



Universidad  
Nacional  
de Loja

## Universidad Nacional de Loja

### Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables

#### Carrera de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones

Diseño y construcción de un prototipo de esterilización empleando  
radiación UV-C para alimentos industrializados

Trabajo de Titulación previo a optar por  
el Título de Ingeniero en Electrónica y  
Telecomunicaciones

#### **AUTOR:**

Jefferson Medardo Gaona González.

#### **DIRECTOR:**

Ing. Rodolfo Pabel Merino Vivanco, Mg. Sc.

LOJA – ECUADOR

2023

## Certificación

Loja, 08 de noviembre del 2022

Ing. Rodolfo Pabel Merino Vivanco Mg. Sc.

**DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN**

### CERTIFICO:

Que he revisado y orientado todo proceso de la elaboración del Trabajo de Titulación denominado: **“Diseño y construcción de un prototipo de esterilización empleando radiación UV-C para alimentos industrializados”**, previo a la obtención del título de **Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones**, de la autoría del estudiante **Jefferson Medardo Gaona González**, con **cédula de identidad Nro. 1150219556**, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja, para el efecto, autorizo la presentación para la respectiva sustentación y defensa.



Firmado electrónicamente por:  
**RODOLFO PABEL  
MERINO VIVANCO**

Ing. Rodolfo Pabel Merino Vivanco Mg. Sc.

**DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN**

## **Autoría**

Yo, **Jefferson Medardo Gaona González**, declaro ser autor del presente Trabajo de Titulación y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos y acciones legales, por el contenido del mismo. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja la publicación de mi trabajo de titulación en el Repositorio Digital Institucional – Biblioteca Virtual.

**Firma:** 

**Cedula de identidad:** 1150219556

**Fecha:** 13/01/2023

**Correo electrónico:** [jefferson.gaona@unl.edu.ec](mailto:jefferson.gaona@unl.edu.ec)

**Celular:** 0993303897

**Carta de autorización por parte del autor para la consulta de reproducción parcial o total, y/o publicación electrónica del texto completo, Trabajo de Titulación.**

Yo, **Jefferson Medardo Gaona González**, declaro ser autor del Trabajo de Titulación denominado: **Diseño y construcción de un prototipo de esterilización empleando radiación UV-C para alimentos industrializados** como requisito para optar al título de **Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones**, autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Digital Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el Repositorio Institucional, en las redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia del Trabajo de Titulación que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los trece días del mes de enero del dos mil veintitrés.

**Firma:**



**Autor:** Jefferson Medardo Gaona González

**Cédula:** 1150219556

**Dirección:** Loja, Malacatos (Sector "El Vergel")

**Correo electrónico:** [jefferson.gaona@unl.edu.ec](mailto:jefferson.gaona@unl.edu.ec)

**Celular:** 0993303897

**DATOS COMPLEMENTARIOS:**

**Director del Trabajo de titulación:** Ing. Rodolfo Pabel Merino Vivanco Mg. Sc.

## **Dedicatoria**

A mis padres, Ana González y Medardo Gaona, quienes han sido mi soporte y motivación durante toda mi formación humana.

A mis hermanos, Anghela y Anthony, por brindarme su apoyo y ayuda incondicionalmente.

Por último, dedico este trabajo a mis amigos y compañeros que han sido parte importante en la obtención de este logro.

***Jefferson Medardo Gaona González***

## **Agradecimiento**

Quiero agradecer a mis padres por su esfuerzo, compañía, consejos y principalmente apoyo para poder culminar mis estudios universitarios y finalizar el presente trabajo. También a mis hermanos por motivarme y bríndame su apoyo durante toda mi etapa universitaria.

De igual forma a mis amigos y compañeros de carrera con quienes compartí diferentes experiencias que ayudaron a formarme como persona y profesional.

Agradezco a la Universidad Nacional de Loja por ser la institución que permitió desarrollar mi formación académica superior, a la planta docente de la carrera de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones, por todas las enseñanzas brindadas, de forma especial a mi director de Trabajo de Titulación, el Ing. Pabel Merino, por su orientación y correcta asesoría durante todas las etapas de investigación.

***Jefferson Medardo Gaona González***

## Índice de contenidos

|   |     |
|---|-----|
| <b>Portada</b> .....  | I   |
| <b>Certificación</b> .....  | II  |
| <b>Autoría</b> .....  | III |
| <b>Carta de autorización</b> .....                                | IV  |
| <b>Dedicatoria</b> .....  | V   |
| <b>Agradecimiento</b> .....                                       | VI  |
| <b>Índice de contenidos</b> .....                                 | VII |
| Índice de Tablas .....  | X   |
| Índice de Figuras .....   | XI  |
| Índice de Anexos .....  | XII |
| <b>1. Título</b> .....  | 1   |
| <b>2. Resumen</b> .....   | 2   |
| 2.1 Abstract.....   | 3   |
| <b>3. Introducción</b> .....                                      | 4   |
| <b>4. Marco teórico</b> .....                                     | 6   |
| 4.1. Contaminación alimentaria .....                              | 6   |
| 4.1.1. Contaminación biológica.....                               | 6   |
| 4.1.2. Contaminación química .....                                | 7   |
| 4.1.3. Contaminación cruzada .....                                | 7   |
| 4.1.4. Enfermedades transmitidas por alimentos (ETA) .....        | 7   |
| 4.1.5. Microorganismos presentes en entornos alimentarios .....   | 8   |
| 4.2. Envases de alimentos industrializados .....                  | 8   |
| 4.2.1. Envase de vidrio .....                                     | 9   |
| 4.2.2. Envase de Metal .....                                      | 9   |
| 4.2.3. Envase de madera (papel y cartón) .....                    | 10  |
| 4.2.4. Envase de plástico.....                                    | 10  |
| 4.2.5. Microorganismos presentes en envases de alimentos .....    | 11  |
| 4.2.6. Dosis de inactivación para microorganismos patógenos ..... | 12  |

|          |  |    |
|----------|--|----|
| 4.3.     | Radiación ultravioleta .....                                     | 14 |
| 4.3.1.   | Radiación UV-A .....   | 15 |
| 4.3.2.   | Radiación UV-B .....   | 15 |
| 4.3.3.   | Radiación UV-C .....   | 15 |
| 4.3.4.   | Irradiación Germicida Ultravioleta (UVGI) .....                  | 16 |
| 4.3.5.   | Unidades de medición .....                                       | 17 |
| 4.3.6.   | Niveles de desinfección y reducción logarítmica .....            | 17 |
| 4.3.7.   | Desinfección de superficies mediante radiación ultravioleta..... | 18 |
| 4.3.8.   | Fuentes de radiación ultravioleta .....                          | 19 |
| 4.3.8.1. | Lámparas de mercurio de baja presión (LPM). .....                | 19 |
| 4.3.8.2. | Diodos emisores de luz ultravioleta (LED UV-C).....              | 21 |
| 4.3.8.3. | Otras fuentes de radiación artificial.....                       | 22 |
| 4.4.     | Métodos de esterilización de alimentos .....                     | 22 |
| 4.4.1.   | Esterilización térmica .....                                     | 22 |
| 4.4.1.1. | Calor seco .....   | 23 |
| 4.4.1.2. | Calor húmedo.....  | 23 |
| 4.4.2.   | Esterilización no térmica .....                                  | 23 |
| 4.4.2.1. | Esterilizantes químicos .....                                    | 24 |
| 4.4.2.2. | Procesamiento de alta presión (HPP) .....                        | 24 |
| 4.4.2.3. | Radiación ionizante .....  | 25 |
| 4.4.2.4. | Irradiación ultravioleta germicida (UVGI) .....                  | 25 |
| 4.4.2.5. | Contraste de métodos .....                                       | 26 |
| 4.5.     | Radiación ultravioleta en la industria alimenticia .....         | 27 |
| 4.5.1.   | Dispositivos o métodos de desinfección UV.....                   | 28 |
| 4.5.1.1. | Reactores UV .....   | 29 |
| 4.5.1.2. | Cabinas y túneles UV .....                                       | 29 |
| 4.6.     | Características de alimentos industrializados .....              | 30 |
| 4.7.     | Instrumentos de operación .....                                  | 31 |
| 4.7.1.   | Unidad de procesamiento .....                                    | 31 |

|   |           |
|---|-----------|
| 4.7.2. Lenguaje de programación .....                                   | 32        |
| <b>5. Metodología.....</b>  | <b>33</b> |
| 5.1. Área de estudio .....  | 33        |
| 5.2. Procedimiento .....  | 33        |
| 5.3. Recursos.....  | 36        |
| 5.3.1. Recursos científicos.....  | 36        |
| 5.3.2. Algoritmo de operación .....                                     | 36        |
| 5.3.3. Recursos técnicos .....  | 37        |
| <b>6. Resultados .....</b>  | <b>38</b> |
| 6.1. Fundamentos de operación.....                                      | 38        |
| 6.2. Diseño del esterilizador .....                                     | 38        |
| 6.2.1. Dosis de inactivación .....                                      | 38        |
| 6.2.2. Fuente de radiación .....  | 40        |
| 6.2.3. Dispositivo de seguridad e iluminación .....                     | 41        |
| 6.2.4. Dispositivo de interacción .....                                 | 43        |
| 6.2.5. Criterios para el dimensionamiento de la estructura física ..... | 43        |
| 6.2.6. Diseño de circuito de control y activación .....                 | 45        |
| 6.2.7. Desarrollo de GUI .....  | 46        |
| 6.2.8. Diseño 3D de estructura física .....                             | 47        |
| 6.3. Construcción de elementos .....                                    | 48        |
| 6.3.1. Impresión en 3D .....  | 48        |
| 6.3.2. Fabricación de placa PCB.....                                    | 50        |
| 6.3.3. Fabricación de estructura final .....                            | 50        |
| 6.4. Ensamblaje de prototipo.....                                       | 51        |
| 6.4.1. Instalación de lámparas UV .....                                 | 51        |
| 6.4.2. Disposición de cinta led .....                                   | 52        |
| 6.4.3. Disposición de sensor de puerta .....                            | 53        |
| 6.4.4. Disposición de Raspberry Pi .....                                | 53        |
| 6.4.5. Disposición de circuitería interna .....                         | 54        |

|   |           |
|---|-----------|
| 6.5. Acoplamiento y encendido .....   | 57        |
| 6.6. Medición de intensidad UV efectiva y cálculo de tiempos de exposición .... | 57        |
| 6.6.1. Medición de radiación UV externa .....                                   | 61        |
| 6.6.2. Medición de generación de ozono .....                                    | 62        |
| 6.6.3. Pruebas de operación.....  | 63        |
| <b>7. Discusión .....</b>   | <b>65</b> |
| <b>8. Conclusiones .....</b>  | <b>67</b> |
| <b>9. Recomendaciones .....</b>   | <b>68</b> |
| <b>10. Referencias bibliográficas .....</b>                                     | <b>69</b> |
| <b>11. Anexos.....</b>  | <b>75</b> |

#### **Índice de Tablas:**

|  |    |
|--|----|
| <b>Tabla 1.</b> Población microbiana acorde al material de envase .....                | 12 |
| <b>Tabla 2.</b> Dosis de inactivación para microorganismos presentes en envases .....  | 13 |
| <b>Tabla 3.</b> Dosis de inactivación para otros microorganismos.....                  | 14 |
| <b>Tabla 4.</b> Reducción logarítmica de microorganismos.....                          | 18 |
| <b>Tabla 5.</b> Contraste de métodos de esterilización para envases de alimentos ..... | 27 |
| <b>Tabla 6.</b> Dosis para cada material de envase .....                               | 39 |
| <b>Tabla 7.</b> Comparación de dosis de acuerdo con distintos criterios.....           | 39 |
| <b>Tabla 8.</b> Características de fuente de radiación .....                           | 40 |
| <b>Tabla 9.</b> Intensidad de radiación UV medida a diferentes distancias .....        | 41 |
| <b>Tabla 10.</b> Características de MC-38 .....  | 42 |
| <b>Tabla 11.</b> Medidas finales del volumen de desinfección .....                     | 44 |
| <b>Tabla 12.</b> Dosis para cálculo de tiempo de exposición.....                       | 58 |
| <b>Tabla 13.</b> Mediciones de intensidad UV efectiva.....                             | 59 |
| <b>Tabla 14.</b> Tiempos de exposición finales .....                                   | 61 |
| <b>Tabla 15.</b> Características de modos de operación .....                           | 63 |
| <b>Tabla 16.</b> Patógenos inactivados por prototipo UV .....                          | 64 |

## Índice de Figuras:

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 1.</b> Productos más comprados en Ecuador según Dichrer & Neira .....       | 8  |
| <b>Figura 2.</b> Dimerización de timina para una molécula de ADN expuesta a UV .....  | 16 |
| <b>Figura 3.</b> Estructura típica de lámpara LPM .....                               | 20 |
| <b>Figura 4.</b> Espectro de absorción de timina y uracilo para lámparas LPM.....     | 21 |
| <b>Figura 5.</b> Reactor UV para líquidos .....                                       | 29 |
| <b>Figura 6.</b> Túnel UVGI para botellas .....                                       | 30 |
| <b>Figura 7.</b> Raspberry Pi 3B .....  | 32 |
| <b>Figura 8.</b> Procedimiento de Metodología .....                                   | 35 |
| <b>Figura 9.</b> Variación de la intensidad UV del foco de radiación .....            | 41 |
| <b>Figura 10.</b> Sensor de puerta MC-38 .....  | 42 |
| <b>Figura 11.</b> Cinta Led Nippon.....   | 42 |
| <b>Figura 12.</b> Pantalla táctil 3.5" .....  | 43 |
| <b>Figura 13.</b> Lámparas para disposición dentro de la estructura .....             | 43 |
| <b>Figura 14.</b> Circuito de activación y control.....                               | 45 |
| <b>Figura 15.</b> Placa PCB de circuito de control y activación.....                  | 45 |
| <b>Figura 16.</b> Diseño estructural en 3D de prototipo .....                         | 48 |
| <b>Figura 17.</b> Impresión de case para Raspberry .....                              | 48 |
| <b>Figura 18.</b> Base para placa PCB .....   | 49 |
| <b>Figura 19.</b> Soporte para sensor de puerta .....                                 | 49 |
| <b>Figura 20.</b> Vista desde arriba y desde abajo de placa PCB .....                 | 50 |
| <b>Figura 21.</b> Estructura física de prototipo .....                                | 50 |
| <b>Figura 22.</b> Malla de soporte para productos .....                               | 51 |
| <b>Figura 23.</b> Instalación de lámparas UV.....                                     | 51 |
| <b>Figura 24.</b> Encendido simultáneo de lámparas UV .....                           | 52 |
| <b>Figura 25.</b> Disposición de cinta led en estructura física .....                 | 52 |
| <b>Figura 26.</b> Prueba de luminosidad de cinta led.....                             | 53 |
| <b>Figura 27.</b> Ubicación de componentes de sensor de puerta .....                  | 53 |
| <b>Figura 28.</b> Disposición de Raspberry dentro de la estructura .....              | 54 |
| <b>Figura 29.</b> Cable de alimentación principal.....                                | 54 |
| <b>Figura 30.</b> Ubicación de canaleta para cables de alimentación .....             | 55 |
| <b>Figura 31.</b> Paso de cables de alimentación hacia el segundo compartimento ..... | 55 |
| <b>Figura 32.</b> Ubicación de base para placa PCB .....                              | 56 |
| <b>Figura 33.</b> Disposición de elementos y circuitería interna.....                 | 56 |
| <b>Figura 34.</b> Vista interna y externa de interruptor.....                         | 56 |
| <b>Figura 35.</b> Acople final de elementos .....                                     | 57 |
| <b>Figura 36.</b> Medición de potencia efectiva tras 30 segundos .....                | 59 |

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 37.</b> Medición de potencia efectiva tras 60 segundos .....                      | 59 |
| <b>Figura 38.</b> Medición de radiación UV externa en la puerta de dispositivo .....        | 61 |
| <b>Figura 39.</b> Medición de radiación UV externa en puntos estratégicos .....             | 62 |
| <b>Figura 40.</b> Medición de generación de ozono interna y externa.....                    | 62 |
| <b>Figura 41.</b> Procesos de esterilización para distintos alimentos industrializados..... | 63 |

### Índice de Anexos:

|   |     |
|---|-----|
| <b>Anexo 1:</b> Toma de características dimensionales de alimentos industrializados ..... | 75  |
| <b>Anexo 2:</b> Características dimensionales de alimentos industrializados .....         | 76  |
| <b>Anexo 3:</b> Diagrama de operación de prototipo .....                                  | 82  |
| <b>Anexo 4:</b> Mediciones de intensidad UV .....   | 83  |
| <b>Anexo 5:</b> Instrumentos de medición .....  | 85  |
| <b>Anexo 6:</b> Disposición de pines para Raspberry Pi 3 B.....                           | 87  |
| <b>Anexo 7:</b> Código desarrollado para Raspberry Pi.....                                | 88  |
| <b>Anexo 8:</b> Diseño de GUI .....   | 97  |
| <b>Anexo 9:</b> Planos de prototipo .....   | 101 |
| <b>Anexo 10:</b> Esquemático general de conexiones.....                                   | 107 |
| <b>Anexo 11:</b> Fluencias para múltiples microorganismos.....                            | 108 |
| <b>Anexo 12:</b> Manual de usuario.....   | 113 |
| <b>Anexo 13:</b> Certificado de Traducción .....  | 133 |

## **1. Título**

**“Diseño y construcción de un prototipo de esterilización empleando radiación UV-C para alimentos industrializados”**

## 2. Resumen

El presente trabajo de titulación presenta las etapas inmersas en el proceso de diseño y construcción de un prototipo de esterilización que utiliza fuentes de radiación ultravioleta a 253.7 nm (UV-C), a partir del establecimiento de fundamentos teóricos y de desarrollo en base a la revisión de trabajos relacionados al tema de la tecnología ultravioleta y sus efectos en los patógenos.

Dentro de los fundamentos teóricos se encuentran principalmente la dosis UV, intensidad UV y tiempo de exposición. La selección de la dosis UV necesaria se basó en primera instancia en la categorización de los materiales con los que se construyen los envases para alimentos industrializados, seguido del análisis acerca de la población patógena propensa a desarrollarse en cada uno. Con los patógenos identificados se determinó un tiempo de exposición, donde se consideró la intensidad UV que proporcionan las fuentes de radiación.

El dimensionamiento del prototipo involucró esencialmente la toma de medidas de alimentos industrializados típicos que se ofertan en un supermercado y las características de una fuente de radiación UV idónea. Adicionalmente el diseño desarrollado incorpora facilidad para el acople de piezas con el fin de un montaje y desmontaje fácil, lo cual resulta útil en la ejecución de mantenimientos periódicos.

Para el armazón del dispositivo se utilizó como material principal el acero inoxidable, además de vidrio y plástico (PLA) para algunas piezas especiales; en lo que respecta a la estructuración, esta se compone de dos compartimentos destinados para la esterilización y unidad de control respectivamente. Debido a sus características se implementó una placa SBC denominada Raspberry Pi 3 en su versión B como núcleo del sistema, esto facilitó en gran parte la incorporación de elementos prácticos, como una pantalla táctil.

Por último, con la finalidad de verificar el alcance del dispositivo respecto a la generación y aplicación de la dosis necesaria a los productos, se utilizaron dispositivos especializados en el tema de radiación ultravioleta (radiómetro UV) y también se midió la generación de gases tóxicos (medidor de ozono). Los resultados obtenidos, en virtud de los cálculos realizados y consideraciones implicadas, muestran la generación de una dosis cuyos niveles son iguales o superiores a los necesarios para inactivar a los patógenos objetivos dependiendo del modo de trabajo en el que opera el dispositivo, cumpliendo de esta forma con los objetivos propuestos en un inicio.

**Palabras claves:** Alimentos industrializados, contaminación alimentaria, radiación ultravioleta, esterilización de alimentos.

## 2.1 Abstract

This degree paperwork presents the stages involved in the design and construction process of a sterilization prototype that uses ultraviolet radiation sources at 253.7 nm (UV-C), from the establishment of theoretical and developmental foundations based on the review of works related to the subject of ultraviolet technology and its effects on pathogens.

Among the theoretical foundations, we can find mainly the UV dose, UV intensity, and exposure time. We based the selection of the necessary UV dose in the first instance on the categorization of the materials with which they make industrialized food containers, followed by the analysis of the pathogen population prone to develop in each. With the pathogens identified, we determined an exposure time where we considered the UV intensity provided by the radiation sources.

The sizing of the prototype essentially involved taking measurements of typical industrialized foods offered in a supermarket and the characteristics of a suitable UV radiation source. Additionally, the developed design incorporates easy coupling of parts for easy assembly and disassembly, which is convenient in the execution of periodic maintenance.

For the frame of the device, we used stainless steel as the most relevant material, in addition to glass and plastic (PLA) for some specialized parts; regarding the structure, it is composed of two compartments for sterilization and a control unit correspondingly. Due to its characteristics, an SBC board called Raspberry Pi 3 in its B version was implemented as the core of the system, which greatly facilitated the incorporation of practical elements, such as a touch screen.

Finally, to verify the scope of the device concerning the generation and application of the necessary dose to the products, devices specialized in ultraviolet radiation were used (UV radiometer), and the development of toxic gases was also measured (ozone meter). The results obtained, under the calculations made and considerations involved, show the generation of a dose whose levels are equal to or higher than those necessary to inactivate the target pathogens depending on the working mode in which the device operates, thus fulfilling the objectives proposed at the beginning.

**Keywords:** Industrialized food, food contamination, ultraviolet radiation, food sterilization.

### 3. Introducción

Desde la antigüedad la alimentación ha sido considerada como un elemento primordial para la preservación de la salud humana, por lo que resulta importante mantener un estricto cuidado respecto a la higiene que poseen los alimentos que se llegan a ingerir de manera cotidiana. Pese a ello, la mayoría del tiempo, este tema ha pasado desapercibido cuando el alimento se ofrece dentro de un envase o empaque.

A día de hoy los avances tecnológicos no han cesado y esto ha permitido a la industrialización llegar al sector alimenticio, siendo fuente de una gran cantidad de productos de consumo diario; sin embargo, a pesar de que el sector industrial ha facilitado en gran manera la producción de alimentos, además de la adición de algunas características como una mayor vida útil mediante envases de preservación, también ha traído consigo una mayor preocupación respecto a la higiene que poseen los productos alimenticios que se llegan a adquirir dentro de tiendas o supermercados (sectores “retail”).

Como se puede intuir la preparación de los alimentos provenientes de la industria llega a comprender distintas etapas hasta llegar a su estadia dentro de los sectores “retail”, pudiendo convertirse en una fuente potencial de infección; entre estas se puede mencionar el almacenamiento y transporte, debido a la facilidad que obtienen los productos para entrar en contacto con agentes contaminantes y más aún cuando la limpieza es ineficiente. Vale la pena tener en cuenta que a esto se adiciona la manipulación de los productos por parte de empleados y clientes mientras reposan en las estanterías, y que, por tal motivo, no existe ningún aval de una condición idónea para el consumo.

En los entornos domésticos la desinfección de los productos alimenticios generalmente implica la utilización de elementos químicos, los cuales pueden resultar incapaces de eliminar completamente los agentes patógenos presentes y pueden crear una resistencia al mismo por parte del microorganismo. El uso de este tipo de elementos mantiene vigente la posibilidad de causar una contaminación, es decir, la producción de residuos químicos en los envases que pueden resultar dañinos para la salud cuando se ingieren accidentalmente por algún modo, esto debido a que resultan imperceptibles para la vista humana.

La ingesta de alimentos contaminados o desinfectados incorrectamente tiene repercusiones en la salud del consumidor, llegando a producir enfermedades que van desde diarreas hasta síndromes neurológicos. Estas afecciones pueden llegar a ser letales y por tal motivo han sido clasificadas bajo el nombre de Enfermedades Transmitidas por Alimentos (ETA), por parte de la Organización Mundial de la Salud (OMS), la misma que ha estimado que las ETA llegan a enfermar a 600 millones de personas cada año (10% de la población

mundial) y miles fallecen debido a esta causa. Otro dato para tener en cuenta es que aproximadamente el 40% de la población que padecen de ETA corresponde a niños menores de 5 años (Organización Mundial de la Salud, 2020).

Frente a las desventajas y limitaciones que involucran los métodos tradicionales resulta factible implementar métodos que involucren una desinfección física en lugar de una química o térmica. En este aspecto, la radiación ultravioleta (especialmente UV-C) toma importancia cuando se toma en cuenta los avances obtenidos en los últimos años respecto a las capacidades germicidas de esta tecnología, la cual además de proporcionar una desinfección eficaz y eficiente, es una tecnología no térmica y que no produce residuos químicos.

En base a todo lo anterior mencionado, se estableció como objetivo principal “Construir un prototipo de esterilización empleando radiación UV-C para alimentos industrializados”, a partir del establecimiento de cuatro objetivos específicos, los cuales son “Analizar la documentación más relevante acerca de los métodos de desinfección que involucren la radiación ultravioleta en el campo alimenticio”, “Diseñar un sistema de esterilización que actúe sobre la superficie del envase de alimentos industrializados aprovechando la capacidad germicida de la luz ultravioleta de onda corta”, “Construir el prototipo con base en el diseño desarrollado, considerando los aspectos técnicos inmersos” y “Realizar pruebas de validación de resultados del prototipo”, respectivamente.

Finalmente, de manera breve, se describen los capítulos o secciones que componen el presente documento. En primer lugar, en la sección Marco teórico, se detallan los conceptos claves para el desarrollo del proyecto, lo cual incluye principalmente la radiación ultravioleta, características de envases para alimentos y los patógenos presentes en alimentos y entornos alimentarios. La sección Metodología incluye la descripción de los pasos realizados y los recursos que se utilizaron, mientras que los resultados obtenidos luego de la fabricación del dispositivo se detallan en las secciones Resultados y Discusión, respectivamente. Asimismo, tanto las reflexiones finales como sugerencias para trabajos futuros pertenecientes a la línea de investigación asociada, se muestran en las secciones Conclusiones y Recomendaciones.

## **4. Marco teórico**

A lo largo de la historia los microorganismos han desempeñado varios roles dentro del entorno humano, pudiendo ser beneficiosos, pero también dañinos. En ocasiones se han visto como los responsables de una multitud de estragos a la población humana y como resultado, han venido surgiendo varias técnicas como forma de control para prevenir o contrarrestar su presencia en superficies donde se considere imperativo una condición higiénica.

Las superficies, como las de un envase alimenticio, no están libres de una contaminación puesto que puede ser causada por una variedad de factores, como por ejemplo microorganismos. Dependiendo del tipo, algunos microorganismos pueden resultar más nocivos que otros, pudiendo causar enfermedades graves cuando son ingeridos inintencionalmente a través de un alimento contaminado.

En este aspecto, el procedimiento de esterilización para eliminar o mitigar estos microorganismos de la superficie del alimento, se muestra como una herramienta eficaz para preservar la salud del consumidor y controlar la propagación de enfermedades, de manera que se ofrezcan productos alimenticios inocuos al consumidor final.

### **4.1. Contaminación alimentaria**

Se considera contaminación alimentaria a la presencia de un contaminante en el alimento, que puedan provocar alteraciones en la salud del consumidor. La contaminación se puede producir durante la manipulación del alimento o en las etapas del proceso de fabricación. Sin embargo, existe una mayor susceptibilidad de contaminación durante la cadena de producción y suministro (Wilkinson, 2020).

Se considera contaminante a cualquier sustancia o agente externo que ha entrado en contacto con el alimento. Los contaminantes pueden tener distintos orígenes, pudiendo ser residuos químicos, objetos físicos y microorganismos. Debido a que la contaminación considera el tipo de contaminante para su clasificación, esta puede ser biológica, química o cruzada (Wilkinson, 2020).

#### **4.1.1. Contaminación biológica**

Ocurre cuando un alimento se contamina con microorganismos vivos o sus sustancias, pueden incluir bacterias, virus, moho, hongos y toxinas. También es conocida como contaminación microbiana y se considera como la causa más común de intoxicación alimentaria, para combatir este tipo de contaminación se emplean comúnmente métodos térmicos. Los microorganismos causantes de una contaminación biológica que producen enfermedades (cuando ingresan a un huésped), se denominan microorganismos patógenos o simplemente patógenos (Wilkinson, 2020).

#### **4.1.2. Contaminación química**

Se presenta cuando los alimentos se contaminan por la presencia de sustancias químicas, que pueden ser de origen natural (producidas naturalmente por los alimentos) y artificial (por el uso de productos de limpieza, pesticidas y herbicidas). Las enfermedades producidas por este tipo de contaminación van desde una pequeña gastroenteritis hasta el desarrollo de síndromes hepáticos, renales y neurológicos (Rather et al., 2017; Wilkinson, 2020).

La principal vía de contaminación química se produce en las cocinas domésticas, donde se utilizan con frecuencia productos químicos para la limpieza y desinfección de alimentos, incluso la contaminación puede ocurrir al tratar los alimentos en una superficie que posee subproductos químicos de un proceso de desinfección (Collier, 2019).

#### **4.1.3. Contaminación cruzada**

Consiste en el transporte de contaminantes de un lugar a otro, en el caso alimenticio, usualmente implica una transferencia de microorganismos de algún envase, objeto o persona a los alimentos listos para comer. Comúnmente, se produce por malas prácticas de manejo y afecta gravemente a la seguridad alimentaria (Njunina, 2022). Como ejemplo de esta contaminación podemos tener, la transferencia de bacterias patógenas a través de bolsas o envases desinfectados incorrectamente, microorganismos de alimentos crudos a otros o la manipulación de los alimentos con manos sucias.

#### **4.1.4. Enfermedades transmitidas por alimentos (ETA)**

Son enfermedades producidas por el consumo de alimentos contaminados con agentes patógenos, es decir, bacterias, virus y parásitos. Se ha verificado que, los microorganismos causantes de las ETA, producen enfermedades que van desde gastroenteritis hasta trastornos reproductivos o de desarrollo (Boslaugh, 2016). Como se puede prever, las enfermedades transmitidas por alimentos pueden tener origen en cualquiera de los tipos de contaminación descritos anteriormente.

Asimismo, las ETA, hacen de la inocuidad de los productos alimenticios un problema grave para la industria alimenticia, pues no es posible garantizar la sanidad de los mismos en un entorno con distintas variables contaminantes. Por otra parte, de manera global, cerca de 600 millones de personas resultan enfermas debido a la ingesta de alimentos contaminados, donde un porcentaje considerable es propenso a fallecer cada año (Organización Mundial de la Salud, 2020).

#### 4.1.5. Microorganismos presentes en entornos alimentarios

De acuerdo con Bencko (2020) existen distintos microorganismos que pueden llegar a estar en contacto con los alimentos y cumplir algunos roles, entre estos podemos mencionar a las bacterias probióticas (que ayudan en el procesamiento de alimentos), saprofitos (factor en la biodegradación y deterioro de alimentos) y patógenos (causante de infecciones e intoxicaciones alimentarias).

A nivel de industria, una gran cantidad de microorganismos (principalmente patógenos) se han asociado a la contaminación de las superficies de los alimentos. Se tienen bacterias como *Escherichia coli*, *Shigella spp.*, *Salmonella spp.*, *Serratia spp.*, *Pseudomonas spp.*, *Staphylococcus aureus*, *Listeria monocytogenes*, *Bacillus cereus*, parásitos como *Cryptosporidium spp.*, virus entéricos como norovirus, hepatitis A. Es importante mencionar que las familias *Clostridium* y *Bacillus* (formadoras de esporas) resultan difíciles de mitigar con los desinfectantes tradicionales, pudiendo adherirse completamente y sobrevivir durante largos periodos de tiempo (Chauret, 2014).

Respecto al ámbito nacional, a cargo de Baquero y Pillalaza (2018), se llevó la examinación de las condiciones bacteriológicas de varias decenas de carros de compras utilizados por clientes dentro de supermercados pertenecientes al cantón Quito. En base a ello se pudo identificar la presencia de bacterias coliformes, siendo la *Escherichia coli* como la principal exponente patógena presente en este tipo de ambientes.

#### 4.2. Envases de alimentos industrializados

Los alimentos industrializados son aquellos procesados por la industria alimenticia mediante algún procedimiento industrial con el objetivo de modificar sus características, como sus cualidades nutricionales o su tiempo de conservación. Son fácilmente identificables por sus diferentes presentaciones, por ejemplo, cajas, latas, botellas, etc (Rosales et al., 2021).

#### Figura 1.

Productos más comprados en Ecuador según Dichrer & Neira.



Adaptado de: Productos más comprados por los ecuatorianos, por Ditcher & Neira, 2021, Primicias (<https://www.primicias.ec>). CC BY 2.0

En octubre de 2021, según explica Coba (2021), la empresa ecuatoriana de investigación de mercado Dichter & Neira, luego de consultar alrededor de 350 000 compras en 400 abastecimientos de víveres, pudieron concluir que, en la lista de compra de los ecuatorianos, el primer lugar lo enmarcaban los alimentos provenientes de la industria, tal y como puede observarse en la Figura 1.

El estudio de Ditcher & Neria muestra una fuerte inclinación de los ecuatorianos hacia la compra de productos que se ofrezcan en un envase o empaque, por lo cual la sanidad de éste se debe tomar en cuenta previo al consumo. Cabe mencionar que usualmente este tipo de productos son de más fácil acceso y se ofrecen a un precio menor o igual que otro tipo de alimentos al consumidor final.

En este aspecto, un envase, resulta un elemento esencial pues se añade como forma de preservar la seguridad del contenido, evitando la contaminación y cuidándolo de la manipulación, además de cumplir funciones adicionales como indicar el tamaño y mostrar información sobre el producto. A causa de que las necesidades de cada alimento difieren, existen diferentes tipos de materiales de construcción como vidrio, metal, plástico y derivados de la madera (papel y cartón) (Food Insight, 2020).

#### **4.2.1. Envase de vidrio**

Se presenta principalmente en botellas, frascos, vasos y tarros. Proporciona una excelente barrera contra gases y vapores (como el oxígeno) para los alimentos. Se emplea para preservar zumos, conservas, refrescos y vinos. Su uso en alimentos congelados se ve reducido debido a que posee el riesgo de rotura (BTSA, 2019).

El vidrio se ha utilizado como material de envases durante varios años debido a que ofrece una larga vida útil al producto y es reciclable en su totalidad, además de tener en cuenta de que al proporcionar un envase transparente el estado del producto puede ser observado. Sin embargo, debido a su condición de extremada fragilidad y elevado peso lo repercute en altos costos de transporte y fabricación a gran escala, poco a poco han empezado a ser reemplazadas por las latas de metal (Dube, 2021; Food Insight, 2020).

#### **4.2.2. Envase de Metal**

Es un material opaco utilizado para alimentos sensibles a la luz, permitiendo conservar el producto por más tiempo. Se presenta mayormente en forma de latas de aluminio y acero estañado, aunque debido a la corrosión que puede sufrir el acero, existe un uso predominante del aluminio. Las latas pueden usarse para albergar carnes (pollo, res, cerdo) y pescado, aunque también para cerveza, refrescos, bebidas energéticas y agua (BTSA, 2019; Dube, 2021).

El aluminio es mucho más utilizado debido a su peso ligero, bajo coste y la ventaja de que es reciclable (con un proceso adicional), se puede encontrar en latas, tapas, envoltorios y laminados. Aunque ofrece la misma barrera que proporciona el acero, posee resistencia a la corrosión. Vale la pena mencionar que el papel de aluminio, el cual constan de múltiples capas de aluminio laminado, se utiliza en ambientes domésticos para proteger los alimentos, debido a que es difícil de usar en los modernos equipos de envasado, por las arrugas, rasgaduras y marcas que puede presentar (BTSA, 2019).

#### **4.2.3. Envase de madera (papel y cartón)**

El papel se emplea normalmente para empacar alimentos secos o alimentos grasos, a través de presentaciones en forma de cajas, tubos, fundas, vasos, bolsas y también se emplea para envolver. Además, el papel se puede usar en el laminado de otros materiales con el fin de proveer una resistencia adicional al producto (Vaishnani, 2020).

El cartón es un material formado por varias capas de papel, lo que lo hace liviano pero resistente. Se usa principalmente para la elaboración de cajas, las cuales pueden contener gran variedad de productos, véase por ejemplo cajas de cereales, galletas saladas, mezclas para sopas, pastas, etc. También es posible encontrar un cartón con una textura particular, conocido como cartón corrugado, el cual se puede utilizar para empacar pescados, mariscos congelados, comida rápida y bebidas (vinos) (Dube, 2021).

Es rescatable el hecho de que la elaboración de envases a base de cartón o papel es de bajo costo si se compara con los de metal o vidrio. Además, son ampliamente reciclables y biodegradables, sin embargo, se vuelven vulnerables cuando entran en contacto con agua o humedad, pudiendo llegar a romperse (Ager, 2021).

Por otro lado, según señalan Zaidi et al. (2022), debido a la existencia de fuentes de carbono (como celulosa y almidón) en la composición del papel, se producen condiciones óptimas para el acelerar el crecimiento de varios microbios patógenos y no patógenos en el envase del alimento.

#### **4.2.4. Envase de plástico**

El plástico es un material muy versátil, que ha sido usado ampliamente en el procesamiento y envasado de alimentos durante décadas, protegen contra la contaminación a los alimentos y proveen una resistencia al envase contra factores externos. Aunque existe una gran variedad de tipos de plásticos, los más utilizados en la fabricación de envases son cloruro de polivinilo (PVC), polietileno (como PET, HDPE, LDPE) y poliestireno (PS) (BTSA, 2019).

Los envases de plástico pueden presentarse mayormente en forma de botellas, cuyo uso se aplica específicamente para bebidas como agua (mineral, soda), té helado, café helado, jugos, refrescos y otros tipos de bebidas. También es común encontrarlo en cajas, fundas y bolsas (como bolsas de polietileno) (Dube, 2021).

#### **4.2.5. Microorganismos presentes en envases de alimentos**

En el estudio realizado por Sood et al. (2019), se analizaron varios tipos de envases hechos a partir de cartón y papel, donde se pudieron obtener datos sobre la presencia de bacterias pertenecientes a los géneros *Bacillus*, *Staphylococcus* y *Pseudomonas*, específicamente *B. subtilis*, *P. aeruginosa* (enzimas generadoras de olores) y *B. cereus*, *S. aureus* (asociado con ETA).

Por otra parte, los estudios hechos por Siroli et al. (2017) indicaron que existe presencia de distintos microorganismos en envases hechos a base de materiales plásticos, tales como *Escherichia coli*, *Listeria monocytogenes*, *Pseudomonas aeruginosa* y *Salmonella spp.*, lo cual fue detectado gracias al conteo de placas tradicional y microscopía electrónica de barrido (SEM).

A cargo de Barbosa et al (2019), se evaluaron microbiológicamente decenas de bolsas de plástico (polipropileno) que se ocupaban para transportar alimentos, con el fin de detectar microorganismos presentes en este tipo de empaques. De los resultados arrojados pudieron corroborar la presencia de familias bacterianas como *Enterococcus spp.*, *Staphylococcus aureus* y también *Listeria monocytogenes*. Como dato adicional señalan que no es conveniente fiarse de la apariencia del empaque, debido a que una bolsa aparentemente limpia no significa libre de una población microbiana.

Dawson et al. (2018) analizaron la contaminación de más 194 latas de aluminio mediante la ejecución de tres tipos de experimentos, cada uno con el fin de evaluar aspectos distintos como la limpieza de las latas, la tasa de transferencia microbiológica de las manos a las tapas y la supervivencia de las bacterias durante el almacenamiento. De estos tres, el segundo experimento permitió determinar la presencia de *Escherichia coli* y una probabilidad de transferencia a la tapa del enlatado de más del 50%. En añadidura, el tercer experimento determinó que las latas podían albergar esta bacteria hasta por dos semanas.

En los alimentos enlatados (como el atún), existe una probabilidad de que se presente una contaminación por parte de bacterias patológicas como *Clostridium spp.*, *Salmonella spp.*, *Shigella spp.*, *Campylobacter jejuni* y *Escherichia coli*, las cuales son las responsables de producir diarrea, vómitos y calambres estomacales que pueden durar hasta 2 días después de que ingresan al huésped, según recalca Traister (2018).

Por último, la investigación llevada a cabo por de Vasconcelos Pinto et al. (2015) abordó el análisis microbiano en envases de vidrio relacionados al sector industrial, en el cual identificaron varios tipos de familias bacterianas como *Staphylococcus spp.*, *Bacillus cereus* en distintos porcentajes, predominando *Staphylococcus spp.* con un porcentaje alrededor del 60% de toda la población bacteriana encontrada.

En base a esta revisión, se presenta una compilación de la susceptibilidad microbiana dependiendo del tipo de material en el que se construye el envase, la cual puede ser observada en la Tabla 1.

**Tabla 1.**  
*Población microbiana acorde al material de envase.*

| <b>Material de envase</b> | <b>Población microbiana</b>  |
|---------------------------|--|
| Madera (cartón y papel)   | <i>Bacillus subtilis</i> , <i>Pseudomonas aeruginosa</i> ,<br><i>Bacillus cereus</i> , <i>Staphylococcus aureus</i> .  |
| Plástico                  | <i>Escherichia coli</i> , <i>Listeria monocytogenes</i> ,<br><i>Salmonella spp.</i> , <i>Pseudomonas aeruginosa</i> ,<br><i>Enterococcus spp.</i> , <i>Staphylococcus aureus</i> . |
| Metal                     | <i>Clostridium spp.</i> , <i>Salmonella spp.</i> , <i>Shigella spp.</i> ,<br><i>Campylobacter jejuni</i> , <i>Escherichia coli</i> .   |
| Vidrio                    | <i>Staphylococcus spp.</i> , <i>Bacillus subtilis</i>  |

**Nota.** El termino spp es utilizado para indicar más de una especie del mismo género.

**Fuente:** Recopilado por el autor.

#### **4.2.6. Dosis de inactivación para microorganismos patógenos**

Una dosis que se considere letal para varios patógenos no está estandarizada, esto debido a las características estructurales de la pared celular de cada uno; en el caso de las bacterias que poseen una pared celular relativamente delgada (apenas pueden bloquear la radiación ultravioleta) son muy sensibles y mueren con facilidad con dosis de radiación bajas. Contrariamente a esto, algunas familias poseen una pared celular un más gruesa, por lo tanto, requieren dosis mayores (Chawla et al., 2021).

En el 2016, la Asociación Internacional de Ultravioleta (IUVA), a cargo de Malayeri et al. (2016), presentó ‘*Fluence (UV Dose) Required to Achieve Incremental Log Inactivation of Bacteria, Protozoa, Viruses and Algae*’, último documento emitido por la entidad respecto a dosis UV, se presentan las dosis necesarias para inactivar una amplia gama de patógenos, y donde están incluidas las dosis para los patógenos de interés en este trabajo. A continuación, en la Tabla 2, se presenta el compilado de las dosis necesarias para inactivar estos microorganismos.

**Tabla 2.**

Dosis de inactivación para microorganismos presentes en envases.

| Bacteria                      | Dosis de inactivación (mJ/cm <sup>2</sup> ) |          |       |        |
|-------------------------------|---|----------|-------|--------|
|                               | Madera                                      | Plástico | Metal | Vidrio |
| <i>Bacillus cereus</i>        | x   |          |       | x      |
| <i>Bacillus subtilis</i>      | x   |          |       |        |
| <i>Campylobacter jejuni</i>   |   |          | x     |        |
| <i>Clostridium spp.</i>       |   |          | x     |        |
| <i>Enterococcus spp.</i>      |   | x        |       |        |
| <i>Escherichia coli</i>       |   | x        | x     |        |
| <i>Listeria monocytogenes</i> |   | x        |       |        |
| <i>Pseudomonas aeruginosa</i> | x   | x        |       |        |
| <i>Salmonella spp.</i>        |   | x        | x     |        |
| <i>Shigella spp.</i>          |   |          | x     |        |
| <i>Staphylococcus aureus</i>  | x   | x        |       | x      |

**Adaptado de:** Fluence (UV Dose) Required to Achieve Incremental Log Inactivation of Bacteria, Protozoa, Viruses and Algae (pag. 4-14) por Malayeri et al., 2016. IUVA

De la recopilación presentada se puede establecer que la mayor dosis requerida se define con un valor de 36 mJ/cm<sup>2</sup>, esto perteneciente a la categoría de envases hechos a partir de los derivados de la madera (papel/cartón), y como mínima una dosis de 4,6 mJ/cm<sup>2</sup> para plástico. De la misma manera, se puede concluir que, el material plástico es mayormente susceptible a hospedar agentes microbianos, presentando alrededor de 6 tipos de bacterias, mientras que el vidrio se muestra como el material con menor probabilidad de contaminarse microbiológicamente presentando solo 2 tipos de bacterias.

Según las investigaciones de Kusumaningrum et al., 2003; Wilks et al., 2005, 2006; Martinon et al., 2012, pese a que hay escasez de informes en la literatura que aborden la supervivencia de los microorganismos en los materiales de empaque, varios estudios consultados por sus autores indicaron que los patógenos transmitidos por los alimentos, tienen la capacidad de sobrevivir en las superficies durante horas o días, como se citó en Patrignani et al. (2016).

Como se pudo evidenciar, la investigación realizada, sugiere mayormente una contaminación bacteriana para las superficies de envases, sin embargo, tal y como se vio en los apartados 4.1.4 y 4.1.5, aparte de bacterias, existen otros microorganismos capaces de causar contaminación y enfermedades, los cuales pueden estar en la categoría de virus, parásitos u hongos. El trabajo elaborado por Malayeri et al. (2016) también presenta las dosis para inactivar a estos microorganismos, lo cual se ha especificado en la Tabla 3. Cabe

mencionar que solamente se incluyen aquellos microorganismos que no se presentan en la tabla anterior.

**Tabla 3.**  
*Dosis de inactivación para otros microorganismos.*

| Microorganismo              | Indicador             | Tipo     | Dosis de inactivación (mJ/cm <sup>2</sup> ) |
|-----------------------------|-----------------------|----------|---|
| <i>Cryptosporidium spp.</i> | Industria alimenticia | Parasito | 6   |
| <i>Hepatitis A</i>          | OMS                   | Virus    | 36  |
| <i>Norovirus</i>            | OMS                   | Virus    | 30  |
| <i>Serratia spp.</i>        | Industria alimenticia | Bacteria | 2,2   |
| <i>Vibrio cholerae</i>      | OMS                   | Bacteria | 8,9   |

**Adaptado de:** Fluence (UV Dose) Required to Achieve Incremental Log Inactivation of Bacteria, Protozoa, Viruses and Algae (pag. 4-14) por Malayeri et al., 2016. IUVA

### 4.3. Radiación ultravioleta

Comprende la radiación electromagnética proveniente del sol en el rango de 100 a 400 nm de longitud de onda. Este tipo de radiación forma parte del espectro electromagnético, y también posee otras nomenclaturas como luz ultravioleta o sencillamente UV. Es preciso tener en cuenta que, aunque la energía de la luz ultravioleta es suficiente para romper algunos enlaces químicos, no se considera una forma de radiación ionizante (Helmenstine, 2019; Lucas, 2017).

La luz ultravioleta (UV) se genera de manera artificial y se usa comúnmente para la desinfección, pues penetra en las membranas celulares y daña el ADN de los microorganismos (incluidos los virus) contrarrestando su infecciosidad; dentro de sus aplicaciones se encuentran la desinfección de agua, aire y superficies. No obstante, las longitudes de onda consideradas efectivas para inactivar microorganismos también se consideran dañinas para la piel y los ojos humanos (Sholtes et al., 2021).

Según la Enciclopedia Britannica (2021), la radiación ultravioleta, es indetectable para el ojo humano, pero cuando incide sobre ciertos materiales, puede producir la emisión de radiación electromagnética de menor energía (como la luz visible); es decir, provoca fluorescencia en el objeto en el que incide. Dentro del rango de radiación ultravioleta, se puede encontrar algunas regiones o divisiones del espectro, las cuales comúnmente se detonan con las letras A, B y C; donde la longitud de onda puede comprender de 400 nm a 315 nm (UV-A), 315 nm a 280 nm (UV-B) y 280 nm a 100 nm (UV-C), respectivamente.

#### **4.3.1. Radiación UV-A**

La primera región, conocida como UV-A, emite la mayor longitud de onda y el nivel de energía más bajo de los tres tipos. Su longitud de onda puede ir desde los 315 nm hasta 400 nm y se caracteriza por tener rayos penetrantes (más que los de la UV-B) que pueden producir daños indirectos al ADN de los microorganismos sobre los que incide. Asimismo, emite algunos tipos de oxígeno reactivo intracelular capaces de contrarrestar virus y eliminar bacterias, pese a ello no resulta perjudicial para los humanos al ser expuestos a periodos cortos (Wipro Lighting, 2020).

Debido a que no es absorbida por el ozono atmosférico, representa el mayor porcentaje de radiación UV (aproximadamente 95%). Posee la capacidad de penetrar algunas capas de la piel y producir efectos positivos (como el bronceado), pero también efectos negativos (como manchas y arrugas); de la misma forma, también tiene la propiedad de atravesar nubes y vidrios (Poster et al., 2021; Stouch Lighting Staff, 2020).

#### **4.3.2. Radiación UV-B**

Como segunda región, comprende el rango que va desde 280 nm a 315 nm, y al tener una longitud de onda más larga, posee más energía que la UV-A. Es a partir de esta región, que ya se consideran efectos perjudiciales en los seres humanos, en periodos cortos y largos de exposición; por esta razón, solo un 5% consigue atravesar la atmósfera y, además, este tipo de radiación es asociada con el desarrollo de cáncer en la piel. (Wipro Lighting, 2020).

De acuerdo a Kowalski (2009) y Poster et al. (2021) la longitud de onda que comprende de 280 nm a 300 nm es capaz de penetrar y ser absorbida por múltiples partes de las células de un microorganismo, especialmente por proteínas y nucleótidos. Se ha descubierto que esta segunda región, al igual que la UV-C, puede contrarrestar los efectos de virus a dosis similares, aunque con un nivel inferior de eficacia.

#### **4.3.3. Radiación UV-C**

La última y tercera región, comprende desde los 100 nm hasta 280 nm. Posee la longitud de onda más corta y, como consecuencia, el mayor nivel de energía. Debido a su longitud de onda, los rayos UV-C naturales son absorbidos, casi en su totalidad, por la capa de ozono. Dentro de este rango, la energía emitida cuenta con propiedades germicidas, por ende, es posible emplearla para la inactivación bacteriana y viral (Poster et al., 2021; Wipro Lighting, 2020).

Cabe resaltar que, de acuerdo con una clasificación más específica, se suele denominar al rango de 100 nm a 200 nm como UV de vacío. Contrariamente a la UV-C, las ondas electromagnéticas de la UV de vacío son completamente filtradas por la atmósfera

terrestre a través de la absorción de oxígeno, siendo imposible que lleguen a la superficie terrestre; en consecuencia, sólo pueden propagarse en el vacío (de ahí su nombre). Entre sus aplicaciones, se pueden mencionar su uso en la alta tecnología de ciencia espacial, física de altas energías y electrónica (Poster et al., 2021).

#### 4.3.4. Irradiación Germicida Ultravioleta (UVGI)

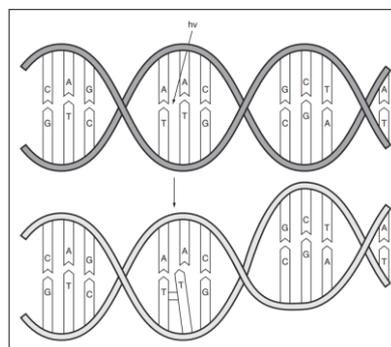
Vecchia et al. (2007) señalan que la propiedad germicida de la radiación ultravioleta es aprovechada desde hace más de cien años, donde el espectro de la UV-C se posicionó como el más eficiente en la inactivación bactericida y viricida. Por esta razón la UV-C es conocida como región germicida.

Se denomina Irradiación Ultravioleta Germicida o UVGI (por sus siglas en inglés), a la aplicación de radiación ultravioleta dentro del rango de 200 a 320 nm (principalmente UV-C) en el aire o superficies, con el fin de limitar la capacidad reproductiva de los microorganismos. La energía emitida produce cambios fotoquímicos en los ácidos nucleicos, que involucran la absorción de la radiación por parte de las proteínas y nucleótidos que componen el ADN y ARN (Kowalski, 2009). Por lo tanto, para comprender el mecanismo de inactivación UV de los microorganismos, es necesario conocer acerca de la estructura del ADN y el ARN.

El ADN es una molécula que posee dos hélices (cadenas) conectadas mediante una secuencia de cuatro nucleótidos llamados adenina, citosina, guanina y timina, los cuales componen el código genético. Estos forman pares de bases (adenina con timina y citosina con guanina) que se conectan a través de puentes de hidrógeno. De la misma manera el ARN tiene cuatro tipos de nucleótidos: adenina, citosina, guanina y uracilo (que reemplaza a la timina), y a diferencia del ADN posee simplemente una hélice (Bolton y Cotton, 2008).

#### Figura 2.

*Dimerización de timina para una molécula de ADN expuesta a UV.*



**Adaptado de:** The Ultraviolet Disinfection Handbook (p. 28) por Bolton y Cotton, 2008, American Water Works Association.

De acuerdo a Bolton y Cotton, (2008), aunque todos los nucleótidos del ADN o del ARN consiguen absorber la radiación ultravioleta, una reacción fotoquímica única ocurre en

la timina. Cuando dos timinas son adyacentes se produce la formación de un enlace químico entre ellas llamado dímero de timina (véase la Figura 2), debido a la absorción de fotones de UV-C. El desarrollo de dímeros de timina perturba la configuración del ADN, de manera que, si un número considerable de dímeros es formado, el ADN pierde la capacidad de replicarse. Para los microorganismos basados únicamente en ARN, se produce una reacción de dimerización fotoquímica equivalente entre dos uracilos.

Es necesario tener en cuenta que, al igual que los desinfectantes químicos, se emplea una determinada concentración y tiempo de contacto para la aplicación de radiación ultravioleta, denominada dosis UV. En consecuencia, el nivel de desinfección depende estrictamente de la dosis que se aplica al microorganismo de interés (Sholtes et al., 2021).

#### **4.3.5. Unidades de medición**

UGVI, dentro de su proceso germicida para aire o superficies, maneja conceptos claves conocidos como intensidad de radiación UV, tiempo de exposición y dosis de exposición UV. La intensidad de radiación UV, conocida también como irradiancia o intensidad de flujo, utiliza microvatio sobre centímetro cuadrado ( $\mu W/cm^2$ ) como unidad de medida y hace referencia a la cantidad de energía por unidad de superficie. Por otra parte, la dosis de exposición UV (fluencia), que se define como el producto de la intensidad de radiación por el tiempo de exposición en segundos, emplea  $mJ/cm^2$  para establecer sus magnitudes. Cabe recalcar que, aunque se pueden emplear otras unidades de medida, las enunciadas anteriormente suelen ser las preferidas en el ámbito de desinfección (Kowalski, 2009; Sholtes et al., 2021).

De esta forma Kowalski (2009) y Rajkhowa (2020) plantean que se puede definir matemáticamente la dosis de exposición UV que capta un microbio objetivo de la siguiente manera:

$$D = E_t * I_R \quad (1)$$

Donde:

- D = Dosis de exposición UV ( $mJ/cm^2$ )
- $E_t$  = Tiempo de exposición (segundos)
- $I_R$  = Intensidad de radiación UV o irradiancia ( $\mu W/cm^2$ )

#### **4.3.6. Niveles de desinfección y reducción logarítmica**

La naturaleza de una acción germicida implica una disminución de los recuentos microbianos presentes (en aire o superficies), por ello es preciso mencionar que las poblaciones microbianas usan unidades formadoras de colonias (“cfu”) como magnitud de

medida, adicionalmente se tiene que para el caso de virus la medida adecuada se denota como “pfu” (unidades formadoras de placa). Sin embargo, por conveniencia, es común utilizar simplemente “cfu” para englobar a la población patógena (bacterias y virus), teniendo en cuenta que, de acuerdo con el medio evaluado, las unidades de “cfu” pueden ser  $cfu/m^2$  (superficies) y  $cfu/m^3$  (aire) (Kowalski, 2009).

**Tabla 4.**  
*Reducción logarítmica de microorganismos.*

| Escala logarítmica | Porcentaje de reducción |
|--------------------|-------------------------|
| 1 log              | 90%                     |
| 2 log              | 99%                     |
| 3 log              | 99.9%                   |
| 4 log              | 99.99%                  |
| 5 log              | 99.999%                 |

**Fuente:** Luminus, 2020.

Es evidente que el proceso de desinfección puede evaluarse de acuerdo con la reducción de la densidad patogénica presente en el medio, sin embargo, comprobar que la población microbiana se ha eliminado totalmente, resulta complejo debido a las limitantes que poseen las pruebas microbiológicas. En este aspecto se reconoce que una esterilización es efectiva cuando se produce al menos una reducción de cinco niveles dentro de la escala logarítmica (véase Tabla 4) para aplicaciones de desinfección de aire, criterio aplicable a la desinfección de superficies debido a que los eventos que producen la polución del aire y contaminación de superficies, hacen que ambos procesos resulten casi idénticos cuando se emplean en las industrias de producción, principalmente en la de alimentos y de salud (Kowalski, 2009).

#### **4.3.7. Desinfección de superficies mediante radiación ultravioleta**

Se considera a la desinfección de superficies como la aplicación más veraz y previsible de la radiación ultravioleta, pues sus propiedades la convierten en un medio muy eficaz para controlar el crecimiento microbiano y lograr la esterilización de la mayoría de los tipos de superficies. En este aspecto, para desinfecciones superficiales, se engloba la desinfección de productos farmacéuticos, áreas, serpentines de enfriamiento, bandejas de drenaje y quirófanos, aunque se destaca que usualmente tales aplicaciones ocupan el uso de lámparas UV descubiertas y por ende puede existir riesgos de UV asociados con ellas. El uso de UV también es muy frecuente en la industria del embalaje y en la industria alimentaria, donde se usa para irradiar las superficies de los alimentos (Kowalski, 2009).

Un reciente estudio elaborado por Bartolomeu et al. (2022), evaluó la eficacia de la radiación UC-V en la descontaminación de superficies inanimadas (plástico, metal, madera y

vidrio). Los resultados obtenidos muestran que las superficies de plástico, metal y madera necesitaron alrededor de un minuto para lograr la inactivación patogénica hasta el límite de detección del método utilizado, en comparación con el vidrio el cual requirió un tiempo total de 30 segundos. Cabe resaltar que, en los experimentos, se emplearon lámparas UV-C con una emisión máxima de 254 nm.

Debido a que la transmisividad UV tiende a ser muy baja para la mayoría de los materiales, incluso en espesores milimétricos, de producirse una fotodegradación, ésta se producirá en la superficie inmediata de un material, a una profundidad típicamente inferior a 0,01 a 0,1 milímetros. Para los polímeros más comunes, la profundidad de penetración de los rayos ultravioleta es normalmente de aproximadamente 0,025 mm a 0,050 mm, es decir, de 25 a 50 micras (Brais, 2017).

#### **4.3.8. Fuentes de radiación ultravioleta**

Aunque se considera a la región UV-C como región germicida, usualmente no se emplea todo el espectro que esta comprende. Esto se debe a la capacidad de absorción que tienen las bases nitrogenadas del material genético, lo cual ha enfocado el desarrollo de fuentes de radiación cerca del rango de absorción de éstas, es decir de 250 a 270 nm (Allegra, 2021; Bergman, 2021).

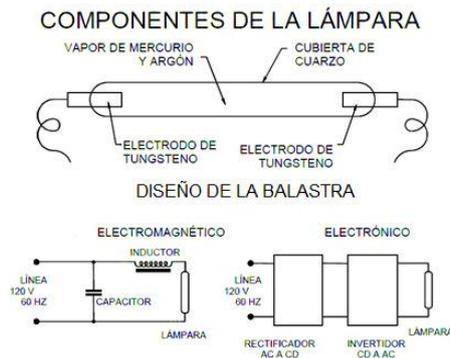
Es importante mencionar que casi todas las fuentes basadas en luz ultravioleta utilizan únicamente el espectro UV-C, exceptuando un pequeño grupo que implementa pulsos de alta intensidad de todo el espectro; por lo cual, las lámparas de mercurio de baja presión se han posicionado como las de mayor demanda para aplicaciones que implican una actividad germicida (Allegra, 2021).

**4.3.8.1. Lámparas de mercurio de baja presión (LPM).** Particularmente, este tipo de radiación, se ha venido generando mediante lámparas a base de mercurio de baja presión (LMP), ya que más del 90% de la energía radiada se encuentra en la línea de emisión de 254 nm, específicamente 253,7 nm (Bergman, 2021), lo cual es bastante cercano a los espectros de absorción de los nucleótidos del material genético.

Actualmente, en lo que respecta a la generación de radiación germicida, las LPM siguen siendo el método más práctico y eficiente. Comparten similitudes con las lámparas fluorescentes en lo que respecta a potencia y debido a que también requieren la implementación de un equipo auxiliar (balastra) para su operación. Sin embargo, no contienen fósforo y están construidas con un vidrio especial, el cual logra transmitir alrededor del 80% de la energía ultravioleta generada por la descarga de mercurio con una longitud de onda de 253,7 nm (Bergman, 2021).

Este tipo de lámparas, según Stines (2020), pueden presentarse en una gran multitud de configuraciones, aunque todas comparten características como que la envoltura de la lámpara se construye en vidrio (de cuarzo o blando), contienen un gas (argón, mezcla de argón/neón o una mezcla especial), poseen una pequeña cantidad de mercurio (líquido o sólido) dentro de la lámpara, existen dos electrodos (dentro de la envoltura de la lámpara) y la base de la lámpara es la encargada de entregar la corriente entrante a los electrodos.

**Figura 3.**  
*Estructura típica de lámpara LPM.*



**Adaptado de:** Wright y Cairns (1998), Equipos para Tratamientos de alimentos con radiación UVC (p. 151) por Antonio-Gutierrez et al., 2012, Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos.

La Figura 3 esquematiza los componentes inmersos en el funcionamiento de este dispositivo, de modo que la estructura general de una LMP puede concebirse de una mejor manera. Adicional a ello, también se presenta la circuitería interna del balastro en sus dos versiones posibles, electromagnético y electrónico, respetivamente.

De acuerdo con GLA (2020) existe otra línea de resonancia que puede presentarse en las LPM (185 nm), con una eficiencia alrededor de la quinta parte de la emisión normal. Se considera aplicable para tareas de desinfección, pero cuenta con la desventaja de generación de ozono por la elevada energía concentrada en sus fotones. Es por ello que se pueden encontrar dos clases de LMP en la región UV-C, las que únicamente generan radiación a 254 nm y las que pueden emitir ambas líneas, es decir 185 nm y 254 nm.

Otro aspecto a tener en cuenta es que, cuando los rayos ultravioletas (de una longitud de onda menor a 200 nm) rompen los enlaces del oxígeno atmosférico (O<sub>2</sub>), dejan átomos de oxígeno de libres, que pueden reaccionar con otras moléculas de oxígeno y formar ozono (O<sub>3</sub>), el cual generalmente se crea en la atmósfera superior. Para los humanos, la exposición a ozono puede producir irritación de fosas nasales e inducir náuseas, y la exposición a largo plazo posibilita el desarrollo de una inflamación pulmonar (Salas et al., 2020).

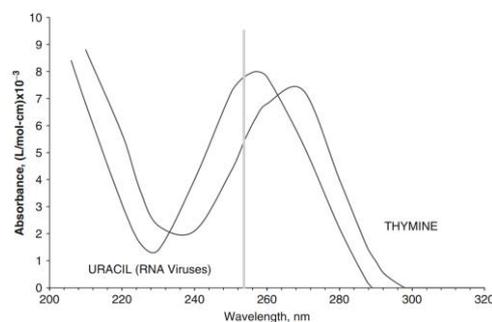
Generalmente este tipo de lámparas poseen una vida útil más corta que otras, debido a que deben mantener su longitud de onda en un único valor (253,7 nm) a través del vidrio,

de modo que la calidad de este lleva a influir significativamente en la línea de emisión, llegando a descender hasta en un 70% conforme aumenta su tiempo de uso, es decir alrededor de unas 7000 horas aproximadamente (Bergman, 2021).

Como se había mencionado, el efecto de la radiación ultravioleta se basa en la construcción de dímeros de timina (para ADN) y uracilo para (ARN) con el fin de alterar la estructura celular. La Figura 4 plantea la comparación del espectro de absorción de estos dos nucleótidos para la longitud de onda emitida por las LPM (253,7 nm), donde se puede observar que el uracilo presenta una mayor absorción en comparación con la timina.

#### Figura 4.

*Espectro de absorción de timina y uracilo para lámparas LPM.*



**Adaptado de:** Ultraviolet Germicidal Irradiation Handbook (p. 28) por Kowalski, 2009, Springer Belin Heidelberg.

**4.3.8.2. Diodos emisores de luz ultravioleta (LED UV-C).** Los LED UV-C son bastante similares a los LED convencionales que irradian luz visible (como los usados en iluminaciones interiores), con una diferencia clave en la longitud de onda emitida. Tienen la cualidad de ser monocromáticos por lo cual su emiten específicamente una determinada longitud de onda, en este caso de 265 nm para tener una eficacia germicida (Stines, 2020).

Actualmente se fabrican en un rango de operación que abarca de 265 nm a 270 nm, aunque es posible encontrar fuentes de este tipo que irradien energía a 255 nm. Entre sus aplicaciones se pueden mencionar su uso para la desinfección tanto de aire como de superficies (Bergman, 2021).

Según menciona Bergman (2021), la tecnología LED presenta dos inconvenientes potenciales cuando se emplea para aplicaciones germicidas, primeramente, es importante señalar que la línea de emisión máxima tiende a variar alrededor de 5 nm en cualquier dirección, es decir mayor o menor longitud de onda, e inclusive su espectro puede cambiar al de UV-B. También sufren de problemas de disipación de calor, razón por la cual su longitud de onda cambia a medida que se eleva la temperatura de los componentes internos.

Stines (2020) explica que el mercado de LED-UVC aún se encuentran en desarrollo para mejoras de rendimiento y aumento de vida útil, lo cual ha reducido la gama de

aplicaciones para productos comerciales, limitándose únicamente en la implementación para equipos pequeños y que no requieran una potencia elevada. Sin embargo, también menciona que es una buena opción cuando es imprescindible la ausencia de mercurio en la tecnología de desinfección.

**4.3.8.3. Otras fuentes de radiación artificial.** Existen fuentes más complejas, como las lámparas de arco de xenón continuas y pulsadas, que se utilizan para aplicaciones especiales, en particular para estudios en los que se necesitan grandes cantidades de UV-C. A menudo, las fuentes de xenón pulsadas se utilizan para estudios científicos en los que la salida de estas lámparas se hace pasar por un monocromador para estudiar el efecto, por ejemplo, de inactivación de virus, en función de la longitud de onda (Bergman, 2021).

Se conocen también como tubos o lámparas de destellos y por lo general, se construyen a base de un tubo de cuarzo lleno de gas de xenón. Contrariamente a las lámparas UV convencionales, en lugar de emitir de manera continua energía UV emiten múltiples pulsos cortos, pero de potencia elevada en un amplio espectro, el mismo que abarca de 200 a 1100 nm. Debido a su naturaleza, el número de pulsos y su duración varían dependiendo de su diseño, aunque suelen emitir hasta 120 veces por segundo (Stines, 2020).

#### **4.4. Métodos de esterilización de alimentos**

El procedimiento de esterilización tiene como objetivo la mitigación o eliminación de agentes contaminantes que puedan ejercer daños al producto alimenticio o problemas de salud en sus consumidores (Jildeh et al., 2021). Según Rahman (2007), la esterilización en alimentos puede ser realizada de dos maneras, en primer lugar, tenemos la esterilización térmica y en segundo, la esterilización no térmica.

##### **4.4.1. Esterilización térmica**

Consiste en la aplicación de calor húmedo o seco a los microorganismos, lo cual provoca la descomposición de sus macromoléculas. Los métodos térmicos generalmente no implican un coste elevado, por esta razón son ampliamente utilizados en la industria alimentaria; sin embargo, se ha descubierto que la aplicación del calor puede deteriorar la calidad o reducir las propiedades nutritivas en algunos tipos de alimentos. Cabe resaltar que tanto frutas como verduras no pueden ser esterilizados directamente mediante tratamientos térmicos (Madubhashini, 2022).

La desventaja que posee la esterilización térmica es que algunas bacterias son termorresistentes y no se ven afectadas al ser expuestas al calor y un pH bajo; por ende, podrían reactivarse si se propicia un entorno óptimo. Por lo tanto, este método, resulta ineficaz al no poder combatir ciertos tipos de bacterias (Maxwell, 2016).

**4.4.1.1. Calor seco.** Implica únicamente un aumento de temperatura en el objeto, que puede ser un paquete, producto enlatado o producto empaquetado. Esto se logra mediante la aplicación de energía a través de una fuente de calor, la cual opera por un cierto tiempo hasta que el objeto alcanza un valor de temperatura letal para los patógenos presentes. Se suelen emplear técnicas como radiación de microondas (calentamiento molecular) y despirogenización (Jildeh et al., 2021).

Tankeshwar (2022) señala que este método requiere bastante tiempo para lograr efectividad debido a que el calor posee una tasa lenta de penetración. Además, recalca que, las temperaturas altas no son idóneas para la mayoría de los materiales, como por ejemplo los envases hechos de plástico, los cuales no se pueden esterilizar mediante este método puesto que no lograrían resistir la inyección de calor en altas temperaturas, por tanto, se puede concluir que la sobreexposición podría arruinar la integridad de algunas sustancias.

**4.4.1.2. Calor húmedo.** Consiste en aplicar vapor saturado de temperatura elevada a alta presión. Se usa mayormente el campo de medicina para esterilizar equipos multiuso, ampollas de vidrio, viales, jeringas y recipientes de plástico; pese a ello, también es común su uso en otros campos, como el alimenticio. Normalmente, para esterilizar con este método, se emplean recipientes metálicos denominados autoclaves (Jildeh et al., 2021).

Debido a su naturaleza la aplicación de este método puede ser un riesgo potencial de quemaduras para los operadores, además de que puede alterar la composición física en instrumentos sensibles al calor, al mismo tiempo tiene la probabilidad de producir residuos de agua dejando mojados los equipos e instrumentos utilizados y provocando su oxidación según menciona Tankeshwar (2022b).

#### **4.4.2. Esterilización no térmica**

El tratamiento no térmico prescinde completamente de altas temperaturas y consigue destruir la pared celular de los microorganismos provocando su muerte; de la misma manera, evita que se formen productos o subproductos indeseables en la superficie del alimento. A diferencia del método térmico, en este tipo de procesamiento, los alimentos son sometidos a temperaturas ambiente, en consecuencia, los materiales nutritivos sensibles al calor no resultan afectados (Jadhav et al., 2021).

Chacha et al. (2021) plantearon que la esterilización no térmica se puede manejar mediante dos tipos de procesos, como son: procesos químicos (tratamiento con ozono y plasma frío) y procesos físicos (campo eléctrico pulsado, procesamiento de alta presión, radiación ultravioleta, luz pulsada, ultrasonido y radiación ionizante). Los métodos aplicables para el caso de alimentos envasados o empaquetados son los procesos físicos como campo

eléctrico pulsado, radiación ionizante, radiación ultravioleta (no ionizante) y en menor proporción procesos químicos (esterilización química).

**4.4.2.1. Esterilizantes químicos.** Se refiere al empleo de una sustancia con propiedades microbicidas, capaz de perturbar el material genético (ADN o ARN), desactivando una o todas las funciones celulares con el objetivo de causar el deceso del microorganismo. También puede causar la inhibición de la síntesis de proteínas o la actividad enzimática, proporcionando daño directo a la membrana y la pared celulares (Jil deh et al., 2021).

Los esterilizantes químicos de mayor uso para la esterilización de superficies alimentarias son el óxido de etileno, el ozono, el gas de dióxido de cloro, el ácido peracético y peróxido de hidrógeno, los cuales difieren en su forma de aplicación dependiendo de las propiedades de la sustancia y las características del equipo esterilizante (Jil deh et al., 2021), como resultado, el método químico se puede ser abordado desde dos categorías las cuales son esterilización líquida y gaseosa (Sapkota, 2021).

La esterilización gaseosa consiste en la exposición de objetos a diferentes gases, comúnmente, dentro de cámara cerrada. Aunque se considera bastante efectiva, existe el problema de la liberación de algunos gases tóxicos durante el procedimiento que deben eliminarse regularmente del sistema; tal es el caso del ozono, el cual posee una naturaleza inestable y reactiva, por lo que solo debe usarse en una concentración de 5 ppm (partes por millón) para no considerarse nocivo para los humanos (Sapkota, 2021). La esterilización por gas o vapor es la práctica de esterilización común en las industrias de atención médica, médica y alimentaria (Jil deh et al., 2021).

La esterilización líquida se basa en sumergir un producto en un esterilizante líquido (como peróxido de hidrógeno e hipocloritos) con el objetivo de inactivar todos los microorganismos contaminantes. Pese a que no es tan efectiva como la gaseosa, es apropiada en condiciones donde hay un bajo nivel de contaminación, debido a su bajo poder de penetración (Sapkota, 2021).

**4.4.2.2. Procesamiento de alta presión (HPP).** Opera en productos alimenticios empacados (in-pack), sometiéndolos a niveles de presión elevados (400 a 600 MPa) en intervalos de 1 a 6 minutos, con niveles de temperatura ambiente o temperaturas bajas. Se considera efectivo en la inactivación de levaduras y mohos, virus y bacterias vegetativas, conservando la mayoría de las características organolépticas y nutricionales de los alimentos (Hiperbaric, 2021).

Los alimentos que se someten a HPP deben permanecer a temperaturas frías o en refrigeración luego del procedimiento, esto para ser más efectivo en la inactivación las células

microbiológicas. De la misma manera se ha descubierto que solo el plástico es el idóneo para el empaque de productos que se someten a este tipo de proceso, debido a que requiere una compresión total de al menos un 15%, por ello restringe el empleo de más tipos de materiales de empaquetamiento (Huang et al., 2017).

**4.4.2.3. Radiación ionizante.** La esterilización por radiación ionizante incluye métodos como la aplicación de rayos gamma, haces de electrones (E-Beam) y rayos X. La forma de operar de estos métodos es similar, pues en los tres casos los alimentos a granel o envasados atraviesan una cámara de radiación encima de una cinta transportadora. De esta manera se envía una energía considerable a patógenos presentes en los envases con el fin de producir la ruptura de sus enlaces químicos, así dejan de multiplicarse, lo cual reduce el deterioro y disminuye la privacidad de transferir enfermedades a los consumidores (EPA, 2022).

Por otro lado, Morehouse y Komolprasert (2018) explican que, cuando un empaque se esteriliza mediante radiación ionizante existe una probabilidad de que su integridad sufra cambios y pierda eficacia como barrera contra la contaminación microbiana. Asimismo, podría producir residuos de radiólisis (ruptura de enlaces químicos) que pueden ser transferidos a los alimentos alterando sus propiedades (olor o sabor) y por ende hacer que el alimento no sea seguro o apto para el consumo humano.

**4.4.2.4. Irradiación ultravioleta germicida (UVGI).** UVGI actúa inactivando microorganismos mediante la emisión de radiación ultravioleta en el espectro de UV-C, es decir a través de radiación no ionizante. Esta tecnología ofrece aplicabilidad en múltiples escenarios como en la esterilización de alimentos, aire y agua (Lima et al., 2018; Salas et al., 2020).

Comúnmente los dispositivos que utilizan esta tecnología se denominan dispositivos UVGI, y hacen referencia a aquellos con la capacidad de producir suficiente luz UV-C en los sistemas de desinfección, creando ambientes inhóspitos para las bacterias, virus, mohos y demás patógenos. Adicionalmente se tiene que, para desinfectar medios como el aire y el agua, se pueden combinar con dispositivos de filtración para producir mejores resultados (Salas et al., 2020).

La exposición a rayos UVGI puede esterilizar cualquier superficie con el tiempo suficiente. En teoría, los niveles bajos de irradiación también podrían controlar cualquier crecimiento microbiano con un tiempo de exposición continuo. Sin embargo, en la práctica, podría haber grietas, áreas sombreadas, donde los rayos UV no puedan penetrar por completo. Por lo tanto, es importante usar un nivel calculado de irradiación, así como

superficies reflectantes para asegurar una exposición completa de toda la superficie desde todos los ángulos (Kowalski, 2009).

Es importante mencionar que UVGI tiene el potencial para obtener mejores resultados que otras técnicas de conservación siempre y cuando se emplee una dosis adecuada, logrando mantener la calidad y valor nutritivo del producto mientras esté almacenado, además de que tiene la posibilidad de contrarrestar el virus causante de COVID-19, según menciona Bisht et al. (2021).

Singh et al. (2021) sostiene que los últimos avances en ingeniería han propiciado el desarrollo de nuevos sistemas UVGI con una intensidad optimizada y una mejor penetración para aplicaciones en alimentos. También menciona que, a nivel de industria alimenticia, la tecnología UV-C ha demostrado ser más eficiente y económica que sus contrapartes convencionales.

### **Consideraciones generales sobre desinfección ultravioleta en superficies**

Como se había mencionado anteriormente, la luz ultravioleta puede ser utilizada para desinfectar distintos medios como aire, agua o superficies. Específicamente para superficies se toman algunos aspectos importantes para los sistemas de desinfección UVGI como:

- La desinfección de superficies se mide en términos de reducción de ufc/cm<sup>2</sup>.
- Se puede asumir que la esterilización en superficies representa una tasa de desinfección igual o mayor a cinco logaritmos.
- Los microbios en las superficies parecen tener un cierto grado de protección por las diversas áreas sombreadas que pueden generarse debido a las características del envase, por ende, se requiere emitir energía desde más de un foco de radiación.
- Debido a su condición de onda corta, los rayos UV, no pueden ir más allá de la superficie del envase, por lo que se proporciona una desinfección superficial.
- Se debe considerar la generación de ozono en espacios cerrados.
- Se deben irradiar envases alimentarios libres de grasa o polvo para no contrarrestar efectividad al proceso de irradiación.
- Se debe determinar un volumen idóneo para el proceso de desinfección acorde a las características del objetivo.

**4.4.2.5. Contraste de métodos.** A continuación, en la Tabla 5, se plantea un contraste acerca de los métodos anteriormente descritos, destacando sus principales pros y contras en la esterilización de superficies alimentarias y envases de alimentos.

**Tabla 5.**  
*Contraste de métodos de esterilización para envases de alimentos.*

| <b>Método</b>                 | <b>Pros</b>   | <b>Contras</b>  |
|-------------------------------|---|---|
| Calor Seco                    | -Procedimiento sencillo<br>-Múltiples técnicas  | -Requiere bastante tiempo para producir una alta efectividad<br><br>-No es ideal para la mayoría de los materiales  |
| Calor Húmedo                  | -Mejor técnica térmica<br>-Aplicación en equipos multiuso   | -Potencial de quemaduras<br>-Restringe el uso de ciertos instrumentos   |
| Química                       | -Daño directo a la membrana celular.<br>-Gran variedad de productos químicos<br>-Puede utilizar gas o líquido   | -Produce subproductos de desinfección<br>-Los microorganismos pueden desarrollar resistencia a ciertos productos químicos<br>-Riesgos de producir gases tóxicos |
| Procesamiento de alta presión | -Corto tiempo de ejecución<br>-Operación en cualquier temperatura   | -Condiciones específicas después del tratamiento<br>-Restricción para ciertos materiales de envases<br>-Complejo, únicamente a nivel industrial                 |
| Radiación ionizante           | -Amplia gama de tipos de radiación<br>-Eficiencia total contra patógenos  | -Probabilidad de daño al envase<br>-Capaz de producir radiólisis  |
| UVGI                          | -No produce subproductos de desinfección<br>-Capacidad de combinación con otras tecnologías<br>-Continuos avances respecto a la industria alimenticia<br>-Eficiente y económica | -Probabilidad de producir ozono en ciertas fuentes<br>-Riesgo de daños por manipulación incorrecta  |

**Fuente:** Elaborado por el autor.

#### **4.5. Radiación ultravioleta en la industria alimenticia**

La luz ultravioleta ha venido formando parte de los procesos de la industria alimentaria desde varios años atrás, esto se debe a que la desinfección que proporciona es una de las mejores formas de eliminar los patógenos presentes en alimentos y bebidas de manera segura y eficaz, y que, como consecuencia, permite reducir las posibilidades de desarrollar problemas de salud en los consumidores (Sutelco, 2021). Además, según Kowalski (2009),

el uso de los rayos UV se ha enfocado principalmente en el control del moho y bacterias en las instalaciones que procesan los alimentos, de manera especial en queserías, panaderías y cervecerías.

La esterilización de superficies en contacto con alimentos se plantea como la aplicación más común dentro de esta industria. Abarca la descontaminación de materiales de embalaje, como contenedores, envoltorios, tapas de botellas y cintas transportadora, resultando esta última especialmente útil en la industria cárnica para el procesamiento de carne (Johnson, 2021).

Koca et al. (2018), de igual manera, sostiene que este tipo de radiación para la desinfección de materiales de envasado se empieza a generalizar a nivel industrial. Esto es debido a que, mediante la aplicación de dosis adecuadas de radiación, el porcentaje de población microbiana presentes en la gama de superficies de materiales de empaque (cajas, cartones, láminas, películas, envoltorios, contenedores, botellas, tapas y cierres) se puede disminuir o eliminar totalmente. Tal es el caso de la industria láctea donde ha sido útil para eliminar agentes microbianos en envases (yogur y leche), mantequilla, tarrinas, botellas, recipientes, tapas y láminas según se menciona en el estudio hecho por Chawla et al. (2021).

Además, Singh et al. (2021) indican que, puede ser aplicada directamente en la superficie del alimento (sin envase), como jugos de frutas y vegetales, agua de coco, leche, queso, productos cárnicos, mariscos, frutas, verduras y cereales, lo cual es sustentado mediante la presentación de tablas que contienen las condiciones de inactivación microbiana (fuente, longitud de onda, tiempo de exposición, la distancia entre la fuente y el producto y la dosis de irradiación), información recogida en base a estudios consultados para la elaboración de su documento.

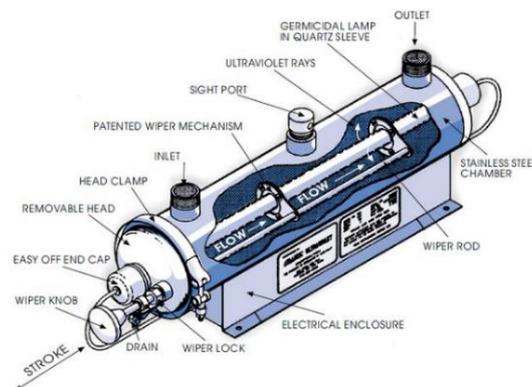
#### **4.5.1. Dispositivos o métodos de desinfección UV**

Según mencionan (Singh et al., 2021), dentro de la industria alimenticia, la radiación ultravioleta (UV-C) se ha aplicado en el diseño de sistemas de procesamiento o equipos para alimentos líquidos y sólidos, aunque particularmente su uso se ha inclinado para descontaminación de superficies de alimentos sólidos.

Se debe tener en cuenta que el método que aplica un determinado dispositivo depende de las características del alimento, es decir su estructura varía acorde a la naturaleza que posea el objetivo. Debido a ello es común observar diferencias en el tratamiento para un alimento líquido respecto al que se aplica para uno sólido, este aspecto prepondera en el diseño de una estructura, pues la forma de un determinado volumen puede resultar más apto para ciertos productos.

**4.5.1.1. Reactores UV.** Se emplean en el procesamiento de alimentos líquidos. Estos dispositivos incorporan en su interior lámparas UV, cada una ubicada en un tubo de cuarzo protector con una cierta distancia de separación al líquido con el fin de que se evite el contacto directo, de esta forma fluye fácilmente y se expone a la radiación produciendo la inactivación de los microorganismos. Los parámetros más importantes en el diseño de un reactor UV son las propiedades (físicas, químicas y microbiológicas) y la cantidad de líquido que pasa. En este tipo de dispositivos se acostumbra a eliminar sedimentos y turbiedad en líquidos mediante filtros sensibles para aumentar la eficiencia de desinfección (Koca et al., 2018).

**Figura 5.**  
*Reactor UV para líquidos.*



**Adaptado de:** Advanced technologies for wastewater treatment by UV – a review (p. 478) por (Zábavá et al., 2018). ResearchGate

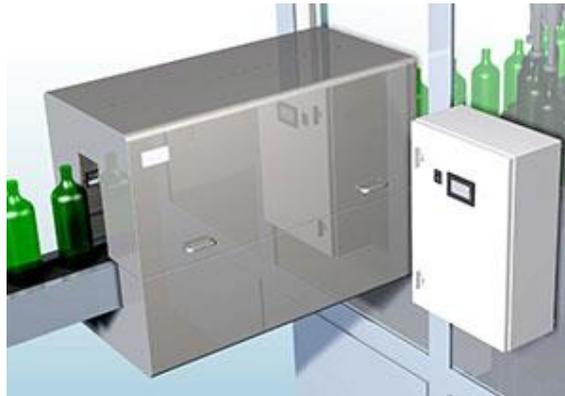
Los reactores UV pueden construirse en una amplia gama de formas, aunque mayormente se presentan en una estructura cilíndrica (como se muestra en la Figura 5). Debe señalarse que, debido a la uniformidad de la velocidad de flujo y la intensidad de la radiación, las dosis recibidas a lo largo del reactor suelen diferir. En respuesta a este inconveniente es posible emplear un flujo laminar (misma dirección y volumen) o turbulento (distinta dirección y volumen), cuando se realiza el tratamiento en reactores. Nuevamente los resultados obtenidos dependerán principalmente del tipo de líquido, ya que en ocasiones resultará mejor utilizar un flujo turbulento y en otras uno laminar (Artichowicz et al., 2020).

**4.5.1.2. Cabinas y túneles UV.** Las cabinas UV se utilizan comúnmente para el tratamiento UV en la superficie de alimentos sólidos, aquí resaltan la cantidad y posición de las lámparas como los factores trascendentales en la eficacia de la desinfección. Ofrece la ventaja de poder exponer uno o todos los lados de un alimento (según se requiera), utilizando un soporte o una película (material de embalaje). Cabe destacar que cuando se exponen todos los lados de un producto alimenticio, es esencial aumentar la cantidad de lámparas y utilizar una película para obtener mejores resultados (Koca et al., 2018).

Con respecto a los túneles UV, estos operan con un procesamiento dinámico; es decir, trabajan con los productos en movimiento, estos son trasladados a través de una cinta

transportadora y son recibidos en el extremo final, tal como se observa en la Figura 6. Las dimensiones (ancho y altura) se diseñan de acuerdo con las necesidades de la industria y el tiempo de aplicación de UV se configura dependiendo de la velocidad a la que opera la banda. Ofrecen comodidad debido a que pueden agregarse en el punto deseado de la línea de producción y su uso en el procesamiento industrial resulta práctico por la cantidad de productos (Koca et al., 2018).

**Figura 6.**  
*Túnel UVGI para botellas.*



**Tomado de:** UV germicidal tunnels por BCB (2020). BCB (<https://www.bcbsl.com>).CC BY 2.0

Evidentemente la luz ultravioleta puede aplicarse para descontaminar las bandas transportadoras, lo cual se realiza mediante la instalación adicional de un módulo hermético que permite asegurar su exposición a UV conforme pasa. Este tratamiento ha permitido reducir los gastos en agua y energía, puesto que se evita la necesidad de cuantiosos lavados completos durante el procesamiento (Johnson, 2021).

#### **4.6. Características de alimentos industrializados**

La característica principal de un alimento industrializado es que proviene de la industria alimenticia, donde se lo procesa y se adiciona con diversas sustancias y aún más importante, donde se le provee de un empaque o envase para su distribución. Actualmente existen múltiples formas de envases, por lo que sus dimensiones varían acorde al tamaño de su contenido, en este aspecto, se hace necesario conocerlas con el fin de proveer un volumen adecuado para el proceso de esterilización.

El lugar más común para obtener este tipo de alimentos son los supermercados (sectores retail), en este caso se acudió al supermercado más grande de la parroquia de Malacatos, conocido como “ECONOMATO POPULAR”, el objetivo de esta visita fue obtener las características dimensionales de los alimentos industrializados que se ofertan ayudados de una cinta métrica como puede verse en el Anexo 1. Se analizaron cerca de 140 productos,

de los cuales se tomó sus dimensiones y tipo de envase, información que fue recopilada usando una tabla que puede verse en el Anexo 2.

En base a la investigación realizada se pueden establecer ciertas características importantes para la determinación de un espacio adecuado de esterilización:

- Las dimensiones de los productos cuentan como medidas máximas 32,5 cm (alto), 22 (largo) 16,9 (ancho) y como mínimas 3 cm (alto), 5 cm (largo) y 2 (ancho).
- Debido a la forma de un envase es posible que alto, largo y ancho puedan intercambiarse, es decir el alto se podría considerar como ancho o largo como ancho dependiendo de cómo se coloque dentro de un volumen.
- El peso máximo se establece en 4000 gramos y como mínimo 12 gramos.
- Algunos envases presentan combinaciones de materiales para su construcción, por ejemplo, un envase de vidrio puede llevar etiquetas de papel.

De esta manera se puede concluir que, un prototipo, debe cumplir con las dimensiones que provean un determinado volumen en base a las medidas de los productos, además debe proporcionar un soporte suficiente para poder introducir el peso máximo que se menciona.

#### **4.7. Instrumentos de operación**

##### **4.7.1. Unidad de procesamiento**

Debido a las necesidades del proyecto, se presta atención a la serie de microprocesadores llamada Raspberry Pi, la cual ofrece las características necesarias para comandar correctamente la ejecución de las operaciones que se implementarán.

Se denomina Raspberry Pi a una serie de computadoras de placa única (SBC) desarrollada por la Raspberry Pi Foundation, una organización de Reino Unido. Fue diseñada con fines educativos en el ámbito informático y ha conseguido desarrollar una gran cantidad de seguidores en las comunidades de fabricantes debido a su tamaño compacto, entorno completo de Linux y pines de entrada y salida de propósito general (GPIO) (van Schooneveld, 2020).

Entre las presentaciones de Raspberry Pi, destacan los modelos B, que ofrecen características adicionales y la posibilidad de incorporar más periféricos. Para fines de desarrollo se optó por incorporar exactamente la tercera generación de la Raspberry Pi original, es decir Raspberry Pi 3 Model B. Esta placa cuenta con 40 pines, 4 puertos USB, puerto ethernet, conexión Wi-Fi, bluetooth, entre otras cosas, la misma puede observarse en la Figura 7.

En la web, la comunidad de Raspberry, goza de un aforo considerable en lo que respecta la solvencia de dudas y capacitación para el correcto uso y funcionamiento, lo que

representa una gran fuente de consulta pre y posdesarrollo del presente proyecto, contrariamente a las demás alternativas que también fueron tomadas en cuentas tales como Cubieboard o Banana Pi, las cuales, a pesar de tener una mayor potencia de trabajo, no ofrecen un soporte tan basto.

**Figura 7.**  
*Raspberry Pi 3B.*



**Fuente:** Elaborado por el autor.

La idea de emplear este SBC se respalda también en el hecho de que Casado et al. (2022) tuvieron éxito usando una Raspberry Pi para generar todas las señales de control necesarias para su equipo electrónico, pudiendo adquirir los datos, procesar la información y presentar los resultados correctamente en una pantalla LCD táctil. Por lo que, apoyado en este hecho, se sustenta también el uso de este microprocesador.

#### **4.7.2. Lenguaje de programación**

La Raspberry pi ofrece compatibilidad con varios sistemas operativos, sin embargo, se recomienda que opere ejecutando el SO basado en Linux denominado Raspbian. La Fundación Raspberry Pi especifica a Python como lenguaje principal debido a su potencia, versatilidad y facilidad de uso, por ende, este lenguaje viene preinstalado en Raspbian (van Schooneveld, 2020).

Python es un lenguaje de alto nivel y de fácil uso, capaz de simplificar el funcionamiento de un programa, por ende, es idóneo para distintos proyectos, como el desarrollo de prototipos. Provee un modo interactivo que optimiza la prueba de fragmentos cortos de código (IDLE), y ofrece la posibilidad de ser implementado en una aplicación para proporcionar una interfaz programable (Python, 2019).

## **5. Metodología**

En el siguiente apartado metodológico se exponen los diferentes componentes necesarios para el cumplimiento del presente proyecto de titulación, tales como el marco en el que se desarrolló, el procedimiento llevado a cabo para la obtención de los resultados esperados, así como los recursos utilizados.

### **5.1. Área de estudio**

El desarrollo del presente proyecto de titulación se desarrolló dentro de un marco compuesto de dos categorías tales como la académica y la social, durante el periodo de abril 2021 a septiembre 2022, en la Carrera de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones de la Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales No Renovables de la Universidad Nacional de Loja, que vio su culminación con el asesoramiento técnico de planta docente inmersa en el mundo de la radiación ultravioleta, principalmente por el tutor designado.

### **5.2. Procedimiento**

Con base en los objetivos enmarcados que dieron auge al presente proyecto, se realizaron diversas actividades para el cumplimiento de cada uno de ellos, el procedimiento se detalla a continuación:

1. Analizar la documentación más relevante acerca de los métodos de desinfección que involucren la radiación ultravioleta en el campo alimenticio.
  - a. Se realizó una revisión bibliográfica de los conceptos fundamentales relacionados a la tecnología ultravioleta, como espectro de operación, unidades de medida, irradiancia, dosis y tiempo de exposición en diversas fuentes enfocadas a la investigación científica.
  - b. Se concentraron todas las fuentes consultadas para contrastar su relevancia y aporte al desarrollo del tema de desinfección de superficies mediante radiación ultravioleta. Asimismo, se consideró el criterio de diversos equipos construidos experimentalmente para fines de desinfección patogénica en superficies.
  - c. Se recopiló información de investigaciones enfocados a la determinación de dosis UV para la inactivación de patógenos como virus y bacterias, para evaluar la coincidencia o diferencias entre ellas y elegir las de mayor aval.
  - d. Se establecieron las principales características para un equipo de desinfección UV para superficies, considerando las propiedades de los patógenos relacionados al tipo de material y las propiedades de la tecnología UVGI.
2. Diseñar un sistema de esterilización que actúe sobre la superficie del envase de alimentos industrializados.

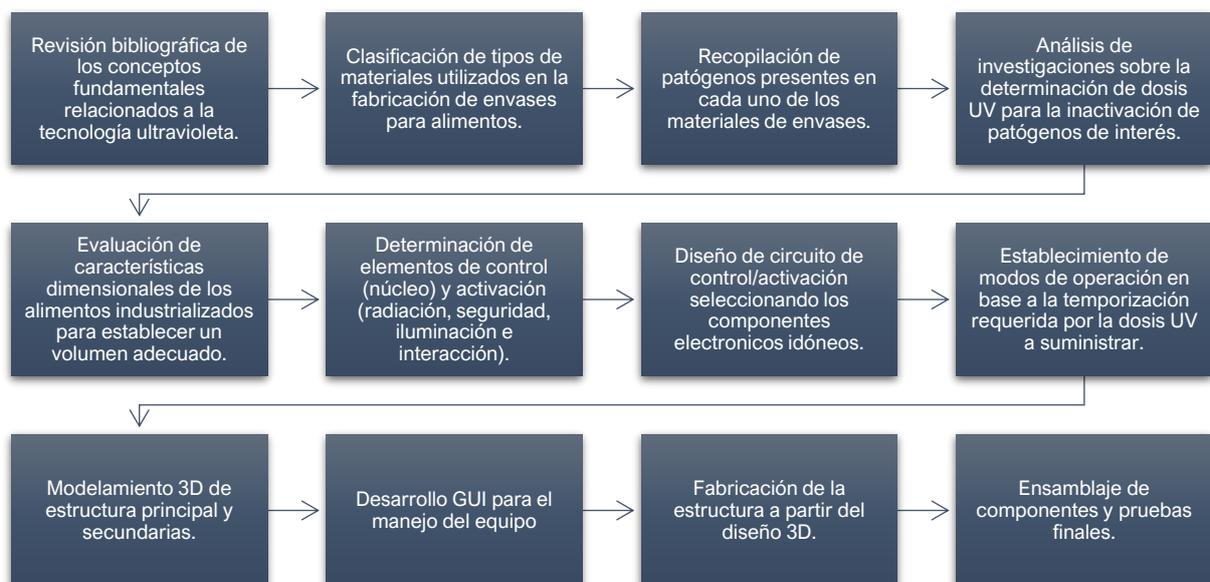
- a. Se analizaron los distintos tipos de materiales utilizados para la fabricación de envases alimentarios con el fin de recopilar las bacterias más comunes presentes en cada tipo.
  - b. Se detallaron las dosis de radiación UV para la inactivación de los patógenos relacionados a la contaminación alimenticia.
  - c. Se evaluaron las características dimensionales de los alimentos industrializados que se ofertan en supermercados para establecer un volumen adecuado de desinfección.
  - d. En base a las dimensiones de los alimentos, se determinó las medidas y forma de la estructura.
  - e. Se establecieron dos espacios dentro de la estructura, considerados para resguardar los productos y para los elementos electrónicos, respectivamente.
  - f. Se segmentó del proceso electrónico en tres etapas, denotadas como alimentación, activación y control.
  - g. Se elaboró el diseño 3D de la estructura física del prototipo con el fin de visualizar de mejor manera la disposición los dos espacios y componentes.
  - h. Se diseñó un circuito de control y activación en base a los aspectos técnicos inmersos utilizando materiales electrónicos idóneos.
  - i. Se realizaron los cálculos de energía necesaria para el dimensionamiento y cantidad de lámparas.
  - j. Se realizaron mediciones de intensidad UV a diferentes distancias con el fin de determinar los tiempos necesarios para alcanzar las dosis necesarias.
  - k. Se desarrolló una GUI para el manejo del equipo considerando los fundamentos determinados.
3. Construir el prototipo con base en el diseño desarrollado.
    - a. Se fabricó el diseño desarrollado a partir del material elegido.
    - b. Se obtuvieron todos los componentes necesarios para realizar el ensamblaje en la estructura final.
    - c. Se elaboró una placa PCB para el circuito de control y activación.
    - d. Se realizó la fijación de las lámparas tanto en la parte superior como inferior de la estructura haciendo uso de los soportes de estas.
    - e. Se instaló la iluminación de led de forma que sea lo menos visible para el usuario, para ello se aprovechó el diseño desarrollado.
    - f. Se instaló el sensor de puerta ubicando una parte debajo del compartimiento de la circuitería y la otra en la puerta de la estructura.

- g. Se imprimieron elementos 3D necesarios para protección, entre estos están el case para la unidad de procesamiento (Raspberry Pi) y un soporte a la placa PCB.
  - h. Se dispuso la Rapsberry Pi en su case dentro del compartimiento previsto para la circuitería, asegurándola y dejando únicamente visible la pantalla táctil.
  - i. Se dispuso la placa PCB en su compartimiento (junto a la Raspberry Pi), aislando la misma a través de un soporte.
  - j. Se realizó el acople de los cables de alimentación tanto para el circuito de control y activación, iluminación led y lámparas UV.
4. Realizar pruebas de validación de resultados del prototipo.
- a. Se realizaron procesos de esterilización para cada modo.
  - b. Se verificó el cumplimiento de los tiempos de exposición calculados.
  - c. Se midió los niveles de radiación UV externa en puntos clave (puerta, esquinas, etc.), con la ayuda de un radiómetro UV.
  - d. Se comprobó que los niveles ozono producidos de manera interna y externa con la ayuda de un detector de gases especializado.
  - e. Se solventaron distintos bugs encontrados durante la interacción con la interfaz de usuario.

Como se pudo observar, existen diversas actividades a cumplir durante la etapa de desarrollo, sin embargo, destacando los puntos principales, la metodología puede expresarse en función del proceso mostrado en la Figura 8.

**Figura 8.**

*Procedimiento de Metodología.*



**Fuente:** Elaborado por el autor.

### 5.3. Recursos

En el marco de desarrollo, se utilizaron los siguientes recursos:

#### 5.3.1. Recursos científicos

- **Método Analítico-Experimental:** El método de estudio que se utilizó para el desarrollo del presente proyecto se contempla como analítico, debido a la segmentación en etapas y a la posterior investigación del estado de arte que posibilitó una mejor comprensión del tema, esto concuerda con las ideas de Bohorquez et al. (2018) los que señalan que el método analítico distingue los elementos de un objeto de estudio y permite revisar ordenadamente cada uno de ellos por separado para facilitar su investigación y conocerlos mejor. Por otra parte, también abordó una parte experimental, puesto que se realizaron pruebas para configurar el funcionamiento del prototipo contemplando las características tanto de los productos como de la tecnología UV, lo cual es soportado por el criterio emitido por Alonso et al. (2016), quienes infieren que en la investigación experimental un investigador controla una o más variables dentro de un determinado estudio, pudiendo alterar sus valores con el fin de observar el efecto producido.
- **Enfoque cuantitativo:** Según Anselmo et al. (2019), una investigación de tipo cuantitativa trata con sucesos medibles a través de la implementación de técnicas de análisis para los datos recopilados, puesto que el desarrollo del presente proyecto involucró el estudio de variables medibles, el enfoque del mismo se contempla como cuantitativo.
- **Estudio del Estado del Arte:** En el ámbito científico, un estudio sobre el estado del arte permite obtener el conocimiento moderno sobre un tema de investigación específico a través del análisis de trabajos análogos o relacionados que hayan sido publicados (Santos, 2019). Se realizó un estudio bibliográfico con el fin de seleccionar los conocimientos existentes en el ámbito pertinente mediante una búsqueda electrónica, para ello se utilizaron base de datos como ScienceDirect, ResearchGate MDPI, Taylor & Francis, IntechOpen, entre otras; además de palabras de como: Esterilización UV, Radicación UV en superficies, Dosis UV, etc.

#### 5.3.2. Algoritmo de operación

Comprende el conjunto de instrucciones base que sigue la programación ejecutada para las distintas funciones que dispone el prototipo, como se mencionó anteriormente el lenguaje utilizado fue Python. El diagrama de bloques fue elaborado utilizando la herramienta web Lucidchart y puede consultarse en el Anexo 3.

### 5.3.3. Recursos técnicos

- **Entorno de desarrollo integrado (IDE):** Se utilizó el entorno PyCharm en su edición comunitaria (Community Edition), específicamente en la versión 2022.1.2, como medio para la elaboración del código fuente de la interfaz gráfica. Cabe señalar que esta herramienta es recomendada por desarrolladores.
- **Software de simulación electrónica:** Se utilizó el software de simulación y automatización electrónica Proteus en su versión 8, para la simulación de los elementos electrónicos necesarios para los circuitos de activación y control.
- **Herramienta de modelamiento 3D:** Se utilizó la herramienta digital online Tinkercad para la elaboración de la estructura en 3D del prototipo considerando los espacios dispuestos.
- **Herramienta de diagramación:** Se utilizó la herramienta digital online Lucidchart para la elaboración del diagrama de operación del prototipo.

## 6. Resultados

### 6.1. Fundamentos de operación

Una vez establecidas las bases teóricas y analizado la documentación relevante respecto a sistemas de desinfección UVGI para superficies, se determinaron ciertos requerimientos necesarios para una adecuada operación del prototipo:

- La capacidad de penetración de la UV-C hace que no pueda ir más allá de la superficie del envase, por lo que se requieren objetos libres de polvo o grasa para el tratamiento.
- Los sistemas UVGI para superficies deben cubrir las áreas sombreadas que se puedan generar, de manera que requieren irradiar al objeto desde más de un punto, cubriendo distintos ángulos.
- Las cabinas o cajas UV resaltan de entre todos los equipos para desinfección de objetos por su facilidad de uso y no requerir uso de protección especial.
- Las barreras contra la radiación deben ser eficaces y además tener propiedades reflectivas para concentrar de mejor manera la energía a la vez que cubren las áreas sombreadas.
- La dosis UV que recibe un objeto depende de la intensidad del foco de radiación y el tiempo de exposición.
- La energía ultravioleta radiada sigue la ley del cuadrado inverso, lo que implica una disminución en su valor conforme aumenta la distancia.
- La incorporación de un mecanismo de seguridad como alarmas, sensores, etc, para proteger la integridad de los operarios resulta necesario.
- Las características dimensionales del dispositivo de esterilización deben proveer un espacio adecuado para poder incorporar fácilmente los objetos (alimentos).
- La inhibición de gas ozono se establece como fundamental para aplicaciones domésticas.

### 6.2. Diseño del esterilizador

#### 6.2.1. Dosis de inactivación

En el apartado 4.2.6 se presentaron las dosis de radiación necesarias para inactivar los patógenos presentes en cada material de construcción para los diferentes envases que se pueden encontrar, lo cual se utilizó para filtrar la dosis específica para cada material, teniendo en cuenta el patógeno que requería la mayor concentración de energía ultravioleta para su inactivación, esta información se resume en la Tabla 6.

**Tabla 6.**  
Dosis para cada material de envase.

| Material     | Dosis de inactivación ( $mJ/cm^2$ ) |
|--------------|-------------------------------------|
| Plástico     | 17                                  |
| Papel/Cartón | 36                                  |
| Metal        | 29                                  |
| Vidrio       | 12                                  |

**Fuente:** Elaborado por el autor.

Por otro lado, según la documentación revisada, existen algunos criterios que debieron ser tomados en cuenta para el establecimiento de una dosis máxima de radiación, tales como:

- Según la OMS existen algunos patógenos relacionados con alimentos que pueden ser causantes de enfermedades, por lo que se hizo necesario considerar la dosis para la inactivación de estos tomando en cuenta la de mayor valor, de manera que englobe todo el rango patogénico para la desinfección.
- Es indispensable tener en cuenta los patógenos presentes en la industria alimenticia debido a que cualquier envase alimentario puede ser portador de estos microorganismos a causa de una contaminación cruzada.
- El microorganismo *Escherichia coli*, se estableció como el más frecuente en los supermercados del país, por ende, cualquier dosis suministrada debe cubrir su dosis de inactivación.

De esta manera se puede establecer una dosis máxima para alcanzar una esterilización en cualquier material de envase, comparando los microorganismos que requerían las dosis más altas necesarias para su inactivación, lo cual puede apreciarse en la Tabla 7.

**Tabla 7.**  
Comparación de dosis de acuerdo con distintos criterios.

| Indicador             | Microorganismo              | Dosis de inactivación ( $mJ/cm^2$ ) |
|-----------------------|-----------------------------|-------------------------------------|
| OMS                   | Hepatitis A                 | 36                                  |
| Industria alimenticia | <i>Cryptosporidium spp.</i> | 6                                   |
| Supermercados         | <i>Escherichia coli</i>     | 17                                  |

**Fuente:** Elaborado por el autor.

Una vez contrastada las dosis se pudo establecer un valor de  $36 mJ/cm^2$  como la dosis máxima necesaria para esterilizar cualquier material de envase, lo cual es necesario para calcular los tiempos de exposición durante el que operaran las fuentes de radiación para proveer la esterilización a los objetos.

### 6.2.2. Fuente de radiación

Para el desarrollo de este apartado se procedió a la búsqueda de una fuente de radiación que cumpla con la longitud necesaria para su acoplamiento en el volumen de desinfección, así como con los fundamentos de operación establecidos anteriormente.

Se analizaron varias fuentes disponibles en el mercado nacional, descartando las opciones provenientes del exterior (internacional) debido a la fragilidad que presenta el producto a los transportes y con la finalidad de prevenir accidentes. Finalmente, considerando los fundamentos propuestos se obtuvo la fuente de radiación que cumple con los requerimientos longitudinales y de operación, sus características se presentan en la Tabla 8.

**Tabla 8.**  
*Características de fuente de radiación.*

| Característica                                     | Valor                 |
|--|-----------------------|
| Modelo   | CH Lighting – T8 GL15 |
| Longitud (cm)                                      | 45                    |
| Soporte (cm)                                       | 55 x 5                |
| Diámetro (cm)                                      | 2,6                   |
| Longitud de onda (nm)                              | 253,7                 |
| Potencia de operación (W)                          | 15                    |
| Intensidad UV (a 1m) ( $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ ) | 51                    |
| Tiempo de vida (horas)                             | 6000                  |
| Producción de ozono (ppm)                          | 0                     |

**Fuente:** CH Lighting.

Después, se midió la intensidad UV a partir de una variación de la distancia (como puede verse en el Anexo 4) con el fin de determinar la intensidad emitida a la distancia requerida. Las mediciones se pueden observar en la Tabla 9, que muestra la intensidad medida desde 1 cm hasta 50 cm y la generación de ozono en cada medición.

Con el fin de observar de mejor manera la variación de la intensidad UV conforme se realizaba un aumento a la distancia, se elaboró la gráfica correspondiente contrastando ambas partes (potencia y distancia). Esta grafica puede observarse en la Figura 9, la cual muestra el cumplimiento de la ley del cuadrado inverso.

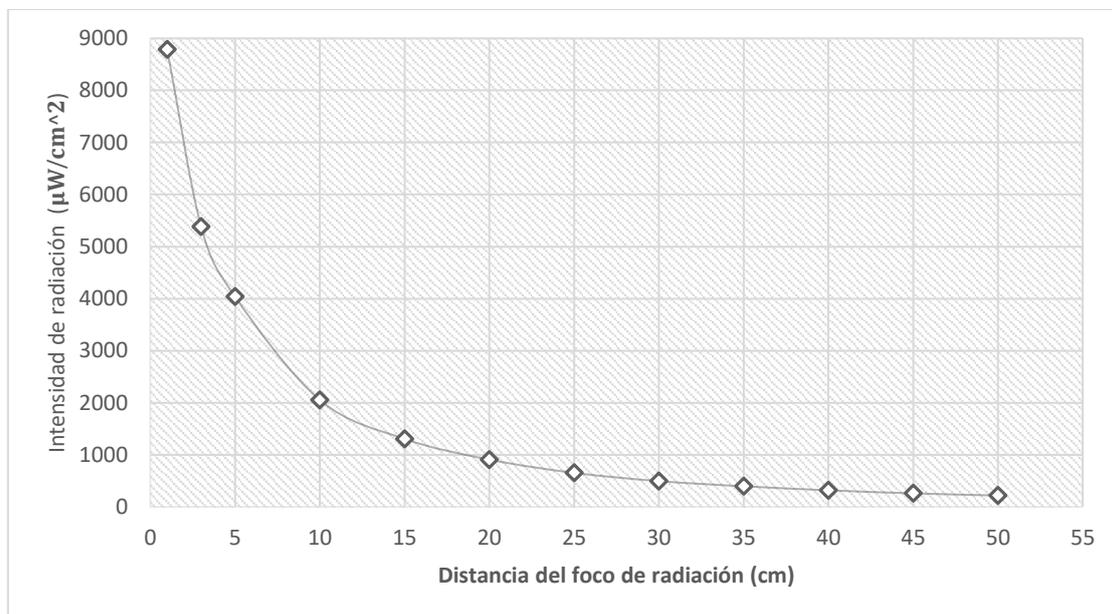
Se debe resaltar el hecho de que las medidas referentes a la intensidad de radiación fueron obtenidas con la ayuda de un radiómetro profesional equipado con una sonda para medir radiación ultravioleta y también que, durante el tiempo de mediciones, se encontró trabajando cerca de los focos un detector de gases para verificar que la emisión de ozono no se produjera (ver Anexo 4). Las especificaciones técnicas de estos instrumentos se detallan en el Anexo 5.

**Tabla 9.**  
*Intensidad de radiación UV medida a diferentes distancias.*

| Distancia del foco de radiación (cm) | Intensidad de radiación ( $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ ) | Producción de ozono $\text{O}^3(\text{ppm})$ |
|--------------------------------------|---|--|
| 1                                    | 8785  | 0  |
| 3                                    | 5383  | 0  |
| 5                                    | 4038,8  | 0  |
| 10                                   | 2052  | 0  |
| 15                                   | 1305  | 0  |
| 20                                   | 907   | 0  |
| 25                                   | 653   | 0  |
| 30                                   | 494   | 0  |
| 35                                   | 395   | 0  |
| 40                                   | 318   | 0  |
| 45                                   | 259   | 0  |
| 50                                   | 217   | 0  |

**Fuente:** Elaborado por el autor.

**Figura 9.**  
*Variación de la intensidad UV del foco de radiación.*



**Fuente:** Elaborado por el autor.

### 6.2.3. Dispositivo de seguridad e iluminación

Un dispositivo de seguridad se muestra como necesario en la categoría de proyecto en el que se encuentra el presente prototipo; por ende, se implementó un sensor para controlar el abierto/cerrado de la puerta, de manera que condicione la operación del prototipo y provea seguridad al usuario mientras lo usa.

**Figura 10.**  
*Sensor de puerta MC-38.*



**Fuente:** Elaborado por el autor.

Específicamente el sensor usado para este trabajo es el sensor de apertura de puerta MC-38, debido a su gran rango de operación y portabilidad. Este sensor es diseñado propiamente para el control de puertas y ventanas en gran infinidad de proyectos, se compone de dos partes (véase Figura 10) y sus características pueden ser observadas en la Tabla 10.

**Tabla 10.**  
*Características de MC-35.*

| Sensor de apertura de puerta MC-38 |                      |
|------------------------------------|----------------------|
| Corriente nominal                  | 100 mA               |
| Tensión nominal                    | 100 V                |
| Potencia nominal                   | 3 W                  |
| Dimensiones                        | 27 mm x 14 mm x 8 mm |
| Distancia de activación mínima     | 15 mm                |
| Distancia de activación máxima     | 25 mm                |

**Fuente:** Recopilado por el autor.

Adicionalmente, aprovechando la implementación de este sensor, se añadió un dispositivo para indicar cuando la puerta se encuentre abierta. Para este caso una cinta led se considera idónea, puesto que provee de iluminación suficiente en entornos de baja luminosidad. La cinta led seleccionada pertenece a la marca Nippon (véase dime), este tipo de cintas tienen un bajo consumo de corriente y funcionan a un voltaje de 12V.

**Figura 11.**  
*Cinta Led Nippon.*



**Fuente:** Elaborado por el autor.

#### **6.2.4. Dispositivo de interacción**

Con la finalidad de proporcionar una experiencia innovadora para el usuario, y aprovechando el uso de Raspberry Pi, se implementó una pantalla táctil (véase Figura 12) para la presentación de la interfaz gráfica que permita manipular el equipo de esterilización.

**Figura 12.**  
*Pantalla táctil 3.5".*



**Fuente:** Elaborado por el autor.

Debido a que este elemento ocupa una gran cantidad de pines, la elección de pines para los elementos adicionales se realizó teniendo en cuenta esta consideración. La distribución general de pines de la Raspberry Pi 3 B puede observarse en el Anexo 6, donde se muestra los pines ocupados para cada uno de los elementos.

#### **6.2.5. Criterios para el dimensionamiento de la estructura física**

La estructura física se diseñó con dos espacios, uno para resguardar el producto alimenticio recibiendo la radiación, y el segundo se destinó como centro de control, ubicándose la unidad de procesamiento y el circuito de activación, así como las fuentes de alimentación de los componentes; de esta manera se puede ofrecer la posibilidad de realizar un mantenimiento individual para cada sección.

**Figura 13.**  
*Lámparas para disposición dentro de la estructura.*



**Fuente:** Elaborado por el autor.

Por otra parte, como se había mencionado, para generar radiación dentro de un volumen de una manera eficaz se hace necesario ocupar más de una unidad, para este caso se implementaron dos lámparas (véase Figura 13), y considerando sus longitudes (véase Tabla 8), esto adicionó unos centímetros extras a la medida horizontal (largo).

Como se concluyó anteriormente, las características dimensionales de los alimentos analizados arrojaron medidas necesarias de 32,5 cm (alto), 22 (largo) y 16,9 (ancho), estableciendo así una forma rectangular para el primer espacio. A continuación, se determinaron las medidas finales de la estructura utilizando los siguientes criterios:

- **Alto:** Como el prototipo debe ofrecer la posibilidad de variar la posición de colocación de los productos dentro la estructura, el alto puede ser tomado como largo o viceversa en determinados casos. Relacionando ambas medidas se puede notar que el alto es mayor que el largo por ende esta medida fue tomada tal y como se determinó en un principio, de esta manera y considerando un pequeño espacio adicional debido al diámetro de los focos de radiación, el alto queda establecido en 40 cm.
- **Largo:** Para esta medida se debió considerar una longitud adicional debido a los soportes especiales de las fuentes de radiación que se disponen como elementos internos de la estructura, lo que produjo un total de 60 cm para la medida en largo de la estructura. Adicionalmente se consideró un compartimento interno ubicado en la esquina superior derecha destinado para la unidad de control y circuito de activación.
- **Ancho:** Para esta medida se tomó el criterio establecido para el alto debido a que se debe ofrecer la posibilidad de colocar de diferentes formas un producto, produciendo así una medida de 40 cm respecto al ancho de la estructura final.
- **Material:** Se consideró la implementación de un material que sea altamente resistivo al crecimiento microbiano y a la vez que cuente con propiedades reflectivas de manera que refleje la energía emitida por las lámparas asegurando que la radiación llegue a todos los puntos. En este aspecto, luego de realizar las debidas consultas, el material idóneo resultó ser el acero inoxidable pues cuenta con los requerimientos antes descritos satisfactoriamente.

De esta manera las medidas finales de la estructura se resumen en la Tabla 11.

**Tabla 11.**  
*Medidas finales del volumen de desinfección.*

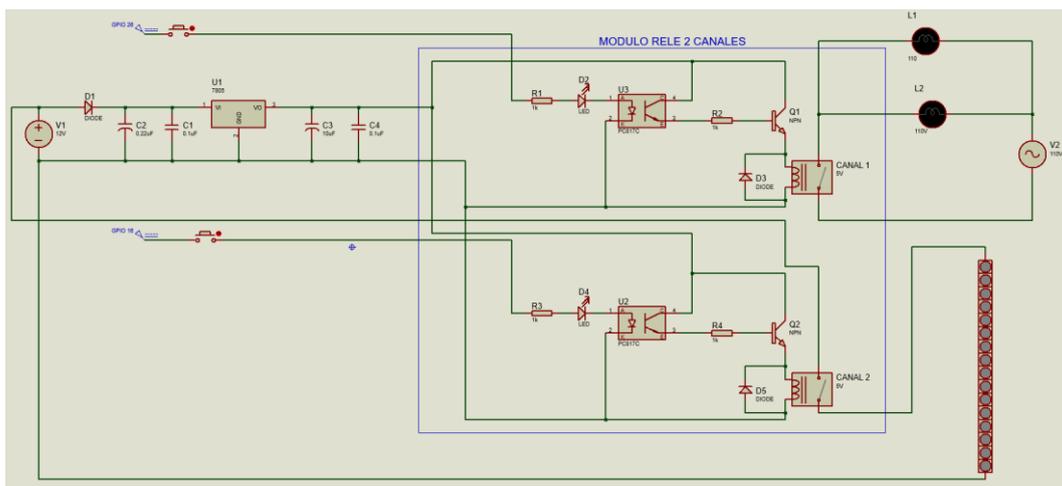
| Medida              | Valor (cm) |
|---------------------|------------|
| Alto (Vertical)     | 40         |
| Largo (Horizontal)  | 60         |
| Ancho (Profundidad) | 40         |

**Fuente:** Elaborado por el autor.

### 6.2.6. Diseño de circuito de control y activación

Para el diseño del circuito electrónico requerido para la activación y control del equipo, se hizo necesario el uso de un software de simulación electrónico que permita observar previamente el funcionamiento de todos los elementos electrónicos implicados, de manera que las operaciones se ejecutaran correctamente y la integridad de sus componentes no se viera afectada.

**Figura 14.**  
*Circuito de activación y control.*



**Fuente:** Elaborado por el autor.

El circuito elaborado puede verse en la Figura 14, éste se diseñó utilizando elementos electrónicos como capacitores, diodos, un módulo relé de dos canales, leds (integrados en el módulo relé), diodos, un regulador de voltaje que provee una alimentación estable de 5V para el módulo relé. Adicionalmente se ha incluido la esquematización de lámparas de 110V, simulando las lámparas UV, la cinta led y las señales de activación utilizando pulsadores lo cual simula las señales de los pines GPIO de la Raspberry Pi. De esta forma se realizó el diseño de la placa PCB, la cual puede observarse en la Figura 15.

**Figura 15.**  
*Placa PCB de circuito de control y activación.*



**Fuente:** Elaborado por el autor.

### 6.2.7. Desarrollo de GUI

Como se había establecido, la unidad de procesamiento elegida para comandar las distintas operaciones que se realizarán será la SBC denominada Raspberry Pi 3 B, esto debido a que cumple con los requerimientos tanto a nivel de software como de hardware necesarios para realizar de manera óptima todo el proceso de ejecución.

El código fuente (ver Anexo 7) mediante el cual funciona esta interfaz se desarrolló de tal manera que permite controlar la activación de las lámparas a través de los circuitos de activación diseñados anteriormente, al mismo tiempo que monitorea el estado del sensor de puerta con el fin de proporcionar seguridad al usuario y que además proporciona confirmación del inicio de un proceso mediante la implementación de botones dispuestos especialmente para este propósito. Vale la pena mencionar que, debido a que para esta etapa no se determinaban aún los tiempos de exposición finales, se configuraron tiempos calculados utilizando la Ecuación (1) y la intensidad generada a la menor distancia (véase Tabla 9).

Como se señaló en el apartado 4.7 se sugiere el uso de Python cuando se trabaja con Raspberry Pi, por ello el código fuente de la interfaz gráfica opera mediante este lenguaje de programación. El núcleo se basa en el módulo Tkinter, el cual es diseñado especialmente para la elaboración de interfaces gráficas basadas en Python, permitiendo la inclusión de botones, textos, imágenes, cuadros de texto, etc de una manera accesible.

La operación de la interfaz se segmentó en tres ventanas (como puede verse en el Anexo 8), las cuales funcionan como ventana principal, una ventana para envases y otra para brindar una breve información, respectivamente. Estas ventanas se describen a continuación:

La ventana raíz o principal contiene:

- Botón ESTÁNDAR: Establece el modo estándar que configura el tiempo de exposición para el peor de los casos y posteriormente se presenta una pregunta para confirmar el proceso.
- Botón ENVASE: Establece el modo manual que presenta una segunda ventana que permite escoger el material del producto a esterilizar.
- Botón SI: Permite confirmar que se desea empezar una operación de esterilización, sea automática o manual.
- Botón NO: Permite confirmar que no se desea empezar una operación de esterilización, sea automática o manual.
- Botón PAUSA: Permite pausar el proceso de esterilización, únicamente activo durante la ejecución de un proceso.
- Botón CONTINUAR: Permite continuar el proceso de esterilización, una vez que se ha pausado, únicamente activo durante la ejecución de un proceso.

- Botón APAGAR: Permite apagar el equipo, solo estará habilitado cuando el dispositivo no se encuentre en algún proceso de esterilización.
- Botón INFORMACIÓN: Genera la ventana de información, solo está disponible cuando el equipo no se encuentra en algún proceso de esterilización.
- Cuadro de texto: Presenta información acerca sobre las operaciones que realiza el equipo, por ejemplo, saludo, temporizador, preguntas de confirmación, etc.
- Gráficos animados: Estos gráficos se animan cuando empieza un proceso de esterilización, mientras tanto permanecen inmóviles.

La ventana del modo ENVASE contiene:

- Botón PLÁSTICO: Establece el tiempo necesario para esterilizar productos cuyo envase esté hecho de plástico, y posteriormente se presenta una pregunta para confirmar el proceso.
- Botón VIDRIO: Establece el tiempo necesario para esterilizar productos cuyo envase esté hecho de vidrio, y posteriormente se presenta una pregunta para confirmar el proceso.
- Botón METAL: Establece el tiempo necesario para esterilizar productos cuyo envase esté hecho de metal, y posteriormente se presenta una pregunta para confirmar el proceso.
- Botón CARTÓN: Establece el tiempo necesario para esterilizar productos cuyo envase esté hecho de cartón, y posteriormente se presenta una pregunta para confirmar el proceso.
- Botón VOLVER: Permite volver a la ventana principal o raíz.

La ventana de información contiene:

- TEXTO: Presenta información acerca de la radiación ultravioleta y algunas pautas sobre el uso del equipo.

Adicionalmente como forma de indicar cual es el botón que se ha presionado, se implementó la función de cambio de color para botones cuando el usuario presione alguno de estos (como puede verse en el Anexo 7).

### **6.2.8. Diseño 3D de estructura física**

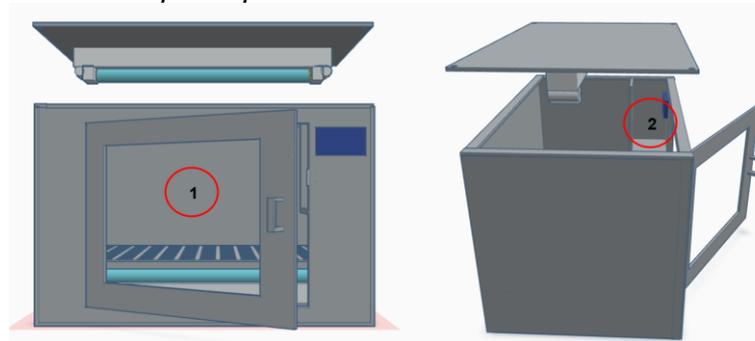
Como se había establecido la estructura física se proyectó con dos espacios para abarcar las operaciones de manera óptima, de esta manera se diseñó y elaboró en un modelo 3D, usando el software Tinkercad (véase Figura 16).

En la Figura 16 puede apreciarse la disposición de los dos espacios o compartimentos que se consideraron. En el primero contiene las lámparas UV (ubicadas arriba y abajo), una

rejilla para colocar los productos, una puerta con vidrio transparente que permite visualizar el procedimiento de esterilización y en el segundo, la pantalla de la unidad de procesamiento (Raspberry Pi), que además sirve de contenedor para los componentes electrónicos necesarios.

**Figura 16.**

*Diseño estructural en 3D de prototipo.*



**Fuente:** Elaborado por el autor.

Como se observa el diseño realizado permite que tanto el primer como el segundo compartimento dispongan de una cubierta desplegable para facilitar la instalación o el retiro de sus componentes, pudiendo realizar en un futuro, mantenimientos y ofreciendo la posibilidad de incorporar nuevos componentes o realizar nuevas conexiones. Los planos detallados del prototipo pueden mirarse en el Anexo 9.

### **6.3. Construcción de elementos**

#### **6.3.1. Impresión en 3D**

Para fines prácticos y como medida de protección se realizó la impresión de una carcasa (case) para la Raspberry Pi (véase Figura 17), con la ayuda de archivos base proporcionados por la web. Esta carcasa permite el acople de la pantalla táctil, de manera que logra resguardar ambas partes y permite una mejor manipulación de estas, además facilita la incorporación dentro de la estructura del prototipo.

**Figura 17.**

*Impresión de case para Raspberry.*



**Fuente:** Elaborado por el autor.

Debido a la naturaleza del material sobre el que se fabricó la estructura, se hizo necesaria la implementación de una base que sirva de aislante y soporte para la placa PCB de control. Se tomaron las medidas del segundo compartimento y seguidamente se procedió al diseño y posterior impresión, cabe mencionar que esta se diseñó con una perforación para permitir el paso de los cables de alimentación, el resultado puede observarse en la Figura 18.

**Figura 18.**  
*Base para placa PCB.*



**Fuente:** Elaborado por el autor.

Como forma de resguardar la integridad de la parte de sensor de puerta que se colocó en la puerta, se realizó el diseño e impresión de un soporte especial, de manera que posea una abertura capaz de contener el sensor, es decir un contenedor. El soporte permitió el acople ideal y proporcionó un correcto trabajo acorde a los requerimientos del diseño, la pieza en cuestión se puede observar en la Figura 19.

**Figura 19.**  
*Soporte para sensor de puerta.*



**Fuente:** Elaborado por el autor.

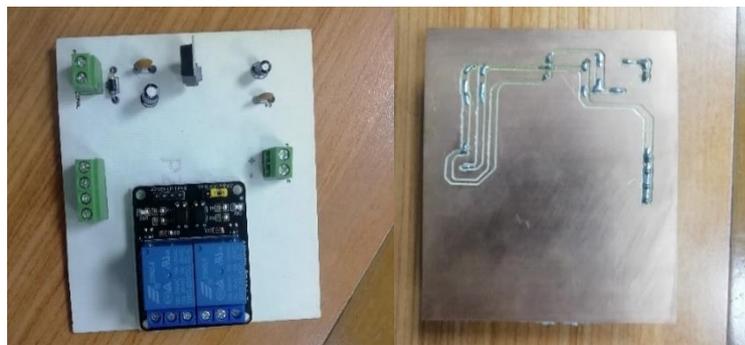
Es importante recalcar que el material sobre el que se encuentran fabricados estos componentes se denomina PLA (Ácido Poli Láctico), que es el material predilecto para impresiones en 3D y que además sirve como un aislante idóneo para la implementación de componentes adicionales dentro de estructuras metálicas.

### 6.3.2. *Fabricación de placa PCB*

La fabricación de la placa PCB implicó la disposición de los materiales electrónicos implicados acorde al diseño realizado, así como la soldadura de cada uno. El resultado final se aprecia en la Figura 20, donde se presenta tanto la vista desde arriba como desde abajo.

#### **Figura 20.**

*Vista desde arriba y desde abajo de placa PCB.*



**Fuente:** Elaborado por el autor.

### 6.3.3. *Fabricación de estructura final*

En base a los criterios de diseño emitidos anteriormente, se realizó la fabricación de la estructura en acero inoxidable, la misma puede apreciarse en la Figura 21. Cabe mencionar que el material base es el acero mate, el cual es más resistencia a la corrosión, asimismo cuenta con un espesor de 1 mm para proveer firmeza a las manipulaciones que pudieran realizarse.

#### **Figura 21.**

*Estructura física de prototipo.*



**Fuente:** Elaborado por el autor.

De igual manera se realizó la fabricación de una malla de metal la cual sirve de soporte para los productos que se dispongan dentro del prototipo. Este elemento cuenta con varias

perforaciones con el fin de no obstruir el paso de la luz y la misma puede sostener adecuadamente el peso máximo que se había mencionado. La malla cuenta con las medidas del primer compartimento (véase Tabla 15) y puede apreciarse en la Figura 22.

**Figura 22.**

*Malla de soporte para productos.*



**Fuente:** Elaborado por el autor.

#### **6.4. Ensamblaje de prototipo**

Una vez que todas las partes necesarias fueron obtenidas, se realizó el ensamblaje o acople en un solo elemento. A continuación, se describe las etapas necesarias que se siguieron para lograr este objetivo.

##### **6.4.1. Instalación de lámparas UV**

Para la instalación de estos elementos se realizaron perforaciones tanto en la parte superior (tapa desplegable) como inferior (estructura). Estas perforaciones fueron hechas en base a la longitud de separación que tenían las aberturas de sus fijadores (tornillos) en sus respectivos soportes, seguidamente se colocaron las lámparas fijándolas correctamente (véase la Figura 23). Finalmente, para verificar su funcionamiento, se realizó el encendido simultaneo de ambas lámparas UV con la puerta cerrada (véase Figura 24).

**Figura 23.**

*Instalación de lámparas UV.*



**Fuente:** Elaborado por el autor.

**Figura 24.**  
*Encendido simultáneo de lámparas UV.*



**Fuente:** Elaborado por el autor.

#### **6.4.2. Disposición de cinta led**

Durante la instalación de la cinta led se aprovechó el diseño realizado con el fin de colocarla en un lugar donde no sea visible y pueda proporcionar una luminosidad acorde a los requerimientos, debido a ello la disposición de este elemento se realizó debajo de las pestañas que bordean toda la estructura (véase Figura 25), empezando desde el segundo compartimento de modo que los pines de alimentación sean accesibles desde este lugar. Es necesario mencionar que, para la fijación de este elemento, se utilizó el pegamento que integraba (cinta doble faz), pues este consiguió adherirla fuertemente y no se observó movimiento de la misma después de haber sido colocada.

**Figura 25.**  
*Disposición de cinta led en estructura física.*



**Fuente:** Elaborado por el autor.

Posteriormente se realizó una prueba verificando que esta cinta proporcione la luminosidad suficiente dentro del compartimento, como se puede observar en la Figura 26, los resultados fueron satisfactorios. El color de esta iluminación se seleccionó de tal manera

que sea agradable a la vista de los usuarios y la vez no cause confusión con el color que emite la radiación ultravioleta (luz azul).

**Figura 26.**

*Prueba de luminosidad de cinta led.*



**Fuente:** Elaborado por el autor.

**6.4.3. Disposición de sensor de puerta**

El sensor de puerta se compone de dos partes (como se había mencionado), para el caso de la primera parte, esta se ubicó dentro de la estructura con el fin de poder realizar las debidas conexiones hacia el segundo compartimento; para la segunda parte, esta se ubicó en la parte interna de la puerta desplegable, incorporándolo dentro del soporte especial fabricado previamente. Adicionalmente se verificó que, al momento de cerrar, ambas partes del sensor se ubiquen a la misma altura y logren juntarse correctamente, estas disposiciones se pueden observar en la Figura 27.

**Figura 27.**

*Ubicación de componentes de sensor de puerta.*



**Fuente:** Elaborado por el autor.

**6.4.4. Disposición de Raspberry Pi**

En primer lugar, se realizó las debidas conexiones en los pines GPIO correspondientes, se ubicó la pantalla táctil y se cubrió con su respectivo case (Figura 17),

para luego proceder a insertarla en dentro de la estructura. La unidad de procesamiento se ubicó dentro del segundo compartimento junto con la circuitería, de esta manera todo el mando se centraliza, además haciendo uso de la cubierta, la misma no es visible para los procesos de radiación UV. Acorde al diseño, ésta se fijó en los soportes fabricados especialmente para ello, adicionalmente se cuidó que únicamente la pantalla táctil se muestre al usuario, esto puede verse en la Figura 28.

**Figura 28.**  
*Disposición de Raspberry dentro de la estructura.*

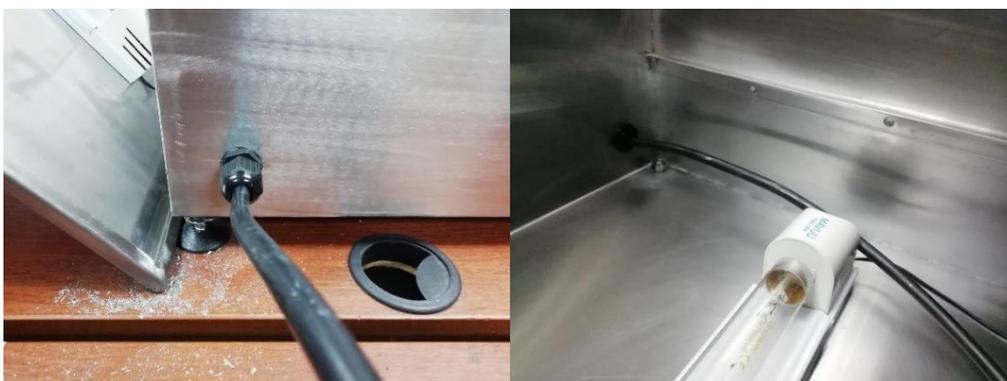


**Fuente:** Elaborado por el autor.

#### **6.4.5. Disposición de circuitería interna**

Para alimentar a los componentes electrónicos se empleó un cable 3x14 AWG, el cual se ingresó por la parte posterior de la estructura y se aseguró con la ayuda de un conector “Press Stop” (como se observa en la Figura 29), este tipo de conector permite regular el diámetro de su abertura permitiendo el acople con cables de mayor o menor grosor, de esta manera ofrece un seguro sólido inhabilitando que el cable pueda salirse.

**Figura 29.**  
*Cable de alimentación principal.*



**Fuente:** Elaborado por el autor.

Posteriormente, por dentro de la estructura, el cable fue sujetado con la ayuda de canaletas que se ubican debajo de las pestañas que soportan la estructura, asimismo el cable de alimentación de la lámpara inferior se acopla dentro de esta canaleta aprovechando su paso (véase la Figura 30), esto permite que no sean mayormente visibles para el usuario y solventa el problema de movimiento de cables dentro de la estructura.

**Figura 30.**

*Ubicación de canaleta para cables de alimentación.*

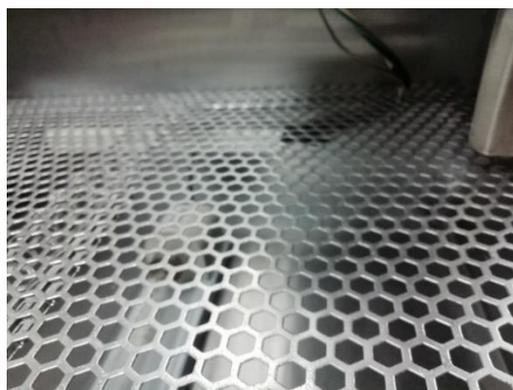


**Fuente:** Elaborado por el autor.

Luego de haber fijado los cables de alimentación necesarios, se ubicó la malla de soporte correspondiente. Para el paso de los cables hacia el segundo compartimiento se aprovechó las aberturas que posee esta malla para que puedan llegar (como se ve en la Figura 31), seguidamente se fijó con cinta helicoidal para inhabilitar su movimiento. Durante este proceso el cable de alimentación se ramificó (fase, neutro y tierra) y se incorporó la tierra en la estructura.

**Figura 31.**

*Paso de cables de alimentación hacia el segundo compartimento.*



**Fuente:** Elaborado por el autor.

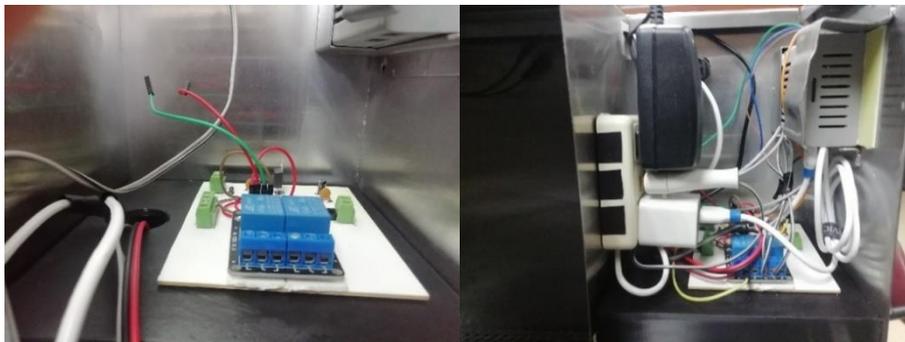
Para la llegada de los cables hacia el segundo compartimiento, se realizó una abertura en la parte inferior del mismo logrando que todos los cables pudieran pasar cómodamente, seguidamente se ubicó la base para la placa PCB, la cual también contaba con una perforación para el paso de los cables, el resultado puede verse en la Figura 32.

**Figura 32.**  
*Ubicación de base para placa PCB.*



**Fuente:** Elaborado por el autor.

**Figura 33.**  
*Disposición de elementos y circuitería interna.*



**Fuente:** Elaborado por el autor.

**Figura 34.**  
*Vista interna y externa de interruptor.*



**Fuente:** Elaborado por el autor.

Para brindar la alimentación para cada componente (Raspberry Pi, Lámparas UV, Adaptador 12V) se empleó una toma triple de corriente. Para las lámparas UV se realizó el acople de manera que ambas puedan alimentarse ocupando una sola toma de corriente, en el caso de Raspberry Pi y adaptador de 12V no se requirió un acople debido a que cuentan

con un enchufe de alimentación predispuesto. Se ubicó la placa PCB sobre su base y se realizaron las debidas conexiones entre cada uno de los elementos (véase Figura 33).

Como mecanismo de control general se incorporó un interruptor para el apagado y encendido del dispositivo. Su implementación implicó la soldadura de los pines al cable de alimentación principal y el debido aislamiento ocupando cinta termo retráctil, tanto la vista interna como externa pueden observarse en la Figura 34.

Vale la pena recalcar que todas las conexiones realizadas se esquematizan de manera más detalladas en el Anexo 10, donde se puede apreciar desde el cable de alimentación principal hasta los componentes internos del módulo relé.

### **6.5. Acoplamiento y encendido**

Las etapas descritas anteriormente permitieron combinar los distintos elementos necesarios para el funcionamiento del dispositivo, en la Figura 35 se puede apreciar el resultado obtenido que muestra el dispositivo listo para su operación.

#### **Figura 35.**

*Acople final de elementos.*



**Fuente:** Elaborado por el autor.

Seguidamente se hizo necesario verificar el correcto funcionamiento del sensor de puerta, por lo que se constató que la iluminación se activara cuando la puerta se abría. De igual manera se interactuó con la interfaz asegurando que la misma funcionara correctamente y reconociera los toques en pantalla. Finalmente, para verificar la funcionalidad del sistema, se realizó un proceso de prueba seleccionando el modo estándar.

### **6.6. Medición de intensidad UV efectiva y cálculo de tiempos de exposición**

Teniendo en cuenta las dosis requeridas y la intensidad proporcionada por la fuente de radiación, se procedió a calcular el tiempo de exposición necesario para esterilizar cada material y un tiempo necesario que englobe la esterilización de todos los materiales para envases establecidos, en base a la dosis proporcionada por la Tabla 12.

**Tabla 12.**  
Dosis para cálculo de tiempo de exposición.

| Medio        | Dosis UV para esterilización ( $mJ/cm^2$ ) |
|--------------|--|
| Plástico     | 17   |
| Papel/Cartón | 36   |
| Metal        | 29   |
| Vidrio       | 12   |
| General      | 36   |

**Fuente:** Elaborado por el autor.

Se emplea la ecuación (1) para encontrar una expresión que permita calcular el tiempo requerido de manera matemática para alcanzar la dosis necesaria, de la siguiente manera:

$$D = E_t * I_R$$

$$E_t = \frac{D}{I_R} \quad (2)$$

Donde:

- $D$  = Dosis UV necesaria ( $mJ/cm^2$ )
- $E_t$  = Tiempo requerido (segundos)
- $I_R$  = Intensidad de radiación UV ( $\mu W/cm^2$ )

En este apartado se consideran como factores preponderantes la distancia y la intensidad de radiación a la misma, en base a esto puede realizarse un cálculo correcto respecto a las dosis para inactivar los microorganismos objetivos; debido a ello, se hizo necesario medir la intensidad de radiación UV efectiva que se generaba dentro de la estructura es diferentes puntos, es decir la intensidad que logran concentrar simultáneamente ambos focos sumado a las ganancias por reflexiones debido al material de la estructura.

La intensidad generada mostró ser no lineal respecto al paso del tiempo, esto debido a que empezó con un valor que fue aumentando conforme transcurrían los segundos (véase Figura 36). Luego, tras un minuto de mantener encendidos los focos de radiación, la intensidad pudo alcanzar un pico máximo de  $633.5 \mu W/cm^2$  (véase Figura 37). A partir de este tiempo no existió una mayor variación respecto a la potencia generada, por ende, este valor es el que se empleó como intensidad de radiación UV efectiva para realizar los cálculos correspondientes.

Por otra parte debido a que la sonda receptora del medidor UV cuenta con un alto cerca de los de 2 cm, esta puede simular un producto alimenticio pequeño, de esta forma las mediciones pueden apuntar al peor de los casos de esterilización, es decir el objetivo se encuentra bastante alejado de los focos de radiación.

**Figura 36.**  
Medición de potencia efectiva tras 30 segundos.



**Fuente:** Elaborado por el autor.

**Figura 37.**  
Medición de potencia efectiva tras 60 segundos.



**Fuente:** Elaborado por el autor.

A manera de resumen y con el fin de contrastar los datos obtenidos de mejor manera, se presenta en la Tabla 13 la variación de la intensidad UV respecto al paso del tiempo.

**Tabla 13.**  
Mediciones de intensidad UV efectiva.

| Tiempo (seg) | Intensidad UV de las fuentes ( $\mu W/cm^2$ ) |
|--------------|---|
| 5            | 604,2   |
| 30           | 608,4   |
| 45           | 613,1   |
| ≥60          | 633,5   |

**Fuente:** Elaborado por el autor.

### **Plástico**

Según la Tabla 12 para esterilizar envases de plástico se requiere una dosis de  $17 \text{ mJ}/\text{cm}^2$ , de esta manera reemplazando de la ecuación (2):

$$E_t = \frac{17 \text{ mJ}/\text{cm}^2}{633.5 \text{ } \mu\text{W}/\text{cm}^2} = 26,83 \text{ seg}$$

### **Papel/Cartón**

Según la Tabla 12 para esterilizar envases de papel/cartón se requiere una dosis de  $36 \text{ mJ}/\text{cm}^2$ , de esta manera reemplazando de la ecuación (2):

$$E_t = \frac{36 \text{ mJ}/\text{cm}^2}{633.5 \text{ } \mu\text{W}/\text{cm}^2} = 56,82 \text{ seg}$$

### **Metal**

Según la Tabla 12 para esterilizar envases de metal se requiere una dosis de  $29 \text{ mJ}/\text{cm}^2$ , de esta manera reemplazando de la ecuación (2):

$$E_t = \frac{29 \text{ mJ}/\text{cm}^2}{633.5 \text{ } \mu\text{W}/\text{cm}^2} = 45,77 \text{ seg}$$

### **Vidrio**

Según la Tabla 12 para esterilizar envases de vidrio se requiere una dosis de  $12 \text{ mJ}/\text{cm}^2$ , de esta manera reemplazando de la ecuación (2):

$$E_t = \frac{12 \text{ mJ}/\text{cm}^2}{2052 \text{ } \mu\text{W}/\text{cm}^2} = 18,94 \text{ seg}$$

### **General**

Según la Tabla 12 para esterilizar de manera general los envases se requiere una dosis de  $36 \text{ mJ}/\text{cm}^2$ , de esta manera reemplazando de la ecuación (2):

$$E_t = \frac{36 \text{ mJ}/\text{cm}^2}{633.5 \text{ } \mu\text{W}/\text{cm}^2} = 56,82 \text{ seg}$$

Debido a que las propiedades físicas de cada material varían es necesario considerar un margen de seguridad con el fin de garantizar que la dosis requerida sea suministrada en su totalidad, por ello se considerará un margen del 15% para plástico, 30% para el vidrio, 45% para el metal y 60% para el papel/cartón.

Adicionalmente debido a que las lámparas UV requieren de un tiempo para suministrar una dosis estable, este tiempo debe adicionarse al inicio de cualquier periodo de esterilización. Las mediciones realizadas indican que es necesario un tiempo de 1 minuto de

calentamiento para estabilizar la intensidad UV suministrada, considerando estos criterios los tiempos de exposición finales fueron calculados y se muestran en la Tabla 14.

**Tabla 14.**  
*Tiempos de exposición finales.*

| Material     | Tiempo calculado (s) | Margen de seguridad (s) | Tiempo de calentamiento (s) | Tiempo de exposición (s) | Tiempo de exposición (min, s) |
|--------------|----------------------|-------------------------|-----------------------------|--------------------------|-------------------------------|
| Plástico     | 27                   | 4                       | 60                          | 91                       | 1min 31s                      |
| Papel/Cartón | 57                   | 34                      | 60                          | 151                      | 2min 31s                      |
| Metal        | 46                   | 21                      | 60                          | 127                      | 2min 7s                       |
| Vidrio       | 19                   | 6                       | 60                          | 85                       | 1min 25s                      |
| General      | 57                   | 34                      | 60                          | 151                      | 2min 31s                      |

**Nota.** Los tiempos finales que cuentan con decimales consideran redondeo al inmediato superior.

**Fuente:** Elaborado por el autor.

Luego de obtener los tiempos de exposición finales, se editó el código fuente con el fin de establecerlos dentro de cada modo (ver Anexo 7), por lo que fue necesario acceder remotamente; para este caso, se utilizó la herramienta VNC Server que permite establecer una conexión inalámbrica y poder manipular la Raspberry Pi desde un computador.

### 6.6.1. Medición de radiación UV externa

Como forma de verificar que la radiación UV se concentrara únicamente dentro del dispositivo y que no existieran fugas, se realizó una medición de radiación UV sobre la puerta de vidrio. El resultado indicó que existía radiación UV con un valor de  $0.0 \mu W/cm^2$  desde ese punto (véase Figura 38).

**Figura 38.**  
*Medición de radiación UV externa en la puerta de dispositivo.*



**Fuente:** Elaborado por el autor.

Asimismo, de manera externa, se realizaron mediciones en puntos estratégicos (como en los juntas de la puerta con la estructura), demostrando que no existían fugas de radiación

ultravioleta, debido a que en todo momento el medidor UV permaneció en un valor de  $0.0 \mu W/cm^2$  (véase Figura 39).

**Figura 39.**  
*Medición de radiación UV externa en puntos estratégicos.*



**Fuente:** Elaborado por el autor.

Estos resultados indican que se está proporcionando un dispositivo seguro al usuario en cuanto a la protección contra la radiación UV, de la misma manera que concentra de manera total la intensidad aprovechando las reflexiones proporcionadas por el material sobre el que está construido el prototipo.

#### **6.6.2. Medición de generación de ozono**

Al igual que las mediciones de radiación UV generada al exterior, resultó necesario verificar que no existiera generación de ozono proveniente del dispositivo, sin embargo, esto se realizó tanto de manera interna como externa, debido a que el gas puede permanecer encerrado algún tiempo y luego salir en cuanto la puerta se abra.

**Figura 40.**  
*Medición de generación de ozono interna y externa.*



**Fuente:** Elaborado por el autor.

Para realizar estas mediciones se realizaron procesos de esterilización de prueba con el fin de que las lámparas operaran normalmente, en primer lugar, se colocó este medidor dentro del dispositivo y se ejecutó un proceso, obtenido un valor de 0 ppm respecto a la

generación de gases, de igual manera para la medición externa se obtuvo el mismo valor, verificando la inexistencia de gas ozono (véase la Figura 40).

### 6.6.3. Pruebas de operación

Con los parámetros necesarios configurados y los datos necesarios obtenidos, se realizaron pruebas de operación para verificar el cumplimiento del tiempo de exposición para cada uno de los modos del dispositivo (estándar y envases). En la Tabla 15 se recopila las características de los modos (tiempos necesarios, dosis efectiva medida y material objetivo).

**Tabla 15.**  
*Características de modos de operación.*

| Modo     | Tiempo de exposición | Intensidad UV efectiva ( $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ ) | Material esterilizado | Dosis UV suministrada ( $\text{mJ}/\text{cm}^2$ ) |
|----------|----------------------|--|-----------------------|---|
| Estándar | 2min 31s             | 633.5 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$                      | Hasta cartón          | 57,64   |
|          | 1min 31s             |  | Plástico              | 19,63   |
| Envases  | 2min 31s             | 633.5 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$                      | Papel/Cartón          | 57  |
|          | 2min 7s              |  | Metal                 | 42,44   |
|          | 1min 25s             |  | Vidrio                | 15,83   |

**Nota:** El cálculo de dosis UV suministrada no considera el tiempo de calentamiento (60 seg).  
**Fuente:** Elaborado por el autor.

Como puede observarse, los tiempos de exposición en el modo envases consideran específicamente el material sobre el que está hecho el envase o empaque del alimento, este modo se usa únicamente cuando los envases a desinfectar son del mismo material, sin embargo, el modo estándar podría usarse para distintos envases.

**Figura 41.**  
*Procesos de esterilización para distintos alimentos industrializados.*



**Fuente:** Elaborado por el autor.

Para las primeras pruebas se utilizó el modo Envases, donde se pudo elegir el material de construcción que tenía cada alimento industrializado, es decir vidrio, cartón, plástico o metal; algunas de estas pruebas pueden observarse en la Figura 41. Asimismo, para las pruebas posteriores, se utilizó el modo estándar que consigue esterilizar los productos que

se encontraban disponibles de manera conjunta. Es necesario mencionar que estos productos se sometieron a los procesos tal y como se obtienen de los supermercados

Es necesario recalcar que luego de la extracción de los productos ingresados, ninguno de estos llegó a mostrar alguna alteración en su temperatura o algún subproducto generado por el proceso de esterilización, lo cual concuerda con la investigación realizada en el proceso de construcción del prototipo. De acuerdo con la dosis UV que se consigue generar internamente y a la investigación realizada, el dispositivo puede inactivar los patógenos presentes en envases de alimentos que se muestran en la Tabla 16.

**Tabla 16.**  
*Patógenos inactivados por prototipo UV.*

| Microorganismo                | Tipo     | Dosis de inactivación (mJ/cm <sup>2</sup> ) |
|-------------------------------|----------|---|
| <i>Bacillus cereus</i>        | Bacteria | 12  |
| <i>Bacillus subtilis</i>      | Espora   | 36  |
| <i>Campylobacter jejuni</i>   | Bacteria | 5,8   |
| <i>Clostridium spp.</i>       | Espora   | 8,4   |
| <i>Cryptosporidium spp.</i>   | Parasito | 6   |
| <i>Enterococcus spp.</i>      | Bacteria | 15  |
| <i>Escherichia coli</i>       | Bacteria | 17  |
| <i>Listeria monocytogenes</i> | Bacteria | 4,6   |
| <i>Hepatitis A</i>            | Virus    | 35  |
| <i>Norovirus</i>              | Virus    | 30  |
| <i>Pseudomonas aeruginosa</i> | Bacteria | 17  |
| <i>Salmonella spp.</i>        | Bacteria | 29  |
| <i>Serratia spp.</i>          | Bacteria | 2,2   |
| <i>Shigella spp.</i>          | Bacteria | 8,2   |
| <i>Staphylococcus aureus</i>  | Bacteria | 10  |
| <i>Vibrio cholerae</i>        | Bacteria | 8,9   |

**Fuente:** Recopilado por el autor.

Se debe tener en cuenta que las dosis UV de inactivación para un conjunto de patógenos no está estandarizada, por lo que el dispositivo es capaz de contrarrestar una gama mayor de los que se exponen en la Tabla 16, siempre y cuando se encuentren dentro de su rango de operación, es decir que su dosis de inactivación sea igual o menor que la dosis UV máxima que puede generar (57,64 mJ/ cm<sup>2</sup>) mediante el proceso más largo.

En el Anexo 11 se muestran dosis UV de inactivación para múltiples microorganismos determinados a base de pruebas realizadas utilizando lámparas LMP. Finalmente, con el objetivo de que el dispositivo sea operado de manera correcta y sus capacidades se puedan aprovechar al máximo, en el Anexo 12, se muestra su manual de usuario.

## 7. Discusión

El proceso inmerso en el diseño y la construcción de un dispositivo que opera con tecnología ultravioleta, debe estar sujeto a la investigación con el fin de establecer los fundamentos acordes a los requerimientos de esta tecnología. Por otro lado, tanto el dimensionamiento como la estructuración de los subsistemas que lo componen se determinan en base a las características de sus componentes, los cuales se implementan en base a las necesidades del dispositivo.

La selección del material base para la construcción de la estructura depende principalmente de la variedad de materiales disponibles en el mercado, en este aspecto la consideración de criterios como la forma en que se ofrecen (láminas o tubos), propiedades del material (con o sin reflexión), resistencia y facilidad de obtener población patógena, resultan vitales. Cuando se obvian aspectos como los anteriores o similares, un dispositivo es propenso a producir resultados negativos y por ende no cumplir con los objetivos.

De entre todos los materiales el acero inoxidable resulta ser el candidato más equilibrado la construcción de dispositivos que operan con tecnología UVGI, debido a su durabilidad, capacidad de reflexión a los rayos UV (permitiendo cubrir las zonas oscuras de un objetivo) y es altamente resistente a la corrosión y crecimiento microbiano. Debido a esto múltiples trabajos como los de Ochoa Padrón & Llanos Urrea, (2021) y Guairacaja Lema, (2021) lo utilizan como material de construcción para la estructura de su prototipo.

Al medir la intensidad generada es posible calcular la dosis UV que se alcanza, de esta forma comparando esta dosis con las expuestas por Malayeri et al. (2016) en '*Fluence (UV Dose) Required to Achieve Incremental Log Inactivation of Bacteria, Protozoa, Viruses and Algae*', se puede verificar que se han alcanzado 5 o más niveles de reducción logarítmica para los patógenos objetivos, lo cual, según la investigación realizada, permite alcanzar la esterilización en los productos sometidos.

De la misma forma, las mediciones realizadas, indican que la intensidad UV que logra recibir un producto logra estabilizarse o tiene mínimas variaciones tras estar expuesto alrededor de un minuto a la radiación, lo cual resultó sumamente importante para el cálculo correcto de los tiempos de exposición para cada uno de los modos de operación. Cabe destacar que en el diseño realizado por Ochoa Padrón & Llanos Urrea, (2021) , se establecen tiempos similares para cada uno de los tipos de productos que se pueden someter, sin embargo, dentro de los alimentos industrializados, únicamente se tratan enlatados.

El hecho de incluir investigaciones nacionales como internacionales respecto a los patógenos propensos a desarrollarse en un determinado material de envase para alimentos, permite establecer criterios más sólidos respecto a la población patógena objetiva por cada

modo de operación, produciendo un tratamiento más específico y efectivo. Asimismo, esta condición, proporciona compatibilidad para su uso en entornos nacionales e internacionales.

Otro aspecto para tener en cuenta, y más aun siendo el principal objetivo un envase, es el cambio en sus características físicas, tales como el color. Sin embargo, durante las pruebas realizadas, los productos que se sometieron a los procesos de esterilización no presentaron cambios en la integridad de su envase. Estos resultados son similares a los obtenidos por Ulloa Acosta, (2017), donde se expusieron láminas de papel encerado de color verde (material de protección para la piel de banano) a la radiación ultravioleta, y luego se verificó que el papel conservaba su color y no presentaba quemaduras luego de la exposición.

En cuanto al software, el algoritmo que se ejecuta dentro de la SBC, consigue que la interfaz desarrollada sea intuitiva, pues facilita la interacción a los usuarios y extiende el rango de estos, además que debido a los mecanismos de control y la no generación de gases que pueden ser tóxicos, se abre la puerta a implementaciones en ambientes domésticos, los cuales comúnmente son cerrados. Como se había mencionado esta unidad de control es eficaz para el desarrollo de prototipos pues al igual que en el proyecto desarrollado por Casado et al. (2022), en cuanto a la representación de datos a través de una pantalla mediante esta placa, los resultados son satisfactorios.

Actualmente la mayoría de los dispositivos comerciales que emplean tecnología UVGI para desinfectar o esterilizar, dejan la temporización en manos del usuario, de manera que el tiempo de exposición depende enteramente del manipulante. En contraste, el prototipo desarrollado automatiza el proceso temporización y configura el tiempo de exposición a partir de la selección del material del envase que cubre al alimento. Vale la pena recalcar que, a nivel comercial, existen pocos enfoques hacia la categoría de alimentos en cuanto a esterilización con UV.

## 8. Conclusiones

- En el presente proyecto se diseñó y construyó un sistema de esterilización que actúa sobre la superficie del envase de alimentos industrializados aprovechando la capacidad germicida de la luz ultravioleta de onda corta.
- Los conceptos teóricos adquiridos a través de la revisión de múltiples fuentes bibliográficas permitieron el establecimiento de las bases de desarrollo del prototipo, tales como la dimensión estructural, material de construcción, población patógena objetivo, categorías de envases, dosis UV necesarias y fuentes de radiación UV.
- La utilización de una Raspberry Pi como unidad de control permite concentrar y controlar varios subsistemas a través de una sola placa, de manera que favorece la proyección a futuro a la vez que facilita su integración a nuevas tecnologías emergentes.
- Las dimensiones estructurales del prototipo estuvieron sujetas principalmente a las dimensiones de los productos (alimentos) sobre los cuales se realizaron las respectivas mediciones, teniendo en cuenta criterios como las distintas formas de disposición de estos dentro del dispositivo.
- La estructuración del prototipo en dos compartimentos permitió centralizar el control y ofrecer un acople ideal entre los procesos que se ejecutan, a la vez que muestra flexibilidad para extender su capacidad, facilitar el mantenimiento y prestar nuevas opciones de uso.
- Las pruebas realizadas demostraron la nula emisión de calor por parte de las fuentes de radiación al extraer los productos luego de un proceso de esterilización, esto permitió desestimar la idea de la generación de calor externo que pueda afectar al usuario durante la manipulación del dispositivo.
- El desarrollo de mecanismos de seguridad resulta importante en dispositivos que operan con tecnología UVGI, de esta forma se precautela la integridad del usuario frente a los efectos resultantes de la exposición a la radiación ultravioleta.
- Los tiempos de exposición finales incluyeron un tiempo de calentamiento para las fuentes de radiación con el fin de estabilizar la intensidad irradiada, un tiempo extra acorde a las características de cada material y el tiempo calculado que relaciona la intensidad UV y dosis UV necesaria a través de las ecuaciones obtenidas en la revisión literaria.
- Las mediciones realizadas que utilizaron un radiómetro UV especializado permitieron verificar que el dispositivo es capaz de producir la radiación necesaria para alcanzar la dosis UV de inactivación para la población patógena tendiente a desarrollarse acorde al material de un envase.

## 9. Recomendaciones

- Establecer los fundamentos teóricos a partir de la revisión de fuentes bibliográficas confiables tales como enciclopedias y revistas de prestigio, las cuales sean afines al tema de investigación.
- Analizar los dispositivos que cuenten con un sistema relacionado al sistema a desarrollar identificando las características que permitan potenciar un diseño innovador.
- Seleccionar el material de construcción idóneo tanto para el diseño estructural y de soporte a partir de la revisión bibliográfica, lo cual permita aprovechar al máximo las características de este.
- Estructurar las operaciones del prototipo a partir de las capacidades de la unidad de control, utilizando de manera eficiente sus características y evitando complicaciones a futuro.
- Identificar las necesidades de un usuario de dispositivos afines al desarrollado, lo cual permita incorporar las funcionalidades pertinentes durante la elaboración de la GUI.
- Segmentar el mecanismo de control general en secciones más pequeñas que posibiliten la búsqueda y control de posibles fallas que afecten a las operaciones.
- Examinar la oportunidad de incorporar especímenes de patógenos o en su defecto realizar cultivos de patógenos típicos sobre envases en entornos especializados, con la finalidad de exponerlos a procesos de esterilización que permitan determinar la capacidad del prototipo.
- Encaminar la implementación del sistema de esterilización desarrollado (prototipo) en sitios afines a su uso que puedan tener poca o mucha concurrencia, por ejemplo, entornos domésticos y entornos comerciales.
- Explorar la integración del prototipo con las tecnologías modernas (como IoT), que permitan realizar un monitoreo y control remoto del dispositivo.

## 10. Referencias bibliográficas

- Ager, Z. (2021, January 6). *Food Packaging*. Regulations & Types of Materials. <https://www.highspeedtraining.co.uk/hub/types-of-food-packaging-materials/>
- Allegra, E. (2021, March 2). *UV-C light test method: is there a validated process to measure efficacy?* Teslabs. <https://testlabsuk.com/blog/uv-c-light-test-method-is-there-a-validated-process-to-measure-efficacy/>
- Alonso, A., Lorena, S., Sanz, G., León, I., Elisa, R., Gordo, G., Gil, B., Lea, Á., & Brea, R. (2016). *MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN DE ENFOQUE EXPERIMENTAL Asignatura: Métodos de investigación en Curso: 3º Educación Especial*.
- Anselmo, F., Flores, S., & de Revisión, A. (2019). Fundamentos epistémicos de la investigación cualitativa y cuantitativa: consensos y disensos. *Revista Digital de Investigación En Docencia Universitaria*, 13(1), 102–122. <https://doi.org/10.19083/RIDU.2019.644>
- Antonio-Gutierrez, O. T., Palou, E., & Lopez-Malo, A. (2012). *Equipos para tratamientos de alimentos con radiación UVC*. Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos. <https://aprenderly.com/doc/3159899/equipos-para-tratamientos-de-alimentos-con-radiaci%C3%B3n-uv-c>
- Artichowicz, W., Luczkiewicz, A., & Sawicki, J. M. (2020). Analysis of the radiation dose in UV-disinfection flow reactors. *Water (Switzerland)*, 12(1). <https://doi.org/10.3390/W12010231>
- Baquero, M., & Pillalaza, D. (2018). *Aislamiento e identificación de Coliformes y Escherichia coli BLEE en coches de compras de supermercados en el cantón Quito* [Universidad Central del Ecuador]. <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/16012>
- Barbosa, J., Albano, H., Silva, C. P., & Teixeira, P. (2019). Microbiological contamination of reusable plastic bags for food transportation. *Food Control*, 99, 158–163. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCONT.2018.12.041>
- Bartolomeu, M., Braz, M., Costa, P., Duarte, J., Pereira, C., & Almeida, A. (2022). Evaluation of UV-C Radiation Efficiency in the Decontamination of Inanimate Surfaces and Personal Protective Equipment Contaminated with Phage  $\phi 6$ . *Microorganisms*, 10(3). <https://doi.org/10.3390/MICROORGANISMS10030593>
- BCB. (2020). *UV germicidal tunnels for product disinfection*. UVGI. <https://www.bcbsl.com/en/producto/productos-bcb-en/uv-disinfection/uv-germicidal-tunnels/>
- Bencko, V. (2020). *Hygiene and epidemiology : selected chapters* (2nd ed.). Charles University in Prague, Karolinum Press. [https://books.google.com/books/about/Hygiene\\_and\\_Epidemiology.html?id=G\\_QDwAAQBAJ](https://books.google.com/books/about/Hygiene_and_Epidemiology.html?id=G_QDwAAQBAJ)
- Bergman, R. S. (2021). Germicidal UV Sources and Systems. *Photochemistry and Photobiology*, 97(3), 466–470. <https://doi.org/10.1111/PHP.13387>

- Bisht, B., Bhatnagar, P., Gururani, P., Kumar, V., Tomar, M. S., Sinhmar, R., Rathi, N., & Kumar, S. (2021). Food irradiation: Effect of ionizing and non-ionizing radiations on preservation of fruits and vegetables— a review. *Trends in Food Science & Technology*, 114, 372–385. <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2021.06.002>
- Bohorquez, F., Fabrizzio, S., Andrade, J., Omar, Z., Carrillo, T., Blanca, G., & Guerrero, E. S. (2018). *Laboratorio Vivo como Método de Investigación*. 13. [www.liveworkingeditorial.com](http://www.liveworkingeditorial.com)
- Bolton, J. R., & Cotton, C. A. (Christine A. (2008). *The ultraviolet disinfection handbook* (1a edición). American Water Works Association. [https://books.google.com/books/about/The\\_Ultraviolet\\_Disinfection\\_Handbook.html?id=1-Aw1BVoJVgC](https://books.google.com/books/about/The_Ultraviolet_Disinfection_Handbook.html?id=1-Aw1BVoJVgC)
- Boslaugh, S. E. (2016). foodborne illness | pathology | Britannica. In *Encyclopedia Britannica*. <https://www.britannica.com/science/foodborne-illness>
- Brais, N. (2017, October 3). *Effect of Germicidal UV on Plastic Materials*. Sanuvox. <https://sanuvox.com/blog/effect-of-germicidal-uv-on-plastic-materials/>
- Britannica, T. E. of E. (2021). ultraviolet radiation. In *Britannica*. <https://www.britannica.com/science/ultraviolet-radiation>
- BTSA. (2019, January 24). *Types of packaging material used in food*. <https://www.btsa.com/en/packaging-material-food-2/>
- Casado, P., Blanes, J. M., Torres, C., Orts, C., Marroquí, D., & Garrigós, A. (2022). Raspberry Pi based photovoltaic I-V curve tracer. *HardwareX*, 11, e00262. <https://doi.org/10.1016/J.OHX.2022.E00262>
- Chacha, J. S., Zhang, L., Ofoedu, C. E., Suleiman, R. A., Dotto, J. M., Roobab, U., Agunbiade, A. O., Duguma, H. T., Mkojera, B. T., Hossaini, S. M., Razaq, W. A., Shorstkii, I., Okpala, C. O. R., Korzeniowska, M., & Guiné, R. P. F. (2021). Revisiting Non-Thermal Food Processing and Preservation Methods—Action Mechanisms, Pros and Cons: A Technological Update (2016–2021). *Foods 2021*, Vol. 10, Page 1430, 10(6), 1430. <https://doi.org/10.3390/FOODS10061430>
- Chauret, C. P. (2014). Sanitization. *Encyclopedia of Food Microbiology: Second Edition*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384730-0.00407-9>
- Chawla, A., Lobacz, A., Tarapata, J., & Zulewska, J. (2021). UV Light Application as a Mean for Disinfection Applied in the Dairy Industry. *Applied Sciences 2021*, Vol. 11, Page 7285, 11(16), 7285. <https://doi.org/10.3390/APP11167285>
- Coba, G. (2021, November 16). *Gaseosas y snacks lideran la lista de compras en las tiendas*. Primicias. <https://www.primicias.ec/noticias/economia/gaseosas-snacks-compra-ecuatorianos-desnutricion/>
- Collier, E. (2019, August 26). *What Are The 4 Types Of Food Contamination?* Food Safety Guide. <https://www.highspeedtraining.co.uk/hub/four-types-contamination/>

- Dawson, P., Aljeddawi, W., Buyukyavuz, A., Han, I., & Martinez-Dawson, R. (2018). Bacteria on Can Lids. *Journal of Food: Microbiology, Safety & Hygiene*, 140, 3.  
<https://www.longdom.org/open-access/bacteria-on-can-lids-42656.html#ai>
- de Vasconcelos Pinto, M. J., Veiga, J. M., Fernandes, P., Ramos, C., Gonçalves, S., Lemos Vaz Velho, M. M., & Santos Guerreiro, J. (2015). Airborne Microorganisms Associated with Packaging Glass Sorting Facilities.  
<Http://Dx.Doi.Org/10.1080/15287394.2015.1021942>, 78(11), 685–696.  
<https://doi.org/10.1080/15287394.2015.1021942>
- Dube, N. (2021, October 7). *Exploring The Different Types Of Food Packaging Materials*. Packaging Materials | Packaging Desing.  
<https://www.industrialpackaging.com/blog/types-of-food-packaging-materials>
- EPA. (2022, February 9). *Food Irradiation* . <https://www.epa.gov/radtown/food-irradiation>
- Food Insight. (2020, July 21). *Food Packaging and the Quality of Your Food*.  
<https://foodinsight.org/food-packaging-and-the-quality-of-your-food/>
- GLA. (2020). Germicidal UV-C Irradiation SOURCES, PRODUCTS AND APPLICATIONS. *Global Lighting Association*, 7–11. [www.globallightingassociation.org](http://www.globallightingassociation.org).
- Guairacaja Lema, M. E. (2021). *Diseño e implementación de un prototipo para la potabilización de agua mediante esterilizador ultravioleta monitoreado de forma remota en la parroquia Punín*. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/21126>
- Helmenstine, A. M. (2019, December 3). *Ultraviolet Radiation - Definition of Science Terms*.  
<https://www.thoughtco.com/definition-of-ultraviolet-radiation-604675>
- Hiperbaric. (2021, January 14). *Non-Thermal Preservation Technologies for the Food Industry* . HPP Techonology. <https://www.hiperbaric.com/en/non-thermal-preservation-technologies-for-the-food-industry/>
- Huang, H. W., Wu, S. J., Lu, J. K., Shyu, Y. T., & Wang, C. Y. (2017). Current status and future trends of high-pressure processing in food industry. *Food Control*, 72, 1–8.  
<https://doi.org/10.1016/J.FOODCONT.2016.07.019>
- Jadhav, H. B., Annapure, U. S., & Deshmukh, R. R. (2021). Non-thermal Technologies for Food Processing. *Frontiers in Nutrition*, 8, 657090.  
<https://doi.org/10.3389/FNUT.2021.657090>
- Jildeh, Z. B., Wagner, P. H., & Schöning, M. J. (2021). Sterilization of Objects, Products, and Packaging Surfaces and Their Characterization in Different Fields of Industry: The Status in 2020. *Physica Status Solidi (a)*, 218(13), 2000732.  
<https://doi.org/10.1002/PSSA.202000732>
- Johnson, D. (2021, July 28). *Fundamentals of UV sterilization for food*.  
<https://insights.globalspec.com/article/17072/fundamentals-of-uv-sterilization-for-food>
- Koca, N., Urgan, M., & Saatli, T. E. (2018). Ultraviolet Light Applications in Dairy Processing. *Technological Approaches for Novel Applications in Dairy Processing*.  
<https://doi.org/10.5772/INTECHOPEN.74291>

- Kowalski, W. (2009). Ultraviolet germicidal irradiation handbook: UVGI for air and surface disinfection. In *Ultraviolet Germicidal Irradiation Handbook: UVGI for Air and Surface Disinfection*. Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-01999-9>
- Lima, F., Vieira, K., Santos, M., & de Souza, P. M. (2018). Effects of Radiation Technologies on Food Nutritional Quality. *Descriptive Food Science*. <https://doi.org/10.5772/INTECHOPEN.80437>
- Lucas, J. (2017, September 15). *What Is Ultraviolet Light?*. <https://www.livescience.com/50326-what-is-ultraviolet-light.html>
- Luminus. (2020). UV-C LEDs for Disinfection and Sterilization. *Luminus Application Note*, 2, 2–3. <https://doi.org/10.3205/dgkh000343>
- Madubhashini, S. (2022, April 22). *Food Sterilization Methods - Thermal And Non-thermal Methods | LearnBin*. Packaging Technology | Polymer Science and Technology. <https://learnbin.net/food-sterilization-methods/>
- Malayeri, A. H., Mohseni, M., Cairns, B., Bolton, J. R., Barbeau, B., Wright, H., & Linden, K. G. (2016). *Fluence (UV Dose) Required to Achieve Incremental Log Inactivation of Bacteria, Protozoa, Viruses and Algae*. 4–30. [www.iuva.org](http://www.iuva.org).
- Maxwell, A. (2016, October 3). *What You Need to Know About Food Packaging and the Microbial Environment*. ThermoFisher Scientific. <https://www.thermofisher.com/blog/food/what-you-need-to-know-about-food-packaging-and-the-microbial-environment/>
- Morehouse, K., & Komolprasert, V. (2018, April 1). *Overview of Irradiation of Food and Packaging*. FDA. <https://www.fda.gov/food/irradiation-food-packaging/overview-irradiation-food-and-packaging>
- Njunina, V. (2022, January 20). *What Is Cross Contamination & How Does It Happen?* FoodDocs. <https://www.fooddocs.com/post/what-is-cross-contamination>
- Ochoa Padrón, L. F., & Llanos Urrea, S. W. (2021). *Propuesta de diseño de una cabina de desinfección para víveres usando luz ultravioleta (UV) aplicado en supermercados de la ciudad de Cuenca*. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/21332>
- Organización Mundial de la Salud. (2020, April 30). *Inocuidad de los alimentos*. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/food-safety>
- Patrignani, F., Siroli, L., Gardini, F., & Lanciotti, R. (2016). Contribution of two different packaging material to microbial contamination of peaches: Implications in their microbiological quality. *Frontiers in Microbiology*, 7(JUN), 938. <https://doi.org/10.3389/FMICB.2016.00938/BIBTEX>
- Poster, D. L., Miller, C. C., Martinello, R. A., Horn, N. R., Postek, M. T., Cowan, T. E., Obeng, Y. S., & Kasianowicz, J. J. (2021). Ultraviolet Radiation Technologies and Healthcare Associated Infections: Standards and Metrology Needs. *Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology*, 126. <https://doi.org/10.6028/JRES.126.014>

- Python. (2019, September 18). *Our Documentation*. Beginner's Guide.  
<https://www.python.org/doc/>
- Rahman, M. . S. (2007). Handbook of Food Preservation. In M. Shafiur Rahman (Ed.), *CRC Press* (2nd ed.). CRC Press. <http://www.crcnetbase.com/isbn/9781420017373>
- Rajkhowa, S. (2020). Heat, solar pasteurization, and ultraviolet radiation treatment for removal of waterborne pathogens. *Waterborne Pathogens*, 169–187.  
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818783-8.00009-8>
- Rather, I. A., Koh, W. Y., Paek, W. K., & Lim, J. (2017). The sources of chemical contaminants in food and their health implications. *Frontiers in Pharmacology*, 8(NOV), 830. <https://doi.org/10.3389/FPHAR.2017.00830/BIBTEX>
- Rosales, S., Valdez, J., & Aguilar, C. (2021, October 7). *Alimentos industrializados*. Alimentación y Salud. <https://alimentacionysalud.unam.mx/alimentos-industrializados/>
- Salas, B. V., Cheng, N., Moe, P., & Nedev, N. (2020). *Inactivation of Enveloped Viruses (Coronavirus, H5N1 Virus) and Disinfection of the Air with Legionella-X 100 Via Ultraviolet Germicidal Irradiation (UVGI)*. 9–11.  
[https://www.academia.edu/download/62006900/Inactivation\\_of\\_Enveloped\\_Viruses\\_Coronavirus\\_H5N1\\_and\\_Disinfection\\_of\\_the\\_Air\\_with\\_LegionellaX\\_10020200205-93440-95zngc.pdf](https://www.academia.edu/download/62006900/Inactivation_of_Enveloped_Viruses_Coronavirus_H5N1_and_Disinfection_of_the_Air_with_LegionellaX_10020200205-93440-95zngc.pdf)
- Santos, C. T. dos. (2019). *How to write a good state of the art: should it be the first step of your thesis ?* <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02161403>
- Sapkota, A. (2021, May 17). *Chemical methods of sterilization- Gaseous and Liquid*. Microbes Notes. <https://microbenotes.com/chemical-methods-of-sterilization/>
- Sholtes, K., Simons, R., Beck, S., Adeli, B., & Sun, Z. (2021, December 3). *Ultraviolet Disinfection: Background and Basics*.  
<https://uvsolutionsmag.com/articles/2021/ultraviolet-disinfection-background-and-basics/>
- Singh, H., Bhardwaj, S. K., Khatri, M., Kim, K. H., & Bhardwaj, N. (2021). UVC radiation for food safety: An emerging technology for the microbial disinfection of food products. *Chemical Engineering Journal*, 417, 128084.  
<https://doi.org/10.1016/J.CEJ.2020.128084>
- Siroli, L., Patrignani, F., Serrazanetti, D. I., Chiavari, C., Benevelli, M., Grazia, L., & Lanciotti, R. (2017). Survival of Spoilage and Pathogenic Microorganisms on Cardboard and Plastic Packaging Materials. *Frontiers in Microbiology*, 8(DEC).  
<https://doi.org/10.3389/FMICB.2017.02606>
- Sood, S., Sharma, C., Sood, S., & Sharma, C. (2019). Bacteria in Indian Food Packaging Papers and Paperboards with Various Contents of Pulp Fiber. *Food and Nutrition Sciences*, 10(4), 349–357. <https://doi.org/10.4236/FNS.2019.104027>

- Stines, J. (2020, May 3). *Essentials of Germicidal Irradiation for Reduction of Microorganisms*. UV Solutions. <https://uvsolutionsmag.com/articles/2020/essentials-of-germicidal-irradiation-for-reduction-of-microorganisms/>
- Stouch Lighting Staff. (2020, September 14). *What is the Difference between UVA UVB UVC? Which is Most Dangerous?* <https://www.stouchlighting.com/blog/uva-uvb-uvc-differences>
- Sutelco. (2021, March 15). *La luz ultravioleta en los procesos alimenticios*. <https://www.sutelco.com/blog/la-luz-ultravioleta-en-los-procesos-alimenticios>
- Tankeshwar, A. (2022a, May 19). *Dry-Heat Sterilization: Principle, Advantages, Disadvantages*. Microbe Online. [https://microbeonline.com/dry-heat-sterilization-principle-advantages-disadvantages/#Disadvantages\\_for\\_dry\\_heat\\_sterilization](https://microbeonline.com/dry-heat-sterilization-principle-advantages-disadvantages/#Disadvantages_for_dry_heat_sterilization)
- Tankeshwar, A. (2022b, May 19). *Moist Heat Sterilization: Principle, Advantages, Disadvantages*. Microbe Online. <https://microbeonline.com/moist-heat-sterilization-definition-principle-advantages-disadvantages/>
- Traister, J. (2018, November 30). *Precautions for Canned Tuna*. Fish Recipes. <https://www.livestrong.com/article/499781-precautions-for-canned-tuna/>
- Ulloa Acosta, L. E. (2017). *Diseño de cámara de luz uv-c prototipo para el manejo de pudrición de corona en frutos de exportación de banano*. <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/41544>
- Vaishnani, K. (2020, May 21). *Four Types of Packaging Materials Used in the Food Industry*. Packaging. <https://www.litmusbranding.com/blog/four-types-of-packaging-materials-used-in-the-food-industry/>
- van Schooneveld, J. (2020). *Build Physical Projects With Python on the Raspberry Pi*. Real Python. <https://realpython.com/python-raspberry-pi/#reader-comments>
- Vecchia, P., Hietanen, M., Stuck, B. E., van Deventer, E., & Niu, S. (2007). *International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection Protecting Workers from Ultraviolet Radiation*. [www.icnirp.org](http://www.icnirp.org)
- Wilkinson, S. (2020, August 28). *Types Of Food Contamination*. Impact, Physical, Microbial & Avoiding. <https://cpdonline.co.uk/knowledge-base/food-hygiene/types-of-food-contamination/>
- Wipro Lighting. (2020, October 1). *Differences between UV-A, UV-B and UV-C light*. <https://www.wiprolighting.com/blog/differences-between-uva-uvb-and-uvc-light>
- Zăbavă, B.-Ștefania, Voicu, G., Vladuț, V., Ungureanu, N., Ferdes, M., & IPATE, G. (2018). *Advanced technologies for wastewater treatment by UV – a review*. 478.
- Zaidi, S., Vats, M., Kumar, N., Janbade, A., & Gupta, M. K. (2022). Evaluation of food packaging paper for microbial load and storage effect on the microbial activity of paper. *Packaging Technology and Science*. <https://doi.org/10.1002/PTS.2652>

## 11. Anexos

### Anexo 1: Toma de características dimensionales de alimentos industrializados



Supermercado "ECONOMATO POPULAR"



Diálogo con el encargado del local



Mediciones en alimentos con envase de plástico, papel/cartón, metal y vidrio

## Anexo 2: Características dimensionales de alimentos industrializados

| Nombre                            | Alto (cm) | Largo (cm) | Ancho (cm) | Peso (gr) | Forma/Material   |
|-----------------------------------|-----------|------------|------------|-----------|------------------|
| Duraznos "Facundo"                | 12        | 10         | 10         | 820       | Cilíndrico/Metal |
| Piñas "SNOB"                      | 11,6      | 8,5        | 8,5        | 600       | Cilíndrico/Metal |
| Del Verano "Cocktail"             | 12        | 10         | 10         | 820       | Cilíndrico/Metal |
| Lenteja "Gustadina"               | 11,6      | 7,5        | 7,5        | 425       | Cilíndrico/Metal |
| Fréjol "Gustadina"                | 11,6      | 7,5        | 7,5        | 425       | Cilíndrico/Metal |
| Frejol "La Europea"               | 11,6      | 7,5        | 7,5        | 450       | Cilíndrico/Metal |
| Maiz dulce "Gustadina"            | 7,8       | 6,8        | 6,8        | 227       | Cilíndrico/Metal |
| Aceite de Oliva                   | 14        | 7,8        | 7,8        | 500       | Cilíndrico/Metal |
| Pimenton "BADIA"                  | 7,4       | 6,68       | 6,68       | 75        | Cilíndrico/Metal |
| Leche de Coco "My Way"            | 11,3      | 7,4        | 7,4        | 400       | Cilíndrico/Metal |
| Leche condensada "Gloria"         | 8,3       | 7,4        | 7,4        | 396       | Cilíndrico/Metal |
| Leche condensada "La Lechera"     | 8,3       | 7,4        | 7,4        | 396       | Cilíndrico/Metal |
| Leche condensada "La Lechera"     | 5,6       | 5,5        | 5,5        | 100       | Cilíndrico/Metal |
| Soya "Oriental"                   | 11,7      | 10         | 10         | 400       | Cilíndrico/Metal |
| Nestogeno "Nestle"                | 12,6      | 10         | 10         | 400       | Cilíndrico/Metal |
| Cerelac "Nestle"                  | 11,4      | 10,2       | 10,2       | 400       | Cilíndrico/Metal |
| Nido "Nestle"                     | 13,6      | 10         | 10         | 400       | Cilíndrico/Metal |
| Sardina en salsa de tomate "Real" | 3,8       | 14         | 14         | 425       | Cilíndrico/Metal |
| Sardina en Aceite "REAL"          | 3,8       | 14         | 14         | 425       | Cilíndrico/Metal |
| Atún "REAL"                       | 6,7       | 15,8       | 15,8       | 950       | Cilíndrico/Metal |
| Atún "REAL"                       | 4         | 8,5        | 8,5        | 160       | Cilíndrico/Metal |
| Atún "Cardinal"                   | 4         | 8,5        | 8,5        | 160       | Cilíndrico/Metal |
| Atún "Isabel"                     | 4,4       | 8,5        | 8,5        | 180       | Cilíndrico/Metal |
| Atún "Girasol"                    | 3,5       | 8,2        | 8,2        | 140       | Cilíndrico/Metal |

|   |      |      |      |      |                     |
|---|------|------|------|------|---------------------|
| Atún "Campos"                                     | 4    | 8,5  | 8,5  | 160  | Cilíndrico/Metal    |
| Atún "Van Camps"                                  | 4,3  | 8,5  | 8,5  | 184  | Cilíndrico/Metal    |
| Sardina "Real"<br>(En salsa de tomate y aceite)   | 8,9  | 5,4  | 5,4  | 170  | Cilíndrico/Metal    |
| Sardina "Cardinal"                                | 3,8  | 13,7 | 13,7 | 425  | Cilíndrico/Metal    |
| Sardina Macarela "Real"                           | 11,4 | 7,4  | 7,4  | 425  | Cilíndrico/Metal    |
| Sardinas "Campos"                                 | 9,1  |      |      |      | Cilíndrico/Metal    |
| Yogurt Frush "Toni"                               | 26   | 7,3  | 7,3  | 900  | Cilíndrico/Plástico |
| Yogurt "Toni" (pequeño)                           | 14   | 5,5  | 5,5  | 200  | Cilíndrico/Plástico |
| Yogurt "Toni" (mediano)                           | 18,5 | 7,6  | 7,6  | 600  | Cilíndrico/Plástico |
| Yogurt "Toni" (grande)                            | 29,5 | 10,8 | 10,8 | 1700 | Cilíndrico/Plástico |
| Queso Crema "Toni" (Pequeño)                      | 2,8  | 6,4  | 6,4  | 50   | Cilíndrico/Plástico |
| Yogurt Toni "GRIEGO"                              | 7    | 7,3  | 7,3  | 12   | Cilíndrico/Plástico |
| Yogurt "Frutigurt"                                | 26   | 11,7 | 11,7 | 2000 | Cilíndrico/Plástico |
| Yogurt "Chiveria" (Frutilla, guanabana y durazno) | 22   | 8,6  | 8,6  | 950  | Cilíndrico/Plástico |
| Yogurt "Regeneris" (Durazno y frutilla)           | 26,5 | 7,6  | 7,6  | 1000 | Cilíndrico/Plástico |
| Yogurt "Kiosko"                                   | 26,5 | 7,3  | 7,3  | 950  | Cilíndrico/Plástico |
| Yogurt "Paraiso"                                  | 25   | 16,9 | 16,9 | 4000 | Cilíndrico/Plástico |
| Almendras   | 6    | 11,1 | 11,1 | 250  | Cilíndrico/Plástico |
| Nueces  | 6    | 11,1 | 11,1 | 200  | Cilíndrico/Plástico |
| Arequipe  | 10   | 8,6  | 8,6  | 500  | Cilíndrico/Plástico |
| Yogurt Mix "Toni"                                 | 12   | 7    | 7    | 180  | Cilíndrico/Plástico |
| Gelatina "Toni"                                   | 8,5  | 7,2  | 7,2  | 200  | Cilíndrico/Plástico |
| Panela "Doña Carmelita" (pequeña)                 | 5    | 6,4  | 6,4  | 75   | Cilíndrico/Plástico |
| Panela "Doña Carmelita" (grande)                  | 5    | 10,5 | 10,5 | 170  | Cilíndrico/Plástico |

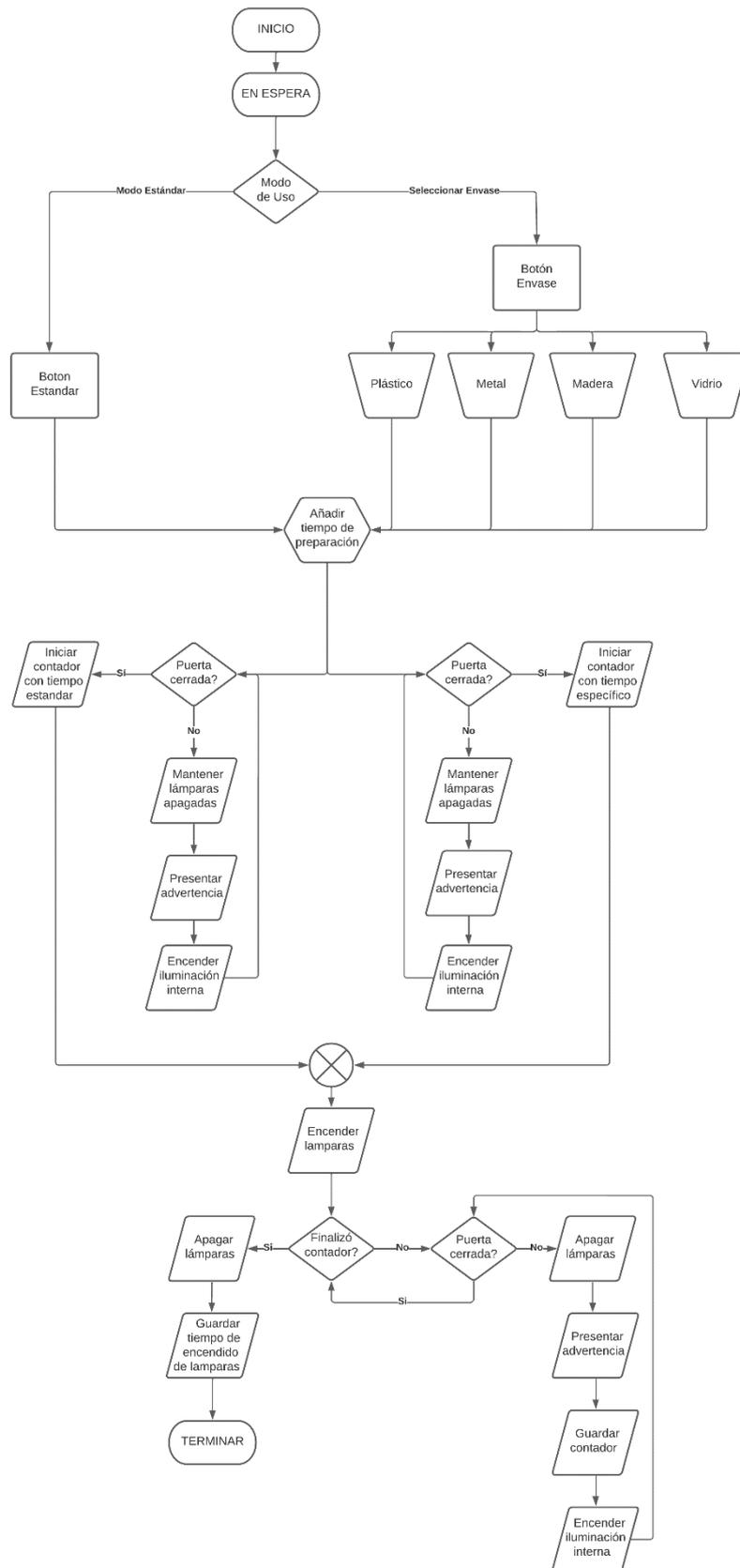
|   |      |      |      |       |                      |
|---|------|------|------|-------|----------------------|
| Leche Saborizada "Toni"                 | 18   | 4,5  | 4,5  | 200 g | Cilíndrico/Plástico  |
| Salsa de Tomate (Galón)                 | 26   | 16,9 | 16,9 | 3800  | Cilíndrico/Plástico  |
| Vinagre Blanco (Galón)                  | 26   | 16,9 | 16,9 | 4000  | Cilíndrico/Plástico  |
| Aceite "La Favorita" (grande)           | 28   | 7,3  | 7,3  | 1000  | Cilíndrico/Plástico  |
| Aceite "La Favorita" (pequeño)          | 28   | 7,3  | 7,3  | 1000  | Cilíndrico/Plástico  |
| Queso Crema "Toni" (grande)             | 8,5  | 13   | 4,1  | 600   | Rectangular/Plástico |
| Queso Crema "Toni" (pequeño)            | 5    | 13   | 4,1  | 250   | Rectangular/Plástico |
| Mantequilla "Girasol"                   | 9,3  | 8,5  | 2,7  | 490   | Rectangular/Plástico |
| Mantequilla "Bonella"                   | 9    | 12   | 4    | 500   | Rectangular/Plástico |
| Gelatina "Royal"                        | 18   | 11   | 3,5  | 400   | Funda/Plástico       |
| Yogurt "Lacto Fino" (coco y fresa)      | 22   | 14   |      | 900   | Funda/Plástico       |
| Queso "San Antonio"                     | 12   | 8,8  | 3    | 450   | Funda/Plástico       |
| Queso Mozzarella "Kiosko"               | 11,5 | 11   | 3,5  | 350   | Funda/Plástico       |
| Salchicha "La Europea"                  | 18,5 | 20   | 4    | 400   | Funda/Plástico       |
| Mortadela "La Europea" (Taco)           | 18,5 | 6    | 6    | 450   | Funda/Plástico       |
| Chorizo "La Italiana"                   | 13   | 16   | 5    | 400   | Funda/Plástico       |
| Mortadela "Caprilosa"                   | 13   | 13   | 2    | 220   | Funda/Plástico       |
| Pollo Ahumado                           | 20   | 16   | 16   | 1300  | Funda/Plástico       |
| Hojuela de Avena                        | 20   | 13   | 4    | 450   | Funda/Plástico       |
| Tapioca "Tapiorica" (piña, mora, fresa) | 26   | 14,5 | 2,3  | 400   | Funda/Plástico       |
| Avena "Quaker" (pequeña)                | 20   | 13   | 2    | 250   | Funda/Plástico       |
| Avena "Quaker" (grande)                 | 30   | 20   | 4    | 1000  | Funda/Plástico       |

|  |      |      |     |      |                |
|--|------|------|-----|------|----------------|
| Arroz "El marineró"                                      | 29   | 20   | 4   | 5000 | Funda/Plástico |
| Azúcar "Monterrey" (grande)                              | 30,5 | 22   | 3,5 | 2000 | Funda/Plástico |
| Azúcar "Monterrey" (pequeña)                             | 17,5 | 12   | 2   | 500  | Funda/Plástico |
| Sal "Crisal" (pequeña)                                   | 16   | 13   | 2   | 500  | Funda/Plástico |
| Sal "Crisal" (grande)                                    | 26   | 19   | 3   | 2000 | Funda/Plástico |
| Panela "Don Edgar"                                       | 23,5 | 15   | 2,4 | 900  | Funda/Plástico |
| Empanadas "Iris"   | 23,5 | 16,2 | 2,6 | 225  | Funda/Plástico |
| Mayonesa "Maggi"   | 20   | 14   | 2,2 | 400  | Funda/Plástico |
| Aceitunas "SNOB"   | 16,5 | 9,5  | 1,5 | 220  | Funda/Plástico |
| Fideos "Diamante"  | 19   | 15,5 | 2,5 | 200  | Funda/Plástico |
| Fideos "Lonchys"   | 12   | 14   | 2,3 | 82   | Funda/Plástico |
| Harina de Maíz   | 22   | 15   | 2,4 | 500  | Funda/Plástico |
| Maizena Toscano  | 16   | 13   | 2,2 | 200  | Funda/Plástico |
| Maíz "Sabrosa"   | 25   | 18   | 2,9 | 1000 | Funda/Plástico |
| Fideos "Cayambe"   | 22   | 15,5 | 2,5 | 400  | Funda/Plástico |
| Pasta "Regio"  | 23,5 | 16,5 | 2,6 | 500  | Funda/Plástico |
| Mostaza "Maggi"  | 23,5 | 15   | 2,5 | 1000 | Funda/Plástico |
| Crema de Pollo "Maggi"                                   | 14   | 9    | 1   | 72   | Funda/Plástico |
| Spaguetti "Giova"  | 28   | 13   | 2,2 | 1000 | Funda/Plástico |
| Tallarín "Petrona"                                       | 28   | 13   | 2,2 | 1000 | Funda/Plástico |
| Fideos "Viterio" (tornillo, corbata grande, codo rayado) | 18   | 15   | 2,5 | 250  | Funda/Plástico |
| Tallarín "Cayambe"                                       | 30   | 12   | 2,5 | 1000 | Funda/Plástico |
| Fideos y tallarín  | 16   | 14   | 2,2 | 450  | Funda/Plástico |
| Gomas "Grissy" (sandías, osos, gusanos)                  | 14   | 12   | 2,2 | 90   | Funda/Plástico |
| Maní horneado  | 24,5 | 16   | 2,6 | 450  | Funda/Plástico |

|                                     |      |      |     |      |                   |
|-------------------------------------|------|------|-----|------|-------------------|
| Caramelos                           | 30   | 20   | 3,2 | 480  | Funda/Plástico    |
| Supan                               | 30   | 11   | 10  | 525  | Funda/Plástico    |
| Supan Hot Dog                       | 21   | 22   | 7   | 600  | Funda/Plástico    |
| Torta "YA"                          | 16   | 13,7 | 4,2 | 500  | Rectangular/Papel |
| Caffe "Latto"                       | 13   | 5,5  | 1,8 | 250  | Rectangular/Papel |
| Leche "La lechera"                  | 20   | 7,5  | 2,5 | 1000 | Rectangular/Papel |
| Leche "Nutrileche"                  | 21   | 7,5  | 7,5 | 1000 | Rectangular/Papel |
| Leche "Nutrileche"                  | 23   | 15   | 5   | 900  | Rectangular/Papel |
| Hierbas Aromáticas "Natures Hearts" | 21   | 7,5  | 7,5 | 946  | Rectangular/Papel |
| Gelatina "Gerhada"                  | 8,5  | 8,5  | 3   | 30   | Rectangular/Papel |
| Torta "Royal"                       | 19,8 | 13,6 | 4,3 | 450  | Rectangular/Papel |
| Harina para pizza "Hamrisa"         | 18,5 | 9,2  | 3   | 500  | Rectangular/Papel |
| Vainilla "Promolac"                 | 15,5 | 11,2 | 3,5 | 90   | Rectangular/Papel |
| Lasaña "Sumesa"                     | 14   | 17,6 | 5,6 | 400  | Rectangular/Papel |
| Bebida de Avena "Toni"              | 24   | 10   | 3,2 | 1000 | Rectangular/Papel |
| Café "Don Victor"                   | 19,5 | 11   | 3,5 | 400  | Rectangular/Papel |
| Café "Don Humberto"                 | 26   | 12   | 5   | 400  | Rectangular/Papel |
| Frutos Rojos "Natures Hearts"       | 13   | 12   | 5   | 138  | Rectangular/Papel |
| Bon o Bon                           | 8,5  | 8,5  | 5   | 75   | Rectangular/Papel |
| Jugo "Del Valle"                    | 23   | 10   | 5   | 200  | Rectangular/Papel |
| Nucitas                             | 3,5  | 18   | 5,7 | 168  | Rectangular/Papel |
| Galletas "Ricas"                    | 18   | 9    | 3,5 | 268  | Rectangular/Papel |
| Cereal "Corn Flakes"                | 32,5 | 19,3 | 4   | 540  | Rectangular/Papel |
| Cereal "Chocapic"                   | 32,5 | 19,3 | 4   | 540  | Rectangular/Papel |
| Cereal "Trix"                       | 32,5 | 19,3 | 4   | 540  | Rectangular/Papel |
| Atunes "Real"                       | 4    | 21   | 4   | 250  | Rectangular/Papel |
| Atunes "Van Camps"                  | 4    | 20,4 | 4   | 80   | Rectangular/Papel |
| Atunes "Campos"                     | 4    | 20,3 | 4   | 80   | Rectangular/Papel |
| Atunes "Girasol"                    | 4    | 20   | 4   | 80   | Rectangular/Papel |

|                               |      |      |      |     |                   |
|-------------------------------|------|------|------|-----|-------------------|
| Café "Latto"                  | 16,2 | 5,8  | 5,8  | 285 | Cilíndrico/Vidrio |
| Café "Colcafé"                | 13,5 | 10,7 | 10,7 | 380 | Cilíndrico/Vidrio |
| Café "Buen Día"               | 18   | 9,4  | 9,4  | 170 | Cilíndrico/Vidrio |
| Café "Cayetano"               | 15   | 6,7  | 6,7  | 80  | Cilíndrico/Vidrio |
| Jugo "Sunny"                  | 16,9 | 5,4  | 5,4  | 200 | Cilíndrico/Vidrio |
| Mermelada "Meruvilla"         | 9,5  | 6,2  | 6,2  | 155 | Cilíndrico/Vidrio |
| Mermelada "Frutilla"          | 11,5 | 6,6  | 6,6  | 290 | Cilíndrico/Vidrio |
| Colada "Gerber"               | 7    | 6    | 6    | 113 | Cilíndrico/Vidrio |
| Crema de cacao                | 9,6  | 7    | 7    | 240 | Cilíndrico/Vidrio |
| Aceitunas "SNOB"              | 16   | 5,2  | 5,2  | 170 | Cilíndrico/Vidrio |
| Salsa de Ají "SNOB"           | 18   | 4,93 | 4,93 | 170 | Cilíndrico/Vidrio |
| Aceite de Oliva "RS"          | 19,5 | 8,91 | 8,91 | 500 | Cilíndrico/Vidrio |
| Miel de Abeja "Natural Honey" | 9    | 7,16 | 7,16 | 320 | Cilíndrico/Vidrio |
| Miel de Abeja "Power Honey"   | 13   | 8,43 | 8,43 | 640 | Cilíndrico/Vidrio |
| Sal con Ajo "Kaserola"        | 15   | 13,5 | 13,5 | 70  | Cilíndrico/Vidrio |

### Anexo 3: Diagrama de operación de prototipo



**Anexo 4:** Mediciones de intensidad UV



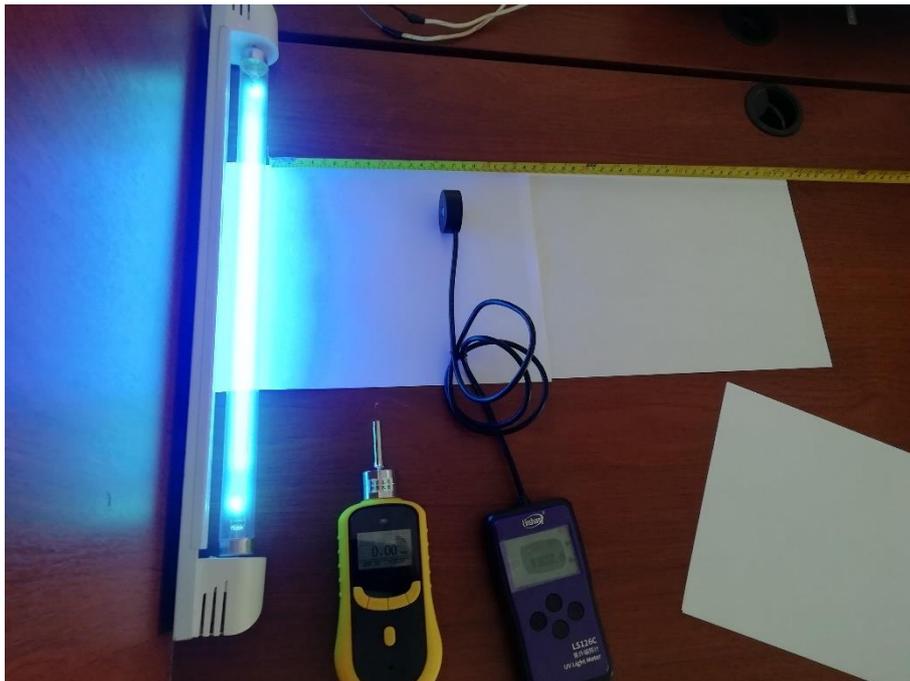
Medición a 3 cm de distancia



Medición a 5 cm de distancia



Medición a 15 cm de distancia



Medición a 25 cm de distancia

## Anexo 5: Instrumentos de medición

### A.5.1 LS126C UV Light Meter



Radiómetro

## I. Technical Parameters

1. Spectral response: 230nm-280nm,  $\lambda_p = 254\text{nm}$
2. Measuring range: 0 - 20000  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$
3. Resolution: 0.1  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$
4. Measuring accuracy:  $\pm 10\%$
5. Power data storage interval: 1s/10s/60s optional
6. Recording period: 10 min / 100 min / 600 min
7. Bluetooth transmission distance: 50 meters (open area)
9. Instrument size: 148mm long  $\times$  76mm wide  $\times$  26mm high
8. Probe size: diameter 46mm  $\times$  thickness 16.5mm
10. Probe wire length: 1 meter
11. Instrument weight: about 300 grams
12. Display: 240\*160 dot matrix LCD
13. Battery: 4 AAA alkaline dry batteries

Especificaciones del dispositivo

## A.5.2 Ozone (O3) Gas Detector HD-P900

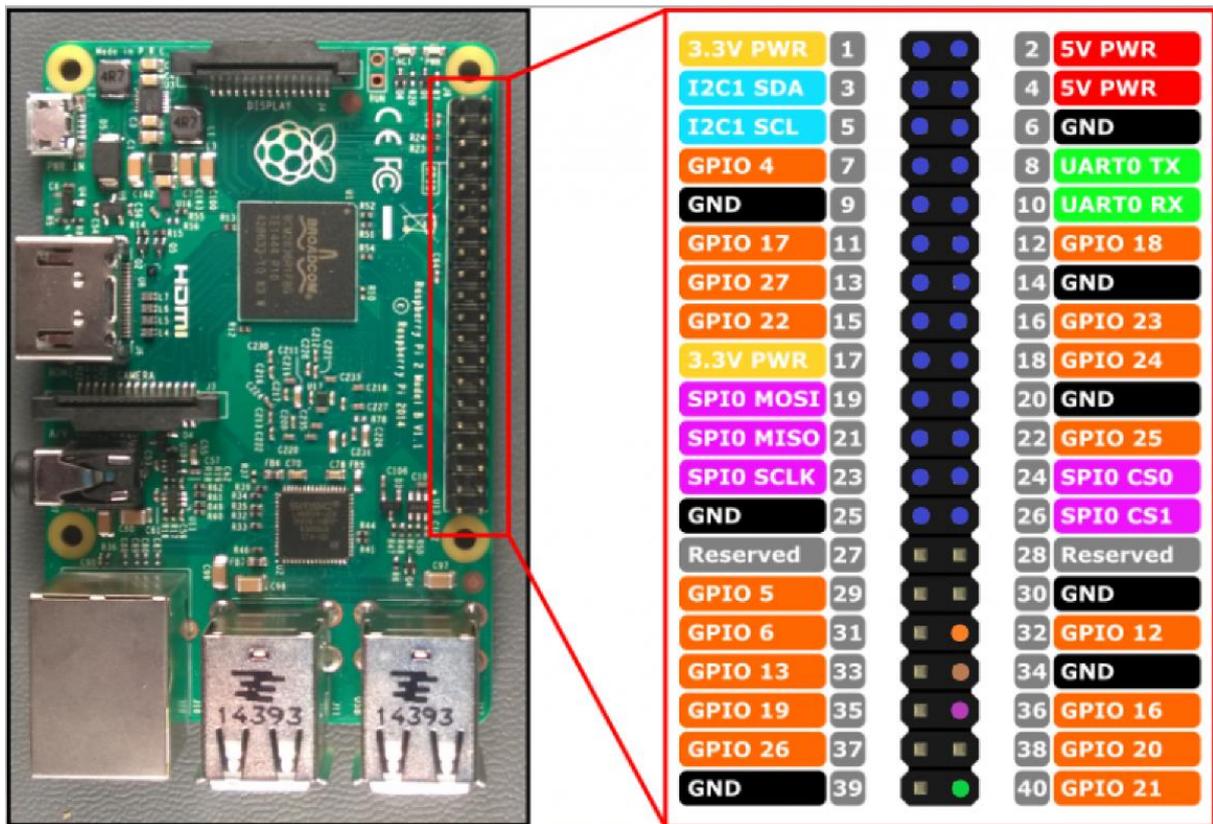


Detector de gases

|                                  |   |
|----------------------------------|---|
| Sampling Method                  | Pump suction type, flow rate can be up to 750ml/min   |
| Detection Principle              | Electrochemistry  |
| Gas                              | Ozone (O3)  |
| Range (Optional)                 | 0 to 10 ppm, 0 to 20 ppm, 0 to 50 ppm, 0 to 100 ppm, 0 to 500 ppm, 0 to 1000 ppm  |
| Resolution                       | 0.01ppm (0-10/20/50/100ppm), 0.1ppm (0-500ppm), 1ppm (0-1000ppm)  |
| Accuracy                         | ≤±3% F.S.   |
| Response Time                    | ≤10s  |
| Repeatability                    | ≤±1%  |
| Recovery Time                    | ≤10s  |
| Linearity Error                  | ≤±1%  |
| Zero Shift                       | ≤±1% (F.S./year)  |
| Data Logging (Optional Function) | High speed data transmission by USB, available for data downloading and printing (The built-in IC card has about 2G memory, which can record 100,000 sets of data.) |
| Alarms                           | Sound, light and vibration  |
| Display                          | LCD dot matrix display  |
| Language                         | Chinese/English   |
| Battery                          | 3.7V rechargeable lithium battery, 3.7 Watt<br>(Charger included: Input AC 100-240V 50/60Hz with optional USA, Europe or UK plug)                                   |
| Operating Time                   | 100h (Pump off)   |
| Communication                    | Mini USB interface supports standard MODBUS communication protocol  |
| Explosion-proof Grade            | Ex ia IIC T4 Gb   |
| Case Material                    | ABS+PC  |
| Protection Grade                 | IP66  |
| Certification                    | CE, ATEX  |
| Operating Temperature            | -20°C~50°C  |
| Operating Humidity               | 0~95%RH (non-condensing)  |
| Operating Pressure               | 0.8~1.2bar  |
| Dimension                        | 205*75*32mm   |
| Weight                           | 300g  |
| Warranty                         | 12 months   |

Especificaciones del dispositivo

## Anexo 6: Disposición de pines para Raspberry Pi 3 B



### Pines ocupados 30/40

- Dispositivo de interacción (Pantalla Táctil 3.5") | 26 pines
- Sensor de seguridad (MC-38) | 1 pin
- GND (Tierra común) | 1 pin
- Control lámparas | 1 pin
- Control cinta led | 1 pin

## Anexo 7: Código desarrollado para Raspberry Pi

```
import threading
from tkinter import *
import time
from PIL import Image, ImageTk
from itertools import count, cycle
import os
import RPi.GPIO as GPIO

#CLASE PARA CAMBIO DE COLOR DE BOTON AL PRESIONARLO
class HoverButton(Button):
    def __init__(self, master, **kw):
        Button.__init__(self, master=master, **kw)
        self.defaultBackground = self["background"]
        self.bind("<Enter>", self.on_enter)
        self.bind("<Leave>", self.on_leave)

    def on_enter(self, e):
        self["background"] = self["activebackground"]

    def on_leave(self, e):
        self["background"] = self.defaultBackground

#CLASE PARA GIFS EN MOVIMIENTO
class ImageLabel(Label):
    def load(self, im):
        if isinstance(im, str):
            im = Image.open(im)
        frames = []
        try:
            for i in count(1):
                frames.append(ImageTk.PhotoImage(im.copy()))
                im.seek(i)
        except EOFError:
            pass

        self.frames = cycle(frames)
        self.delay = 100000
        if len(frames) == 1:
            self.config(image=next(self.frames))
        else:
            self.next_frame()

    def unload(self):
        self.config(image=None)
        self.frames = None

    def next_frame(self):
        if self.frames:
            self.config(image=next(self.frames))
            self.cambio_gif = self.after(self.delay, self.next_frame)

    def set_velocity(self, velocity):
        self.delay = velocity
        if self.delay > 100:
            self.after_cancel(self.cambio_gif)
        else:
            self.next_frame()

#CLASE PRINCIPAL
class Esterilizer:
    def __init__(self, window):
        self.ventana_raiz = window
        self.ventana_raiz.overridedirect(True)
        self.ventana_raiz.overridedirect(False)
        self.ventana_raiz.attributes('-fullscreen', True)
        self.ventana_raiz.geometry('640x480')
        self.ventana_raiz.minsize(640, 480)
        self.ventana_raiz.maxsize(640, 480)
        self.ventana_raiz.config(bg="white")
        self.ventana_raiz.configure(bg='blue')
```

```

self.ventana_raiz.title('ESTERILIZADOR')

#LOGO DE LA CARRERA
self.logo = PhotoImage(file='logo_cieyt.png')
self.label_logo = Label(self.ventana_raiz, image=self.logo, bg='blue')
self.label_logo.grid(row=5, column=0, pady=10, columnspan=3)

#TITULO GENERAL
self.titulo_gen = Label(self.ventana_raiz, text="ESTERILIZADOR", bg='blue', fg='white', font=("Montserrat", 35))
self.titulo_gen.grid(row=0, column=0, pady=8, ipadx=135, columnspan=4)

#LABEL PARA ADVERTENCIA
self.flash_colours = ('white', 'red') # 2 colores para interca5biar la advertencia

self.advertencia = Label(self.ventana_raiz, text=" !EN PROCESO!", foreground=self.flash_colours[0], bg='blue', fg='white',
font=("Playfair Display", 11))
self.advertencia.grid(row=2, column=0, pady=10, columnspan=2)

# CONFIGURACIÓN DE PUERTOS GPIO
GPIO.setwarnings(False)
GPIO.setmode(GPIO.BCM)
GPIO.cleanup()

# Lamparas
self.sig_rele = 21
GPIO.setup(self.sig_rele, GPIO.OUT) # define señal de activación de relé como salida
GPIO.output(self.sig_rele, GPIO.HIGH) # establece el modo de relé desactivado
self.state = GPIO.input(self.sig_rele)

# CINTA LEDS
self.pin_leds = 16
GPIO.setup(self.pin_leds, GPIO.OUT)
GPIO.output(self.pin_leds, GPIO.HIGH)

# SENSOR DE PUERTA
self.pin_sensor_puerta = 12
self.control_puerta = None
GPIO.setup(self.pin_sensor_puerta, GPIO.IN, pull_up_down=GPIO.PUD_UP)

#OTRAS VARIABLES
self.t_total = 0 #conteo del tiempo total
self.prueba = 0 #auxiliar para botones SI y NO
self.vel_start = int(20) #velocidad de cambio de imagenes en gif
self.vel_stop = int(10000000) #velocidad de cambio de imagenes en gif
self.aux_cal = 0 #auxiliar para calentamiento de lamparas
self.delay_color = int(1000) #cambio de color de advertencia

# AUX PARA EVENTOS AFTER
self.aux_after1 = None #auxliar para función de advertencia
self.aux_puerta1 = None #auxiliar para función de contador
self.aux_titulo = None #auxiliar para avisos en pantalla
self.aux_titulo2 = None

# AUXILIARES PARA PAUSAR Y CONTINUAR
self._alarm_id = None
self._paused = False

# ESTABLECER EL TITULO DE INICIO
self.labelvariable = StringVar()
self.labelvariable.set("INICIANDO")

# CAJA PRESENTADORA DE ANUNCIOS
self.Caja_presentar = Entry(self.ventana_raiz, bg='#9EF8E8', width=30, relief='groove', font='Montserrat 15',
justify='center', state='readonly')
self.Caja_presentar.grid(column=0, row=1, columnspan=4, pady=5)
self.text_bvd = Label(self.Caja_presentar, textvariable=self.labelvariable, bg='#9EF8E8',
font='Montserrat 20', width=30, justify='center')
self.text_bvd.grid(column=0, row=0, columnspan=4)

# BOTONES DE OPCIONES GENERALES
self.btn_envases = HoverButton(self.ventana_raiz, text="ENVASES", height=2, width=8,
font=('Comic sens MC', 17, 'bold'), fg='white', borderwidth=5,
relief="raised",
activebackground="#FFA500", bg='blue', anchor="center",
command=lambda: [self.presentar_manual(), self.ventana_envases()])

```

```

self.btn_envases.grid(column=1, row=3, columnspan=1)

self.btn_estandar = HoverButton(self.ventana_raiz, text="ESTÁNDAR", height=2, width=9,
    font=('Comic sens MC', 17, 'bold'),
    fg='white', borderwidth=5, relief="raised", activebackground="#FFA500", bg='blue',
    anchor="center",
    command=lambda: threading.Thread(target=self.estandar).start())

self.btn_estandar.grid(column=0, row=3, padx=40)

#BOTONES SI Y NO
self.btn_si = HoverButton(self.ventana_raiz, text="SI", height=2, width=3,
    font=('Comic sens MC', 17, 'bold'), fg='white', borderwidth=5,
    relief="raised",
    activebackground="#FFA500", bg='blue', anchor="center",
    command=lambda: self.si(), state='disabled')
self.btn_si.grid(column=2, row=2, pady=10)

self.btn_no = HoverButton(self.ventana_raiz, text="NO", height=2, width=3,
    font=('Comic sens MC', 17, 'bold'), fg='white', borderwidth=5,
    relief="raised",
    activebackground="#FFA500", bg='blue', anchor="center",
    command=lambda: self.no(), state='disabled')
self.btn_no.grid(column=2, row=3, pady=10)

#BOTON DE PAUSAR Y CONTINUAR
self.img_pausar = PhotoImage(file='PAUSE.png')
self.btn_pausar = HoverButton(self.ventana_raiz, image=self.img_pausar, bg='blue', activebackground="#FFA500",
    borderwidth=0,
    command=self.stopTime, state='disabled')
self.btn_pausar.grid(column=0, row=4, pady=10)

self.img_continuar = PhotoImage(file='PLAY.png')
self.btn_continuar = HoverButton(self.ventana_raiz, image=self.img_continuar, bg='blue',
    activebackground="#FFA500",
    borderwidth=0,
    command=self.startTime, state='disabled')
self.btn_continuar.grid(column=0, row=4, columnspan=2)

#BOTON DE INFORMACIÓN
self.img_info = PhotoImage(file='info.png')
self.btn_info = HoverButton(self.ventana_raiz, image=self.img_info, bg='blue',
    activebackground="#FFA500", borderwidth=0, state='normal',
    command=lambda: self.ventana_informacion())
self.btn_info.grid(column=1, row=4, columnspan=1)

# BOTON DE APAGAR
self.img_apagar = PhotoImage(file='apagar.png')
self.btn_apagar = HoverButton(self.ventana_raiz, image=self.img_apagar, bg='blue', activebackground="#FFA500",
    borderwidth=0,
    command=lambda: self.apagado())
self.btn_apagar.grid(column=2, row=4, columnspan=1)
self.btns_off()

#INICIAR SALUDO DE BIENVENIDA Y ILUMINACIÓN INTERNA
saludo = threading.Timer(1, self.saludo_bienvenida)
saludo.start()

iniciar2 = threading.Timer(1, self.tira_leds)
iniciar2.start()

def tira_leds(self): #monitorear el estado de la puerta en la ventana principal y durante los procesos
self.control_puerta_start = GPIO.input(self.pin_sensor_puerta)
if self.control_puerta_start == 1: # puerta abierta
    GPIO.output(self.pin_leds, GPIO.LOW)
    GPIO.output(self.sig_rele, GPIO.HIGH)
if self.aux_titulo2 == None:
    self.labelvariable.set("PUERTA ABIERTA")
if self.aux_titulo2 == 30:
    self.btn_continuar.config(state='disabled')
    self.btn_pausar.config(state='disabled')
self.advertencia.grid_forget()
lbl.set_velocity(self.vel_stop)
lbl2.set_velocity(self.vel_stop)

```

```

self.ctpuerta = self.ventana_raiz.after(100, self.tira_leds)

if self.control_puerta_start == 0: # puerta cerrada
    GPIO.output(self.pin_leds, GPIO.HIGH)
    if self.aux_titulo == None:
        self.labelvariable.set("BIENVENIDO, ELIJA UNA OPCIÓN")
    if self.aux_titulo2 == 30:
        self.btn_continuar.config(state='normal')
    self.ctpuerta = self.ventana_raiz.after(100, self.tira_leds)

def apagado(self):#apagar dispositivo
    self.labelvariable.set("APAGANDO")
    GPIO.cleanup()
    os.system("sudo shutdown -h now")

def flashColour(self, colour_index): #cambiar el color del label
    self.advertencia.config(foreground=self.flash_colours[colour_index])
    self.aux_after1 = self.ventana_raiz.after(self.delay_color, self.flashColour, 1 - colour_index)

def presentar_manual(self):
    self.labelvariable.set("MODO MANUAL")

def btns_off(self):#desactivar botones
    self.btn_apagar.config(state='disabled')
    self.btn_envases.config(state='disabled')
    self.btn_estandar.config(state='disabled')
    self.btn_info.config(state='disabled')
    self.btn_si.config(state='disabled')
    self.btn_no.config(state='disabled')

def btns_on(self): #activar botones
    self.aux_titulo == None
    self.apagar_adver
    self.labelvariable.set("BIENVENIDO, ELIJA UNA OPCIÓN")
    self.btn_apagar.config(state='normal')
    self.btn_envases.config(state='normal')
    self.btn_estandar.config(state='normal')
    self.btn_info.config(state='normal')

def aux_titulofunc(self):#funcion axiliar
    self.aux_titulo = None

def saludo(self):#funcion axiliar
    self.btns_off()
    time.sleep(2)
    self.btns_on()

def volver_raiz_1(self):#volver desde la ventana manual
    self.ventana_man.destroy()
    self.ventana_raiz.deiconify()

def volver_raiz_2(self):# volver desde la ventana de información
    self.ventana_info.destroy()
    self.ventana_raiz.deiconify()

def saludo_bienvenida(self): #saludo de bienvenida
    self.labelvariable.set("BIENVENIDO, ELIJA UNA OPCIÓN")
    self.btns_on()

def calentamiento(self):#realizar el calentamiento de lamparas
    if self.aux_cal >= 0:
        self.t_calentamiento = 60 # segundos de calentamiento
        self.temp_calc = self._starttime + self.t_calentamiento
        self.btns_off()
        self.labelvariable.set("+ TIEMPO DE CALENTAMIENTO")
        time.sleep(2)
        self.presentar_adv()
        self.desac_sino()
        lbl.set_velocity(self.vel_start)
        lbl2.set_velocity(self.vel_start)
        self.countdown(self.temp_calc)
    else:
        self.aux_after1 = None
        self.presentar_adv()

```

```

self.desac_sino()
lbl.set_velocity(self.vel_start)
lbl2.set_velocity(self.vel_start)
self.btns_off()
self.countdown(self._starttime)

def apagar_adver(self): #desactivar advertencia
self.advertencia.grid_forget()
lbl.set_velocity(self.vel_stop)
lbl2.set_velocity(self.vel_stop)

def termino(self):#evualar el termino de un periodo
self.control_puerta = GPIO.input(self.pin_sensor_puerta)
self.aux_titulo2 = None
if self.t_total >= 600:
    if self.control_puerta == 0:
        self.apagar_adver
        self.labelvariable.set("RETIRE SU PRODUCTO")
        self.aux_termino = self.ventana_raiz.after(100, self.termino)
    elif self.control_puerta == 1:
        self.apagar_adver
        self.labelvariable.set("DESCANSANDO 🧘")
        self.btns_off()
        self.t_total = 0
        print(self.t_total)
        self.ventana_raiz.after_cancel(self.aux_termino)
        activar = threading.Timer(60, self.btns_on)
        activar.start()
        activar33 = threading.Timer(60, self.aux_titulofunc)
        activar33.start()

elif self.t_total < 600:
self._starttime = 0
if self.control_puerta == 0:
    self.apagar_adver
    self.labelvariable.set("RETIRE SU PRODUCTO")
    self.aux_termino = self.ventana_raiz.after(100, self.termino)
elif self.control_puerta == 1:
    self.apagar_adver
    self.btns_on()
    self.aux_titulo = None # activar aviso para titulo desde tira led
    self.ventana_raiz.after_cancel(self.aux_termino)

def startTime(self): # funcion para continuar desde boton PLAY
self.aux_titulo2 = None
GPIO.output(self.sig_rele, GPIO.LOW)
self.advertencia.grid(row=2, column=0, pady=10, columnspan=2)
self.presentar_adv()
lbl.set_velocity(self.vel_start)
lbl2.set_velocity(self.vel_start)
self._paused = False
self.btn_continuar.config(state='disabled')
self.btn_pausar.config(state='normal')
if self._alarm_id is None:
    self.countdown(self._starttime)

def stopTime(self): # funcion para pausar desde boton PLAY
GPIO.output(self.sig_rele, GPIO.HIGH)
self.btn_pausar.config(state='disabled')
self.btn_continuar.config(state='normal')
self.advertencia.grid_forget()
lbl.set_velocity(self.vel_stop)
lbl2.set_velocity(self.vel_stop)
if self._alarm_id is not None:
    self._paused = True
self.ventana_raiz.after_cancel(self.aux_after1)
self.aux_after1 = None

def countdown(self, timeInSeconds, start=True): #función de contador descendente
self.aux_titulo = 30
self.aux_titulo2=30
self.control_puerta = GPIO.input(self.pin_sensor_puerta)
if start:
    self._starttime = timeInSeconds
if self._paused == True:#evento para pausar

```

```

self.aux_titulo2 = 30
GPIO.output(self.sig_rele, GPIO.HIGH)
self._alarm_id = self.ventana_raiz.after(100, self.countdown, timeInSeconds, False)
lbl.set_velocity(self.vel_stop)
lbl2.set_velocity(self.vel_stop)
elif self.control_puerta == 1: #cuando la puerta se abre
    GPIO.output(self.sig_rele, GPIO.HIGH)
    self._alarm_id = self.ventana_raiz.after(100, self.countdown, timeInSeconds, False)
    self.advertencia.grid_forget()
    lbl.set_velocity(self.vel_stop)
    lbl2.set_velocity(self.vel_stop)
    self.btn_continuar.config(state='disabled')
    self.btn_pausar.config(state='disabled')
    self.aux_puerta1 = None
elif timeInSeconds > -2: #evaluar el tiempo del contador
    GPIO.output(self.sig_rele, GPIO.LOW)
    GPIO.output(self.pin_leds, GPIO.HIGH) # -----desactivar tira de leds
    self.btn_pausar.config(state='normal')
    mins, secs = divmod(timeInSeconds, 60)
    timeformat = "FALTAN: {0:02d};{1:02d} PARA FINALIZAR".format(mins, secs)
    application.labelvariable.set(timeformat)
    self._alarm_id = self.ventana_raiz.after(1000, self.countdown, timeInSeconds - 1, False)
    if timeInSeconds < 0: #cuando termine el contador
        self.btn_continuar.config(state='disabled')
        self.btn_pausar.config(state='disabled')
        GPIO.output(self.sig_rele, GPIO.HIGH)
        self.advertencia.grid_forget()
        lbl.set_velocity(self.vel_stop)
        lbl2.set_velocity(self.vel_stop)
        self.t_total = self.t_total + self._starttime
        print(self.t_total)
        self.prueba = 0
        self.aux_cal = 1
        self.aux_after = None
        self.ventana_raiz.after_cancel(self._alarm_id)
        self.ventana_raiz.after_cancel(self.aux_after1)
        self.termino()
    if self.aux_puerta1 == None:
        self.aux_puerta1 = 1
        self.advertencia.grid(row=2, column=0, pady=10, columnspan=2)
        lbl.set_velocity(self.vel_start)
        lbl2.set_velocity(self.vel_start)
        self.presentar_adv()

def si(self): #funcion para confirmar
    self.prueba = 10

def no(self): #funcion para denegar
    self.prueba = 20

def actv_sino(self): #activar botones de confirmar y denegar
    self.btn_si.config(state='normal')
    self.btn_no.config(state='normal')

def desac_sino(self): #desactivar botones de confirmar y denegar
    self.btn_si.config(state='disabled')
    self.btn_no.config(state='disabled')

def confirmar(self): #pregunta de confirmación
    while self.prueba == 0:
        self.labelvariable.set("¿DESEA CONTINUAR?")
        self.actv_sino()
    else:
        return

def presentar_adv(self): #presentación de advertencia
    if self.aux_after1 == None:
        self.advertencia.grid(row=2, column=0, pady=10, columnspan=2)
        self.flashColour(0)

def comprobar(self): #comprobar si se ha presionado el boton NO o SI
    if self.prueba == 20: # variable para NO
        self.labelvariable.set("BIENVENIDO, SELECCIONE UNA OPCIÓN")
        self.btns_on()
        self.prueba = 0

```

```

self.desac_sino()
self._starttime = 0
self.aux_titulo = None
return

if self.prueba == 10: # variable para SI
    self.ventana_raiz.after_cancel(self.ctpuerta)#-----##cancelar tira de leds
    self.calentamiento()

def estandar(self): #configuración para tiempo estandar
    self.aux_titulo = 30
    self.btn_info.config(state='normal')
    self.labelvariable.set("MODULO ESTÁNDAR")
    self.btns_off()
    time.sleep(1)
    self.confirmar()
    self._starttime = 91
    self.comprobar()

def env_plastico(self):#configuración para tiempo para plastico
    self.aux_titulo = 30
    self.volver_raiz_1()
    self.btn_info.config(state='normal')
    self.labelvariable.set("ENVASE: PLÁSTICO")
    self.btns_off()
    time.sleep(1)
    self.confirmar()
    self._starttime = 31
    self.comprobar()

def env_vidrio(self): #configuración para tiempo para vidrio
    self.aux_titulo = 30
    self.volver_raiz_1()
    self.btn_info.config(state='normal')
    self.labelvariable.set("ENVASE: VIDRIO")
    self.btns_off()
    time.sleep(1)
    self.confirmar()
    self._starttime = 25
    self.comprobar()

def env_metal(self): #configuración para tiempo para metal
    self.aux_titulo = 30
    self.volver_raiz_1()
    self.btn_info.config(state='normal')
    self.labelvariable.set("ENVASE: METAL")
    self.btns_off()
    time.sleep(1)
    self.confirmar()
    self._starttime = 67
    self.comprobar()

def env_madera(self):#configuración para tiempo para madera
    self.aux_titulo = 30
    self.volver_raiz_1()
    self.btn_info.config(state='normal')
    self.labelvariable.set("ENVASE: CARTÓN")
    self.btns_off()
    time.sleep(1)
    self.confirmar()
    self._starttime = 91
    self.comprobar()

def ventana_envases(self): #ventana de selección envases
    self.ventana_man = Toplevel()
    self.ventana_man.geometry('640x480')
    self.ventana_man.attributes('-topmost', True)
    self.ventana_man.overrideredirect(True)
    self.ventana_man.overrideredirect(False)
    self.ventana_man.attributes('-fullscreen', True)
    self.ventana_man.minsize(640, 480)
    self.ventana_man.maxsize(640, 480)
    self.ventana_man.config(bg="white")
    self.ventana_man.configure(bg='blue')
    self.ventana_man.title('MODULO INDIVIDUAL')

```

```

# TITULO
Label(self.ventana_man, text="TIPO DE ENVASES", bg='blue', fg='white',
      font=("Playfair Display", 30), justify='center').grid(row=0, column=1, pady=15, padx=155, colspan=4)

Label(self.ventana_man, image=self.logo, justify="center", bg='blue').grid(row=4, column=0, pady=30,
                                colspan=2)

# BOTONES
self.btn_plastico = HoverButton(self.ventana_man, text="PLÁSTICO", height=2, width=13,
                                font=('Comic sens MC', 17, 'bold'), fg='white', borderwidth=5, relief="raised",
                                activebackground="#FFA500", bg='blue', anchor="center",
                                , command=lambda: [threading.Thread(target=self.env_plastico).start()])
self.btn_plastico.grid(column=1, row=1, padx=40)

self.btn_vidrio = HoverButton(self.ventana_man, text="VIDRIO", height=2, width=13,
                              font=('Comic sens MC', 17, 'bold'), fg='white', borderwidth=5, relief="raised",
                              activebackground="#FFA500", bg='blue', anchor="center",
                              , command=lambda: threading.Thread(target=self.env_vidrio).start())
self.btn_vidrio.grid(column=2, row=1, pady=25)

self.btn_metal = HoverButton(self.ventana_man, text="METAL", height=2, width=13,
                              font=('Comic sens MC', 17, 'bold'), fg='white', borderwidth=5, relief="raised",
                              activebackground="#FFA500", bg='blue', anchor="center",
                              , command=lambda: threading.Thread(target=self.env_metal).start())
self.btn_metal.grid(column=1, row=2, pady=25, padx=35)

self.btn_carton = HoverButton(self.ventana_man, text="CARTÓN", height=2, width=13,
                              font=('Comic sens MC', 17, 'bold'), fg='white', borderwidth=5, relief="raised",
                              activebackground="#FFA500", bg='blue', anchor="center",
                              , command=lambda: threading.Thread(target=self.env_madera).start())
self.btn_carton.grid(column=2, row=2, pady=2)

self.img_volver = PhotoImage(file='volver.png')
self.btn_volver = HoverButton(self.ventana_man, image=self.img_volver, bg='blue', activebackground="#FFA500",
                              borderwidth=0, command=lambda: [self.volver_raiz_1(), self.btns_on()])
self.btn_volver.grid(column=2, row=4, pady=20)

self.ventana_man.mainloop()

def ventana_informacion(self):#ventana para información
self.ventana_info = Toplevel()
self.ventana_info.overrideredirect(True)
self.ventana_info.overrideredirect(False)
self.ventana_info.attributes('-fullscreen', True)
self.ventana_info.geometry('640x480')
self.ventana_info.attributes('-topmost', True)
self.ventana_info.minsize(640, 480)
self.ventana_info.maxsize(640, 480)
self.ventana_info.config(bg="white")
self.ventana_info.configure(bg='blue')
self.ventana_info.title('INFORMACION')

#TITULO DE LA VENTANA
Label(self.ventana_info, text="INFORMACIÓN", bg='blue', fg='white', font=("Playfair Display", 30),
justify='center').grid(row=1, column=0, colspan=4)
#IMAGENES
self.logo_ventinf = Label(self.ventana_info, image=self.logo, justify="center", bg='blue')
self.logo_ventinf.grid(row=2, column=0, colspan=3)
#BOTON VOLVER
self.img_volver = PhotoImage(file='volver.png')
self.btn_volver = HoverButton(self.ventana_info, image=self.img_volver, bg='blue', activebackground="#FFA500",
borderwidth=0, command=lambda: [self.volver_raiz_2(), self.btns_on()])
self.btn_volver.grid(row=2, column=2, colspan=3)
#TEXTO DE INFORMACIÓN
self.información = Label(self.ventana_info,
text=""La luz ultravioleta (UV) se genera de manera artificial y se usa\n"
"comúnmente para la desinfección, pues penetra en las membranas\n"
"celulares y daña el ADN de los microorganismos (incluidos los virus)\n"
"contrarrestando su infecciosidad"\n"
"\n"
"\n"
"Instrucciones de uso:\n"
"\n"
"ESTÁNDAR: Configura un tiempo estandar para cualquier envase.\n"
"ENVASES:Permite seleccionar el material del envase. \n"

```

```

"SI: Permite confirmar un proceso de esterilización.\n"
"NO: Permite cancelar un proceso de esterilización. \n"
"PAUSA: Permite pausar un proceso de esterilización.\n"
"CONTINUAR:Permite continuar un proceso de esterilización.\n"
"APAGAR: Apaga el dispositivo."

, bg='blue', fg='white',
  font=("Playfair Display", 12), justify='center')
self.información.grid(row=0, column=0, pady=20, padx=55, columnspan=3)
self.ventana_info.mainloop()

if __name__ == '__main__':
    window = Tk()
    lbl = ImageLabel(window)#GIFS
    lbl.grid(column=1, row=2, pady=10)
    lbl.load('radiactive_3.gif')
    lbl2 = ImageLabel(window)
    lbl2.load('radiactive_3.gif')
    lbl2.grid(column=0, row=2, pady=10)
    aplicacion = Esterilizer(window)
    window.mainloop()

```

Anexo 8: Diseño de GUI

A.8.1 Ventana principal



A.8.2 Ventana Modo Envases



### A.8.3 Ventana Información

"La luz ultravioleta (UV) se genera de manera artificial y se usa comúnmente para la desinfección, pues penetra en las membranas celulares y daña el ADN de los microorganismos (incluidos los virus) contrarrestando su infecciosidad"

Instrucciones de uso:

ESTÁNDAR: Configura un tiempo estándar para cualquier envase.  
ENVASES: Permite seleccionar el material del envase.  
SI: Permite confirmar un proceso de esterilización.  
NO: Permite cancelar un proceso de esterilización.  
PAUSA: Permite pausar un proceso de esterilización.  
CONTINUAR: Permite continuar un proceso de esterilización.  
APAGAR: Apaga el dispositivo.



### A.8.4 Avisos durante un proceso de esterilización

# ESTERILIZADOR

FALTAN: 02:10 PARA FINALIZAR

 EN PROCESO! 

ESTÁNDAR ENVASES SI NO



A.8.5 Aviso de puerta abierta



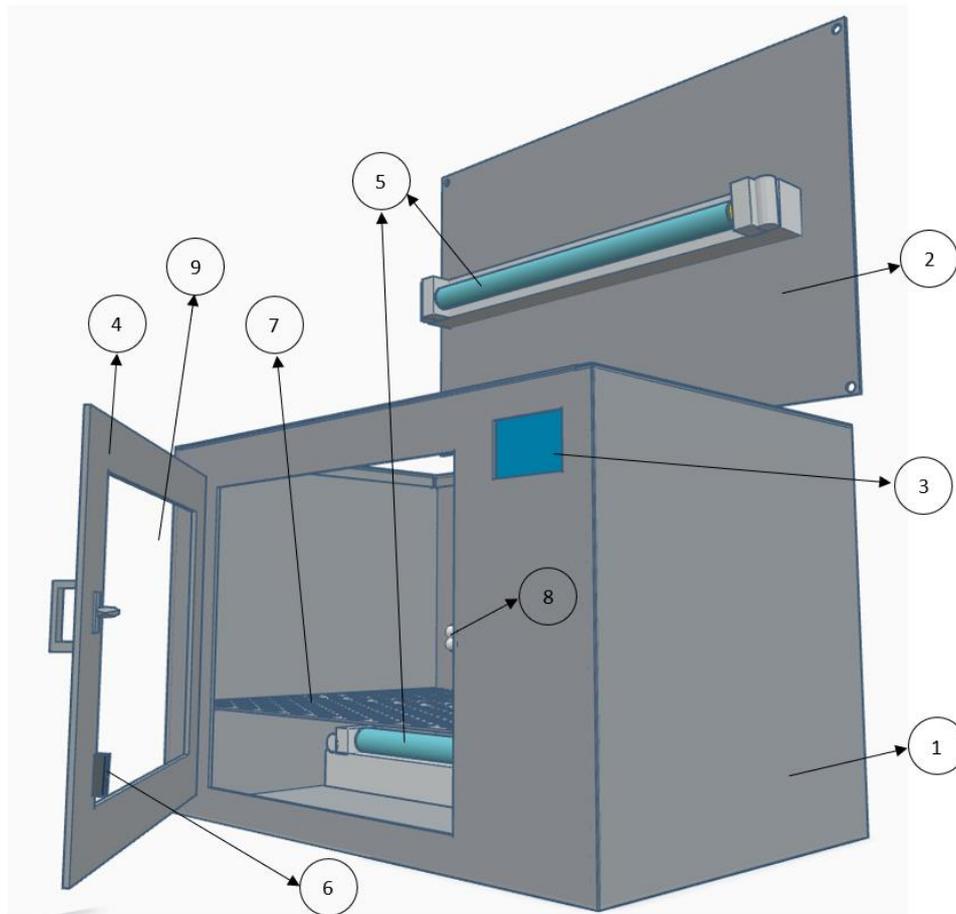
A.8.6 Cambio de color de botón al pulsar en ventana general



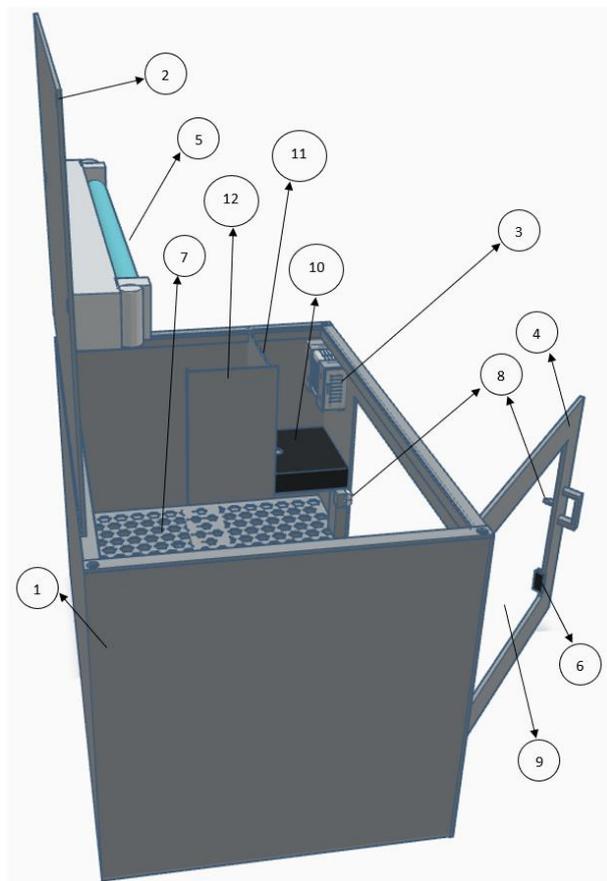
**A.8.7** Cambio de color de botón al pulsar en ventana envases



## Anexo 9: Planos de prototipo



| Numero   | Nombre                                   | Cantidad   | Dimensiones (cm) (Alto x ancho x Largo) |
|--|--|--|---|
| 1  | Estructura principal                     | 1  | 40x40x60                                |
| 2  | Cubierta de estructura principal         | 1  | 0,15x40x60                              |
| 3  | Pantalla Táctil TFT 3.5"                 | 1  | 5,5x1,7x8                               |
| 4  | Marco de puerta de estructura principal  | 1  | 44x1x46                                 |
| 5  | Fuente UV-C                              | 2  | 5x5,5x55                                |
| 6  | Contenedor de pieza de sensor MC-38      | 1  | 2,7x 1,4x0,9                            |
| 7  | Rejilla                                  | 1  | 0.2x40x60                               |
| 8  | Pieza de broche de presión para puerta   | 1  | 2,8x1,5x3,2                             |
| 9  | Vidrio de puerta de estructura principal | 1  | 29x0,15x36,5                            |
| <b>PLANOS DE PROTOTIPO</b>                             |  |  |   |
| <b>ESTUDIANTE:</b><br>JEFFERSON MEDARDO GAONA GONZÁLEZ |  | <b>TITULO:</b><br>"DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE ESTERILIZACIÓN PARA ALIMENTOS INDUSTRIALIZADOS" |   |
| <b>MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN:</b><br>VARIOS             |  | N#   | 1 DE 7                                  |



| Numero | Nombre                                   | Cantidad | Dimensiones (cm) (Alto x Ancho x Largo) |
|--------|--|----------|---|
| 1      | Estructura principal                     | 1        | 40x40x60                                |
| 2      | Cubierta de estructura principal         | 1        | 0,15x40x60                              |
| 3      | Cubierta de Raspberry Pi 3B              | 1        | 6X3x8                                   |
| 4      | Marco de puerta de estructura principal  | 1        | 38x1x46                                 |
| 5      | Fuente UV-C                              | 2        | 5x5,5x55                                |
| 6      | Contenedor de pieza de sensor MC-38      | 1        | 2,7x 1,4x0,9                            |
| 7      | Rejilla                                  | 1        | 1x40x60                                 |
| 8      | Pieza de broche de presión para puerta   | 2        | 2,8x1,5x3,2                             |
| 9      | Vidrio de puerta de estructura principal | 1        | 29x0,15x36                              |
| 10     | Soporte para placa PCB                   | 1        | 4x15x15                                 |
| 11     | Segundo compartimento                    |          | 20x15x15                                |
| 12     | Puerta para segundo compartimento        | 1        | 20x0,15x15                              |

**PLANOS DE PROTOTIPO**

**ESTUDIANTE:**

JEFFERSON MEDARDO GAONA GONZÁLEZ

**TÍTULO:**

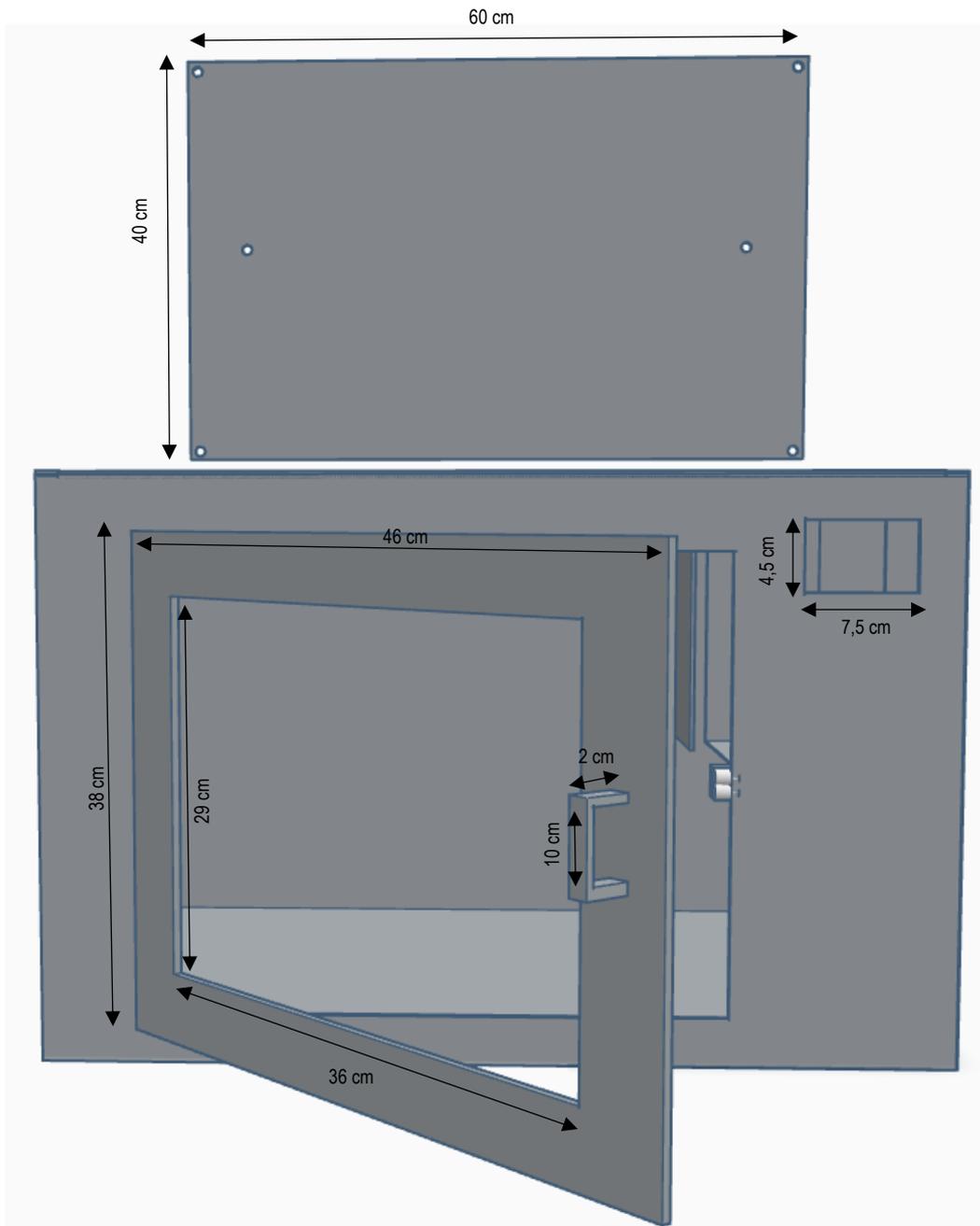
“DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE ESTERILIZACIÓN PARA ALIMENTOS INDUSTRIALIZADOS”

**MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN:**

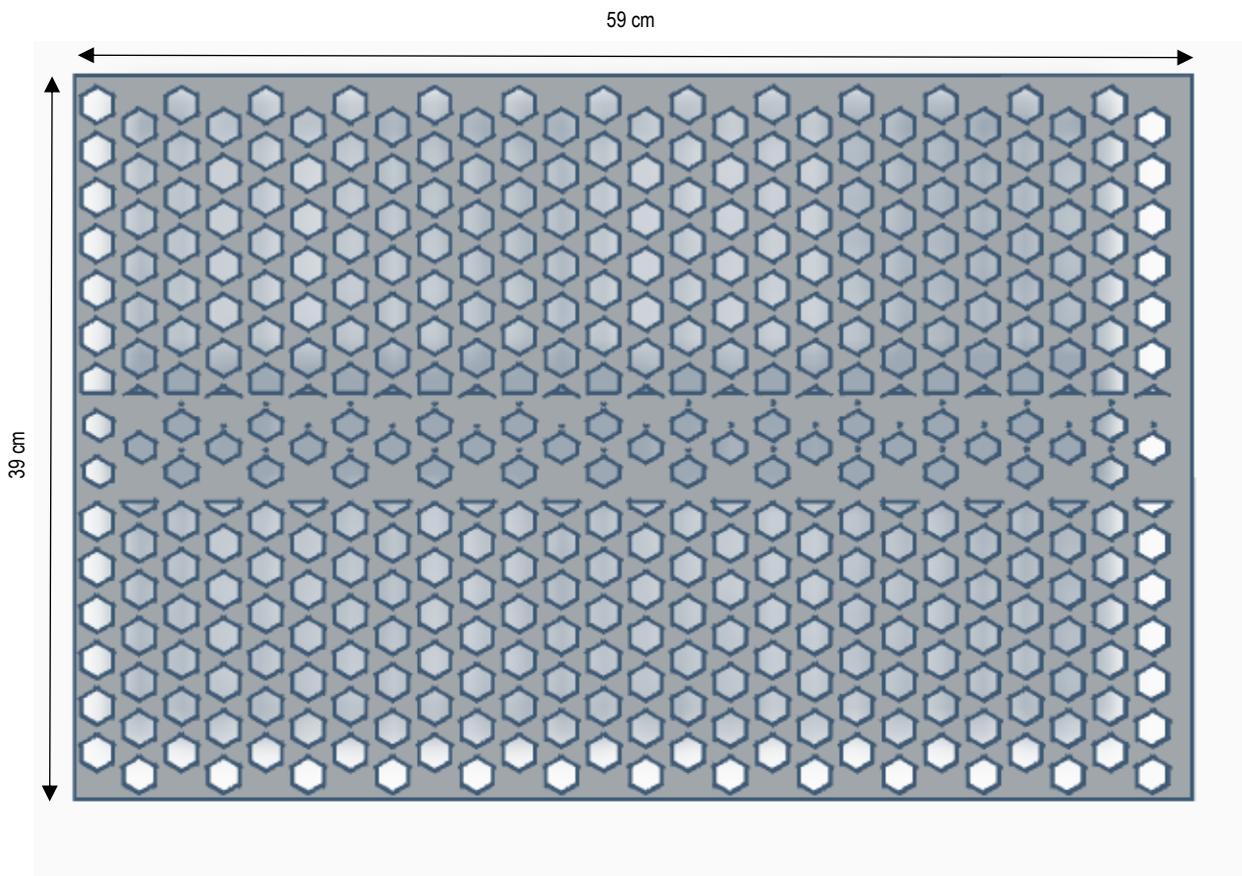
VARIOS

N#

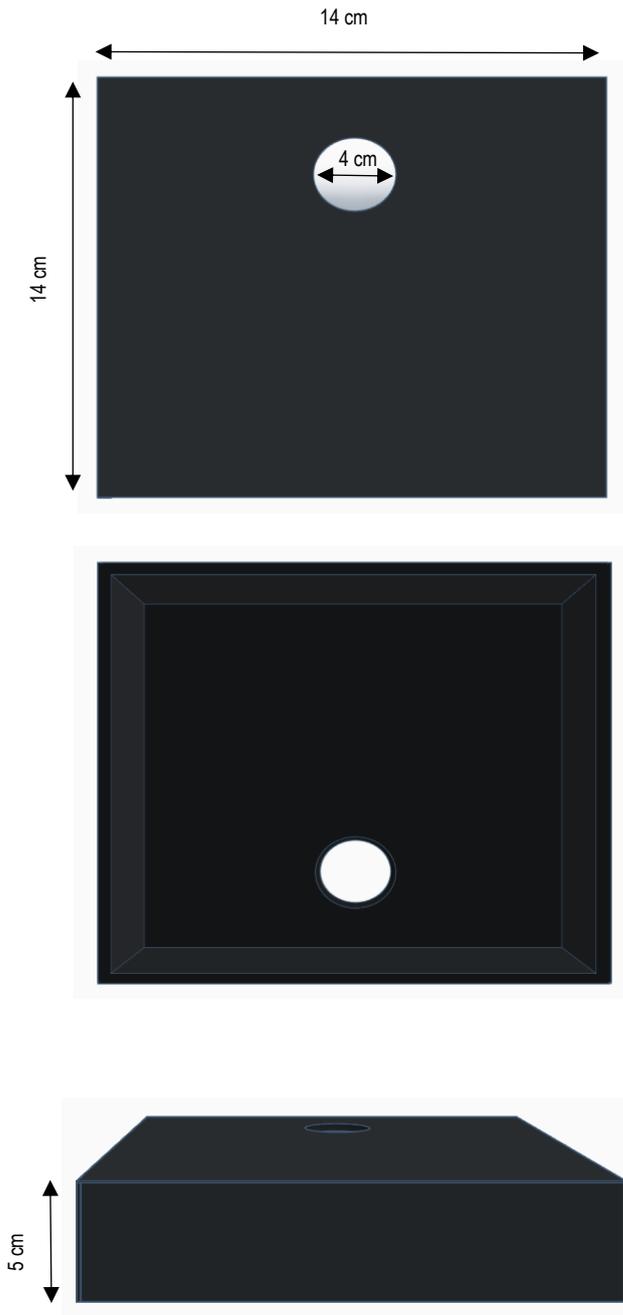
2 DE 7



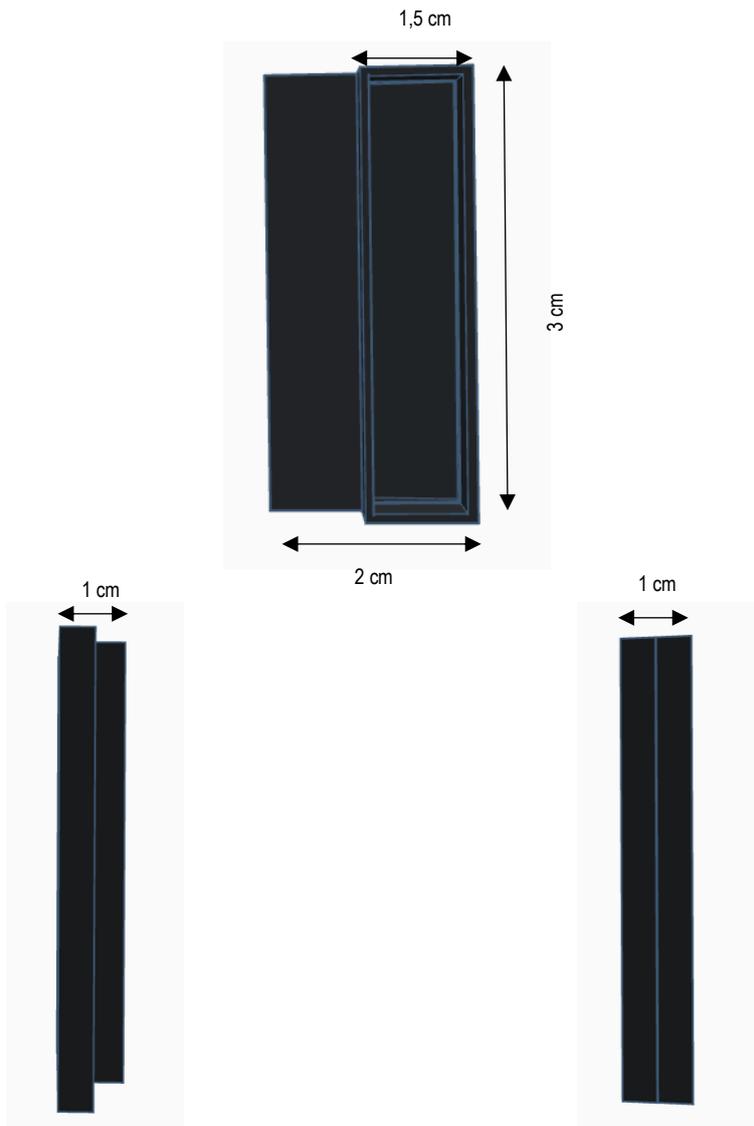
| PLANOS DE PROTOTIPO                                    |   |        |
|--|---|--------|
| <b>ESTUDIANTE:</b><br>JEFFERSON MEDARDO GAONA GONZÁLEZ | <b>TÍTULO:</b><br>"DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE ESTERILIZACIÓN<br>PARA ALIMENTOS INDUSTRIALIZADOS" |        |
| <b>MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN:</b><br>ACERO INOXIDABLE   | N#  | 3 DE 7 |



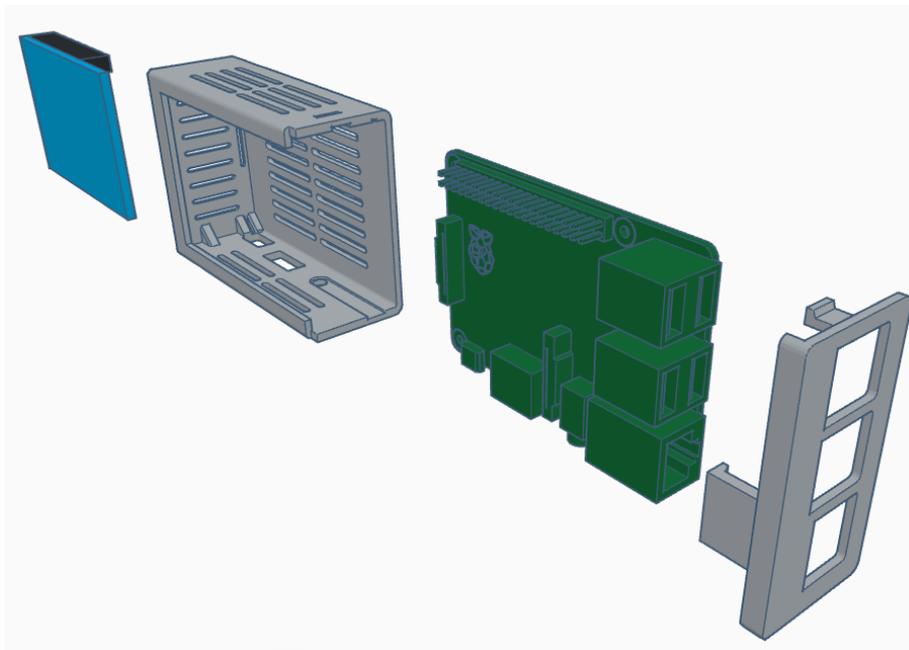
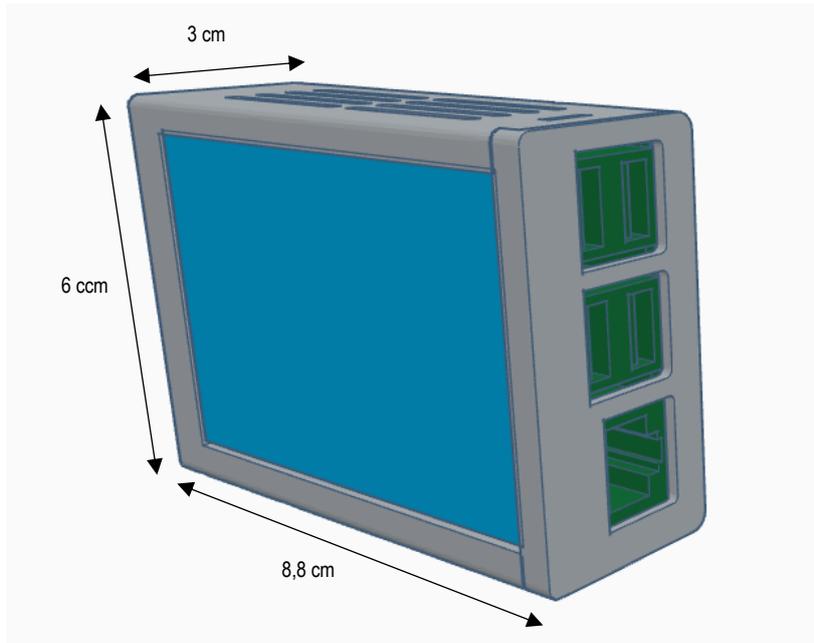
| PLANOS DE PROTOTIPO                                    |   |        |
|--|---|--------|
| <b>ESTUDIANTE:</b><br>JEFFERSON MEDARDO GAONA GONZÁLEZ | <b>TÍTULO:</b><br>"DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE ESTERILIZACIÓN<br>PARA ALIMENTOS INDUSTRIALIZADOS" |        |
| <b>MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN:</b><br>ACERO INOXIDABLE   | N#  | 4 DE 7 |



| PLANOS DE PROTOTIPO                                    |   |        |
|--|---|--------|
| <b>ESTUDIANTE:</b><br>JEFFERSON MEDARDO GAONA GONZÁLEZ | <b>TITULO:</b><br>"DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE ESTERILIZACIÓN<br>PARA ALIMENTOS INDUSTRIALIZADOS" |        |
| <b>MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN:</b><br>PLA                | N#  | 5 DE 7 |

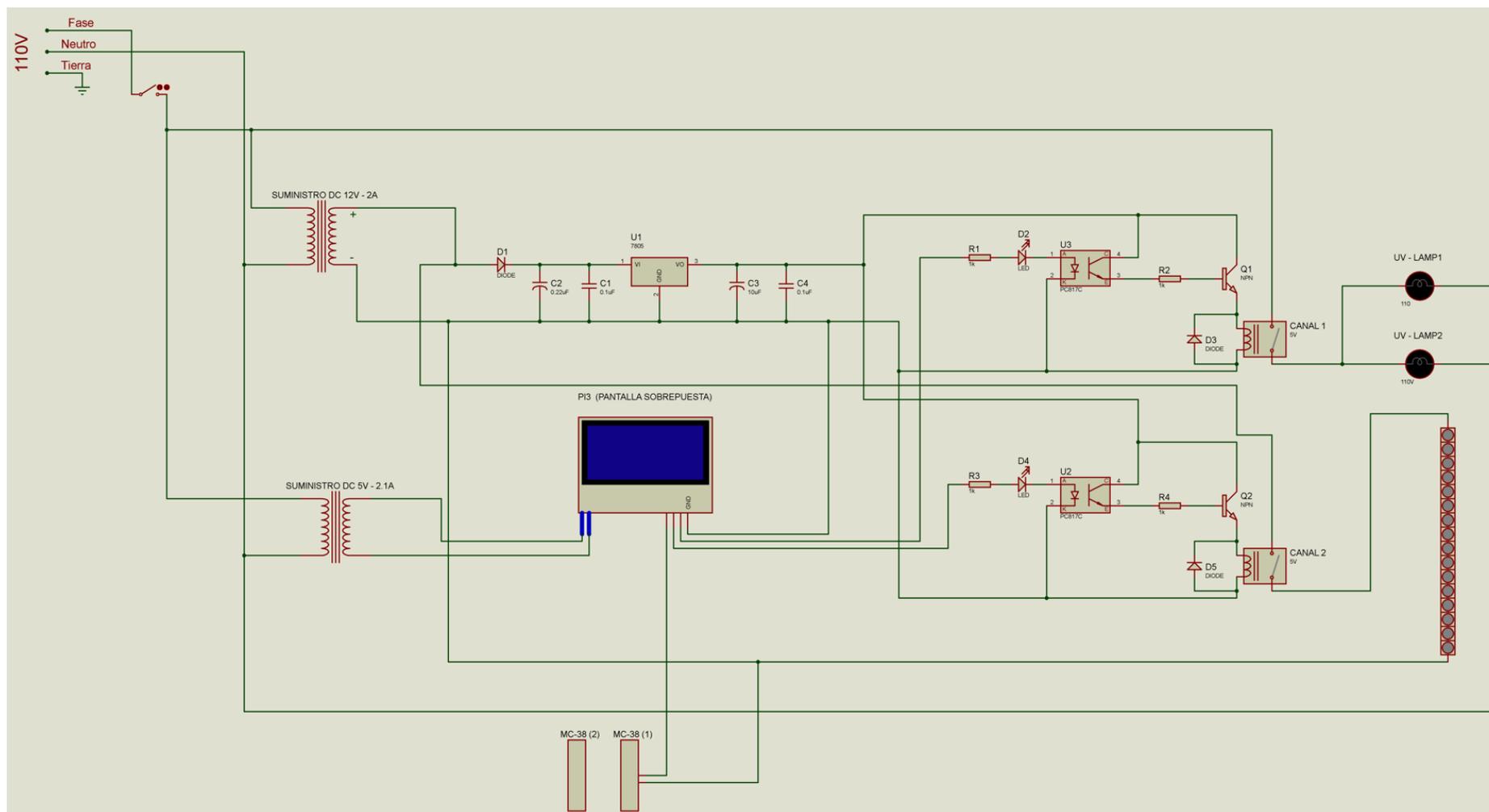


| PLANOS DE PROTOTIPO                                    |   |        |
|--|---|--------|
| <b>ESTUDIANTE:</b><br>JEFFERSON MEDARDO GAONA GONZÁLEZ | <b>TITULO:</b><br>"DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE ESTERILIZACIÓN<br>PARA ALIMENTOS INDUSTRIALIZADOS" |        |
| <b>MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN:</b><br>PLA                | N#  | 6 DE 7 |



| PLANOS DE PROTOTIPO                                    |  |        |
|--|--|--------|
| <b>ESTUDIANTE:</b><br>JEFFERSON MEDARDO GAONA GONZÁLEZ | <b>TITULO:</b><br>"DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE ESTERILIZACIÓN PARA ALIMENTOS INDUSTRIALIZADOS" |        |
| <b>MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN:</b><br>PLA                | N#   | 7 DE 7 |

### Anexo 10: Esquemático general de conexiones



## Anexo 11: Fluencias para múltiples reducciones logarítmicas para varios microorganismos

| Bacteria  | Tipo de lampara | Fluencia (dosis UV)<br>(mJ/cm <sup>2</sup> ) para una reducción logarítmica dada |     |     |      |     |     | Referencia                |
|---|-----------------|--|-----|-----|------|-----|-----|---------------------------|
|   |                 | 1  | 2   | 3   | 4    | 5   | 6   |                           |
| <i>Aeromonas hydrophila</i><br>ATCC7966             | LP              | 1.1  | 2.5 | 4.0 | 5.5  | 6.9 | 8.4 | Wilson et al. 1992        |
| <i>Aeromonas salmonicida</i><br>AL 2017             | LP              | 1.5  | 2.7 | 3.1 | 5.9  |     |     | Liltved & Landfald 1996   |
| <i>Arthrobacter</i><br><i>nicotinovorans</i>        | LP              | 8  | 10  | 12  | 14   |     |     | Clauß 2006                |
| <i>Bacillus cereus</i>                              | LP              | 6  | 7   | 9   | 12   |     |     | Clauß 2006                |
| <i>Burkholderia mallei</i>                          | LP              | 1.2  | 2.7 | 4.1 | 5.5  |     |     | Rose & O'Connell 2009     |
| <i>Brucella melitensis</i>                          | LP              | 2.8  | 5.3 | 7.8 | 10.3 |     |     | Rose & O'Connell 2009     |
| <i>Burkholderia pseudomallei</i>                    | LP              | 1.7  | 3.5 | 5.5 | 7.4  |     |     | Rose & O'Connell 2009     |
| <i>Brucella suis</i>                                | LP              | 2.7  | 5.3 | 7.9 | 10.5 |     |     | Rose & O'Connell 2009     |
| <i>Campylobacter jejuni</i>                         | LP              | 1.0  | 2.1 | 3.4 | 4.6  | 5.8 |     | Wilson et al. 1992        |
| <i>Citrobacter diversus</i>                         | LP              | 5  | 7   | 9   | 11.5 | 13  |     | Giese & Darby 2000        |
| <i>Citrobacter freundii</i>                         | LP              | 5  | 9   | 13  |      |     |     | Giese & Darby 2000        |
| <i>Corynebacterium</i><br><i>diphtheriae</i>        | LP              | 3.4  |     |     |      |     |     | Sharp 1939                |
| <i>Deinococcus</i><br><i>radiodurans</i>            | LP              | 113  | 142 | 170 | 205  |     |     | Clauß 2006                |
| <i>Enterococcus faecium</i><br>Vancomycin-resistant | LP              | 7  | 9   | 11  | 13   | 15  |     | McKinney & Pruden 2012    |
| <i>Enterococcus faecalis</i>                        | LP              | 3.7  | 8.0 | 14  |      |     |     | Moreno-Andrés et al. 2016 |
| <i>Escherichia coli</i>                             | LP              | <2   | <2  | 2.5 | 4    | 8   | 17  | Yaun et al. 2003          |
| Faecal coliforms                                    | LP              | 6  | 9   | 13  | 22   |     |     | Maya et al. 2003          |
| <i>Francisella tularensis</i>                       | LP              | 1.4  | 3.8 | 6.3 | 8.7  |     |     | Rose & O'Connell 2009     |
| Faecal streptococci                                 | LP              | 9  | 14  | 22  | 30   |     |     | Maya et al. 2003          |
| <i>Halobacterium elongata</i><br>ATCC 33173         | LP              | 0.4  | 0.7 | 1.0 |      |     |     | Martin et al. 2000        |
| <i>Halobacterium salinarum</i>                      | LP              | 12   | 15  | 18  | 20   |     |     | Martin et al. 2000        |
| <i>Helicobacter pylori</i>                          | LP              | 4.5  | 5.7 | 6.7 | 7.5  | 8.0 |     | Hasi et al. 2006          |
| <i>Klebsiella pneumoniae</i>                        | LP              | 5  | 7   | 10  | 12   |     |     | Giese & Darby 2000        |
| <i>Klebsiella terrigena</i>                         | LP              | 3.6  | 6.4 | 9.3 | 12   | 15  |     | Wilson et al. 1992        |
| <i>Legionella longbeachae</i><br>ATCC 33462         | LP              | 1.4  | 3.0 | 4.7 | 6.3  |     |     | Cervero-Arago et al. 2014 |

|                                      |    |     |     |     |      |     |     |                             |
|--------------------------------------|----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----------------------------|
| Leptospira                           | LP | 2.3 | 3.8 | 5.1 | 6.7  |     |     | Stamm and Charon<br>1988    |
| Listeria monocytogenes               | LP | 2.2 | 3.0 | 3.2 | 4.1  | 4.6 |     | Collins 1971                |
| Mycobacterium avium                  | LP | 5.7 | 7.9 | 10  | 12   | 15  |     | Hasi et al. 2008            |
| Mycobacterium avium                  | LP | 6.4 | 9.4 | 12  | 15   |     |     | Hasi et al. 2008            |
| Mycobacterium avium<br>hominissuis   | LP | 7.7 | 12  | 17  | 22   |     |     | Shin et al. 2008            |
| Mycobacterium bovis<br>BCG           | LP | 2.2 | 4.4 |     |      |     |     | Collins 1971                |
| Mycobacterium<br>intracellulare      | LP | 7.4 | 11  | 15  | 19   |     |     | Hasi et al. 2008            |
| Mycobacterium terrae                 | LP | 3.7 | 9.3 | 16  |      |     |     | Bohrerova & Linden<br>2006b |
| Mycobacterium<br>tuberculosis        | LP | 2.2 | 4.3 |     |      |     |     | Collins 1971                |
| Pseudomonas<br>aeruginosa            | LP | 3.8 | 6.5 | 10  | 17   |     |     | Abshire & Dunton 1981       |
| Salmonella spp.                      | LP | <2  | 2   | 3.5 | 7    | 14  | 29  | Yaun et al. 2003            |
| Mycobacterium avium                  | LP | 6.4 | 9.4 | 12  | 15   |     |     | Hasi et al. 2008            |
| Mycobacterium avium<br>hominissuis   | LP | 7.7 | 12  | 17  | 22   |     |     | Shin et al. 2008            |
| Mycobacterium bovis<br>BCG           | LP | 2.2 | 4.4 |     |      |     |     | Collins 1971                |
| Mycobacterium<br>intracellulare      | LP | 7.4 | 11  | 15  | 19   |     |     | Hasi et al. 2008            |
| Mycobacterium terrae                 | LP | 3.7 | 9.3 | 16  |      |     |     | Bohrerova & Linden<br>2006b |
| Mycobacterium<br>tuberculosis        | LP | 2.2 | 4.3 |     |      |     |     | Collins 1971                |
| Pseudomonas<br>aeruginosa            | LP | 3.8 | 6.5 | 10  | 17   |     |     | Abshire & Dunton 1981       |
| Salmonella spp.                      | LP | <2  | 2   | 3.5 | 7    | 14  | 29  | Yaun et al. 2003            |
| Shewanella algae                     | LP | 0.9 | 1.7 | 2.4 | 3.2  |     |     | Qiu et al. 2004             |
| Shewanella oneidensis                | LP | 0.7 | 1.4 | 2.1 | 2.8  |     |     | Qiu et al. 2004             |
| Shewanella putrefaciens<br>200       | LP | 0.5 | 0.8 | 1.1 | 1.4  |     |     | Qiu et al. 2004             |
| Shigella dysenteriae                 | LP | 0.1 | 1.0 | 1.9 | 2.8  | 3.8 | 4.7 | Wilson et al. 1992          |
| Shigella sonnei                      | LP | 3.2 | 4.9 | 6.5 | 8.2  |     |     | Chang et al. 1985           |
| Staphylococcus albus                 | LP | 1.1 | 3.2 | 4.0 | 4.8  |     |     | Collins 1971                |
| Staphylococcus aureus                | LP | 4.5 | 7.2 | 8.8 | 10   |     |     | McKinney & Pruden<br>2012   |
| Streptococcus faecalis<br>ATCC 29212 | LP | 6.6 | 8.6 | 9.8 | 11.1 |     |     | Chang et al. 1985           |
| Streptococcus                        | LP | 2.2 |     |     |      |     |     | Sharp 1939                  |
| Vibrio anguillarum                   | LP | 0.5 | 1.2 | 1.5 | 2.0  |     |     | Liltved & Landfald 1996     |
| Vibrio cholerae                      | LP | 0.8 | 1.4 | 2.3 | 3.9  | 6.8 |     | Banerjee & Chatterjee 1977  |
| Yersinia enterocolitica              | LP | 2.1 | 4.1 | 5.0 | 5.8  |     |     | Clauß et al. 2005           |

|  |                    | Fluencia (dosis UV)<br>(mJ/cm <sup>2</sup> ) para una reducción<br>logarítmica dada |     |     |     |     |     |                             |
|--|--------------------|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----------------------------|
| Virus  | Tipo de<br>lampara | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | Referencia                  |
| Adenovirus   | LP                 | 35  | 70  | 104 | 140 | 176 | 211 | Liltved et al. 2006         |
| B40-8  | LP                 | 11  | 17  | 23  | 29  | 35  | 41  | Sommer et al. 2001          |
| Calicivirus<br>feline  | LP                 | 5   | 12  | 18  | 26  |     |     | Park et al. 2011            |
| Coxsackievirus   | LP                 | 7   | 13  | 18  | 24  | 29  |     | Shin et al. 2005            |
| Echovirus  | LP                 | 8   | 17  | 25  | 33  |     |     | Gerba et al. 2002           |
| GA phage   | LP                 | 18  | 38  | 58  | 87  | 121 |     | Simonet & Gantzer<br>2006   |
| Hepatitis  | LP                 | 5.4   | 15  | 25  | 35  |     |     | Wilson et al. 1992          |
| Infectious<br>pancreatic necrosis                            | LP                 | 82  | 165 | 246 | 325 |     |     | Liltved et al. 2006         |
| Infectious<br>salmon anaemia                                 | LP                 | 2.5   | 5.0 | 7.5 |     |     |     | Liltved et al. 2006         |
| JC polyomavirus  | LP                 | 60  | 124 | 171 |     |     |     | Calgua et al. 2014          |
| MS2 coliphage  | LP                 | 17  | 35  | 60  | 88  | 116 |     | Boczek et al. 2016          |
| Murine norovirus   | LP                 | 10  | 15  | 22  | 27  | 30  |     | Park et al. 2011            |
| PHI X 174  | LP                 | N/A   | N/A | N/A | 8.9 |     |     | Rodriguez et al. 2014       |
| Picornaviridae<br>aphthovirus (virus de<br>la fiebre aftosa) | LP                 | 25  | 50  | 75  | 100 |     |     | Nuanualsuwan et al.<br>2008 |
| Poliovirus   | LP                 | 2.8   | 11  | 20  | 28  | 37  | 46  | Wilson et al. 1992          |
| PRD-1  | LP                 | 11  | 26  | 40  | 55  |     |     | Oguma et al. 2013           |
| Reovirus   | LP                 | 16  | 36  |     |     |     |     | Harris et al. 1987          |
| Rotavirus  | LP                 | 20  | 80  | 140 | 200 |     |     | Caballero et al. 2004       |
| Siphoviridae   | LP                 | 1.8   | 3.6 | 5.7 | 7.5 | 9.3 |     | Shin et al. 2005            |
| T4   | LP                 | 3.7   | 7.4 | 11  | 17  | 23  | 29  | Timchak & Gitis 2012        |
| T7   | LP                 | 1.7   | 5.8 | 11  | 16  | 20  |     | Bohrerova et al. 2008       |

| Espora                                 | Tipo de lampara | Fluencia (dosis UV)<br>(mJ/cm <sup>2</sup> ) para una reducción<br>logarítmica dada |     |     |     |    | Referencia                 |
|--|-----------------|---|-----|-----|-----|----|----------------------------|
|  |                 | 1   | 2   | 3   | 4   | 5  |                            |
| <i>Aspergillus niger</i>               | LP              | 122   | 226 | 293 |     |    | Taylor-Edmonds et al. 2015 |
| <i>Bacillus anthracis</i>              | LP              | 23  | 30  |     |     |    | Blatchley III et al. 2005  |
| <i>Bacillus atrophaeus</i>             | LP              | 10  | 16  | 26  | 39  |    | Sholtes et al. 2016        |
| <i>Bacillus cereus</i>                 | LP              | 23  | 30  | 35  | 40  |    | Blatchley III et al. 2005  |
| <i>Bacillus pumilus</i>                | LP              | 68  | 138 | 204 | 272 |    | Boczek et al. 2016         |
| <i>Bacillus subtilis</i>               | LP              | 12  | 18  | 24  | 30  | 36 | Wang et al. 2010           |
| <i>Clostridium pasteurianum</i>        | LP              | 3.4   | 5.3 | 6.7 | 8.4 |    | Clauß 2006                 |
| <i>Encephalitozoon intestinalis</i>    | LP              | 2.8   | 5.6 | 8.4 |     |    | John et al. 2003           |
| <i>Fischerella muscicola</i><br>spores | LP              | 189   |     |     |     |    | Singh 1975                 |
| <i>Penicillium expansum</i>            | LP              | 11  | 38  | 49  | 65  |    | Clauß 2006                 |
| <i>Streptomyces griseus</i>            | LP              | 8.5   | 13  | 15  | 18  |    | Clauß 2006                 |
| <i>Thermoactinomyces vulgaris</i>      | LP              | 55  | 90  | 115 | 140 |    | Clauß 2006                 |

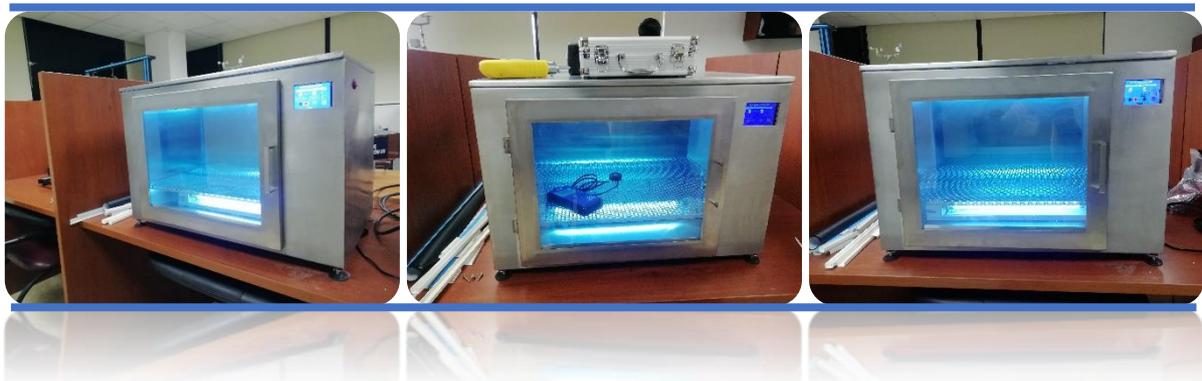
| Protozo                         | Tipo de lampara | Fluencia (dosis UV)<br>(mJ/cm <sup>2</sup> ) para una<br>reducción logarítmica dada |        |        |        |   | Referencia                                    |
|---------------------------------|-----------------|---|--------|--------|--------|---|---|
|                                 |                 | 1   | 2      | 3      | 4      | 5 |   |
| <i>Acanthamoeba castellanii</i> | LP              | 32  | 5<br>2 | 7<br>2 |        |   | Cervero-Arago et al. 2014                     |
| <i>Acanthamoeba</i> spp.        | LP              | 28  | 3<br>1 | 6<br>6 | 7<br>1 |   | Cervero-Arago et al. 2014                     |
| <i>Cryptosporidium</i> spp.     | LP              | <3  | <<br>3 | <3     | 19     |   | Bolton et al.<br>1998; Bukhari<br>et al. 1999 |
| <i>Giardia lamblia</i>          | LP              | <10   | ~10    | 20     |        |   | Campbell &<br>Wallace 2002                    |
| <i>Giardia muris</i>            | LP              | 1   | 4.5    | 28     |        |   | Craik et al.<br>2000                          |
| <i>Giardia</i> spp.             | LP              | 0.6   | 1.1    | 1.9    | 3.4    |   | Qian et al.<br>2004                           |
| <i>Naegleria fowleri</i>        | LP              | 8   | 13     | 18     | 24     |   | Sarkar and<br>Gerba 2012                      |
| <i>Toxoplasma gondii</i>        | LP              | 7.2   | 13     | 17     | 19     |   | Dumètre et al.<br>2008                        |
| <i>Vermamoeba vermiformis</i>   | LP              | 11  | 19     | 26     | 34     |   | Cervero-Arago<br>et al. 2014                  |

| Microorganismo   | Tipo de lampara | Fluencia (dosis UV)<br>(mJ/cm <sup>2</sup> ) para una reducción<br>logarítmica dada |     |     |   |   | Referencia                |
|--|-----------------|---|-----|-----|---|---|---------------------------|
|  |                 | 1   | 2   | 3   | 4 | 5 |                           |
| <i>Ascaris suum</i>  | LP              | 100   | 328 |     |   |   | Brownell & Nelson<br>2006 |
| <i>Cryptococcus carnescens</i>                                     | LP              | 18  | 32  |     |   |   | Pereira et al. 2013       |
| <i>Candida</i> sp.   | LP              | <10   | 25  |     |   |   | Pereira et al. 2013       |
| <i>Metschnikowia viticola/Candida kofuensis</i> yeast              | LP              | 10  | 20  |     |   |   | Pereira et al. 2013       |
| <i>Metschnikowia viticola/Candida kofuensis</i> yeast<br>PYCC 5992 | LP              | 10  | 23  |     |   |   | Pereira et al. 2013       |
| <i>Microcystis aeruginosa</i>                                      | LP              | 10  | 28  | >60 |   |   | Sakai et al. 2011         |
| <i>Rhodospiridium babjevae</i>                                     | LP              | 40  | 90  |     |   |   | Pereira et al. 2013       |
| <i>Rhodotorula minuta</i> (Saito)                                  | LP              | 43  | 90  |     |   |   | Pereira et al. 2013       |
| <i>Rhodotorula mucilaginosa</i> yeast                              | LP              | 44  | 81  |     |   |   | Pereira et al. 2013       |
| <i>Saccharomyces cerevisiae</i><br>XS800                           | LP              | 42  | 70  | 100 |   |   | Kim et al. 2004           |
| <i>Tetraselmis suecica</i> algae<br>K0297                          | LP              | 370   | 540 | 720 |   |   | Olsen et al. 2015         |



# MANUAL DE USUARIO

## ESTERILIZADOR UV PARA ALIMENTOS INDUSTRIALIZADOS



**AUTOR:**

JEFFERSON MEDARDO GAONA GONZÁLEZ



## Índice

|  |    |
|--|----|
| Características y especificaciones del sistema .....           | 2  |
| ¿Qué es la esterilización ultravioleta?.....                   | 2  |
| Descripción del dispositivo.....                               | 2  |
| Características.....   | 3  |
| Características de Lámpara germicida T8 UV-C .....             | 3  |
| Tabla de especificaciones para lámpara germicida T8 UV-C ..... | 4  |
| Seguridad UV .....   | 4  |
| Instalación y funcionamiento.....                              | 5  |
| A. Instalación .....   | 5  |
| B. Descripción de interfaz de usuario.....                     | 6  |
| C. Funcionamiento.....   | 9  |
| D. Luces secundarias .....                                     | 10 |
| E. Pausar y continuar.....                                     | 11 |
| F. Información.....  | 11 |
| G. Retiro de productos.....                                    | 12 |
| H. Apagado del dispositivo.....                                | 12 |
| Mantenimiento .....  | 13 |
| A. Cambio de lámparas.....                                     | 13 |
| B. Limpieza.....   | 15 |
| C. Anuncio “PUERTA ABIERTA” .....                              | 16 |
| Condiciones para productos .....                               | 16 |
| Restricciones generales.....                                   | 16 |
| Tiempos de esterilización.....                                 | 17 |
| Dimensiones.....   | 18 |

## **CARACTERÍSTICAS Y ESPECIFICACIONES DEL SISTEMA**

### **¿Qué es la esterilización ultravioleta?**

La esterilización UV emplea generalmente lámparas germicidas de vapor de mercurio de baja presión (LPM). Los vatios de entrada (tensión + corriente) se suministran a la lámpara UV creando un arco eléctrico con el mercurio en su interior, esta reacción crea una denominada luz UV-C. La luz UV-C entre 250nm y 280nm (el espectro de acción germicida) cuando se expone directamente a microorganismos vivos (como bacterias y parásitos) es muy eficaz para alterar su ADN, inhabilitando su reproducción o incluso destruyéndolos.

Debido a que los tipos de microorganismos varían, la identificación del microorganismo objetivo (bacterias, virus, parásitos, etc), resulta fundamental para suministrar la dosis UV (mJ/cm<sup>2</sup>) adecuada a través de una tasa de exposición (seg). Para que una esterilización UV sea efectiva se requiere que la luz UV-C penetre en la pared celular/membrana celular del microorganismo y destruya su material nuclear.

La esterilización UV en una aplicación para superficies necesita que el microorganismo objetivo esté en contacto directo con la luz UV-C (producida por la fuente de radiación) durante un tiempo específico [tasa de exposición UV]. Para lograr una esterilización UV satisfactoria deben aplicarse tasas de exposición UV calculadas en función de la dosis UV (mJ/cm<sup>2</sup>) e intensidad UV (uW/cm<sup>2</sup>) de las fuentes de radiación.

### **Descripción del dispositivo**

El esterilizador UV para alimentos industrializados se encuentra construido en acero inoxidable y se compone de dos compartimentos o dos volúmenes. En primer lugar, tenemos el compartimento principal dispuesto para el tratamiento de los alimentos y en segundo un compartimento complementario donde se ubican los elementos de la unidad de control, el cual está cubierto por su respectiva tapa.

Entre los elementos que conforman el sistema tenemos lámparas UV, rejilla de soporte, sensor de puerta, luces led y la unidad de control. El motor o núcleo que comanda el dispositivo consiste en una placa SBC ubicada en un compartimento secundario, además esta se ofrece con su respectiva protección para preservar su integridad. La placa controla y activa todos los elementos que contiene el dispositivo, desde las lámparas UV hasta el sensor de puerta que se accionan según se desarrollen eventos, como instrucciones desde la interfaz gráfica o restricciones de seguridad.

El dispositivo provee esterilización para alimentos industrializados a través de dos funciones o modos, como son estándar o envases los cuales suministran un determinado tiempo de exposición según sea el caso. El modo estándar está diseñado para suministrar un tiempo de

exposición considerando el patógeno de mayor dosis de inactivación UV que se encuentran en alimentos industrializados y el material de envase que presenta mayor complejidad de esterilización, el cartón. Por otra parte, el modo envases ofrece un tiempo de exposición específico para cada tipo de material (plástico, vidrio, metal y cartón) de envases, considerando el patógeno de mayor dosis de inactivación encontrado en cada uno de estos y la complejidad que presenta esterilizarlos. Para una correcta manipulación del dispositivo y prevención de accidentes sírvase de leer el siguiente manual de usuario.

### Características

| Característica            | Valor                                     |
|---------------------------|---|
| Tamaño                    | 40cm x 60cm x 40cm (alto x largo x ancho) |
| Fuente de radiación UV    | 2 lámparas germicidas T8 UV-C             |
| Peso                      | 1 cinta Led Nippon 8W                     |
| Voltaje                   | 15 kg                                     |
| Longitud de onda          | 110Vac, 60Hz                              |
| Tasa de esterilización    | 253.7 nm                                  |
| Vida útil de la fuente UV | 99.999% (5 logaritmos)                    |
| Material de la carcasa    | Aproximadamente 6.000 horas               |
| Material de puerta        | Acero inoxidable 304                      |
| Producción de ozono       | Acero inoxidable 304 y vidrio laminado    |

### Características de Lámpara germicida T8 UV-C

| Característica                              | Valor                 |
|---|-----------------------|
| Modelo                                      | CH Lighting – T8 GL15 |
| Longitud (cm)                               | 45                    |
| Soporte (cm)                                | 55 x 5                |
| Diámetro (cm)                               | 2,6                   |
| Longitud de onda (nm)                       | 253,7                 |
| Potencia de operación (W)                   | 15                    |
| Intensidad UV ( $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ ) | 51                    |
| Tiempo de vida (horas)                      | 6000                  |
| Producción de ozono (ppm)                   | 0                     |

**Nota.** La intensidad indicada se produce a 1 m de distancia del foco de radiación.

**Tabla de especificaciones para lámpara germicida T8 UV-C**

| Elemento    | Potencia (W) | Diámetro del tubo (mm) | Tapa       | Potencia ultravioleta (W) | Intensidad de la radiación ultravioleta (uW/cm) | Tiempo de vida (h) |
|-------------|--------------|------------------------|------------|---------------------------|---|--------------------|
| GL10        | 10           | 26                     | G13        | 2.7                       | 29  | 6000               |
| <b>GL15</b> | <b>15</b>    | <b>26</b>              | <b>G13</b> | <b>4.9</b>                | <b>51</b>                                       | <b>6000</b>        |
| GL20        | 18           | 26                     | G13        | 7.5                       | 77  | 6000               |
| GL30        | 30           | 26                     | G13        | 13.4                      | 130   | 6000               |
| GL36        | 36           | 26                     | G13        | 20.8                      | 200   | 6000               |

## **SEGURIDAD UV**

La exposición directa y excesiva a la luz ultravioleta puede causar daños permanentes en los ojos. La unidad se encuentra construida con material con clasificación UV y un mecanismo de seguridad para evitar la exposición a la radiación ultravioleta. Las instrucciones que se indican a continuación deben seguirse cuidadosamente para evitar peligros y riesgos para la salud.

- El dispositivo se encuentra fabricado con materiales que no permiten el paso de la luz UV hacia el exterior, sin embargo, debe evitarse mirar a la lámpara UV directamente durante el funcionamiento.
- En la puerta se ubica un sensor de seguridad mediante el cual se logra monitorear el su estado (abierto/cerrado) y permite apagar instantáneamente las lámparas UV cuando accidentalmente se abre la puerta durante un proceso de esterilización.
- La puerta del dispositivo debe permanecer siempre cerrada durante el funcionamiento.
- No manipule el sensor de seguridad de la puerta ni intente hacer funcionar la unidad con la puerta abierta.
- Durante un proceso, pause siempre el funcionamiento utilizando la interfaz, antes de abrir la puerta.
- La exposición máxima a la radiación UV que produce el dispositivo se encuentra por debajo de los valores máximos para los sistemas UVGI (60/Jm<sup>2</sup>) que establece la ICNIRP (Comisión Internacional de Protección contra las Radiaciones No Ionizantes).
- Las pruebas realizadas indican niveles nulos de radiación UV fuera del dispositivo, así como 0ppm de generación de gas ozono.

## INSTALACIÓN Y FUNCIONAMIENTO

### A. Instalación

1. Compruebe que el dispositivo no presente orificios en sus paredes y puerta (especialmente en el marco de vidrio) o el cable de alimentación no esté dañado. NO utilice el dispositivo muestra cualquier signo de daño.
2. Coloque el dispositivo en una superficie plana, limpia y seca.
3. Introduzca el cable de alimentación ubicado en la parte posterior, en una toma de corriente con conexión a tierra.



4. Presione el interruptor que se encuentra ubicado en la parte derecha para encender el dispositivo.



5. Luego de un tiempo, la interfaz de usuario cargará y el dispositivo estará listo para su uso.



Nota: El encendido normalmente toma entre 20-30 segundos, la presentación de la interfaz de color (con color azul) indicará que se encendió correctamente.

### B. Descripción de interfaz de usuario

La interfaz de usuario se compone de 3 ventanas, una principal y dos secundarios. En cada una encontraremos lo siguiente:

La ventana raíz o principal contiene:



- Botón ESTÁNDAR: Establece el modo estándar que configura el tiempo de exposición para el peor de los casos y posteriormente se presenta una pregunta para confirmar el proceso.
- Botón ENVASE: Establece el modo manual que presenta una segunda ventana que permite escoger el material del producto a esterilizar.

- Botón SI: Permite confirmar que se desea empezar una operación de esterilización, sea automática o manual.
- Botón NO: Permite confirmar que no se desea empezar una operación de esterilización, sea automática o manual.
- Botón PAUSA: Permite pausar el proceso de esterilización, únicamente activo durante la ejecución de un proceso.
- Botón CONTINUAR: Permite continuar el proceso de esterilización, una vez que se ha pausado, únicamente activo durante la ejecución de un proceso.
- Botón APAGAR: Permite apagar el equipo, solo estará habilitado cuando el dispositivo no se encuentre en algún proceso de esterilización.
- Botón INFORMACIÓN: Genera la ventana de información, solo está disponible cuando el equipo no se encuentra en algún proceso de esterilización.
- Cuadro de texto: Presenta información acerca sobre las operaciones que realiza el equipo, por ejemplo, saludo, temporizador, preguntas de confirmación, etc.
- Gráficos animados: Estos gráficos se animan cuando empieza un proceso de esterilización, mientras tanto permanecen inmóviles.

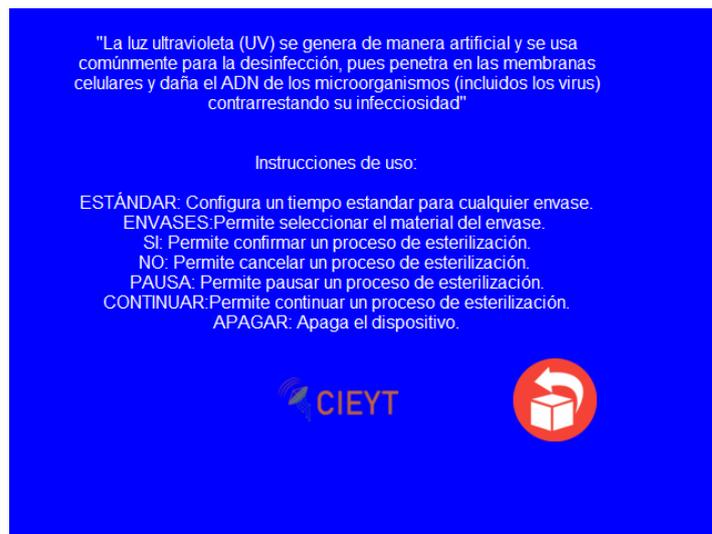
La ventana del modo ENVASE contiene:



- Botón PLÁSTICO: Establece el tiempo necesario para esterilizar productos cuyo envase esté hecho de plástico, y posteriormente se presenta una pregunta para confirmar el proceso.
- Botón VIDRIO: Establece el tiempo necesario para esterilizar productos cuyo envase esté hecho de vidrio, y posteriormente se presenta una pregunta para confirmar el proceso.

- Botón METAL: Establece el tiempo necesario para esterilizar productos cuyo envase esté hecho de metal, y posteriormente se presenta una pregunta para confirmar el proceso.
- Botón CARTÓN: Establece el tiempo necesario para esterilizar productos cuyo envase esté hecho de cartón, y posteriormente se presenta una pregunta para confirmar el proceso.
- Botón VOLVER: Permite volver a la ventana principal o raíz.

La ventana de información contiene:



- TEXTO: Presenta información acerca de la radiación ultravioleta y algunas pautas sobre el uso del equipo.

Adicionalmente se ha incorporado una función de cambio de color de botón cuando se posicione el dedo sobre algún botón.



### C. Funcionamiento

1. Coloque el o los objetos a esterilizar dentro del dispositivo y cierre la puerta.
2. Utilizando la interfaz gráfica seleccione el modo de uso (estándar o por envases) según se requiera.
3. Confirme el proceso a través del botón "SI" que aparece a continuación. Las luces UV se encenderán automáticamente e iniciará el contador.



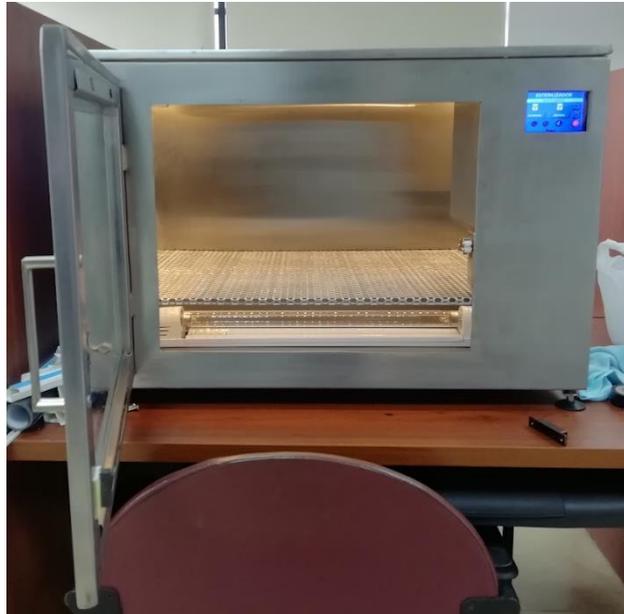
4. Cuando el tiempo haya finalizado las luces UV se apagarán automáticamente.

NOTA: Un proceso de esterilización no dará inicio mientras la puerta esté abierta y las lámparas UV permanecerán apagadas, mostrando el siguiente anuncio.



#### D. Luces secundarias

El dispositivo incorpora luces secundarias de tipo LED para apoyo en entornos de baja luminosidad. Estas luces no son accionadas por algún proceso de esterilización, permanecerán encendidas cuando siempre y cuando la puerta esté abierta.



#### E. Pausar y continuar

1. Mientras un proceso de esterilización se encuentre ejecutándose, en la interfaz, se habilitarán los botones  y  correspondientes a Pausa y Continuar, respectivamente.
2. Cuando se desee pausar un proceso, se deberá presionar el botón .



3. Cuando se desee continuar con el proceso pausado, se deberá presionar .



Nota: Luego de que algún botón (⏏, ▶) se presiona, éste se deshabilita y habilita el otro, de manera que ambos botones nunca se encontraran habilitados simultáneamente.

#### F. Información

El dispositivo incorpora un botón para mostrar información sobre la radiación ultravioleta y sobre sus funciones, para acceder a esta función deberá presionar el botón “i” que se muestra en la ventana principal.



#### E. Retiro de productos

1. Cuando un proceso de esterilización haya finalizado, el contador desaparecerá y se mostrará el anuncio “Retire su producto” en pantalla.



2. Abra la puerta, retire el producto y el anuncio desaparecerá.

Nota: Mientras la puerta no sea abierta luego de un proceso de esterilización, el dispositivo no permitirá iniciar uno nuevo.

#### D. Apagado del dispositivo

1. Verifique que el dispositivo no está en funcionamiento.
2. Presione el botón rojo ubicado en la ventana principal.



3. Espere a que la pantalla se muestre totalmente en color blanco y proceda a presionar el interruptor luego de 5 segundos.

4. Desconecte el cable de alimentación de la toma de corriente.

Nota: El botón para apagar el dispositivo estará habilitado siempre y cuando el dispositivo no se encuentre en algún proceso de desinfección

## MANTENIMIENTO

### A. Cambio de lámparas

Con el paso del tiempo, las lámparas disminuirán su rendimiento. Por lo tanto, ambas lámparas deben cambiarse al mismo tiempo, por unas del mismo considerando que las mismas no deben producir ozono. De ser posible se recomienda recurrir a un técnico de seguridad cualificado para sustituir y comprobar el funcionamiento de las lámparas.

Nota: Las lámparas pueden llegar a calentarse luego de muchas horas de uso. Asegúrese de que las lámparas se han enfriado antes de retirarlas.

1. Apagar el dispositivo utilizando la interfaz y luego presionar el switch.
2. Desconectar el cable de alimentación de la toma de corriente.
3. Para retirar la lampara superior se debe:
  - a. Se debe quitar los cuatro tornillos de la cubierta superior.



- b. Desconectarla del compartimiento secundario.



- c. Retirar las tuercas ubicadas en el centro de la cubierta que sostienen la lampara.

- d. Arrastrar desde derecha a izquierda para conseguir desprenderla.



4. Para retirar la lámpara inferior se debe:

- a. Quitar la rejilla y desconectar lámpara del compartimiento secundario.



- b. Desconectar la lámpara del conducto que conecta al compartimiento secundario.



- c. Voltar el dispositivo de modo que apunte hacia el frente.



- d. Retirar las tuercas ubicadas en el centro que sostienen la lámpara.  
e. Arrastrar desde derecha a izquierda para conseguir desprenderla.

5. Para insertar las nuevas lámparas:
  - a. Colocar los tornillos en cada lámpara.
  - b. Disponerla en la parte correspondiente (inferior o cubierta), de modo que los tornillos se inserten en los orificios
  - c. Arrastrar desde izquierda a derecha hasta que la lámpara no pueda desprenderse.
  - d. Incorporar las tuercas a cada uno de los tornillos.
5. Conectar el cable de alimentación y presione el interruptor.

## **B. Limpieza**

- Las paredes del dispositivo pueden ser limpiado externamente utilizando paño de microfibra.
- Las lámparas UV se deben limpiar con un paño suave empapado en alcohol (etanol, isopropanol) o una mezcla de agua y amoníaco.
- No se deben utilizar cremas abrasivas, estropajos o lanas de acero.
- Los componentes deben secarse siempre con pañuelos limpios antes de su uso.
- El dispositivo no debe ser utilizado en o sobre superficies mojadas y/o irregulares.

## **C. Anuncio “PUERTA ABIERTA”**

Cuando el dispositivo presente el anuncio de “PUERTA ABIERTA” con la puerta cerrada, se debe verificar las condiciones del sensor de puerta, para ello:

1. Verifique que la pieza del sensor ubicada en la puerta no se haya salido del contenedor.
2. Asegúrese de que ambas partes se ubican a la misma altura al momento de cerrar la puerta con un error máximo de 3 mm.

## **CONDICIONES PARA PRODUCTOS**

Para aprovechar al máximo la capacidad que tiene la radiación ultravioleta, los productos que se ingresen deberán cumplir las siguientes condiciones:

- Estar libres de grasa o polvo.
- No contener residuos de agua.
- El material de construcción del envase deberá ser de plástico, vidrio, metal o cartón/papel.
- Disponerse uno al lado de otro dentro del dispositivo, es decir no se deberán estar apilados.
- No sobrepasar el tamaño (32,5cmx22cmx16,9cm) y peso máximo permitido (5kg).
- No poseer aberturas en su envase, especialmente en líquido.

## RESTRICCIONES GENERALES

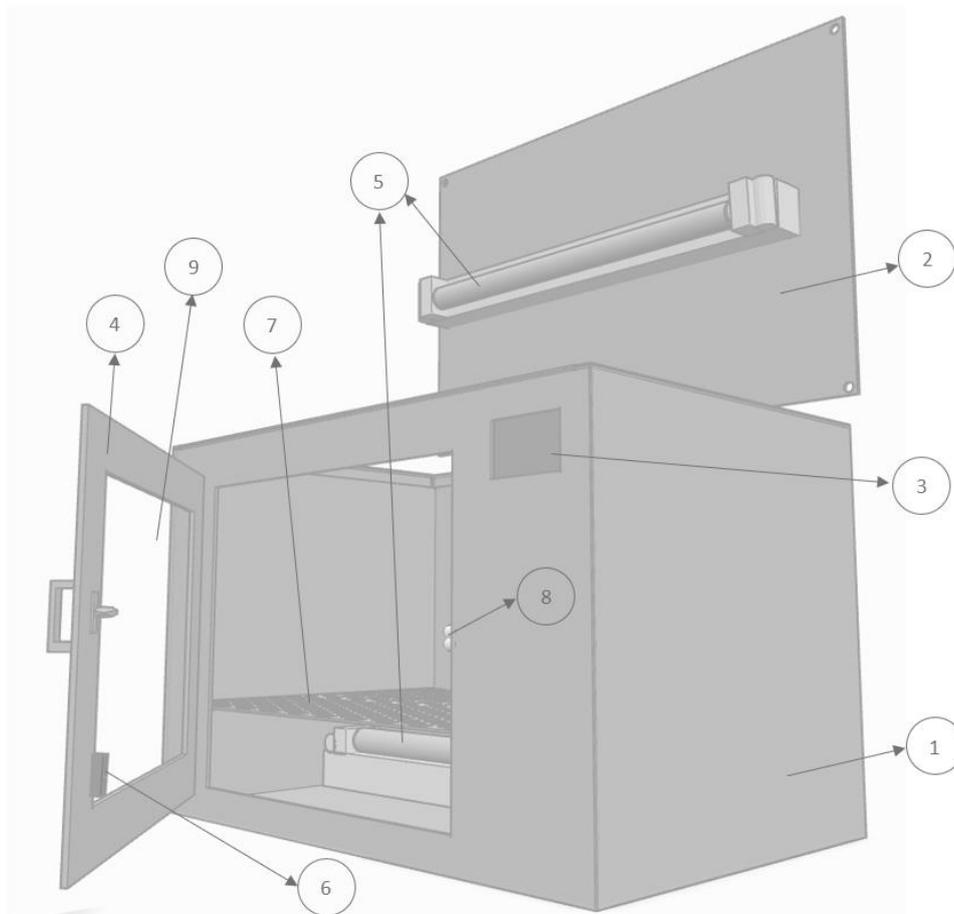
- Antes de utilizarlo, asegúrese de que está conectando este producto a una toma de corriente eléctrica dedicada y con la debida conexión a tierra, clasificada para su uso con este aparato (110V, 60Hz, AC solamente).
- El suministro eléctrico no debe ser desconectado durante el dispositivo se encuentre en funcionamiento.
- Evitar la manipulación de las lámparas mientras el dispositivo esté encendido o se realice un mantenimiento/cambio.
- No realizar movimientos en la tapa del segundo compartimento del dispositivo (ubicado detrás de la pantalla).
- No debe utilizarse en entornos húmedos o de temperatura elevada.
- No debe ubicarse en soportes frágiles.
- La puerta no debe manipularse de manera violenta.

## TIEMPOS DE ESTERILIZACIÓN

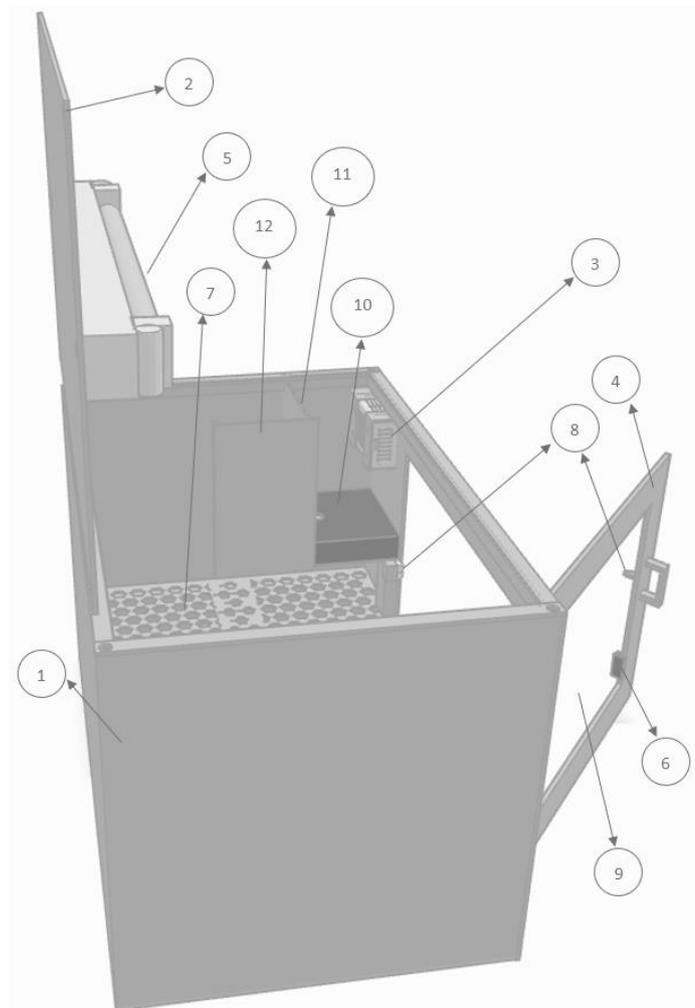
| Material     | Población patógena característica   | Tiempo de exposición (min, s) |
|--------------|---|-------------------------------|
| Plástico     | <i>Bacillus subtilis</i> ,<br><i>Pseudomonas aeruginosa</i> , <i>Bacillus cereus</i> , <i>Staphylococcus aureus</i> .   | 1min 31s                      |
| Papel/Cartón | <i>Escherichia coli</i> ,<br><i>Listeria monocytogenes</i> ,<br><i>Salmonella spp.</i> ,<br><i>Pseudomonas aeruginosa</i> ,<br><i>Enterococcus spp.</i> ,<br><i>Staphylococcus aureus</i> . | 2min 31s                      |
| Metal        | <i>Clostridium spp.</i> ,<br><i>Salmonella spp.</i> ,<br><i>Shigella spp.</i> ,<br><i>Campylobacter jejuni</i> ,<br><i>Escherichia coli</i> .   | 2min 7s                       |
| Vidrio       | <i>Staphylococcus spp.</i> ,<br><i>Bacillus subtilis</i>  | 1min 25s                      |

**Nota:** Significa el tiempo necesario para matar el 99,999% de los patógenos.

## DIMENSIONES



| Numero | Nombre                                   | Cantidad | Dimensiones (cm)<br>(Alto x ancho x Largo) |
|--------|--|----------|--|
| 1      | Estructura principal                     | 1        | 40x40x60                                   |
| 2      | Cubierta de estructura principal         | 1        | 0,15x40x60                                 |
| 3      | Pantalla Táctil TFT 3.5"                 | 1        | 5,5x1,7x8                                  |
| 4      | Marco de puerta de estructura principal  | 1        | 38x1x46                                    |
| 5      | Fuente UV-C                              | 2        | 5x5,5x55                                   |
| 6      | Contenedor de pieza de sensor MC-38      | 1        | 2,7x 1,4x0,9                               |
| 7      | Rejilla                                  | 1        | 0,2x40x60                                  |
| 8      | Pieza de broche de presión para puerta   | 1        | 2,8x1,5x3,2                                |
| 9      | Vidrio de puerta de estructura principal | 1        | 29x0,15x36                                 |



| Numero | Nombre                                   | Cantidad | Dimensiones (cm)<br>(Alto x Ancho x Largo) |
|--------|--|----------|--|
| 1      | Estructura principal                     | 1        | 40x40x60                                   |
| 2      | Cubierta de estructura principal         | 1        | 0,15x40x60                                 |
| 3      | Cubierta de Raspberry Pi 3B              | 1        | 6X3x8                                      |
| 4      | Marco de puerta de estructura principal  | 1        | 38x1x46                                    |
| 5      | Fuente UV-C                              | 2        | 5x5,5x55                                   |
| 6      | Contenedor de pieza de sensor MC-38      | 1        | 2,7x 1,4x0,9                               |
| 7      | Rejilla                                  | 1        | 0,2x40x60                                  |
| 8      | Pieza de broche de presión para puerta   | 2        | 2,8x1,5x3,2                                |
| 9      | Vidrio de puerta de estructura principal | 1        | 29x0,15x36                                 |
| 10     | Soporte para placa PCB                   | 1        | 4x15x15                                    |
| 11     | Segundo compartimento                    |          | 20x15x15                                   |
| 12     | Puerta para segundo compartimento        | 1        | 20x0,15x15                                 |

# ESTERILIZADOR UV PARA ALIMENTOS INDUSTRIALIZADOS



*UNL*

Universidad  
Nacional  
de Loja

Facultad  
de la Energía, las Industrias  
**y los Recursos Naturales  
No Renovables**

## English Speak Up Center

Nosotros "English Speak Up Center"

CERTIFICAMOS que

La traducción del resumen de tesis titulada "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE ESTERILIZACIÓN EMPLEANDO RADIACIÓN UV-C PARA ALIMENTOS INDUSTRIALIZADOS." documento adjunto solicitado por la señorita Jefferson Medardo Gaona González con cédula de ciudadanía número 1150219556 ha sido realizada por el Centro Particular de Enseñanza de Idiomas "English Speak Up Center"

Esta es una traducción textual del documento adjunto. El traductor es competente y autorizado para realizar traducciones.

Loja, 13 de enero de 2023

  
Mg. Sc. Elizabeth Sánchez Burneo  
DIRECTORA ACADÉMICA



DIRECCIÓN: SUCRE 207-46 ENTRE AZUAY Y MIGUEL RIOFRIO

TELÉFONO: 099 5263 264