places):
global val2
val2 = 0.0
for i in range(50):
%#print (i)# take multiple samples
val2 += data
time.sleep(50/1000)
val2 = val2/50
print ("Rs/50: "+str(val2))
$sensor_volt2$ = $(val2*3.3)/float(1023)$
$RS_air2$ = $5*((3.3-sensor_volt2)/sensor_volt2)$
$print("RS_Air "+str(RS_air2))$
%#val= val/9.83
global ro2
ro2 = 9.8

```

```

$R_ratio2$ = $RS_air2/ro2$
CO= $(math.pow(10,((math.log(R_ratio2)-(1.31))/(-0.37))))$
print(CO)
return CO

```

7.3. Anexo B: Programación para conectar Raspberry Pi con Internet.

```

mqttc = mqtt.Client()
mqttc.on_message = on_message
mqttc.username_pw_set("stevandres123@gmail.com","esoestodo1994")
mqttc.connect("maqiatto.com", 1883)
mqttc.subscribe("stevandres123@gmail.com/test1", 0)
time.sleep(0.2)$

```

7.4. Anexo C1: Alojamiento de archivos fuente y códigos de programación en GitHub

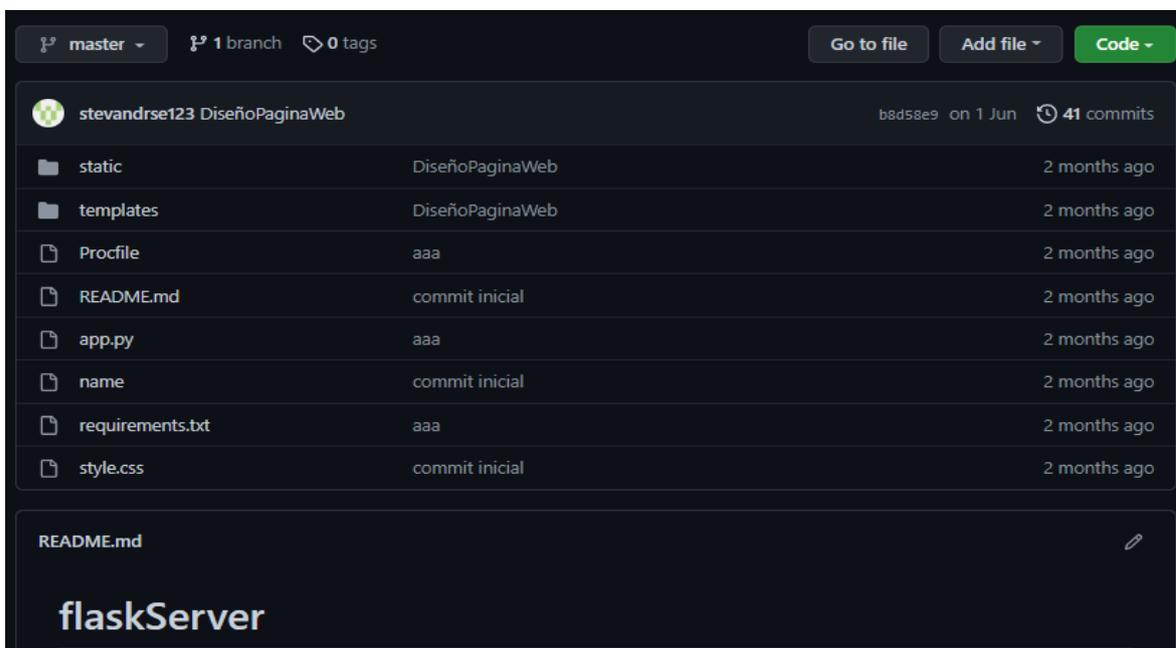


Figura 22. Repositorio subido a GitHub, plataforma que contiene los archivos y códigos fuente

Fuente: Autor

7.5. Anexo C2: Integración de archivos fuente en la plataforma Heroku.

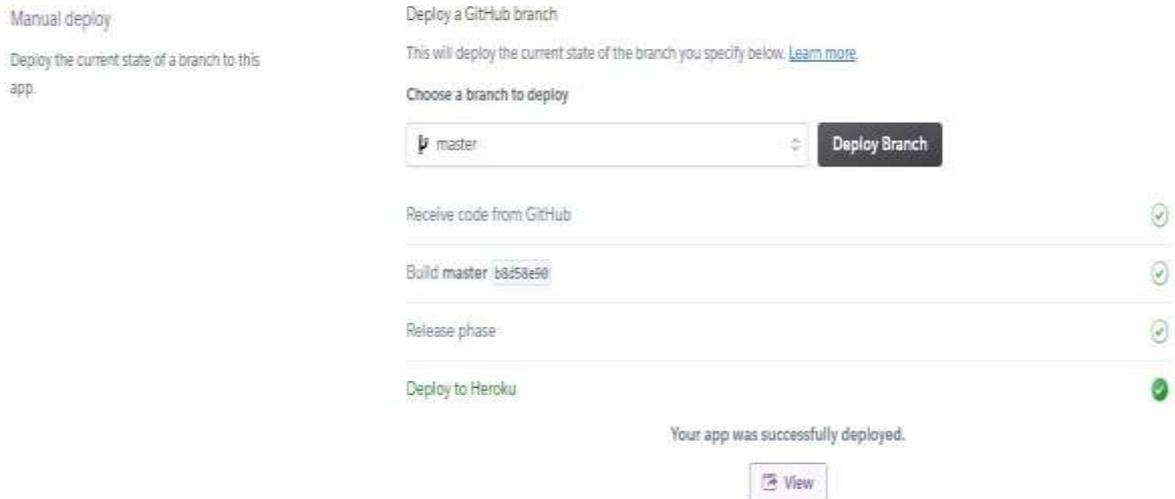


Figura 23. Heroku integrando el repositorio en GitHub para la visualización de datos en tiempo real

Fuente: Autor

7.6. Anexo C3: Pagina web creada para la visualización de datos

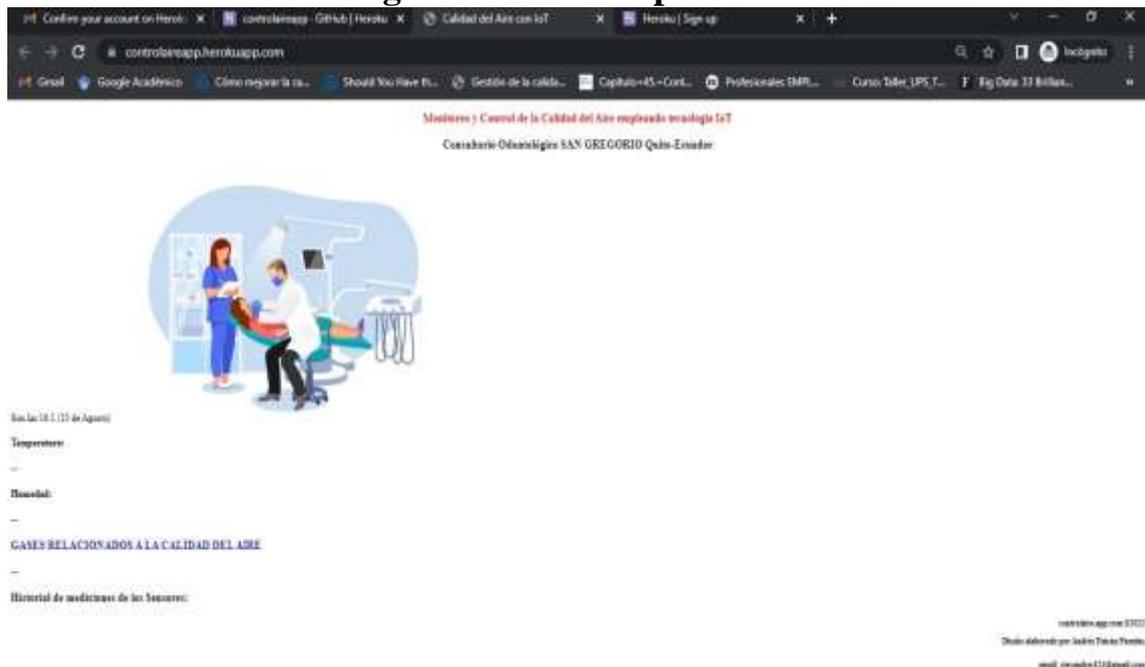


Figura 24. Visualización del diseño de la página web en heroku para la visualización de los datos medidos en tiempo real

Fuente: Autor

7.7. Anexo D: Incorporación de extractores de aire con Raspberry Pi



Figura 25. Ubicación de extractores de aire en puntos estratégicos

Fuente Autor



Figura 26. Instalación de conductos de aluminio para extracción de aire

Fuente: Autor

7.8. Anexo E: Distribución arquitectónica del consultorio odontológico San Gregorio



Figura 27. Entrada principal al consultorio odontológico, área de espera

Fuente: Autor



Figura 28. Área de cirugía, se visualiza al fondo área de desinfección a la derecha y oficina a la izquierda

Fuente: Autor



Figura 29. Área de desinfección, única ventana se visualiza al lado derecho del área

Fuente: Autor