



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE GUAYAQUIL
CARRERA DE MECATRÓNICA

**DETECTOR VESTIBLE DE GASES NOCIVOS EN EL AMBIENTE
APLICADO EN INDUSTRIAS DE GUAYAQUIL**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingeniero en Mecatrónica

AUTOR: Maikel Jordan Holguin Arreaga
TUTOR: David Mateo Cortez Saravia

Guayaquil - Ecuador
2024

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, **Maikel Jordan Holguin Arreaga** con documento de identificación N° **0931354245** manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo.

Guayaquil, 08 de marzo del año 2024

Atentamente,



Maikel Jordan Holguin Arreaga
0931354245

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Yo, **Maikel Jordan Holguin Arreaga** con documento de identificación N° **0931354245** expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del **Dispositivo Tecnológico: DETECTOR VESTIBLE DE GASES NOCIVOS EN EL AMBIENTE APLICADO EN INDUSTRIAS DE GUAYAQUIL**, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero en Mecatrónica, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo a final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana

Guayaquil, 08 de marzo del año 2024

Atentamente,



Maikel Jordan Holguin Arreaga
0931354245

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, **David Mateo Cortez Saravia**, docente de la Universidad Politécnica Salesiana , declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **DETECTOR VESTIBLE DE GASES NOCIVOS EN EL AMBIENTE APLICADO EN INDUSTRIAS DE GUAYAQUIL**, realizado por **Maikel Jordan Holguin Arreaga** con documento de identificación N° **0931354245** obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción **Dispositivo Tecnológico** que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 08 de marzo del año 2024

Atentamente,



Ing. David Cortez Saravia, MSc.
0963020193

DEDICATORIA

Quiero dedicar este trabajo de titulación a mis queridos padres, Simón Holguín y Martha Arreaga, cuyo amor y aliento han sido mi principal fuente de inspiración y motivación para perseguir mis metas con convicción y dedicación. A través de su apoyo incondicional, me han demostrado el verdadero significado del sacrificio y la determinación, y por eso les dedico este logro con profunda gratitud y afecto.

Asimismo, deseo expresar mi sincero agradecimiento a mis hermanas Angi y Solange, quienes han sido mi sostén y compañeras de vida en cada paso del camino. Su constante apoyo y ánimo han sido fundamentales en mi trayectoria académica, y este logro también es suyo.

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi profundo agradecimiento a Dios, cuya inagotable bondad y amor incondicional han sido mi guía constante a lo largo de este viaje llamado vida. Agradezco a mis padres y hermanas por su incansable apoyo y dedicación. También quiero agradecer a mis amigos, cuya constante motivación y presencia han sido un pilar fundamental en este trayecto.

Mi gratitud se extiende a los distinguidos profesores de la carrera de Ingeniería en Mecatrónica, cuyo valioso conocimiento y apoyo han contribuido significativamente a mi formación profesional. En especial, deseo reconocer al Ing. David Cortez por su inestimable orientación y apoyo durante el proceso de investigación y redacción de esta tesis. Sus consejos expertos y dedicación fueron esenciales para llevar a cabo este proyecto de manera exitosa.

Además, quiero expresar mi agradecimiento a todas esas amistades que la universidad me ha brindado, quienes, de una forma u otra, han demostrado ser seres humanos excepcionales. Su constante apoyo y compañía han hecho de este camino una experiencia más llevadera y enriquecedora.

RESUMEN

En el país, existe una preocupante tasa de accidentes laborales debido a la exposición a gases contaminantes en diversos entornos industriales. Esta problemática se agrava debido a la falta de análisis continuo de los niveles de gases nocivos, principalmente por las limitaciones en tamaño y costos de los equipos de medición disponibles. Esta situación expone a los operadores a los diversos contaminantes presentes en la industria, al no contar con una monitorización constante de las condiciones ambientales.

Usualmente las industrias contratan a empresas externas que brindan servicio de monitoreo de los niveles de gases en el ambiente o realizan la compra de estos equipos, pero estos suelen ser voluminosos y difíciles de integrar cómodamente en el equipo de protección personal de los trabajadores.

Este trabajo se desarrolla con el fin de desarrollar un dispositivo vestible como parte integral del equipo de protección personal, diseñado para ser compacto, fácil de usar y con conectividad Bluetooth para la transmisión de datos a dispositivos móviles. Esta innovación permite una monitorización continua y discreta de los niveles de gases nocivos en el ambiente laboral.

La implementación de esta solución ofrece una alerta temprana ante niveles críticos de toxicidad, proporcionando a los usuarios la información necesaria para tomar decisiones preventivas y evitar exposiciones peligrosas. Además, la validación de las mediciones del dispositivo se realizó comparándolas con un medidor de gases industrial, obteniendo resultados satisfactorios que respaldan su precisión y fiabilidad en entornos laborales reales.

Con este enfoque integral, se han cumplido los objetivos planteados para el prototipo; su estructura ha sido diseñada para ser portable y vestible; los sensores y la placa realizan un monitoreo constante de los niveles de gases en el área de trabajo, contribuyendo así a la mejora de las condiciones de seguridad y salud durante la jornada de trabajo en entornos industriales propensos a la contaminación por gases nocivos.

Palabras claves: arduino, ESP32, aplicación móvil, interfaz, umbral, ergonomía.

ABSTRACT

In the country, there is a worrying rate of occupational accidents due to exposure to polluting gases in various industrial environments. This problem is aggravated by the lack of continuous analysis of the levels of harmful gases, mainly due to the limitations in size and cost of the measuring equipment available. This situation exposes operators to the various pollutants present in the industry, as there is no constant monitoring of environmental conditions.

Industries usually hire external companies to provide monitoring services for gas levels in the environment or purchase such equipment, but these are usually bulky and difficult to integrate comfortably into the workers' personal protective equipment.

This work is developed to develop a wearable device as an integral part of personal protective equipment, designed to be compact, easy to use and with Bluetooth connectivity for data transmission to mobile devices. This innovation enables continuous and unobtrusive monitoring of harmful gas levels in the work environment.

The implementation of this solution offers early warning of critical toxicity levels, providing users with the necessary information to make preventive decisions and avoid hazardous exposures. In addition, the validation of the device's measurements was carried out by comparing them with an industrial gas meter, obtaining satisfactory results that support its accuracy and reliability in real work environments.

With this comprehensive approach, the objectives set for the prototype have been met; its structure has been designed to be portable and wearable; the sensors and the plate perform a constant monitoring of gas levels in the work area, thus contributing to the improvement of safety and health conditions during the working day in industrial environments prone to harmful gas contamination.

Keywords: arduino, ESP32, mobile application, interface, threshold, ergonomics.

ÍNDICE

I.	Planteamiento del problema	6
II.	Objetivos	7
II-A.	Objetivo general	7
II-B.	Objetivos específicos	7
III.	Marco teórico referencial	8
III-A.	Sistema de detección de gases tóxicos y explosivos	8
III-B.	Factores a considerar se resumen en las siguientes preguntas:	8
III-C.	Sensores de medición utilizados en las industrias	8
III-D.	Sistema de medición con sensores de paso abierto (Open-Path)	8
III-E.	Estrategias para localizar los sensores	9
III-F.	Sistemas de control	9
III-G.	Tipos de sensores	10
III-G1.	Bosch sensortec BME680:	10
III-G2.	Honeywell BW clip4	11
III-G3.	Sensor MiCS-6814	11
III-H.	Placas de desarrollo	12
III-H1.	Placa arduino	12
III-H2.	Placa ESP32 Wroom	13
III-I.	Materiales de impresión 3D	14
III-I1.	Material PLA	14
III-I2.	Material ABS	15
III-J.	Dispositivos vestibles	16
IV.	Metodología	18
IV-A.	Enfoque	18
IV-B.	Selección de componentes y materiales	18
IV-C.	Diseño y construcción del prototipo	18
IV-C1.	Conexión y comunicación	18
IV-C2.	Diseño de la interfaz de usuario	21
IV-C3.	Pruebas y registro de datos	23
IV-C4.	Características de seguridad	25
IV-C5.	Características de ergonomía	26
IV-D.	Diseño de la carcasa	27
IV-D1.	Ergonomía del modelo	30
IV-E.	Análisis de la carcasa	31
IV-E1.	Análisis estático	31
IV-E2.	Pruebas y validación	34
V.	Cronograma de actividades	36
VI.	Presupuesto	37
VII.	Conclusiones	38
VIII.	ANEXOS	41
VIII-A.	Código arduino	41
VIII-B.	Bloques de programación de la aplicación móvil	43
VIII-C.	Planos	44
VIII-C1.	Planos	44

ÍNDICE DE FIGURAS

1.	Sensor tipo catalítico [5].	8
2.	Sistema de monitoreo de paso abierto [6].	9
3.	Sensor de válvula [7].	9
4.	Panel de control [8].	10
5.	Sensor BME680.[9]	11
6.	Detector de gases Honeywell [10].	11
7.	Sensor MIC6814 [11].	12
8.	Placa arduino[13].	13
9.	Placa ESP32 [14].	13
10.	Materiales de impresión 3D [17].	14
11.	Rollos de PLA para impresión 3D [18].	15
12.	Impresión 3D utilizando ABS [19].	15
13.	Tipos de dispositivos vestibles [21].	16
14.	Dispositivo electrónico vestible para monitoreo de signos vitales [22].	17
15.	Circuito esquemático. Fuente: Autor	19
16.	Modelo 3D del circuito. Fuente: Autor	20
17.	Circuito empleado. Fuente: Autor	21
18.	Conexión Bluetooth. Fuente: Autor	21
19.	Configuración de umbrales. Fuente: Autor	22
20.	Visualización de niveles de gases. Fuente: Autor	22
21.	Visualización del ritmo cardíaco. Fuente: Autor	22
22.	Aplicación móvil. Fuente: Autor	23
23.	Monitoreo de gases en taller industrial. Fuente: Autor	24
24.	Monitores de niveles en pantalla de Arduino IDE. Fuente: Autor	24
25.	Monitoreo de gases con aplicación móvil. Fuente: Autor	25
26.	Comparación de datos. Fuente: Autor	25
27.	Uso del prototipo por el usuario. Fuente: Autor	27
28.	Interacción entre los requerimientos del diseño, el material, la forma y los procesos[28].	28
29.	Gráfico de Ashby [29].	29
30.	Interfaz con valores ingresados. Fuente: Autor	29
31.	Gráfica Ashby de todos los materiales de la base de datos. Fuente: Autor	30
32.	Gráfica Ashby detallada. Fuente: Autor	30
33.	Modelo 3D de la carcasa. Fuente: Autor	31
34.	Mallado del modelo. Fuente: Autor	32
35.	Tensión de Von Mises. Fuente: Autor	32
36.	Desplazamiento estático. Fuente: Autor	33
37.	Deformaciones estáticas. Fuente: Autor	33
38.	Impresión 3D del modelo. Fuente: Autor	34
39.	Finalización de impresión 3D del modelo. Fuente: Autor	34
40.	Uso del dispositivo por el usuario. Fuente: Autor	35
41.	Uso del dispositivo por el usuario con la aplicación móvil. Fuente: Autor	35
42.	Declaración de variables	41
43.	Definición de entradas y salidas	41
44.	Recepción de datos	42
45.	Lectura de datos del sensor	42
46.	Envío de datos a la aplicación	43
47.	Acciones del botón para conexión	43
48.	Conexión Bluetooth	44
49.	Envío de datos a la ESP32	44
50.	Plano de la caja del prototipo	45
51.	Plano de tapa	46
52.	Plano de tapa1	47

ÍNDICE DE CUADROS

I.	Cronograma del proyecto.	36
II.	Presupuesto del proyecto.	37

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La exposición a gases nocivos y partículas en el ambiente puede tener un impacto significativo en la salud de los trabajadores, lo que resulta en riesgos graves para su bienestar. La seguridad y el bienestar de los operarios que trabajan en estos entornos industriales son aspectos críticos que a menudo se ven comprometidos. Muchos tipos de gases, como cloro, fosgeno, dióxido de azufre, sulfuro de hidrógeno, dióxido de nitrógeno y amoníaco, pueden liberarse de repente a causa de un accidente industrial e irritar gravemente los pulmones [1].

La implementación de sistemas de detección de gases nocivos tienden a tener costos elevados por los componentes que se emplean en dichos sistemas. En un sistema de Carbón se estima una inversión de \$553,000 [2].

Por esta razón, las empresas desisten de implementar sistemas actualizados de detección de Agentes nocivos.

Uno de los sistemas que se emplean en la industria es el sistema VESDA ECO; Este es un método que combina la detección de humo por aspiración con detección de gas y monitoreo ambiental. Se utiliza en una red de tuberías existentes para muestrear activamente el aire en busca de humo y gases peligrosos o combustibles. Siendo este un sistema estático el cual sirve solo en un área específica [3].

La falta de métodos efectivos de prevención de riesgos ha llevado a una serie de incidentes, incluyendo casos alarmantes de intoxicación debidos a gases tóxicos y elementos peligrosos presentes en el ambiente de trabajo. La ausencia de sistemas adecuados de monitoreo y prevención ha permitido que estos riesgos pasen desapercibidos, exponiendo a los trabajadores a condiciones potencialmente letales.

El desarrollo de medidas de seguridad en la industria se ha visto afectado por un importante déficit en la prevención de riesgos laborales. A menudo, las industrias reaccionan ante las catástrofes laborales en lugar de prevenirlas de manera proactiva. Este enfoque reactivo resulta insostenible, ya que pone en riesgo la seguridad y el bienestar de los trabajadores.

II. OBJETIVOS

II-A. Objetivo general

Desarrollar un dispositivo de detección de gases nocivos y partículas en entornos laborales de la industria que permita el monitoreo y alerta temprana ante la presencia de contaminantes en el área de trabajo.

II-B. Objetivos específicos

1. Diseñar un dispositivo vestible de monitoreo que detecte múltiples gases operando de manera continua y confiable.
2. Implementar un sistema de alerta temprana para la notificación al usuario sobre niveles de toxicidad peligrosos, mediante una interfaz de conexión remota para la detección en tiempo real las situaciones críticas.
3. Validar el funcionamiento del dispositivo mediante pruebas en ambientes industriales reales.

III. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

III-A. Sistema de detección de gases tóxicos y explosivos

Para el diseño de los sistemas de detección de gases, primero se determinan los peligros potenciales que existen dentro de la industria, como ejemplo tenemos las sustancias que son inflamables, estas causan daños considerables si se incendian, causando explosiones y fatalidades. Así como también están las sustancias tóxicas que pueden causar daños inmediatos a largo plazo. En ocasiones los efectos tóxicos se ven en el futuro, luego de exposición prolongada, estos efectos se manifiestan como: infecciones a la piel, dolores de cabeza o en casos extremos cáncer en zonas específicas del cuerpo [4].

III-B. Factores a considerar se resumen en las siguientes preguntas:

- Detección de uno o varios gases.
- Lugares, concentración y frecuencia en que se pudiese presentar la fuga.
- Qué tipo de sensor utilizar? Existen diferentes tecnologías para medición y detección dependiendo del gas y el ambiente.
- Sensores que se utilizan en el sistema y donde localizarlos.
- Componentes a utilizarse en el sistema: por ejemplo controladores, alarmas visual/audible, notificaciones a puntos remotos, acciones correctivas, adquisición de data entre otros.

III-C. Sensores de medición utilizados en las industrias

Muchos de estos sensores son electroquímicos de tipo Catalítico e Infrarrojo; se utilizan con frecuencia para medir los gases tóxicos o bajas concentraciones (PPM). Estos están compuestos por una membrana hidrofóbica y una serie de electrodos en contacto con una solución de tipo electrolito, el circuito interno del sensor produce una corriente proporcional a la concentración de gases que están en contacto con el dispositivo de medición. Factores a considerar incluyen longevidad de los sensores, intervalo de calibraciones y sensibilidad a otros gases en el área que pudiesen intervenir con la medición [5].



Figura 1. Sensor tipo catalítico [5].

Estos sensores se componen de dos collares (Beads) de cerámica con una bobina interna de platino calentada a 450°C, este collar se mantiene activado por un material catalítico generando más calor que el collar que se encuentra desactivado al estar en presencia de los gases explosivos. El circuito interno del sensor produce una corriente aproximadamente proporcional a la concentración del gas en el rango de 0-100 % LEL (Lower Explosive Limit o límite bajo de explosividad) [5].

III-D. Sistema de medición con sensores de paso abierto (Open-Path)

El monitoreo de gases con los sistemas de paso abierto son tecnología de tipo Infrarrojo (IR), son parecidos a los sensores de tipo catalítico, con la diferencia de que estos sensores son instalados en varios puntos para la medición de gases, permitiendo disparar la fuente de energía infrarroja (IR) entre cada sensor y de este modo crea un paso de detección específico dentro del área que se está midiendo, donde si la nube de gas cruza el paso de los sensores, esta será detectada. Esta tecnología facilita la localización de los puntos de fugas de toda la planta, por ejemplo áreas de tanques de almacenamiento [6].



Figura 2. Sistema de monitoreo de paso abierto [6].

III-E. Estrategias para localizar los sensores

Para tener una buena posición de los sensores se toma en cuenta las siguientes estrategia:

- **Medición de un punto específico:** En los casos donde el punto de fuga es potencial puede ser identificado como por ejemplo en: válvulas, juntas, bridas, etc., se pueden instalar los sensores en estos puntos para así mejorar la confiabilidad de la detección de las fugas en un tiempo adecuado.
- **Monitoreo de área:** Para proteger un área donde existe la posibilidad de una fuga potencial, se instalan sensores en múltiples localizaciones para monitorear el movimiento y acumulación potencial de los gases.
- **Monitoreo de perímetro de una o varias áreas:** Las fuentes potenciales de fuga donde no pueden ser identificadas en su totalidad, se usan sensores para medir en los perímetros del o las áreas que deben ser protegidas. En estos casos se desea identificar concentraciones de gases peligrosos saliendo hacia una área adyacente (o entrando) a la facilidad [7].



Figura 3. Sensor de válvula [7].

III-F. Sistemas de control

Los sistemas de detección de fugas cuentan con la capacidad de recibir una gran cantidad de puntos de detección. Con los avances de las comunicaciones digitales, esta información puede ser transmitida a múltiples ubicaciones y en ocasiones son utilizadas con tecnología inalámbrica. Los sistemas de control pueden generar alarmas, almacenar datos y llevar a cabo acciones correctivas, entre otras funciones. Es importante seleccionar el tipo adecuado de alarmas visuales o audibles considerando la

clasificación del área y el público al que se desea alertar. La mayoría de estos sistemas ofrecen la posibilidad de configurar los niveles de alarma, además de contar con una función de pre-alarma que proporciona instrucciones correspondientes. De continuar la fuga y/o subir los niveles de concentración, entonces se activaría una segunda alarma la cual requeriría acciones correctivas más serias (por ejemplo, prender ventiladores, apagar corriente eléctrica, o desalojar las facilidades) [8].



Figura 4. Panel de control [8].

III-G. Tipos de sensores

III-G1. Bosch sensortec BME680: Este es un dispositivo que está integrado con sensores de gas, presión, humedad y temperatura alta precisión. Ha sido diseñado específicamente para su uso en aplicaciones móviles y dispositivos portátiles, donde el tamaño y el consumo reducido de energía son aspectos fundamentales. El BME680 garantiza, dependiendo del modo de operación específico, un consumo optimizado, estabilidad a largo plazo y alta robustez EMC. Para medir la calidad del aire para el bienestar personal, el sensor de gas dentro del BME680 puede detectar una amplia gama de gases, como los compuestos orgánicos volátiles (VOC) [9].

Posibles casos de uso:

- Rastreador personal de calidad del aire.
- Mapeo de calidad del aire.
- Calidad del aire dentro de automóviles y transporte público.
- Conciencia contextual mejorada.
- Paso preciso y rastreador de calorías.
- Corrección GPS rápida y navegación mejorada.
- Indicador de humedad demasiado alta / baja.
- Indicador de calidad y bienestar del aire.
- Rastreador de sueño / recuperación.
- Tendencia climática.
- Contador de escaleras.
- Detección de nivel de piso.

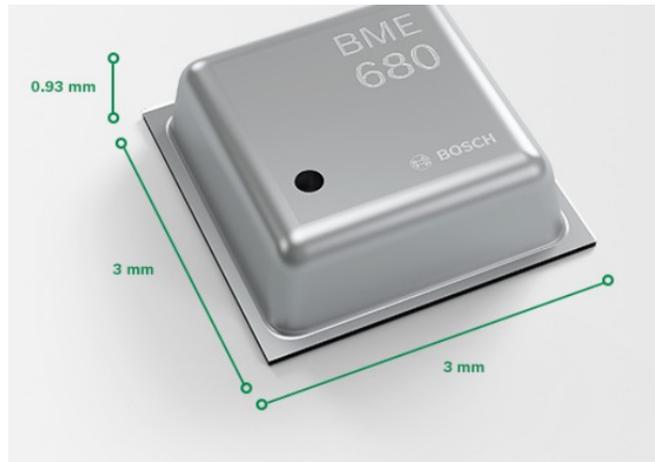


Figura 5. Sensor BME680.[9]

III-G2. Honeywell BW clip4: Es un detector de gas portátil multicanal para la detección de varios gases con sus sensores avanzados, este detector de gas portátil puede monitorear hasta cuatro gases diferentes simultáneamente, el cual puede ser usado para cualquier persona que trabaje en espacios confinados o con productos químicos peligrosos [10].

Sus principales características son:

- Detecta cuatro gases diferentes simultáneamente (O₂, LEL, H₂S y CO)
- Diseño compacto y liviano para fácil portabilidad
- No requiere calibración ni mantenimiento
- La batería dura hasta 2 años.
- Altamente configurable con alarmas ajustables y capacidades de registro de datos.

El detector es compacto y ligero, lo que facilita su transporte y uso en diversos entornos. Además, ha sido diseñado para ser resistente y duradero, con una carcasa robusta capaz de resistir caídas, impactos y otros riesgos. No necesita calibración ni mantenimiento, y su batería tiene una duración de hasta 2 años, lo que permite a los trabajadores centrarse en sus tareas sin preocuparse por el equipo. También ofrece una alta capacidad de configuración, lo que permite a los usuarios establecer alarmas, ajustar la configuración del sensor y descargar registros de datos. Ya sea que sea un contratista, un trabajador de mantenimiento o un profesional industrial [10].



Figura 6. Detector de gases Honeywell [10].

III-G3. Sensor MiCS-6814: Este es un sensor de gas de tipo electroquímico que está diseñado para detectar y medir concentraciones de gases tóxicos y contaminantes en el aire. Este sensor puede ser utilizado en aplicaciones de monitoreo de

la calidad del aire en interiores y exteriores, de esta manera se pueden obtener datos de este sensor en diferentes tipos de áreas. Este sensor es capaz de detectar gases tales como:

- Monóxido de carbono CO 1 – 1000 ppm
- Dióxido de nitrógeno NO₂ 0,05 – 10 ppm
- Etanol C₂H₅OH 10 – 500 ppm
- Hidrógeno H₂ 1 – 1000 ppm
- Amoníaco NH₃ 1 – 500 ppm
- Metano CH₄ > 1000 ppm
- Propano C₃H₈ > 1000 ppm
- Isobutano C₄H₁₀ > 1000ppm

Sin embargo físicamente este sensor esta diseñado con 5 pines los cuales son: Co, NH₃, NO₂, GND y +5V que significa la deteccion directa de monóxido de carbono, amoníaco y Dióxido de nitrógeno, con GND conexión a tierra y alimentación de voltaje +5V [11].



Figura 7. Sensor MIC6814 [11].

III-H. Placas de desarrollo

Las placas de desarrollo son dispositivos electrónicos diseñados para facilitar la creación de proyectos electrónicos y la prototipación rápida de sistemas embebidos. Estas placas suelen contar con un microcontrolador integrado, junto con una variedad de puertos de entrada/salida (E/S) y otros componentes periféricos, que permiten interactuar con el entorno físico y controlar diferentes dispositivos y sensores.

III-H1. Placa arduino: Básicamente es una placa electrónica de hardware libre el cual utiliza un microcontrolador reprogramable y consta de una serie de pines que permiten establecer conexiones entre el controlador y los diferentes tipos de sensores [12].

La placa Arduino consta de un microcontrolador, entradas y salidas digitales y analógicas, así como varios pines para conectar sensores, actuadores y otros componentes electrónicos. Además, hay una interfaz de programación integrada que permite a los usuarios cargar su propio código en la placa para controlar su funcionamiento [13].

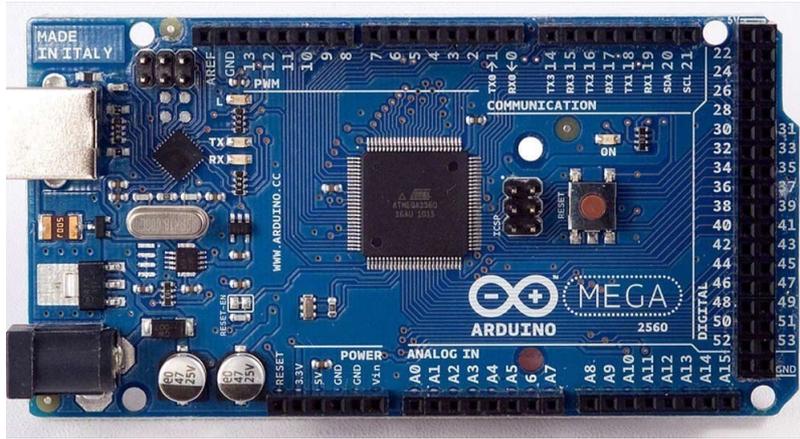


Figura 8. Placa arduino[13].

III-H2. Placa ESP32 Wroom: Esta es una placa con conectividad Wifi y bluetooth. Esta tarjeta no tiene un microcontrolador AVR sino que utiliza el ESP32 como procesador principal. Es muy compatible y programable con Arduino IDE, pero con la gran ventaja que es mucho más potente y corre a 240 MHz con su procesador Tensilica LX6. También dispone de un conector microUSB para alimentación y programación [14].

El ESP32 es capaz de funcionar de forma fiable en entornos industriales, con una temperatura de funcionamiento de -40°C a $+125^{\circ}\text{C}$. Alimentado por circuitos de calibración avanzados, ESP32 puede eliminar dinámicamente las imperfecciones del circuito externo y adaptarse a los cambios en las condiciones externas [15].

El ESP32 tiene la capacidad de operar tanto como un sistema autónomo completo o como un dispositivo esclavo conectado a un microcontrolador (MCU) principal, lo que ayuda a disminuir la carga en la pila de comunicación del procesador principal de la aplicación. ESP32 puede interactuar con otros sistemas para proporcionar funcionalidad Wi-Fi y Bluetooth a través de sus interfaces SPI / SDIO o I2C / UART [16].

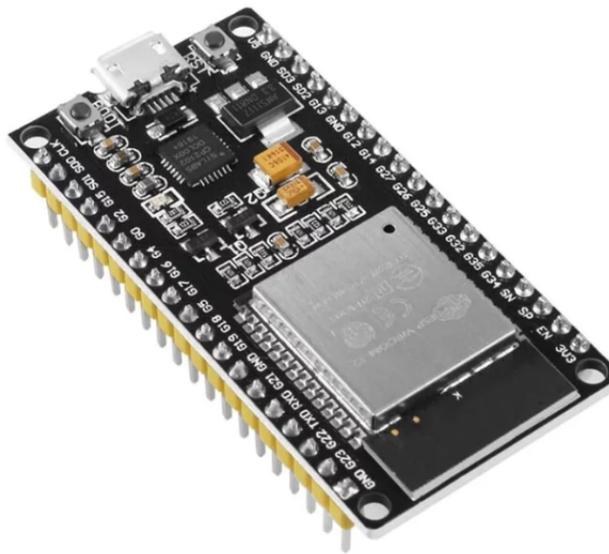


Figura 9. Placa ESP32 [14].

III-I. Materiales de impresión 3D

Los materiales de impresión 3D, son también conocidos como filamentos, los cuales son componentes esenciales en el proceso de fabricación aditiva. Estos materiales, que varían en composición y propiedades, se utilizan para crear objetos tridimensionales capa por capa mediante técnicas como la fusión por deposición fundida (FDM), la estereolitografía (SLA), o la sinterización selectiva por láser (SLS). Los filamentos más comunes incluyen PLA (ácido poliláctico) y ABS (acrilonitrilo butadieno estireno), conocidos por su facilidad de uso y versatilidad, así como otros materiales más avanzados como el PETG, el TPU y el nylon, que ofrecen una mayor resistencia y flexibilidad. Esta amplia gama de materiales disponibles permite imprimir objetos con una variedad de propiedades físicas, mecánicas y estéticas, lo que hace que la impresión 3D sea una herramienta poderosa para la creación de prototipos, la producción personalizada y la fabricación de productos finales en una amplia gama de industrias.



Figura 10. Materiales de impresión 3D [17].

Para el dispositivo se tomó en cuenta dos de estos materiales para la creación del prototipo: el PLA y el ABS.

III-II. Material PLA: El PLA es uno de los materiales más populares en la impresión 3D, utilizado tanto en entornos industriales como en impresoras domésticas. A diferencia de los plásticos convencionales, el PLA es más respetuoso con el medio ambiente al ser producido a partir de recursos renovables como el almidón de maíz o la caña de azúcar. Este filamento ofrece una excelente calidad de impresión y es fácil de trabajar, lo que lo hace ideal para una amplia variedad de aplicaciones en la fabricación aditiva.

Las piezas impresas con PLA son resistentes, flexibles y tienen una baja inflamabilidad, compartiendo propiedades similares con el plástico PET. Estas piezas pueden soportar los rayos ultravioleta, son inodoras y fáciles de manipular. Además, el uso de filamentos PLA puede ser interesante para empresas que buscan mejorar la sostenibilidad de sus procesos de fabricación. El PLA es biodegradable, especialmente cuando se compostan en instalaciones industriales adecuadas, lo que lo convierte en una opción atractiva para empresas comprometidas con el medio ambiente. Aunque su descomposición al aire libre puede tardar hasta 80 años, su gestión en plantas de residuos es eficaz, promoviendo así la adopción de prácticas más sostenibles en la industria [18].



Figura 11. Rollos de PLA para impresión 3D [18].

III-12. Material ABS: El filamento ABS (Acrilonitrilo Butadieno Estireno) es un material termoplástico ampliamente empleado en la impresión 3D, reconocido por su versatilidad y resistencia. Sus características únicas incluyen una notable capacidad para resistir impactos, lo que lo convierte en una opción popular para la fabricación de piezas duraderas y funcionales. Además, el ABS exhibe una alta resistencia a la temperatura, lo que le permite mantener su integridad estructural incluso en entornos con condiciones térmicas exigentes. Otra cualidad destacada es su rigidez, que proporciona estabilidad dimensional a las piezas impresas, asegurando una forma y estructura consistentes.

En el ámbito de la impresión 3D, el ABS es apreciado por su facilidad de trabajo y buena adherencia entre capas. Sin embargo, es importante tener en cuenta que el ABS puede ser susceptible a la deformación y al agrietamiento durante el proceso de impresión, especialmente si no se controlan adecuadamente los parámetros de temperatura y ventilación. Para mitigar estos desafíos, es común utilizar una plataforma de impresión calefactada y una carcasa cerrada para mantener una temperatura estable y uniforme durante todo el proceso. A pesar de estas consideraciones, el ABS sigue siendo una opción preferida para aquellos que buscan fabricar piezas resistentes y duraderas mediante la impresión 3D [19].

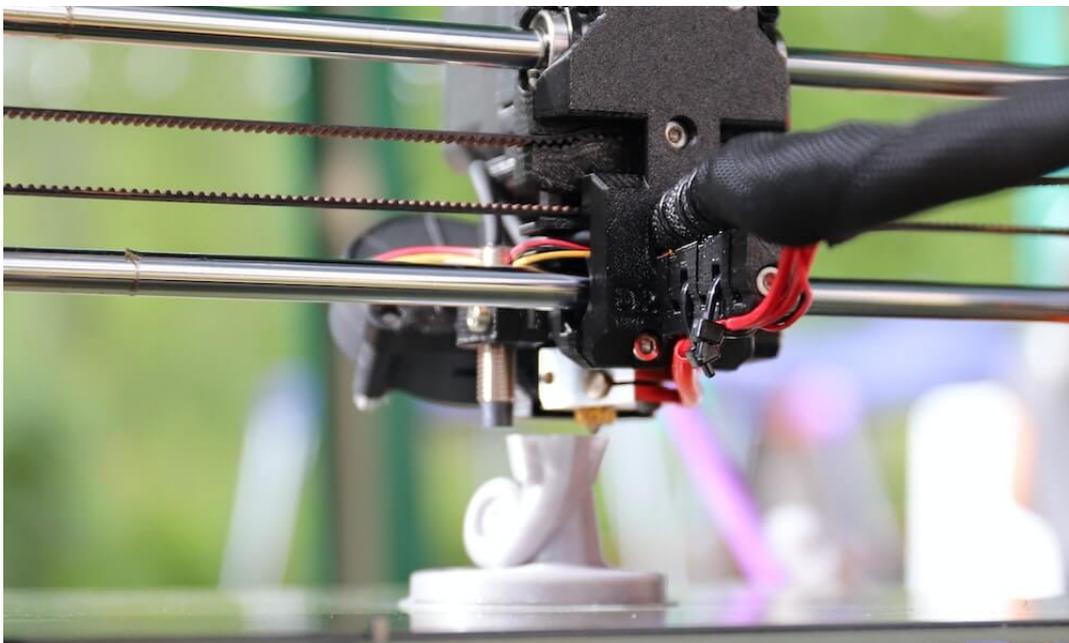


Figura 12. Impresión 3D utilizando ABS [19].

III-J. Dispositivos vestibles

Los dispositivos vestibles, también conocidos como wearables en inglés, son dispositivos electrónicos diseñados para ser llevados en partes del cuerpo humano y que interactúan con varios dispositivos para enviar o recibir datos. Los ejemplos más comunes de wearables incluyen los relojes inteligentes y las pulseras de actividad física, pero existen una variedad de dispositivos adicionales con diferentes funciones y aplicaciones. Aunque los wearables son ampliamente utilizados en actividades de ocio y tiempo libre, su utilidad se extiende a diversos campos como la moda, el deporte profesional, la medicina y la industria, donde ofrecen beneficios significativos en términos de seguimiento de la salud, mejora del rendimiento y aumentando la comodidad y conveniencia del usuario.

Estos dispositivos proporcionan funcionalidades útiles en diversas áreas de la vida cotidiana, desde monitorear la salud y la actividad física hasta proporcionar notificaciones y servicios de comunicación. Su capacidad para recopilar datos biométricos y otros tipos de información los hace valiosos no solo para el usuario individual, sino también para profesionales en campos como la medicina y la industria, donde pueden ayudar en el seguimiento de pacientes o en la optimización de procesos. En resumen, los wearables representan una integración cada vez más importante de la tecnología en nuestras vidas diarias, ofreciendo una amplia gama de funciones que mejoran nuestra calidad de vida y productividad [20].

En la tesis de Antonio Albin [21] menciona que existen diferentes tipos de dispositivos vestibles ya sean estos caracterizados por su forma (tipo de prenda de vestir), por la cantidad de sensores que estos puedan tener o la red inalámbrica al que se puedan conectar como por ejemplo WBSN o WBAN típicamente involucran múltiples sensores interconectados (hasta 50 sensores) que colaboran para lograr un objetivo compartido, como supervisar la salud general de un individuo. Por otro lado, los dispositivos IoT suelen operar de manera autónoma y se emplean en diversas aplicaciones, como monitoreo de salud y seguimiento de actividades humanas a través de la localización.

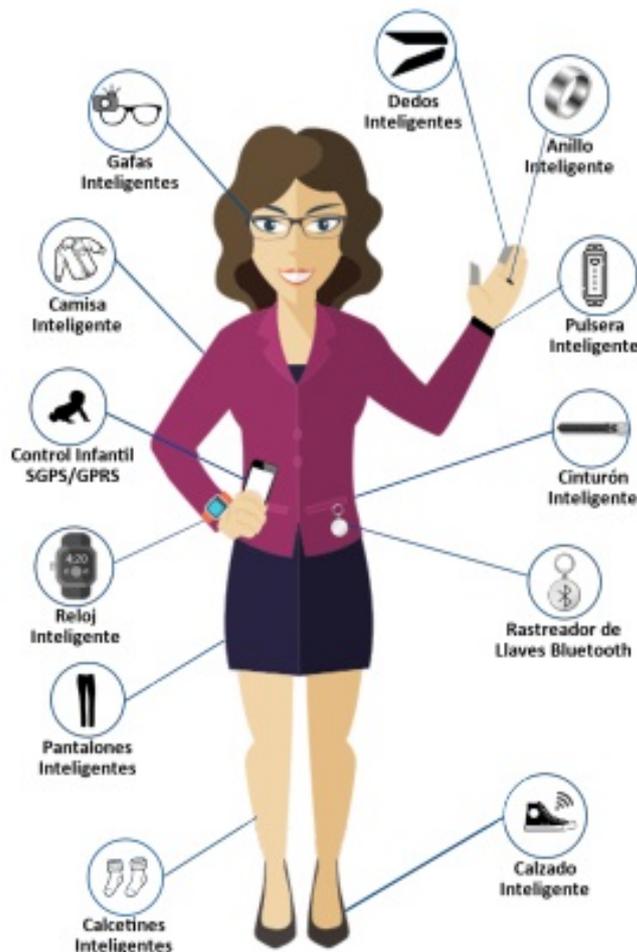


Figura 13. Tipos de dispositivos vestibles [21].

Los avances en el campo de la electrónica, como la reducción del tamaño de los sensores, el bajo consumo de energía, y en las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TICs) han aumentado el uso de los dispositivos vestibles en la monitorización de la salud, demostrando los beneficios de su uso [21].

Una de las aplicaciones para estos dispositivos es el monitoreo de los signos vitales en los diferentes tipos de climas, como por ejemplo del desarrollo de un dispositivo que monitoree los signos vitales en personas expuestas a bajas temperaturas como se hacen mención en el trabajo realizado por Kristel Orellana y Jhon Palacio que es mucha importancia conocer los signos vitales de las personas que se encuentran en bajas temperaturas para que de este modo se pueda prevenir complicaciones potencialmente mortales, además de dar un seguimiento adecuado de los parámetros de salud de las personas expuestas a climas fríos que pueden llevar en última instancia a la muerte [22].

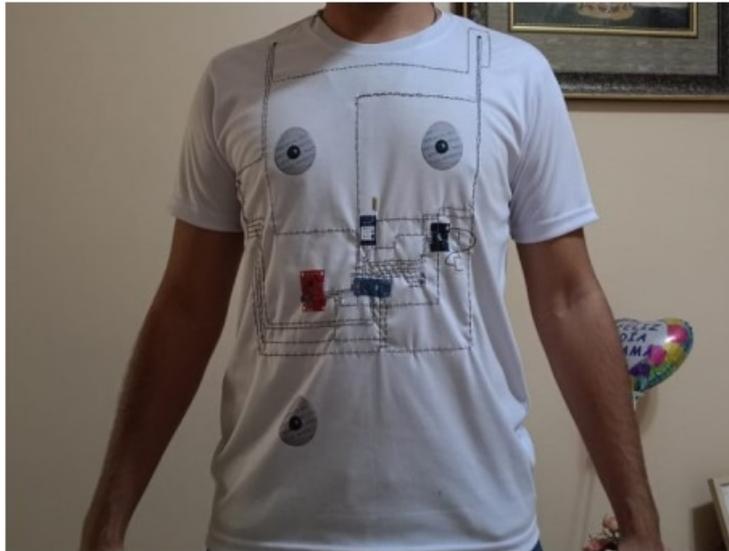


Figura 14. Dispositivo electrónico vestible para monitoreo de signos vitales [22].

IV. METODOLOGÍA

IV-A. Enfoque

El proyecto propuesto es de tipo experimental, demostrando los riesgos que se tienen en la industrias, centrándose en las áreas de riesgos químicos mediante la implementación de un dispositivo vestible capaz de monitoriar los niveles de gases nocivos y dar una alerta temprana ante niveles elevados de contaminación dentro de una área de trabajo de la planta industrial.

IV-B. Selección de componentes y materiales

La etapa inicial del diseño comprendió la selección de los componentes y materiales que constituirían el dispositivo. Esta fase se llevó a cabo mediante una revisión de material literario y recursos audiovisuales disponibles, con el objetivo de adquirir un conocimiento sobre las características y funcionamientos de cada componente considerado.

Tras un análisis detallado, se optó por la integración de varios elementos. En primer lugar, se seleccionó el módulo ESP32-WROOM por su capacidad de procesamiento y conectividad inalámbrica lo hacen ideal para aplicaciones IoT (Internet de las cosas), permitiendo la comunicación y control remoto a través de Wi-Fi y Bluetooth. Además, de que su bajo consumo de energía lo hace adecuado para proyectos alimentados por batería o energía solar. La amplia documentación y la comunidad de desarrollo activa también son ventajas, facilitando el desarrollo del proyecto y la resolución del problema. En resumen, el ESP32-WROOM ofrece un equilibrio óptimo entre rendimiento, conectividad y eficiencia energética

Para la detección precisa de gases nocivos en el ambiente laboral, se eligió el módulo sensor MiCS-6814, ya que ofrece una solución versátil y precisa para la detección de gases como monóxido de carbono, dióxido de nitrógeno y amoníaco, siendo ideal para aplicaciones que requieren monitorización ambiental o seguridad en interiores. Con su tamaño compacto y facilidad de integración, este sensor proporciona mediciones confiables y está ampliamente disponible en el mercado. Esta elección garantizó la capacidad del dispositivo para identificar y alertar sobre la presencia de sustancias peligrosas en el entorno laboral.

Además de estos componentes fundamentales, se consideraron otros elementos esenciales para el funcionamiento y la utilidad del dispositivo. Se incorporó una batería de litio de 3.7 V para proporcionar una fuente de alimentación portátil y sostenible, asegurando así la operatividad continua del dispositivo incluso en entornos sin acceso a energía eléctrica. Asimismo, se integró un zumbador para generar alertas audibles en caso de detectarse niveles críticos de toxicidad, garantizando una respuesta rápida y efectiva ante situaciones de riesgo.

Para mejorar la usabilidad y la experiencia del usuario, se incluyeron diodos LED que proporcionaban indicadores visuales del estado del dispositivo, permitiendo una rápida identificación de su funcionamiento. Además, se integró un sensor de ritmo cardíaco para monitorear el estado del usuario ante cualquier eventualidad, añadiendo una capa adicional de seguridad y protección. Todos estos componentes se alojaron dentro de una carcasa ergonómica diseñada para llevarse cómodamente como una pulsera, asegurando así su accesibilidad y comodidad durante su uso en el entorno laboral.

Esta cuidadosa selección de componentes y materiales sentó las bases para el desarrollo de un dispositivo funcional, fiable y adaptado a las necesidades específicas de la monitorización de gases nocivos en entornos industriales.

IV-C. Diseño y construcción del prototipo

Una vez seleccionados los componentes y conociendo el funcionamiento adecuado, se procedió con el diseño del sistema eléctrico y del software necesario para el funcionamiento del prototipo.

IV-C1. Conexión y comunicación: Después de la selección de componentes, se procedió a conectar el sensor MiCS-6814 al módulo ESP32. Los pines CO, NH3 y NO2 del sensor MiCS-6814 se conectaron respectivamente a los pines D4, D2 y D15 del ESP32 y configurando los pines de conexión correspondientes. Además, se configuró el módulo ESP32 para adquirir datos del sensor y se habilitó la conexión Bluetooth para la comunicación con una aplicación móvil.

Para los indicadores visuales, se asignaron los pines correspondientes a los diodos LED: el pin led azul se conectó al pin D13 para indicar el estado de conexión del Bluetooth, el pin led amarillo se conectó al pin D12 para alerta temprana, y el pin led rojo se conectó al pin D14 para indicar alerta de niveles elevados. Asimismo, se asignó un pin específico para el zumbador: el pin buzzerPin se conectó al pin D33 para generar alertas audibles. Por último, se asignó el pin correspondiente al sensor de ritmo cardíaco: el pin sensorPin se conectó al pin D32. Este enfoque detallado garantizó una correcta conexión y funcionamiento de cada componente dentro del sistema.

A continuación se visualiza el esquema del circuito electrónico y su implementación.

En la misma, se puede observar el circuito esquemático de las conexiones en 2D.

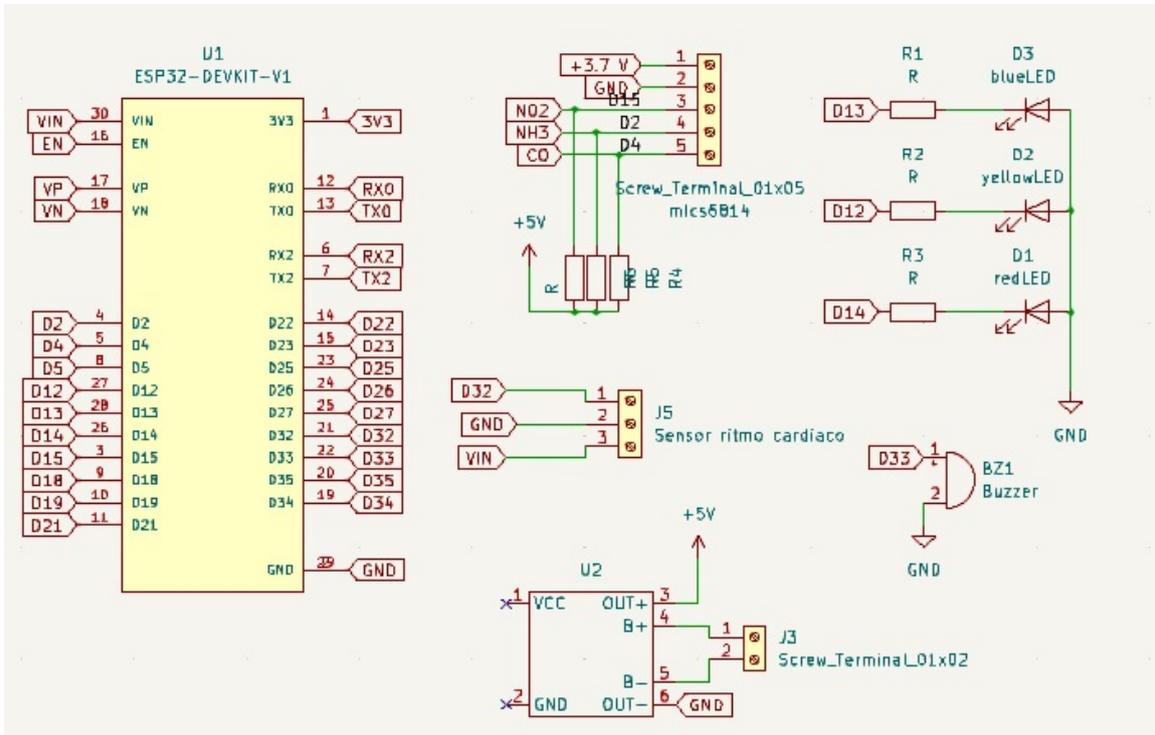


Figura 15. Circuito esquemático. Fuente: Autor

En la ilustración se encuentra un esquema en 3D de como sería el prototipo final del proyecto.

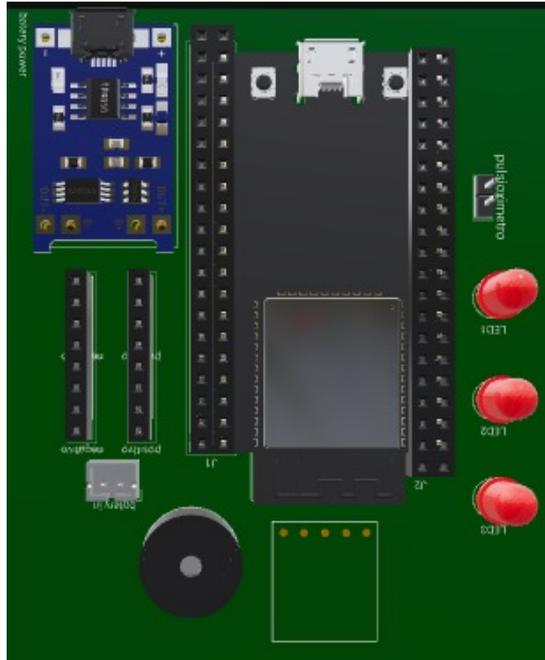


Figura 16. Modelo 3D del circuito. Fuente: Autor

En la siguiente imagen se muestra el circuito montado en una placa perforada.

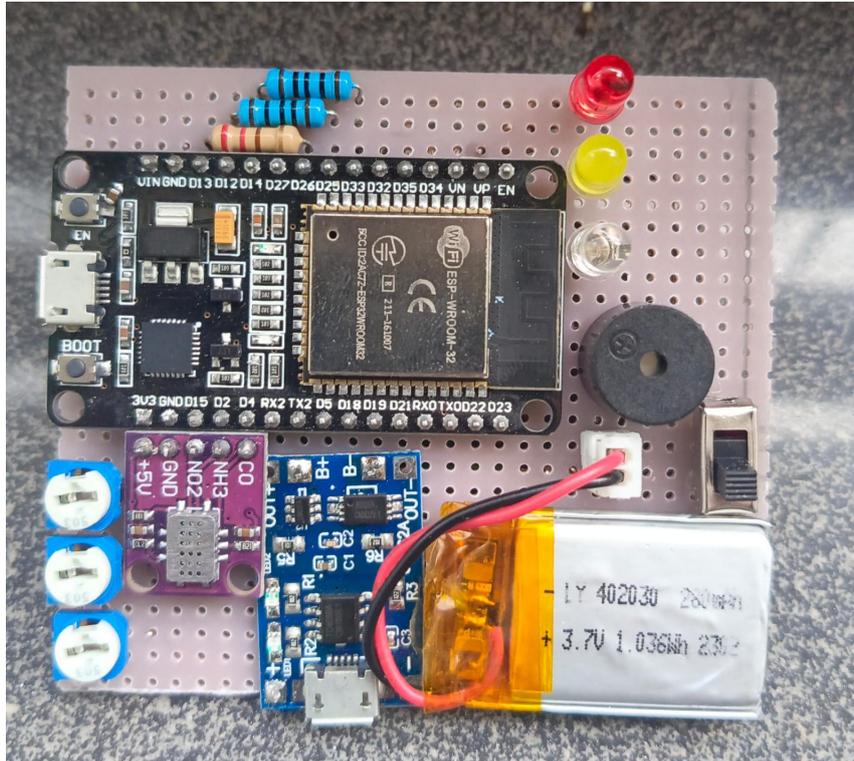


Figura 17. Circuito empleado. Fuente: Autor

IV-C2. Diseño de la interfaz de usuario: En esta sección, se describe el proceso de diseño de la interfaz de usuario para la aplicación móvil desarrollada en MIT App Inventor. MIT App Inventor es una plataforma de desarrollo de aplicaciones móviles basada en la nube, diseñada para facilitar la creación de aplicaciones para dispositivos Android de manera intuitiva y accesible, sin necesidad de tener experiencia previa en programación.[23]

La aplicación móvil diseñada en MIT App Inventor se desarrolló con el propósito de conectarse mediante Bluetooth al dispositivo vestible desarrollado, permitiendo así la visualización de los datos proporcionados por el dispositivo en tiempo real. La interfaz de usuario de la aplicación consta de cuatro partes principales, cada una diseñada para una funcionalidad específica:

1. Conexión Bluetooth: Esta parte de la aplicación permite al usuario establecer una conexión Bluetooth con el dispositivo vestible. Se incluyen funciones para buscar dispositivos disponibles y establecer la conexión de manera fácil y rápida.



Figura 18. Conexión Bluetooth. Fuente: Autor

2. Configuración de umbrales: En esta sección, el usuario puede configurar los umbrales de los valores mínimos y máximos para cada gas detectado (monóxido de carbono, dióxido de nitrógeno y amoníaco). Estos umbrales permiten definir los límites en los cuales se activarán las alertas tempranas y de niveles elevados.

UMBRAL DE GASES

CO	NH3	NO2
V. ADV	V. ADV	V. ADV
V. ALR	V. ALR	V. ALR
GUARDAR		

Figura 19. Configuración de umbrales. Fuente: Autor

3. Visualización de niveles de gases: Aquí se presenta una interfaz gráfica que muestra los niveles actuales de los gases monóxido de carbono, dióxido de nitrógeno y amoníaco. Los datos se actualizan en tiempo real y se presentan de manera clara y comprensible para el usuario.

MONITOREO DE GASES

GAS	PPM	
MONÓXIDO		
DIÓXIDO		
AMONÍACO		

Figura 20. Visualización de niveles de gases. Fuente: Autor

4. Visualización del Ritmo Cardíaco: La última parte de la aplicación muestra el valor del ritmo cardíaco del usuario. Esta información se obtiene a través del sensor de ritmo cardíaco integrado en el dispositivo vestible y se muestra en tiempo real en la interfaz de usuario de la aplicación.

RITMO CARDIACO

BPM



◀ ○ ◻

Figura 21. Visualización del ritmo cardíaco. Fuente: Autor

Cada parte de la interfaz de usuario se diseñó teniendo en cuenta la facilidad de uso, la accesibilidad y la claridad en la presentación de la información. Se implementaron elementos visuales intuitivos y funcionales para garantizar una experiencia de usuario óptima. La aplicación móvil resultante ofrece un medio eficaz para monitorear los niveles de gases y el ritmo cardíaco del usuario, proporcionando alertas y advertencias en caso de detectarse situaciones de riesgo.

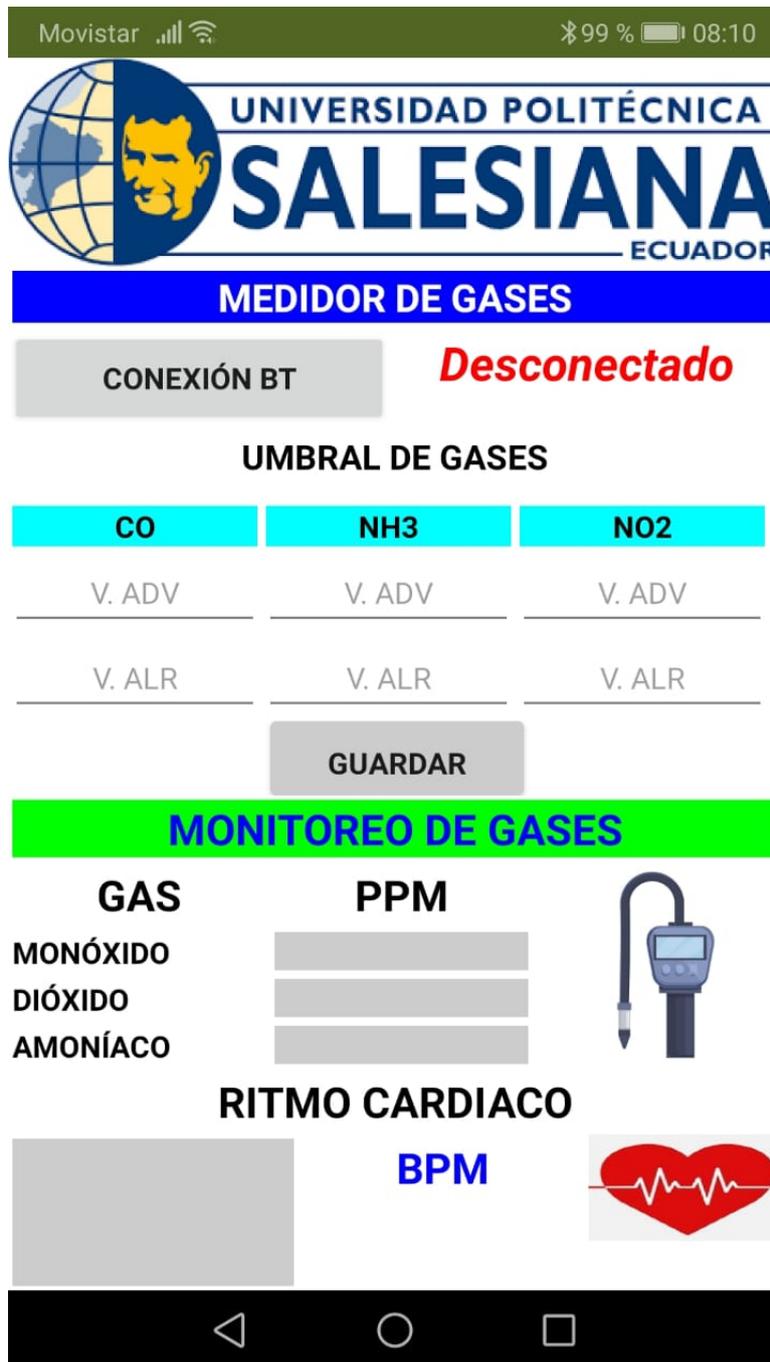


Figura 22. Aplicación móvil. Fuente: Autor

IV-C3. *Pruebas y registro de datos:* Durante el proceso de fabricación se realizaron diversas pruebas de funcionamiento. La finalidad de estas pruebas es observar el rendimiento del sistema propuesto a través de la recopilación de datos para posterior realizar un análisis de datos y así verificando su correcto funcionamiento.

A continuación, se presentan las pruebas de monitoreo de gases.

- Monitoreo de niveles de gases en taller industrial.

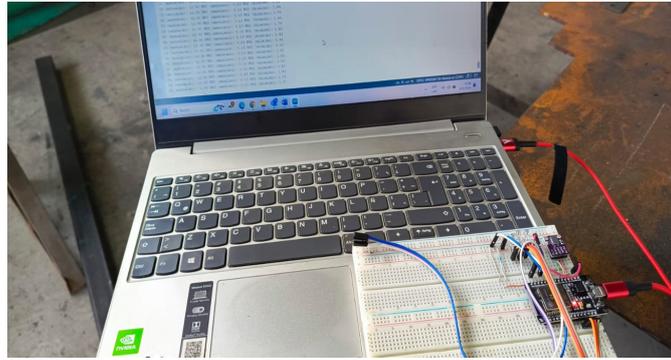


Figura 23. Monitoreo de gases en taller industrial. Fuente: Autor

En Arduino IDE se maneja el código empleado en el ESP32 para la detección de los gases propuestos.

```
mic6814_p1.ino
14 } pinMode(2, INPUT);
15 }
16 void loop() {
17   int val1 = analogRead(4);
18   val1 = map(val1, 0, 1023, 1, 1000); // CO rango 1-1000 ppm
19   int val2 = analogRead(15);
20   val2 = map(val2, 0, 1023, 0.05, 10); // NO2 rango 0.05-10 ppm
21   int val3 = analogRead(2);
22   val3 = map(val3, 0, 1023, 1, 500); // NH3 rango 1-500 ppm
```

Salida Monitor Serie x

Mensaje (Intro para mandar el mensaje de 'ESP32-WROOM-DA Module' a 'COM5') Nueva línea 9600 baud

```
CO (monóxido): 12.90 NH3 (amoníaco): 0.13 NO2 (dióxido): 1.82
CO (monóxido): 12.90 NH3 (amoníaco): 0.13 NO2 (dióxido): 1.82
CO (monóxido): 12.90 NH3 (amoníaco): 0.13 NO2 (dióxido): 1.85
CO (monóxido): 12.90 NH3 (amoníaco): 0.13 NO2 (dióxido): 1.85
CO (monóxido): 12.90 NH3 (amoníaco): 0.13 NO2 (dióxido): 1.84
CO (monóxido): 12.90 NH3 (amoníaco): 0.13 NO2 (dióxido): 1.82
CO (monóxido): 12.90 NH3 (amoníaco): 0.13 NO2 (dióxido): 1.87
CO (monóxido): 12.90 NH3 (amoníaco): 0.13 NO2 (dióxido): 1.81
CO (monóxido): 12.90 NH3 (amoníaco): 0.13 NO2 (dióxido): 1.85
CO (monóxido): 12.90 NH3 (amoníaco): 0.13 NO2 (dióxido): 1.85
CO (monóxido): 12.90 NH3 (amoníaco): 0.13 NO2 (dióxido): 1.80
CO (monóxido): 12.90 NH3 (amoníaco): 0.13 NO2 (dióxido): 1.86
CO (monóxido): 12.90 NH3 (amoníaco): 0.13 NO2 (dióxido): 1.87
CO (monóxido): 12.90 NH3 (amoníaco): 0.13 NO2 (dióxido): 1.87
CO (monóxido): 12.90 NH3 (amoníaco): 0.13 NO2 (dióxido): 1.84
CO (monóxido): 12.90 NH3 (amoníaco): 0.13 NO2 (dióxido): 1.81
CO (monóxido): 12.90 NH3 (amoníaco): 0.13 NO2 (dióxido): 1.84
CO (monóxido): 12.90 NH3 (amoníaco): 0.13 NO2 (dióxido): 1.87
```

Figura 24. Monitores de niveles en pantalla de Arduino IDE. Fuente: Autor

- Monitoreo de gases con aplicación móvil. Una vez desarrollado el código, se realizó la respectiva conexión bluetooth para el uso de la aplicación móvil.

En esta interfaz se visualiza los datos que recibe el prototipo.



Figura 25. Monitoreo de gases con aplicación móvil. Fuente: Autor

- Comparación de datos con un medidor de gases industrial. Se realizó la comparación de resultados entre un detector de gases industrial con valores detectados por nuestro prototipo.

Gracias a estas comparaciones demostramos que las pruebas que se realizarón fueron un exitoso, ya que los valores a comparación tienen un margen de error del 1 %.

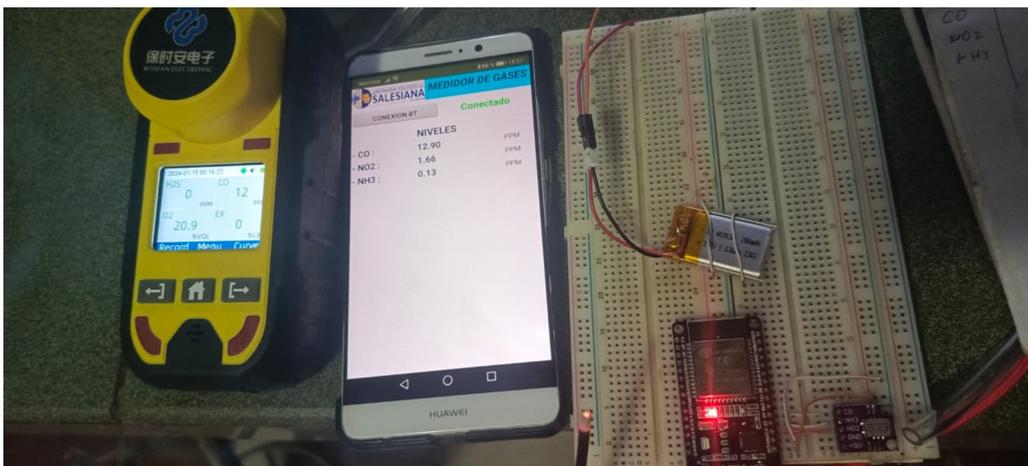


Figura 26. Comparación de datos. Fuente: Autor

IV-C4. Características de seguridad: El diseño del dispositivo se ha realizado considerando cuidadosamente las características de seguridad y ergonomía para proporcionar una experiencia de uso óptima. En cuanto a la seguridad, se han establecido alertas visuales y audibles basadas en un rango de umbrales predefinidos para los niveles de gases nocivos.

Estos umbrales se han determinado de acuerdo con los estándares de seguridad establecidos y las recomendaciones de salud pública.

Para definir estos umbrales se debe conocer los conceptos de los gases que estamos monitoreando:

- **MONÓXIDO DE CARBONO:** El monóxido de carbono es un gas incoloro, insípido e inodoro. Se encuentra tanto en entornos interiores como exteriores, y se produce a partir de la combustión incompleta del carbón. Tanto las actividades

humanas como las fuentes naturales contribuyen a su generación. Una de las principales fuentes antropogénicas de monóxido de carbono es el escape de los automóviles. En el interior de los hogares, las posibles fuentes de este gas incluyen cocinas que utilizan leña, chimeneas, así como hornos y otros aparatos a gas que funcionan incorrectamente. La combustión de madera, los volcanes e incendios forestales liberan monóxido de carbono. La OSHA ha establecido un límite legal de $55\text{mg}/\text{m}^3$ (50 ppmv) para monóxido de carbono en el aire promediado durante una jornada de 8 horas diarias [24].

- **DIÓXIDO DE NITRÓGENO:** Los óxidos de nitrógeno son una mezcla de gases compuestos de nitrógeno y oxígeno. El monóxido de nitrógeno y el dióxido de nitrógeno constituyen dos de los óxidos de nitrógeno más importantes toxicológicamente; ninguno de los dos son inflamables y son incoloros a pardo en apariencia a temperatura ambiente. El monóxido de nitrógeno es un gas de olor dulce penetrante a temperatura ambiente, mientras que el dióxido de nitrógeno tiene un fuerte olor desagradable. El dióxido de nitrógeno es un líquido a temperatura ambiente, pero se transforma en un gas pardo-rojizo a temperaturas sobre 70 F. La Administración de Seguridad y Salud Ocupacional de EE.UU. (OSHA, por sus siglas en inglés) ha establecido un límite de 25 ppm de monóxido de nitrógeno en el aire del trabajo durante una jornada de 8 horas diarias, 40 horas a la semana. La OSHA también ha establecido un límite de 5 ppm para exposición al dióxido de nitrógeno en el aire del trabajo durante un período de 15 minutos [25].
- **AMONÍACO:** Es una sustancia química producida tanto por los seres humanos como la naturaleza. Consiste de una parte de nitrógeno (N) y tres partes de hidrógeno (H₃), es un gas incoloro de olor muy penetrante. Esta forma del amoníaco se conoce también como amoníaco gaseoso o amoníaco anhidro (“sin agua”). El amoníaco gaseoso puede ser comprimido y bajo presión puede transformarse en un líquido. El amoníaco existe naturalmente en el aire en niveles entre 1 y 5 partes en un billón de partes de aire (ppb). Se encuentra comúnmente en el agua de lluvia. Los niveles de amoníaco en ríos y bahías generalmente son menores de 6 partes por millón (ppm; 6 ppm = 6,000 ppb). El suelo contiene típicamente entre 1 y 5 ppm de amoníaco. Los niveles de amoníaco varían durante el día, y también de temporada a temporada. La OSHA ha establecido un límite de exposición de 25 ppm para amoníaco en el aire del trabajo durante una jornada de 8 horas diarias y un límite de 35 ppm durante un período breve de 15 minutos. El NIOSH recomienda que el nivel de amoníaco en el aire del trabajo no exceda 50 ppm durante un lapso de exposición de 5 minutos [26].

En base a esta investigación se estableció los rangos en partes por millón (ppm) de advertencia y alerta para cada uno de los gases:

- Monóxido de carbono un umbral de 30 a 50 ppm
- Dióxido de nitrógeno un umbral de 1 a 5 ppm
- Amoníaco un umbral de 25 a 50 ppm

IV-C5. Características de ergonomía: En términos de ergonomía, el dispositivo ha sido diseñado para adaptarse cómodamente al brazo del usuario. Se ha tenido en cuenta el tamaño promedio del brazo de un adulto, que varía entre 28 y 41 centímetros, asegurando así una buena sujeción y comodidad durante su uso. Esta medida proporciona una base sólida para el diseño del dispositivo, permitiendo una distribución equilibrada del peso y una sujeción firme al brazo del usuario. Además, se ha prestado especial atención al diseño de la carcasa para asegurar una forma ergonómica que se ajuste a la anatomía del brazo humano, garantizando una experiencia de uso cómoda y sin restricciones en el movimiento, y así tener una buena sujeción al brazo.

En resumen, estas características de seguridad y ergonomía se han dado de manera integral en el diseño del dispositivo para garantizar su eficacia y comodidad de uso en una variedad de situaciones laborales cotidianas.

Para determinar una buena ergonomía realizamos pruebas de funcionamiento, además de realizar pruebas de conectividad de prototipo con aplicación móvil para determinar el rango de alcance que posee el prototipo.



Figura 27. Uso del prototipo por el usuario. Fuente: Autor

IV-D. Diseño de la carcasa

Para el diseño de la carcasa se tomó en cuenta las características que debe tener las cuales se analizaron mediante el método de Ashby.

Este método es una de las técnicas más comunes usadas en ingeniería para el proceso de selección de materiales en función de sus propiedades y características, que ofrece una aproximación sistemática para encontrar la solución más adecuada según los requerimientos de una aplicación específica. En esta metodología, se contrastan dos propiedades en un gráfico logarítmico log-log, lo que presenta una amplia variedad de diagramas adaptados a diferentes aplicaciones. Una de las principales ventajas de este enfoque es su capacidad para visualizar de manera clara las diversas familias de materiales y sus propiedades físicas, mecánicas y funcionales. Esto proporciona una comprensión más completa de los materiales de manera simple y concisa. Además, es posible trazar líneas conocidas como índices de desempeño, que representan características mecánicas específicas según el tipo de gráfico seleccionado [27].

La selección del material no puede ser separada del proceso y de su forma debido a los requerimientos del diseño los cuales se muestran en la figura 23.

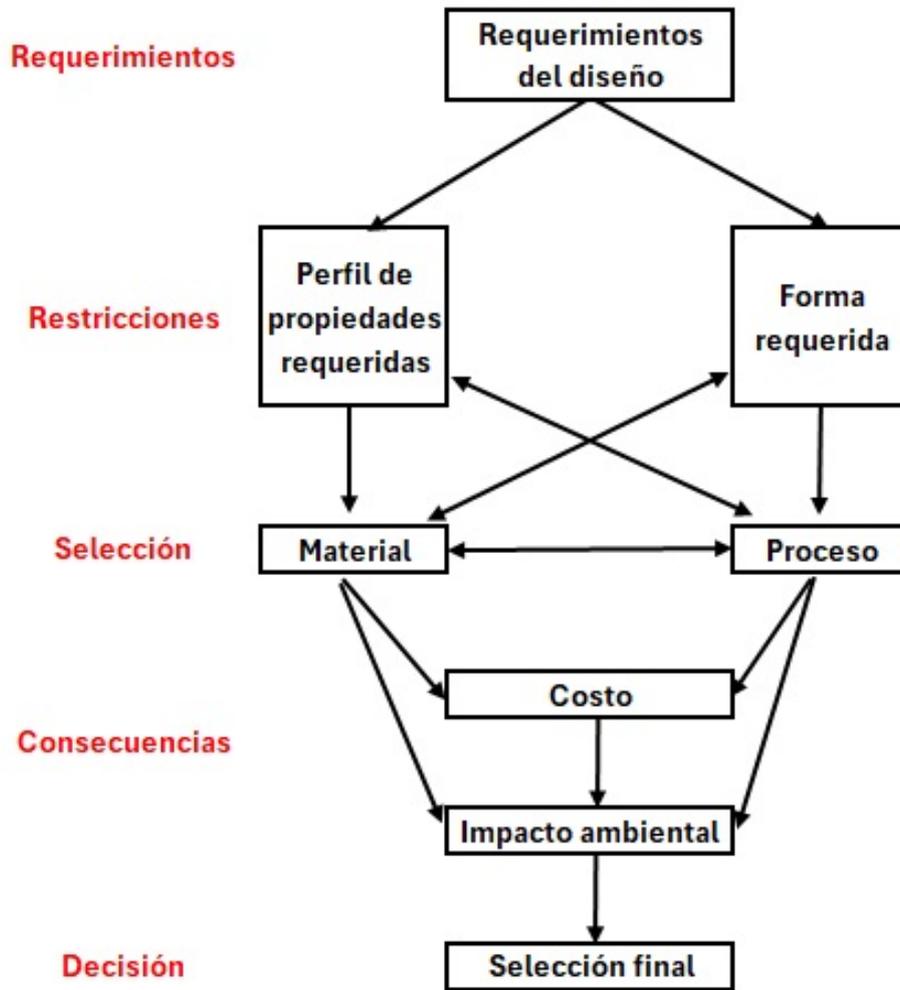


Figura 28. Interacción entre los requerimientos del diseño, el material, la forma y los procesos[28].

Gracias a su simplicidad, los diagramas de Ashby son un excelente apoyo para una elección racional de material con el que desea realizar sus piezas en el que para el prototipo es una carcasa la cual debe ser ligera, rígida y de bajo costo [29]. En la siguiente imagen se muestra el gráfico de Ashby el cual permite resaltar con dos líneas los materiales que se ajusten a las necesidades del prototipo.

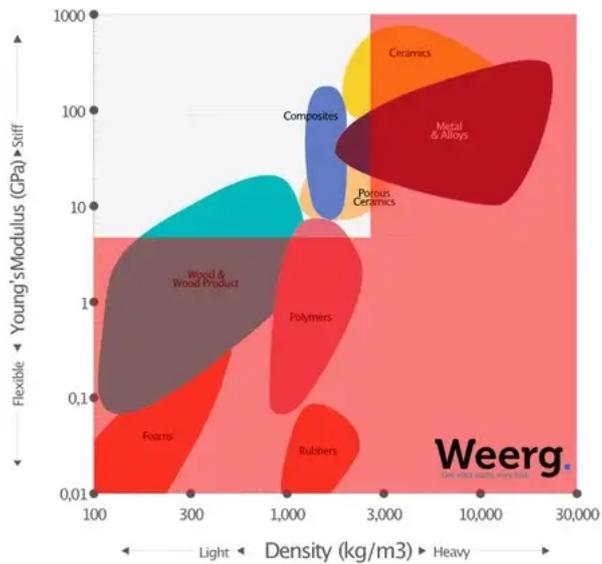


Figura 29. Gráfico de Ashby [29].

Para el prototipo se ha utilizado un programa basado en esta metodología, el cual fue de gran ayuda al momento de elegir el material de la carcasa del prototipo colocando las restricciones en la aplicación para un panel en flexión usando polímeros con densidad mayor a 0.01 kg sobre metro cúbico y módulo mayor a 1 GPa [30].

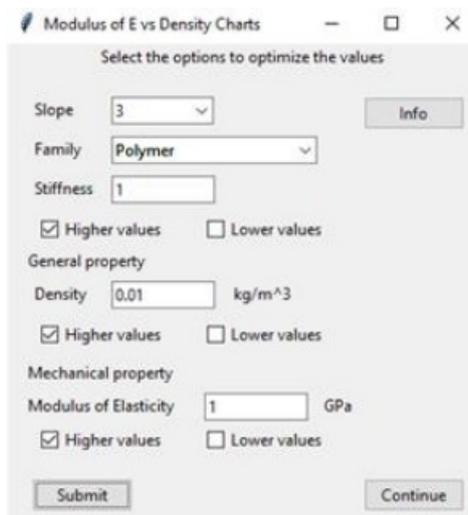


Figura 30. Interfaz con valores ingresados. Fuente: Autor

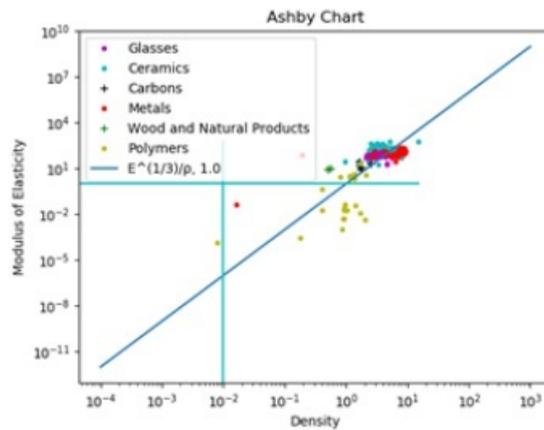


Figura 31. Gráfica Ashby de todos los materiales de la base de datos. Fuente: Autor

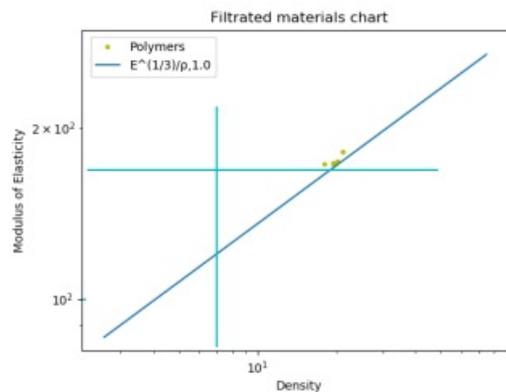


Figura 32. Gráfica Ashby detallada. Fuente: Autor

Con estos resultados, el material que se puede utilizar está dentro de la familia de los polímeros; en el que se ha elegido el ABS que es uno de los elementos más versátiles y que es utilizado en las industrias. El mismo, mantiene un equilibrio entre el costo y el rendimiento, con una temperatura razonable.

El material ABS también se le conoce como plástico ABS, es un Acrilonitrilo Butadieno Estireno. Es por las características que tiene cada bloque que lo compone que se emplea para manufacturar productos de gran volumen y aparatos electrónicos. La composición que tiene el ABS es 50% de Estireno y el otro 50% se divide entre el Butadieno y Acrilonitrilo.

Este material se caracteriza por su tenacidad y resistencia ante altos impactos, incluyendo el estar sometido a bajas temperaturas. Se considera un plástico de gran rentabilidad, con fácil unión, maquinabilidad, duro y rígido, no es un material tóxico. Tiene una buena resistencia química, lo que permite que sea pintable, adherible y soldable; también tiene una gran resistencia a los rayos gamma y X. El ABS es un material que brilla por naturaleza, aunque también tiene grados mate, se encuentra disponible en su color natural, gris, negro y blanco [31].

IV-D1. Ergonomía del modelo: La forma que se desarrollo el prototipo esta pensada en la seguridad y el agarre que debe establecerse con el usuario, en este caso el accesorio es colocado en el brazo.

El modelo presenta una curvatura en su base para acoplarse a la forma del brazo del usuario, en sus extremos mantiene unas ranuras las cuales se coloca la cinta velcro que es el que mantendrá el agarre del dispositivo al brazo.

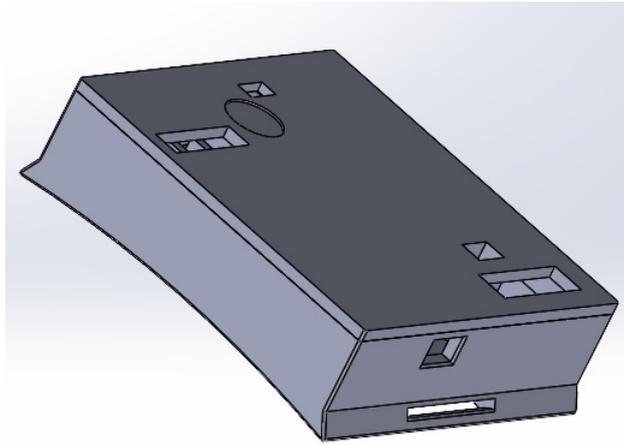


Figura 33. Modelo 3D de la carcasa. Fuente: Autor

IV-E. Análisis de la carcasa

El modelo fue diseñado con la ayuda del software cad Solidworks, que nos permite realizar el modelo en 3 dimensiones para tener una visualización previa de nuestro prototipo y además nos permite realizar un análisis estructural para verificar la eficacia del modelo.

IV-E1. Análisis estático: A continuación se presenta el análisis estatico generado a través de Solidwords. Esto ayuda con la detección de esfuerzos máximos y mínimos que se ven involucrados para el diseño del prototipo.

■ Propiedades del material:

1. Nombre: ABS
2. Límite de tracción: $3e + 07N/m^2$
3. Módulo elástico: $2e + 09N/m^2$
4. Coeficiente de Poisson: 0,394
5. Densidad: $1,020kg/m^3$
6. Módulo cortante: $3,189e + 08N/m^2$

En la siguiente imagen se muestra el mallado del modelo con tipo de malla sólida y basada en curvatura características que facilita el análisis de las partes complejas del modelo y las variaciones del material.

Nombre del modelo: Ensamblaje carcasa
Nombre de estudio: Análisis estático carcasa(-Predeterminado-)
Tipo de malla: Malla sólida

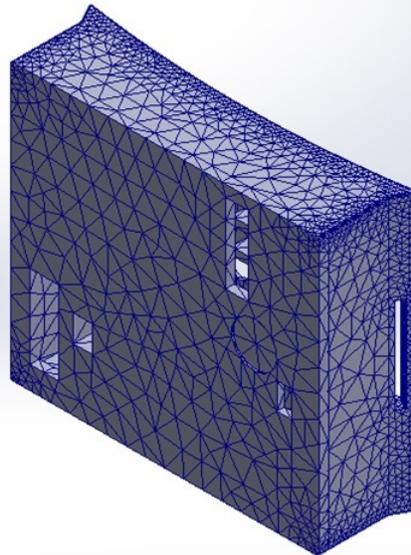


Figura 34. Mallado del modelo. Fuente: Autor

En el análisis de tensión de Von Mises podemos ver la resistencia de que tiene nuestro modelo que nos da un valor máximo de resistencia de $105872N/m^2$.

Nombre del modelo: Ensamblaje carcasa
Nombre de estudio: Análisis estático carcasa(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Tensiones1
Escala de deformación: 1

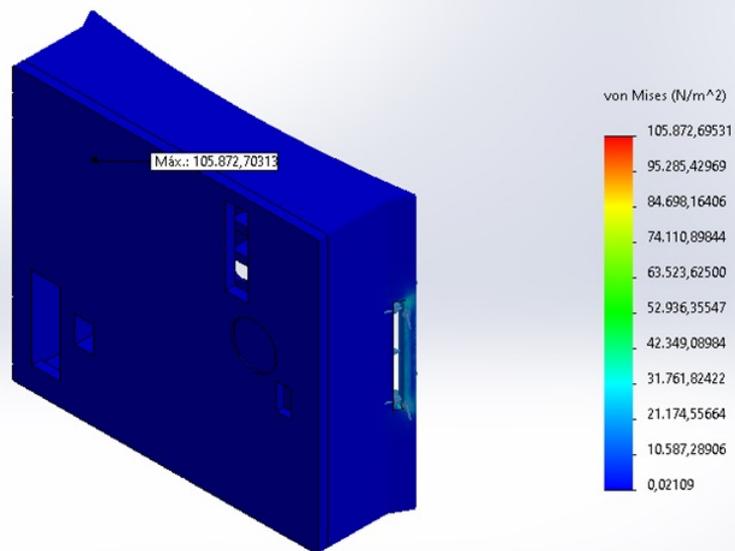


Figura 35. Tensión de Von Mises. Fuente: Autor

Aquí se visualizan las fuerzas que intervienen en el análisis estático. El modelo donde va a estar sujeto al brazo a una fuerza de 1 kgf el cual dá como resultado un desplazamiento máximo de 0.00008 mm.

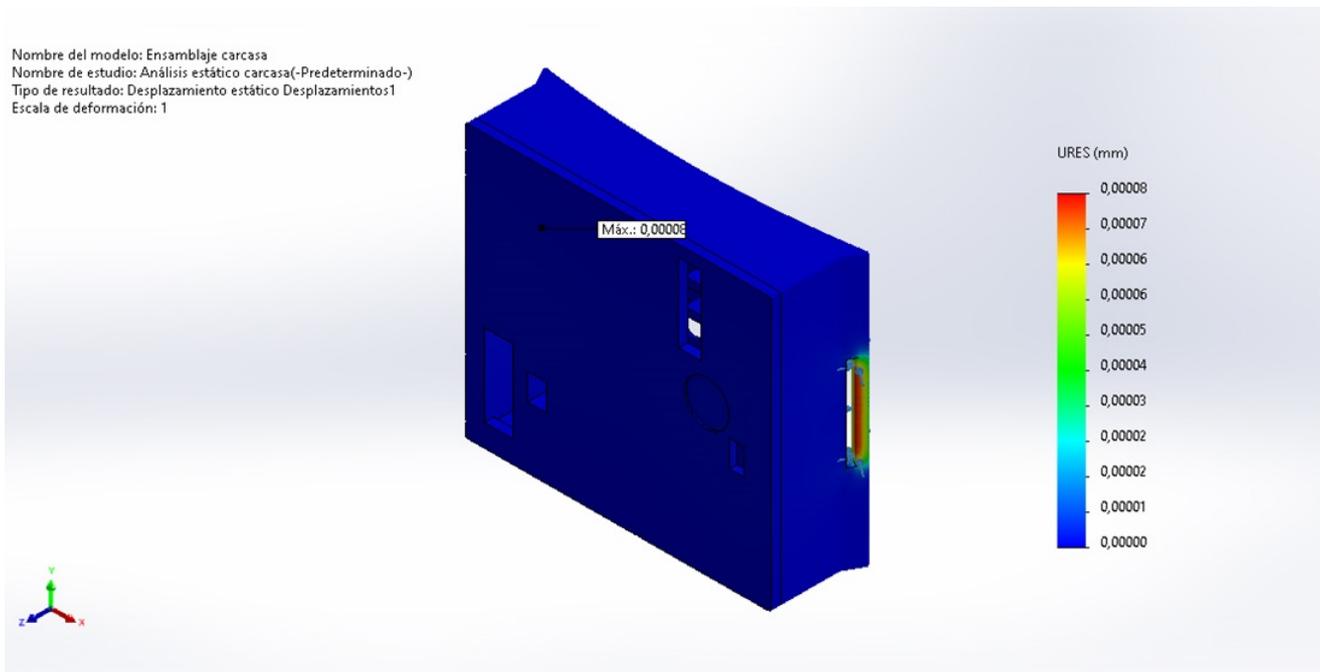


Figura 36. Desplazamiento estático. Fuente: Autor

En esta imagen se presenta la deformación del modelo con respecto a la fuerza aplicada que da como resultado una deformación máxima de 0.00004 mm.

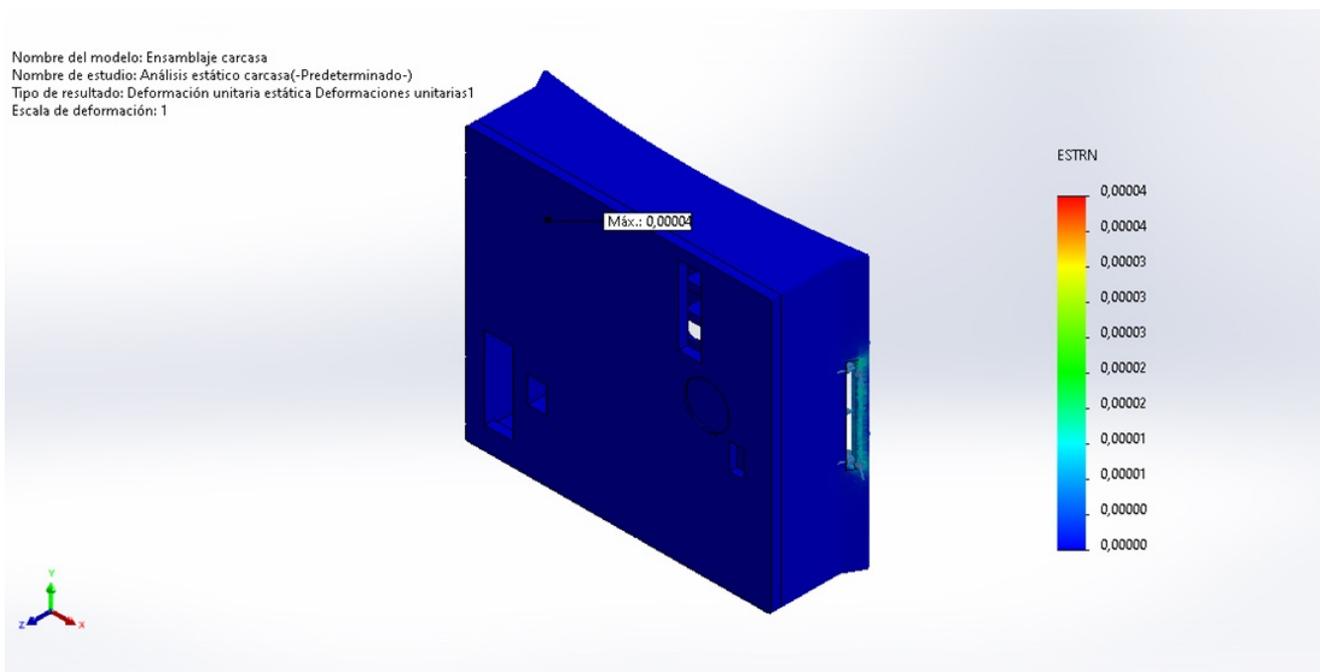


Figura 37. Deformaciones estáticas. Fuente: Autor

Con estos resultados del análisis propuesto en el que se muestra la tensión de Von Mises, desplazamientos y deformaciones, empleando sus valores máximos y mínimos, se demuestra que el prototipo empleado resiste las fuerzas que se podrían aplicar en el proceso de su uso.

IV-E2. Pruebas y validación: Una vez realizada las pruebas de funcionamiento y los análisis correspondientes se procedió a imprimir el modelo y a ensamblarlo como se muestra en las siguientes imágenes:

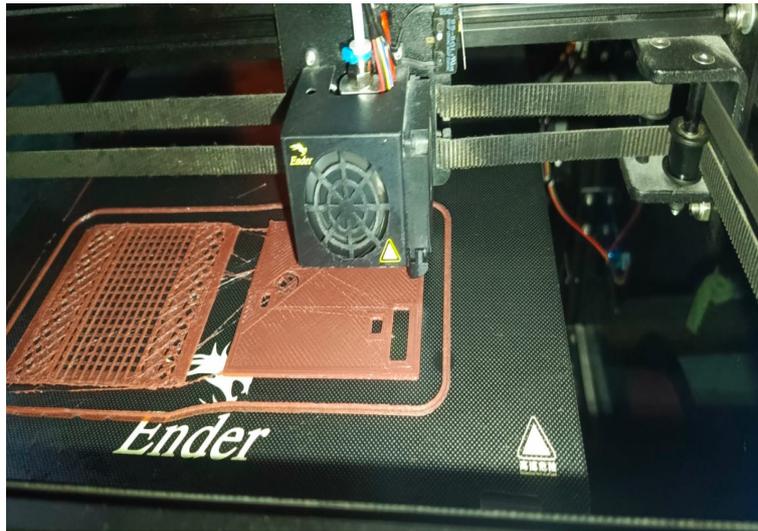


Figura 38. Impresión 3D del modelo. Fuente: Autor



Figura 39. Finalización de impresión 3D del modelo. Fuente: Autor

Terminada la impresión del modelo se lijó y se pintó para posteriormente ser colocado en el brazo del usuario.



Figura 40. Uso del dispositivo por el usuario. Fuente: Autor

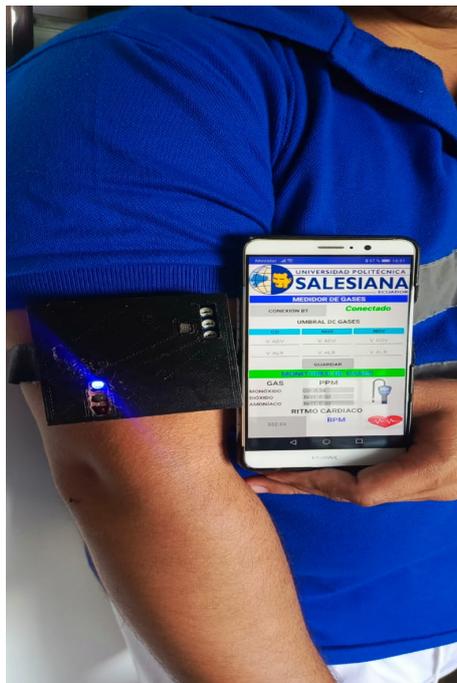


Figura 41. Uso del dispositivo por el usuario con la aplicación móvil. Fuente: Autor

VI. PRESUPUESTO

El presupuesto del proyecto será financiado por una empresa privada que desea permanecer anónima.

Cuadro II
PRESUPUESTO DEL PROYECTO.

Presupuesto del Proyecto

Proyecto

**DETECTOR VESTIBLE DE GASES NOCIVOS EN
EL AMBIENTE, APLICADO EN INDUSTRIAS DE
GUAYAQUIL**

Integrantes

MAIKEL HOLGUIN ARREGA

Duración del proyecto 6 MESES

Costos directos	\$	8.392,10
Costos indirectos	\$	-
Reserva para riesgos		2%

Presupuesto	\$	8.392,10
Riesgo	\$	167,84
Total	\$	8.559,94

Costos Directos

Elemento	Tipo de Unidad	Unidades	Precio por unidad	Costo
PERSONAL	JORNADA MENSUAL	6	\$ 510,00	\$ 3.060,00
INTERNET	COSTO MENSUAL	6	\$ 32,00	\$ 192,00
INSUMOS		1	\$ 1.600,00	\$ 1.600,00
COMPUTADORA	EQUIPO	2	\$ 1.250,00	\$ 2.500,00
PLASTICO PLA	ROLLO DE 1KG	1	\$ 22,00	\$ 22,00
PLASTICO ABS	ROLLO DE 1KG	1	\$ 25,00	\$ 25,00
VIÁTICOS	COMIDA	44	\$ 3,00	\$ 132,00
VIÁTICOS	CARRO/ COMBUSTIBLE SEMANAL	28	\$ 15,00	\$ 420,00
ESP32	MATERIAL	1	\$ 150,00	\$ 150,00
PLACA DE ACERO	MATERIAL	1	\$ 10,00	\$ 10,00
MÓDULO MiCS-6814	MATERIAL	2	\$ 10,00	\$ 20,00
TELÉFONO MOVIL	MATERIAL	1	\$ 240,00	\$ 240,00
PERNOS	MATERIAL	10	\$ 1,00	\$ 10,00
CABLES	MATERIAL	1	\$ 10,00	\$ 10,00
BUZZER	MATERIAL	1	\$ 0,50	\$ 0,50
DIODOS LEDS	MATERIAL	3	\$ 0,20	\$ 0,60
				0

VII. CONCLUSIONES

- La revisión de diversos materiales literarios y audiovisuales sobre proyectos relacionados, así como la realización de un proyecto inicial que consistió en un ejemplo básico de monitoreo de gases utilizando únicamente el sensor y la placa ESP32, ha proporcionado una comprensión fundamental sobre el funcionamiento de las placas ESP32. Este proceso ha permitido adquirir conocimientos sobre cómo programar y utilizar eficazmente la placa ESP32 en aplicaciones prácticas. Al explorar diferentes recursos y realizar proyectos prácticos, se ha desarrollado una comprensión más profunda de las capacidades y funcionalidades de la placa ESP32, sentando así una base sólida para proyectos más avanzados y aplicaciones futuras.
- Se logró desarrollar un prototipo de equipo de medición de calidad del aire de bajo costo basado en la placa ESP32, que puede funcionar tanto como fijo como portátil. Este dispositivo permite medir tres contaminantes gaseosos específicos: monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrógeno (NO₂) y amoníaco (NH₃). Además, se ha integrado un sensor de ritmo cardíaco para monitorear la salud del usuario. Estas mediciones se realizan a intervalos regulares, proporcionando información de los niveles de los gases nocivos en tiempo real.
- Las fortalezas del prototipo se centran principalmente en su alta resolución temporal, su bajo costo, su reducido tamaño y su versatilidad para medir en ambientes industriales. Aunque está diseñado para su uso específico en entornos industriales, el dispositivo conserva su capacidad para medir concentraciones de gases en diferentes zonas, proporcionando así una herramienta útil para monitorear la calidad del aire en diversos ambientes.

REFERENCIAS

- [1] MANUAL MSD, *EXPOSICIÓN A GASES Y A SUSTANCIAS QUÍMICAS*, <https://acortar.link/SWNtXs>, Accessed: 2023.
- [2] OAQPS, *Manual de Costos de Control de Contaminación del Aire de la EPA*, https://www3.epa.gov/ttn/catc1/cica/files/c_allchs-s.pdf, Accessed: 2002.
- [3] Grupo Decisión, *Sistema de detección de gases tóxicos*. <https://www.decision.com.ec/sistemas-de-deteccion-de-gases-toxicos/>, Accessed: 2002.
- [4] MRF, *Sistemas de detección de gases tóxicos y explosivos*, <https://acortar.link/sDYkO3>, Accessed: 2021.
- [5] Cantuña Escalante, Katherine Lizeth Satián Guamán, Daniela Fernanda, *Análisis de rendimiento de la tecnología LoRaWAN aplicado al desarrollo de un sistema de monitoreo de calidad de aire en la Unidad Educativa Santo Tomás Apóstol Riobamba*. <http://dspace.epoch.edu.ec/handle/123456789/11026>, Accessed: 2019.
- [6] OCHOA OCHOA, C ESTEBAN., *Diseño e implementación de un sistema de monitoreo de calidad de aire en la ciudad de Cuenca*, <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/7220>, Accessed: 2014.
- [7] José Luis Mena Guzmán, Jhon Jamber Pinto Merchán, *CIENCIA UNISALLE*, <https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1279&context=ingautomatizacion>, Accessed: 2019.
- [8] Aqueveque Navarro, Pablo Esteban, *Desarrollo de un sistema wearable para la detección de estrés mediante aprendizaje automático basado en ritmo cardiaco*. <http://repositorio.udec.cl/jspui/bitstream/11594/6339/1/TESIS\%20DESARROLLO\%20DE\%20UN\%20SISTEMA\%20WEARABLE\%20.pdf>, Accessed: 2021.
- [9] BOSCH, *Gas sensor BME680*, <https://www.bosch-sensortec.com/products/environmental-sensors/gas-sensors/bme680/>, Accessed: 2019.
- [10] Pulsar, *Detector de gas portátil multigas BW Clip4*, <https://pulsarinstruments.com/es/productos/bw-clip4-detector-de-gases-multiple/>, Accessed: 2023.
- [11] SENSORTECH, *DATASHEET*, https://www.sgxsensortech.com/content/uploads/2015/02/1143_Datasheet-MiCS-6814-rev-8.pdf, Accessed: 2015.
- [12] ARDUINO, *ARDUINO*, <https://www.arduino.cc/>, Accessed: 2021.
- [13] Xataka, *Qué es Arduino*, <https://www.xataka.com/basics/que-arduino-como-funciona-que-puedes-hacer-uno>, Accessed: 2022.
- [14] ElectroStore, *MÓDULO ESP32 ESP-32 WIFI BLUETOOTH (38PINES)*, <https://grupoelectrostore.com/shop/placas-para-programacion/esp/modulo-esp32-esp-32-wifi-bluetooth/>, Accessed: 2019.
- [15] ANTHONIO PEDRO, *BITSTREAM*, <https://ruja.ujaen.es/bitstream/10953/1134/1/TesisAntonioPedroAlbinRuja.pdf>, Accessed: 2019.
- [16] Víctor Hugo Rodríguez Ontiveros, *APLICACIONES DE SENSORES VESTIBLES Y TELÉFONOS INTELIGENTES EN EL BIENESTAR PERSONAL: CUANTIFICACIÓN DE LA ACTIVIDAD FÍSICA Y CONTROL DE LA PRÁCTICA DE MINDFULNESS*, <https://zaguan.unizar.es/record/106296/files/TESIS-2021-212.pdf>, Accessed: 2019.
- [17] Brildor blog, *FILAMENTOS PARA IMPRESORA 3D: DIFERENCIAS ENTRE TIPOS DE FILAMENTOS Y PARA QUÉ SE USAN*, <https://www.brildor.com/blog/es/filamentos-para-impresora-3d-diferencias-entre-tipos-y-para-que-se-usan/>, Accessed: 2021.
- [18] Soluciones Sicnova SL, *¿Qué es el PLA en impresión 3D y para qué se utiliza?* <https://sicnova3d.com/blog/experiencias-3d/que-es-el-pla-en-impresion-3d-y-para-que-se-utiliza/>, Accessed: 2023.
- [19] Mas toner, *Filamento ABS características*, <https://mastoner.com/blog/filamento-abs-caracteristicas-material-3d/>, Accessed: 2021.
- [20] Aritmetics, *Qué es Wearable*, <https://www.aritmetics.com/glosario-digital/wearable>, Accessed: 2022.
- [21] D. Antonio Pedro Albín Rodríguez, *Dispositivos vestibles para sistemas inteligentes de monitorización en salud*, https://ruja.ujaen.es/bitstream/10953/1134/1/TesisAntonioPedroAlbin_Ruja.pdf, Accessed: 2021.
- [22] Orellana Orellana, Kristhel Fiorelly Palacio Parrales, John Estefano, *Desarrollo de un dispositivo que monitoree signos vitales en personas expuestas a bajas temperaturas*, <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/25810>, Accessed: 2023.
- [23] Tomás Antonio Claramunt Ancavil, *MIT App Inventor*, <https://appinventor.mit.edu/about-us>, Accessed: 2012.
- [24] Agency for Toxic Substances and Disease Registry Division of Toxicology and Human Health Sciences, *Resúmenes de Salud Pública - Monóxido de Carbono (Carbon Monoxide)*, https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs201.html, Accessed: 2016.
- [25] Agency for Toxic Substances and Disease Registry Division of Toxicology and Human Health Sciences, *ToxFAQs™ - Óxidos de nitrógeno (monóxido de nitrógeno, dióxido de nitrógeno, etc.) (Nitrogen Oxides)*, https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts175.html, Accessed: 2016.
- [26] Agency for Toxic Substances and Disease Registry Division of Toxicology and Human Health Sciences, *Resúmenes de Salud Pública - Amoníaco (Ammonia)*, https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs126.html, Accessed: 2016.

- [27] Victor Orlando Machin Posada, *Introducción del método de selección de materiales de Michael Ashby en el currículo del Ingeniero Mecánico*. <https://dspace.uclv.edu.cu/server/api/core/bitstreams/66d87685-a501-4663-b778-03c4f71579ee/content>, Accessed: 2019.
- [28] Victor Orlando Machin Posada, *Introducción del método de selección de materiales de Michael Ashby en el currículo del Ingeniero Mecánico*, <https://dspace.uclv.edu.cu/server/api/core/bitstreams/66d87685-a501-4663-b778-03c4f71579ee/content>, Accessed: 2019.
- [29] weerg, *CÓMO ELEGIR EL MATERIAL ADECUADO CON LOS DIAGRAMAS DE ASHBY*, <https://www.weerg.com/es/guias/elegir-el-material-adecuado-con-los-diagramas-de-ashby>, Accessed: 2020.
- [30] Bruno Paucar, Giovanny Chunga, Miguel Realpe, *Software de código abierto para facilitar el proceso de selección de materiales según la metodología de Ashby*, https://laccei.org/LACCEI2019-MontegoBay/work_in_progress/WP419.pdf, Accessed: 2019.
- [31] Aceromafe, *Plastico ABS*, <https://www.aceromafe.com/material-abs/>, Accessed: 2023.

VIII. ANEXOS

VIII-A. Código arduino

```
1  #include <Arduino.h>
2  #include "BluetoothSerial.h"
3
4  BluetoothSerial SerialBT;
5
6  const int CO_pin = 4;
7  const int NH3_pin = 2;
8  const int NO2_pin = 15;
9  const int blueLED = 13;
10 const int yellowLED = 12;
11 const int redLED = 14;
12 const int buzzerPin = 33;
13 const int sensorPin = 32;
14
15 const float max_volts = 3.7;
16 const float max_analog_steps = 1023.0;
17
18 int alertThresholdCO = 50; // Umbral de alerta CO (ppm)50
19 int alertThresholdNH3 =50; // Umbral de alerta NH3 (ppm)50
20 float alertThresholdNO2 =5; // Umbral de alerta NO2 (ppm)5
21
22 int warningThresholdCO =30; // Umbral de advertencia CO (ppm)30
23 int warningThresholdNH3 =25; // Umbral de advertencia NH3 (ppm)25
24 float warningThresholdNO2 =1; // Umbral de advertencia NO2 (ppm)1
--
```

Figura 42. Declaración de variables

```
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  SerialBT.begin("Gas_Monitor");

  pinMode(CO_pin, INPUT);
  pinMode(NH3_pin, INPUT);
  pinMode(NO2_pin, INPUT);
  pinMode(blueLED, OUTPUT);
  pinMode(yellowLED, OUTPUT);
  pinMode(redLED, OUTPUT);
  pinMode(buzzerPin, OUTPUT);
}
```

Figura 43. Definición de entradas y salidas

```

void loop() {
  //Recibir umbrales de gases
  if (SerialBT.available()) {
    String command = SerialBT.readStringUntil('\n');
    if (command.startsWith("AlertCO")) {
      alertThresholdCO = command.substring(7).toInt();
    } else if (command.startsWith("AlertNH3")) {
      alertThresholdNH3 = command.substring(8).toInt();
    } else if (command.startsWith("AlertNO2")) {
      alertThresholdNO2 = command.substring(8).toFloat();
    } else if (command.startsWith("WarningCO")) {
      warningThresholdCO = command.substring(9).toInt();
    } else if (command.startsWith("WarningNH3")) {
      warningThresholdNH3 = command.substring(10).toInt();
    } else if (command.startsWith("WarningNO2")) {
      warningThresholdNO2 = command.substring(10).toFloat();
    }
  }
}

```

Figura 44. Recepción de datos

```

}
// Lectura de valores de los sensores
int CO_val = analogRead(CO_pin);
CO_val = map(CO_val, 0, 1023, 1, 1000); // Rango de CO 1-1000 ppm
int NH3_val = analogRead(NH3_pin);
NH3_val = map(NH3_val, 0, 1023, 1, 500); // Rango de NH3 1-500 ppm
int NO2_val = analogRead(NO2_pin);
NO2_val = map(NO2_val, 0, 1023, 0.05, 10); // Rango de NO2 0.05-10 ppm

// Convertir valores analógicos a voltajes
float vCO = CO_val * (max_volts / max_analog_steps);
float vNH3 = NH3_val * (max_volts / max_analog_steps);
float vNO2 = NO2_val * (max_volts / max_analog_steps);

```

Figura 45. Lectura de datos del sensor

```

// Enviar datos a través de Bluetooth
SerialBT.print("CO: ");
SerialBT.print(vCO);
SerialBT.print("; NH3: ");
SerialBT.print(vNH3);
SerialBT.print("; NO2: ");
SerialBT.print(vNO2);
SerialBT.println(" ;");

// Control de LED azul indicando conexión Bluetooth
digitalWrite(blueLED, SerialBT.connected() ? HIGH : LOW);

// Comprobar si se excede el umbral de alerta
if (vCO > alertThresholdCO || vNH3 > alertThresholdNH3 || vNO2 > alertThresholdNO2) {
  digitalWrite(redLED, HIGH); // Encender LED rojo
  tone(buzzerPin, 1000); // Activar alarma sonora
  //SerialBT.println("ALERTA: Umbral excedido!");
} else {
  digitalWrite(redLED, LOW); // Apagar LED rojo
  noTone(buzzerPin); // Desactivar alarma sonora
}
}

```

Figura 46. Envío de datos a la aplicación

VIII-B. Bloques de programación de la aplicación móvil

Se presentan los bloques de programación de la aplicación móvil realizada en Mit App Inventor.

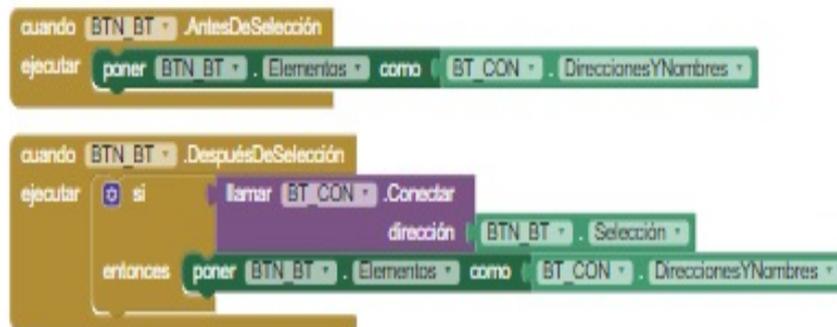


Figura 47. Acciones del botón para conexión

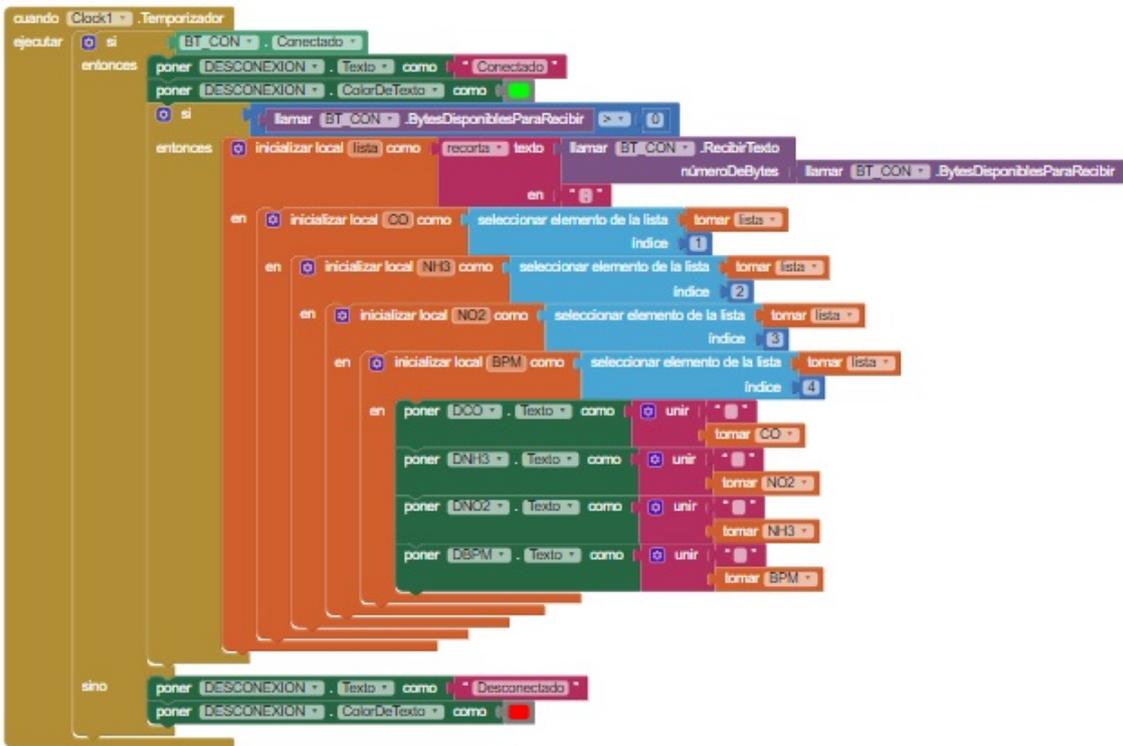


Figura 48. Conexión Bluetooth

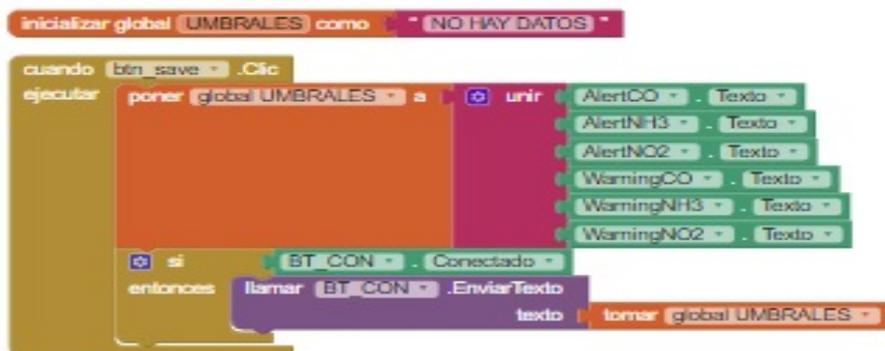


Figura 49. Envío de datos a la ESP32

VIII-C. Planos

VIII-C1. Planos: Se presentan los planos esquematicos del prototipo con sus diferentes vistas, cotas e implementaciones.

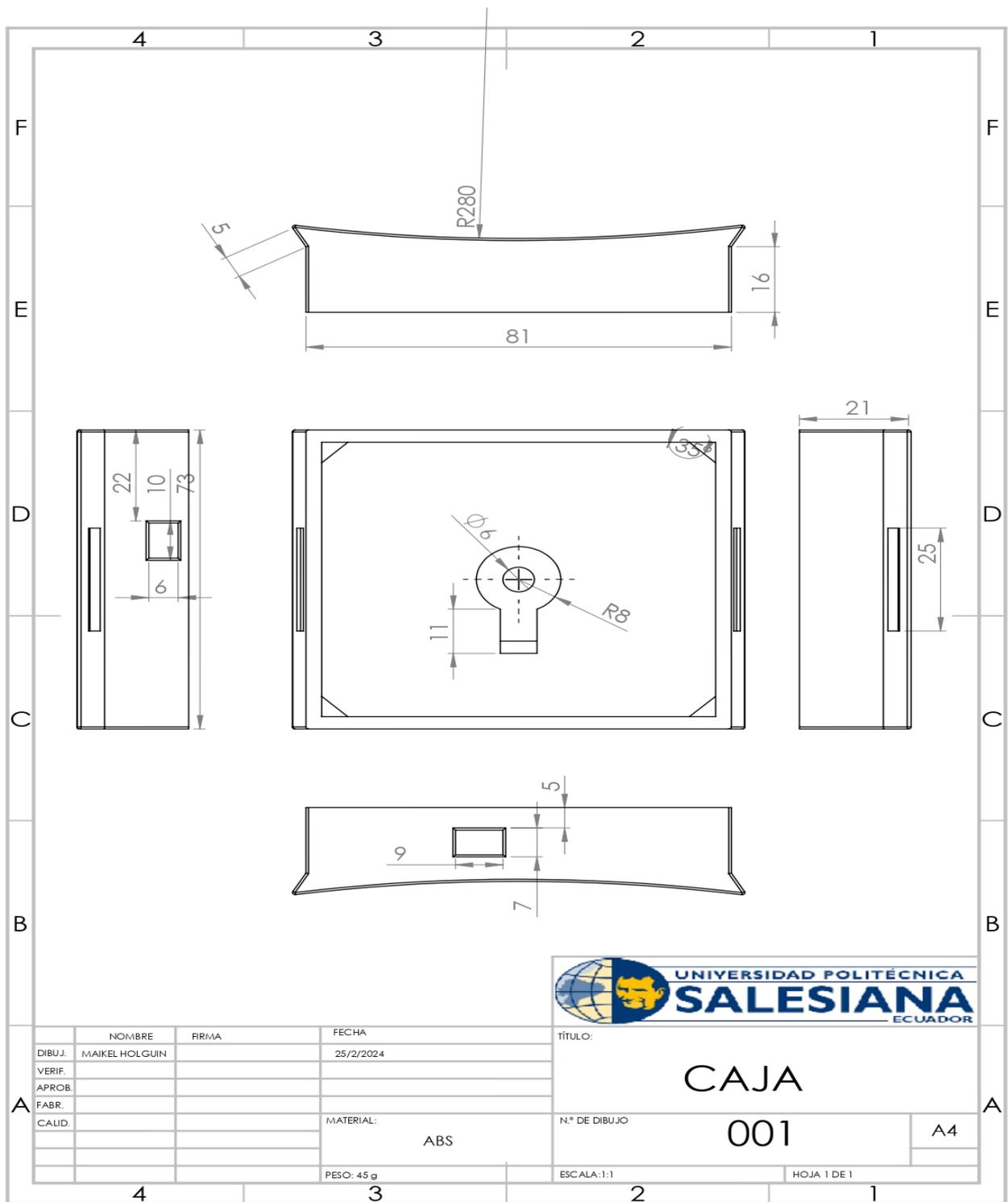


Figura 50. Plano de la caja del prototipo

Se presentan los planos de la tapa del prototipo.

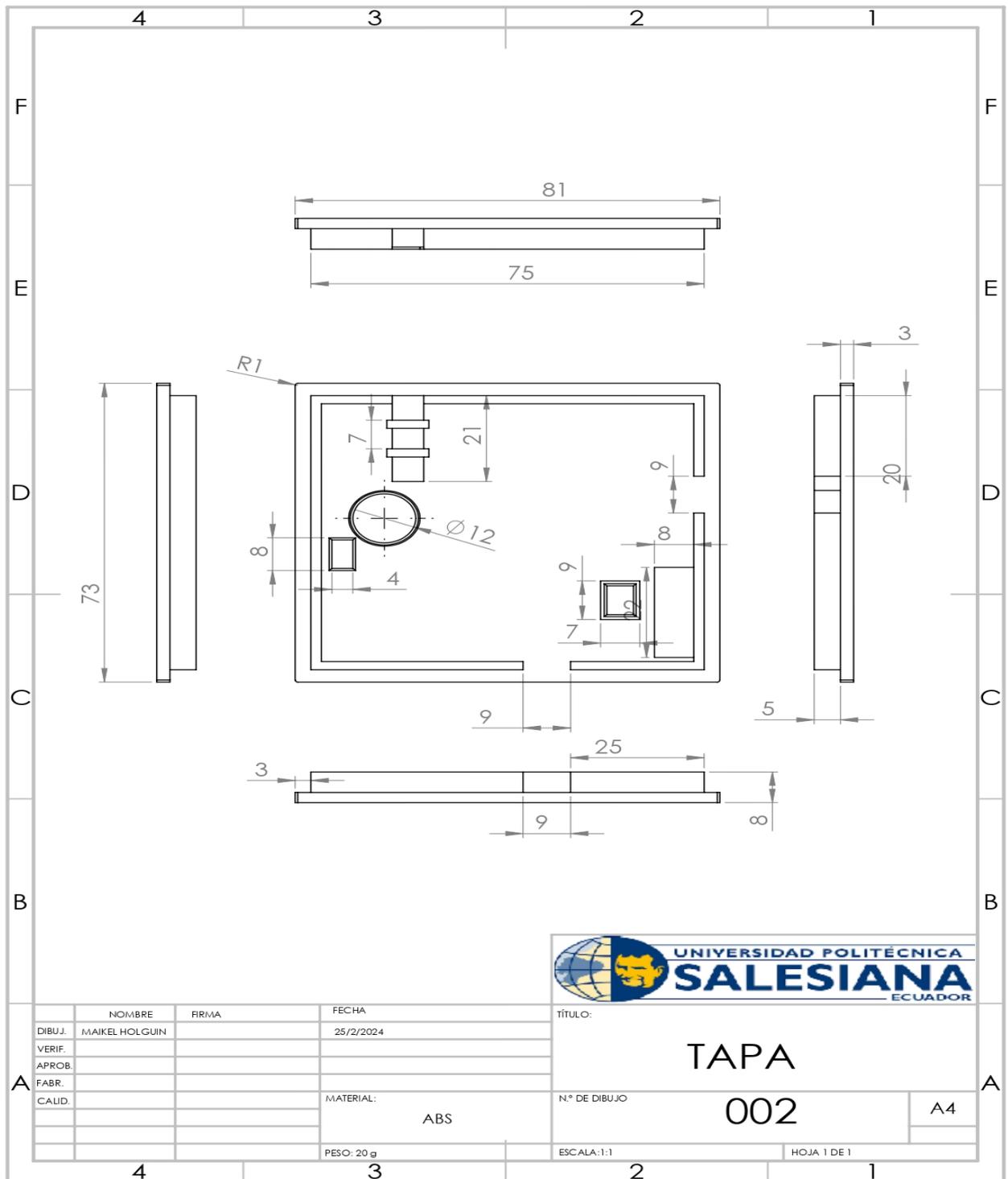


Figura 51. Plano de tapa

Figura 3D de la tapa del prototipo.

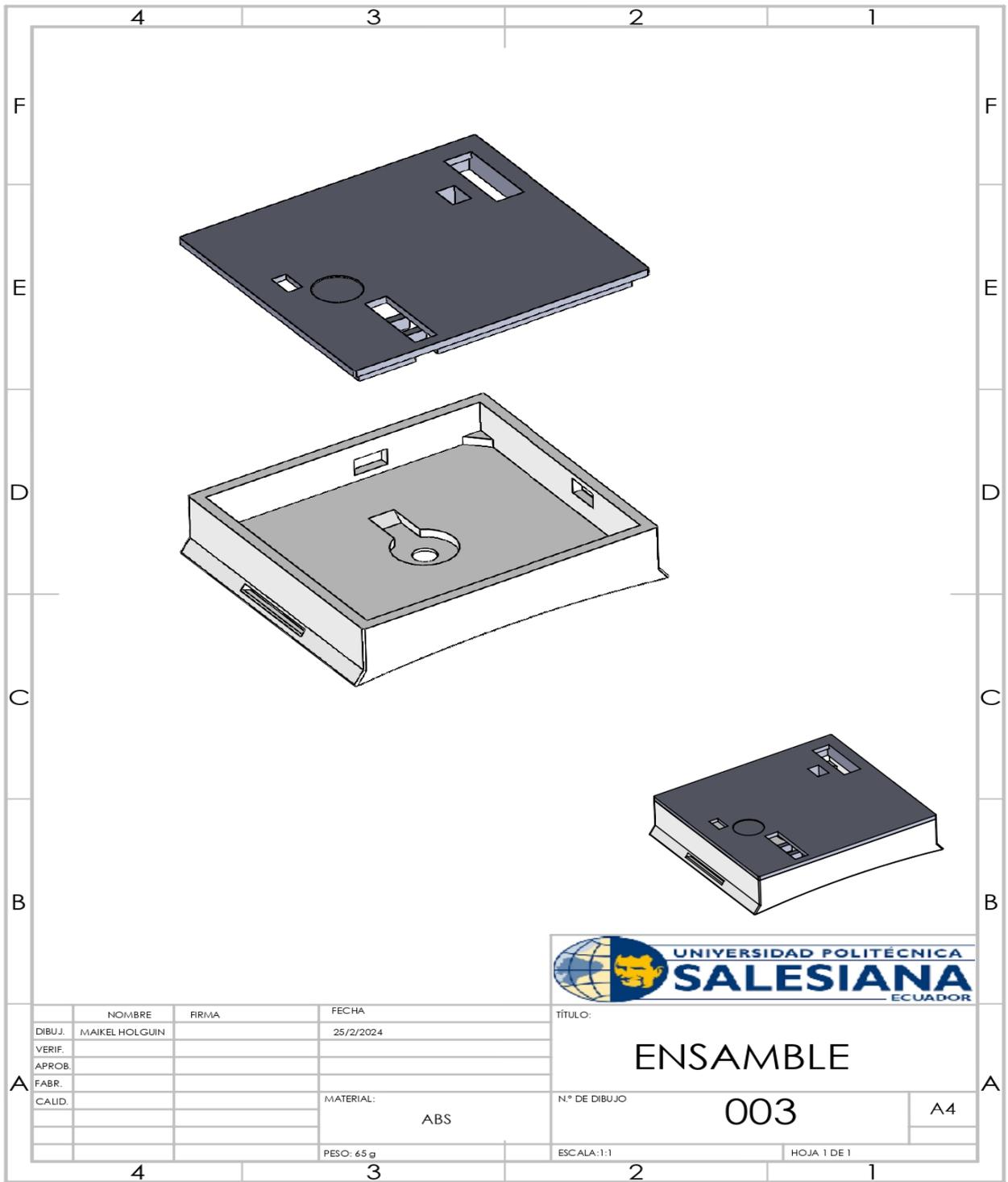


Figura 52. Plano de tapa1