



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL
ESCUELA DE POSGRADOS "ESPOG"

MAESTRÍA EN
ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN
Resolución: RPC-SO-09-No.265-2021

PROYECTO DE TITULACIÓN EN OPCIÓN AL GRADO DE MAGISTER

Título del proyecto:
SISTEMA IOT DE MONITOREO DE CALIDAD DE AIRE DE UNA BODEGA DE PRODUCTOS QUÍMICOS
Línea de Investigación:
Ciencias de la ingeniería aplicadas a la producción, sociedad y desarrollo sustentable
Campo amplio de conocimiento:
Ingeniería, industria y construcción
Autor/a:
Quinaloa Ramirez Anderson Roberto
Tutor/a:
Albarracín Guarochico Wilmer Fabián

Quito – Ecuador

2024

APROBACIÓN DEL TUTOR



Yo, Wilmer Fabian Albarracin Guarochico con C.I: 1713341152 en mi calidad de Tutor del proyecto de investigación titulado: **SISTEMA IOT DE MONITOREO DE CALIDAD DE AIRE DE UNA BODEGA DE PRODUCTOS QUÍMICOS.**

Elaborado por: Anderson Roberto Quinaloa Ramirez, de C.I: 1724368897, estudiante de la Maestría en Electrónica y Automatización, de la **UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL (UISRAEL)**, como parte de los requisitos sustanciales con fines de obtener el Título de Magister, me permito declarar que luego de haber orientado, analizado y revisado el trabajo de titulación, lo apruebo en todas sus partes.

Quito D.M., 26 de marzo de 2024



Firma

C.I: 1713341152

DECLARACIÓN DE AUTORIZACIÓN POR PARTE DEL ESTUDIANTE



Yo, **Anderson Roberto Quinaloa Ramirez** con C.I: **1724368897**, autor/a del proyecto de titulación denominado: **SISTEMA DE MONITOREO IOT DE CALIDAD DE AIRE DE UNA BODEGA DE PRODUCTOS QUÍMICOS**. Previo a la obtención del título de Magister en **ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN**.

1. Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar el respectivo trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.
2. Manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Tecnológica Israel los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, artículos 4, 5 y 6, en calidad de autor@ del trabajo de titulación, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital como parte del acervo bibliográfico de la Universidad Tecnológica Israel.
3. Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de prosperidad intelectual vigentes.

Quito D.M., 9 de marzo de 2024

Firma

C.I: 1724368897

Tabla de contenidos

APROBACIÓN DEL TUTOR	2
DECLARACIÓN DE AUTORIZACIÓN POR PARTE DEL ESTUDIANTE	3
INFORMACIÓN GENERAL	5
Contextualización del tema	5
Problema de investigación	6
Objetivo general	7
Objetivos específicos	7
Vinculación con la sociedad y beneficiarios directos:	8
CAPÍTULO I: DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	9
1.1. Contextualización general del estado del arte	9
1.2. Proceso investigativo metodológico	11
CAPÍTULO II: PROPUESTA	13
2.1 Fundamentos teóricos aplicados	13
2.2 Descripción de la propuesta	19
2.3 Validación de la propuesta	31
2.4 Matriz de articulación de la propuesta	34
2.5 Análisis de resultados. Presentación y discusión.	36
CONCLUSIONES	43
RECOMENDACIONES	44
BIBLIOGRAFÍA	45
ANEXOS	47

Índice de figuras

Figura 1: Esquema físico ESP32 NodeMCU.....	15
Figura 2: Arduino IDE ventana de programación	16
Figura 3: Sensor BME 280 Temperatura/ Humedad / Presión	17
Figura 4: Sensor de gases MiCS-6814.....	18
Figura 5: Plataforma Ubidots STEM	19
Figura 6: Diagrama esquemático del medidor de calidad de aire	20
Figura 7: Diagrama esquemático sensor BME280y MICS6814 con ESP32 NodeMCU.....	22
Figura 8: Librerías para monitor de calidad de aire	23
Figura 9: Diagrama de flujo programa ESP32.....	24
Figura 10: Diagrama de flujo alertas Ubidots.....	25
Figura 11 : Diseño de la estructura del monitor de calidad de aire.....	26
Figura 12: Estructura de monitor impresa.....	27
Figura 13: Plataforma Ubidots del monitor de calidad de aire	27
Figura 14 : Alarmas creadas en Ubidots.....	28
Figura 15: Gadgets configurados en Ubidots	29
Figura 16: Plano referencial de la bodega	30
Figura 17: Panel de dispositivo en Ubidots	36
Figura 18 : Lectura de humedad vs número de lectura.....	37
Figura 19: Lectura de temperatura vs número de lectura	37
Figura 20: Lectura de presión vs número de lectura.....	38
Figura 21: Lectura de gases amonio, etanol y monóxido de carbono.....	38
Figura 22: Inicialización del sensor de gases en Arduino IDE.....	39
Figura 23: Notificación de alerta Ubidots	40
Figura 24: Lecturas comparativas de humedad entre monitor (humedad M) y equipo (humedad S)	41
Figura 25: Lecturas comparativas de temperatura entre monitor (temperatura M) y equipo (humedad S)	42

Índice de tablas

Tabla 1: Descripción de perfil de validadores.....	31
Tabla 2: Escala de evaluación elaborada por René Ernesto Cortijo Leyva	31
Tabla 3: Escala de evaluación elaborada por Ricardo Salomón Fernández Pallo.....	32
Tabla 4: Escala de evaluación elaborada por Mélaney Jazmín Yarad Jácome.....	32
Tabla 5 : Escala de evaluación elaborada por Edgar Vicente Vivanco Herrera.....	33
Tabla 6: Matriz de articulación.....	34
Tabla 7: Lecturas de condiciones creadas para detección de gases.....	39
Tabla 8: Lectura comparativa de temperatura y humedad.....	41

Índice de anexos

Anexo 1: Especificaciones módulo ESP32 Node MCU	48
Anexo 2: Código Arduino IDE	49
Anexo 3: Datasheet sensor Mics	54
Anexo 4: Datasheet sensor bme280	55
Anexo 5: Datos Etanol Absoluto	56
Anexo 6: Termómetro EBI 300	57
Anexo 7: Validación René Ernesto Cortijo Leyva	58
Anexo 8: Validación Ricardo Salomón Fernández Pallo.....	59
Anexo 9: Validación Mélaný Jazmín Yarad Jácome	60
Anexo 10: Validación Edgar Vicente Vivanco Herrera	61

INFORMACIÓN GENERAL

Contextualización del tema

La automatización se ha convertido en un elemento clave dentro de la industria, a nivel que se ha logrado incorporar en todos los procesos que incluye una fábrica, convirtiéndose en un gran aliado, en específico para la industria de alta exigencia como lo es la industria química.

El internet de las cosas permite la consolidación de una gran cantidad de dispositivos en una red, con el fin de que se genere una interconexión con muchas interfaces, siendo éstas electrodomésticos, dispositivos actuadores, sensores. Todo esto mantiene el enfoque de convertir el diario vivir en algo más cómodo sabiendo que se puede tener un control de distintas variables. Es decir, mediante la información obtenida por elementos sensores, podemos controlar temperatura, activación y desactivación de elementos actuadores (Lopez, 2019).

Por otro lado, se tiene un gran impacto por parte del uso de las tecnologías en lo que concierne al medio ambiente. Éstas pueden ser implementadas a fin de conservar el ambiente ya su vez generar procesos de sostenibilidad y sustentabilidad ecológica en la protección de flora y fauna. A su vez, la implementación de IoT ha logrado impactar en la agricultura, siendo esto también basado en factores de monitoreo en tiempo real, datos los cuales ayudan a los procesos agrícolas, como humedad, luz solar, composición del suelo, clima, etc. El fin de tener un sistema inteligente de monitoreo, es lograr una respuesta eficiente en la menor cantidad de tiempo posible, dicha respuesta será basada en el análisis de los distintos datos obtenidos por parte de los sensores (García, 2024).

La importancia del monitoreo de la calidad de aire en los distintos entornos permite conocer los factores contaminantes y las condiciones que lleguen a aumentar la facilidad de contaminación, transporte y dispersión. Mediante el monitoreo se pueden establecer medidas preventivas a fin de controlar la contaminación del aire (Salcido, 2019).

Los procesos de automatización han permitido que se reduzca la necesidad de documentación física, de manera que se ha facilitado la digitalización de toda la información obtenida. Generando así, facilidad de implementarla y adaptarla a distintas plataformas para visualización y tratamiento de datos (SAI, 2024). La implementación de sistemas de monitoreo ambiental ha permitido que se conozcan las variables medioambientales de manera continua y sistemática llegando a ser muy importante para la toma de decisiones dentro de los campos investigativos y la generación de políticas enfocadas a la sostenibilidad (Márquez, 2020).

En el país existen empresas dedicadas a la importación, comercialización y soporte técnico en productos de marcas reconocidas de equipos y suministros para laboratorios de análisis y control de calidad en la industria. Dentro de estas empresas se tiene personal administrativo, servicio técnico, ventas, bodega y transporte. La bodega destinada al almacenamiento de elementos químicos, será el objetivo de estudio a fin de implementar el medidor de calidad de aire a fin de monitorear los parámetros a los cuales se exponen los trabajadores ante una posible fuga o derrame y que esto no represente un impedimento para la realización de sus tareas asignadas, mediante la toma de decisiones acertadas acorde a los datos recopilados.

Problema de investigación

Actualmente las personas encargadas de bodega dentro de una empresa de productos químicos, se encargan de realizar el perchado de envases contenedores de químicos de distintas categorías en diversas locaciones de la bodega. Sin embargo, muchas de las veces los químicos suelen derramarse por golpes que sufre el envase durante el traslado de aduana o la manipulación de los mismos. El proceso de perchado o localización de productos químicos implica la búsqueda del mismo en base a las locaciones establecidas en el inventario. Algunas ubicaciones implican lugares los cuales se encuentran fuera de la vista del personal de bodega y en caso de poseer un derrame del mismo, se tendrá que entrar en contacto con el envase para poder notarlo, generando así un contacto del personal de bodega con el químico derramado.

Dentro de las bodegas, se presentan casos en los cuales el producto químico ha estado derramado hasta llegada la fecha de inventario. Generando así una contaminación más allá del área de locación del producto. Incluso el mal perchado de los envases puede provocar la caída de los mismos sin la necesidad de que alguien los tope, por lo que es necesario tener una solución automatizada para realizar esta tarea de monitoreo del aire con el fin de cuidar la salud de todo el personal que ingresé al área de bodega y a su vez poder tomar medidas de descontaminación y evitar la propagación de la misma.

Por lo expuesto anteriormente, se plantea la implementación de un sistema de monitoreo IoT de calidad de aire de una bodega de productos químicos.

Objetivo general

- Implementar un sistema de monitoreo IoT de calidad de aire de una bodega de productos químicos.

Objetivos específicos

- Establecer los requerimientos necesarios para el diseño y simulación del sistema de monitoreo de calidad aire.
- Diseñar el medidor de calidad de aire y configurar la plataforma IoT.
- Implementar el medidor de calidad de aire y conectarlo con una plataforma IoT para el monitoreo de datos en tiempo real.
- Realizar pruebas de funcionamiento y verificación de resultados.

Vinculación con la sociedad y beneficiarios directos:

La implementación del sistema de monitoreo, busca generar un aporte a la empresa, en específico al personal encargado de bodega, permitiendo conocer el estado de calidad de aire en el área de almacenamiento de los productos químicos. Ayudando a que se genere mayor confianza en el personal, al saber que el entorno de trabajo no se encuentra contaminado, o a su vez, que no se encuentran expuestos a algún factor de riesgo por presencia de químicos en el aire.

A su vez, el proyecto, plantea una relación entre la automatización para el monitoreo de variables y el personal de la empresa, con el fin de cuidar su salud. Siendo una interfaz amigable visible en un punto previo al ingreso al área de bodega destinada a ser monitoreada. y que la persona encargada de coordinar la bodega se encuentre al tanto de las condiciones a las que se encuentra laborando.

Por otro lado, se garantiza que la empresa cumpla con un entorno de trabajo saludable, en el que se minimicen los factores de riesgo hacia los trabajadores, siendo esto una herramienta para promover la salud y a su vez prevenir enfermedades por condiciones anormales del aire en el entorno junto con esto la conservación de los productos en sus respectivos envases.

CAPÍTULO I: DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

1.1. Contextualización general del estado del arte

Es inevitable ver como el avance tecnológico se fusiona con las tareas cotidianas que realiza el ser humano dentro de varios campos. En especial dentro de la industria, la implementación del internet de las cosas ha logrado sustituir procesos que comúnmente se realizaban de manera manual, a realizarse de una manera automatizada especialmente en la recolección de datos.

Otro aspecto fundamental son las redes inalámbricas de sensores o también llamada WSN (Wireless Sensor Network), los cuales se implementan comúnmente para realizar monitoreo de parámetros ambientales, siendo éstos temperatura, humedad, presión, calidad de aire e incluso signos vitales en el cuerpo humano. La característica principal se basa en que sea de tamaño pequeño, que sea fácil de transportar y a su vez que no represente un peso considerable. En una WSN, cada uno de los nodos que la componen están compuestos por sensores, transductores, microcontroladores y una fuente de alimentación (Tapia, 2022).

Del trabajo realizado por Ángel Rogelio Minta Toapanta, se ha tomado en referencia la importancia de la implementación de soluciones basadas en el internet de las cosas a factores con los cuales las personas interactúan en el diario vivir. Ya sean estos para generar una mejor calidad de vida o a su vez cuidarla. La importancia del uso de software libre para el almacenamiento de datos y a su vez la visualización, ha permitido tener gran ventaja al no representar un gasto en adquisición de licencia y que el usuario tenga control total de la información adquirida, todo esto mediante el uso del aplicativo influxdb. Por otro lado, se tomó como referencia la interconexión realizada mediante el uso de placas de desarrollo para prototipado disponibles en el mercado teniendo en cuenta la gran capacidad de aplicaciones posibles que se pueden implementar con las mismas. En este caso es una lectura de variables, mediante un sensor de corriente y voltaje, logrando obtener las lecturas y configurarlas para generar lecturas de consumo energético (Toapanta, 2022).

Por otro lado, tenemos el trabajo realizado por Arroyo Margarita, se implementa un monitoreo remoto para variables ambientales dedicada a bodegas de almacenamiento de productos médicos. En este trabajo se recalca la importancia de las condiciones ambientales para prolongar y mantener la vida útil de los productos en su periodo de almacenamiento. Se evalúan la temperatura, humedad y luminosidad, de cierta manera el sistema se puede acoplar a cualquier necesidad en la cual se requiera la toma de decisiones basada en estos parámetros. De igual manera, la importancia del uso de la plataforma Ubidots para el monitoreo de datos y a su vez, generar las tablas de visualización interactiva para los usuarios. Finalmente, la generación de alarmas ante valores fuera de rango, ayudan a la la toma de decisiones por parte de los operarios (Gioconda, 2023).

De la publicación realizada por Sivasankar Rajamani, titulada *“Analysis of Three IoT Based Wireless sensors for Environmental Monitoring”* se toma la referencia de los parámetros que se consideran para establecer si un ambiente se encuentra con aire de calidad o no. Siendo estos parámetros la humedad, la temperatura, la humedad, la presión atmosférica, a su vez se considera la presencia de gases como el CO₂. También se considera el uso de distintas tecnologías para una red de sensores, siendo éstas, WiFi, Zigbee y Bluetooth. Dicha tecnología se elige acorde a la necesidad y el entorno en el cual se va a realizar la captación de variables. A su vez, la importancia de obtener la lectura de datos en una interfaz amigable de fácil entendimiento para el usuario (Rajamani, 2019).

Por otro lado, del trabajo titulado *“Advances in smart environment monitoring systems using IoT and sensors”*, se toma la referencia de un monitoreo inteligente de entorno también conocido como SEM, cuyo sistema posee varias aplicaciones, entre ellas agricultura sustentable, calidad de vida acorde al manejo de contaminación en distintos entornos con indicadores de salud en la sociedad. La importancia de la implementación de sistemas de monitoreo en el entorno permite tener el control, específicamente de distintos factores contaminantes a fin de poder ubicarlos y evitar que se generen entornos peligrosos para la salud humana. Un sistema

SEM tiene la proyección a lo que se conoce como *smart cities* ayudando a mejorar los planes ambientales habituales. Dentro de la proyección de controles de entorno, se tiene también la calidad de aire específicamente en lo que concierne a la contaminación por emisiones de CO2 por parte de los vehículos, tomando como referencia temperatura, presión, humedad. Logrando unificar tanto sensores como plataforma IoT e incluso lograr agrupar toda la información y combinarla con inteligencia artificial para la mejor toma de decisiones (Liberata, 2020).

Acorde a la bibliografía revisada, la implementación del monitor de calidad de aire, se dará utilizando una placa de desarrollo ESP32, la cual posee características adaptables al internet de las cosas, en conjunto con sensores para medición de gases y de parámetros como temperatura, humedad y presión atmosférica. A su vez, se utilizará una plataforma de software, la cual permitirá la visualización de los datos en tiempo real y la creación de alertas las cuales serán notificadas al personal encargado de la bodega. El software libre el cual nos permitirá visualizar los datos, es Ubidots, teniendo en cuenta la importancia de que la interfaz de usuario sea fácil de interpretar y posea indicadores que permitan observar la variación de los parámetros a monitorear.

1.2. Proceso investigativo metodológico

El método investigativo utilizado en el presente proyecto es uno de carácter mixto, ya que se tiene en cuenta el aspecto cualitativo. Siendo cualitativo, debido a que se ha realizado recopilación de fuentes bibliográficas, publicaciones científicas y artículos tecnológicos, todos éstos relacionados con las tecnologías emergentes y sus aplicaciones, específicamente aplicaciones de monitoreo de variables ambientales a fin de mejorar la calidad de vida humana. Por otro lado, se tiene una investigación proyectiva, la cual plantea la elaboración de una solución a un problema o necesidad dentro del ámbito práctico. Para este caso, se considera que el análisis de la lectura de las variables presentes en el entorno expresadas en cantidades y

porcentajes a través de la interface IoT, ayudarán a tomar medidas preventivas para evitar afecciones a la salud del personal de bodega.

La recopilación de información se realizó mediante la observación. Siendo la primera debido a la necesidad de contribuir con la salud del personal de la empresa a fin de evitar complicaciones respiratorias, en especial determinar la presencia de gases, los cuales no son visibles al ojo humano. A su vez, los diálogos fueron importantes para la recopilación de información dentro del personal de bodega para determinar la utilidad que representaría para ellos la implementación del monitor de calidad de aire.

A su vez, la implementación del proyecto se basa en una metodología Scrum, la cual aborda el proyecto dividiéndolo en pequeñas partes o etapas. La implementación del monitor de calidad de aire, se va a realizar en un entorno variable, siendo éste una bodega de almacenamiento. Con el fin de que se pueda evaluar las mejoras y beneficios obtenidos con su implementación. Por otro lado, se ha considerado el método sintético ya que con los resultados obtenidos se va a

poder analizar y resumir la información obtenida, determinando cuando el ambiente se encuentra dentro de los parámetros de calidad especialmente ante la presencia de gases tóxicos.

El método inductivo será aplicado a fin de poder sacar conclusiones en base a la observación y experimentación al momento de implementar el prototipo. Se tendrá la observación de parámetros puntuales a fin de determinar la causa de la presencia de los mismos por lo que se tendrá una observación empírica la cual acompañe este método. Es decir, considerar las situaciones en las que se produjo una contaminación del ambiente o donde las variables tuvieron un comportamiento atípico.

La metodología de trabajo utilizada es de tipo cascada, en la cual las tareas se encuentran vinculadas hasta llegar a la implementación del prototipo. Es decir, se tiene una etapa de evaluación de requisitos para el monitor de calidad de aire, una etapa de diseño del sistema que incluye la programación de la placa de desarrollo y configuración de la interface IoT.

CAPÍTULO II: PROPUESTA

2.1 Fundamentos teóricos aplicados

El internet de las cosas ha crecido de una manera exponencial junto con el auge de nuevas tecnologías en los campos de: conectividad, tecnología de sensores, computación, Big Data, *Machine learning* y computación en la nube. Dentro de lo que implica la conectividad se ha visto mejoras llegando a tener una conectividad rápida y sólida a fin de transmitir enormes volúmenes de información. En lo que corresponde a tecnología de sensores, la aparición de nuevas marcas en el mercado, ha permitido que se tenga acceso a gran variedad de sensores y que sean de fácil accesibilidad, junto con esto la compatibilidad a nivel de sistemas de licencia libre (Gil, 2021).

2.1.1 Calidad de aire

En el medio ambiente se tienen gases los cuales siempre están presentes en distintas concentraciones cuantificadas en partes por millón, por sus siglas “ppm”. Concentraciones las cuales pueden ser bajas para el ser humano, y éste encontrarse expuesto por un largo periodo de tiempo sin lograr afecciones. En el caso del monóxido de carbono, suele presentar un cuadro de envenenamiento en caso de una exposición prolongada a cantidades altas (Campusa, 2023). Es un gas el cual se puede encontrar en el entorno como por ejemplo resultado de la combustión en vehículos, cocinas, etc. (NIOSH, 1996). El límite de exposición permitido acorde a la Administración de Seguridad y Salud Ocupacionales (OSHA) para el monóxido de carbono, es de 50 ppm por un tiempo de 8 horas. Para el amonio, se lo tiene presente en la fabricación de jabones, en pozos, ríos, sales y productos de limpieza. El amonio existe de manera natural en el medio ambiente; sin embargo, la exposición a altas concentraciones puede provocar síntomas como: vómito, dolores de cabeza, confusión, pérdida de coordinación motora. Los niveles normales de amoníaco acorde a la Agencia para sustancias tóxicas y el registro de enfermedades (ATSDR), es de 5 - 6 ppm, cantidad producida por el agua lluvia o por el suelo de forma natural, siendo 35 ppm su límite para empezar a ser percibido por el ser humano (ATSDR, 2021). En lo que corresponde al Etanol, se lo utiliza para la elaboración de bebidas alcohólicas y sustancias

químicas. Acorde a la Administración de Seguridad y Salud Ocupacional, el límite de exposición se establece en 1000 ppm por un tiempo de 8 horas (Roth, 2021).

El internet de las cosas se define como la herramienta tecnológica la cual en la actualidad está siendo de las más nombradas, es decir, se ha dado a conocer por el entorno que se crea alrededor de ella, facilitando la conexión de múltiples dispositivos al internet y creando sistemas de automatización los cuales interactúan con el ser humano. Mediante la interconexión de distintos dispositivos, se ha logrado que las tareas cotidianas de la sociedad se puedan facilitar, mejorando así la calidad de vida en ámbitos como seguridad, salud y educación (Anaya, 2022).

2.1.2 Internet de las cosas

El internet de las cosas forma parte de la industria 4.0, la cual ha logrado una transformación de las líneas de producción, teniendo de ejemplo las distintas aplicaciones. A continuación, se detallan los impactos que ha tenido el internet de las cosas en los últimos tiempos. Comunicación en tiempo real que ayuda a localizaciones, cantidad de productos e incluso el monitoreo de variables ambientales. Ciudades inteligentes las cuales han automatizado las tareas sociales más habituales con el uso de software y sensores para recolección de datos facilitando el crecimiento empresarial y generando beneficios (Peralta, 2021).

En la industria química se ha logrado una potenciación de los instrumentos de campo, lo que directamente ha logrado un aumento de productividad y evitar que se generen interrupciones en las líneas de producción. La integración del internet de las cosas a la industria química logra agilizar el cumplimiento de regulaciones, recolectando datos previniendo así riesgos químicos durante la manipulación y transporte de químicos peligrosos (Valiente, 2024).

2.1.3 Placa de desarrollo ESP32 NodeMCU

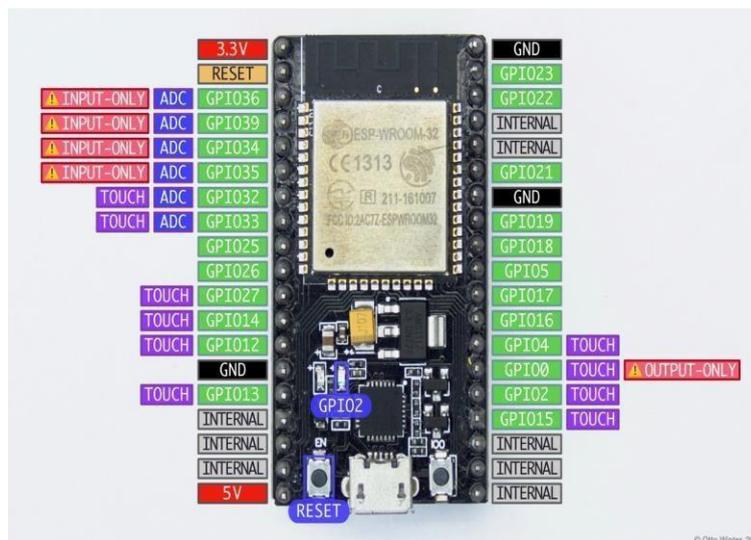
Las placas de desarrollo se consideran pequeñas computadoras de placa única, es decir, son ordenadores los cuales poseen una memoria, pines de entrada y salida. Su conocimiento en el mercado se debe a la facilidad que representa hacia el usuario el desarrollar prototipos o proyectos y el corto tiempo de implementación.

La placa de desarrollo ESP32 (ver figura 1), posee grandes características haciéndola una de las favoritas para el prototipado de proyectos relacionados con el internet de las cosas. Dentro de sus características tenemos (Babiuch, 2019).

- CPU de 32 bits
- Frecuencia de trabajo de 240Mhz
- Capacidad de comunicación SPI / UART / I2S / I2C /
- Compatibilidad con sensores de todos los fabricantes
- Conectividad Bluetooth / Wifi

Figura 1

Esquema físico ESP32 NodeMCU



Nota: Representación del *pin out* de la placa de desarrollo ESP32, pines de entrada y salida, entradas de alimentación, pines para comunicación cableada e inalámbricas

2.14 Arduino IDE

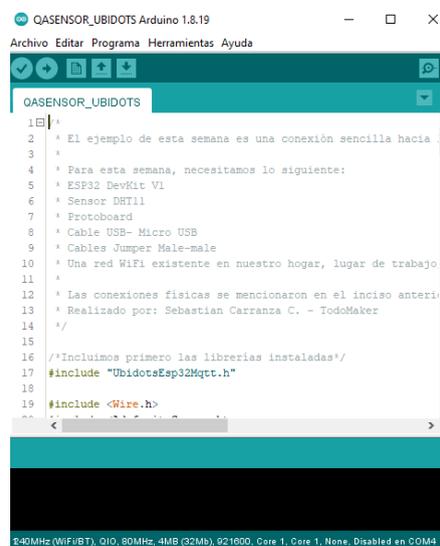
Arduino IDE es el entorno de desarrollo compuesto por herramientas dedicadas a la programación de sistemas embebidos basados en software libre y de código abierto. Su interfaz es de fácil entendimiento para los usuarios, a fin de poder crear un código, compilarlo y ponerlo a prueba en las placas de desarrollo (Vidal, 2019).

Dentro de sus principales características se tienen:

- Editor de código resaltado a nivel de sintaxis, permitiendo conocer las distintas estructuras del código.
- Bibliotecas de código abierto, las cuales permiten que las placas de desarrollo Arduino posean una gran compatibilidad con los sensores de distintos fabricantes disponibles en el mercado
- Comunicación serial en tiempo real a fin de poder enviar y recibir datos entre el computador y la placa de desarrollo.
- Gestor de placas de desarrollo, a fin de configurar los parámetros de programación para obtener el mejor desempeño por parte de la misma, cargando el código sin errores.

Figura 2

Arduino IDE ventana de programación



```
QASENSOR_UBIDOTS Arduino 1.8.19
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
QASENSOR_UBIDOTS
1 1
2  * El ejemplo de esta semana es una conexión sencilla hacia
3  *
4  * Para esta semana, necesitamos lo siguiente:
5  * ESP32 DevKit V1
6  * Sensor DHT11
7  * Protoboard
8  * Cable USB- Micro USB
9  * Cables Jumper Male-male
10 * Una red WiFi existente en nuestro hogar, lugar de trabajo
11 *
12 * Las conexiones físicas se mencionaron en el inciso anterior
13 * Realizado por: Sebastian Carranza C. - TodoMaker
14 */
15
16 /*Incluimos primero las librerías instaladas*/
17 #include "UbidotsEsp32Mqtt.h"
18
19 #include <Wire.h>
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100
101
102
103
104
105
106
107
108
109
110
111
112
113
114
115
116
117
118
119
120
121
122
123
124
125
126
127
128
129
130
131
132
133
134
135
136
137
138
139
140
141
142
143
144
145
146
147
148
149
150
151
152
153
154
155
156
157
158
159
160
161
162
163
164
165
166
167
168
169
170
171
172
173
174
175
176
177
178
179
180
181
182
183
184
185
186
187
188
189
190
191
192
193
194
195
196
197
198
199
200
201
202
203
204
205
206
207
208
209
210
211
212
213
214
215
216
217
218
219
220
221
222
223
224
225
226
227
228
229
230
231
232
233
234
235
236
237
238
239
240
241
242
243
244
245
246
247
248
249
250
251
252
253
254
255
256
257
258
259
260
261
262
263
264
265
266
267
268
269
270
271
272
273
274
275
276
277
278
279
280
281
282
283
284
285
286
287
288
289
290
291
292
293
294
295
296
297
298
299
300
301
302
303
304
305
306
307
308
309
310
311
312
313
314
315
316
317
318
319
320
321
322
323
324
325
326
327
328
329
330
331
332
333
334
335
336
337
338
339
340
341
342
343
344
345
346
347
348
349
350
351
352
353
354
355
356
357
358
359
360
361
362
363
364
365
366
367
368
369
370
371
372
373
374
375
376
377
378
379
380
381
382
383
384
385
386
387
388
389
390
391
392
393
394
395
396
397
398
399
400
401
402
403
404
405
406
407
408
409
410
411
412
413
414
415
416
417
418
419
420
421
422
423
424
425
426
427
428
429
430
431
432
433
434
435
436
437
438
439
440
441
442
443
444
445
446
447
448
449
450
451
452
453
454
455
456
457
458
459
460
461
462
463
464
465
466
467
468
469
470
471
472
473
474
475
476
477
478
479
480
481
482
483
484
485
486
487
488
489
490
491
492
493
494
495
496
497
498
499
500
501
502
503
504
505
506
507
508
509
510
511
512
513
514
515
516
517
518
519
520
521
522
523
524
525
526
527
528
529
530
531
532
533
534
535
536
537
538
539
540
541
542
543
544
545
546
547
548
549
550
551
552
553
554
555
556
557
558
559
560
561
562
563
564
565
566
567
568
569
570
571
572
573
574
575
576
577
578
579
580
581
582
583
584
585
586
587
588
589
590
591
592
593
594
595
596
597
598
599
600
601
602
603
604
605
606
607
608
609
610
611
612
613
614
615
616
617
618
619
620
621
622
623
624
625
626
627
628
629
630
631
632
633
634
635
636
637
638
639
640
641
642
643
644
645
646
647
648
649
650
651
652
653
654
655
656
657
658
659
660
661
662
663
664
665
666
667
668
669
670
671
672
673
674
675
676
677
678
679
680
681
682
683
684
685
686
687
688
689
690
691
692
693
694
695
696
697
698
699
700
701
702
703
704
705
706
707
708
709
710
711
712
713
714
715
716
717
718
719
720
721
722
723
724
725
726
727
728
729
730
731
732
733
734
735
736
737
738
739
740
741
742
743
744
745
746
747
748
749
750
751
752
753
754
755
756
757
758
759
760
761
762
763
764
765
766
767
768
769
770
771
772
773
774
775
776
777
778
779
780
781
782
783
784
785
786
787
788
789
790
791
792
793
794
795
796
797
798
799
800
801
802
803
804
805
806
807
808
809
810
811
812
813
814
815
816
817
818
819
820
821
822
823
824
825
826
827
828
829
830
831
832
833
834
835
836
837
838
839
840
841
842
843
844
845
846
847
848
849
850
851
852
853
854
855
856
857
858
859
860
861
862
863
864
865
866
867
868
869
870
871
872
873
874
875
876
877
878
879
880
881
882
883
884
885
886
887
888
889
890
891
892
893
894
895
896
897
898
899
900
901
902
903
904
905
906
907
908
909
910
911
912
913
914
915
916
917
918
919
920
921
922
923
924
925
926
927
928
929
930
931
932
933
934
935
936
937
938
939
940
941
942
943
944
945
946
947
948
949
950
951
952
953
954
955
956
957
958
959
960
961
962
963
964
965
966
967
968
969
970
971
972
973
974
975
976
977
978
979
980
981
982
983
984
985
986
987
988
989
990
991
992
993
994
995
996
997
998
999
1000
1001
1002
1003
1004
1005
1006
1007
1008
1009
1010
1011
1012
1013
1014
1015
1016
1017
1018
1019
1020
1021
1022
1023
1024
1025
1026
1027
1028
1029
1030
1031
1032
1033
1034
1035
1036
1037
1038
1039
1040
1041
1042
1043
1044
1045
1046
1047
1048
1049
1050
1051
1052
1053
1054
1055
1056
1057
1058
1059
1060
1061
1062
1063
1064
1065
1066
1067
1068
1069
1070
1071
1072
1073
1074
1075
1076
1077
1078
1079
1080
1081
1082
1083
1084
1085
1086
1087
1088
1089
1090
1091
1092
1093
1094
1095
1096
1097
1098
1099
1100
1101
1102
1103
1104
1105
1106
1107
1108
1109
1110
1111
1112
1113
1114
1115
1116
1117
1118
1119
1120
1121
1122
1123
1124
1125
1126
1127
1128
1129
1130
1131
1132
1133
1134
1135
1136
1137
1138
1139
1140
1141
1142
1143
1144
1145
1146
1147
1148
1149
1150
1151
1152
1153
1154
1155
1156
1157
1158
1159
1160
1161
1162
1163
1164
1165
1166
1167
1168
1169
1170
1171
1172
1173
1174
1175
1176
1177
1178
1179
1180
1181
1182
1183
1184
1185
1186
1187
1188
1189
1190
1191
1192
1193
1194
1195
1196
1197
1198
1199
1200
1201
1202
1203
1204
1205
1206
1207
1208
1209
1210
1211
1212
1213
1214
1215
1216
1217
1218
1219
1220
1221
1222
1223
1224
1225
1226
1227
1228
1229
1230
1231
1232
1233
1234
1235
1236
1237
1238
1239
1240
1241
1242
1243
1244
1245
1246
1247
1248
1249
1250
1251
1252
1253
1254
1255
1256
1257
1258
1259
1260
1261
1262
1263
1264
1265
1266
1267
1268
1269
1270
1271
1272
1273
1274
1275
1276
1277
1278
1279
1280
1281
1282
1283
1284
1285
1286
1287
1288
1289
1290
1291
1292
1293
1294
1295
1296
1297
1298
1299
1300
1301
1302
1303
1304
1305
1306
1307
1308
1309
1310
1311
1312
1313
1314
1315
1316
1317
1318
1319
1320
1321
1322
1323
1324
1325
1326
1327
1328
1329
1330
1331
1332
1333
1334
1335
1336
1337
1338
1339
1340
1341
1342
1343
1344
1345
1346
1347
1348
1349
1350
1351
1352
1353
1354
1355
1356
1357
1358
1359
1360
1361
1362
1363
1364
1365
1366
1367
1368
1369
1370
1371
1372
1373
1374
1375
1376
1377
1378
1379
1380
1381
1382
1383
1384
1385
1386
1387
1388
1389
1390
1391
1392
1393
1394
1395
1396
1397
1398
1399
1400
1401
1402
1403
1404
1405
1406
1407
1408
1409
1410
1411
1412
1413
1414
1415
1416
1417
1418
1419
1420
1421
1422
1423
1424
1425
1426
1427
1428
1429
1430
1431
1432
1433
1434
1435
1436
1437
1438
1439
1440
1441
1442
1443
1444
1445
1446
1447
1448
1449
1450
1451
1452
1453
1454
1455
1456
1457
1458
1459
1460
1461
1462
1463
1464
1465
1466
1467
1468
1469
1470
1471
1472
1473
1474
1475
1476
1477
1478
1479
1480
1481
1482
1483
1484
1485
1486
1487
1488
1489
1490
1491
1492
1493
1494
1495
1496
1497
1498
1499
1500
1501
1502
1503
1504
1505
1506
1507
1508
1509
1510
1511
1512
1513
1514
1515
1516
1517
1518
1519
1520
1521
1522
1523
1524
1525
1526
1527
1528
1529
1530
1531
1532
1533
1534
1535
1536
1537
1538
1539
1540
1541
1542
1543
1544
1545
1546
1547
1548
1549
1550
1551
1552
1553
1554
1555
1556
1557
1558
1559
1560
1561
1562
1563
1564
1565
1566
1567
1568
1569
1570
1571
1572
1573
1574
1575
1576
1577
1578
1579
1580
1581
1582
1583
1584
1585
1586
1587
1588
1589
1590
1591
1592
1593
1594
1595
1596
1597
1598
1599
1600
1601
1602
1603
1604
1605
1606
1607
1608
1609
1610
1611
1612
1613
1614
1615
1616
1617
1618
1619
1620
1621
1622
1623
1624
1625
1626
1627
1628
1629
1630
1631
1632
1633
1634
1635
1636
1637
1638
1639
1640
1641
1642
1643
1644
1645
1646
1647
1648
1649
1650
1651
1652
1653
1654
1655
1656
1657
1658
1659
1660
1661
1662
1663
1664
1665
1666
1667
1668
1669
1670
1671
1672
1673
1674
1675
1676
1677
1678
1679
1680
1681
1682
1683
1684
1685
1686
1687
1688
1689
1690
1691
1692
1693
1694
1695
1696
1697
1698
1699
1700
1701
1702
1703
1704
1705
1706
1707
1708
1709
1710
1711
1712
1713
1714
1715
1716
1717
1718
1719
1720
1721
1722
1723
1724
1725
1726
1727
1728
1729
1730
1731
1732
1733
1734
1735
1736
1737
1738
1739
1740
1741
1742
1743
1744
1745
1746
1747
1748
1749
1750
1751
1752
1753
1754
1755
1756
1757
1758
1759
1760
1761
1762
1763
1764
1765
1766
1767
1768
1769
1770
1771
1772
1773
1774
1775
1776
1777
1778
1779
1780
1781
1782
1783
1784
1785
1786
1787
1788
1789
1790
1791
1792
1793
1794
1795
1796
1797
1798
1799
1800
1801
1802
1803
1804
1805
1806
1807
1808
1809
1810
1811
1812
1813
1814
1815
1816
1817
1818
1819
1820
1821
1822
1823
1824
1825
1826
1827
1828
1829
1830
1831
1832
1833
1834
1835
1836
1837
1838
1839
1840
1841
1842
1843
1844
1845
1846
1847
1848
1849
1850
1851
1852
1853
1854
1855
1856
1857
1858
1859
1860
1861
1862
1863
1864
1865
1866
1867
1868
1869
1870
1871
1872
1873
1874
1875
1876
1877
1878
1879
1880
1881
1882
1883
1884
1885
1886
1887
1888
1889
1890
1891
1892
1893
1894
1895
1896
1897
1898
1899
1900
1901
1902
1903
1904
1905
1906
1907
1908
1909
1910
1911
1912
1913
1914
1915
1916
1917
1918
1919
1920
1921
1922
1923
1924
1925
1926
1927
1928
1929
1930
1931
1932
1933
1934
1935
1936
1937
1938
1939
1940
1941
1942
1943
1944
1945
1946
1947
1948
1949
1950
1951
1952
1953
1954
1955
1956
1957
1958
1959
1960
1961
1962
1963
1964
1965
1966
1967
1968
1969
1970
1971
1972
1973
1974
1975
1976
1977
1978
1979
1980
1981
1982
1983
1984
1985
1986
1987
1988
1989
1990
1991
1992
1993
1994
1995
1996
1997
1998
1999
2000
2001
2002
2003
2004
2005
2006
2007
2008
2009
2010
2011
2012
2013
2014
2015
2016
2017
2018
2019
2020
2021
2022
2023
2024
2025
2026
2027
2028
2029
2030
2031
2032
2033
2034
2035
2036
2037
2038
2039
2040
2041
2042
2043
2044
2045
2046
2047
2048
2049
2050
2051
2052
2053
2054
2055
2056
2057
2058
2059
2060
2061
2062
2063
2064
2065
2066
2067
2068
2069
2070
2071
2072
2073
2074
2075
2076
2077
2078
2079
2080
2081
2082
2083
2084
2085
2086
2087
2088
2089
2090
2091
2092
2093
2094
2095
2096
2097
2098
2099
2100
2101
2102
2103
2104
2105
2106
2107
2108
2109
2110
2111
2112
2113
2114
2115
2116
2117
2118
2119
2120
2121
2122
2123
2124
2125
2126
2127
2128
2129
2130
2131
2132
2133
2134
2135
2136
2137
2138
2139
2140
2141
2142
2143
2144
2145
2146
2147
2148
2149
2150
2151
2152
2153
2154
2155
2156
2157
2158
2159
2160
2161
2162
2163
2164
2165
2166
2167
2168
2169
2170
2171
2172
2173
2174
2175
2176
2177
2178
2179
2180
2181
2182
2183
2184
2185
2186
2187
2188
2189
2190
2191
2192
2193
2194
2195
2196
2197
2198
2199
2200
2201
2202
2203
2204
2205
2206
2207
2208
2209
2210
2211
2212
2213
2214
2215
2216
2217
2218
2219
2220
2221
2222
2223
2224
2225
2226
2227
2228
2229
2230
2231
2232
2233
2234
2235
2236
2237
2238
2239
2240
2241
2242
2243
2244
2245
2246
2247
2248
2249
2250
2251
2252
2253
2254
2255
2256
2257
2258
2259
2260
2261
2262
2263
2264
2265
2266
2267
2268
2269
2270
2271
2272
2273
2274
2275
2276
2277
2278
2279
2280
2281
2282
2283
2284
2285
2286
2287
2288
2289
2290
2291
2292
2293
2294
2295
2296
2297
2298
2299
2300
2301
2302
2303
2304
2305
2306
2307
2308
2309
2310
2311
2312
2313
2314
2315
2316
2317
2318
2319
2320
2321
2322
2323
2324
2325
2326
2327
2328
2329
2330
2331
2332
2333
2334
2335
2336
2337
2338
2339
2340
2341
2342
2343
2344
2345
2346
2347
2348
2349
2350
2351
2352
2353
2354
2355
2356
2357
2358
2359
2360
2361
2362
2363
2364
2365
2366
2367
2368
2369
2370
2371
2372
2373
2374
2375
2376
2377
2378
2379
2380
2381
2382
2383
2384
2385
2386
2387
2388
2389
2390
2391
2392
2393
2394
2395
2396
2397
2398
2399
2400
2401
2402
2403
2404
2405
2406
2407
2408
2409
2410
2411
2412
2413
2414
2415
2416
2417
2418
2419
2420
2421
2422
2423
2424
2425
2426
2427
2428
2429
2430
2431
2432
2433
2434
2435
2436
2437
2438
2439
2440
2441
2442
2443
2444
2445
2446
2447
2448
2449
2450
2451
2452
2453
2454
2455
2456
2457
2458
2459
2460
2461
2462
2463
2464
2465
2466
2467
2468
2469
2470
2471
2472
2473
2474
2475
2476
2477
2478
2479
2480
2481
2482
2483
2484
2485
2486
2487
2488
2489
2490
2491
2492
2493
2494
2495
2496
2497
2498
2499
2500
2501
2502
2503
2504
2505
2506
2507
2508
2509
2510
2511
2512
2513
2514
2515
2516
2517
2518
2519
2520
2521
2522
2523
2524
2525
2526
2527
2528
2529
2530
2531
2532
2533
2534
2535
2536
2537
2538
2539
2540
2541
2542
2543
2544
2545
2546
2547
2548
2549
2550
2551
2552
2553
2554
2555
2556
2557
2558
2559
2560
2561
25
```

Nota: Representación gráfica de la interfaz de programación de Arduino IDE. La interfaz combina todos los elementos necesarios para el desarrollo y validación de prototipos en tiempo real. Se observa la distribución de su ventana, y como se encuentra identificada su sintaxis y distintos bloques de programación.

2.1.5 Sensor BME280

El sensor BME 280 es un dispositivo que integra en un sólo módulo sensores capaces de obtener datos relacionados con la presión atmosférica, temperatura y humedad. Posee una gran precisión y su bajo consumo de corriente, hacen que sea una opción óptima para las aplicaciones de medición de variables, a esto, hay que sumarle su tamaño compacto no superior a 17mm (Shevchenko, 2020).

Para conocer a profundidad los parámetros de diseño y curvas de funcionamiento del sensor, se adjunta la ficha técnica en el anexo 4.

Figura 3

Sensor BME 280 Temperatura/ Humedad / Presión



Nota: Sensor de parámetros ambientales BME280, compacto, de fácil conexión con placas de desarrollo.

2.1.6 MICS-6814

El módulo sensor de calidad del aire mostrado en la figura 4, se basa en la detección y medición de gases. Su construcción se encuentra basada en un diafragma micro mecánico con alta resistencia al calentamiento con su elemento detector en la parte superior (Fauzian, 2023).

Dentro de los gases que permite detectar se encuentran los siguientes:

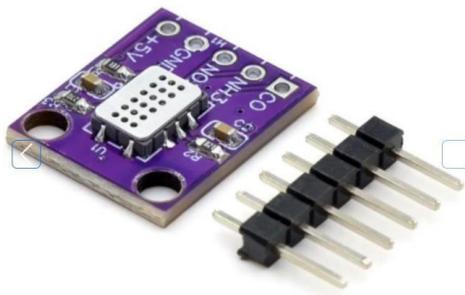
- Monóxido de carbono
- Dióxido de nitrógeno
- Etanol
- Hidrógeno
- Amoníaco
- Metano
- Propano
- Iso-butano

Cada uno de estos gases, las medidas se obtienen en partes por millón o por sus siglas “ppm”.

Para conocer más sobre los rangos de detección del sensor, se adjunta la ficha en el anexo 3.

Figura 4

Sensor de gases MiCS-6814



Nota: Fotografía de chip sensor de gases basado en MiCS6814

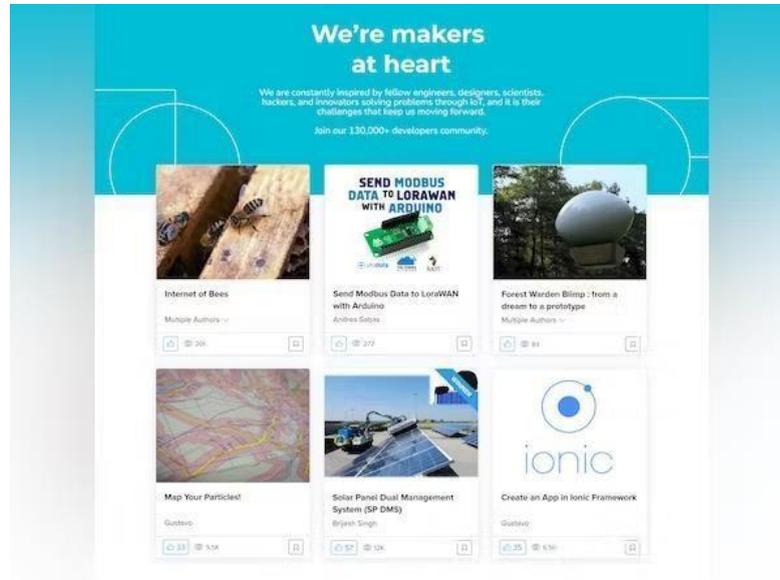
2.1.7 Plataforma IoT Ubidots STEM

Ubidots es una plataforma de IoT la cual permite el monitoreo de información en tiempo real, utilizando alertas inteligentes o reportes programados y análisis de datos como muestra su interfaz en la figura 5. De esta manera logra brindar una ayuda a la toma de decisiones dentro de las empresas con su capacidad de configuración de manera rápida sin necesidad de implementar una infraestructura de software. Actualmente posee dos versiones, una llamada Ubidots Industrial y una versión STEM.

Ubidots STEM se crea para estudiantes, creadores o investigadores quienes quieren empezar a probar las herramientas de IoT disponibles. En este caso, Ubidots STEM es gratis y bastante completo, por lo que es una gran opción para el desarrollo de prototipos resultando fácil de utilizar (Pineda, 2021).

Figura 5

Plataforma Ubidots STEM



Nota: La Plataforma Ubidots posee una gran cantidad de aplicativos, a su vez, presenta un portafolio de proyectos los cuales han sido realizado con la ayuda de la herramienta (Ubidots, 2024).

2.2 Descripción de la propuesta

El sistema de monitoreo de calidad de aire, se encuentra compuesto por sensores, placa de desarrollo y plataforma de monitoreo IoT.

a. Estructura general

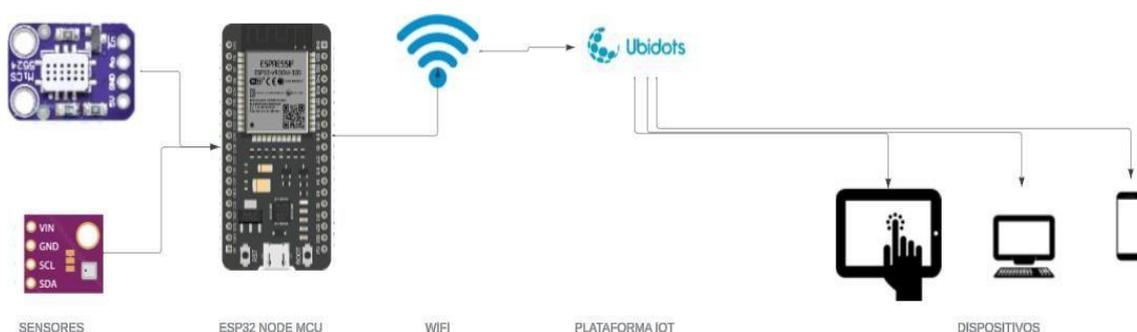
El medidor de calidad de aire se basa en la recolección de las variables físicas presentes en el entorno, siendo éstas: Temperatura, humedad, presión atmosférica y la presencia de gases. El prototipo tiene el objetivo de recopilar estas variables en el área de embodegado de productos químicos. Los sensores BME280y MICS 6814 van conectados a la placa ESP32 NodeMCU, elcuál

será el encargado de tratar los datos obtenidos por los sensores y enviarlos a la plataforma Ubidots como se indica en la figura 6.

Dentro de la plataforma Ubidots, se reciben los datos enviados por la placa de desarrollo, datos los cuales se colocan dentro de “widgets”, los cuales representan de manera gráfica la variación de los datos en el tiempo. Además, dentro de la plataforma IoT se establecen condiciones para la generación de alertas de las condiciones del aire en la bodega; alertas las cuales serán enviadas mediante correo al encargado de bodega dentro de la empresa a fin de tomar acciones.

Figura 6

Diagrama esquemático del medidor de calidad de aire.



Nota: Se muestra la conexión entre sensores, placa de desarrollo y plataforma IoT. Cabe recalcar que la conexión entre la placa de desarrollo y la plataforma IoT es mediante el módulo Wifi disponible en la placa.

b. Explicación del aporte

El sistema permite visualizar las variables disponibles dentro del entorno de la bodega de productos químicos. Para realizar las lecturas se ha tomado de referencia una de las bodegas de la empresa Novachem del Ecuador Scc, en la cual se encuentran almacenados productos químicos como: Mercurio, Ácido gálico, Amonio sulfato y etanol HPLC. La implementación del medidor de calidad de aire, busca alertar sobre posibles fugas producidas por los productos químicos y a su vez conocer las condiciones en la que los mismos se están almacenando, ya que

la temperatura y humedad juegan un papel importante en la conservación de los productos envasados.

La presencia de gases producto de las fugas de los productos químicos puede resultar dañino para el personal que opera dentro de la bodega, por lo que el monitoreo de las variables busca conocer en tiempo real los valores presentes en el ambiente y poder enviar alertas cuando exista presencia de dichos gases o alguna alteración en las variables ambientales de temperatura y humedad que puedan afectar el almacenamiento de los productos; y así poder enviar la alerta al encargado de bodega para la toma de medidas preventivas o correctivas.

Tanto el sensor BME280 como el sensor MICS6814 serán los encargados de adquirir las variables previamente mencionadas. El primero, evaluará las condiciones de temperatura, humedad y presión atmosférica. El segundo será el encargado de monitorear la presencia de gases peligrosos en el entorno. Los datos recopilados por ambos sensores, serán enviados a la plataforma Ubidots con la ayuda de la placa de desarrollo ESP32, permitiendo que todos los datos sean de fácil entendimiento marcando la escala en la que se están midiendo las variables en el entorno de la bodega.

La evaluación del medidor de calidad de aire se centra en la comparación de los valores visualizados en Ubidots con un termohigrómetro certificado a fin de conocer el margen de error obtenido en las medidas. Los aspectos a tener en cuenta para la evaluación del medidor de calidad de aire se plantean en etapas:

- Fabricación de estructura del monitor
- Configuración de sensores, placa de desarrollo y plataforma IoT
- Recopilación de datos mediante Arduino IDE
- Envío de datos a la plataforma ubidots e implementación de alertas
- Análisis de impacto

En lo que corresponde a la construcción de conocimiento parte de conocer la importancia de las condiciones de trabajo, es decir, que se pueda garantizar que las condiciones en las que se

desarrollan las distintas actividades de la empresa. La presencia de gases muchas de las veces no resultan ser un factor directamente mortal para las personas, sin embargo, la alta exposición ya puede presentar problemas de salud. El diseño estructural del sensor de calidad de aire, representa un reto ya que éste debe ser práctico y no debe interferir de manera abrupta el entorno existente en la bodega donde se va a implementar. En la actualidad la tendencia para construcción de estructuras de prototipos es la impresión 3D, por lo que es importante recalcar la importancia de que el área y tamaño del monitor de calidad de aire sea compacto y funcional. La utilización de sensores de mayor precisión implica el uso de nuevas herramientas dentro del entorno de programación, especialmente librerías, configuraciones y transformaciones de valores obtenidos por el sensor, para poder convertirlos a datos entendibles a ser mostrados en la plataforma de IoT. Finalmente validar las medidas con la ayuda de equipos certificados para generar confianza en las lecturas obtenidas por el equipo.

c. Estrategias y/o técnicas

Diagrama de conexión: El sensor de calidad de aire se encuentra compuesto por dos sensores, cuya distribución de pines se muestra a continuación en la figura 7.

Figura 7

Diagrama esquemático sensor BME280y MICS6814 con ESP32 NodeMCU



Nota: Los sensores consumen muy baja corriente, lo que representa una gran ventaja al no tener que utilizar fuentes de alimentación externas a la provista por la placa ESP32.

Librerías de programa: En lo que corresponde a la programación se utiliza el software Arduino IDE. Adicionalmente, al entorno de programación, se utilizan las librerías especiales para sensores y comunicación de la placa de desarrollo (ver figura 8). Las librerías utilizadas son:

- <UbidotsEsp32Mqtt.h> : Permite la conectividad entre la placa de desarrollo y la plataforma Ubidots.
- <Wire.h>: Librería encargada de gestionar la comunicación I2C
- <Adafruit_Sensor.h> : Permite ejecutar compatibilidad con gran cantidad de sensores del fabricante Adafruit.
- <Adafruit_BME280.h> : Librería del sensor de temperatura, humedad y presión
- <DFRobot_MICS.h> : Librería del sensor de gases

Figura 8

Librerías para monitor de calidad de aire

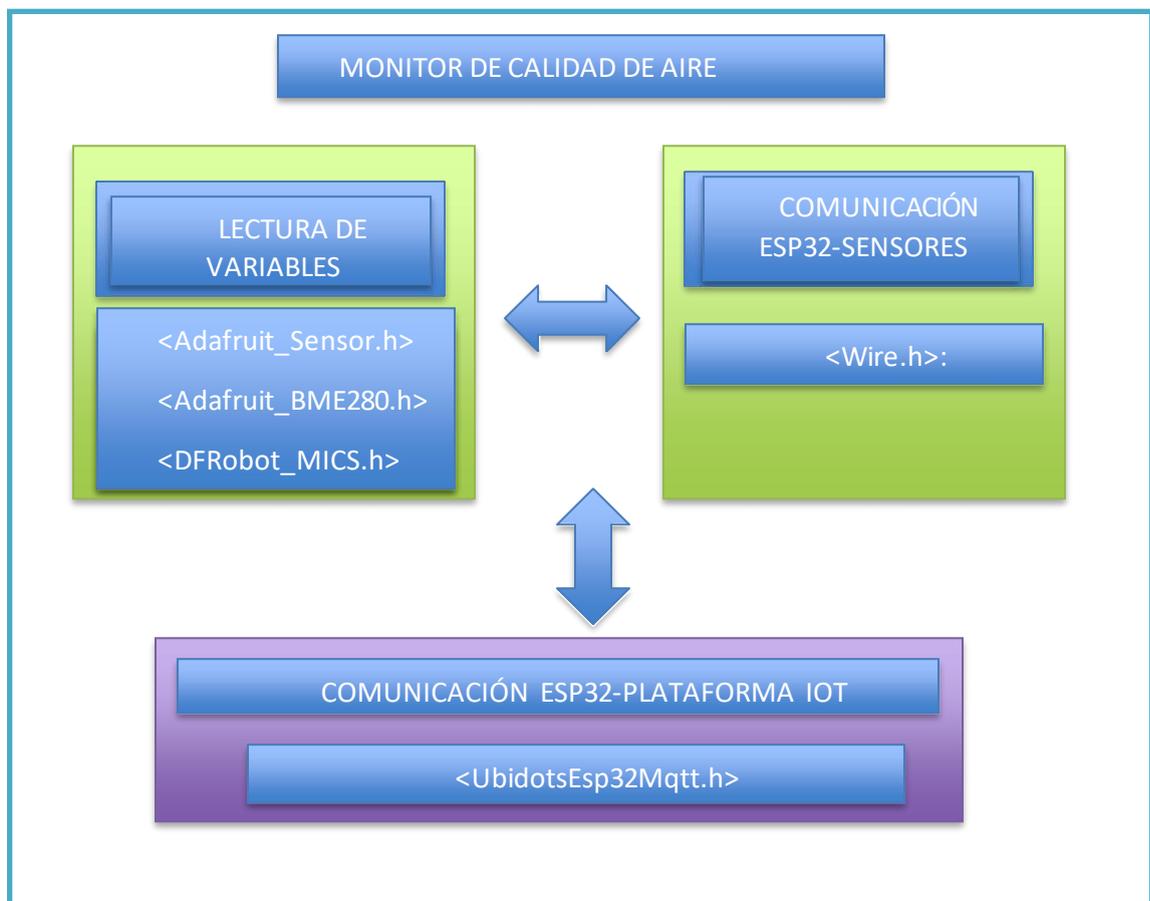
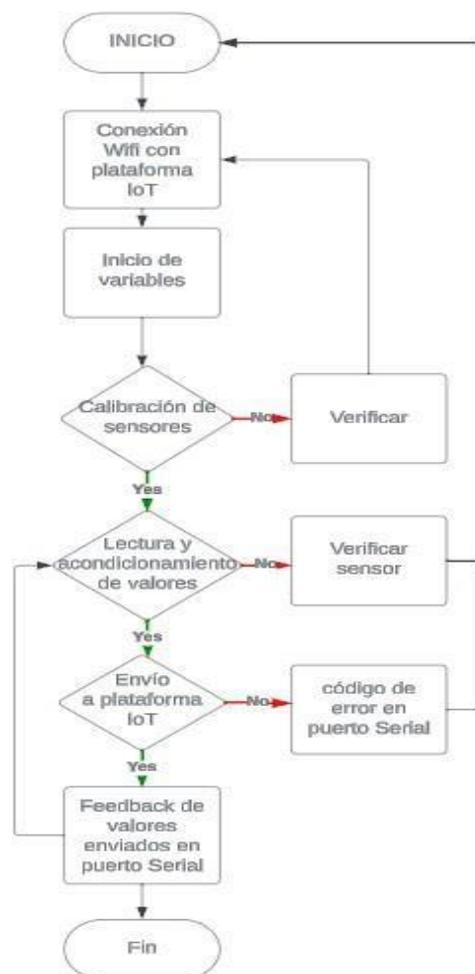


Diagrama de flujo: Por otro lado, se tiene la estructura de funcionamiento del sistema de monitoreo. En la figura 9, se observa el diagrama de flujo en el que se realiza la operación del sensor de calidad de aire y su interacción con la plataforma IoT. Por su parte en la figura 10 se tiene el diagrama de flujo de las alertas presentes en la plataforma IoT ubidots.

Figura 9

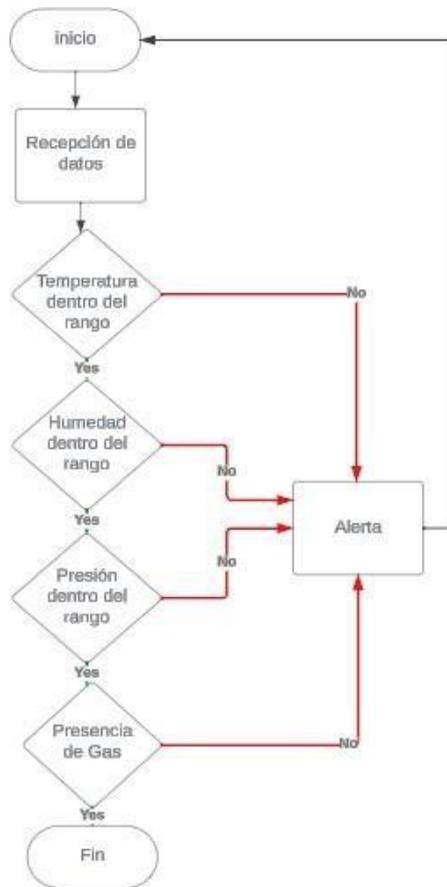
Diagrama de flujo programa ESP32



Nota: El diagrama de flujo presenta la interacción de la placa ESP32 con los sensores, su lectura de valores y el envío de la información a la plataforma. Cabe recalcar, que en este caso únicamente se envían datos de manera unidireccional, es decir, desde la placa ESP32 hacia la plataforma IoT.

Figura 10

Diagrama de flujo alertas Ubidots



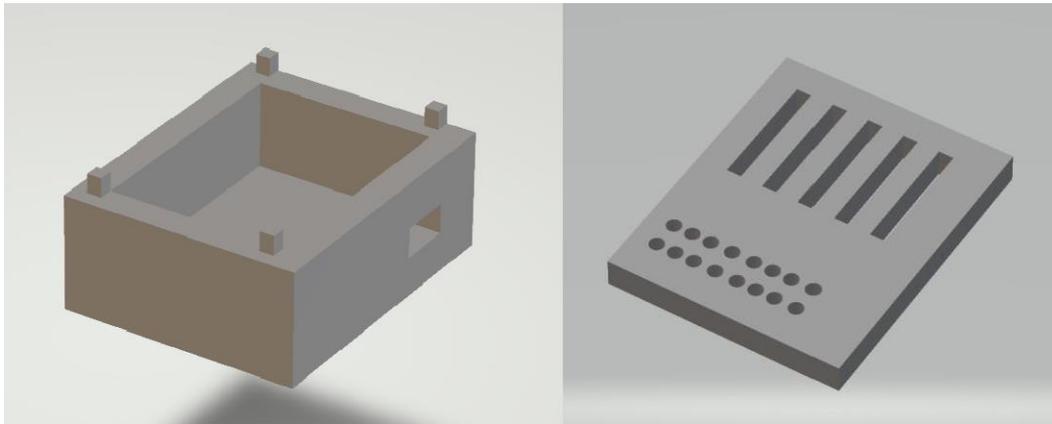
Nota: Las alertas dentro de Ubidots están establecidas por rangos acorde a los indicados por los fabricantes de los productos para su respectiva conservación. La alerta será enviada al correo electrónico del coordinador de bodega una vez se hayan superado los límites permitidos o a su vez, en el caso de los gases, se detecte presencia de los mismos.

Diseño de estructura: Para el diseño estructural del monitor de calidad de aire, se ha utilizado la herramienta tinkerCAD, realizando un diseño que permita el flujo de aire hacia los sensores sin que éstos queden totalmente expuestos. En la figura se puede observar la interfaz y el diseño de la estructura del sensor (ver figura 11). Posteriormente se procede a realizar la impresión en PLA obteniendo como resultado la estructura mostrada en la figura 12. El ácido

poliláctico por sus siglas “PLA”, es un material termoplástico sostenible ya que proviene de recursos naturales y renovables como lo son el almidón de maíz y caña de azúcar. (Contreras, 2023)

Figura 11

Diseño de la estructura del monitor de calidad de aire



Nota: El espacio interno ha sido considerado en base al tamaño de la placa ESP32, teniendo una holgura para el cableado de los sensores, y una cavidad que permite energizar el módulo, del cual se energizan los sensores.

Figura 12

Estructura de monitor impresa

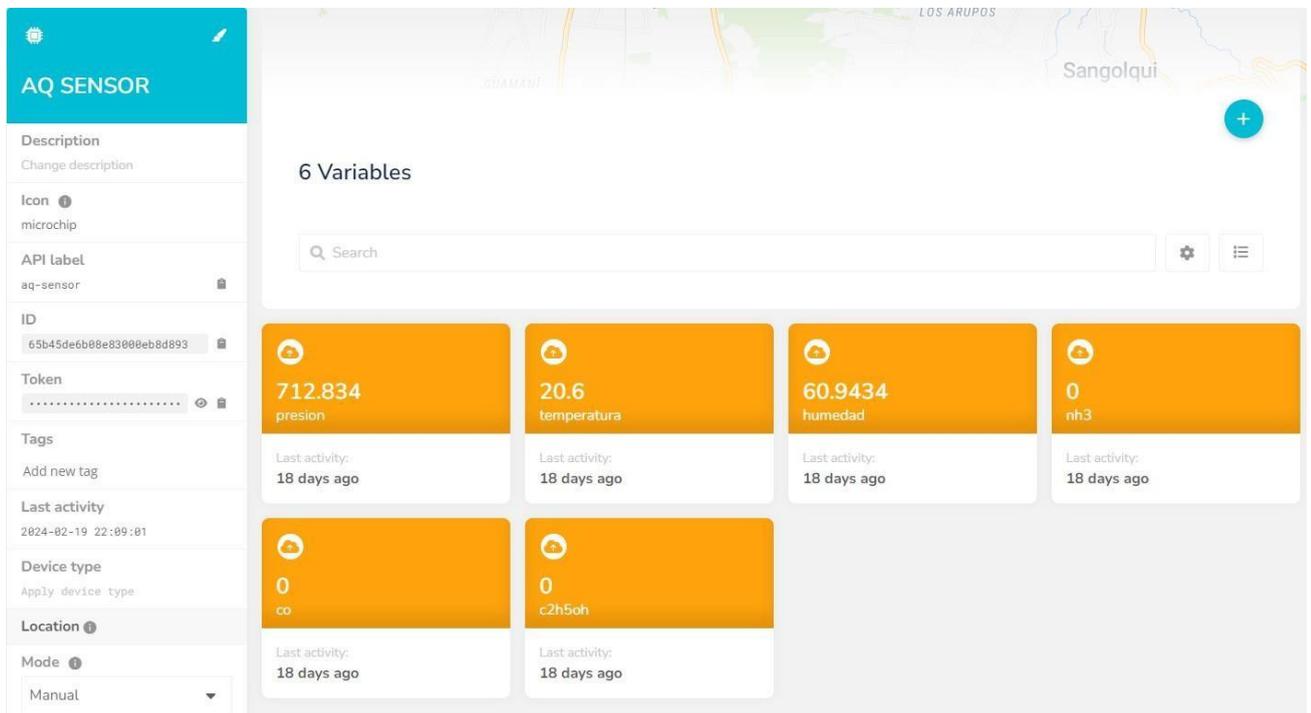


Nota: El prototipo posee una distancia de separación entre la tapa y la base a fin de abarcar la mayor cantidad de aire presente en el ambiente en conjunto con las perforaciones presentes en la tapa.

Configuración de plataforma Ubidots y alertas: En lo que corresponde a la visualización de los datos obtenidos por el sensor, se ha procedido a crear gadgets dentro de la plataforma Ubidots. En la figura se muestra la pantalla de creación de alarmas dentro de Ubidots (ver figura 13).

Figura 13

Plataforma Ubidots del monitor de calidad de aire



Nota: Dentro de la plataforma Ubidots, se generan automáticamente cada una de los gadgets para las variables enviadas desde la placa de desarrollo. También se puede visualizar la información de la ubicación de la cual se obtienen los datos.

Las alarmas que se emiten desde la plataforma IoT Ubidots, se han establecido acorde a los límites establecidos por la Administración de Seguridad y Salud Ocupacional. En la figura 14, se puede observar las alarmas configuradas, siendo éstas cuatro, tres pertenecientes a los gases: monóxido de carbono, amoníaco y etanol.

Figura 14

Alarmas creadas en Ubidots

4 Events

Search Events

<input type="checkbox"/>	Name	Created at ↓	Triggers	Actions	Organization
<input type="checkbox"/>	Alerta de amoniaco	2024-02-06 21:07:43			
<input type="checkbox"/>	Alerta de Etanol	2024-02-06 21:06:49			
<input type="checkbox"/>	Alerta de monóxido de carbono	2024-02-06 21:05:49			
<input type="checkbox"/>	ALERTA DE HUMEDAD	2024-02-04 20:37:10			

EVENTS PER PAGE 10 1 - 4 of 4

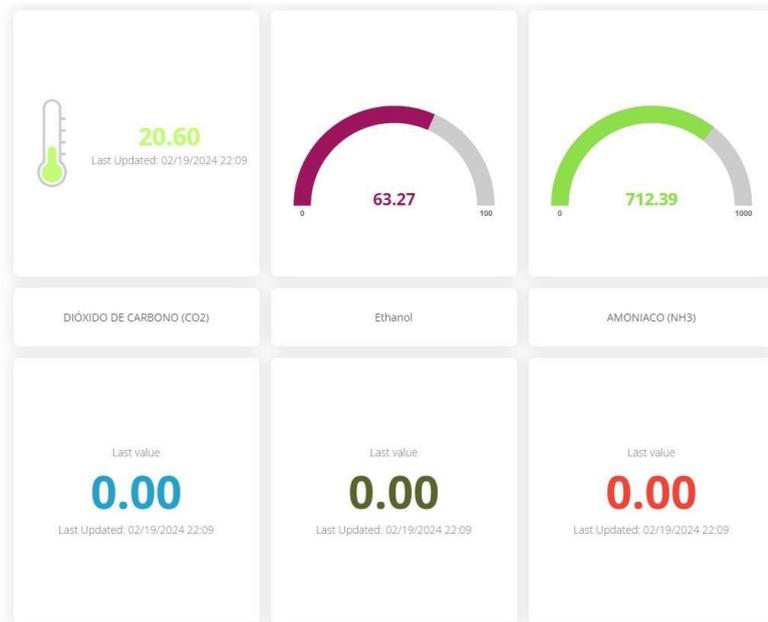
Nota: En esta ventana, se puede observar la configuración de las alertas dentro de Ubidots, para lo cual se debe tener un dispositivo enlazado, el cual, para este caso, es la placa de desarrollo ESP32.

Teniendo la configuración de alertas dentro de Ubidots, y la recepción de datos por parte de la plataforma, se configura los gadgets para tema estético y de fácil entendimiento por parte del usuario (ver figura 15). Dentro de esta interface, el usuario puede tener acceso a los datos mostrados de manera intuitiva. Se han utilizado indicadores de valor provistos por la plataforma Ubidots, por lo cual no se ha tenido que implementar ningún software adicional para el presente proyecto.

Cabe recalcar que dentro de los indicadores los valores, se encuentran etiquetados, siendo correspondientes a cada variable enviada desde la placa ESP32. Las variables son: temperatura, humedad, presión atmosférica, dióxido de carbono, etanol y amoniaco

Figura 15

Gadgets configurados en Ubidots



Nota: Para poder realizar la configuración de los gadgets es necesario que se haya registrado la placa de desarrollo ESP32 y se tengan creadas las variables a mostrar. Las variables logran visualizarse de manera más intuitiva.

Disposición para toma de medidas: El equipo al ser de fácil manejo, se procedió a colocarlo en 4 distintos puntos a lo largo del área de la bodega de productos, obteniendo datos sin varianza. En específico se colocó en la parte superior de cada una de las perchas disponibles en el área de bodega. A continuación, se muestra un gráfico de la disposición del monitor de

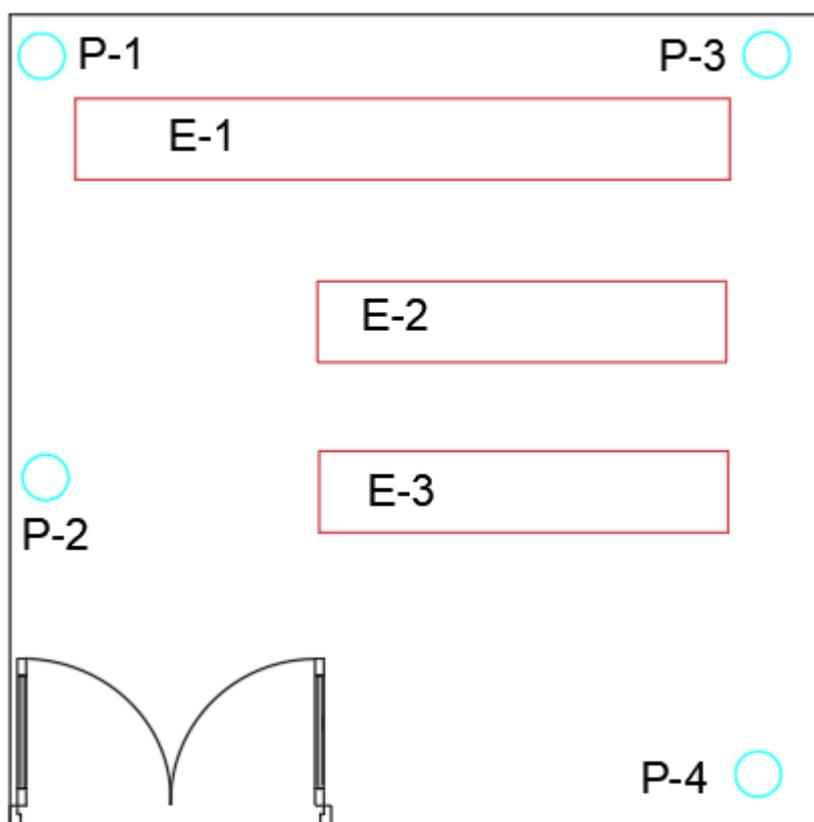
```
QASENSOR_UBIDOTS
34 #define POWER_PIN 4
35 #define MICS_ADC mics( /*adcPin*/ADC_PIN, /*powerPin*/POWER_PIN);
36
37 unsigned long delayTime;
38 /*Definimos primero el Token que nos brinda la plataforma Ubidots para hacer la conexión*/
39 const char *UBIDOTS_TOKEN = "BBUS-s22HcVbqomQlAblvJak08dVbE47TpN";
40 /*Definimos SSID y PASSWORD de nuestra red WiFi*/
41 const char *WIFI_SSID =
42 const char *WIFI_PASS =
43 /*Definimos el nombre de
44 const char *DEVICE_LABEL =
45 /*Definimos las variables
46 const char *VARIABLE_LABEL1 =
47 const char *VARIABLE_LABEL2 =
48 const char *VARIABLE_LABEL3 =
49 const char *VARIABLE_LABEL4 =
50 const char *VARIABLE_LABEL5 =
51 const char *VARIABLE_LABEL6 =
52 /*Definimos la frecuencia
53 const int PUBLISH_FREQUENCY = 10;
54 /*Definimos unas variables
55 unsigned long timer;
56
57 /*Definimos que las variables
58 Ubidots ubidots(UBIDOTS_TOKEN,
59 brokerPort:1883,
60 24:DC:C3:A0:B5:38);
61 /*La librería nos da un callback
62 void callback(char *topic, float value, String lastMessage) {
63 {
```

calidad de aire para la toma de medidas (ver figura 16).

Se establecieron 4 puntos a lo largo de la bodega con el fin de realizar un muestreo por el lapso de 3 horas en cada punto, manteniendo el intervalo de envío de datos a la plataforma de 15 minutos. El punto P-2, es el más cercano a la puerta, por lo que en ese punto las medidas fueron relacionadas con el aire y entorno exterior a diferencia del punto P-3, el cual es el que se encuentra más alejado de la entrada, teniendo una lectura de temperatura más baja.

Figura 16

Plano referencial de la bodega



Nota: Los puntos E-1, E-2 y E-3, representan las estanterías en las cuales se almacenan los productos químicos hasta el despacho. En la bodega los distintos químicos se organizan acorde a la tabla de compatibilidad química, es decir, cuales químicos pueden ir juntos y cuáles no. Por otro lado, los puntos P-1, P-2, P-3 y P-4, representan las posiciones en las que se colocó el monitor de calidad de aire.

2.3 Validación de la propuesta

Tabla 1

Descripción de perfil de validadores

Nombres y Apellidos	Años de experiencia	Titulación Académica	Cargo
René Ernesto Cortijo Leyva	31 años	Magister en Teleinformática y Redes de Computadoras.	Docente
Ricardo Salomón Fernández Pallo	9 años	Magister en Sistemas de Propulsión Eléctrica	Docente
Mélany Jazmín Yarad Jácome	9 años	Magister en Gerencia de Seguridad y Riesgos Magister en Electrónica y Automatización	Docente
Edgar Vicente Vivanco Herrera	17 años	Magister en Industria 4.0	Docente

Tabla 2

Escala de evaluación elaborada por René Ernesto Cortijo Leyva

Criterios	Evaluación según importancia y representatividad				
	En total desacuerdo	En desacuerdo	Ni de acuerdo ni en desacuerdo	De acuerdo	Totalmente acuerdo
Impacto					X
Aplicabilidad					X
Conceptualización					X
Actualidad					X
Calidad Técnica					X
Factibilidad					X
Pertinencia					X

Tabla 3*Escala de evaluación elaborada por Ricardo Salomón Fernández Pallo*

Criterios	Evaluación según importancia y representatividad				
	En total desacuerdo	En desacuerdo	Ni de acuerdo ni en desacuerdo	De acuerdo	Totalmente acuerdo
Impacto					X
Aplicabilidad				X	
Conceptualización					X
Actualidad					X
Calidad Técnica					X
Factibilidad					X
Pertinencia				X	

Tabla 4*Escala de evaluación elaborada por Mélang Jazmín Yarad Jácome*

Criterios	Evaluación según importancia y representatividad				
	En total desacuerdo	En desacuerdo	Ni de acuerdo ni en desacuerdo	De acuerdo	Totalmente acuerdo
Impacto				X	
Aplicabilidad				X	
Conceptualización			X		
Actualidad					X
Calidad Técnica					X
Factibilidad					X
Pertinencia				X	

Tabla 5

Escala de evaluación elaborada por Edgar Vicente Vivanco Herrera

Criterios	Evaluación según importancia y representatividad				
	En total desacuerdo	En desacuerdo	Ni de acuerdo ni en desacuerdo	De acuerdo	Totalmente acuerdo
Impacto					X
Aplicabilidad				X	
Conceptualización					X
Actualidad					X
Calidad Técnica					X
Factibilidad					X
Pertinencia					X

2.4 Matriz de articulación de la propuesta

En la tabla 6 se sintetiza la articulación del producto realizado con los sustentos teóricos, metodológicos, estratégicos-técnicos y tecnológicos empleados.

Tabla 6

Matriz de articulación

Ejes o partes principales del proyecto	Breve descripción de los resultados de cada parte	Sustento teórico que se aplicó en la construcción del proyecto	Metodologías, herramientas técnicas y tecnológicas que se emplearon
1 Definición: Internet de las cosas, placas de desarrollo, sensor BME280 / MICS 6814, Arduino IDE. IoT en medición de variables ambientales	1.1. Parámetros considerados en la calidad de aire 1.2. Sensores que cumplan con los parámetros establecidos 1.3. Placa de desarrollo y plataforma IoT a utilizar	Electrónica digital Internet de las Cosas Matemáticas Aplicadas Comunicaciones Inalámbricas Programación Arduino IDE	Durante la recopilación de bibliografía se logró establecer los parámetros considerados para medir la calidad de aire en el ambiente para posteriormente adaptar el prototipo a las condiciones establecidas
2 Diseño: Estructura del monitor de calidad de aire, Programación de placa de control, configuración de interfaz IoT.	2.1. Tarjeta de desarrollo 2.2. Circuito electrónico 2.3. Código de programación ESP32 2.5. Configuración de Ubidots para visualización de datos	Programación de microcontroladores con Arduino IDE Aplicaciones de diseño de circuitos Fritzing Aplicación de diseño 3D TinkerCAD.	En el proceso de diseño se utilizan las herramientas de diseño y simulación a fin de validar que la estructura y código del prototipo sean ideales para su implementación.

<p>3 Implementación: Conexión de sensores a la placa de desarrollo, Comunicación Wifi, bases de datos e interfaz de visualización.</p>	<p>3.2. Diagrama de conexión de energía y datos entre sensores y placa de desarrollo 3.3. Acondicionamiento de variables obtenidas mediante programación 3.4 Configuración interfaz gráfica Ubidots 3.5. Parámetros de configuración para conexión Wifi 3.6. Algoritmo de programación</p>	<p>Electrónica Digital Sistemas de comunicaciones Configuración de plataformas IoT Protocolos de comunicación inalámbrica</p>	<p>Durante el proceso de implementación se validó el cumplimiento de los parámetros establecidos durante el diseño, resultados los cuales se acoplaron a la necesidad del entorno en el que se implementó.</p>
---	--	--	--

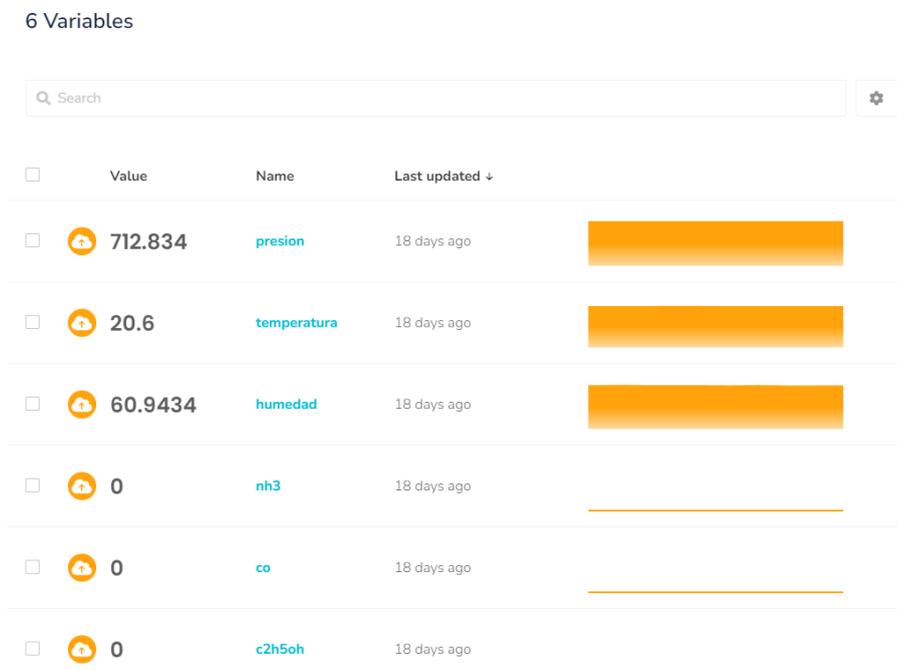
2.5 Análisis de resultados. Presentación y discusión.

Al terminar la implementación del monitor de calidad de aire, se pudo visualizar los datos en tiempo real dentro de la plataforma IoT Ubidots, datos los cuales se han configurado para que se recepcen en lapsos de 15 minutos cada uno. Se puede observar en la figura 17 que la aplicación registra la ubicación en tiempo real desde donde se están enviando los datos.

Las lecturas de Ubidots, se mantienen almacenadas hasta cumplir la máxima capacidad de datos, es decir aproximadamente 4000 registros. Registros a los cuales se puede acceder en cualquier momento, acorde a fecha, permitiendo así extraer los valores entregados por la placa de desarrollo en formato CVS. A su vez, dentro de Ubidots, se pueden mostrar los registros en gráficos que indiquen máximos, mínimos y promedio en general.

Figura 17

Panel de dispositivo en Ubidots

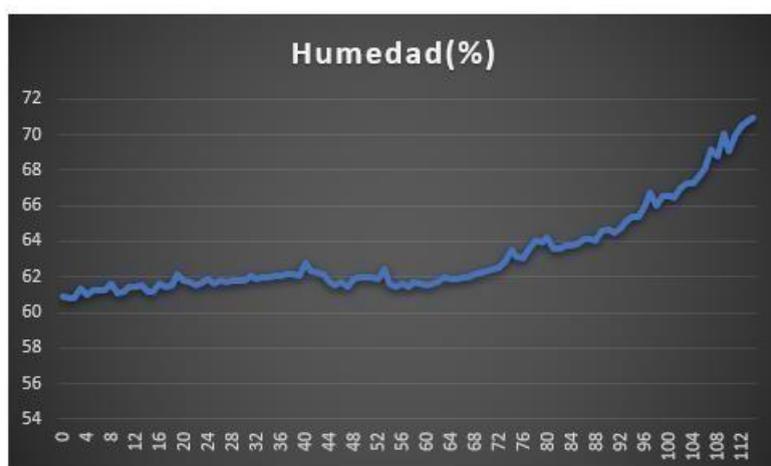


Nota: Dentro del panel de dispositivos configurado en Ubidots, se puede observar los datos en texto plano y en pequeños cuadrantes que indican valores.

Dentro del panel se puede obtener todo el historial de lecturas de cada una de las variables, y un histórico gráfico de la misma y a su vez poder exportar todos estos datos. Para poder realizar las pruebas de funcionamiento de los valores, se ha dejado el equipo conectado, a fin de realizar mediciones en intervalos de 15 minutos. Obteniendo los valores mostrados en la figura 18, 19, 20 y 21.

Figura 18 :

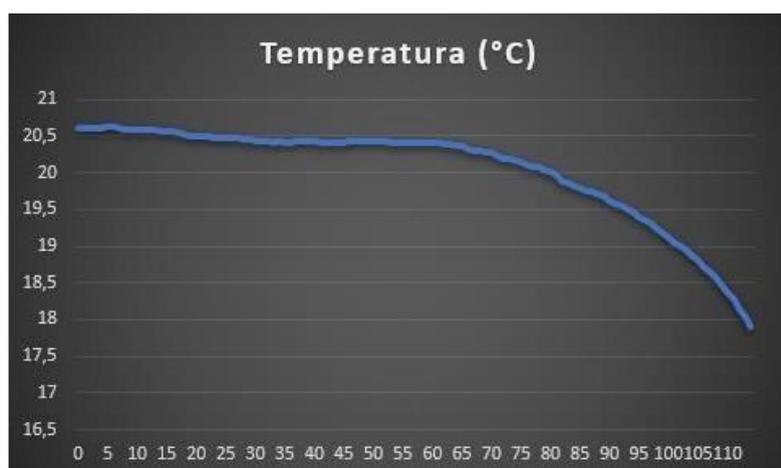
Lectura de humedad vs número de lectura



Nota: Se pudo notar que, durante el muestreo, la humedad se encontraba entre 60% y 72%. Este parámetro permite conocer las condiciones en las que se está almacenando los envases de productos, ya que la humedad juega un papel importante en la conservación de los productos.

Figura 19

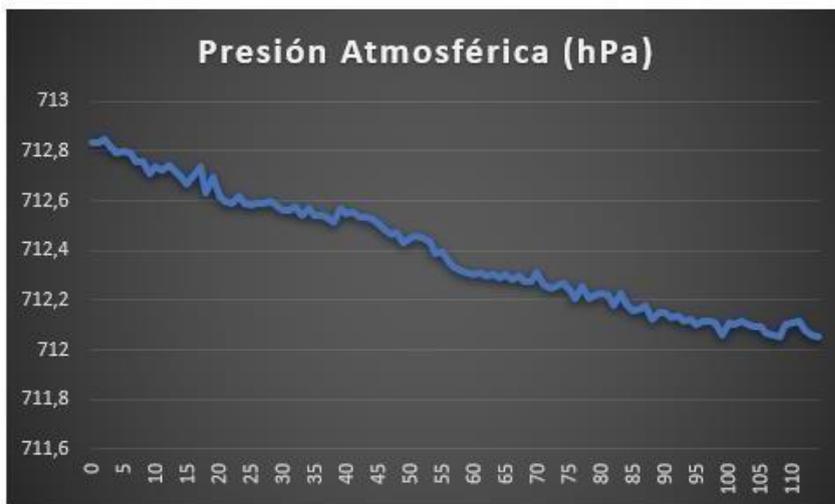
Lectura de temperatura vs número de lectura



Nota: La temperatura dentro del área de bodega permaneció entre 18 y 21 grados centígrados. La lectura de temperatura, ayuda a establecer las condiciones de almacenamiento acorde a lo que especifique el fabricante en la etiqueta, a fin de prolongar la vida útil del envase y no alterar la composición del producto.

Figura 20

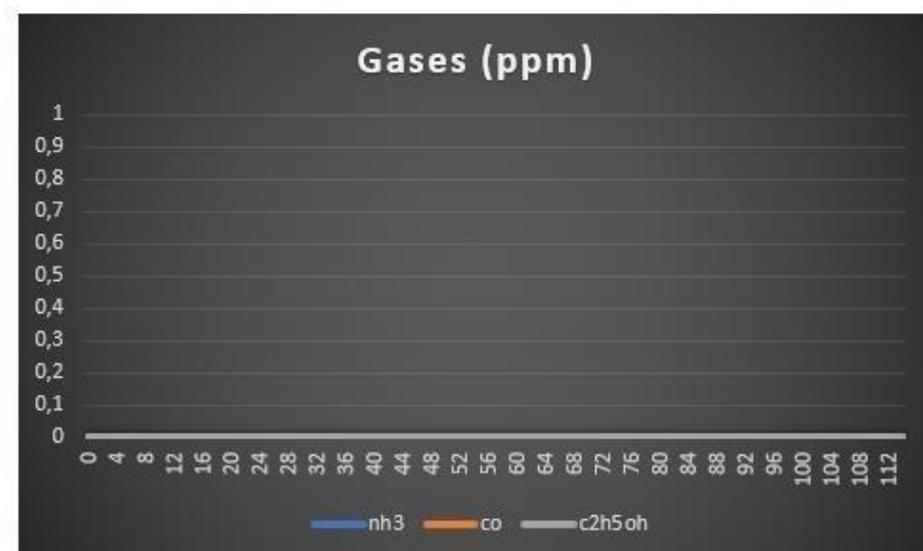
Lectura de presión vs número de lectura



Nota: Se puede notar que la presión atmosférica no varió y se mantuvo dentro de 712 hPa.

Figura 21

Lectura de gases amonio, etanol y monóxido de carbono



Nota: Durante el período de prueba no se detectó la presencia de los gases establecidos. Cabe recalcar que la unidad de medida de los gases se da en partes por millón (ppm).

Se validó el funcionamiento del sensor de gases, obteniendo la confirmación por parte del código implementado en Arduino IDE en su monitor serial como se indica en la figura 22.

Figura 22:

Inicialización del sensor de gases en Arduino IDE

Nota: Proceso de inicialización del sensor, en el cual, se toma tres minutos es calibrar las condiciones externas y posteriormente se inicia el programa de transmisión de datos a la plataforma Ubidots.

A su vez, se realizó una medición controlada de Etanol, Monóxido de carbono y Amoníaco. Obteniendo las siguientes lecturas (ver tabla 7).

Tabla 7

Lecturas de condiciones creadas para detección de gases

Lectura de monitor de calidad de aire	Concentración
Etanol	396.27 ppm
Monóxido de carbono	854.17 ppm
Amoníaco	481.34 ppm

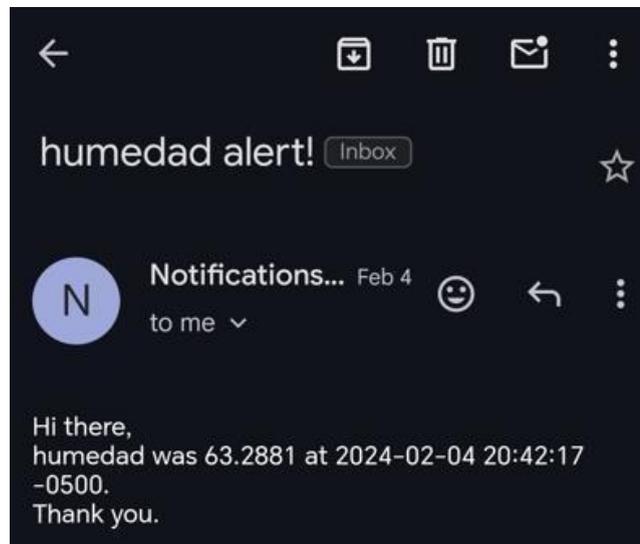
Nota: Es importante recordar que las condiciones para obtener las lecturas de estos gases han sido provocadas mediante incineración de papel Kraft recubierto con alcohol, a fin de validar la lectura por parte del sensor MiCS.

Es importante recordar que se debe realizar un muestreo utilizando distintas técnicas de laboratorio y uso de equipos certificados, a fin de determinar la presencia de los gases y establecer la diferencia con las lecturas del sistema de monitoreo.

Acorde a lo configurado dentro de las alertas en la plataforma Ubidots. En la figura 23 se observa la validación del funcionamiento de las alertas mediante la respuesta enviada al correo electrónico configurado. Cabe recalcar que las condiciones se han establecido acorde a lo recomendado por los fabricantes de productos para que se puedan mantener en el tiempo.

Figura 23:

Notificación de alerta Ubidots



Nota: Las alertas enviadas acorde a los parámetros configurados, permiten que se puedan tener en cuenta las condiciones en las que se encontraba el ambiente el momento en el que se detectó la varianza de los valores fuera del rango.

Se realiza una validación comparativa de la medida obtenida por parte del monitor de calidad de aire en lo que corresponde a los parámetros de temperatura y humedad con la ayuda de un termohigrómetro Ebro EBI300 digital con S.N: 73294063 certificación ISO 9001 NIST, obteniendo las siguientes lecturas (ver tabla 8 , figura 24 y 25):

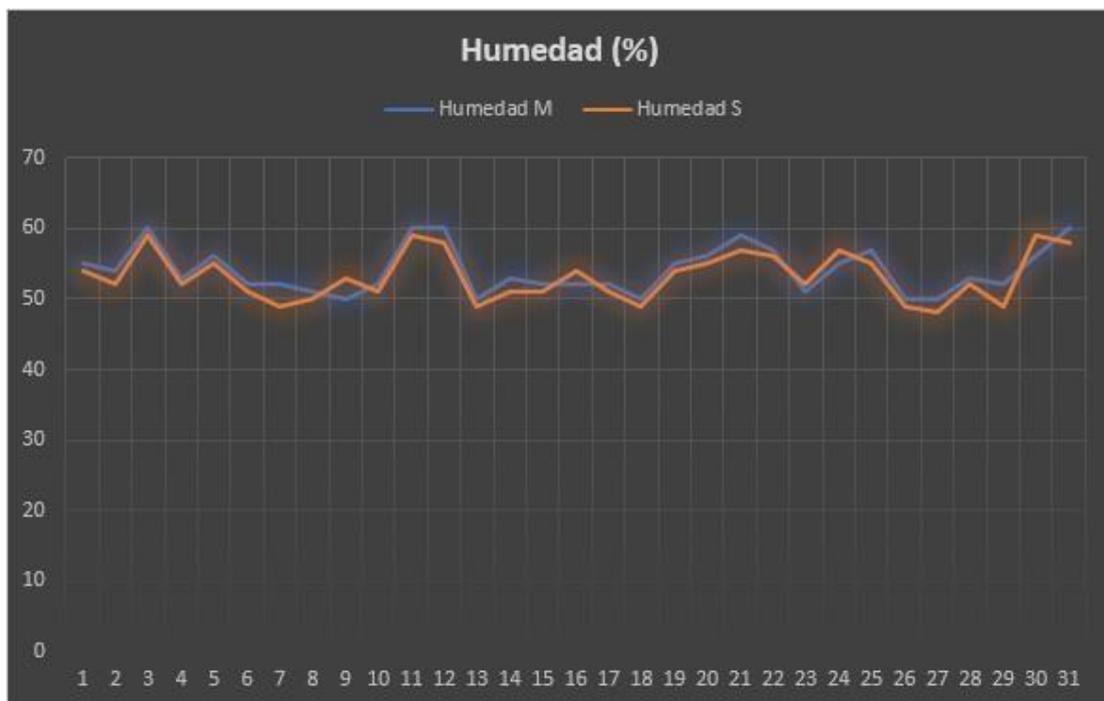
Tabla 8

Lectura comparativa de temperatura y humedad

Parámetro	Prototipo	Termohigrómetro
Temperatura	21.10	22.3
Humedad	56 %	58%

Figura 24

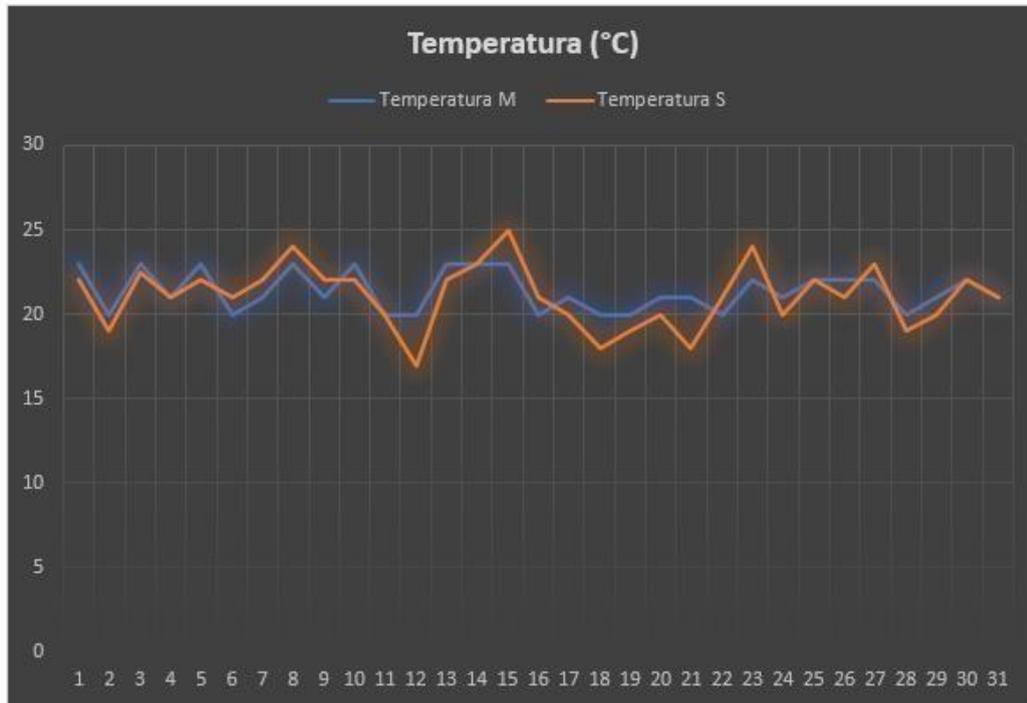
Lecturas comparativas de humedad entre monitor (humedad M) y equipo (humedad S)



Nota: Dentro de los valores obtenidos se tuvo una diferencia de +/- 4%.

Figura 25

Lecturas comparativas de temperatura entre monitor (temperatura M) y equipo (humedad S)



Nota: La lectura de temperatura, se la realizó con el uso del termómetro Ebro EBI300, el cual posee su certificado de fábrica. Se observó que las variaciones en las medidas tuvieron una diferencia de +/- 2°C.

CONCLUSIONES

Se logró establecer un diseño de monitor que permita ser compacto y no interfiera en el área de la bodega a ser instalada. A su vez, el bajo consumo de energía, ayuda a que no se tengan que implementar fuentes de alimentación externa a la propia generada por la placa de desarrollo ESP32. Por su parte, los sensores utilizados estuvieron disponibles en el mercado local por lo que el proyecto se pudo implementar en un corto periodo de tiempo evitando inconvenientes por importación de componentes.

Se consideró el área de bodega de químicos donde acorde a la información provista por el encargado de bodega, se tenían una tendencia a deterioro de material de envase de los productos químicos, ante lo cual, previamente se habían tomado medidas correctivas acorde al ingreso de luz natural hacia el interior del área. Por otro lado, se validó que las condiciones se encuentren dentro del rango recomendado por los fabricantes para almacenamiento.

Al conectar el sistema de monitoreo de calidad de aire, la respuesta fue inmediata, ya que el dispositivo final quedó en configuración PnP (plug and play) listo para utilizar. Facilitando inclusive la movilidad del mismo. Por lo que se consideró la medición en distintos puntos del área de bodega.

Se realizaron las pruebas de funcionamiento obteniendo resultados deseados, la conexión del módulo mediante Wifi y la autenticación mediante las credenciales de la red inalámbrica fueron exitosas. La obtención de datos se dio en el lapso configurado dentro de la plataforma. Junto con esto, el envío de alarmas las cuales reaccionan de manera inmediata a la configuración establecida, permite que se tenga un registro de todos los eventos atípicos como sustento para el personal de bodega a fin de garantizar el buen estado de los productos y el ambiente de trabajo.

RECOMENDACIONES

A fin de poder incrementar el alcance del monitor de calidad de aire, se lo puede implementar en distintos entornos, como por ejemplo en áreas de cultivo, en específico para poder aprovechar la ventaja del sensor de presión atmosférica para estimaciones de cambios climáticos.

Para poder cubrir áreas más grandes, se recomienda la implementación de un sistema de al menos tres o cuatro nodos de sensores, a fin de poder tener en tiempo real las variables en cada punto sin tener que moverlo y poder tener un estimado o una media de todos los valores. En el caso realizado, el área no es extensa por lo que se implementa solamente uno.

Se puede reducir el tamaño del prototipo utilizando otra placa de desarrollo como por ejemplo la versión ESP32 mini DEV Kit, logrando así tener un prototipo que puede llegar a ser portátil al poder implementarlo con una batería de litio de larga duración utilizando los mismos sensores ya que estos, no implican un gran consumo de corriente.

Se puede realizar una caracterización del equipo con la utilización de equipos certificados para la detección de las variables que se han tratado en este sistema de monitoreo. Cabe recalcar que dentro del país existe SAE (Servicio de Acreditación Ecuatoriano), organismo el cual se encarga de validar equipos para procesos de metrología, que sería el campo en el que ingresa este medidor de calidad de aire.

BIBLIOGRAFÍA

- Alvear Puertas Vanessa, R. M. (2017). *Enfoque UTE*. Internet de las Cosas y Visión Artificial, Funcionamiento y Aplicaciones: Revisión de Literatura: <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v8n1.121>.
- Gil, K. G. (1 de junio de 2021). *BBVA*. Crecimiento de la industria del internet de las cosas (IoT): <https://www.bbva.ch/noticia/crecimiento-de-la-industria-del-internet-de-las-cosas-iot/>
- Gioconda, A. P. (septiembre de 2023). *Repositorio Universidad Israel*. Sistema remoto de monitoreo de temperatura, humedad y luminosidad en bodegas de almacenamiento de productos médicos, bajo plataforma IoT.: <http://repositorio.uisrael.edu.ec/handle/47000/3873>
- Márquez, A. (noviembre de 2020). *Ecología verde*. Qué es el monitoreo ambiental: <https://www.ecologiaverde.com/que-es-el-monitoreo-ambiental-3113.html>
- SAI. (2024). *El impacto de la automatización en la sostenibilidad y el medio ambiente*. <https://acortar.link/TXx6DQ>
- Salcido, A. C. (3 de junio de 2019). *Revista Unam*. Calidad del aire y monitoreo atmosférico: <https://acortar.link/r4FrBD>
- Silvia Liberata Ullo, G. S. (31 de mayo de 2020). *MDPI*. Advances in Smart Environment Monitoring Systems Using IoT and Sensors: <https://doi.org/10.3390/s20113113>
- Tapia, K. A. (febrero de 2022). *Repositorio Escuela Politécnica Nacional*. Redes de sensores inalámbricos para IoT: automatización de redes inalámbricas de sensores: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/22656>
- Toapanta, Á. R. (septiembre de 2022). *Repositorio Universidad Israel*. APLICACIÓN IoT PARA EL MONITOREO DE CONSUMO ELÉCTRICO RESIDENCIAL UTILIZANDO SOFTWARE LIBRE: <http://repositorio.uisrael.edu.ec/handle/47000/3327>
- Wilmar Lopez Garzon, J. C. (2 de abril de 2019). *Centro institucional de publicaciones y revistas especializadas*. Tecnología internet of things (IoT) y el big data : Tecnología internet of things (IoT) y el big data
- ATSDR. (2021). *Resúmenes de Salud Pública - Amoníaco*. https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs126.html
- campusa. (21 de junio de 2023). *Campusa Noticias de la Universidad del País Vasco*. Las tecnologías de la industria 4.0 favorecen la seguridad y salud laboral de la plantilla: <https://www.ehu.eus/es/-/4.0-industria-1>
- Carl Roth. (2021). *Ficha de datos de seguridad*. <https://acortar.link/GjRZOs>
- Contreras, L. (2023). *3D Natives*. Guía completa: El filamento de PLA en la impresión 3D: <https://www.3dnatives.com/es/guia-filamento-pla-en-la-impresion-3d-190820192/>
- Fauzian, H. &. (2023). Sistem Monitoring Air Quality (Si Montoq). *Jurnal Komputer Dan Elektro Sains*, págs. 6–9. <https://doi.org/https://doi.org/10.58291/komets.v2i1.143>

- G. V. Shevchenko, N. A. (2020). "Air Flow Sensor Based on Environmental Sensor BME280,". *2020 21st International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices (EDM)*, págs. pp. 432-435. <https://doi.org/10.1109/EDM49804.2020.9153474>.
- García, J. (2024). *Telcel Tendencias IoT*. IoT y el cuidado del medio ambiente: <https://acortar.link/oR1U6Q>
- M. Babiuch, P. F. (2019). "Using the ESP32 Microcontroller for Data Processing,". *International Carpathian Control Conference (ICCC)*, págs. 1-6. <https://doi.org/10.1109/CarpathianCC.2019.8765944>
- MedlinePlus. (2019). *Niveles de amoníaco*. MedlinePlus en español: <https://medlineplus.gov/spanish/pruebas-de-laboratorio/niveles-de-amoniaco/>
- NIOSH. (diciembre de 1996). *Prevención de envenenamiento con monóxido de carbono producido por herramientas y equipos con motores pequeños de gasolina*. Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional: <https://acortar.link/sCp6Cg>
- NJHealth. (s.f.). *Hoja informativa sobre sustancias peligrosas*. <https://nj.gov/health/eoh/rtkweb/documents/fs/2394.pdf>
- Peralta-Abarca, J. d.-B.-U. (2021). págs. 16(39), 1-7. <https://doi.org/https://doi.org/10.30973/inventio/2020.16.39/4>
- Rajamani, S. (2019). *Analysis of Three IoT-Based Wireless Sensors for Environmental Monitoring*. <https://sajet.in/index.php/journal/article/view/20>
- SAI. (2024). *El impacto de la automatización en la sostenibilidad y el medio ambiente*. <https://acortar.link/TXx6DQ>
- Salinas Anaya, Y. D. (2022). El impacto del internet de todas las cosas (IoT) en la vida cotidiana. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, págs. 6(2), 1369-1378. https://doi.org/https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i2.1959
- Ubidots. (2024). *Industrial Platform*. <https://es.ubidots.com/>
- Ubidots. (2024). *Ubidots STEM*. <https://es.ubidots.com/stem>
- Valiente, J. (2024). *Ciberseguridad en la aplicación de Internet de las Cosas (IoT) en la Industria Química*. <https://acortar.link/fXfCmw>
- Vanessa Pineda Casas, H. A. (2021). DISEÑO DE SENSOR IOT DE VARIABLES CLIMÁTICAS PARA CULTIVO AEROPÓNICO APLICADO A LECHUGA. <https://pistaseducativas.celaya.tecnm.mx/index.php/pistas/article/view/2600>
- Vidal Silva, C. (2019). Electrónica para Todos con el Uso de Arduino: Experiencias Positivas en la Implementación de Soluciones Hardware-Software. *Inf. tecnol. vol.30*. <https://doi.org/doi.org/10.4067/S0718-07642019000600377>

ANEXOS

NODE MCU ESP32

Microcontroller Development Board



With the NodeMCU-ESP32, comfortable prototyping is possible with simple programming via Lua script or the Arduino IDE and the breadboard-compatible design. This board has 2.4 GHz dual-mode Wifi and a BT wireless connection. In addition, a 512 KB SRAM and a 4MB memory are integrated on the microcontroller development board. The board has 21 pins for interface connection, including I2C, SPI, UART, DAC and ADC.

MAIN FEATURES

Model	NodeMCU ESP32
Special features	Wifi and BT
Processor	Tensilica LX6 Dual-Core
Clock frequency	240 MHz
SRAM	512 kB
Memory	4 MB
Wifi standard	802.11 b/g/n - 2.4 GHz
Operating voltage	3.3 V; 5 V via micro-USB
Logic level	3.3 V
Max. current draw per GPIO	40 mA
Interfaces	I2C, SPI, UART, DAC, ADC

FURTHER SPECIFICATIONS

Operating temperature	-40° C to 125° C
Dimensions	48 x 26 x 11.5 mm
Items delivered	NodeMCU ESP32

FURTHER DETAILS

Article No.	SBC-NodeMCU-ESP32
EAN:	4250236816104
Customs Tariff No.	8473302000

Anexo 2: Código Arduino IDE

```
#include "UbidotsEsp32Mqtt.h"

#include <Wire.h>

#include <Adafruit_Sensor.h>

#include <Adafruit_BME280.h>

#define SEALEVELPRESSURE_HPA (1013.25)

Adafruit_BME280 bme;

#include "DFRobot_MICS.h"

#define CALIBRATION_TIME 3

#define ADC_PIN A0

#define POWER_PIN 4

DFRobot_MICS_ADC mics(/*adcPin*/ADC_PIN, /*powerPin*/POWER_PIN);

const char *UBIDOTS_TOKEN = "BBUS-s22HcvbqomQlAb1vJak08dvvE47TpN";

const char *WIFI_SSID = "CELERITY_QUINALOA";

const char *WIFI_PASS = "qu1naloa123";

const char *DEVICE_LABEL = "aq-sensor";

const char *VARIABLE_LABEL_1 = "temperatura";

const char *VARIABLE_LABEL_2 = "humedad";

const char *VARIABLE_LABEL_3 = "presión";

const char *VARIABLE_LABEL_4 = "CH4";

const char *VARIABLE_LABEL_5 = "CO";

const char *VARIABLE_LABEL_6 = "NH3";
```

```

const int PUBLISH_FREQUENCY = 500000;

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

void setup()
{
  Serial.begin(115200);

  while(!Serial);

  while(!mics.begin()){
    Serial.println("NO Deivces !");
    delay(1000);
  } Serial.println("Device connected successfully !");

  uint8_t mode = mics.getPowerState();
  if(mode == SLEEP_MODE){
    mics.wakeUpMode();
    Serial.println("wake up sensor success!");
  }
}

```

```
}else{  
  
Serial.println("The sensor is wake up mode");  
  
}  
  
while(!mics.warmUpTime(CALIBRATION_TIME)){  
  
Serial.println("Please wait until the warm-up time is over!");  
  
delay(1000);  
  
}  
  
Serial.println(F("BME280 test"));
```

```
bool status;  
  
status = bme.begin(0x76);  
  
if (!status) {  
  
Serial.println("Could not find a valid BME280 sensor, check wiring!");  
  
while (1);  
  
}  
  
Serial.println("-- Default Test --");  
  
delayTime = 1000;  
  
Serial.println();  
  
ubidots.connectToWifi(WIFI_SSID, WIFI_PASS);  
  
ubidots.setCallback(callback);  
  
ubidots.setup();  
  
ubidots.reconnect();  
  
timer = millis();  
  
}
```

```

void loop()

{

if (!ubidots.connected())

{

ubidots.reconnect();

}

if ((millis() - timer) > PUBLISH_FREQUENCY)

{

float gasdata = mics.getGasData(C2H5OH);

float gasdata2 = mics.getGasData(CO);

float gasdata3 = mics.getGasData(NH3);

float t = bme.readTemperature();

float p = (bme.readPressure() / 100.0F);

float h = bme.readHumidity();

ubidots.add(VARIABLE_LABEL_1, t);

ubidots.add(VARIABLE_LABEL_2, h);

ubidots.add(VARIABLE_LABEL_3, p);

ubidots.add(VARIABLE_LABEL_4, gasdata);

ubidots.add(VARIABLE_LABEL_5, gasdata2);

ubidots.add(VARIABLE_LABEL_6, gasdata3);

ubidots.publish(DEVICE_LABEL);

Serial.println("Enviando los datos a Ubidots: ");

Serial.println("Temperatura: " + String(t));

```

```
Serial.println("Humedad: " + String(h));  
  
Serial.println("presion: " + String(p));  
  
Serial.println("CH4: " + String(gasdata));  
  
Serial.println("CO: " + String(gasdata2));  
  
Serial.println("NH3: " + String(gasdata3));  
  
Serial.println(" ----- ");  
  
timer= millis();  
  
}  
  
delay(10000);  
  
ubidots.loop();  
  
}
```

Anexo 3: Datasheet sensor Mics

Data Sheet

MICS-6814
1143 rev 8



The MiCS-6814 is a compact MOS sensor with three fully independent sensing elements on one package.

The MICS-6814 is a robust MEMS sensor for the detection of pollution from automobile exhausts and for agricultural/industrial odors.



Features

- Smallest footprint for compact designs (5 x 7 x 1.55 mm)
- Robust MEMS sensor for harsh environments
- High-volume manufacturing for low-cost applications
- Short lead-times

Detectable gases

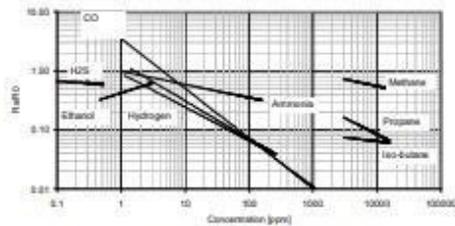
- | | | |
|--------------------|----------------------------------|--------------|
| • Carbon monoxide | CO | 1 – 1000ppm |
| • Nitrogen dioxide | NO ₂ | 0.05 – 10ppm |
| • Ethanol | C ₂ H ₅ OH | 10 – 500ppm |
| • Hydrogen | H ₂ | 1 – 1000ppm |
| • Ammonia | NH ₃ | 1 – 500ppm |
| • Methane | CH ₄ | >1000ppm |
| • Propane | C ₃ H ₈ | >1000ppm |
| • Iso-butane | C ₄ H ₁₀ | >1000ppm |

For more information please contact:

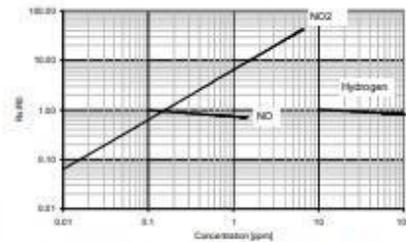
info.em@sgxsensortech.com

SGX Sensortech, Courtils 1
CH-2035 Corcelles-Cormondrèche
Switzerland

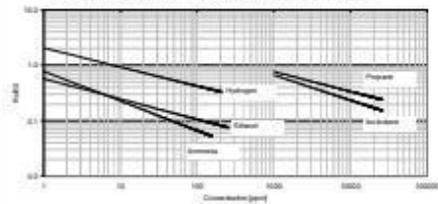
www.sgxsensortech.com



RED sensor, continuous power ON, 25°C, 50% RH



OX sensor, continuous power ON, 25°C, 50% RH



NH3 sensor, continuous power ON, 25°C, 50% RH

Anexo 4: Datasheet sensor bme280

BME280 Digital humidity, pressure and temperature sensor

Key features

- Package 2.5 mm x 2.5 mm x 0.93 mm metal lid LGA
- Digital interface I²C (up to 3.4 MHz) and SPI (3 and 4 wire, up to 10 MHz)
- Supply voltage V_{DD} main supply voltage range: 1.71 V to 3.6 V
V_{DDIO} interface voltage range: 1.2 V to 3.6 V
- Current consumption 1.8 µA @ 1 Hz humidity and temperature
2.8 µA @ 1 Hz pressure and temperature
3.6 µA @ 1 Hz humidity, pressure and temperature
0.1 µA in sleep mode
- Operating range -40...+85 °C, 0...100 % rel. humidity, 300...1100 hPa
- Humidity sensor and pressure sensor can be independently enabled / disabled
- Register and performance compatible to Bosch Sensortec BMP280 digital pressure sensor
- RoHS compliant, halogen-free, MSL1

Key parameters for humidity sensor

- Response time ($\tau_{63\%}$) 1 s
- Accuracy tolerance $\pm 3\%$ relative humidity
- Hysteresis $\pm 1\%$ relative humidity

Key parameters for pressure sensor

- RMS Noise 0.2 Pa, equiv. to 1.7 cm
- Offset temperature coefficient ± 1.5 Pa/K, equiv. to ± 12.6 cm at 1 °C temperature change

Typical application

- Context awareness, e.g. skin detection, room change detection
- Fitness monitoring / well-being
 - Warning regarding dryness or high temperatures
 - Measurement of volume and air flow
- Home automation control
 - control heating, venting, air conditioning (HVAC)
- Internet of things
- GPS enhancement (e.g. time-to-first-fix improvement, dead reckoning, slope detection)
- Indoor navigation (change of floor detection, elevator detection)
- Outdoor navigation, leisure and sports applications
- Weather forecast
- Vertical velocity indication (rise/sink speed)

Target devices

- Handsets such as mobile phones, tablet PCs, GPS devices
- Navigation systems
- Gaming, e.g. flying toys
- Camera (DSC, video)
- Home weather stations
- Flying toys
- Watches

Anexo 5: Datos Etanol Absoluto

Punto de Fusión: -114.1 ° C
Punto de ebullición: 78.5 ° C
Densidad: 0.790 kg / l
Índice de refracción: 20 / D 1.361
Descripción física: líquido
Nombre del producto: Etanol absoluto para análisis, AR
Ensayo mínimo (G.C.) (v / v): 99.8%
Gravedad específica 15,56 ° C: <0.7962
Identidad: prueba de pases IR
Densidad 20/20: 0.790-0.793
Color APHA: 10
Acidez: 0.00035 meq / g
Alcalinidad: 0.0002 meq / g
Materia no volátil: 0.0005%
Compuestos de carbonilo (como CH₃CHO): 0.005%
Acetona (G.C.): 0.001%
2-butanol (G.C.): 0.02%
2-Propanol (G.C.): 0.003%
Alcoholes superiores (G.C.): 0.01%
Butanona (G.C.): 0.003%
3-metil-1-butanol (G.C.): 0.05%
Impurezas volátiles (G.C.):
– Metanol: 0.02%
– Acetaldehído y acetal: 0.001%
– Benceno: 0.0002%
– Total de otras impurezas: 0.03%
– Agua (H₂O): 0.2%
Metales residuales ICP: (según EMEA / CHMP / SWP / 4446/2000)
– Clase 1A (Pt, Pd): 10 ppm
– Clase 1B (Ir, Rh, Ru, Os): 10 ppm
– Clase 1C (Mo, Ni, Cr, V): 25 ppm
– Clase 2 (Cu, Mn): 250 ppm
– Clase 3 (Fe, Zn): 1.300 ppm

Anexo 6: Termómetro EBI 300

EBI 300 Multi-Use USB Data Loggers

General technical specifications: valid for EBI 300 data logger types*

Memory capacity	40,000 measurements
Alarm	2 limits
PDF creation	PDF
LED	Yes (red)
Storage temperature	-40 °C ... +85 °C (-40 °F ... +185 °F)
Sample rate	1 min ... 24 h
Measurement modes	<ul style="list-style-type: none"> • Endless measurement • Start / Stop • Measurement until end of memory • Start with key press
Display	Value, MIN / MAX, until end of memory, alarm on / off
Maximum start delay	72 h
Housing material	Polycarbonate
Certificate	Factory calibration certificate
Battery	Lithium button cell (CR 2450), 3 V
Battery lifetime	Up to 2 years, depending on applications

* Please find the exact technical data of each EBI 300 data logger type on this double page.

EBI 300 Multi-Use USB Data Logger Standard version



Technical Data

Measurement range/operating temperature	-30 °C ... +70 °C (-22 °F ... +158 °F) By connecting an external probe, the temperature measurement range can be extended.
Accuracy	± 0.5 °C (-20 °C ... +40 °C / -4 °F ... +104 °F) ± 0.8 °C for the remaining measurement range
Sensor	NTC
Resolution	0.1 °C
Dimensions (L x W x H)	80 x 33 x 14 mm
Protection class	IP 65



The device has been certified together with the EB 4401 food inspection case.

Accessories for EBI 300, EBI 300 TE and EBI 300 TH



Anexo 7: Validación René Ernesto Cortijo Leyva



Yo, **René Ernesto Cortijo Leyva**, con C.I **1719010108**, en mi calidad de validador de la propuesta del proyecto titulado: **SISTEMA IOT DE MONITOREO DE CALIDAD DE AIRE DE UNA BODEGA DE PRODUCTOS QUÍMICOS**.

Elaborado por el Ing. **Quinaloa Ramirez Anderson Roberto**, con C.I **1724368897**, estudiante de la Maestría en Electrónica y Automatización de la Universidad Tecnológica Israel (UISRAEL), como parte de los requisitos para obtener el Título de Magister, me permito declarar haber revisado el proyecto y realizado la evaluación de criterios.

Quito 29, de febrero de 2024

RENE
ERNEST
O
CORTIJO
LEYVA

Firmado digitalmente por RENE ERNESTO CORTIJO LEYVA
Fecha: 2024.02.29 11:34:44 -05'00'

René Ernesto Cortijo Leyva. Mg.

C.I 1719010108

Registro SENESCYT: 1032-15-86056725 (Magister en Teleinformática y Redes de Computadoras); CU-05-179 (Ingeniero en Electrónica)

Anexo 8: Validación Ricardo Salomón Fernández Pallo



Yo, Ricardo Salomón Fernández Pallo, con C.I 1723514145, en mi calidad de validador de la propuesta del proyecto titulado: SISTEMA IOT DE MONITOREO DE CALIDAD DE AIRE DE UNA BODEGA DE PRODUCTOS QUÍMICOS.

Elaborado por el Ing. Quinaloa Ramirez Anderson Roberto, con C.I 1724368897, estudiante de la Maestría en Electrónica y Automatización de la Universidad Tecnológica Israel (UISRAEL), como parte de los requisitos para obtener el Título de Magister, me permito declarar haber revisado el proyecto y realizado la evaluación de criterios.

Quito D.M., 25 de febrero de 2024

Ricardo Salomón Fernández Pallo

C.I.: 1723514145

Registro SENESCYT: 1010-2022-2561756

Anexo 9: Validación Mélany Jazmín Yarad Jácome



Yo, **Mélany Jazmín Yarad Jácome**, con C.I **1716242993** en mi calidad de validador de la propuesta del proyecto titulado: **SISTEMA IOT DE MONITOREO DE CALIDAD DE AIRE DE UNA BODEGA DE PRODUCTOS QUÍMICOS**.

Elaborado por el Ing. **Quinaloa Ramirez Anderson Roberto**, con C.I **1724368897**, estudiante de la Maestría en Electrónica y Automatización de la Universidad Tecnológica Israel (UISRAEL), como parte de los requisitos para obtener el Título de Magister, me permito declarar haber revisado el proyecto y realizado la evaluación de criterios.

Quito D.M., 4 de marzo de 2024



Ing. Mélany Jazmín Yarad Jácome, Mgst

C.I: 1716242993

**Registro SENESCYT : 1079-2018-1936404
1051-2023-2770580**

Anexo 10: Validación Edgar Vicente Vivanco Herrera



Yo, Edgar Vicente Vivanco Herrera, con C.I 1713917399, en mi calidad de validador de la propuesta del proyecto titulado: **SISTEMA IOT DE MONITOREO DE CALIDAD DE AIRE DE UNA BODEGA DE PRODUCTOS QUÍMICOS.**

Elaborado por el Ing. **Quinaloa Ramirez Anderson Roberto**, con C.I **1724368897**, estudiante de la Maestría en Electrónica y Automatización de la Universidad Tecnológica Israel (UISRAEL), como parte de los requisitos para obtener el Título de Magister, me permito declarar haber revisado el proyecto y realizado la evaluación de criterios.

Quito D.M., 09 de marzo de 2024



Edgar Vicente Vivanco Herrera

C.I 1713917399

Registro SENESCYT 7241193695