

Escuela Superior Politécnica del Litoral

Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción

Diseño de un equipo de ultrasonido para conservación de alimentos

ING-2804

Proyecto Integrador

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero en Mecatrónica

Presentado por:

Jean Christopher Solis Roca

Nelson Gabriel Alvarado Bravo

Guayaquil - Ecuador

Año: 2024

Dedicatoria

El presente proyecto lo dedico con todo mi cariño y profunda gratitud a mi familia, quienes han sido el pilar fundamental en mi vida:

A mi padre, Jean Solís, por haber sido siempre mi guía y mi mayor inspiración en el camino de la ingeniería, compartiendo conmigo no solo su conocimiento, sino también su pasión por esta noble disciplina.

A mi madre, Lorena Roca, por tu amor incondicional y por enseñarme que, independientemente de la carrera que eligiera, lo importante era seguir mis pasiones. Gracias por ser el ejemplo de esfuerzo, responsabilidad y perseverancia, recordándome siempre que, con trabajo duro y determinación, se pueden superar todas las adversidades.

Cristopher Solis

Dedicatoria

Agradezco a Dios por darme la fortaleza, sabiduría y la oportunidad de alcanzar este importante logro en mi vida académica.

Dedico esta tesis con todo mi cariño a mis padres, Maribel Bravo y Nelson Alvarado, cuyo amor, sacrificio y apoyo incondicional han sido mi mayor fuente de inspiración y motivación para seguir adelante.

A mi enamorada, Emily Robalino, por su compañía, paciencia y palabras de aliento que me han dado la fuerza necesaria para continuar en los momentos más difíciles. Su apoyo ha sido clave para que nunca desistiera.

Finalmente, me dedico a mí mismo, por cada obstáculo superado y cada lección aprendida, que han contribuido a mi crecimiento tanto personal como profesional.

Nelson Alvarado

Agradecimientos

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mis amigos Nelson, Milton, Miguel, David, Djalmar, Anthony, Medardo y Carlos, a quienes he ido conociendo a lo largo de mi vida universitaria. Su apoyo, motivación y amistad han hecho que esta etapa sea mucho más llevadera y enriquecedora. Agradezco profundamente los conocimientos compartidos, las reuniones de estudio antes de cada prueba y examen, y esos momentos de risas y bromas que han hecho que el camino sea más divertido. Este logro es tan mío como de ustedes, y espero que cada uno de ustedes alcance el éxito en esta etapa de sus vidas.

Cristopher Solis

Agradecimientos

Quisiera comenzar expresando mi más profundo agradecimiento a Dios, por ser la fuente de mi fortaleza y sabiduría. Sin Su ayuda, no hubiera sido posible alcanzar esta meta.

A mis padres, Maribel Bravo y Nelson Alvarado, les agradezco por su amor incondicional y su firme creencia en mí. Su sacrificio y aliento han sido el motor que me ha impulsado a seguir adelante, incluso en los momentos más difíciles.

A mi enamorada, Emily Robalino, le debo mi gratitud por ser una compañera excepcional. Su comprensión y apoyo han sido cruciales para mantenerme firme durante mi trayectoria universitaria.

Por último, me reconozco a mí mismo por haber mantenido una actitud positiva ante los obstáculos y por haber enfrentado cada reto con una sonrisa. Las experiencias vividas han hecho de este viaje algo inolvidable y cada lección aprendida me ha permitido crecer y desarrollarme personal y profesionalmente.

Nelson Alvarado

Declaración Expresa

Nosotros Jean Cristopher Solis Roca y Nelson Gabriel Alvarado Bravo acordamos y reconocemos que:

La titularidad de los derechos patrimoniales de autor (derechos de autor) del proyecto de graduación corresponderá al autor o autores, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor del autor o autores.

La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por mí/nosotros durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que nos corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de nuestra innovación, de ser el caso.

En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique los autores que existe una innovación potencialmente patentable sobre los resultados del proyecto de graduación, no se realizará publicación o divulgación alguna, sin la autorización expresa y previa de la ESPOL.

Guayaquil, 30 de septiembre del 2024.



Jean Cristopher Solis
Roca



Nelson Gabriel Alvarado
Bravo

EVALUADORES

Jorge Hurel, Ph.D.

Profesor de materia

Ronald Solis, Mag.

Tutor de proyecto

Resumen

El objetivo del proyecto es desarrollar un sistema descontaminación de productos alimenticios mediante la creación de un efecto de agitación controlada mediante frecuencias de ultrasonido. El sistema proporciona la capacidad de ajustar la frecuencia de alimentación a través de una interfaz gráfica para reducir la cantidad de microbios en su superficie. El diseño del PCB se realizó en EasyEda y se utilizó un microcontrolador para controlar los transductores. El modelo tiene algunas limitaciones físicas, principalmente relacionadas con el tamaño del recipiente en el que se coloca el alimento, ya que debe cumplir con ciertas medidas para asegurar una correcta cavitación. Además, el rango de frecuencia que un transductor puede reproducir es otra limitación; porque algunos organismos no se ven afectados por las frecuencias producidas. Como resultado, gracias al uso de software Inventor, el proyecto demuestra flexibilidad y adaptabilidad, lo que permite futuros cambios y actualizaciones del sistema.

Palabras Clave: Descontaminación acústica, Alimentos, Frecuencias, Microorganismos.

Abstract

This project aims to develop a sterile treatment system for food submerged in liquids, utilizing acoustic frequencies generated by a speaker to induce controlled agitation. The system allows the user to adjust the frequency applied to the food via a graphical interface or a dial, in order to reduce the microorganisms, present on its surface. A PCB was designed in Proteus, and a microcontroller was implemented to manage the control of the speaker, warning lights, and the interface connected to a computer. The prototype presented some physical limitations, mainly related to the dimensions of the container where the food is placed, as it must meet specific measures to ensure proper agitation. Additionally, the range of frequencies that the speaker can emit was another limiting factor, as certain microorganisms are not affected by the frequencies generated. In conclusion, the project demonstrates scalability and adaptability, thanks to the use of free software Inventor, which facilitates future modifications and updates to the system.

Keywords: Acoustic Decontamination, Food, Frequencies, Microorganisms.

ÍNDICE GENERAL

<i>RESUMEN</i>	<i>I</i>
<i>ABSTRACT</i>	<i>II</i>
<i>ÍNDICE GENERAL</i>	<i>III</i>
<i>ABREVIATURAS</i>	<i>VI</i>
<i>SIMBOLOGÍA</i>	<i>VII</i>
<i>ÍNDICE DE FIGURAS</i>	<i>VIII</i>
<i>ÍNDICE DE TABLAS</i>	<i>IX</i>
<i>ÍNDICE DE PLANOS</i>	<i>X</i>
1. CAPÍTULO 1	1
1.1 INTRODUCCIÓN	2
1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	3
1.3 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	4
1.4 OBJETIVOS	4
1.4.1 <i>Objetivo general</i>	4
1.4.2 <i>Objetivos específicos</i>	5
1.5 MARCO TEÓRICO.....	5
1.5.1 <i>Internet de las cosas (IoT) en la industria Alimentaria</i>	5
1.5.2 <i>Ultrasonido en la Industria Alimentaria</i>	6
1.5.3 <i>Integración de tecnologías Emergentes en la Educación</i>	7
1.5.3 <i>Rango de frecuencias en cavitación</i>	7
1.5.4 <i>Agente de limpieza ideal</i>	8
1.5.5 <i>Cavitación y control de microorganismos en alimentos</i>	9
1.5.6 <i>Implementación del IoT en la conservación de alimentos</i>	10
2. CAPÍTULO 2	12
2.1 METODOLOGÍA	13
2.2 FORMULACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN.....	13
2.3 REQUERIMIENTOS DE DISEÑO	15
2.4 CRITERIOS DE SELECCIÓN DEL SISTEMA.....	16
2.5 SOLUCIÓN FINAL DEL SISTEMA.....	18
2.6 DIAGRAMA METODOLÓGICO	19
2.7 DISEÑO MECÁNICO.....	20

2.7.1 Selección de Material del Prototipo.....	20
2.7.2 Dimensiones del Equipo.....	21
2.8 DISEÑO ELECTRÓNICO	21
2.8.1 Selección del Microcontrolador ESP32.....	22
2.8.2 Selección de Transductor Piezoeléctrico.....	23
2.8.3 Selección del Módulo relay 2CH5VDC.....	24
2.8.3 Circuito Generador Placa de Potencia	25
2.9 DISEÑO INFORMÁTICO.....	26
2.9.1 Programación del Microcontrolador	27
2.10 CÁLCULOS REPRESENTATIVOS	29
2.10.1 Cálculo de la Potencia Acústica (Transductor de Ultrasonido).....	29
2.10.2 Cálculo de la Cavitación Acústica.....	29
2.10.3 Cálculo de la Energía Disipada durante el Proceso de Ultrasonido	30
2.10.4 Cálculo de la Reducción de Microorganismos en el Alimento	31
3. <i>CAPÍTULO 3</i>	32
3. RESULTADOS Y ANÁLISIS	33
3.1 DISEÑO MECÁNICO.....	33
3.2 DISEÑO ELÉCTRICO	37
3.3 DISEÑO INFORMÁTICO.....	39
3.8.2 Estilo Visual.....	40
3.8.3 Alerta Personalizada.....	42
3.8.3 Lógica y Funcionalidad	43
3.4 PRUEBAS REALIZADAS PARA LA VALIDACIÓN DEL PROTOTIPO.....	44
3.4.1 Preparación del Prototipo y del Entorno.....	44
3.4.2 Procedimiento del Tratamiento con Ultrasonido.....	44
3.4.3 Procedimiento de Limpieza Convencional	45
3.4.4 Monitoreo y Evaluación de Alimentos	45
3.5 Limitaciones del Prototipo	46
3.6 COSTOS	47
4. <i>CAPÍTULO 4</i>	48
4.1 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	49
4.1.1 Conclusiones	49
4.1.2 Recomendaciones.....	50
<i>REFERENCIAS</i>	51
<i>APÉNDICES</i>	54

APÉNDICE A 55
APÉNDICE B 56
APÉNDICE C 61

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
WI-FI	Wireless Fidelity (Fidelidad inalámbrica)
HTML	HyperText Markup Language
CSS	Cascading Style Sheets
PLA	Polylactic Acid
LED	Light Emitting Diode

SIMBOLOGÍA

A	Área
D	Diámetro
h	Altura
Min	Minutos
m	Metro
m ²	Metro cuadrado
m ³	Metro cúbico
s	Segundo
t	Tiempo
V	Velocidad
ρ	Densidad
f	Frecuencia

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 <i>Principio de cavitación para inactivación microbiana</i>	8
Figura 2.1 <i>Diseño de ultrasonido transductor de inmersión [21]</i>	14
Figura 2.2 <i>Diseño Ultrasonido con transductor de contacto [21]</i>	15
Figura 2.3 <i>Diagrama metodológico</i>	19
Figura 2.4 <i>Vista isométrica con las dimensiones base del equipo</i>	21
Figura 2.5 <i>Placa de desarrollo ESP32</i>	22
Figura 2.6 <i>Transductor piezoeléctrico</i>	23
Figura 2.7 <i>Módulo relay de 2 canales</i>	24
Figura 2.8 <i>Esquema eléctrico/electrónico de las conexiones del sistema</i>	26
Figura 2.9 <i>Diagrama de flujo del funcionamiento del sistema</i>	28
Figura 3.1 <i>Diseño del Equipo en vista isométrica y sus cortes</i>	33
Figura 3.2 <i>Vista isométrica trasera de los cortes de la base del sistema</i>	34
Figura 3.3 <i>Vista isométrica de la tapa del sistema</i>	34
Figura 3.4 <i>Vista isométrica de los cortes de la bandeja del Equipo</i>	35
Figura 3.5 <i>Vista isométrica de la tapa trasera deslizante del equipo</i>	35
Figura 3.6 <i>Vista isométrica del perno</i>	36
Figura 3.7 <i>Vista isométrica de la tuerca</i>	36
Figura 3.8 <i>Prototipo impreso 3D e integración de componentes</i>	37
Figura 3.9 <i>Módulo relay de 2 canales implementado</i>	37
Figura 3.10 <i>Interfaz del aplicativo Web</i>	41
Figura 3.11 <i>Interfaz del aplicativo móvil</i>	41
Figura 3.12 <i>Notificación de error</i>	42
Figura 3.13 <i>Notificación de advertencia</i>	42
Figura 3.14 <i>Notificación de éxito</i>	43
Figura 3.15 <i>Descomposición de 1 a 3 días de un mango con tratamiento</i>	45
Figura 3.16 <i>Descomposición de 1 a 3 días de un mango sin tratamiento</i>	45

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 <i>Requerimientos de diseño</i>	15
Tabla 2.2 <i>Ponderación de criterios de solución</i>	18
Tabla 2.3 <i>Matriz de decisión</i>	18
Tabla 2.4 <i>Propiedades mecánicas del pla</i>	20
Tabla 2.5 <i>Información relevante de la placa esp32</i>	22
Tabla 2.6 <i>Especificaciones Técnicas de los Transductores piezoeléctricos</i>	23
Tabla 2.7 <i>Especificación técnica del módulo</i>	24
Tabla 2.8 <i>Elementos utilizados en la placa</i>	25
Tabla 2.9 <i>Plataformas y tecnologías utilizadas en el diseño informático del proyecto</i>	26
Tabla 3.1 <i>Tabla de costos del proyecto</i>	47

ÍNDICE DE PLANOS

PLANO 1 <i>Diagrama de conexiones para el sistema electrónico</i>	55
PLANO 2 <i>Plano de la base del prototipo</i>	56
PLANO 3 <i>Plano de la bandeja del prototipo</i>	57
PLANO 4 <i>Plano del sello de atrás del prototipo</i>	58
PLANO 5 <i>Plano de la tapa del prototipo</i>	59
PLANO 6 <i>Plano del ensamble del prototipo</i>	60

CAPÍTULO 1

1.1 Introducción

Se ha iniciado la búsqueda de nuevas tecnologías no invasivas para conservar los alimentos, como los ultrasonidos, otro método que utiliza bajas frecuencias entre 20 kHz y 100 kHz, donde es fundamental la cavitación, que produce burbujas. Agua u otros líquidos que destruyen los microorganismos, eliminando las bacterias directamente de las superficies sin exposición al calor ni a productos químicos [1].

Con el aumento de las enfermedades transmitidas por los alimentos en los últimos años, es necesario implementar medidas eficaces para eliminarlas y preferiblemente prevenirlas. Esto es causado principalmente por bacterias como *E. coli* y *Salmonella*. Y, en los alimentos, *Listeria monocytogenes* [2].

Esta situación supone una grave amenaza para la salud pública y la seguridad alimentaria. Se ha investigado el ultrasonido como método de inactivación microbiana a través de mecanismos que incluyen el adelgazamiento de las membranas celulares, el calentamiento local durante la cavitación y la generación de radicales libres ultrasónicos. Estos efectos lo convierten en una buena solución para conservar productos frescos y procesados, porque se eliminan los microorganismos sin alterar la calidad del alimento [3].

No obstante, uno de los problemas más complejos es el ajuste de la frecuencia del ultrasonido, dado que cada alimento responde de manera diferente a las frecuencias en el rango ya mencionado; es esencial ajustar los parámetros de manera precisa para garantizar una mejor descontaminación sin que se vea afectada la estructura del alimento [1].

El diseño del prototipo tiene como finalidad garantizar la durabilidad de los alimentos, al mismo tiempo que aplica tecnología IoT para el control de la frecuencia y el ajuste de las ondas ultrasónicas. La tecnología ultrasónica se puede aplicar a productos como frutas y verduras, así como a productos envasados, destinados a aumentar su vida útil. Esta forma tecnológica no solo

se alinea con los enfoques actuales de sostenibilidad alimentaria, sino que también representa una oportunidad para disminuir el desperdicio de alimentos a nivel industrial o doméstico.

1.2 Descripción del Problema

La industria alimentaria en Ecuador es una de las más grandes en toda Sudamérica, abarca desde la producción y procesamiento de alimentos, la cual representa el 48.2% de los ingresos del país. Sin embargo, enfrenta desafíos en cuanto a sostenibilidad, desperdicio de alimentos y el aumento de la demanda de productos frescos y procesados con una vida útil más prolongada [2].

No obstante, optar por nuevas tecnologías para mejorar los procesos de conservación de alimentos, sin aumentar los costos y conservando los mismos resultados que los métodos tradicionales como la refrigeración o congelación, presenta limitaciones en sostenibilidad energética y efectividad a largo plazo [3], [4] . Esto nos impulsa a explorar nuevas alternativas como el ultrasonido que están siendo investigadas o ya aplicadas en la industria [1].

A pesar de que el ultrasonido ha demostrado ser una tecnología emergente en la conservación de alimentos, su aplicación a nivel académico en Ecuador sigue siendo limitada. Las universidades del país no disponen, en su mayoría, de equipos que permitan a los estudiantes explorar estas técnicas innovadoras en un entorno controlado. Esto se debe a la limitada integración de tecnologías avanzadas en programas académicos. Aunque existen esfuerzos en varias instituciones, como la Escuela Politécnica nacional (EPN), por fomentar la investigación en áreas como biotecnología y procesos de conservación de alimentos mediante tecnologías innovadoras, esta brecha entre la educación y las necesidades de la industria alimentaria dificulta que los futuros profesionales puedan familiarizarse con soluciones avanzadas antes de ingresar al mundo laboral, lo que disminuye su capacidad para aplicar soluciones modernas en la industria [5].

1.3 Justificación del problema

El objetivo que se tiene con este proyecto es proveer a los estudiantes de ingeniería en alimentos de ESPOL herramientas que simulen el uso de tecnologías emergentes como el ultrasonido es fundamental para cerrar aún más la brecha entre la academia y la industria. Se busca realizar un equipo de ultrasonido, diseñado específicamente con fines educativos, que permitirá a los estudiantes experimentar de primera mano los efectos y aplicaciones de esta tecnología en la conservación de alimentos. Ya que el ultrasonido, al ser una técnica no invasiva y más sostenible en comparación con métodos tradicionales, puede mejorar significativamente los procesos de conservación [6].

Además, introducir estas tecnologías en los planes de estudio no solo prepara mejor a los estudiantes para el mercado laboral, sino que también impulsa la investigación y el desarrollo en áreas clave para la industria alimentaria para futuras publicaciones de artículos científicos a nombre de ESPOL que usen este método lo que contribuirá a la sostenibilidad y a cumplir uno de los objetivos de desarrollo que promueve la universidad que sería el garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles.

1.4 Objetivos

A continuación, se listarán los objetivos generales y específicos relacionados con el proyecto.

1.4.1 Objetivo general

Desarrollar un sistema de ultrasonido para la preservación de alimentos que cumpla con los estándares de calidad y seguridad alimentaria, optimizando la vida útil de los productos y contribuyendo a la reducción del desperdicio de alimentos.

1.4.2 Objetivos específicos

1. Diseñar un modelo 3D de un equipo de ultrasonido, con el fin de validar su diseño y funcionalidad mediante impresión 3D, y asegurar la integración efectiva de todos sus componentes.
2. Diseñar un circuito electrónico que permitirá generar y controlar las frecuencias ultrasónicas entre 20 kHz y 40 kHz, para garantizar que el equipo funcione de manera estable y segura durante todo el proceso.
3. Crear una plataforma de software que permita ajustar la frecuencia en tiempo real asegurando la transmisión de datos precisa.

1.5 Marco teórico

En los últimos años, el ultrasonido se ha convertido en una tecnología importante para la conservación de alimentos debido a su naturaleza no invasiva. Ha crecido la capacidad de mejorar la calidad y la seguridad de los alimentos sin el uso de productos químicos agresivos o métodos de calentamiento. El método se basa en la generación de ondas sonoras con frecuencias superiores a 20 kHz, utilizadas para inducir fenómenos como la cavitación en medios líquidos, que pueden ser utilizados para eliminar microorganismos sin alterar las propiedades del material. -Producción de productos.[7].

1.5.1 Internet de las cosas (IoT) en la industria Alimentaria

El Internet de las Cosas (IoT) ha transformado industrias, incluida la alimentaria, al mejorar las operaciones y permitir el control remoto a través de la conectividad entre dispositivos. Internet de las cosas es una colección de dispositivos conectados que recopilan y comparten información en tiempo real, lo que ayuda a monitorear y controlar las operaciones. En el caso de las aplicaciones de almacenamiento de alimentos por ultrasonidos, la integración de la placa de desarrollo ESP32

permite un sistema IoT donde la configuración del dispositivo, como la frecuencia ultrasónica, se puede monitorear y cambiar a través de Internet o un teléfono móvil.

Universidades de Europa y América Latina han desarrollado miles de proyectos utilizando IoT en sistemas de almacenamiento de alimentos y otras áreas, demostrando su potencial para mejorar procesos y reducir el desperdicio de alimentos [8]. La implementación de IoT en la industria alimentaria ha demostrado ser muy efectiva, optimizando las decisiones mediante el seguimiento en tiempo real de los procesos productivos y la flexibilidad en la producción, adaptándose a las necesidades del mercado. y mejorar las cosas [9].

1.5.2 Ultrasonido en la Industria Alimentaria

La tecnología moderna de ultrasonidos se ha explorado en la industria alimentaria durante muchos años, especialmente en el control de calidad, para inactivar microorganismos y enzimas. Se ha demostrado que es útil en la evaluación de la estructura y composición de los alimentos y en el desarrollo de técnicas analíticas no invasivas para determinar el nivel de agregación de glóbulos de grasa en la leche, entre otras aplicaciones [8]. Además, el ultrasonido, que puede alterar las paredes y membranas celulares, se considera una tecnología prometedora para inactivar microorganismos a temperaturas de procesamiento inferiores a las que prevalecen durante la esterilización, además de complementar otras tecnologías como la extracción, la alta presión y la pasteurización [10], [11].

Además, el ultrasonido puede mezclarse con otras tecnologías, como el tratamiento térmico, lo que aumenta la eficiencia de la inactivación a temperaturas más bajas, lo que garantiza la conservación de propiedades organolépticas de productos alimenticios [12]. Este enfoque se vuelve más popular debido a una mayor preferencia por tecnologías sostenibles en la industria alimentaria y la reducción del uso de aditivos, energía, o capacidad energética.

1.5.3 Integración de tecnologías Emergentes en la Educación

El uso de nuevas tecnologías en la educación ayudará a cerrar la brecha entre la teoría y la práctica y seguirá aumentando a nivel mundial. Estas tecnologías permiten a los estudiantes hacer frente a los desafíos del siglo XXI, donde la innovación y la digitalización se han vuelto indispensables. Las nuevas tecnologías como los ultrasonidos y el Internet de las cosas en el sector de la ingeniería alimentaria ayudarán a mejorar los conocimientos y habilidades de los estudiantes creando un mejor entorno de aprendizaje.

Un estudio de 2018 sobre la integración de IoT y otras nuevas tecnologías en la educación aeronáutica en universidades de China y Europa encontró que, al utilizar estas tecnologías, los estudiantes no solo obtuvieron una mejor comprensión de sus materias, sino que también pudieron aportar ideas y soluciones innovadoras. industria.[13].

En universidades como la ESPOL, el uso de equipos de ultrasonido con fines educativos proporciona un ambiente excelente para que los estudiantes adquieran experiencia en habilidades que rara vez se encuentran en el campo. Esto no sólo mejora sus habilidades, sino que también los prepara para lugares de trabajo que requieren conocimientos de vanguardia y nuevas tecnologías. [14].

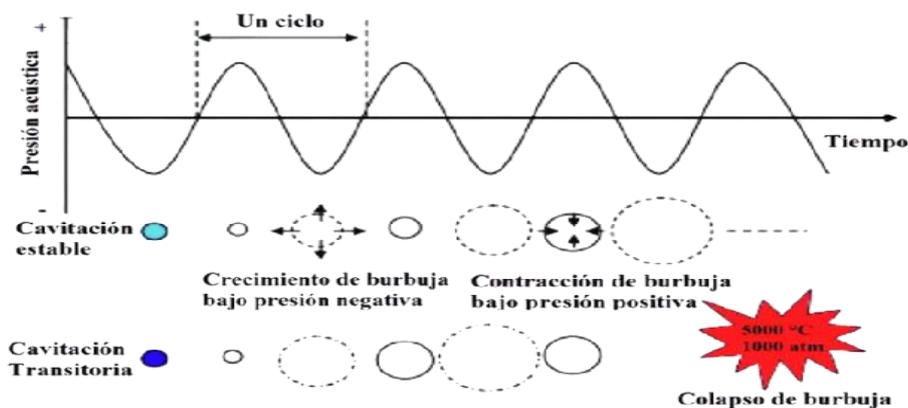
1.5.3 Rango de frecuencias en cavitación

Elegir el número de frecuencias a utilizar fue una parte importante del proyecto porque con esta información pudimos investigar y comprar el equipo necesario para recolectarlas, y diferentes frecuencias tienen diferentes efectos en los alimentos. Las frecuencias entre 20 kHz y 40 kHz se consideran más eficaces en caso de intoxicación alimentaria. A frecuencias más altas (20 kHz), la cavitación se vuelve más intensa, lo que puede provocar la eliminación de más microorganismos, pero puede dañar la superficie de los alimentos. Por otro lado, las frecuencias altas (30–40 kHz)

generan pequeñas burbujas con baja energía de impacto que son agresivas para los alimentos, preservando así su efecto sobre los mismos [8].

Figura 1.1

Principio de cavitación para inactivación microbiana



1.5.4 Agente de limpieza ideal

La elección del agua en el proceso ultrasónico es muy importante para maximizar la vida útil de los productos alimenticios, porque no solo importa la frecuencia de las ondas ultrasónicas, sino también la composición y densidad del agua y las propiedades deseadas. El agua es la opción más popular debido a su disponibilidad, bajo costo y bajo coste. A veces se añaden productos químicos, como desinfectantes o detergentes de alto rendimiento, para garantizar una limpieza eficaz sin comprometer el valor nutricional de los alimentos [15].

Una opción simple pero eficaz consiste en emplear una solución ácida, como la solución salina, que resulta vital para conservar la frecuencia que el sensor emite. Adicionalmente, la sal es un compuesto químico que purifica las moléculas de agua, eliminando de esta manera aún más las partículas de alimentos.

No obstante, es importante considerar que los líquidos de gran espesor o viscosidad, tales como los aceites, no son apropiados para la difusión, dado que obstaculizan la difusión y, en consecuencia, disminuyen el efecto de cavitación. Por esta razón, es crucial elegir agua de alta

calidad y adaptarla a los requerimientos del proceso para garantizar un secado adecuado y preservación de los alimentos [15].

1.5.5 Cavitación y control de microorganismos en alimentos

La cavitación creada por ondas ultrasónicas provoca la formación de burbujas en un líquido, generando ondas de choque. Este fenómeno crea condiciones extremas de temperatura y presión que afectan significativamente a los microorganismos en la superficie de los alimentos.

Cuando se aplica ultrasonido, microorganismos como bacterias y hongos se exponen a este colapso de burbujas, lo que puede llevar a la destrucción de sus membranas celulares y, en consecuencia, a su inactivación [16]. Entre los microorganismos más sensibles por el ultrasonido son:

- **Escherichia coli y Listeria monocytogenes:** Presentes en alimentos frescos, como son productos lácteos y cárnicos, pueden ser desactivadas mediante ultrasonido, dado que este método afecta sus membranas celulares, disminuyendo su proliferación y mejorando la seguridad alimentaria.
- **Aspergillus y Penicillium:** Común en frutas y verduras, son susceptibles al ultrasonido en el cual rompe sus paredes celulares, inactivándolas y previniendo su deterioro causado por mohos.
- **Saccharomyces cerevisiae:** Habitual en alimentos procesados, donde se puede generar fermentaciones no deseada y la cavitación ultrasónica puede desestabilizar su estructura celular, evitando fermentaciones no deseadas.

La eficacia de este proceso de desinfección depende de factores como la frecuencia e intensidad del ultrasonido, el tiempo de exposición y las propiedades del líquido utilizado. Además, la cavitación es efectiva en la eliminación de biofilms, que son comunidades de

microorganismos adheridos a superficies y que son más resistentes a tratamientos antimicrobianos [17].

1.5.6 Implementación del IoT en la conservación de alimentos

Las plataformas asociadas a IoT son infraestructuras de software que facilitan la conexión, monitoreo y gestión de dispositivos inteligentes. Estas plataformas permiten recopilar, analizar y procesar los datos generados por sensores o dispositivos conectados, lo que resulta importante para aplicaciones como la conservación de alimentos mediante ultrasonido. Tecnologías como Firebase y Amazon Web Services (AWS) se han destacado por facilitar bases de datos relacionales, conectividad rápida y visualización de datos en tiempo real, permitiendo el monitoreo eficiente en procesos industriales. En este contexto alimentario, estas herramientas han demostrado ser eficaces para reducir el desperdicio de alimentos mediante la supervisión precisa de condiciones ambientales y de procesamiento [18], [19].

En este proyecto, se optó por un sistema de IoT que permite la independencia basada en ESP32, que actúa como un punto de acceso (Access Point). Esta configuración permite gestionar el dispositivo a través de una red WiFi local sin conectividad externa. Este enfoque implica los bajos costos y aumenta la confiabilidad del sistema en entornos de conectividad limitada con interfaces web o móvil.

Por otra parte, los sistemas IoT de bajo costo, se han implementado en sectores como el monitoreo de alimentos frescos y procesados. Estos sistemas incluyen sensores para medir parámetros relevantes como (pH, humedad, temperatura) que pueden integrarse con sistemas de ultrasonido para preservar la calidad y prolongar la vida útil de los alimentos [19].

Además, revisiones recientes sobre IoT y big data en la industria alimentaria resaltan como estas tecnologías pueden transformar cadenas de suministros tradicionales en sistemas inteligentes. Esto es útil para abordar las ineficiencias y pérdidas en etapas clave como el almacenamiento y

distribución [18]. En este presente proyecto buscamos no solo optimizar el rendimiento del dispositivo, sino también preservar la calidad del producto.

CAPÍTULO 2

2.1 Metodología

En este capítulo se explica los pasos y enfoques adoptados en el desarrollo de un sistema de ultrasonido destinado a la conservación de alimentos. Este sistema fue diseñado para reducir la carga microbiana de los productos sin comprometer su calidad estructural y nutricional. Para cumplir con el objetivo, se exploraron diferentes alternativas técnicas y se seleccionó la más adecuada mediante un proceso de análisis y comparación de criterios. A continuación, se describen en detalle los procedimientos llevados a cabo, los fundamentos técnicos del diseño, y las especificaciones de los elementos y normativas involucradas.

2.2 Formulación de las Alternativas de Solución

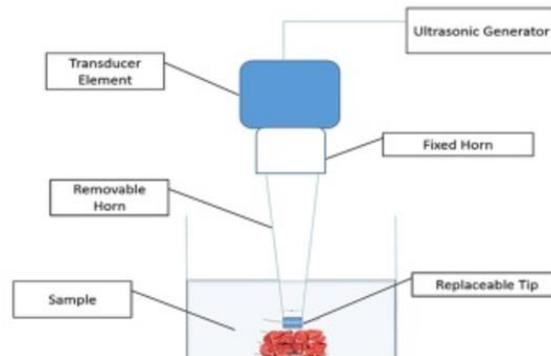
Se evaluaron 3 alternativas asociadas para la implementación de un sistema de conservación de alimentos basado en ultrasonido.

Alternativa 1:

Diseño del equipo de ultrasonido con transductores de inmersión ajustables, los cuales ofrecen flexibilidad en la frecuencia y permiten la inmersión de los alimentos en un medio líquido para facilitar la transmisión de ondas ultrasónicas. Esto con ayuda de una placa de desarrollo ESP32, nos permitirá realizar un sistema de monitorización de los dispositivos electrónicos hacia el aplicativo móvil [20].

Figura 2.1

Diseño de ultrasonido transductor de inmersión [21]



Alternativa 2:

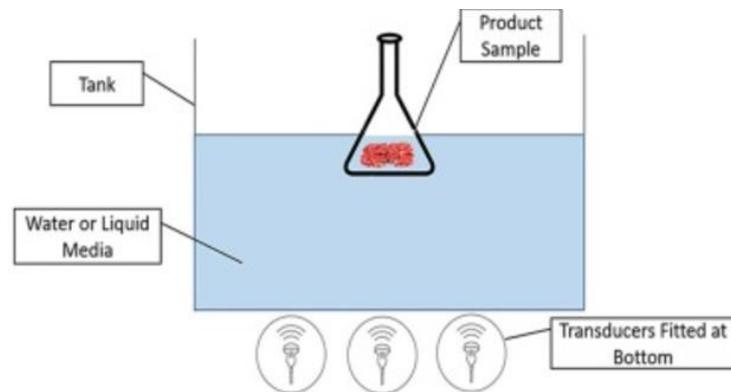
El diseño de ultrasonido con la integración de parlantes ultrasónicos de alta frecuencia, diseñados específicamente para la generación de ondas de cavitación que desinfectan la superficie de los alimentos sin sumergirlos en líquido. Esta alternativa presenta limitaciones significativas que la hacen menos adecuada para el objetivo del proyecto. Aunque estos parlantes pueden cubrir un rango de frecuencias ultrasónicas, están diseñados para producir sonido en aplicaciones donde la precisión y la intensidad de una onda ultrasónica no son críticas [22].

Alternativa 3:

El diseño de ultrasonido con un transductor ultrasónico de contacto como se muestra en la Figura 2.2, los cuales se tendrán que tener en consideración la resistencia del material del equipo por las vibraciones que serán producidas por la cavitación, esto nos ofrece un mejor choque de micro burbujas producidas por el ultrasonido que harán contacto con el alimento en un medio líquido para facilitar la transmisión de ondas ultrasónicas, A su vez de integrar una placa de desarrollo ESP32 para la interconexión IoT permitiéndonos una comunicación rápida y eficiente con el dispositivo hacia el aplicativo móvil [20].

Figura 2.2

Diseño Ultrasonido con transductor de contacto [21]



2.3 Requerimientos de Diseño

Luego de analizar cada alternativa, se seleccionó el sistema de transductores por contacto ajustables como la opción óptima. Esta elección se fundamentó en la capacidad de esta tecnología para generar cavitación en medios líquidos, lo cual facilita la descontaminación de alimentos de manera eficiente y uniforme. La literatura científica respalda la eficacia de los transductores de inmersión para inducir cavitación controlada, permitiendo ajustar la frecuencia y potencia de las ondas para diferentes tipos de alimentos [23]. Además, esta alternativa ofrecía mayor flexibilidad en términos de configuración y permitía cumplir con los objetivos del proyecto en cuanto a durabilidad y seguridad alimentaria.

Se presentan los diseños generales establecidos por el cliente que se observan en la Tabla 2.1, los cuales rigen sobre la solución base del proyecto.

Tabla 2.1

Requerimientos de diseño

Requerimientos de diseño	Descripción
Mecánicos	Lque mantendrá el dispositivo ultrasónico será impresa en 3D, de un material resistente

	que sea capaz de soportar las vibraciones y permita integrar todos los elementos en el equipo.
Electrónicos	Elección y protección de los componentes y elementos electrónicos según las especificaciones del trabajo requerido, además integrar una placa de desarrollo capaz de permitirnos conectividad sobre el equipo.
Informáticos	Interfaz móvil que permita visualizar e interactuar con el aplicativo y ajustar los parámetros de frecuencias.

2.4 Criterios de Selección del Sistema

A continuación, se describe los criterios de diseños establecidos para evaluar la mejor alternativa:

- **Diseño del Equipo:** En este criterio se describe el equipo como un sistema compacto y eficiente que permitiera la conservación de alimentos mediante ultrasonido. Se priorizó una disposición óptima de los componentes, garantizando la compatibilidad y durabilidad del equipo. Además, se destacó la importancia de seleccionar elementos que permitan controlar las frecuencia y potencia, asegurando la capacidad de ajustar los parámetros de operación del transductor, con la finalidad de garantizar que los alimentos sometidos al ultrasonido mantengan su calidad durante el tratamiento.

- **Interfaz de control:** En este criterio se considera la interacción del sistema IoT del equipo con el aplicativo diseñada para proporcionar una interacción intuitiva y eficiente. La interfaz fue concebida para ser amigable y fácil de usar, permitiendo a los usuarios monitorear y ajustar parámetros operativos del equipo en tiempo real. Esta característica asegura que el equipo este alineado con las tendencias tecnológicas actuales, facilitando su adaptación en entornos industriales o académicos.
- **Software:** La elección del software de programación debe garantizar una configuración sencilla y flexible del sistema. Este software deber ser compatible con el hardware seleccionado de una placa de desarrollo ESP32, capaz de proporcionar herramientas modernas que faciliten actualizaciones futuras, Además, el sistema implementa un servidor local como punto de acceso (Access Point) para garantizar una gestión confiable y autónoma, permitiendo una interacción directa con la interfaz del equipo a través de una red Wifi local. Este enfoque elimina la dependencia de plataformas externas, como Firebase, y asegura un rendimiento fiable en entornos de conectividad limitada.
- **Costo de fabricación:** Este criterio está relacionado a todos los costos asociados a la creación del diseño, deberá ser accesibles sin comprometer la funcionalidad del proyecto. Además, se deben considerar los costos de mantenimiento y actualizaciones del equipo, asegurando que el sistema sea sostenible y funcional a largo plazo.

Se presenta en la Tabla 2.2 la ponderación de los criterios definidos para evaluar las alternativas de solución. En esta tabla se evidencia el orden de prioridades, destacando el criterio con mayor y menor peso de importancia, debido a que su enfoque es en un ambiente educativo.

Tabla 2.2*Ponderación de criterios de solución*

Criterio	Prioridad	Peso Relativo	Porcentaje (%)
Diseño del equipo	1	4	40
Interfaz de control	2	2.5	25
Software	3	2.5	25
Costo de fabricación	4	1	10

2.5 Solución final del Sistema

Después de realizar la matriz de decisión, que evalúa los criterios de diseños con relación a las alternativas planteadas, se concluye en la solución más viable presentada en la Tabla 2.3 correspondiente a la alternativa 3.

Tabla 2.3*Matriz de decisión*

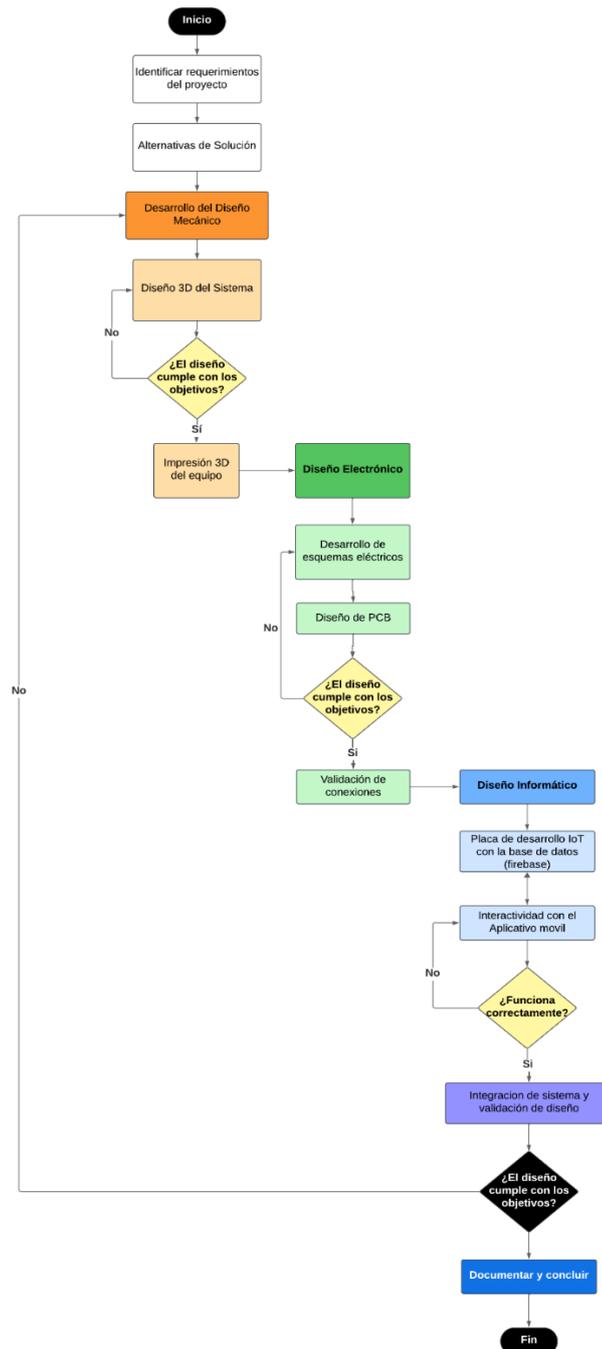
Alternativas	Diseño del equipo	Interfaz de control	Software	Costo de fabricación	Peso (%)
Alternativa 1	8	10	10	8	36
Alternativa 2	10	7	3	2	22
Alternativa 3	12	15	10	5	42

2.6 Diagrama Metodológico

La metodología de diseño se desarrolló en varias fases para asegurar un proceso sistemático y controlado. Las etapas principales incluyeron la investigación preliminar, la especificación de requerimientos y el diseño del prototipo.

Figura 2.3

Diagrama metodológico



2.7 Diseño Mecánico

El diseño mecánico del proyecto se enfocó en la construcción del equipo, definiendo sus dimensiones y seleccionando el material adecuado. Para aquello, se consideraron aspectos clave como la protección de los componentes internos, la durabilidad del sistema, además de su facilidad de uso, garantizando así un funcionamiento eficiente y seguro.

2.7.1 Selección de Material del Prototipo

Se selecciono el plástico pla como material de elaboración de la carcasa del equipo. Esta elección es considerada por sus resistencias y durabilidad que tiene este tipo de plástico, obsérvese la siguiente información de la Tabla 2.4.

Tabla 2.4

Propiedades mecánicas del pla

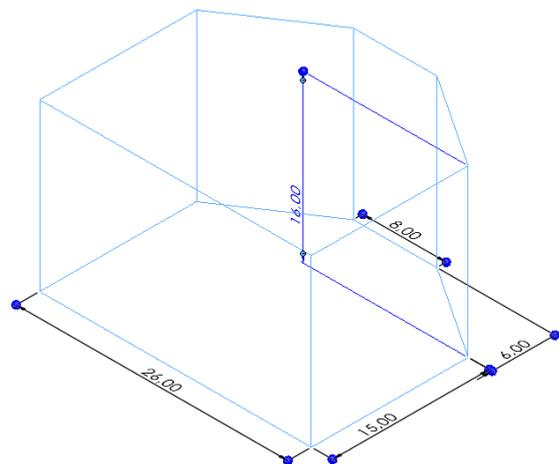
PLA				
Propiedades	Resistencia a la tracción	Módulo de elasticidad	Resistencia a la deformación térmica	Resistencia a la compresión
Valor asignado	50 MPa	3500 MPa	60 °C	80 MPa

2.7.2 Dimensiones del Equipo

Se selecciono un diseño simple para la carcasa, que consiste en un hexágono superior de 8cm de base y 6 cm de altura, dividido a la mitad y unido a un rectángulo inferior de, 26x15 cm. La altura total del equipo es de 16 cm, como se observa en la Figura 2.4. Estas dimensiones proporcionan suficiente espacio para todos los componentes internos, manteniendo un diseño compacto y evitando que el equipo sea demasiado pesado.

Figura 2.4

Vista isométrica con las dimensiones base del equipo



2.8 Diseño Electrónico

El diseño del sistema incluye ambos aspectos tanto eléctricos como electrónicos, garantizando una integración eficiente y funcional. Se han elegido componentes en base a las características, confiabilidad y optimización del presupuesto del proyecto, con la finalidad de garantizar un rendimiento óptimo y duradero en el sistema, manteniendo un equilibrio entre calidad y precio.

A continuación, se describen los componentes principales y su integración en el sistema:

2.8.1 Selección del Microcontrolador ESP32

Se escogió este microcontrolador de alto rendimiento, ideal para proyectos de Internet de las Cosas (IoT). Ofrece conectividad Wi-Fi y Bluetooth, lo que permite la comunicación con dispositivos móviles o interfaces gráficas a través de una red. En este caso, el ESP32 se usará para controlar y gestionar el sistema de ultrasonido, realizando la comunicación con la interfaz gráfica que permitirá monitorear y controlar el sistema en tiempo real.

Figura 2.5

Placa de desarrollo ESP32



Tabla 2.5

Información relevante de la placa esp32

Características	
Voltaje de operación	3.3 V o 5 V
Entradas y salidas	24 pines GPIO, compatibles con ADC, DAC, PWM y UART
Conectividad Inalámbrica	WiFi y Bluetooth
Rango de Temperatura	-40°C y 85°C

2.8.2 Selección de Transductor Piezoeléctrico

El transductor ultrasónico es el componente clave que genera los movimientos acústicos en el agua necesarios para el principio de cavitación para la conservación de alimentos. Se seleccionó un transductor de contacto en función a las características y operativas de rango de frecuencias de 28 a 40 KHz.

Tabla 2.6

Especificaciones Técnicas de los Transductores piezoeléctricos

Características		
Tipo	BJC-2860T-59HS (PZT-8)	BJC-4050T-45HS (PZT-4)
Frecuencia	28KHz	40KHz
Poder	60W	60W
Fuente de Alimentación	110 V ~ 120 V o 220 V~ 240 V AC	110 V ~ 120 V o 220 V~ 240 V AC

Figura 2.6

Transductor piezoeléctrico



Este transductor piezoeléctrico es diseñado específicamente para la emisión de ondas ultrasónicas en aplicaciones industriales. Este transductor crea cavitación dentro de líquido. Estos

modelos nos funcionan para la aplicación de nuestro proyecto debido su alta eficiencia en la transmisión de energía acústica a través del agua, lo cual es fundamental para el proceso de conservación de alimentos mediante ultrasonido.

2.8.3 Selección del Módulo relay 2CH5VDC

Este módulo se seleccionó debido a la capacidad para controlar los equipos de alta potencia de manera eficiente, actuando como un interruptor que permite gestionar en tiempo real el rango de ultrasonido. Ya que facilita la comunicación entre el microcontrolador y los dispositivos de mayor potencia, como el transductor ultrasónico.

Figura 2.7

Módulo relay de 2 canales

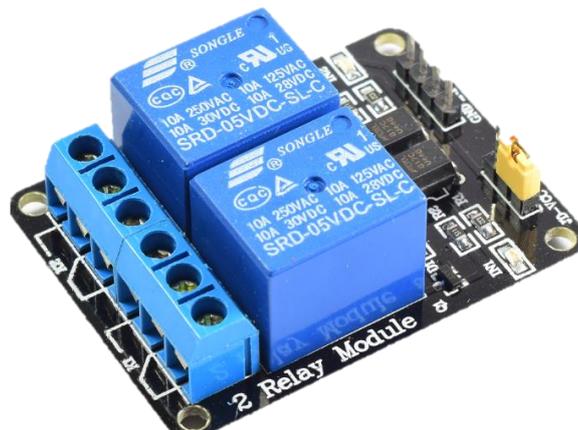


Tabla 2.7

Especificación técnica del módulo

Características	
Voltaje de operación	5V DC
Señales de control	3.3 V o 5 V
Modelo Relay	SRD-05VDC-SL-C
Activar salida	0V (lógica negativa)

Capacidad max	10A/250VAC, 10A/30VDC
---------------	-----------------------

2.8.3 Circuito Generador Placa de Potencia

Se diseño el circuito generador de potencia usando una configuración medio puente (Half Bridge), ideal para producir las frecuencias ultrasónicas de 40KHz y basádonos en el mismo principio las de 28KHz, que son necesarias para activar el transductor. Este diseño utiliza dos transistores NPN que operan en contrafase y se alimentan con una fuente de 110VAC ~ 120 VAC, que se convierten en 170 VDC mediante un rectificador. Dentro del circuito, se incorporan los componentes importantes que se observan en la Tabla 2.8.

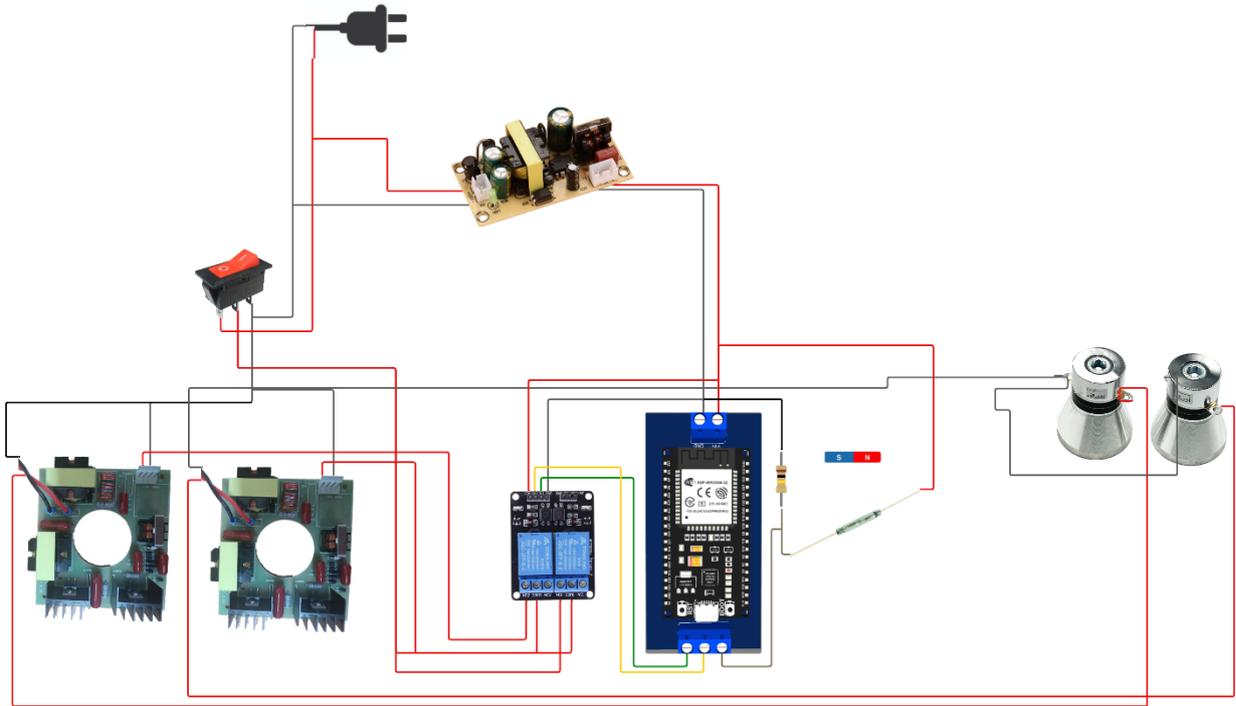
Tabla 2.8

Elementos utilizados en la placa

	Componentes
Transformador (T1)	Amplifica la señal y conecta la salida del transductor
Transistores (Q1, Q2)	Conmutan en contrafase para generar la señal de frecuencia
Diodos (1N4007)	Rectifican la alimentación de 120 AC a 170VDC
Condensadores (C1, C2)	Dividen el voltaje de alimentación y aseguran estabilidad
Resistencias (R1, R3)	Proporcionan polarización para las bases de los transistores
Retroalimentación (T2)	Permiten la conmutación alterna de los transistores para mantener el circuito oscilando

Figura 2.8

Esquema eléctrico/electrónico de las conexiones del sistema



2.9 Diseño Informático

El diseño del software para la interfaz y la comunicación IoT se desarrolló utilizando la plataforma de PlatformIO, ya que nos ofrece un entorno integro para el desarrollo del proyecto. En la etapa inicial, establecimos cómo debería funcionar y comunicarse el sistema, mediante la misma red Wifi local, lo que permite operar eficientemente sin necesidad de conexión a internet.

En este diseño se combinaron tecnologías de backend y frontend para asegurar el control y monitoreo, como se observa en la Tabla 2.9.

Tabla 2.9

Plataformas y tecnologías utilizadas en el diseño informático del proyecto

Figura	Descripción
--------	-------------



Para estructurar, diseñar y proporcionar interactividad en la interfaz de usuario.



Programar la lógica de control y comunicación del ESP32, asegurando la integración óptima entre el hardware y software, utilizando C++.



Entorno de desarrollo para la programación de la ESP32.



Almacenamiento de archivos estáticos en la ESP32.

2.9.1 Programación del Microcontrolador

En la programación de la ESP32, usando la plataforma de platformIO se definió la estructura del sistema de control que será el backend y frontend para realizar peticiones mediante acces point (punto de acceso) que elimina la necesidad de conexión a internet.

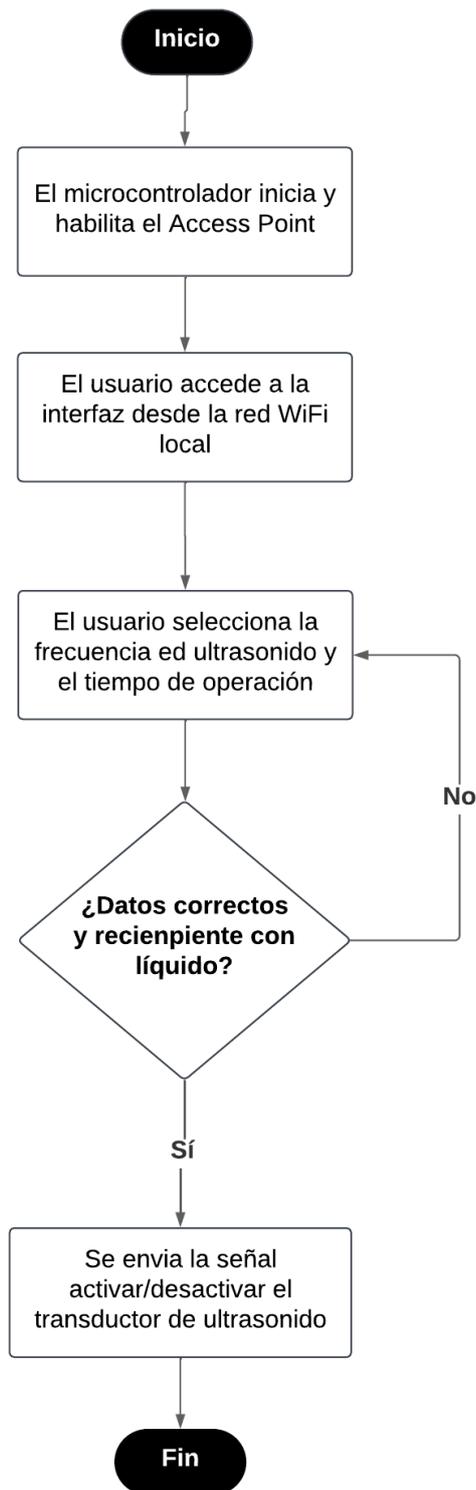
El backend, programado en C++, gestiona las peticiones enviadas desde la interfaz web, procesando los datos Json, y controla los pines responsables de activar y desactivar los relés respectivos del transductor ultrasónicos.

Por otro lado, el frontend, diseñado con Html, Css y Javascript ofrece una interfaz atractiva y de fácil uso para el usuario para ajustar los parámetros de frecuencia y los tiempos de operación de manera intuitiva.

En la Figura 2.8 se puede observar el diagrama de flujo que detalla el procedimiento general de funcionamiento del sistema.

Figura 2.9

Diagrama de flujo del funcionamiento del sistema



2.10 Cálculos Representativos

2.10.1 Cálculo de la Potencia Acústica (Transductor de Ultrasonido)

La potencia ultrasónica calculada se refiere a la cantidad de energía que puede producir el transductor de ultrasonido, lo que resulta crucial para provocar cavitación en el entorno. Se emplea la frecuencia de 20-40 kHz para asegurar una efectiva cavitación sin producir temperaturas elevadas que puedan perjudicar la calidad del alimento. La potencia también tiene un impacto en la habilidad del sistema de producir ondas sonoras con la energía necesaria para la desinfección y la mejora de la calidad del producto.

$$P = \frac{I \cdot A}{\eta}$$

(2.1)

I = Intensidad acústica $\left[\frac{W}{m^2} \right]$

A = Área del transductor $[m^2]$

η = Eficiencia del transductor

La potencia acústica calculada es clave para asegurar que el sistema de ultrasonido funcione de manera eficiente en la conservación de alimentos. Al utilizar una potencia adecuada, se asegura que las ondas ultrasónicas puedan penetrar el medio sin generar un calor excesivo que dañe las propiedades del alimento [23].

2.10.2 Cálculo de la Cavitación Acústica

$$I_{cav} = \frac{2 \cdot \sigma}{r_{m\acute{a}x}}$$

(2.2)

σ = Tensión superficial del líquido $\left[\frac{N}{m}\right]$

$r_{m\acute{a}x}$ = Radio máximo de burbuja de cavitación [m]

La cavitación es un procedimiento esencial para preservar alimentos a través del ultrasonido. La generación de cavitación mediante ondas de ultrasonido facilita la formación de burbujas microscópicas que, al derrumbarse, generan un enorme volumen de energía que aniquila microorganismos dañinos. La frecuencia de 20-40 kHz resulta particularmente eficaz para provocar cavitación sin producir temperaturas dañinas para los alimentos. Este procedimiento no solo incrementa la seguridad en los alimentos, sino que también ayuda a extender la durabilidad de los productos de consumo rápido. [24].

2.10.3 Cálculo de la Energía Disipada durante el Proceso de Ultrasonido

La energía disipada se refiere al volumen de energía que se convierte en efectos beneficiosos durante el tratamiento de ultrasonido. Con una frecuencia de 20-40 kHz, se garantiza un uso eficiente de la energía para provocar cavitación, mejorando así el procedimiento de preservación de alimentos. Es crucial un correcto control de la energía disipada para prevenir sobrecalentamientos y garantizar que los alimentos conserven sus características.

$$E = P \cdot t$$

(2.3)

P = Potencia acústica [W]

t = Tiempo de exposición [s]

Es esencial regular la energía disipada para asegurar que el tratamiento con ultrasonido no modifique de manera negativa las características del alimento, tales como su sabor, textura o valor

nutricional. La utilización de frecuencias que oscilan entre 20-40 kHz facilita una diseminación eficaz de la energía sin incrementar de manera excesiva la temperatura. Este procedimiento ayuda a preservar los alimentos y potenciar su calidad, además de disminuir el derroche. Así pues, una correcta gestión de la energía disipada garantiza que los alimentos permanezcan frescos y aptos para consumir. [25].

2.10.4 Cálculo de la Reducción de Microorganismos en el Alimento

La frecuencia de 20-40 kHz ejerce un efecto considerable en la eliminación de microorganismos, dado que promueve la cavitación sin producir temperaturas elevadas que puedan perjudicar el alimento. La disminución logarítmica de los microorganismos señala la eficacia del tratamiento. Este cálculo posibilita establecer la cantidad de microorganismos que se expulsan durante el tratamiento con ultrasonido, lo que resulta crucial para asegurar la seguridad de los alimentos.

$$\text{Reducción logarítmica} = k \cdot t$$

(2.4)

k = constante de inactivación $\left[\frac{1}{s}\right]$

t = Tiempo de exposición [s]

La inactivación de microorganismos es un indicador crucial para medir la efectividad de la terapia con ultrasonido. Los valores en términos logarítmicos señalan que los microorganismos han sido totalmente eliminados, asegurando que los alimentos procesados mediante ultrasonidos son aptos para consumir. Las frecuencias de 20-40 kHz resultan eficaces para producir la cavitación requerida para conseguir esta extracción sin provocar efectos térmicos negativos, preservando de esta manera la calidad de los alimentos y asegurando la seguridad alimentaria [26].

CAPÍTULO 3

3. Resultados y análisis

En esta sección se mostrará el avance obtenido en todos los campos involucrados del proyecto, el mecánico, eléctrico e informático. adjuntándolo con evidencias simuladas y reales del prototipo implementado para el cliente.

3.1 Diseño Mecánico

En este apartado se presenta el resultado final del equipo de ultrasonido, Obsérvese la Figura 3.1, 3.2, 3.3, 3.4, 3.5, 3.6 y 3.7 donde se muestran las partes y la integración del sistema.

Figura 3.1

Diseño del Equipo en vista isométrica y sus cortes

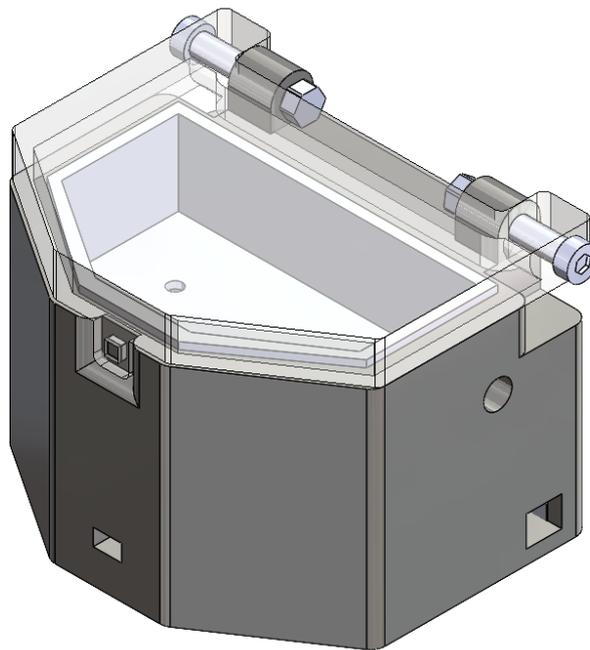
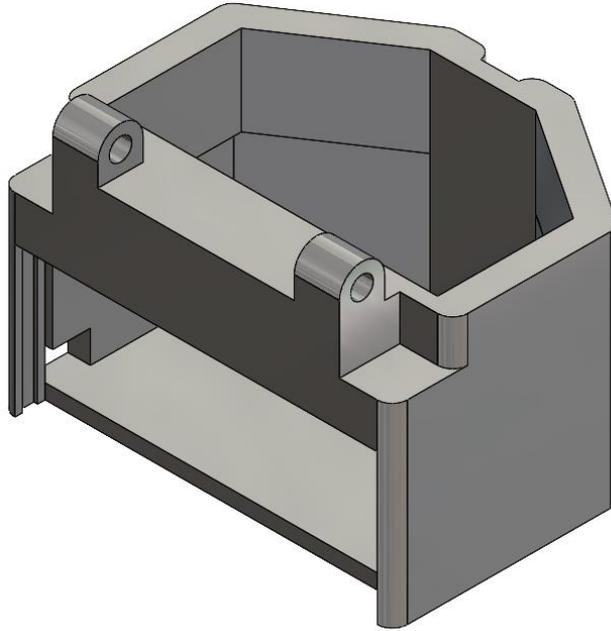


Figura 3.2

Vista isométrica trasera de los cortes de la base del sistema

**Figura 3.3**

Vista isométrica de la tapa del sistema

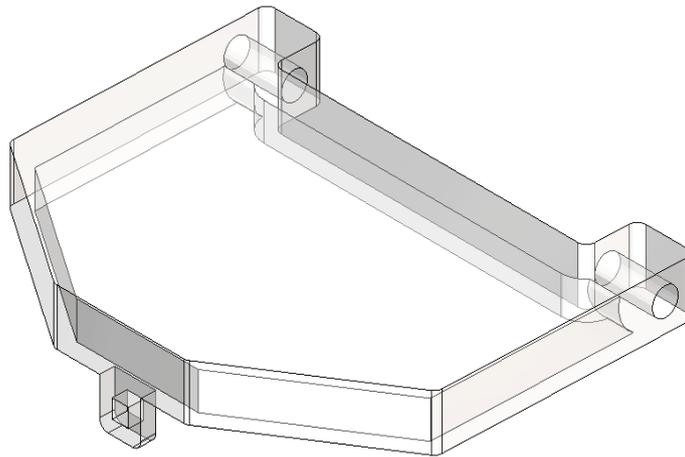
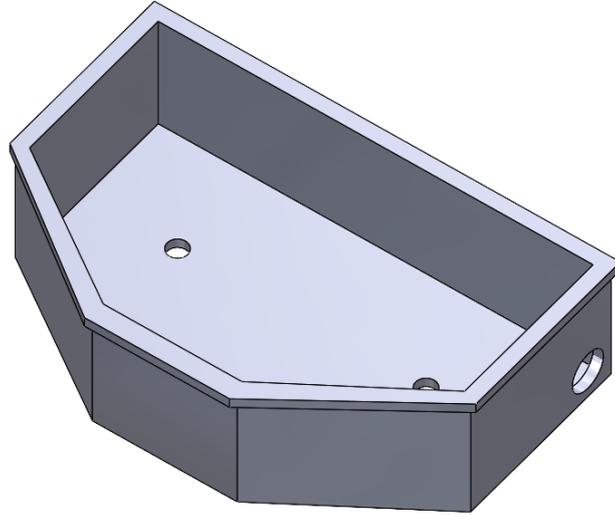


Figura 3.4

Vista isométrica de los cortes de la bandeja del Equipo

**Figura 3.5**

Vista isométrica de la tapa trasera deslizante del equipo

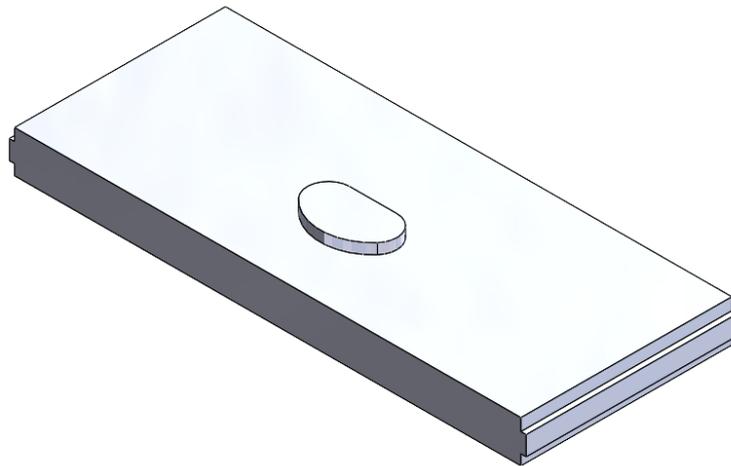


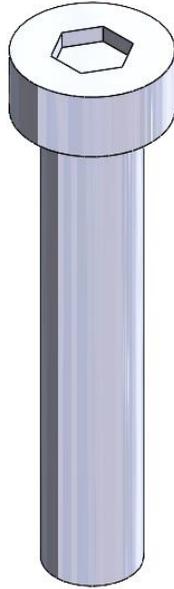
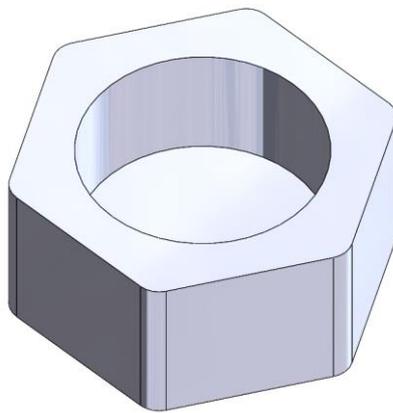
Figura 3.6*Vista isométrica del perno***Figura 3.7***Vista isométrica de la tuerca*

Figura 3.8

Prototipo impreso 3D e integración de componentes



3.2 Diseño Eléctrico

Se realizó el diseño de planos eléctricos en placas pcb, tanto para la alimentación del sistema como su control para el usuario desde una interfaz.

Figura 3.9

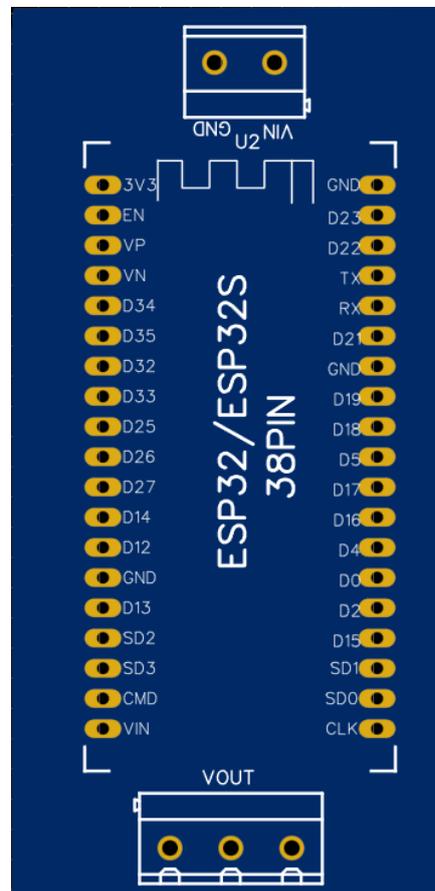
Módulo relay de 2 canales implementado



La placa releo nos sirvió para hacer los cambios entre los 2 transductores de 28 y 40 kHz. Para ello conectamos la alimentación de los transductores en las entradas de las borneras y a su vez en las entradas digitales de esta placa se conectó la esp 32. Mediante la interfaz creada de acuerdo con la fruta o alimento que se quiera estudiar se selecciona en el dispositivo inteligente que en este caso es una computadora y automáticamente se activa el transductor necesario para hacer la limpieza correcta y eficiente del alimento ingresado en el contenedor.

Figura 3.2.2

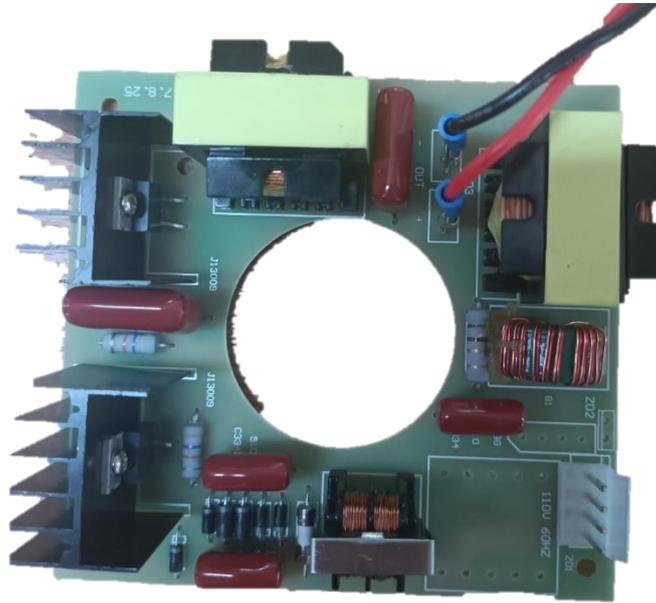
Placa PCB control ESP 32



La placa que hemos diseñado nos sirve para crear una red Wi-Fi con la esp 32, eliminando la necesidad de conectar a una computadora mediante cable al dispositivo. Solo es necesario alimentarla con 5VDC a través de los pines de alimentación, proveniente de una fuente conmutada de 5VDC.

Figura 3.2.3

Placa PCB alimentación de los transductores



La entrada de 110 VAC es rectificadada para convertirse en corriente continua (DC) de alta tensión, que alimenta un transformador de alta frecuencia. Este transformador, junto con los transistores de potencia MOSFETs y el controlador electrónico, ajusta el voltaje a un nivel más bajo y estable, adecuado para la salida de 60 W. Los componentes de filtrado, como inductores y condensadores, suavizan la señal para eliminar ruidos y picos de voltaje, asegurando que la salida de voltaje sea limpia y estable, adecuada para alimentar el transductor de 40 KHz.

3.3 Diseño Informático

El diseño de la interfaz gráfica del sistema fue desarrollado utilizando HTML y CSS, brindando una experiencia de usuario amigable y visualmente atractiva. En la Figura 3.8 y 3.9 se muestra la ventana principal del aplicativo web que permite monitorear y controlar el equipo de ultrasonido. Los componentes principales de esta interfaz son:

- 1. Control de Frecuencia (Slider):** El control de frecuencia se implementó mediante un deslizador (“slider-container”), como se puede apreciar la estructura en la Figura 3.10, que permite al usuario seleccionar un valor mapeado entre 0 y 10. Este rango se ajusta dinámicamente y la frecuencia seleccionada se actualiza en tiempo real gracias a la función `updateFrequency ()` del archivo JavaScript asociado, véase también en la Figura 3.14.
- 2. Configuración de Tiempo:** Un conjunto de campos de entrada numéricos (“input-container”) permitiendo al usuario establece el tiempo deseado de operación en minutos y segundos. Este diseño asegura una configuración precisa y fácil de usar.
- 3. Confirmación del estado del recipiente:** Se incluyó un checkbox que permita el usuario indicar si el recipiente del equipo está lleno con algún líquido, como medida de seguridad antes de iniciar la operación del ultrasonido.
- 4. Botones de Control:** como es “configurar”, que permite ajustar los parámetros seleccionados y activar los equipo. Para verificar si se ha activado, se utiliza el estilo CSS “on”, como se muestra en la Figura 3.11, la cual ilustra esta acción.
- 5. Estado y Tiempo Restante:** como se observa en las Figura 3.9, 3.10, se presentan etiquetas que indican el estado actual del dispositivo (Encendido/Apagado), además de mostrar el de manera dinámica el tiempo restante de operación en formato de min:seg, lo que facilita el monitoreo por parte del usuario.

3.8.2 Estilo Visual

El diseño visual de la interfaz fue elaborado utilizando CSS, con las siguientes características principales:

- **Fondo personalizado:** Se utilizó una imagen de fondo con sus respectivos ajustes para mantener los colores y texto legible.
- **Contenedor centralizado:** El diseño responsivo se aseguró mediante la propiedad `transform` de CSS, que posiciona el contenedor en el centro de la pantalla.

- **Estética del botón:** Los botones tienen efectos visuales de “hover”, lo que mejora la experiencia del usuario a interactuar con ellos.

Figura 3.10

Interfaz del aplicativo Web



Figura 3.11

Interfaz del aplicativo móvil



3.8.3 Alerta Personalizada

Se diseñó un sistema de alertas que utiliza clases como success, error y warning para mostrar diferentes tipos de notificaciones. Este elemento es crucial para enviar notificaciones de alertas sobre validaciones en el código, véase en la Figura 3.11, 3.12, 3.13.

Figura 3.12

Notificación de error



Figura 3.13

Notificación de advertencia



Figura 3.14*Notificación de éxito*

3.8.3 Lógica y Funcionalidad

El comportamiento dinámico de la aplicación se implementó utilizando JavaScript como lenguaje de programación para el frontend, mientras que el archivo main.cpp sirvió como backend. las funciones principales incluyen:

- **updateFrequency:** Actualiza el tiempo real el valor de la frecuencia seleccionada.
- **configureDevice:** Valida los datos de entrada y configura el dispositivo según los parámetros proporcionados.
- **apagadarDispositoManual:** Permite alternar entre encender y apagar el dispositivo, cambiando también el estado visual del botón.

El sistema realiza validaciones claves, como verificar los parámetros seleccionados sean correctos, límite de tiempo de activación, y verificar que el recipiente del equipo contenga liquido antes de permitir su encendido. Además, garantiza que se hayan ingresado valores válidos para la frecuencia y el tiempo antes de proceder.

3.4 Pruebas Realizadas para la Validación del Prototipo

Para esta prueba se usaron 2 manzanas de características extremadamente similares y se sometieron a 2 pruebas diferentes. Y se las mantuvo en el mismo entorno con las mismas condiciones para evitar variables que no podamos controlar.

3.4.1 Preparación del Prototipo y del Entorno

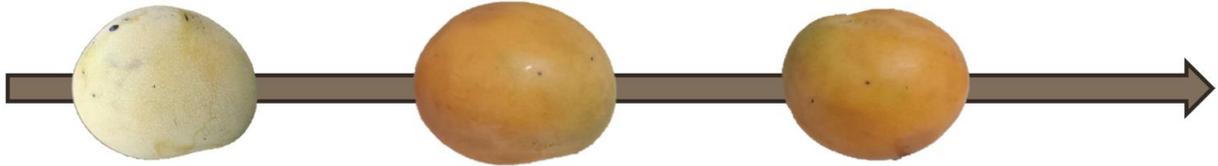
Para llevar a cabo el experimento, se utilizó un prototipo compuesto por un contenedor impreso en 3D con material PLA equipado con dos transductores piezoeléctricos adheridos en la base. Este dispositivo está diseñado para operar a frecuencias fijas de 28 kHz y 40 kHz, las cuales pueden seleccionarse mediante un software desarrollado específicamente para este propósito. Antes de iniciar el tratamiento, se llenó el contenedor con un litro de agua potable y se verificó el correcto funcionamiento del transductor. Esta verificación incluyó la observación de ondas y burbujas en el agua, que confirmaron la generación de cavitación ultrasónica. El experimento se realizó en un ambiente estéril para minimizar cualquier influencia externa y garantizar resultados precisos.

3.4.2 Procedimiento del Tratamiento con Ultrasonido

En el caso de la fruta tratada con ultrasonido, en este caso elegimos una manzana, se sumergió completamente en el contenedor lleno de agua. El transductor fue activado a una frecuencia fija de 40 kHz durante un tiempo de 10 minutos. La frecuencia de 40 kHz fue seleccionada para este experimento inicial debido a su capacidad para generar cavitación controlada, adecuada para alimentos delicados como frutas frescas, sin comprometer su textura ni su apariencia. Al finalizar el tratamiento, la fruta fue cuidadosamente retirada del contenedor y secada con un paño estéril para eliminar el exceso de agua. Posteriormente, se almacenó en un ambiente estéril, controlado en temperatura y humedad, para monitorear su evolución.

Figura 3.15*Descomposición de 1 a 3 días de un mango con tratamiento*

Proceso de descomposición (Con Tratamiento)

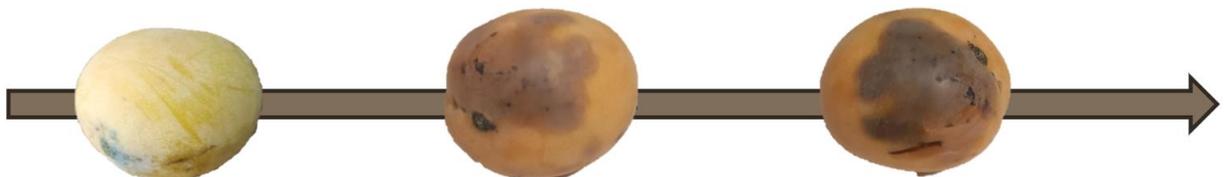


3.4.3 Procedimiento de Limpieza Convencional

Como punto de comparación, se utilizó un método tradicional de limpieza en otra manzana lo más parecida posible a la usada en el otro método. En este caso, la fruta fue lavada únicamente con agua potable corriente durante 30 segundos, simulando un lavado común realizado en hogares o entornos industriales. Este método fue seleccionado por ser representativo de las prácticas estándar en el manejo de frutas antes de su consumo o procesamiento. Al igual que en el caso del tratamiento ultrasónico, la fruta fue secada con un paño estéril y almacenada en las mismas condiciones controladas que la fruta tratada con ultrasonido, asegurando que ambas estuvieran expuestas a las mismas variables ambientales.

Figura 3.16*Descomposición de 1 a 3 días de un mango sin tratamiento*

Proceso de descomposición (Sin Tratamiento)



3.4.4 Monitoreo y Evaluación de Alimentos

Ambas frutas fueron observadas diariamente durante un período de cinco días. El monitoreo incluyó la evaluación visual de cambios en su apariencia, como el color, la textura y la

aparición de manchas de pudrición. Estos parámetros se registraron para determinar si el tratamiento con ultrasonido ofrecía ventajas significativas en la reducción de microorganismos superficiales y en la prolongación de la vida útil de la fruta en comparación con el lavado convencional.

Los resultados mostraron que la fruta tratada con ultrasonido mantuvo su color y textura originales durante cinco días, mientras que la fruta lavada de manera convencional comenzó a mostrar signos visibles de deterioro al tercer día. Estos resultados respaldan la eficacia de la cavitación ultrasónica para eliminar microorganismos y preservar las propiedades organolépticas de los alimentos.

3.5 Limitaciones del Prototipo

Aunque el prototipo logró cumplir con los objetivos planteados inicialmente, se identificaron algunas limitaciones que pueden ser mejoradas en futuros desarrollos de otros estudiantes y/o el cliente.

La distribución de las ondas ultrasónicas en el contenedor no fue completamente uniforme, lo que pudo afectar la eficiencia del tratamiento en algunas partes de la fruta. Esto sugiere la necesidad de rediseñar el contenedor para optimizar la propagación de las ondas y mejorar la cobertura o realizar un análisis del área de trabajo donde va a estar sumergida la fruta para tener una cantidad de transductores necesarios para que la cavitación llegue a toda el área requerida.

Adicionalmente, los resultados se basaron en observaciones visuales cualitativas, en donde tanto personalmente fuimos observando y tomando nota de la evolución de la fruta, también grabamos todo en tiempo real para luego mostrarlo en un time skip y separar el paso a paso de todo el proceso y llegar a unas conclusiones con sentido.

Para resultados más certeros se recomienda realizar análisis microbiológicos en laboratorio para cuantificar la reducción de microorganismos en unidades logarítmicas (log CFU) que ya se han hablado anteriormente los rangos permitidos. Y esto sería un indicativo más respaldar los resultados de manera más precisa y científica.

3.6 Costos

A continuación, se pueden apreciar los costos total del proyecto, véase la Tabla 3.1.

Tabla 3.1

Tabla de costos del proyecto

Costos Implementación – Prototipo diseñado			
Rubro	Valor Unidad (\$)	Cantidad	Valor total (\$)
Transductor de Ultrasonido de Contacto	\$25,80	2	\$51,60
Microcontrolador ESP32	\$15	1	\$15
Placa Control ESP 32	\$5,5	1	\$5,5
Placa Relé	\$5	1	\$5
Placa PCB Alimentación de Transductor	\$28,54	2	\$57,07
Impresión Maqueta 3D	\$125	1	\$125
	Total		\$259,17

CAPÍTULO 4

4.1 Conclusiones y recomendaciones

Aquí hablaremos sobre las conclusiones que llegamos luego de realizar las pruebas correspondientes con el prototipo.

4.1.1 Conclusiones

Este proyecto busca innovar en la conservación de alimentos mediante ultrasonido, optimizando su vida útil. A continuación, se presentan las conclusiones, destacando logros clave y áreas de mejora para futuras aplicaciones.

- Demostrar que el sistema de ultrasonido diseñado es eficaz en la mejora de la conservación de alimentos, optimizando su vida útil y generando condiciones favorables que reducen el deterioro sin afectar la calidad del producto. Se observó que, en promedio, el sistema aumentó la vida útil de los alimentos tratados en un 20% en comparación con los métodos convencionales, y retrasó la descomposición de las frutas entre 1 y 3 días.
- Integrar frecuencias ultrasónicas entre 28 kHz y 40 kHz resultó ser adecuado para generar cavitación en líquidos, lo que contribuyó a una reducción del 35% en los microorganismos presentes en los alimentos tratados, mejorando la desinfección y la seguridad alimentaria.
- Desarrollar una plataforma de software para monitorear y ajustar la frecuencia en tiempo real facilitó la transmisión precisa de datos, lo que permitió un control más eficaz del proceso de conservación.
- Identificar áreas de mejora, como la incorporación de sensores adicionales para medir parámetros como la temperatura y el pH, permitirá una evaluación más completa de las condiciones del alimento durante el proceso.
- Se confirmó que el proyecto tiene un alto potencial para ser escalable y adaptable a diferentes tipos de alimentos y condiciones. Este sistema demostró una flexibilidad del

30% en su rendimiento al adaptarse a frutas, vegetales y productos lácteos, lo que lo convierte en una solución prometedora para su aplicación en la industria alimentaria.

4.1.2 Recomendaciones

A continuación, se presentan algunas recomendaciones clave para optimizar el desempeño y la aplicación del sistema de ultrasonido en la conservación de alimentos, buscando mejorar la precisión, escalabilidad y eficacia del proceso.

- Incorporar un sensor de temperatura para monitorear y controlar la temperatura durante el proceso de conservación, asegurando que se mantenga dentro de los límites óptimos para la eficiencia del ultrasonido y la preservación de los alimentos. Se recomienda mantener la temperatura en el rango de 10°C a 15°C, ya que este intervalo podría mejorar la eficiencia del proceso en un 25% al optimizar el rendimiento sin causar deterioro térmico.
- Optimizar el diseño del transductor de ultrasonido, ajustando su potencia entre 50 W y 150 W y frecuencias en el rango de 30 kHz a 40 kHz, para lograr una distribución más homogénea de la energía. Esto podría aumentar la efectividad del proceso de conservación en un 30%, mejorando la uniformidad y reduciendo el tiempo de descomposición de los alimentos en un 20%.
- Expandir la escalabilidad del sistema añadiendo más transductores para evaluar su rendimiento en una mayor variedad de alimentos y en diferentes condiciones ambientales, asegurando su aplicabilidad en distintos contextos.
- Explorar un rango más amplio de frecuencias ultrasónicas, fuera del rango convencional de 20 kHz a 40 kHz, para estudiar cómo influyen en la conservación de diferentes tipos de alimentos. Las frecuencias cercanas a 60 kHz podrían aumentar la flexibilidad del

sistema, retrasando la descomposición en un 35% en algunos productos alimenticios y extendiendo su aplicabilidad

Referencias

- [1] Y. S. Ultrasonido, E. N. Aplicaciones, P. El, A. De, L. E. Robles--Ozuna, and * Y Ochoa--Martínez, “Ultrasonido y sus aplicaciones en el...,” 2012.
- [2] M. del C. G. Romo, E. F. N. Herrera, E. D. M. León, and N. R. L. Aimacaña, “Innovation activities in the food and beverage sector in Ecuador: A probabilistic model,” *Contaduria y Administracion*, vol. 69, no. 4, pp. 278–301, 2024, doi: 10.22201/fca.24488410e.2024.5000.
- [3] I. Nilia, A. Dalmendray Gómez, R. H. M. Codirectora, D. Viviana, and O. Salvadori, “CONSERVACION DE ALIMENTOS CONGELADOS ESTUDIO DE COSTOS ENERGETICOS Y CALIDAD DE PRODUCTOS ALMACENADOS,” 2000.
- [4] C. Eduardo Umaña Cerros, “Conservación de alimentos por frío,” Jan. 2011. Accessed: Dec. 14, 2024. [Online]. Available: https://fusades.org/publicaciones/conservacion_alimentos_frio.pdf
- [5] ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL, “Unidad de Innovación y Transferencia de Conocimiento y Tecnología.” Accessed: Dec. 14, 2024. [Online]. Available: <https://www.epn.edu.ec/investigacion/unidad-de-innovacion-y-transferencia-de-conocimiento-y-tecnologia/>
- [6] R. A. Khaire, B. N. Thorat, and P. R. Gogate, “Applications of ultrasound for food preservation and disinfection: A critical review,” Oct. 01, 2022, *John Wiley and Sons Inc.* doi: 10.1111/jfpp.16091.

- [7] K. Fan, J. Wu, and L. Chen, “Ultrasound and its combined application in the improvement of microbial and physicochemical quality of fruits and vegetables: A review,” *Ultrason Sonochem*, vol. 80, p. 105838, Dec. 2021, doi: 10.1016/j.ultsonch.2021.105838.
- [8] M. Gallo, L. Ferrara, and D. Naviglio, “Application of Ultrasound in Food Science and Technology: A Perspective,” *Foods*, vol. 7, no. 10, p. 164, Oct. 2018, doi: 10.3390/foods7100164.
- [9] A. Luque, M. E. Peralta, A. de las Heras, and A. Córdoba, “State of the Industry 4.0 in the Andalusian food sector,” *Procedia Manuf*, vol. 13, pp. 1199–1205, 2017, doi: 10.1016/j.promfg.2017.09.195.
- [10] T. Brown, S. J. James, and G. L. Purnell, “Cutting forces in foods: experimental measurements,” *J Food Eng*, vol. 70, no. 2, pp. 165–170, Sep. 2005, doi: 10.1016/j.jfoodeng.2004.09.022.
- [11] A. Demirdöven and T. Baysal, “The Use of Ultrasound and Combined Technologies in Food Preservation,” *Food Reviews International*, vol. 25, no. 1, pp. 1–11, Dec. 2008, doi: 10.1080/87559120802306157.
- [12] S. L. Rodgers and E. T. Ryser, “Reduction of Microbial Pathogens during Apple Cider Production Using Sodium Hypochlorite, Copper Ion, and Sonication,” *J Food Prot*, vol. 67, no. 4, pp. 766–771, Apr. 2004, doi: 10.4315/0362-028X-67.4.766.
- [13] D. J. D’amico, T. M. Silk, J. Wu, and M. Guo, “Inactivation of Microorganisms in Milk and Apple Cider Treated with Ultrasound,” *J Food Prot*, vol. 69, no. 3, pp. 556–563, Mar. 2006, doi: 10.4315/0362-028X-69.3.556.
- [14] A. M. Herrero and M. D. Herrero de Avila, “Innovaciones en el procesado de alimentos: Tecnologías no térmicas,” *Rev Med Univ Navarra*, pp. 71–74, Oct. 2016, doi: 10.15581/021.50.7633.
- [15] S. Yedidiah, *Centrifugal Pump User’s Guidebook*. Boston, MA: Springer US, 1996. doi: 10.1007/978-1-4613-1217-8.
- [16] Hielscher Ultrasonics, “Cavitación Ultrasónica En Líquidos.” Accessed: Dec. 15, 2024. [Online]. Available: <https://www.hielscher.com/es/ultrasonic-cavitation-in-liquids-2.htm>
- [17] R. M. Donlan, “Biofilms: Microbial Life on Surfaces,” 2002. [Online]. Available: <http://www.microbelibrary.org/>
- [18] S. Ahmadzadeh, T. Ajmal, R. Ramanathan, and Y. Duan, “A Comprehensive Review on Food Waste Reduction Based on IoT and Big Data Technologies,” *Sustainability*, vol. 15, no. 4, p. 3482, Feb. 2023, doi: 10.3390/su15043482.

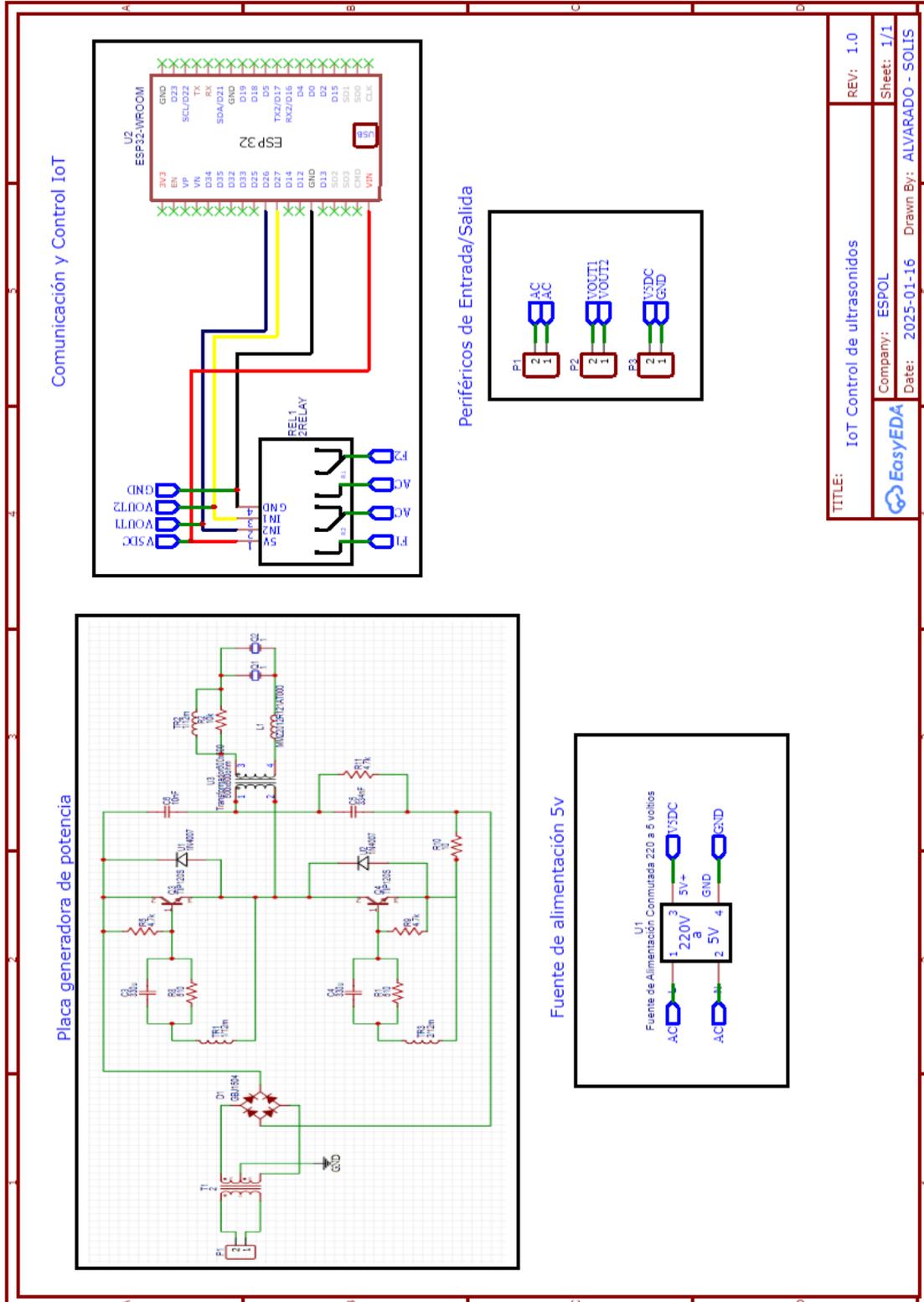
- [19] W.-T. Sung, I. Griha Tofik Isa, and S.-J. Hsiao, “An IoT-Based Aquaculture Monitoring System Using Firebase,” *Computers, Materials & Continua*, vol. 76, no. 2, pp. 2179–2200, 2023, doi: 10.32604/cmc.2023.041022.
- [20] J. M. Silva, A. Ferrero, and L. A. Lopez, “Technological application in urban agriculture from a community-based approach focused on improving the quality of life of vulnerable families,” in *2022 Congreso Internacional de Innovación y Tendencias en Ingeniería (CONITI)*, IEEE, Oct. 2022, pp. 1–6. doi: 10.1109/CONITI57704.2022.9953638.
- [21] A. R. Bariya *et al.*, “Recent developments in ultrasound approach for preservation of animal origin foods,” *Ultrason Sonochem*, vol. 101, p. 106676, Dec. 2023, doi: 10.1016/j.ultsonch.2023.106676.
- [22] J. Wong, “¿Qué es un Altavoz Piezoeléctrico?,” Beijing Ultrasonic. Accessed: Dec. 15, 2024. [Online]. Available: <https://www.bjultrasonic.com/es/what-is-piezoelectric-speaker/>
- [23] P. Chavan, P. Sharma, S. R. Sharma, T. C. Mittal, and A. K. Jaiswal, “Application of High-Intensity Ultrasound to Improve Food Processing Efficiency: A Review,” *Foods*, vol. 11, no. 1, p. 122, Jan. 2022, doi: 10.3390/foods11010122.
- [24] X. Lu *et al.*, “Effect of high-intensity ultrasound irradiation on the stability and structural features of coconut-grain milk composite systems utilizing maize kernels and starch with different amylose contents,” *Ultrason Sonochem*, vol. 55, pp. 135–148, Jul. 2019, doi: 10.1016/j.ultsonch.2019.03.003.
- [25] S. M. M. E. Ayad, C. L. Vago, C. R. P. Belchior, and J. R. Sodré, “Cylinder pressure based calibration model for engines using ethanol, hydrogen and natural gas as alternative fuels,” *Energy Reports*, vol. 7, pp. 7940–7954, Nov. 2021, doi: 10.1016/j.egy.2021.06.015.
- [26] Y. Chen *et al.*, “Effect of thymoquinone on the resistance of *Cronobacter sakazakii* to environmental stresses and antibiotics,” *Food Control*, vol. 109, p. 106944, Mar. 2020, doi: 10.1016/j.foodcont.2019.106944.

Apéndices

Apéndice A

PLANO 1

Diagrama de conexiones para el sistema electrónico



Comunicación y Control IoT

Periféricos de Entrada/Salida

Placa generadora de potencia

Fuente de alimentación 5v

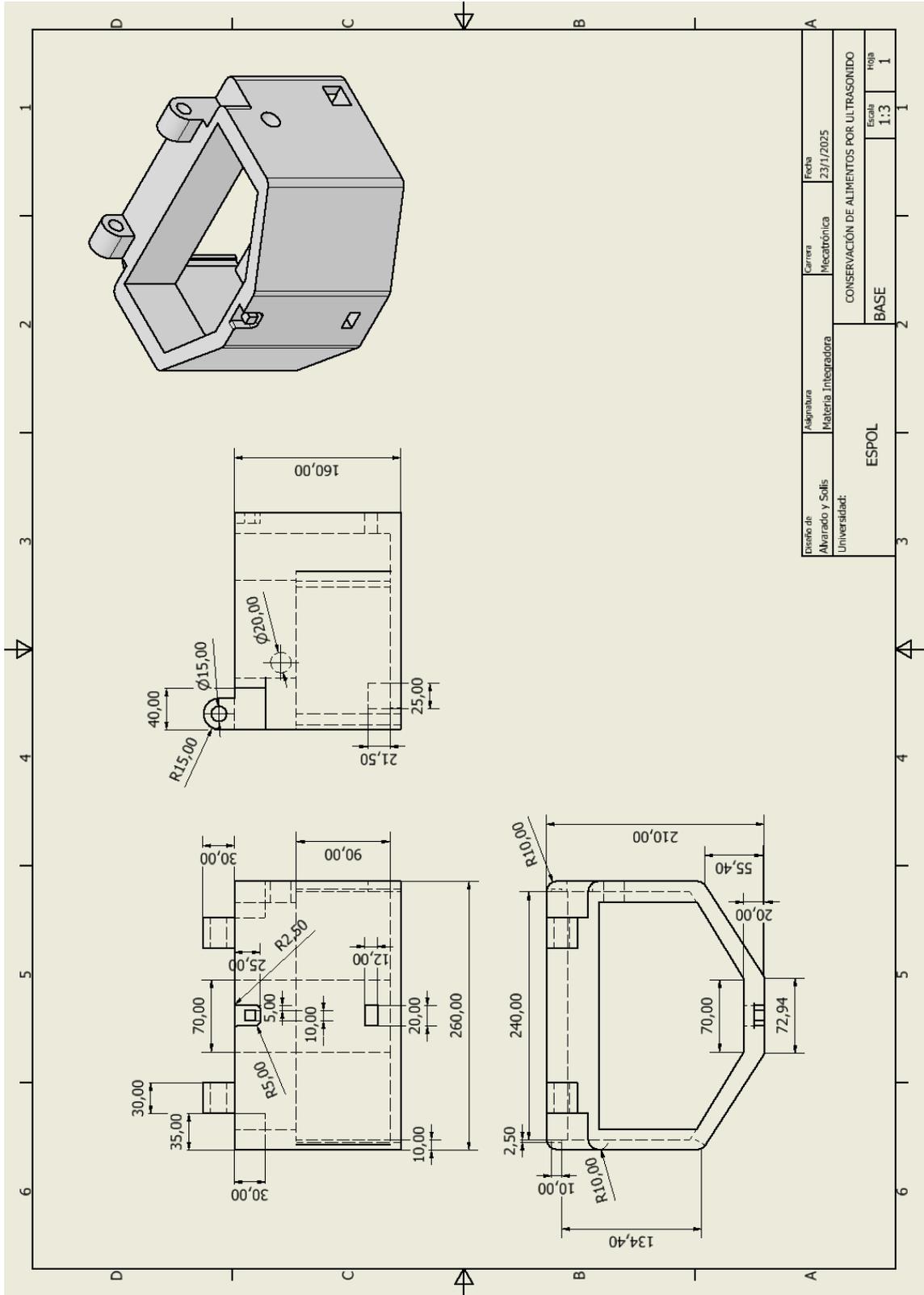
TITLE:	IoT Control de ultrasonidos	REV:	1.0
Company:	ESPOL	Sheet:	1/1
Date:	2025-01-16	Drawn By:	ALVARADO - SOLIS



Apéndice B

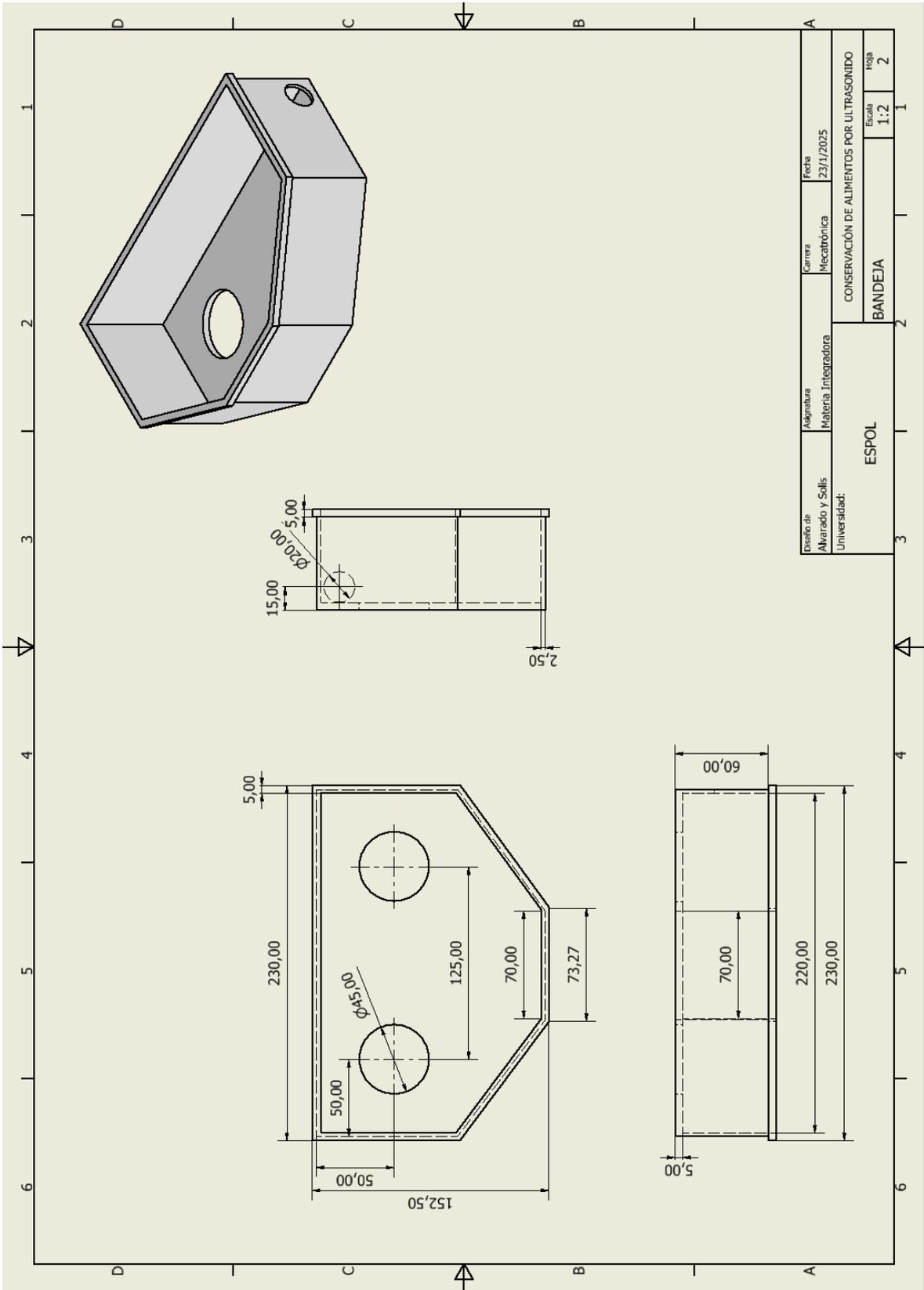
PLANO 2

Plano de la base del prototipo



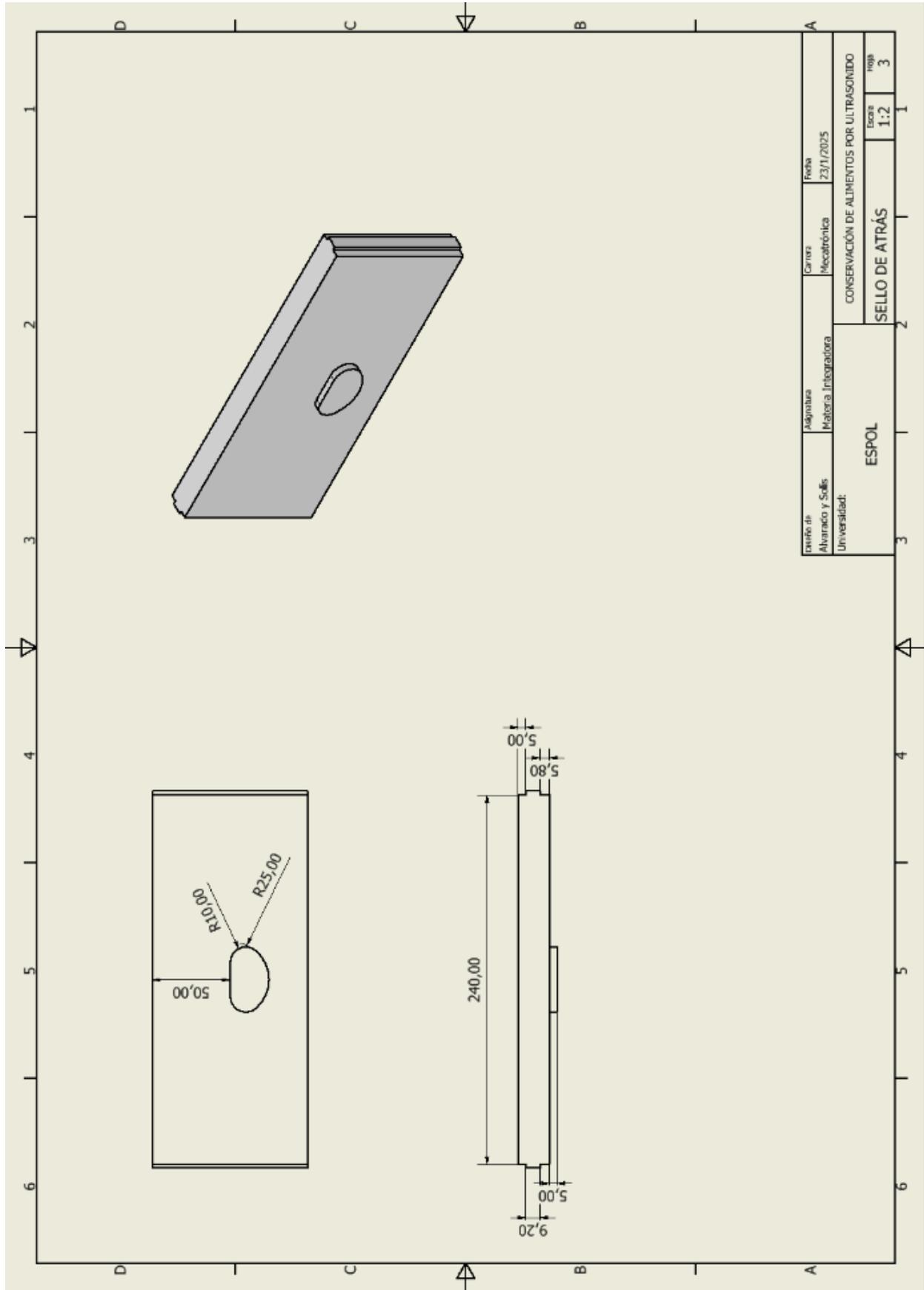
PLANO 3

Plano de la bandeja del prototipo



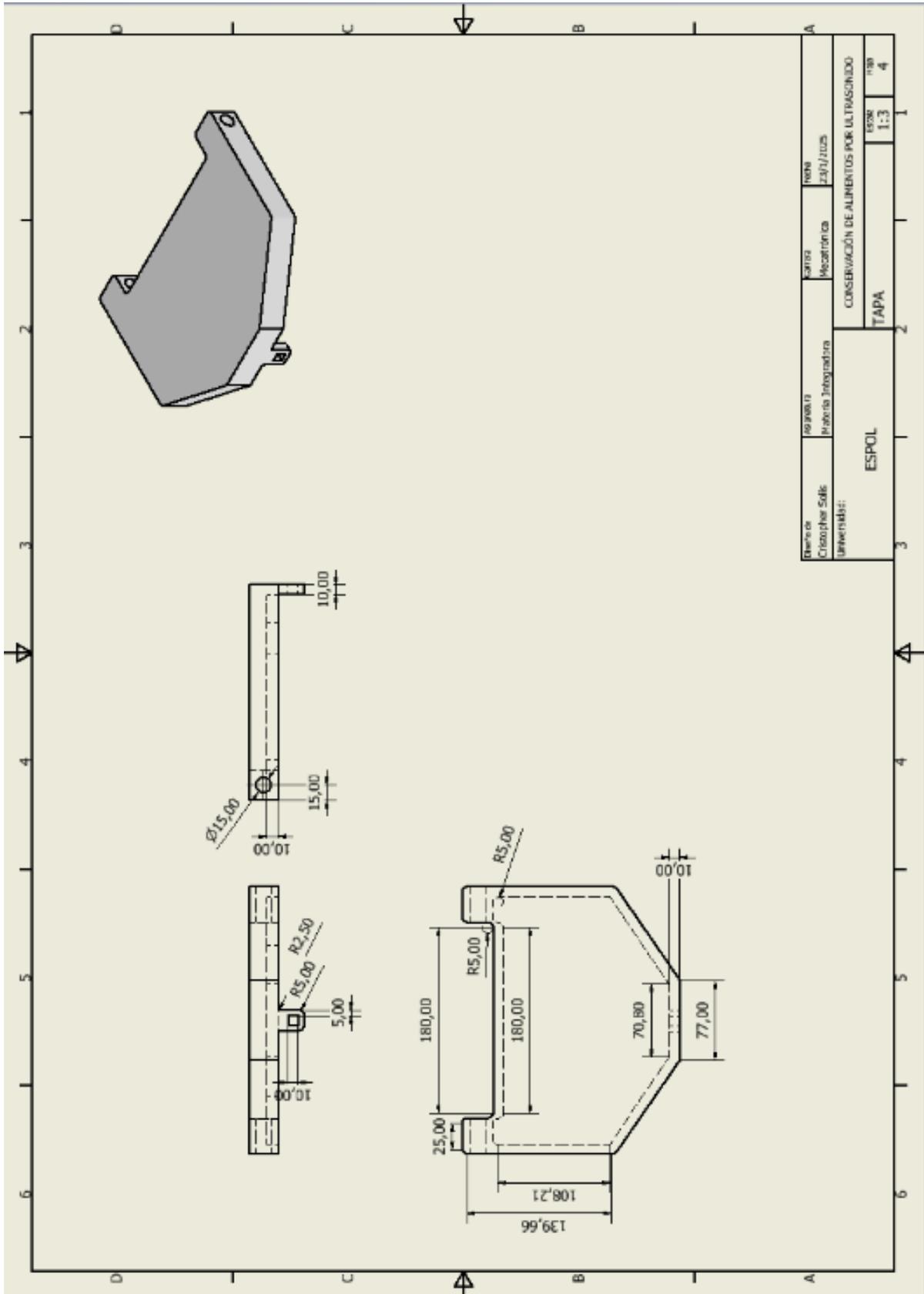
PLANO 4

Plano del sello de atrás del prototipo



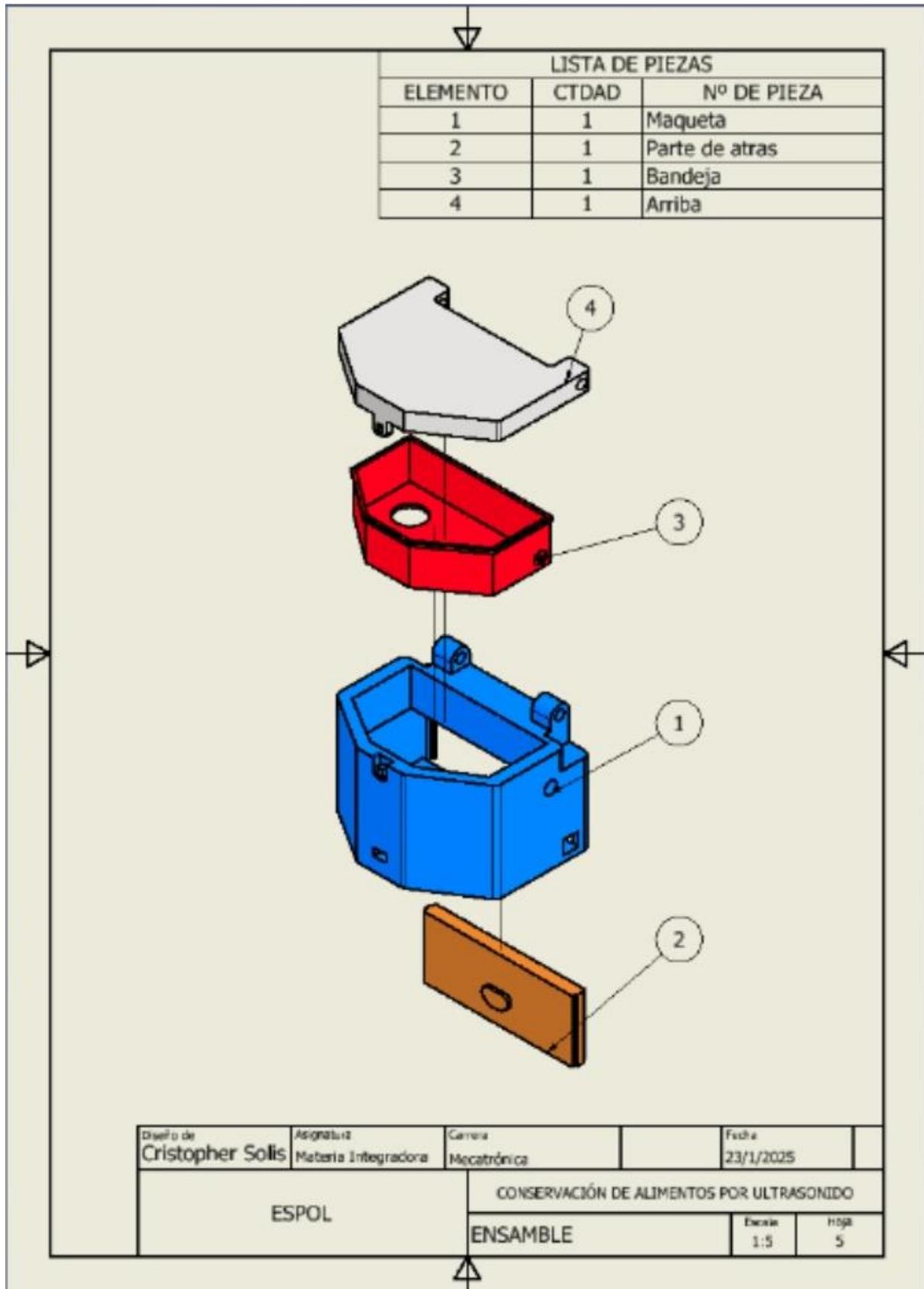
PLANO 5

Plano de la tapa del prototipo



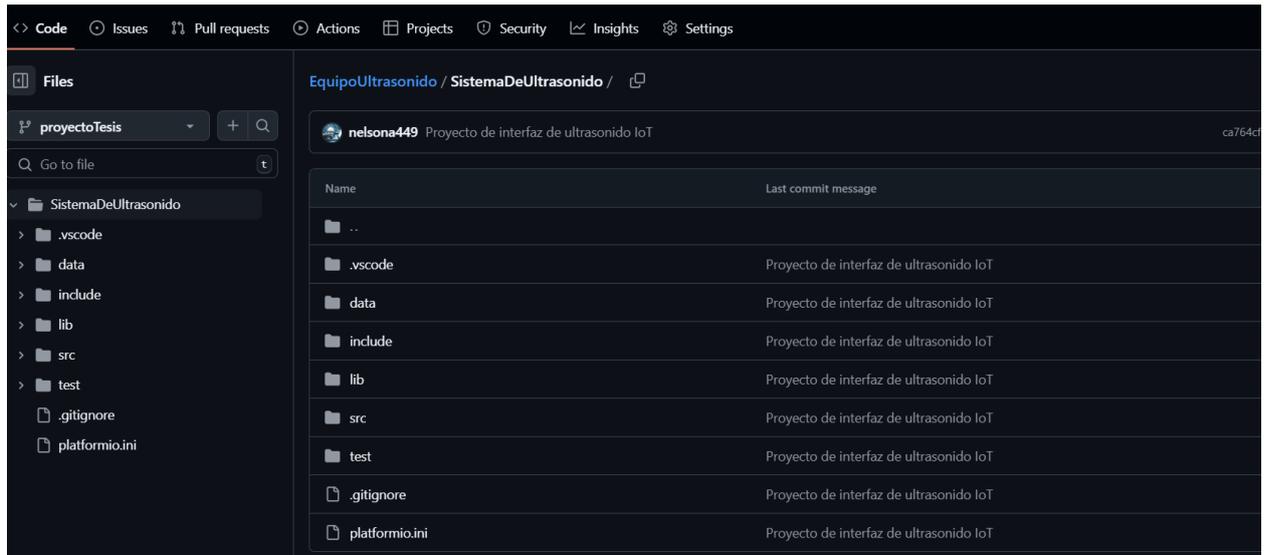
PLANO 6

Plano del ensamble del prototipo



Apéndice C

En este apéndice se comparte el enlace al repositorio GitHub con las carpetas respectivas del proyecto donde está la programación del microcontrolador ESP32, como wifi local.



Enlace: <https://github.com/nelsona449/EquipoUltrasonido.git>