



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 e implementación de un prototipo de purificador de aire para interiores,
basado en radiación UV-C, como herramienta de prevención ante la
propagación del SARS-CoV-2

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

AUTOR:

Brandon Paúl Narvárez Cevallos

DIRECTOR:

Ing. Rodolfo Pabel Merino Vivanco, Mg. Sc.

Loja – Ecuador

2022

Certificación

Loja, 24 de marzo del 2022

Ing. Rodolfo Pabel Merino Vivanco Mg. Sc.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

CERTIFICO:

Que he revisado y orientado todo proceso de la elaboración del trabajo de titulación: **“Diseño e implementación de un prototipo de purificador de aire para interiores, basado en radiación UV-C, como herramienta de prevención ante la propagación del SARS-CoV-2”**, de autoría del estudiante: **Brandon Paúl Narváez Cevallos**, previo a la obtención del título de **Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones**, 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.

Ing. Rodolfo Pabel Merino Vivanco Mg. Sc.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Autoría

Yo, **Brandon Paúl Narváez Cevallos**, 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 mí trabajo de titulación en el Repositorio Digital Institucional – Biblioteca Virtual.

Firma:

Cédula de Identidad: 1718413220

Fecha: 10/06/2022

Correo electrónico: brandon.narvaez@unl.edu.ec

Celular: 0988826093

Carta de autorización

Carta de autorización del trabajo de titulación por parte del autor para la consulta de reproducción parcial o total, y publicación electrónica del texto completo.

Yo, **Brandon Paúl Narváez Cevallos**, declaro ser autor del trabajo de titulación: **Diseño e implementación de un prototipo de purificador de aire para interiores, basado en radiación UV-C, como herramienta de prevención ante la propagación del SARS-CoV-2** 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 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 diez días del mes de junio del dos mil veintidós.

Firma:

Autor: Brandon Paúl Narváez Cevallos

Cédula: 1718413220

Dirección: Loja - Cdla. Héroes del Cenepa

Celular: 0988826093

DATOS COMPLEMENTARIOS

Director del Trabajo de Titulación: Ing. Rodolfo Pabel Merino Vivanco, Mg. Sc.

Tribunal de Grado:

Ing. Juan Carlos Solano Jiménez, PhD.

Ing. Christian Hernán Campoverde Ramírez, Mg. Sc.

Ing. Marcelo Fernando Valdiviezo Condolo, Mg. Sc.

Dedicatoria

A mis padres, Nelly Cevallos y Paúl Narvárez, quienes me han apoyado incondicionalmente en mi vida y especialmente a lo largo del recorrido hacia este logro.

De igual forma a mis hermanas, Doménica, Paulette y Camila, y a mis abuelos por ser parte importante de mi vida y mi formación personal.

Finalmente, dedico este trabajo de titulación a mis amigos, compañeros y demás familiares, que han sido parte importante de mi carrera universitaria.

Brandon Paúl Narvárez Cevallos

Agradecimiento

Quiero agradecer a mis padres, por su fortaleza, sus enseñanzas, su comprensión y su amor, especialmente por el gran esfuerzo que hacen para mí y mis hermanas. También a mis padrinos Margarita Arrobo y Galo Jiménez por tenderme la mano cuando iniciaba la carrera y darme hacerme llegar sus buenos deseos.

De igual forma, quiero agradecer a mis amigos y compañeros de carrera, por su confianza, sus consejos, su ayuda y motivación.

Agradezco a la Universidad Nacional de Loja por ser la institución en la que he desarrollado mi formación académica superior, a la planta de docentes de la carrera de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones, por los conocimientos impartidos hacia mi persona, de forma especial a mi director del Trabajo de Titulación, el Ing. Pabel Merino, por sus valiosos aportes y por brindar una orientación íntegra y adecuada al proyecto.

Brandon Paúl Narvárez Cevallos

Índice de Contenidos

Portada	i
Certificación	ii
Autoría	iii
Carta de autorización	iv
Dedicatoria	v
Agradecimiento	vi
Índice de Contenidos	vii
Índice de Tablas.....	ix
Índice de Figuras	ix
Índice de Anexos	x
1. Título	1
2. Resumen	2
2.1. Abstract.....	3
3. Introducción	4
4. Marco Teórico	6
4.1. Descripción del SARS-CoV-2	6
4.1.1. Dosis de inactivación.....	7
4.1.2. Aerosoles.....	7
4.2. Radiación Ultravioleta.....	8
4.2.1. Radiación UV-A.....	9
4.2.2. Radiación UV-B	9
4.2.3. Radiación UV-C	9
4.2.4. Radiación UV-V.....	9
4.2.5. Irradiación Germicida Ultravioleta (UVGI).....	9
4.2.6. Medida de Desinfección	11
4.2.7. Fuentes de Radiación Artificial.....	11
4.3. Mecanismos de Desinfección del Aire	12
4.3.1. Filtración Mecánica.....	13
4.3.1.1. Filtro de aire 2097 (P100).....	14
4.3.2. Ozono	14
4.3.3. Tecnología UVGI.....	15
4.3.3.1. Lámparas de mercurio de baja presión.	15
4.3.3.2. LED UV-C.....	17
4.3.3.3. Otras alternativas.....	17
4.3.4. Comparativa	18
4.4. Herramientas	18

4.4.1.	Raspberry Pi 3 B+	18
4.4.2.	Raspberry Pi & Python.....	19
5.	Metodología	20
5.1.	Contexto	20
5.2.	Proceso.....	20
5.3.	Recursos.....	22
5.3.1.	Recursos Científicos	22
5.3.2.	Recursos Técnicos	22
5.4.	Participantes.....	23
6.	Resultados	24
6.1.	Consideraciones de la literatura	24
6.2.	Diseño del prototipo.....	25
6.2.1.	Fuentes de radiación.....	25
6.2.2.	Diseño estructural.....	25
6.2.3.	Volumen de desinfección	25
6.2.4.	Selección de ventilador	26
6.2.5.	Dosis de radiación	27
6.2.6.	Diseño 3D de estructuras.....	29
6.3.	Construcción del dispositivo.....	30
6.3.1.	Control del dispositivo	30
6.3.2.	Creación de PCB para el circuito de activación.....	31
6.3.3.	Impresión de las estructuras	32
6.3.4.	Ensamblaje de lámparas	33
6.3.5.	Ensamblaje de ventilador	34
6.3.6.	Ensamblaje del filtro de aire.....	35
6.3.7.	Ensamblaje de Raspberry	36
6.3.8.	Ensamblaje de elementos electrónicos	37
6.3.9.	Acoplamiento de subsistemas	38
6.4.	Pruebas de desempeño	38
7.	Discusión	40
8.	Conclusiones	42
9.	Recomendaciones	43
10.	Referencias Bibliográficas	44
11.	Anexos	48

Índice de Tablas

Tabla 1. Vida promedio (horas) de SARS-CoV y SARS-CoV-2 en distintas superficies	7
Tabla 2. Tiempo promedio de asentamiento de aerosoles en un ambiente en reposo	8
Tabla 3. Equivalencia de reducción de microorganismos con la escala logarítmica	11
Tabla 4. Comparación entre métodos de desinfección microbiana en el aire	18
Tabla 5. Datos relevantes sobre el SARS-Cov-2 y su inactivación en el aire.....	24
Tabla 6. Especificaciones de las lámparas UV germicidas	25
Tabla 7. Especificaciones del volumen de desinfección	26
Tabla 8. Especificaciones del ventilador	27
Tabla 9. Valores de intensidad de radiación UVC medidos respecto a la distancia.....	27
Tabla 10. Estructuras designadas a la impresión 3D	32
Tabla 11. Medición de intensidad de radiación dentro del dispositivo	38
Tabla 12. Detalles de operación del prototipo en modo automático (6 horas).....	39

Índice de Figuras

Figura 1. Formación de dímeros de timina en el ADN por exposición a radiación UV	10
Figura 2. Comparación del espectro de absorción de la timina y el uracilo.....	12
Figura 3. Estructura típica de una lámpara de mercurio de baja presión	16
Figura 4. Volumen de desinfección.....	26
Figura 5. Curva de intensidad de radiación de las lámparas respecto a la distancia	28
Figura 6. Modelo 3D de las estructuras del prototipo	29
Figura 7. Construcción del circuito de activación en PCB	31
Figura 8. Impresión de estructuras complementarias del prototipo	33
Figura 9. Disposición de las lámparas en la base y cubierta	33
Figura 10. Proceso de ensamblaje de las luminarias	34
Figura 11. Vista externa de las lámparas ensambladas	34

Figura 12. Referencia para la conexión de elementos internos	35
Figura 13. Ensamblaje final del ventilador	35
Figura 14. Articulación de la estructura de acople del filtro de aire	36
Figura 15. Unidad de control, Raspberry Pi 3 B+ con pantalla táctil	36
Figura 16. Ensamblaje completo de la unidad de control	37
Figura 17. Acoplamiento de los elementos electrónicos en el volumen de PLA	37
Figura 18. Vista final de la conexión electrónica.....	37
Figura 19. Estructura final del prototipo de purificador de aire.....	38
Figura 20. Ambiente de pruebas, con equipos de medición.....	39

Índice de Anexos

Anexo 1: Planos del prototipo.....	48
Anexo 2: Ficha técnica del purificador de aire	55
Anexo 3: Manual de usuario del purificador de aire.....	60
Anexo 4: Medición de intensidad de radiación de las lámparas LPM.....	82
Anexo 5: Equipos de medición	85
Anexo 6: Medición de la intensidad de radiación del dispositivo	87
Anexo 7: Diseño del circuito de activación	94
Anexo 8: Código del programa de operación mediante GUI.....	95
Anexo 9: Diseño de las Ventanas de la Interfaz gráfica	99
Anexo 10: Distribución de pines de la Raspberry Pi 3 B+	101
Anexo 11: Certificado de Traducción.....	102

1. Título

Diseño e implementación de un prototipo de purificador de aire para interiores, basado en radiación UV-C, como herramienta de prevención ante la propagación del SARS-CoV-2.

2. Resumen

En el presente trabajo se diseñó y construyó un prototipo de purificador, basado en la aplicación de radiación ultravioleta (254 nm) a los fómites suspendidos en el aire producto de la actividad humana, compuesto principalmente de acero inoxidable y PLA mediante impresión 3D. El diseño conceptual fue llevado a cabo sobre la base de las investigaciones y experimentaciones asociadas a la patogénesis del SARS-CoV-2.

A nivel general, el sistema se estructuró en cuatro subsistemas divididos en distintas áreas de trabajo de acuerdo a la funcionalidad de cada uno (desinfección, control, activación y alimentación). Los componentes del prototipo se orientaron al cumplimiento de las necesidades elementales para el funcionamiento, en especial las fuentes de radiación. El sistema de control y administración se implementó a través de una Raspberry Pi 3 B+ y su respectiva pantalla táctil, desarrollando una interfaz gráfica (GUI) programada en Python, con base en los requerimientos de operación y demás características para una interacción efectiva e intuitiva.

Respecto a la construcción, las distintas estructuras se dimensionaron en función de otorgar una facilidad de montaje y despliegue de los componentes, además de brindar flexibilidad a la interconexión de los mismos; en adición, se contempló el acople de estructuras secundarias como aporte a la desinfección, como el filtro de aire.

Finalmente, las pruebas se efectuaron con relación a la dosis alcanzada por el dispositivo, obteniendo valores superiores al umbral de inactivación del virus. Con esto, se obtuvo el prototipo funcional de purificador de aire de control digital orientado a la inactivación del SARS-CoV-2 como medio de inhibición de la elevada tasa de propagación del mismo, el mismo que cumple con las expectativas planteadas en el proyecto.

Palabras claves: Tecnología, inactivación, desinfección, UVGI.

2.1. Abstract

In the present work, a prototype purifier was designed and built based on the implementation of ultraviolet radiation (254 nm) to airborne fomites resulting from human activity, composed primarily of stainless steel and PLA, employing 3D printing. The conceptual design was carried out on research and experimentation associated with the pathogenesis of SARS-CoV-2.

At a general level, we structured the system in four subsystems divided into different work areas according to the functionality of each one (disinfection, control, activation and feeding). We oriented the components of the prototype to fulfill the elementary needs for operation, especially the radiation sources. The control and management systems were implemented through a Raspberry Pi 3 B+ and its respective touch screen, developing a graphical interface (GUI) programmed in Python based on the operating requirements and other features for effective and intuitive interaction.

Regarding the construction, we dimensioned the different structures to provide ease of assembly and deployment of the components, while also providing flexibility to the interconnection of the same. In addition, the coupling of secondary structures as a contribution to disinfection, such as the air filter, was contemplated.

Finally, were carried out the tests concerning the dose reached by the device, obtaining values above the virus inactivation threshold. With this, we managed to develop a functional prototype of a digitally controlled air purifier oriented to the inactivation of SARS-CoV-2 for inhibiting the high rate of spread of the virus, which meets the expectations set out in the project.

Keywords: Technology, inactivation, disinfection, UVGI.

3. Introducción

Desde finales de 2019, la humanidad ha atravesado una dura etapa debido a las circunstancias sanitarias relacionadas con la pandemia generada por la propagación del virus SARS-CoV-2, lo mismo que ha obligado a gran parte de la población a establecer ciertos protocolos de bioseguridad, como el confinamiento preventivo y la acogida de una modalidad virtual para el desempeño de sus tareas cotidianas.

Como recalcan Qian et al. (2021), las características de propagación del virus evidencian un aumento en el riesgo de transmisión en entornos de alta congestión de personas, especialmente en espacios cerrados y con sistemas de ventilación deficientes. Esto incluye, por supuesto, los entornos conexos con el desempeño de las actividades académicas en cualquier nivel.

Con los procesos de vacunación efectuándose a nivel mundial, es inminente el retorno progresivo a las actividades generales en los distintos entornos de la sociedad; a la postre, se dará paso a la reinstauración de las clases en modalidad presencial; sin embargo, el proceso de inmunización total es una tarea compleja y prolongada, por tanto, es indispensable el desarrollo y la aplicación de diversas iniciativas que oferten un resguardo sanitario en beneficio del restablecimiento de las diversas labores que involucren un flujo de personas en espacios cerrados.

Es evidente que las circunstancias han propiciado un crecimiento exponencial en la creación y distribución de artículos destinados a la higiene personal, véase las mascarillas, alcohol isopropílico, etc., e incluso ha aumentado el interés hacia el desarrollo de herramientas de desinfección generalizadas como las cabinas de desinfección para el acceso de personal. Al contrario que los mecanismos e instrumentos antes mencionados, existe un método de desinfección físico en el que se aprovecha la fundamentación científica en temas relacionados a la estructura biológica de agentes de infección como los virus y las diversas propiedades del espectro electromagnético, para la destrucción de este tipo de microorganismos con un nivel de eficacia y eficiencia superior.

La introducción de la radiación ultravioleta en el área de desarrollo y mejoramiento de los procesos de sanitización en distintos entornos de aplicación ha permitido alcanzar nuevos y mejores resultados para proveer garantías en la integridad del personal involucrado tanto en actividades menores hasta procesos industriales.

En función de los puntos mencionados, se planteó el siguiente objetivo general del trabajo de titulación:

- Diseñar y desarrollar un sistema de purificación de aire a través de la aplicación de radiación ultravioleta de onda corta en un flujo de aire controlado para ambientes cerrados.

Para su cumplimiento, se concibieron las etapas principales del trabajo de titulación en consideración a los siguientes objetivos específicos:

- Realizar una revisión bibliográfica de los métodos de purificación de aire y los procesos de eliminación del SARS-CoV-2, relacionados a la radiación ultravioleta.
- Diseñar un mecanismo electrónico a partir de un sistema de ventilación y lámparas UV-C, para establecer un flujo controlado de aire, de acuerdo a los parámetros de aplicación y los requerimientos del entorno.
- Construir el purificador, agregando una etapa de control para la calibración de las corrientes de aire y la intensidad de radiación, para su posterior evaluación en entornos variados, a través de herramientas de medición de la calidad del aire.

Para una recopilación efectiva de la información, el presente documento se divide en secciones. Dentro de la sección Marco Teórico se realiza una conceptualización de las bases científicas en las que se fundamenta este trabajo, como son el virus del SARS-CoV-2, las características de la radiación ultravioleta y los sistemas de desinfección de aire. En la sección de Metodología se describe el procedimiento ejecutado, los recursos empleados y las personas que participaron en el proyecto. Por último, las secciones Resultados, Discusión, Conclusiones y Recomendaciones describen de forma detallada los resultados obtenidos en base al despliegue del diseño y construcción del prototipo, las conclusiones del trabajo realizado y las recomendaciones del autor para futuras implementaciones.

4. Marco Teórico

El impacto mundial que ha significado la pandemia de la COVID-19, especialmente en el sistema sanitario, ha evidenciado la falta de mecanismos de intervención ante este tipo de patógenos. La aparición marcada de enfermedades de rápida propagación, como las desarrolladas a medios volátiles como los virus, trae consigo un reto para la comunidad científica a fin de proveer herramientas de control y protección de la sociedad, para reducir el efecto negativo de los mismos. En el caso puntual de patógenos microscópicos, como el SARS-CoV-2, abre la puerta al uso de mecanismos físicos como la radiación ultravioleta (Briones Cando et al., 2020); por lo que a continuación, se llevará a cabo una descripción detallada de los conceptos relacionados.

La pandemia causada por el síndrome respiratorio agudo severo coronavirus-2 (SARS-CoV-2), la cual se registró por primera vez en Wuhan, provincia de Hubei, China, ha provocado al 14 de noviembre de 2021, alrededor de 252 millones de contagios y 5 millones de muertes, específicamente, la región de las Américas aporta más de 95 millones de contagios y 2 millones (World Health Organization [WHO], 2021).

4.1. Descripción del SARS-CoV-2

El SARS-CoV-2 (Síndrome Respiratorio Agudo Severo 2) causante de la COVID-19, es un virus perteneciente a la familia de los coronavirus, el mismo que se transmite por contacto directo con fómites o folículos de saliva en el aire o superficies (Luo & Zhong, 2021). Las observaciones de Zhu et al. (2020) arrojaron un tamaño promedio de 60 a 140 nm, con picos de entre 9 y 12 nm. La principal característica de riesgo del virus radica en su elevada tasa de infección, llevando a la saturación de los recursos hospitalarios y a un posterior colapso del sistema sanitario (Pascarella et al., 2020). En relación a ello, Harrison et al. (2020), indicaron un tiempo mínimo de incubación del virus de entre 5 y 6 días.

La familia “coronaviridae”, conocida como “coronavirus”, cuyo pseudónimo se deriva del parecido de su estructura externa con la corona solar, son una amplia familia de virus con un genoma de ARN monocatenario y una elevada susceptibilidad a la mutación; estos se definen como zoonóticos, dado que pueden transmitirse de animales a personas (Kowalski et al., 2020).

Previamente, solo se registraban seis especies de coronavirus, que afectan a los humanos y pueden ocasionar enfermedades respiratorias con síntomas de resfriado común; destacando el SARS-CoV y el MERS-CoV, causantes del Síndrome Respiratorio Agudo Severo en 2002 y el Síndrome Respiratorio de Oriente Medio en 2012, respectivamente (Lu et al., 2020).

De acuerdo al estudio de van Doremalen et al. (2020), donde se desarrolló un análisis de la estabilidad del SARS-CoV-2 en distintas superficies, incluidos los aerosoles, en comparación con las propiedades del SARS-CoV-1, todo basado en el modelo de regresión bayesiana; los resultados han permitido establecer tiempos promedio de supervivencia para el virus; los resultados se condensan en la Tabla 1.

Tabla 1.

Vida promedio (horas) de SARS-CoV y SARS-CoV-2 en distintas superficies

<i>Muestra</i>	<i>Aerosoles</i>	<i>Cobre</i>	<i>Cartón</i>	<i>Acero inoxidable</i>	<i>Plásticos</i>
<i>SARS-CoV-1</i>	1,18	1,5	0,587	4,16	7,55
<i>SARS-CoV-2</i>	1,09	0,77	3,46	5,63	6,81

Fuente: van Doremalen et al., 2020.

4.1.1. Dosis de inactivación

En el contexto actual, se han efectuado una variedad de estudios y experimentos con la finalidad de determinar el umbral de inactivación del virus ante la exposición a radiación ultravioleta germicida (254 nm), la misma que permita el desarrollo de mecanismos para limitar su propagación y dar paso a la normalización de actividades en espacios cerrados.

En la evaluación experimental llevada a cabo por Biasin et al. (2021) se probaron diversos escenarios de esterilización orientados a la alteración de parámetros, como la concentración poblacional de la muestra y la dosis de energía aplicada. Asimismo, lleva a cabo un contraste de resultados con algunos de los principales estudios experimentales en el tema, describiendo los factores y/o parámetros que justifiquen la dispersión de valores obtenidos.

En este estudio se evaluaron los posibles efectos viricidas de la radiación UV-C en el SARS-CoV-2 se evaluaron experimentalmente para diferentes dosis de iluminación y concentraciones de virus (1000, 5, 0.05 MOI).

En base a las observaciones, se concluyó que se requiere un nivel mínimo de 16,9 mJ/cm² para alcanzar una inactivación en un factor de cinco niveles, sin ningún signo de replicación viral. Estos resultados podrían explicar las tendencias epidemiológicas de COVID-19 y son importantes para el desarrollo de nuevos métodos de esterilización para contener la infección por SARS-CoV-2.

4.1.2. Aerosoles

Los folículos de saliva mejor conocidos como aerosoles, los mismos que se producen al hablar, toser, estornudar e incluso al respirar, son uno de los principales medios de transmisión de los virus, como es el caso del SARS-CoV-2. Esto radica en su elevada capacidad de

suspensión en el aire, lo que permite que poblaciones del virus sean transferidos hacia un nuevo portador, favoreciendo su propagación incluso a grandes distancias (Jazie et al., 2021).

El tamaño de los aerosoles varía de acuerdo a como fueron generados, por lo que existen diversas estrategias de protección ante los mismos. Jazie et al. (2021) señala que, para tamaños superiores a 300 nm, la principal estrategia de protección es su contención mediante un filtrado de microfibras, el ejemplo más común son las mascarillas.

Tabla 2.

Tiempo promedio de asentamiento de aerosoles en un ambiente en reposo

Tamaño de Partícula (μm)	t de asentamiento (1,5 m)
50	20 seg
10	9 min
5	32 min
1	12 hrs
0,1	79 días

Fuente: Drossinos et al., 2021.

La eficiencia en el proceso de filtrado dependerá tanto del diseño y factores externos, como la concentración y las dimensiones de los folículos en el entorno. En la Tabla 2, se muestra el tiempo que tardan los folículos de saliva de distinto diámetro en llegar al suelo desde una distancia de 1,5 metros.

4.2. Radiación Ultravioleta

La radiación ultravioleta es el segmento de emisiones que registran una longitud de onda en el rango entre 400 y 100 nanómetros (nm) dentro del espectro radioeléctrico, justo entre la luz visible y los rayos X, por lo que, se encuentra dentro del grupo de radiación no ionizante, es decir, que no posee la energía suficiente para causar el desprendimiento de electrones en un compuesto o molécula (Zapata & Moreno, 2020).

Bintsis et al. (2000) y Kowalski (2009), indican que, en lo que respecta a desinfección de aire y superficies, la intensidad de radiación UV se expresa como irradiancia o intensidad de flujo en W/m^2 ; mientras que la dosis de radiación UV, se mide en función de la exposición de dicha intensidad en un rango de tiempo establecido con el J/m^2 como unidad; nótese que un W/m^2 equivale a $100 \mu W/cm^2$ y, un Joule (J) es equivalente a un vatio-segundo ($W \cdot s$).

De acuerdo al valor de longitud de onda, la radiación UV se subdivide en cuatro regiones bien definidas: radiación de onda larga o UV-A, radiación de onda media o UV-B, radiación de onda corta o UV-C y, por último, la zona de radiación UV de vacío (Kowalski, 2009). A continuación, se describen algunos aspectos adicionales de las regiones del espectro ultravioleta:

4.2.1. Radiación UV-A

En este rango de clasificación se ubican longitudes de onda de 320 a 400 nm, por lo que también es llamado radiación ultravioleta de onda larga. Este tipo de radiación se considera de baja absorción por las moléculas de ADN o ARN, lo que limita su capacidad germicida; aunque, grandes periodos de exposición pueden llevar a la producción de especies reactivas del oxígeno, lo cual causa oxidación de las bases nitrogenadas y el rompimiento de la doble hélice (Darnell et al., 2004).

4.2.2. Radiación UV-B

El rango de radiación ultravioleta tipo B o de onda mediana, comprende las emisiones correspondientes a una longitud de onda entre 280 a 320 nm. Entre sus aplicaciones está la inactivación reproductiva de los virus mediante la alteración del material genético tras la absorción de radiación (Zapata & Moreno, 2020).

4.2.3. Radiación UV-C

El último rango se denomina como radiación ultravioleta de onda corta, abarca las longitudes de onda entre los 200 y 280 nm. Su característica principal es el mayor grado de absorción (en comparación a las regiones anteriores) por parte de los ácidos nucleicos, por ende, permite ocasionar lesiones en la estructura microbiana de forma más efectiva y eficiente.

Bohórquez-Ballén & Pérez Mogollón (2007), mencionan que debido a ciertos fenómenos atmosféricos, las longitudes de onda en este rango son atenuadas en su totalidad (principalmente por la capa de ozono); esto implica que no existe una exposición natural de esta radiación en la superficie de la Tierra, producto de ello, las aplicaciones relacionadas a la UV-C requieren una generación artificial, en tanto que se tengan en cuenta las restricciones derivadas del riesgo de afección en las células del sistema tegumentario o de la córnea.

4.2.4. Radiación UV-V

Las emisiones ubicadas en la última región se denominan como radiación ultravioleta al vacío, en el rango entre 100 y 200 nm, presenta una facilidad inherente a ser absorbida por el entorno de aplicación, cuestión por la cual, no se toma en cuenta para escenarios de desinfección del aire o las superficies (Gheraout & Elboughdiri, 2020).

4.2.5. Irradiación Germicida Ultravioleta (UVGI)

La luz ultravioleta ha sido objeto de estudio para aplicaciones de desinfección a partir de las observaciones realizadas por Downes y Blunt en 1877, las cuales, como señala Reed

(2010), mostraron una relación inversa entre la exposición solar de tubos de laboratorio y el crecimiento de microorganismos; este descubrimiento sería clave en el desarrollo de nuevas y mejores técnicas de desinfección.

El uso de la capacidad germicida de este tipo de radiación en el rango de 200 a 320 nm para aplicaciones en aire y superficies, en especial en la región de onda corta (UV-C), se define con las siglas UVGI (Kowalski, 2009), del inglés para Irradiación Germicida Ultravioleta. Su principal característica es la eliminación o inactivación de entes patológicos, mediante la formación de enlaces covalentes entre dos pirimidinas adyacentes (dímeros) en los virus de ADN (véase la Figura 1), desembocando en la paralización de su mecanismo de replicación (Zapata & Moreno, 2020).

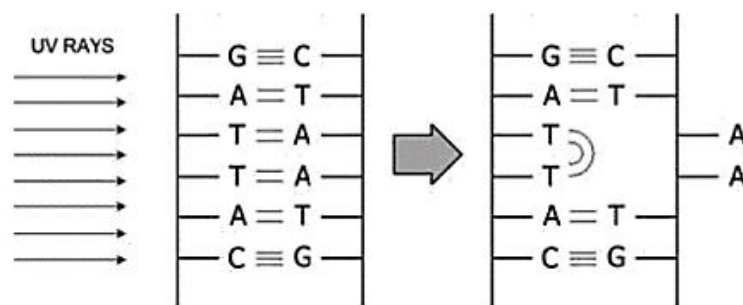


Figura 1.
Formación de dímeros de timina en el ADN por exposición a radiación UV

Adaptado de: Ultraviolet Germicidal Irradiation Handbook (p. 21) por W. Kowalski, 2009, Springer Belin Heidelberg.

Para el caso de patógenos basados en ARN, el uracilo presenta características de absorción similares a la timina, por lo que, en cierto grado, es capaz de cumplir las funciones de absorción de radiación; inclusive, se destaca una mayor cercanía de la longitud de onda emitida por lámparas de mercurio con el pico del espectro de absorción del nucleótido (Kowalski, 2009).

En términos de cuantificación, Bono et al. (2021) definen la dosis de radiación absorbida por un objeto, mediante la ecuación:

$$D = I * t_{exp} \quad (1)$$

Donde:

- D , es la dosis de exposición UV aportada [mJ/cm^2].
- I , es la intensidad de radiación UV medida en [mW/cm^2].
- t_{exp} , es el tiempo de exposición a la radiación [s].

4.2.6. Medida de Desinfección

En el ámbito de desinfección de poblaciones microbianas, es preciso definir un sistema estándar de medición que permita el control de los procesos, con el objetivo de validar los resultados obtenidos tras dichos procesos. De ahí que, se definen términos como “cfu”, del inglés para unidades formadoras de colonias, relacionado al entorno bacteriano, y a su vez, en el caso de los virus, se expresa en “pfu”, del inglés para unidades formadoras de placa. Sin embargo, en virtud de la practicidad de conceptos y dado que el entorno de desinfección suele contener una diversidad de patógenos, se establece el “cfu” para definición general de virus y bacterias. Con esto, se derivan medidas de densidad microbiana en el aire como cfu/m^3 , asimismo que, cfu/m^2 expresa la densidad de microbios en las superficies (Kowalski, 2009).

Con base en estas definiciones mencionadas por Kowalski (2009), el proceso de desinfección de microorganismos se mide en términos de reducción de la densidad de acuerdo al medio evaluado (aire/superficies).

En añadidura, debido a la complejidad que representa la eliminación total de una población microbiana, se reconoce una esterilización efectiva cuando existe al menos un factor de reducción de cinco en escala logarítmica. Típicamente, la densidad de microorganismos en el aire alcanza unos cuantos miles de cfu/m^3 (por debajo del nivel de concentración de otras superficies), por lo que se puede considerar una reducción de tres o cuatro logaritmos como medida de esterilización. En la Tabla 3 puede verse una equivalencia de reducción lograda de acuerdo a la escala logarítmica.

Tabla 3.

Equivalencia de reducción de microorganismos con la escala logarítmica

Escala logarítmica	Reducción (%)
1 log	90%
2 log	99%
3 log	99,9%
4 log	99,99%
5 log	99,999%
6 log	99,9999%

Fuente: ClorDiSys, 2020.

4.2.7. Fuentes de Radiación Artificial

Como ya se ha mencionado, las biomoléculas que componen el material genético de los diversos microorganismos (adenina, guanina, citosina, timina y uracilo) poseen un rango definido de longitudes de onda para una absorción efectiva en aplicaciones de desinfección

mediante ultravioleta, ubicado entre 200 y 260 nm (Bono et al., 2021). Es importante señalar que, a nivel comercial, el desarrollo de dispositivos germicidas con emisión de luz ultravioleta se lleva a cabo en dicho rango.

En la actualidad, existen diversos mecanismos de generación de luz ultravioleta para aplicaciones en el ámbito germicida. Las lámparas de mercurio de baja presión se destacan como las fuentes más comunes de ultravioleta, diseñadas para una variedad de potencias y una radiación máxima ubicada en 253,7 nm de longitud de onda (UV-C), lo cual es cercano al pico de efectividad germicida de los microorganismos según Luo y Zhong (2021).

Como se marca en la Figura 2, existe una diferencia entre los espectros de absorción entre las bases nitrogenadas contenidas por virus de ADN (timina) y ARN (uracilo); además, se recalca la mayor afinidad del uracilo con la longitud de onda radiada por las lámparas UV de baja presión comunes.

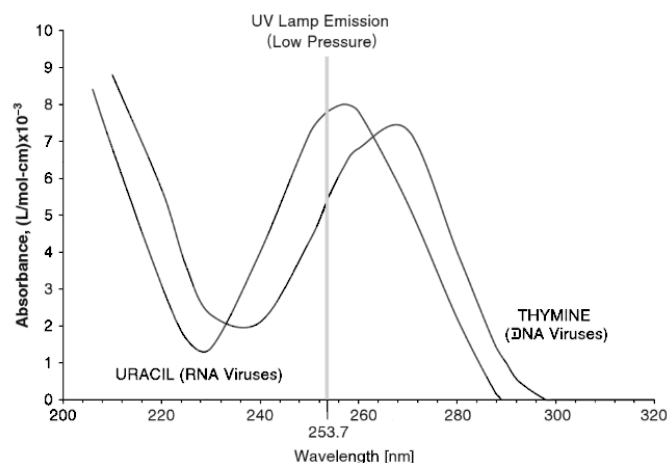


Figura 2.

Comparación del espectro de absorción de la timina y el uracilo

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

Las lámparas UV convencionales se diseñan para una longitud de onda aproximada de 254 nm, empleadas para procesos de desinfección de acuerdo a los parámetros de aplicación; a pesar de los beneficios que esto conlleva, existe un riesgo considerable derivado de la capacidad de afectar las células cutáneas o la integridad de la córnea (Lyons et al., 2021).

4.3. Mecanismos de Desinfección del Aire

En los diversos ambientes donde se llevan a cabo las actividades humanas, la presencia de organismos microscópicos, patógenos o alergénicos, transmitidos por el aire son un importante factor de riesgo para la salud humana, lo cual incluso, provoca secuelas a nivel social y económico (Kowalski, 2009).

En tiempos actuales, gracias a los distintos avances tecnológicos derivados de la investigación científica, se han desarrollado diversos mecanismos para la reducción de la carga microbiana en ambientes cerrados y ofrecer un sustento para la integridad de las personas, en especial en instalaciones cerradas y de alta concurrencia como los centros médicos, escuelas y otros tipos de edificación; algunos de los métodos más comunes se describen a continuación.

En un sistema de manejo de aire se consideran aspectos fundamentales para la creación de corrientes de aire y manipulación del mismo, como el caudal del aire, el mismo que se calcula mediante la ecuación (2) de la velocidad de paso del aire y el área transversal por donde circula.

$$Q = V * A_t \quad (2)$$

4.3.1. Filtración Mecánica

Uno de los métodos usuales es la inhibición de partículas mediante una barrera fija de estructuras de fibras porosas o membranas estiradas, diseñados a partir de las dimensiones específicas de los contaminantes y las condiciones del entorno en el que se emplean. Sus principales aplicaciones se ejecutan como complemento de los sistemas de ventilación en ambientes hospitalarios, residenciales, industriales, entre otros. (Zapata & Moreno, 2020).

El diseño de este tipo de filtros está estrechamente relacionado con el rango específico de contención, otorgando determinada capacidad de obstrucción del recorrido de las partículas implicadas. Si bien la eficacia de estos mecanismos para la contención de partículas como polvo y polen es un gran beneficio, trae consigo un mantenimiento periódico, debido a la acumulación de contaminantes en su superficie, alterando su desempeño y, por ende, de todo el sistema. Son muy usados en complemento con la luz UV en distintas tecnologías para microorganismos de alta resistencia a la radiación.

De acuerdo a la ASHRAE (2021), para ambientes especializados y de altos estándares de control de la contaminación aeróbica se utilizan filtros de orden superior a MERV-16, denominados como HEPA (High Efficiency Particle Arresting), estos suelen aplicarse en ambientes de bajo flujo de aire o de baja concentración de contaminantes.

En términos de purificación, los filtros de aire reducen la carga de aerosoles y, por ende, bloquean el transporte de agentes de infección entre zonas, disminuyendo la probabilidad de contagio vía aérea. Sin embargo, su eficiencia se ve afectada por la baja turbulencia de entornos de ventilación limitada, por lo que su aplicación se orienta al complemento de sistemas HVAC (Calefacción, Ventilación y Aire Acondicionado), generalmente, en ambientes hospitalarios.

Los filtros deben estar sellados para evitar la presencia de fugas que afecten el rendimiento esperado; además, es de consideración manejar rango de operación en cuanto a la caída de presión a través del medio filtrante, de modo que, un nivel inferior al límite establecido denote la necesidad de reemplazo del mismo.

4.3.1.1. Filtro de aire 2097 (P100). La serie 2097 corresponde a un tipo de filtro electrostático para partículas, fabricados a partir de polímero sintético, con tela de polipropileno y poliéster como base para el medio filtrante. En condiciones normales de diseño (ambientes con aerosoles aceitosos) se recomienda la sustitución del filtro después 30 días o de 40 horas de uso continuo (en respiradores).

En la norma NTE INEN 2348:2013 (2013), se indica que la NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health) incluyó este tipo de filtros bajo la especificación P100 (aerosoles aceitosos o no aceitosos) de la norma 42CFR84, correspondiente a un nivel de eficiencia del 99,97 % para aerosoles cuyo diámetro aerodinámico promedio es superior a 0,3 μm .

4.3.2. Ozono

Este es otro método para eliminación de patógenos basado en la exposición a ciertas concentraciones de ozono, destaca especialmente como bactericida. Generalmente, se asocia a implementaciones de tratamiento de aguas residuales en instalaciones nosocomiales, proveyendo un método de desinfección de alto rendimiento (Gheraout & Elboughdiri, 2020).

Su funcionamiento se basa en las propiedades químicas de la molécula de ozono, como su alto potencial de oxidación y su alta capacidad de difundirse a través de membranas biológicas, con las que es capaz de eliminar virus, bacterias y hongos a partir de la descomposición de dicha molécula (Claus, 2021).

Como indican Varga & Szigeti (2016), existen diversos procedimientos para la generación de ozono, entre los más comunes está la radiación ultravioleta, además de los métodos térmicos, químicos, electrolíticos y quimio-nucleares. Los precios de implementación varían de acuerdo al tipo de generación utilizado.

Un ejemplo del desempeño del ozono como agente purificador de aire es el uso de concentraciones muy bajas en ambientes de producción animal, para destruir los patógenos transportados en el aire y la eliminación de olores en establos (Varga & Szigeti, 2016).

La elevada concentración de ozono y los residuos del procedimiento son perjudiciales para la salud humana; según cita Claus (2021), la Conferencia Estadounidense de Higienistas Industriales Gubernamentales (ACGIH), establece el valor límite de concentración por día es

de 0,1 ppm (partes por millón) para trabajos no forzados y 0,05 ppm para trabajos de mayor extenuación. Adicionalmente, (Varga & Szigeti, 2016) señala que en concentraciones menores a 0,1 mg/L puede causar síntomas leves como irritación de los ojos, nariz o garganta.

A raíz de estos valores, y como se menciona en ASHRAE (2021), se establecen como incompatibles los sistemas de desinfección mediante ozono con ambientes activos o que involucre una intervención de personas, dado que una concentración segura para el público no muestra efectividad para el control de patógenos.

4.3.3. Tecnología UVGI

La aplicación de radiación ultravioleta como método de desinfección, ha ido ganando terreno a través de los años, gracias a la cantidad de estudios relacionados y la recopilación de datos resultantes de múltiples experimentos. También se destaca una mayor divulgación de las propiedades germicidas de este tipo de radiación en el entorno académico y al público general.

Su funcionamiento se centra en la inactivación de los microorganismos por medio de energía ultravioleta de onda corta, en la que se aporta la dosis de radiación acorde al entorno de desinfección. Comúnmente, este tipo de implementación se ha llevado a cabo en ambientes con altos estándares de sanitización, como laboratorios o centros hospitalarios (Zapata & Moreno, 2020); no obstante, cada vez es más frecuente su uso como alternativa de purificación en espacios con mayor susceptibilidad para acoger una elevada concentración microbiana, como ductos de ventilación o espacios cerrados.

La ASHRAE (2020) menciona que, la neutralización contra agentes aeróbicos deben ser efectivos en un tiempo reducido, segundos o fracciones de segundo, dependiendo de las características del dispositivo, y generalmente se requiere una alta intensidad de UV y/o una mayor profundidad en línea para extender el tiempo de exposición de la corriente de aire.

El constante estudio y experimentación ha propiciado el surgimiento de variadas técnicas de generación artificial de radiación ultravioleta en distintas regiones del espectro. Entre las principales tecnologías de aplicación UV tenemos:

4.3.3.1. Lámparas de mercurio de baja presión. Las LPM (Low-Pressure Mercury Lamps) son el mecanismo más común asociado a la generación de radiación ultravioleta germicida para desinfección de aire, agua y superficies en general, debido a su notable eficiencia energética y la variabilidad de dimensiones, modelos y potencia de radiación, dando una mayor versatilidad para el diseño y construcción de diversos tipos de sistemas de desinfección (Bergman, 2021).

Su estructura general se muestra en la Figura 3, misma que se conforma por un tubo cerrado herméticamente por una cubierta especial de vidrio (vítreos sílice o cuarzo), el mismo que contiene mercurio y un gas inerte (usualmente argón), además de electrodos especiales en sus extremos. Su funcionamiento se basa en la aplicación de determinada tensión al vapor de mercurio, lo cual produce radiación UV cuando el gas retorna a un estado de menor energía.

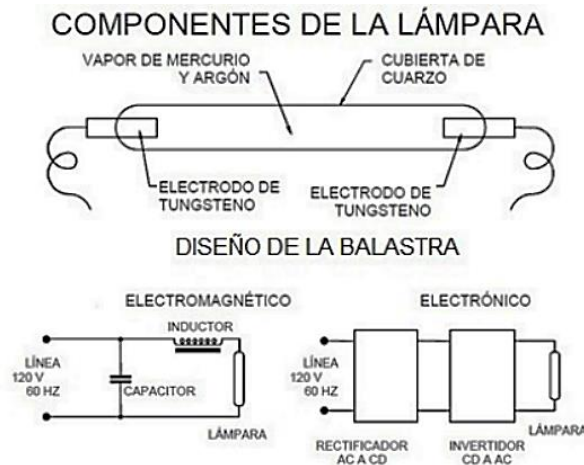


Figura 3. Estructura típica de una lámpara de mercurio de baja presión

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

La radiación resultante se encuentra en el rango de 200 a 800 nm. El recubrimiento de vidrio se encarga del filtrado de estas emisiones, permitiendo el paso a mayormente a la luz de 253,7 nm de longitud de onda, lo cual representa aproximadamente un 80% de la radiación total, dependiendo de la composición de dicho vidrio (Bergman, 2021). Esto es importante para inhibir la radiación de mayor penetración, cuya exposición puede causar daños severos; inclusive, para controlar la generación de ozono derivados de longitudes de onda más cortas.

De acuerdo a las indicaciones de la ASHRAE (2020), la irradiancia de las lámparas UV-C se presenta en $\mu\text{W}/\text{cm}^2$, aclarando que, los fabricantes suelen obtener sus medidas de intensidad de la lámpara tomando la lectura de intensidad a 1 metro del foco de radiación. Esto propone que el diseño de sistemas UVGI deben contemplar la medición de radiación a la distancia de trabajo, debido a que la energía radiada está ligada a la ley del cuadrado inverso, en donde la propagación de la intensidad de la luz disminuye exponencialmente al aumentar la distancia entre el punto de medición y la fuente de luz.

En el aspecto técnico, Bergman (2021) señala que estas poseen propiedades eléctricas similares a las lámparas fluorescentes, es decir, requieren de un balastro para la adecuación de la alimentación suministrada. Sumado a esto, es válido señalar que su vida útil es de 6 a 8 mil horas de uso, lo cual es un factor importante para ciertos entornos de trabajo.

4.3.3.2. LED UV-C. En la última década, se ha afianzado el desarrollo de este tipo de tecnología en el campo de la iluminación; incluso se ha llevado a cabo la experimentación para radiar en distintas zonas del espectro ultravioleta. Usualmente se destinan para aplicaciones de desinfección de superficies o superpuestos en sistemas de purificación de aire HVAC.

Los atributos que más llaman la atención son la versatilidad y su flexibilidad para adaptarse a los sistemas de desinfección, facilitando las labores de diseño e implementación debido a su reducido tamaño, su mayor operatividad; además, son emisores direccionales, siendo propicio para ambientes de baja reflexión (Bergman, 2021). Sumado a esto, su rango de vida útil, aproximadamente 10 mil horas, prolonga el tiempo entre mantenimientos.

A pesar de los notables puntos a favor de esta tecnología, Bergman (2021) señala algunas de las limitaciones que presentan los LED UV-C. Su nivel de eficiencia es reducido, en comparación a las lámparas LPM, cerca del 4 % para el rango de 265 a 275 nm. En algunos casos, existe cierta diferencia entre la intensidad de radiación.

4.3.3.3. Otras alternativas. Existen otras fuentes de radiación UV, aunque la mayoría se mantienen en etapa de estudio o tienen una menor distribución en el mercado. Entre estas se encuentran las lámparas “excimer”, nombre derivado del proceso de excitación de dímeros en la inactivación de microorganismos, las cuales cubren un amplio rango de longitudes de onda, la misma que depende del gas contenido en su interior (Bergman, 2021).

En el rango germicida, destacan las lámparas de Kr-Cl (cloruro de criptón), que emiten luz de 222 nm de longitud de onda, y las lámparas de Kr-Br (bromuro de criptón) con longitud de onda de 207 nm (Buonanno et al., 2017). Una de las ventajas de estos instrumentos es la baja capacidad de penetración en las células humanas, alrededor de 0,3 μm , favoreciendo las implementaciones directas en entornos de concentración de personas (Buonanno et al., 2013).

Un ejemplo más complejo de los mecanismos “excimer”, son las lámparas de arco de xenón (continuas y de pulso), las cuales irradian a una longitud de onda superior a 200 nm; sus aplicaciones se desarrollan típicamente en la experimentación académica. La característica principal de este tipo de lámparas es la capacidad de generar altos niveles de radiación, lo cual acelera los procesos derivados a su aplicación (Bergman, 2021).

Aspectos en consideración:

Como se ha recalado antes, la radiación en el espectro ultravioleta germicida conlleva una serie de aspectos a tener en cuenta, tanto para el resguardo de la integridad del personal presente en el espacio de aplicación, así como del cuidado técnico y estructural de los distintos

dispositivos que implementan este tipo de tecnología. Aquí se describen algunas consideraciones para el diseño y mantenimiento de los sistemas UVGI:

- El número de fuentes de radiación en un ducto es directamente proporcional al flujo de aire que circula por el mismo.
- Debe existir una correcta relación entre velocidad del aire y la dosis de radiación inducida, de lo contrario se afectará la eficacia de desinfección e incluso, los microbios pueden recuperarse del daño ocasionado.
- De acuerdo a las condiciones de filtración y suciedad del ambiente, se deben establecer periodos de limpieza pertinentes para un óptimo funcionamiento.
- Reemplazo de las lámparas, al reducirse el valor de radiación por debajo del 60%.

Del mismo modo, se debe tener en cuenta la generación de ozono como un factor de riesgo para entornos de escasa ventilación. De acuerdo con Luo & Zhong (2021), es común el uso de ciertas capas de vidrio de alta pureza para la filtración de longitudes de onda formadoras de ozono (cercasas a 185 nm).

4.3.4. Comparativa

En base a las características señaladas, la Tabla 4 plantea un análisis de las características de los mecanismos anteriores en base a las ventajas y desventajas de los mismos en la implementación de sistemas de desinfección.

Tabla 4.
Comparación entre métodos de desinfección microbiana en el aire

Mecanismo	Ventajas	Desventajas
Filtrado Mecánico	- Bajo costo de implementación - Fácil integración - Diversidad de diseño	- Eficiencia relativa al diseño - Mantenimiento periódico - Desempeño depende del entorno
Ozono	- Alta eficiencia - Rápida desinfección - Propicio como bactericida - Variedad de fuentes de obtención	- No aplicable para ambientes ocupados - Alto costo de implementación - Dependencia a condiciones externas
UVGI	- Alta eficiencia - Larga vida útil - No produce residuos químicos	- Riesgo de daños por exposición - Pueden producir ozono - Baja penetración en el mercado local

Recopilado por: El autor.

4.4. Herramientas

4.4.1. Raspberry Pi 3 B+

La serie Raspberry Pi son una gama de ordenadores de placa única o SBC (Single Board Computer), desarrollados por la fundación del mismo nombre y cuyo objetivo es la expansión

de los sistemas electrónicos e informáticos para el público general; estas placas han ganado gran popularidad, debido a la variedad de recursos que ofrece y la facilidad de acceso (Raspberry Pi Foundation, 2021).

Otra de las características, es la existencia de diferentes versiones de hardware que se adecúan a las necesidades de un proyecto determinado, sumado a la gran retroalimentación de la comunidad, permitiendo ampliar la utilidad de los sistemas y la resolución de problemáticas.

El modelo seleccionado para la implementación del presente Trabajo de Titulación es la última actualización de la tercera generación de las placas Raspberry Pi. Sus prestaciones a nivel de hardware comprenden una gran capacidad de procesamiento, capacidad de acceso a la red para acceso remoto, 40 pines de propósito general y una compatibilidad con periféricos, etc.

Respecto al software, la placa soporta diversos sistemas operativos, entre los cuales destaca la versión optimizada de Debian Linux llamada Raspbian, la cual se orienta a las características y aplicaciones generales para una Raspberry Pi, que además incluye el entorno de desarrollo y aprendizaje integrado IDLE para el lenguaje de programación Python.

4.4.2. *Raspberry Pi & Python*

Python es un lenguaje de programación abierto de alto nivel, desarrollado a partir de 1989, su característica principal es la interpretación en tiempo de ejecución. Su premisa es ser fácil de leer y simple de implementar, ya que su sintaxis se basa en palabras clave.

Este lenguaje tiene una gran proyección de enfoque hacia el futuro, gracias a su continua actualización y despliegue en entornos de innovación tecnológica y comercial; por tanto, es ampliamente empleado para la creación de aplicaciones web y contenido web dinámico; además, es compatible con una amplia variedad de entornos de trabajo. Los principales ámbitos de aplicación que han impulsado el uso Python son:

- Procesamiento de imágenes
- Desarrollo de software
- Interfaces gráficas de usuario (GUI)
- Machine learning

Python consta de una extensa biblioteca estándar, que apunta a la programación en general y contiene módulos específicos para la administración de los recursos de la Raspberry Pi como “RPi.GPIO”. Por tanto, se escogió el lenguaje por las distintas prestaciones que ofrece para el sistema SBC utilizado en el presente trabajo.

5. Metodología

En esta sección, se detallan los materiales y métodos usados para llevar a cabo el presente Trabajo de Titulación. Aquí se menciona el contexto de despliegue, el proceso de ejecución general, los recursos empleados y los participantes que intervinieron en el desarrollo del Trabajo de Titulación.

5.1. Contexto

El presente Trabajo de Titulación (TT) se desempeñó dentro de un contexto académico y social, durante el periodo de octubre 2021 a marzo 2020, 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, con la colaboración de personal docente enfocados en entornos de Diseño Electrónico y Tecnología UV.

5.2. Proceso

Cada uno de los objetivos abarcados en el TT, se ejecutaron en base al procedimiento descrito a continuación:

1. Realizar una revisión bibliográfica de los métodos de purificación de aire y los procesos de eliminación del SARS-CoV-2, relacionados a la radiación ultravioleta.
 - a. Se llevó a cabo una recopilación bibliográfica, en modalidad informática, de los pilares teóricos del proyecto, en repositorios científicos usando palabras clave en el entorno de la pandemia y desinfección mediante tecnología UV.
 - b. Se establecieron las fuentes con mayor vinculación con los temas tratados, para el desarrollo fehaciente de los conceptos de purificación de aire. Asimismo, se complementó la información con reportes oficiales del estado actual de la pandemia e investigaciones realizadas en torno a ello.
 - c. Se efectuó una subetapa de clasificación y comparación de la información recopilada a partir del tipo de contenido, la relevancia de los datos y el aporte experimental, principalmente en relación a la inhibición del SARS-CoV-2.
 - d. Se definieron los requerimientos básicos del sistema de desinfección de aire, en relación a las propiedades del virus y aerosoles, considerando la capacidad de las tecnologías de generación UV.
 - e. Se establecieron los límites de operación y las características de control que el prototipo entrega al usuario, en base al planteamiento general.

2. Diseñar un mecanismo electrónico a partir de un sistema de ventilación y lámparas UV-C, para establecer un flujo controlado de aire, de acuerdo a los parámetros de aplicación y los requerimientos del entorno.
 - a. Se estructuró de forma segmentada las etapas principales de operación del sistema, englobando mecanismos de control, administración y ejecución de las tareas consideradas.
 - b. Se llevó a cabo un análisis de funcionalidad de diversas soluciones técnicas en relación a los aspectos principales del sistema (ventilación y radiación UV).
 - c. En base al análisis anterior, se definieron la capacidad de los componentes a usar para cada etapa del dispositivo. En adición, se propuso la gestión de usuario mediante un control digital.
 - d. Se realizó una medición de la intensidad de radiación ultravioleta entregada por las lámparas LMP, con el objetivo de establecer la curva de irradiancia respecto a la distancia de exposición, así como definir su tiempo de calentamiento.
 - e. A partir de los requerimientos de operación, se procedió al cálculo de los valores de diseño necesarios para los parámetros de trabajo, manejo de componentes y las magnitudes del dispositivo.
 - f. Usando los cálculos anteriores como punto de inicio, se definieron las características de los componentes para cada subsistema planteado. Se destacan las luminarias UV-C, el ventilador, entre otros.
 - g. Se efectuó el diseño electrónico con el fin de lograr un óptimo proceso de activación y control de los subsistemas, garantizando la compatibilidad entre los valores de desempeño de los componentes involucrados. En adición, se contemplaron factores de alimentación a nivel específico y general.
 - h. Posteriormente, se hizo uso de herramientas de modelado 3D para ejecutar un diseño estructural del dispositivo. Aquí se cubrieron tanto los aspectos físicos del sistema como la disposición de componentes.
3. Construir el purificador, agregando una etapa de control para la calibración de las corrientes de aire y la intensidad de radiación, para su posterior evaluación en entornos variados, a través de herramientas de medición de la calidad del aire.
 - a. Se desarrolló una interfaz gráfica para la interacción del usuario; cubriendo aspectos de configuración de parámetros de operación e información del dispositivo.

- b. En paralelo se efectuó la impresión de las estructuras conexas, previamente diseñadas, para el despliegue de los componentes de control y activación del prototipo.
- c. Tras ello, se procedió al ensamblaje de la estructura en conformidad al diseño digital, incluyendo las conexiones pertinentes que permitan la realización de pruebas conjuntas entre subsistemas.
- d. A partir de la cuantificación de la capacidad del sistema, se delimitó el flujo de aire y el tiempo de exposición que permita una desinfección efectiva en términos de la dosis de radiación UV aportada.
- e. Se efectuó una segunda medición para corroborar los valores de intensidad de radiación en el interior del dispositivo. Con ello, se pudo establecer la dosis aplicada respecto a separación de las lámparas y las partículas en su trayectoria por el volumen de desinfección.
- f. Se procedió a la evaluación total del sistema, definiendo distintos parámetros de aplicación para comprobación de funcionamiento.

5.3. Recursos

Con el fin de alcanzar los objetivos planteados, se utilizó los siguientes recursos:

5.3.1. Recursos Científicos

- **Método Analítico:** es un procedimiento basado en la descomposición del todo en partes fundamentales y de carácter consecuente (Lopera Echavarría et al., 2010). Para el presente Trabajo de Titulación, se empleó este método para reconocer y desarrollar de forma segmentada y ordenada, los puntos definidos en los objetivos específicos.
- **Estudio del estado del arte:** este método se centra en la revisión de propuestas investigativas o experimentales acerca de un fenómeno u objeto específico (Guevara Patiño, 2016). En la ejecución del Trabajo de Titulación, se aplicó esta técnica para la búsqueda y contrastación de información en diversas fuentes bibliográficas relacionadas a las etapas, la metodología y los procesos externos vinculados a la gestión y el diseño eficiente de dispositivos relacionados a la purificación del aire mediante tecnología ultravioleta.

5.3.2. Recursos Técnicos

- **Herramientas Colaborativas:** se hizo uso de herramientas colaborativas disponibles en internet como: Google Drive, para el manejo de información generada a partir de

documentación y modelos relacionados; Zoom, como principal herramienta de comunicación entre los involucrados.

- **Entornos de desarrollo de software:** Se hizo uso de Anaconda Navigator como entorno de administración de paquetes, además como plataforma de despliegue de Jupiter Notebook, herramienta empleada como medio de desarrollo de la interfaz gráfica y editor del código fuente para la administración del dispositivo.
- **Software de diseño eléctrico/electrónico:** se utilizaron herramientas digitales de diseño y simulación de los dispositivos electrónicos, como CircuitLab y Fritzing, para el cumplimiento del segundo objetivo.
- **Software de modelado 3D:** como ya se mencionó, se llevó a cabo un diseño estructural a partir de herramientas digitales de modelado como Tinkercad. Además, permitió obtener estructuras específicas para el TT.
- **Impresora 3D:** En la etapa de construcción fue importante la obtención de piezas o estructuras personalizadas a base de plástico obtenidas por impresión 3D.

5.4. Participantes

El presente Trabajo de Titulación está enfocado en la línea de investigación de Sistemas Microprocesados y de Electrónica de Potencia, la misma que fue llevada a cabo por los siguientes participantes:

- Brandon Paúl Narvárez Cevallos, como estudiante autor y ejecutor de todas las actividades, incluidos el planteamiento del tema, desarrollo y finalización de los objetivos propuestos, como se destaca en la sección 5.2.
- El Ing. Rodolfo Pabel Merino Vivanco, Mg. Sc. como director, colaborador, consultor y tutor académico para el despliegue del presente Trabajo de Titulación, quién desempeñó la tarea de supervisión de avances académicos y procedimientos técnicos desarrollados por el autor.
- El Ing. Kleber Rolando Morillo Aguilar, Mg. Sc. como tutor académico y consultor externo para la redacción y estructuración del documento correspondiente al Trabajo de Titulación.

6. Resultados

En la siguiente sección se ha detallado la evidencia de los resultados obtenidos a lo largo de la ejecución del Trabajo de Titulación, en base a los objetivos específicos propuestos.

6.1. Consideraciones de la literatura

En base a la revisión de material científico, se han establecido los criterios fundamentales del dispositivo de desinfección ante el SARS-CoV-2, tomando en cuenta las siguientes consideraciones:

- Los sistemas de desinfección UVGI ofrecen mayor efectividad en ambientes con un despliegue de aplicación directa y a corta distancia.
- Para sistemas en espacios ocupados, se establecen barreras de contención de radiación, principalmente con materiales con propiedades reflectivas para mejorar su desempeño.
- La dosis de radiación está directamente relacionada al tiempo de exposición de las partículas en el aire y a la potencia UV entregada por las lámparas LPM. El cálculo de la dosis aplicada en el sistema se realiza mediante la ecuación (1).
- La energía radiada por las fuentes UV obedece a la ley del cuadrado inverso, por lo que ofrece una mayor potencia en distancias cortas.
- Las características del dispositivo de ventilación deben tener la capacidad de acoplarse a las propiedades físicas del mismo, a fin de definir un óptimo despliegue del mecanismo de inactivación.
- Volumen de aplicación cerrado, para evitar riesgos de exposición para los individuos en el espacio de desinfección.

En la Tabla 5, se describen los ejes principales de diseño para el dispositivo definidos a partir de la bibliografía revisada; estos valores se orientan a la capacidad de desinfección del sistema UVGI y los requerimientos de inactivación del SARS-CoV-2.

Tabla 5.

Datos relevantes sobre el SARS-Cov-2 y su inactivación en el aire

Característica	Descripción
Tamaño del virus	60 – 140 nm
Tiempo de vida	1,09 horas
Tamaño promedio de aerosoles	0,1 – 50 μm
Tiempo de asentamiento de aerosoles	20 s – 79 días
Dosis de inactivación	16,9 mJ/cm^2
Longitud de onda de radiación UV	253,7 nm

Recopilado por: El autor

6.2. Diseño del prototipo

6.2.1. Fuentes de radiación

El proyecto tiene como principio el despliegue del prototipo guardando un equilibrio entre la capacidad de desempeño del mismo y el costo de adquisición de materiales, por lo que, de acuerdo a la limitada comercialización de este tipo de tecnología en el país, se llevó a cabo el despliegue mismo a partir de lámparas de mercurio de baja presión (LPM), sus respectivas características se detallan en la Tabla 6, como fuente de radiación UV-C. Otro punto de consideración, es la añadidura de los soportes especiales para cada luminaria, los cuales son elementos necesarios para la adecuación de los parámetros de alimentación, esto implica un aumento de las dimensiones.

Tabla 6.

Especificaciones de las lámparas UV germicidas

Lámparas 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
Potencia UV* (μ W/cm)	51
Tiempo de vida	6000 horas

Fuente: CH Lighting – UVC lamps. **Nota*:** Potencia de radiación nominal a 1 m de distancia.

Estas lámparas se fabrican para la inhibición de longitudes de onda generadoras de ozono, permitiendo el despliegue de este tipo de sistemas en ambientes de interacción directa, dado que evita la concentración de este subproducto en el espacio de aplicación.

6.2.2. Diseño estructural

El prototipo se estructura mediante la división del espacio general, orientado a la desinfección de aire mediante la disposición de las lámparas de radiación UV, y los espacios conexos para los elementos de los subsistemas de alimentación, activación y control, en el Anexo 1 se referencian estos espacios. Las conexiones se orientan de forma interna, de manera que no limite su desempeño y se obtenga un mejor acabado.

6.2.3. Volumen de desinfección

Se ha planteado un volumen rectangular de acero inoxidable (Figura 4), con el fin de aprovechar las propiedades de reflexión y durabilidad de la estructura para el soporte de los

componentes del sistema. Las dimensiones del volumen de desinfección se establecieron a partir de las características físicas de las luminarias y se detallan en la Tabla 7.

Tabla 7.

Especificaciones del volumen de desinfección

Volumen de desinfección	
Material	Acero inoxidable
Alto (cm)	12
Ancho (cm)	60
Largo (cm)	12
Bordes (cm)	2

Fuente: El autor

Para mayor facilidad de manejo y ensamblaje posterior, se estableció que el volumen tenga una cubierta desplegable, la misma que se fija por medio de seis tornillos dispuestos de forma externa.



Figura 4.

Volumen de desinfección

6.2.4. Selección de ventilador

El subsistema de ventilación es uno de los pilares fundamentales del prototipo, ya que a través de este se genera el flujo de aire con una determinada carga de aerosoles, la cual se procede a inactivar.

Típicamente, los ventiladores asociados a la generación de flujo de aire controlado de bajo nivel son de tipo axial. En vista de las necesidades del sistema se eligió un ventilador axial

de bajas dimensiones, integrado con control de flujo de aire mediante modulación de ancho de pulso, cuyas características se especifican en la Tabla 8.

Tabla 8.
Especificaciones del ventilador

Ventilador DELTA AUB-CX09	
Dimensiones (cm)	9,2 x 9,2 x 2,5
Alimentación (DC)	12 V – 0,38 A
Control de velocidad	PWM
Rango de velocidad (rpm)	500 – 3800
Flujo máximo (m ³ /s)	32x10 ⁻³
Flujo mínimo (m ³ /s)	4,217x10 ⁻³
Tiempo de vida	50 000 horas

Fuente: Delta Electronics, Inc.

Este dispositivo de ventilación, posee un amplio rango de frecuencia para la señal de control, disminuyendo la exigencia para el generador; además, incluyendo un mecanismo de bloqueo para pulsos neutros, lo que añade flexibilidad al control de velocidad para las variantes de diseño.

6.2.5. Dosis de radiación

Con el valor de inactivación para el SARS-CoV-2 especificado en la literatura, se procedió al establecimiento de los parámetros de operación del prototipo, a fin de verificar el cumplimiento de la dosis pertinente, mediante los parámetros de la ecuación (1).

El punto de partida es cuantificar de forma práctica la intensidad de radiación entregada por las lámparas mediante la medición de valores respecto a varias distancias (ver Anexo 4), cuyos resultados se observan en la Tabla 9. Para el proceso de medición se empleó un radiómetro UV profesional, especialmente diseñado para lámparas germicidas con emisiones de 254nm de longitud de onda (ver Anexo 5).

Tabla 9.
Valores de intensidad de radiación UVC medidos respecto a la distancia

Distancia (cm)	Potencia medida [μW/cm²]	Equivalencia [mW/cm²]
5	4510,9	4,5109
10	2607,9	2,6079
15	1730,7	1,7307
20	1151,6	1,1516
30	600,5	0,6005
40	358,7	0,3587
50	246,7	0,2467

Recopilado por: El autor

Con estos datos, se trazó la curva de intensidad de radiación ultravioleta de las lámparas en condiciones normales (ver Figura 5), medida en $\mu\text{W}/\text{cm}^2$, respecto a la distancia de separación, medida en cm . En adición, se verificó que los dispositivos de radiación no producen ozono con la ayuda de un detector de concentración de gases (ver Anexo 5).

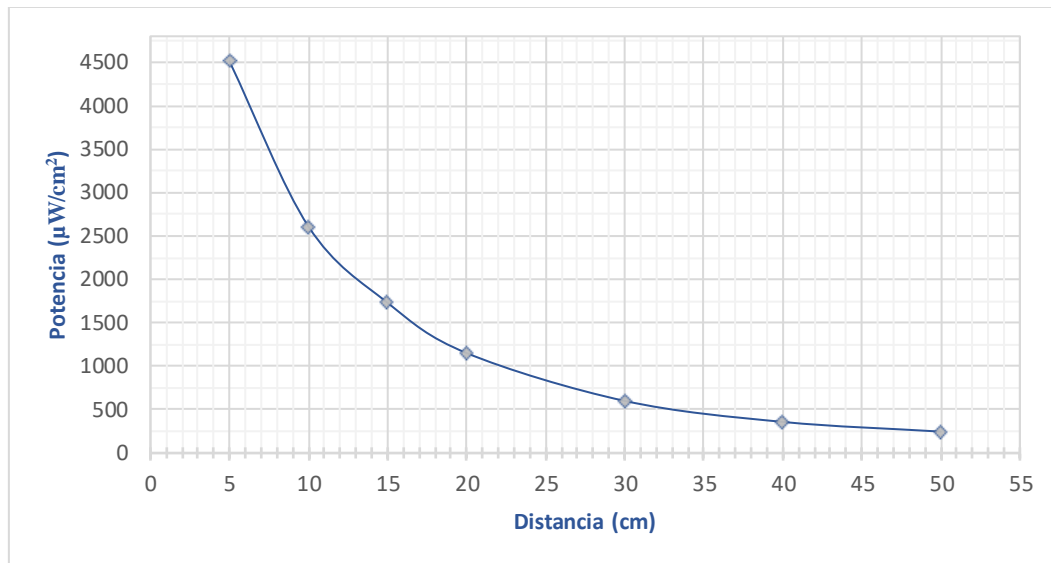


Figura 5.
Curva de intensidad de radiación de las lámparas respecto a la distancia

Tras ello, se dio paso al cálculo del tiempo de exposición de acuerdo al recorrido de los aerosoles a través del volumen. Aquí se relacionan aspectos como flujo de aire generado, velocidad del aire y la distancia de recorrido, además, se toma como referencia que para un correcto desempeño del dispositivo se requiere un tiempo de exposición suficiente, que asegure la dosis de radiación adecuada.

De esta forma, se calcula el área transversal del volumen a partir de la siguiente fórmula, tomando en consideración las dimensiones del volumen de desinfección.

$$A_t = b * h$$

$$A_t = (0,12\text{m})(0,12\text{m})$$

$$A_t = 1,44 \times 10^{-3} \text{m}^2$$

Mediante la ecuación (2), se puede relacionar estos valores para el cálculo de la velocidad de las partículas llevadas en el flujo de aire generado por el ventilador en las partículas; teniendo en cuenta que para un correcto desempeño del dispositivo se requiere un tiempo de exposición prolongado, por lo que se dispone el menor caudal de aire proporcionado por el ventilador, es decir, a velocidad mínima.

$$V_{\text{aire}} = \frac{Q}{A_t}$$

$$V_{aire} = \frac{4,217 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}}{14,4 \times 10^{-3} \text{ m}^3}$$

$$V_{aire} = 0,29 \text{ m/s}$$

A partir de este valor, y considerando una trayectoria lineal y uniforme, se ha establecido el tiempo mínimo de exposición en el recorrido de los folículos transportados en el aire por el dispositivo.

$$t_{exp} = \frac{l}{V_{aire}}$$

$$t_{exp} = \frac{0,60 \text{ m}}{0,29 \text{ m/s}}$$

$$t_{exp} = 2,069 \text{ s}$$

Con estos resultados, la dosis de radiación otorgada por el dispositivo a los folículos transportados en el aire corresponderá a:

$$D = I * t_{exp}$$

$$D = 2 * (4,5109 \text{ mW/cm}^2)(2,069 \text{ s})$$

$$D = 18,66 \text{ mJ/cm}^2$$

6.2.6. Diseño 3D de estructuras

El diseño del prototipo incluye la definición de estructuras secundarias para la ubicación de estructuras pertenecientes a los subsistemas de control electrónico, de alimentación, entre otros; estos se evidencian en la Figura 6. Estas estructuras se han destinado a la impresión 3D, a base de material PLA, las dimensiones se especifican en los planos del prototipo (Anexo 1).

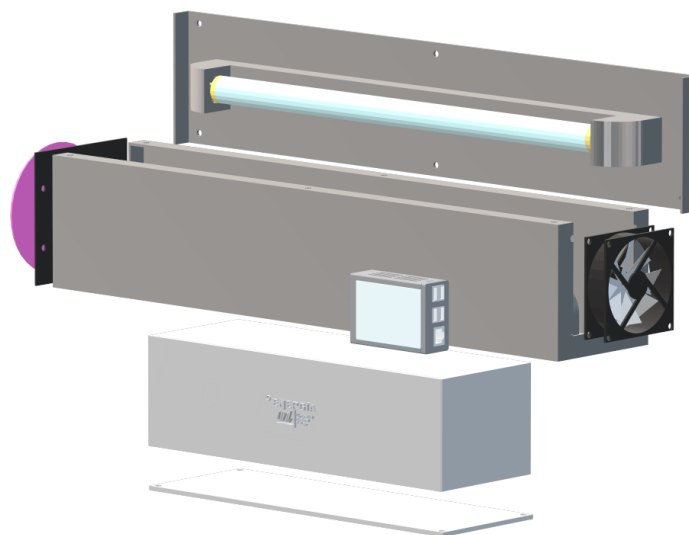


Figura 6.
Modelo 3D de las estructuras del prototipo

6.2.7. *Diseño electrónico (activación)*

Como parte del proceso de diseño del prototipo, y en base a las propiedades eléctricas de operación de cada uno de los componentes, se vio la necesidad de agregar una subetapa de adecuación de estos valores de desempeño mediante herramientas de simulación para la creación de un circuito electrónico externo, para permitir un correcto desempeño y asegurar la integridad de los componentes.

Este circuito, como se muestra en el Anexo 7, se diseñó a partir de transistores, diodos de protección, relés (relevadores) y leds para verificación de estado; además, se emplea un circuito regulador de voltaje (LM7805) con capacitores adyacentes, para obtener un voltaje de 5V para la alimentación de los relees. Aquí se contemplan los valores de la fuente y la señal de activación de un pin GPIO de la Raspberry Pi, simulando una activación mediante un pulsador.

6.3. Construcción del dispositivo

6.3.1. *Control del dispositivo*

El control de operaciones del prototipo se orienta a la capacidad de definición de los parámetros correspondientes al procedimiento del mismo, por ello, se utilizó una placa SBC, específicamente una Raspberry Pi 3 B+, que brinda las características necesarias para el control de los elementos y la administración de los procesos del dispositivo, añadiendo una pantalla táctil como medio de interacción dinámica del usuario.

El código de ejecución de la interfaz gráfica de usuario (Anexo 8) fue desarrollado para controlar el programa de activación del ventilador y las lámparas, además de otorgar la capacidad de monitorear e intervenir en el proceso de desinfección, por medio de varios botones desplegados en dicha interfaz.

Se buscó establecer un sistema intuitivo y de fácil ajuste de las funciones del sistema, mediante los pines de propósito general (GPIO), tomando en consideración el espacio destinado a la pantalla táctil y los pines de uso exclusivo. Para la implementación planteada se maneja la distribución de pines mostrada en el Anexo 10).

La implementación del código se implementó en Python, aprovechando las facultades de organización y versatilidad que ofrece el entorno de desarrollo Jupyter Notebook. Esta interfaz basa su estructura en el módulo “Tkinter”, el mismo que permite el diseño de ventanas de interacción gráfica, a partir de la disposición de objetos (etiquetas, cuadros de texto, botones, etc.). En la ventana principal de la interfaz gráfica (Anexo 9), se puede observar los botones dispuestos para el control del dispositivo, entre los que se encuentran:

- INICIO: Al oprimirse, evalúa los parámetros de aplicación y da paso a la activación de los componentes y el monitoreo de los periodos de aplicación.
- PAUSE: Este botón se puede oprimir únicamente cuando se encuentre en operación; al oprimirse desactiva los componentes, pero guardando el estado de la operación para su posterior reanudación con el mismo botón.
- STOP: Este botón está disponible únicamente con el dispositivo en operación; permite la interrupción completa del sistema.
- PERIODO: Este botón itera el valor del tiempo de periodo para la aplicación de radiación UV.
- VOLUMEN: Este botón permite el acceso a una ventana emergente para el ingreso de las dimensiones del espacio que se desea purificar, para establecer los periodos necesarios para su desinfección (ver Anexo 9).
- INFO: Este botón despliega la ventana de información, donde se señala el tiempo de ejecución del periodo actual, la cantidad de periodos ejercidos y un contador de horas para las luminarias del dispositivo (ver Anexo 9).
- APAGAR: Este botón permite apagar el sistema del equipo de forma segura. Solo disponible con el equipo en reposo.

Respecto al despliegue de operaciones, se propuso una aplicación de radiación basada en la duración y el número de periodos de activación, relacionados al volumen de desinfección. El detalle de operación, características, modo de uso, medidas de seguridad del dispositivo, etc., se encuentra en el manual de usuario respectivo (Anexo 3).

6.3.2. Creación de PCB para el circuito de activación

Como parte del mecanismo principal para la operación del prototipo se efectuó la construcción de la placa, así como la ubicación y soldadura de los elementos electrónicos (como se observa en la Figura 7), conforme al diseño visto en el Anexo 7.

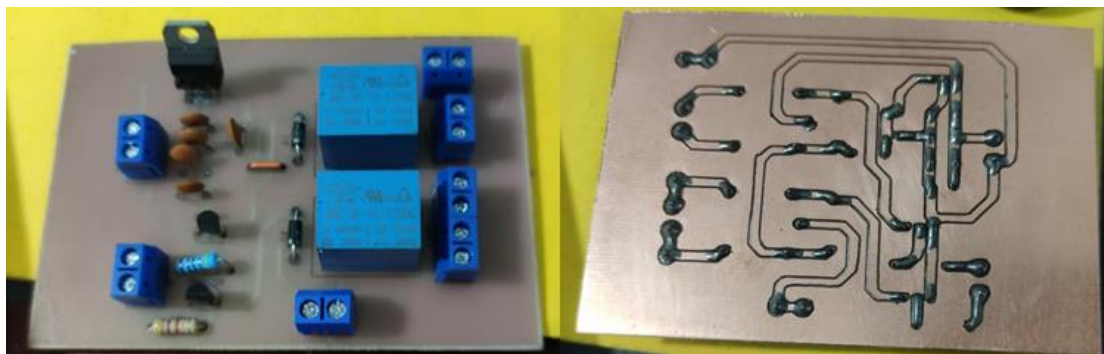


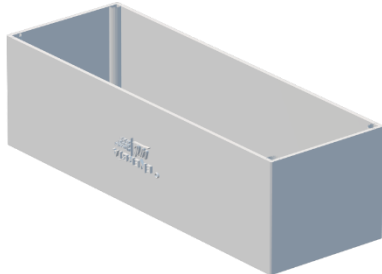
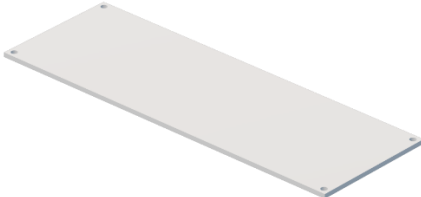
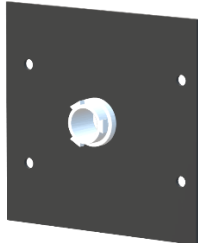
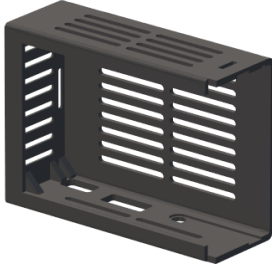
Figura 7.
Construcción del circuito de activación en PCB

6.3.3. Impresión de las estructuras

El procedimiento de impresión 3D, es una de las tecnologías contemporáneas de objetos tridimensionales a partir de la superposición de capas de un material. Este tipo de estructuras se designan a la contención de elementos y de bajo requerimiento de esfuerzo mecánico.

En la Tabla 10 se observa el listado de estructuras del prototipo impresas en 3D y sus características; la Figura 8 muestra el proceso de impresión.

Tabla 10.
Estructuras designadas a la impresión 3D

Nombre	Material	Dimensiones (cm)	Modelo
Estructura para el subsistema electrónico	PLA	12 x 8 x 35	
Tapa de la estructura del subsistema electrónica	PLA	12 x 0,2 x 35	
Estructura de acoplamiento para el filtro de aire	PLA	12 x 0,15 x 12,5 (boquilla 2cm) *	
Cubierta para dispositivo de control y pantalla de interacción	PLA	8,8 x 3 x 6	

Recopilado por: El autor. **Nota*:** Medida del diámetro de la boquilla de acoplamiento del filtro 2097.

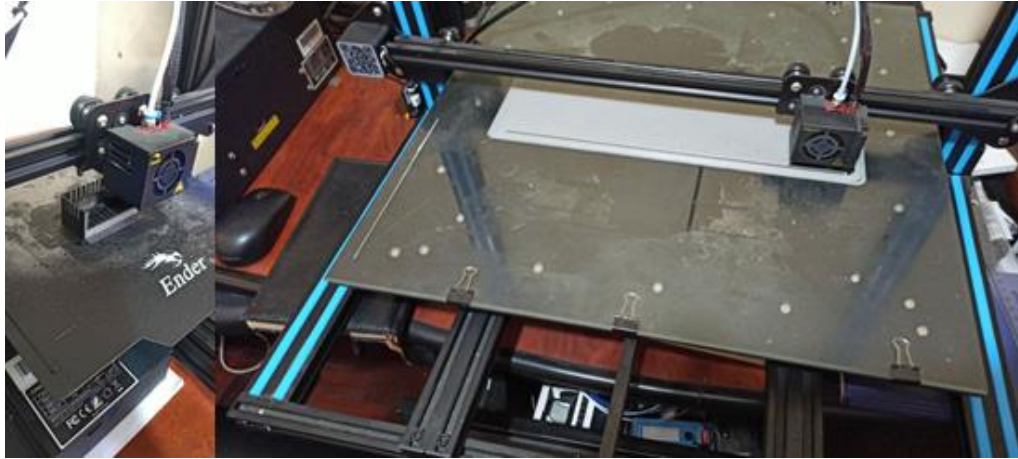


Figura 8.
Impresión de estructuras complementarias del prototipo

6.3.4. Ensamblaje de lámparas

Para la disposición de las lámparas en la base y en la cubierta del volumen de acero inoxidable se han realizado ciertas perforaciones paralelas para la ubicación de pernos de sujeción, accesibles desde el exterior de la estructura. Las lámparas se fijan a partir de la presión de su soporte con el perno respectivo. La orientación de las lámparas se realiza conforme a los cables de alimentación (Figura 9, Figura 10 y Figura 11), para mayor facilidad.

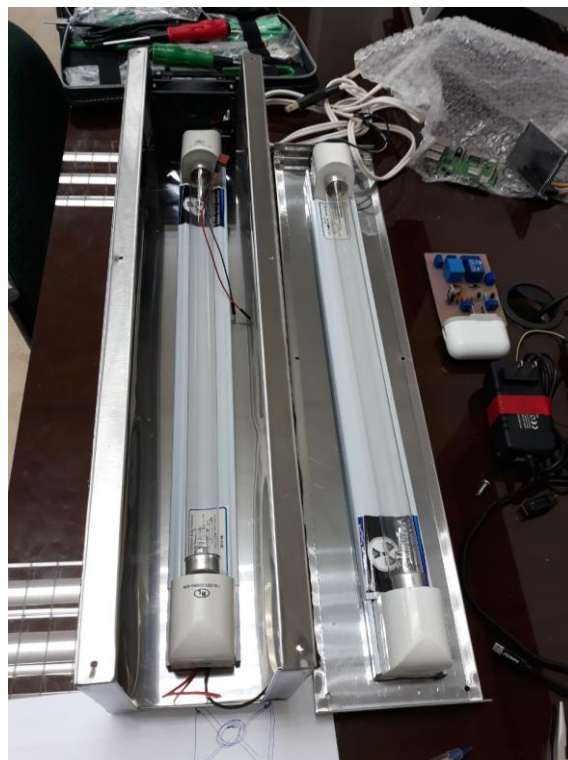


Figura 9.
Disposición de las lámparas en la base y cubierta



Figura 10.
Proceso de ensamblaje de las luminarias



Figura 11.
Vista externa de las lámparas ensambladas

6.3.5. Ensamblaje de ventilador

El ensamblaje del ventilador se dispone en un extremo del volumen, es importante que coincida con el extremo de conexión de las luminarias (Figura 12 y Figura 13). De acuerdo a las dimensiones del mismo, se realizaron perforaciones en el límite de las pestañas metálicas, para aprovechar los puntos de acoplamiento disponibles en el ventilador.



Figura 12.
Referencia para la conexión de elementos internos



Figura 13.
Ensamblaje final del ventilador

6.3.6. Ensamblaje del filtro de aire

De manera similar se disponen los orificios de ensamble para la estructura de acoplamiento del filtro de aire, aunque este se dispondrá de forma externa en el otro extremo del volumen metálico, como se muestra en la Figura 14.

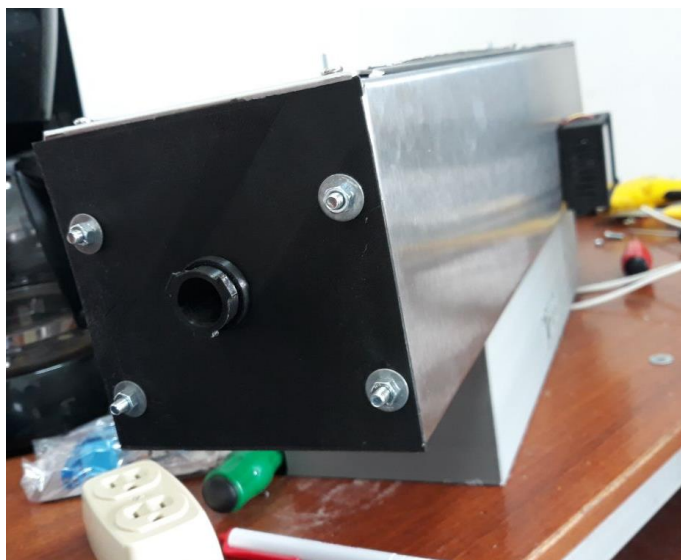


Figura 14.
Articulación de la estructura de acople del filtro de aire

La boquilla ubicada en el centro de la estructura permite el acople de un filtro de aire (2097), para la retención de impurezas y folículos de mayor tamaño.

6.3.7. Ensamblaje de Raspberry

El despliegue de la cubierta para la unidad de control se realizó de forma paralela, debido al cuidado adicional para asegurar la integridad de los pines de trabajo y la pantalla del sistema que se observan en la Figura 15.



Figura 15.
Unidad de control, Raspberry Pi 3 B+ con pantalla táctil

La Figura 16, añade una referencia visual del ensamblaje de la unidad de control y la pantalla de interacción, con su estructura de protección de PLA.



Figura 16.
Ensamblaje completo de la unidad de control

6.3.8. *Ensamblaje de elementos electrónicos*

En el volumen de contención secundario se ubicaron los diferentes componentes del subsistema electrónico, incluyendo la debida derivación del suministro eléctrico y la circuitería complementaria (Figura 17 y Figura 18).



Figura 17.
Acoplamiento de los elementos electrónicos en el volumen de PLA



Figura 18.
Vista final de la conexión electrónica

6.3.9. Acoplamiento de subsistemas

En complemento al despliegue y ubicación de cada elemento del prototipo, se efectuó el acoplamiento y conexión de subsistemas; el resultado final se observa en la Figura 19. En el Anexo 2, se añade la ficha técnica del prototipo implementado.



Figura 19.
Estructura final del prototipo de purificador de aire

6.4. Pruebas de desempeño

Con las dimensiones y características del prototipo definidas para su operación, se llevó a cabo una medición de la capacidad del mismo en términos de la dosis alcanzada en el tiempo de recorrido de los contaminantes en el aire para distintos puntos de recepción interna (esto se muestra en el Anexo 6). En la Tabla 11 se detallan los resultados de la medición.

Tabla 11.
Medición de intensidad de radiación dentro del dispositivo

Distancia aprox. del foco de radiación	Potencia UV [$\mu\text{W}/\text{cm}^2$]	Potencia en [mW/cm^2]	Referencia	Dosis UV aportada por recorrido [mJ/cm^2]
5,38 cm	8172,2	8,1722	Punto lejano	16,908
5,0 cm	8471,4	8,4714	Punto medio	17,527
1,25 cm	14103,0	14,103	Punto cercano	29,179

Recopilado por: El autor. **Nota*:** Resultados de intensidad de radiación medida y dosis calculada para un $t_{exp} \cong 2,07 \text{ s}$.

La Figura 20, muestra el ambiente inicial para la medición de valores del dispositivo, además de los equipos de medición señalados en el Anexo 5.



Figura 20.
Ambiente de pruebas, con equipos de medición

Adicionalmente, se realizó un testeo de los valores de radiación y concentración de ozono obtenidos en la parte externa con el dispositivo en operación, con el fin de corroborar la seguridad de aplicación del mismo. Aquí, se evidenciaron valores nulos en todos los puntos de medición a excepción de la parte lateral (ventilador), donde se registró ciertos niveles de radiación cercanos a los $20 \mu\text{W}/\text{cm}^2$, a una distancia aproximada de 5 cm, y con lecturas de alrededor de $0 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ a 50 cm aproximadamente.

Finalmente, con base a los datos obtenidos a lo largo de la implementación, se definieron las características de ejecución para el dispositivo. En la Tabla 12 se presenta una estimación de desempeño del prototipo en base a los parámetros de aplicación y las características de los elementos dispuestos en el modo automático.

Tabla 12.
Detalles de operación del prototipo en modo automático (6 horas)

Duración del periodo de operación	Ciclos de aplicación	Potencia UV media [$\mu\text{W}/\text{cm}^2$]	Volumen de aire purificado por periodo	Volumen de aire purificado por operación
30 min	8		7,59 m ³	60,72 m ³
45 min	6	9940,32	11,39 m ³	68,31 m ³
60 min	5		15,18 m ³	75,90 m ³

Adoptado por: El autor

7. Discusión

El presente trabajo de titulación se desarrolló para aumentar el conocimiento acerca de los procedimientos involucrados en la operación de los dispositivos de purificación de aire mediante tecnología ultravioleta enfocado en la inactivación del SARS-CoV-2, por ello, se planteó el diseño y la implementación de un prototipo de purificador de aire mediante un control digital y de fácil utilización.

El respectivo análisis de la literatura permitió la identificación de los parámetros involucrados en el diseño de los mecanismos correspondiente a las operaciones de un purificador de aire; las variables base para la ejecución del proyecto pueden ser el tiempo de aplicación de la radiación, el caudal de aire intervenido, los valores mínimos a alcanzar y la factibilidad de ciertas soluciones en relación con el tipo de ambiente planteado.

Tras el establecimiento del modelo de operación del sistema, se llevó a cabo el diseño estructural del prototipo, mediante la delimitación de los espacios destinados a desinfección, control y contención de los componentes de alimentación y activación, brindando mayor fluidez para la definición de subsistemas.

Se realizó un diseño electrónico externo, basado en relés y transistores, para la adaptación del controlador a los valores de alimentación de los elementos de desinfección (lámparas y ventilador). El programa de simulación utilizado fue CircuitLab, debido a que ofrece una gran variedad de componentes para el despliegue de circuitos y permite la verificación de valores de voltaje y corriente de forma dinámica. La importancia del circuito radica en la variedad de voltajes de operación de los componentes del sistema, por lo que debía existir un mecanismo de acoplamiento para un desempeño óptimo y ordenado.

Se decidió emplear acero inoxidable para el volumen principal, puesto que ofrece una gran resistencia a daños provocados en la manipulación del mismo, así como para la fijación de otros componentes en su interior. Adicionalmente, la superficie reflectiva del acero inoxidable permite la concentración de las emisiones dentro del volumen.

Al establecer las propiedades y dimensiones físicas del prototipo se dio paso al cálculo de los parámetros necesarios para el cumplimiento de la dosis UV inducida necesaria para la eliminación del SARS-CoV-2.

De igual manera, tras el análisis de las necesidades surgidas en los demás subsistemas, se optó por el diseño de las estructuras de contención de los mismos mediante plataformas de modelado 3D y su posterior impresión con material PLA. Se prefirió trabajar con impresión 3D

para la obtención de piezas acordes a las necesidades del modelo y permite la agilización del proceso de construcción.

En tanto de la unidad de control del sistema, con el fin de entregar un despliegue óptimo de los procesos y la compatibilidad con una pantalla de interacción táctil para beneficio del usuario, se eligió una tarjeta SBC de Raspberry Pi modelo 3 B+; además de ofrecer varias opciones de desarrollo para la interfaz gráfica de usuario, en la que se escogió el lenguaje de programación Python.

Las pruebas realizadas permitieron verificar el despliegue de un nivel de inactivación pertinente para el SARS-CoV-2 a partir de los parámetros de aplicación en aerosoles. En adición, la adaptación del filtro de aire ofrece un respaldo del dispositivo ante folículos de mayor tamaño. Un punto adicional, es que se corroboró la operabilidad del dispositivo en ambientes de interacción humana, dados los valores nulos de potencia UV externos a una distancia prudente y las normas de seguridad establecidas.

Definiendo las características de ejecución del prototipo desarrollado, se puede destacar la capacidad de despliegue en ambientes ocupados, además del despliegue de medios modernos de interacción para el usuario. En el mercado local se encuentran algunas opciones de despliegue de sistemas de desinfección de aire con luz ultravioleta, aunque con cierta limitación por la exposición a la radiación y la generación de ozono.

Los sistemas comerciales ofrecen un nivel de dosis mayor y permiten el acoplamiento con sistemas de ventilación ya existentes. En comparación, el prototipo construido ofrece un margen de error limitado ante la dispersión de partículas en el aire.

8. Conclusiones

- En este trabajo de titulación se diseñó e implementó un sistema de purificación de aire a través de la aplicación de radiación UV-C en un flujo de aire controlado para ambientes cerrados.
- Mediante la revisión bibliográfica se logró identificar y establecer los factores principales para el diseño y construcción de un dispositivo purificador de aire con tecnología ultravioleta, para la determinación de los ejes de desarrollo del prototipo. Se definió:
 - Volumen de trabajo
 - Modos de operación
 - Tiempos de activación
 - Dimensionamiento de estructuras
 - Material de construcción
- El análisis del despliegue, la estructura y la disposición de los recursos tecnológicos de diversos sistemas antes desarrollados, permitió definir el esquema general de operación y las bases de desarrollo para los subsistemas abarcados; respecto al software se contemplaron los requerimientos de interacción con el usuario y las propiedades de desempeño dinámico para el desarrollo lógico del sistema automatizado.
- El cálculo de los parámetros del prototipo permitió establecer las dimensiones físicas y la capacidad de flujo para la elección de los componentes del sistema. La medición del valor de radiación demostró que el sistema es apto para alcanzar la dosis UV de inactivación para el SARS-CoV-2 en aerosoles presentes en el aire.
- El mecanismo lógico de administración programado en Python integró la flexibilidad de los sistemas digitales y la facilidad de manejo de los dispositivos táctiles para obtener un medio intuitivo de interacción y de fácil despliegue, basado en las facultades ofrecidas por el sistema Raspberry Pi.
- El prototipo se estructuró a partir de cuatro subsistemas delimitados de acuerdo a las funciones que cada uno desempeña, lo que permitió una segmentación de las tareas, una interconexión efectiva y un rápido ensamblaje; además de procurar un mantenimiento ágil.
- El proceso de medición de radiación y dosis alcanzada en la operación del prototipo arrojó valores acordes al umbral de inactivación para el SARS-CoV-2 señalados en la literatura, lo cual minimiza la probabilidad de contagio en ambientes de poca ventilación y de intervención directa de personas.

9. Recomendaciones

- Utilizar fuentes de investigación confiables, como revistas científicas de prestigio o artículos con acreditación en la comunidad científica, a fin de que el proyecto se base en información fehaciente y verídica.
- Identificar las propiedades de los dispositivos de mayor relación con el mecanismo de operación planteado, destacando los puntos fuertes y sus deficiencias, de forma que brinden una guía de diseño para el prototipo.
- Definir las variables de aplicación fundamentales para la derivación de los demás factores relacionados al diseño del prototipo para evitar futuras complicaciones que conlleven modificaciones y retrasos.
- Catalogar las acciones y funcionalidades requeridas para el usuario de acuerdo a las características que ofrece el sistema embebido empleado, con la intención de orientar el diseño de la interfaz gráfica en función de los recursos disponibles.
- Estratificar el prototipo en secciones o subsistemas de acuerdo a la funcionalidad o capacidad de los elementos de cada dependencia, de tal forma que facilite el diseño y construcción de cada uno, además de agilizar el proceso de pruebas individuales y la corrección de errores.
- Explorar la posibilidad de realizar pruebas de laboratorio especializadas, a partir de muestras del virus y otros patógenos, para una obtener una mejor cuantificación del desempeño y la efectividad del prototipo.
- Asociar medios de monitoreo y administración remota para facilitar el uso al usuario y orientar el prototipo a modelos de tecnología modernos como IoT, etc.
- Orientar el despliegue del prototipo en entornos afines a su planteamiento, es decir, ambientes de poca ventilación, seguros y de un volumen moderado. Para la purificación en grandes espacios, se recomienda el uso de varias unidades para un procedimiento eficiente y con un tiempo total de ejecución corto.

10. Referencias Bibliográficas

- Antonio-Gutiérrez, O. T., Palou, E., & López-Malo, A. (2012). Equipos para Tratamientos de Alimentos con Radiación UVC. *Temas Selectos de Ingeniería*, 6(2), 149–159.
<https://aprenderly.com/doc/3159899/equipos-para-tratamientos-de-alimentos-con-radiación-uvc>
- ASHRAE. (2020). Ultraviolet Lamp Systems. En H. E. Kennedy & M. S. Owen (Eds.), *ASHRAE Handbook - HVAC System and Equipment* (pp. 1–10).
- ASHRAE. (2021). Ashrae Epidemic Task Force. Healthcare. *ASHRAE*, 2021.
https://www.ashrae.org/file-library/technical-resources/covid-19/ashrae-filtration_disinfection-c19-guidance.pdf
- Beggs, C. B., & Avital, E. J. (2020). Upper-room ultraviolet air disinfection might help to reduce COVID-19 transmission in buildings: a feasibility study. *PeerJ*, 8, 1–18.
<https://doi.org/10.7717/PEERJ.10196>
- Bergman, R. S. (2021). Germicidal UV Sources and Systems †. *Photochemistry and Photobiology*, 97(3), 466–470. <https://doi.org/10.1111/php.13387>
- Biasin, M., Bianco, A., Pareschi, G., Cavalleri, A., Cavatorta, C., Fenizia, C., Galli, P., Lessio, L., Lualdi, M., Tombetti, E., Ambrosi, A., Redaelli, E. M. A., Saulle, I., Trabattoni, D., Zanutta, A., & Clerici, M. (2021). UV-C irradiation is highly effective in inactivating SARS-CoV-2 replication. *Scientific Reports*, 11(1), 1–7.
<https://doi.org/10.1038/s41598-021-85425-w>
- Bintsis, T., Litopoulou-Tzanetaki, E., & Robinson, R. K. (2000). Existing and potential applications of ultraviolet light in the food industry - a critical review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80(6), 637–645. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0010\(20000501\)80:6<637::AID-JSFA603>3.0.CO;2-1](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0010(20000501)80:6<637::AID-JSFA603>3.0.CO;2-1)
- Bohórquez-Ballén, J., & Pérez Mogollón, J. F. (2007). Radiación ultravioleta. *Ciencia & Tecnología para la Salud Visual y Ocular*, 9, 97–102. <https://doi.org/10.19052/sv.1520>
- Bono, N., Ponti, F., Punta, C., & Candiani, G. (2021). Effect of UV Irradiation and TiO₂-Photocatalysis on Airborne Bacteria and Viruses: An Overview. *Materials*, 14(5), 1075.
<https://doi.org/10.3390/ma14051075>
- Briones Cando, N. A., Zambrano Torres, M., Febres Calderón, F., & Cuenca León, K. (2020). Luz ultravioleta para desinfección en áreas de salud, frente al covid-19. revisión de literatura. *Odontología Activa Revista Científica*, 5(3), 111–118.
<https://doi.org/10.31984/oactiva.v5i3.501>

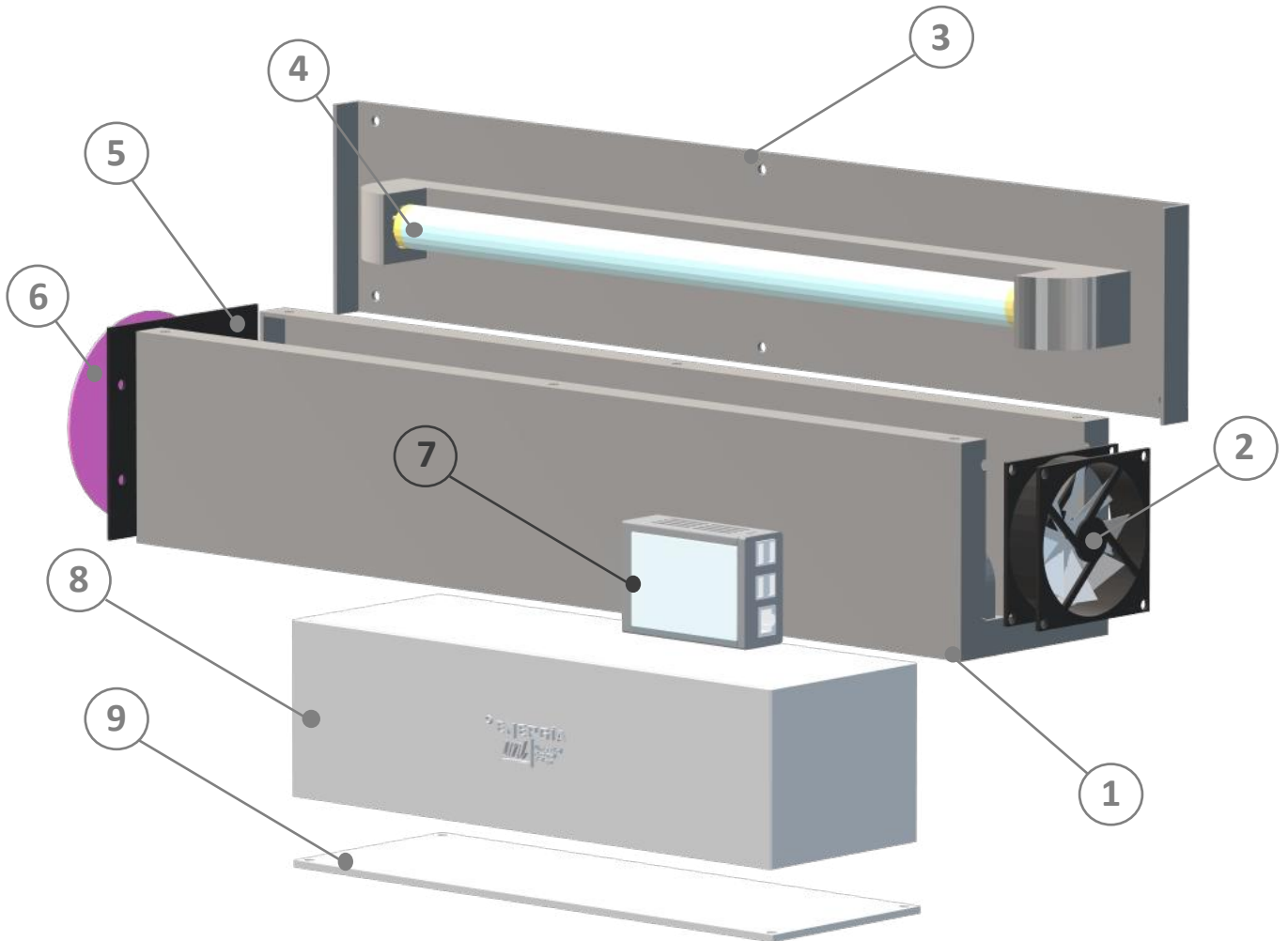
- Buonanno, M., Ponnaiya, B., Welch, D., Stanislauskas, M., Randers-Pehrson, G., Smilenov, L., Lowy, F. D., Owens, D. M., & Brenner, D. J. (2017). Germicidal Efficacy and Mammalian Skin Safety of 222-nm UV Light. *Radiation research*, *187*(4), 493–500. <https://doi.org/10.1667/RR0010CC.1>
- Buonanno, M., Randers-Pehrson, G., Bigelow, A. W., Trivedi, S., Lowy, F. D., Spotnitz, H. M., Hammer, S. M., & Brenner, D. J. (2013). 207-nm UV light - a promising tool for safe low-cost reduction of surgical site infections. I: in vitro studies. *PloS one*, *8*(10), 1–6. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0076968>
- Claus, H. (2021). Ozone Generation by Ultraviolet Lamps †. *Photochemistry and Photobiology*, *97*(3), 471–476. <https://doi.org/10.1111/php.13391>
- ClorDiSys. (2020). Ultraviolet Light Disinfection Data Sheet. *ClorDiSys Application Note*, *12*, 4–10. www.clordisys.com
- Darnell, M. E. R., Subbarao, K., Feinstone, S. M., & Taylor, D. R. (2004). Inactivation of the coronavirus that induces severe acute respiratory syndrome, SARS-CoV. *Journal of Virological Methods*, *121*(1), 85–91. <https://doi.org/10.1016/J.JVIROMET.2004.06.006>
- Drossinos, Y., Weber, T. P., & Stilianakis, N. I. (2021). Droplets and aerosols: An artificial dichotomy in respiratory virus transmission. *Health Science Reports*, *4*(2), 1–7. <https://doi.org/10.1002/hsr2.275>
- Gheraout, D., & Elboughdiri, N. (2020). Urgent Proposals for Disinfecting Hospital Wastewaters during COVID-19 Pandemic. *OALib*, *07*(05), 1–18. <https://doi.org/10.4236/oalib.1106373>
- Guevara Patiño, R. (2016). El estado del arte en la investigación: ¿análisis de los conocimientos acumulados o indagación por nuevos sentidos? *Folios*, *44*, 165–179. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=345945922011>
- Harrison, A. G., Lin, T., & Wang, P. (2020). Mechanisms of SARS-CoV-2 Transmission and Pathogenesis. *Trends in Immunology*, *41*(12), 1100–1115. <https://doi.org/10.1016/j.it.2020.10.004>
- NTE INEN 2348:2013, Pub. L. No. SG 02.04-401, Seguridad. Respiradores de Protección Contra Partículas Suspendidas en el Aire 2 (2013). <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/2348-1.pdf>
- Jazie, A. A., Albaaji, A. J., & Abed, S. A. (2021). A review on recent trends of antiviral nanoparticles and airborne filters: special insight on COVID-19 virus. *Air Quality, Atmosphere & Health*, *14*(11), 1811–1824. <https://doi.org/10.1007/s11869-021-01055-1>
- Kowalski, W. (2009). Ultraviolet Germicidal Irradiation Handbook. En *Ultraviolet*

- Germicidal Irradiation Handbook* (1a ed.). Springer Berlin Heidelberg.
<https://doi.org/10.1007/978-3-642-01999-9>
- Kowalski, W., Walsh, T., & Petraitis, V. (2020). COVID-19 Coronavirus Ultraviolet Susceptibility. *ResearchGate*, 1–4. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.22803.22566>
- Lopera Echavarría, J. D., Ramírez Gómez, C. A., Zuluaga Aristizábal, M. U., & Ortiz Vanegas, J. (2010). El Método Analítico Como Método Natural. *Nómadas*, 25(1), 327–353. <https://www.mendeley.com/catalogue/f47f3cdb-a86c-3a37-8455-87775768a245/>
- Lu, R., Zhao, X., Li, J., Niu, P., Yang, B., Wu, H., Wang, W., Song, H., Huang, B., Zhu, N., Bi, Y., Ma, X., Zhan, F., Wang, L., Hu, T., Zhou, H., Hu, Z., Zhou, W., Zhao, L., ... Tan, W. (2020). Genomic characterisation and epidemiology of 2019 novel coronavirus: implications for virus origins and receptor binding. *Lancet*, 395(10224), 565–574. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)30251-8](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)30251-8)
- Luo, H., & Zhong, L. (2021). Ultraviolet germicidal irradiation (UVGI) for in-duct airborne bioaerosol disinfection: Review and analysis of design factors. *Building and Environment*, 197, 1–14. <https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2021.107852>
- Lyons, A. B., Narla, S., Torres, A. E., Parks-Miller, A., Kohli, I., Ozog, D. M., Lim, H. W., & Hamzavi, I. H. (2021). Skin and eye protection against ultraviolet C from ultraviolet germicidal irradiation devices during the COVID-19 pandemic. *International Journal of Dermatology*, 60(4), 391–393. <https://doi.org/10.1111/ijd.15255>
- Mills, D., Harnish, D. A., Lawrence, C., Sandoval-Powers, M., & Heimbuch, B. K. (2018). Ultraviolet germicidal irradiation of influenza-contaminated N95 filtering facepiece respirators. *American Journal of Infection Control*, 46(7), 49–55. <https://doi.org/10.1016/J.AJIC.2018.02.018>
- Pascarella, G., Strumia, A., Piliago, C., Bruno, F., Del Buono, R., Costa, F., Scarlata, S., & Agrò, F. E. (2020). COVID-19 diagnosis and management: a comprehensive review. *Journal of Internal Medicine*, 288(2), 192–206. <https://doi.org/10.1111/JOIM.13091>
- Pavia, M., Simpser, E., Becker, M., Mainquist, W. K., & Velez, K. A. (2018). The effect of ultraviolet-C technology on viral infection incidence in a pediatric long-term care facility. *American Journal of Infection Control*, 46(6), 720–722. <https://doi.org/10.1016/J.AJIC.2018.01.014>
- Qian, H., Miao, T., Liu, L., Zheng, X., Luo, D., & Li, Y. (2021). Indoor transmission of SARS-CoV-2. *Indoor Air*, 31(3), 639–645. <https://doi.org/10.1111/ina.12766>
- Raspberry Pi Foundation. (2021). *Raspberry Pi Documentation - Configuration*. Raspberry Pi Documentation. <https://www.raspberrypi.com/documentation/computers/>

- Reed, N. G. (2010). The History of Ultraviolet Germicidal Irradiation for Air Disinfection. *Public Health Reports*, 125(1), 27. <https://doi.org/10.1177/003335491012500105>
- van Doremalen, N., Bushmaker, T., Morris, D. H., Holbrook, M. G., Gamble, A., Williamson, B. N., Tamin, A., Harcourt, J. L., Thornburg, N. J., Gerber, S. I., Lloyd-Smith, J. O., de Wit, E., & Munster, V. J. (2020). Aerosol and Surface Stability of SARS-CoV-2 as Compared with SARS-CoV-1. *New England Journal of Medicine*, 382(16), 1564–1567. <https://doi.org/10.1056/NEJMc2004973>
- Varga, L., & Szigeti, J. (2016). Use of ozone in the dairy industry: A review. *International Journal of Dairy Technology*, 69(2), 157–168. <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12302>
- WHO. (2021). *Weekly epidemiological update on COVID-19 - 16 November 2021*. <https://www.who.int/publications/m/item/weekly-epidemiological-update-on-covid-19---16-november-2021>
- Zapata, A. F., & Moreno, S. M. (2020). El uso de la luz ultravioleta para controlar la transmisión del virus SARS-CoV-2 en medios hospitalarios. *Salutem Scientia Spiritus*, 6(1), 107–115.
- Zhu, N., Zhang, D., Wang, W., Li, X., Yang, B., Song, J., Zhao, X., Huang, B., Shi, W., Lu, R., Niu, P., Zhan, F., Ma, X., Wang, D., Xu, W., Wu, G., Gao, G. F., & Tan, W. (2020). A Novel Coronavirus from Patients with Pneumonia in China, 2019. *New England Journal of Medicine*, 382(8), 727–733. https://doi.org/10.1056/NEJMOA2001017/SUPPL_FILE/NEJMOA2001017_DISCLOSURES.PDF

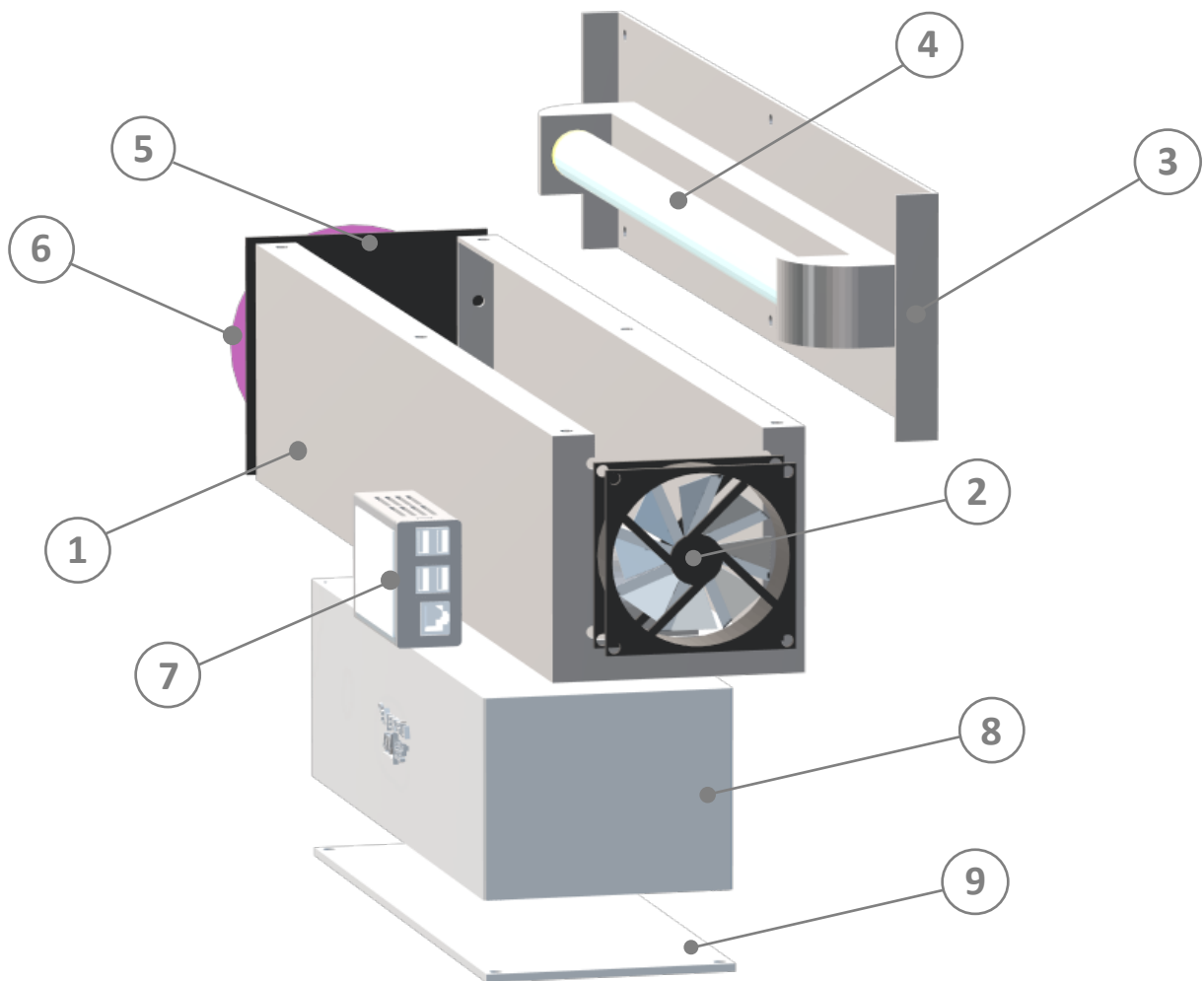
11. Anexos

Anexo 1: Planos del prototipo



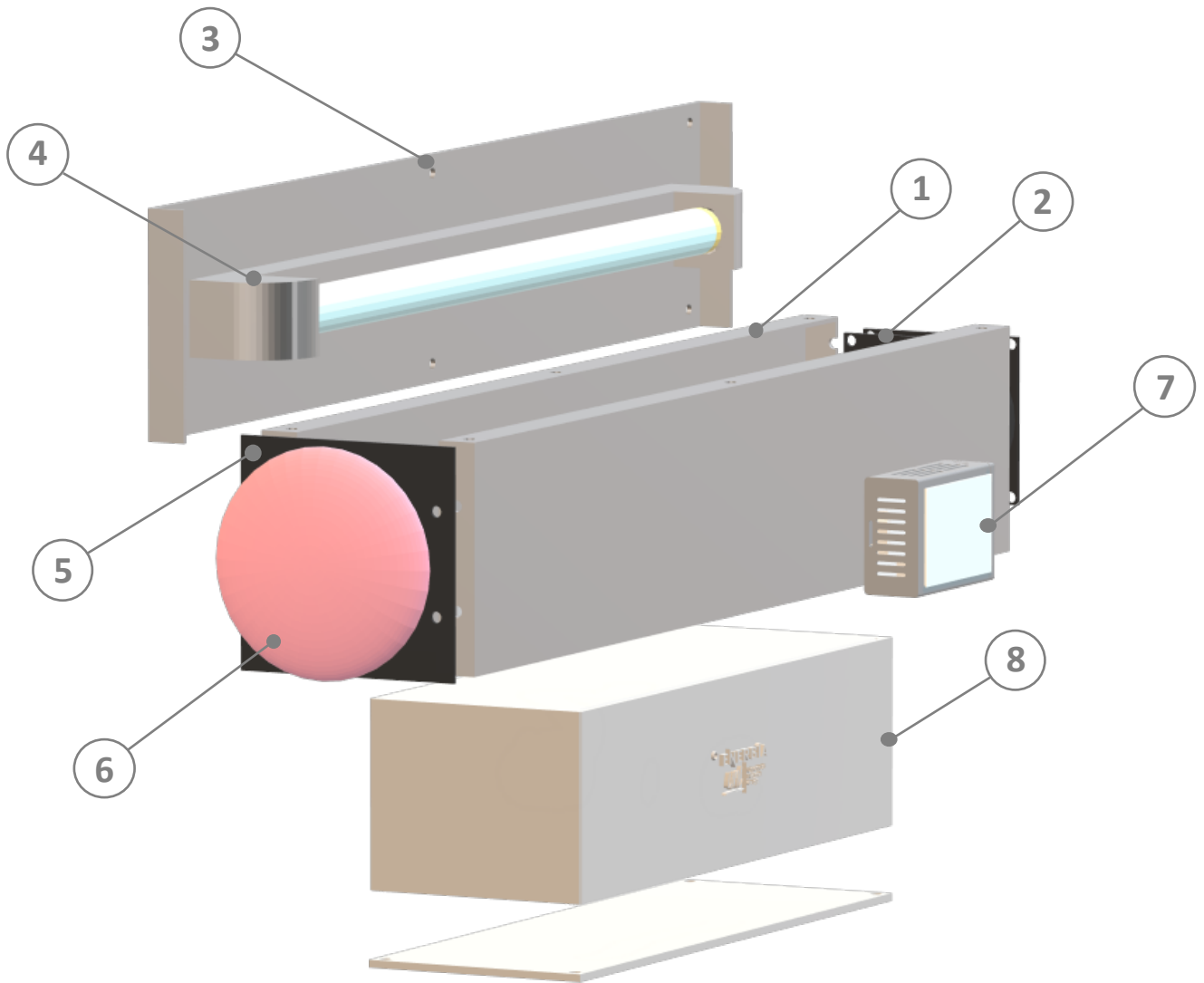
Nº DE ELEMENTO	NOMBRE DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	DIMENSIONES (cm) (Ancho x Alto x Largo)
1	Estructura principal	Volumen de desinfección	1	12 x 12 x 60
2	Ventilador	PWM	1	9 x 9 x 2.5
3	Tapa de la estructura principal	Volumen de Desinfección	1	12 x 0,15 x 60
4	Fuente UV-C	T8 - 15W	2	5,5 x 5 x 55
5	Estructura de acople	Soporte del filtro	1	12 x 0,15 x 12,5
6	Filtro de aire	2097 (P100)	1	$\phi = 6$
7	Cubierta de unidad de control	Raspberry Pi + Pantalla táctil	1	6 x 3 x 8
8	Estructura secundaria	Contención Electrónica	1	12 x 8 x 35
9	Tapa de la estructura secundaria	Contención Electrónica	1	12 x 0,2 x 35

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA	
ESTUDIANTE: BRANDON PAÚL NARVÁEZ CEVALLOS	TÍTULO: DISEÑO DE PROTOTIPO DE PURIFICADOR DE AIRE PARA INTERIORES COMO MEDIDA DE PREVENCIÓN ANTE LA PROPAGACIÓN DEL SARS-CoV-2
MATERIAL: Varios	
Nº:	1 DE 7



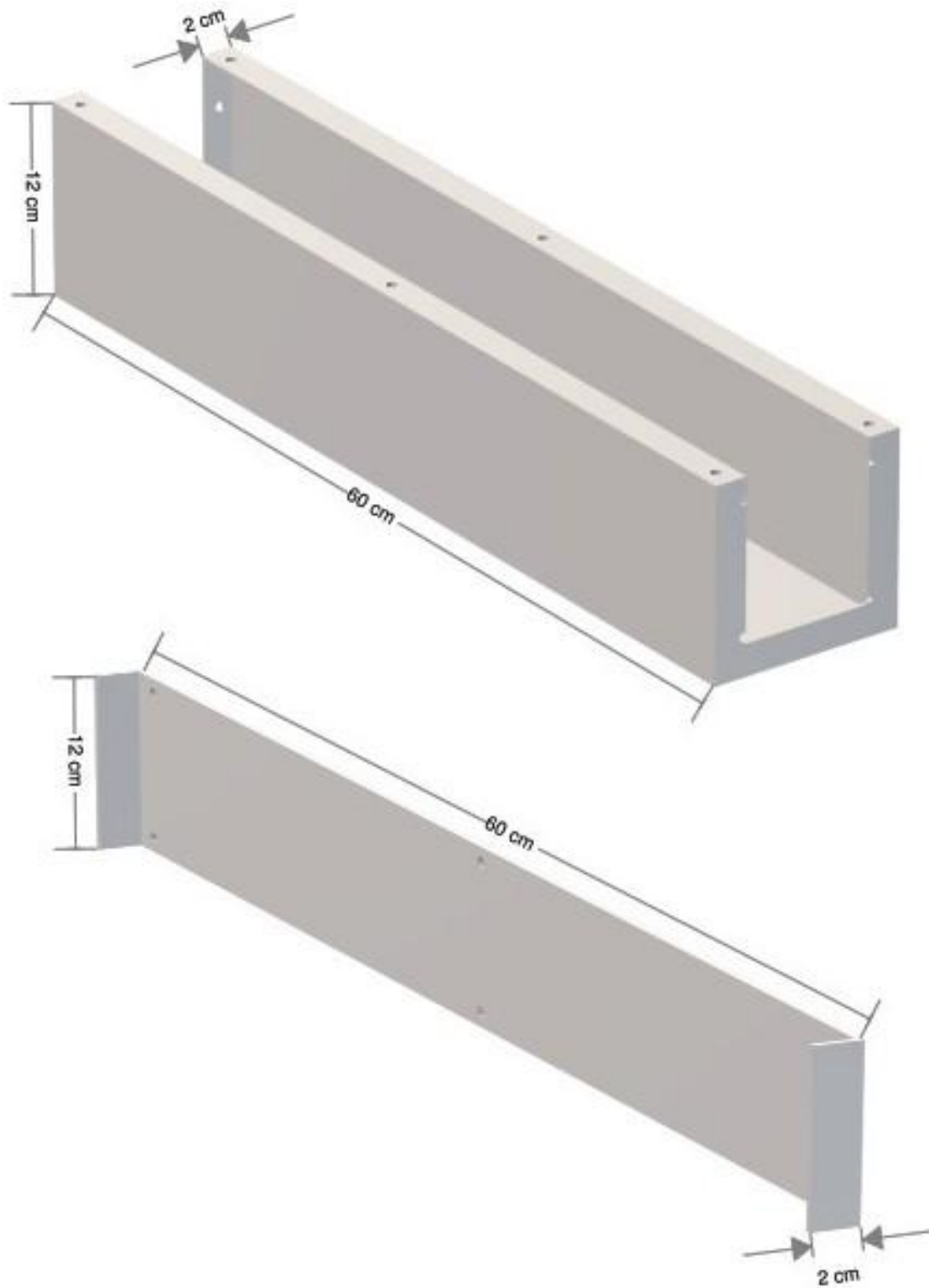
N° DE ELEMENTO	NOMBRE DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	DIMENSIONES (cm) (Ancho x Alto x Largo)
1	Estructura principal	Volumen de desinfección	1	12 x 12 x 60
2	Ventilador	PWM	1	9 x 9 x 2.5
3	Tapa de la estructura principal	Volumen de Desinfección	1	12 x 0,15 x 60
4	Fuente UV-C	T8 - 15W	2	5,5 x 5 x 55
5	Estructura de acople	Soporte del filtro	1	12 x 0,15 x 12,5
6	Filtro de aire	2097 (P100)	1	$\phi = 6$
7	Cubierta de unidad de control	Raspberry Pi + Pantalla táctil	1	6 x 3 x 8
8	Estructura secundaria	Contención Electrónica	1	12 x 8 x 35
9	Tapa de la estructura secundaria	Contención Electrónica	1	12 x 0,2 x 35

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA	
ESTUDIANTE: BRANDON PAÚL NARVÁEZ CEVALLOS	TÍTULO: DISEÑO DE PROTOTIPO DE PURIFICADOR DE AIRE PARA INTERIORES COMO MEDIDA DE PREVENCIÓN ANTE LA PROPAGACIÓN DEL SARS-CoV-2
MATERIAL: Varios	
N°:	2 DE 7

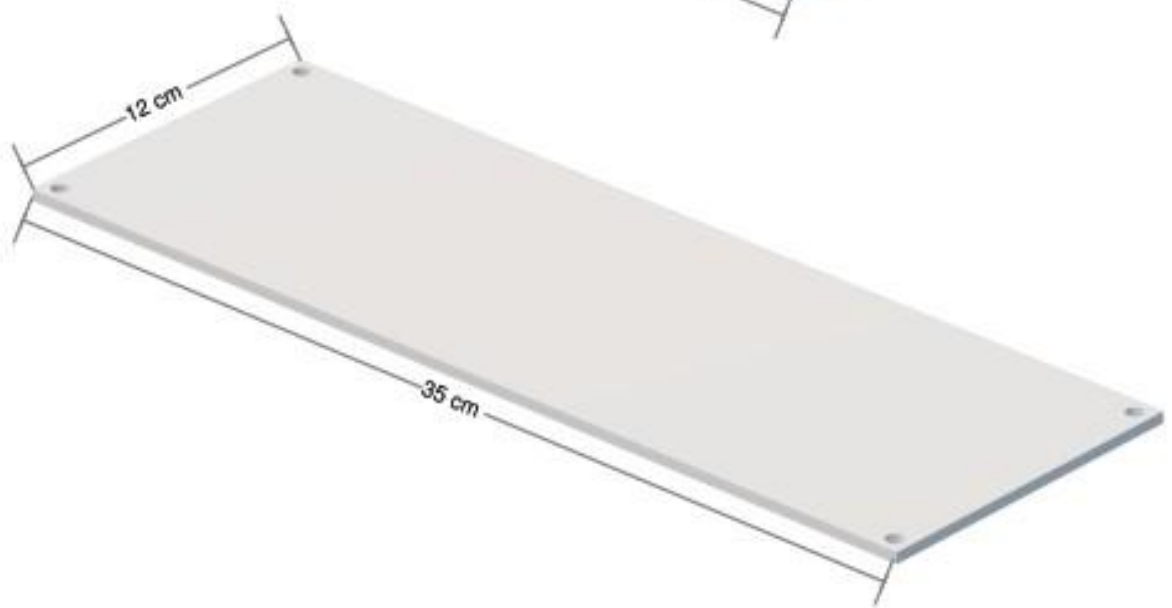
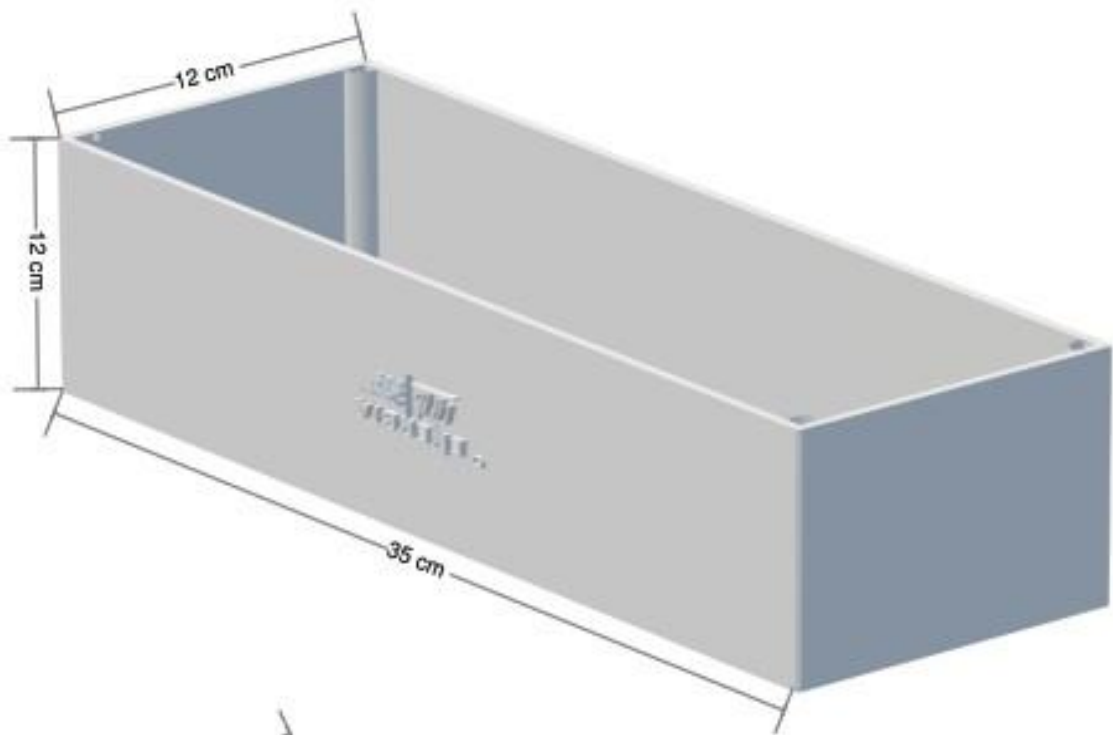


N° DE ELEMENTO	NOMBRE DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	DIMENSIONES (cm) (Ancho x Alto x Largo)
1	Estructura principal	Volumen de desinfección	1	12 x 12 x 60
2	Ventilador	PWM	1	9 x 9 x 2,5
3	Tapa de la estructura principal	Volumen de Desinfección	1	12 x 0,15 x 60
4	Fuente UV-C	T8 - 15W	2	5,5 x 5 x 55
5	Estructura de acople	Soporte del filtro	1	12 x 0,15 x 12,5
6	Filtro de aire	2097 (P100)	1	$\phi = 6$
7	Cubierta de unidad de control	Raspberry Pi + Pantalla táctil	1	6 x 3 x 8
8	Estructura secundaria	Contención Electrónica	1	12 x 8 x 35
9	Tapa de la estructura secundaria	Contención Electrónica	1	12 x 0,2 x 35

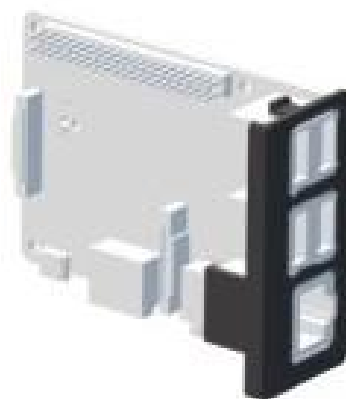
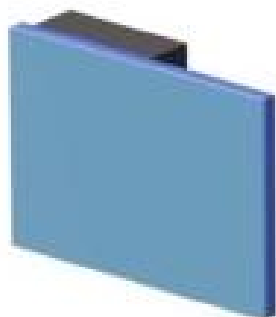
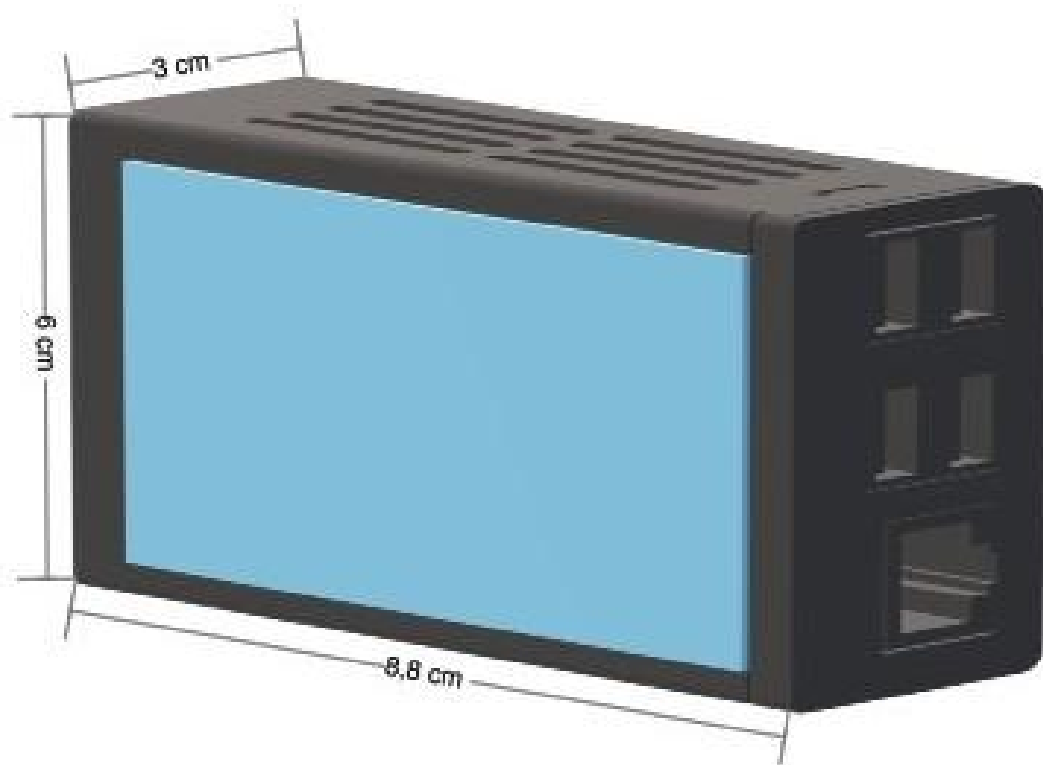
UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA		
ESTUDIANTE:	TÍTULO:	
BRANDON PAÚL NARVÁEZ CEVALLOS	DISEÑO DE PROTOTIPO DE PURIFICADOR DE AIRE PARA INTERIORES COMO MEDIDA DE PREVENCIÓN ANTE LA PROPAGACIÓN DEL SARS-CoV-2	
MATERIAL:		
Varios	N°:	3 DE 7



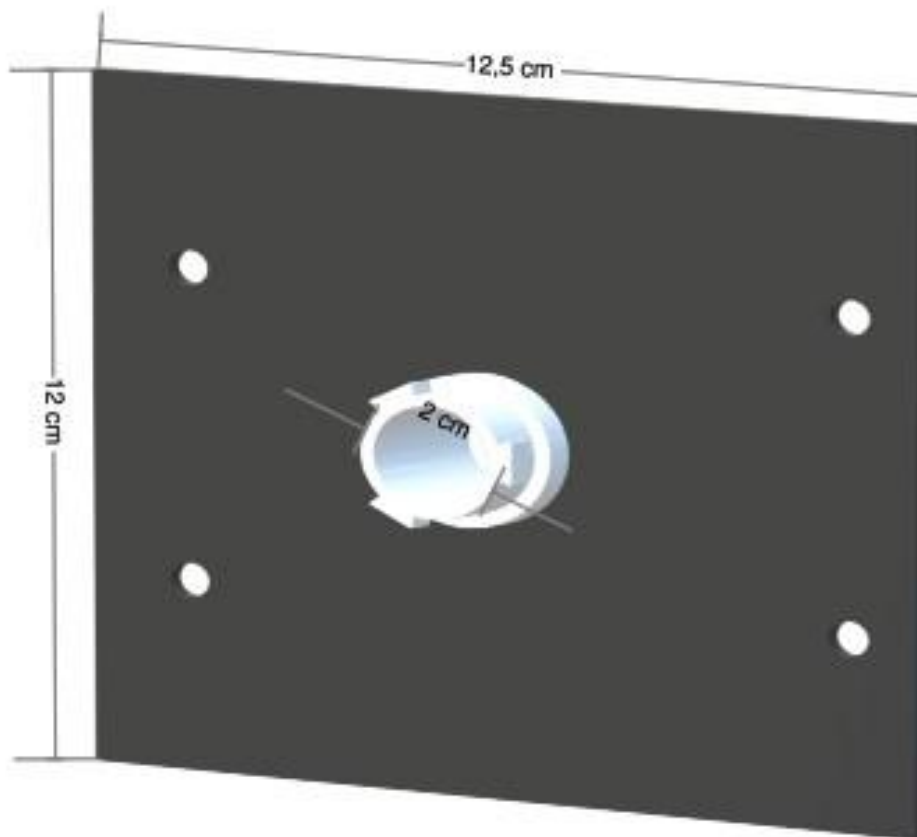
UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA		
ESTUDIANTE:	TÍTULO:	
BRANDON PAÚL NARVÁEZ CEVALLOS	DISEÑO DE PROTOTIPO DE PURIFICADOR DE AIRE PARA INTERIORES COMO MEDIDA DE PREVENCIÓN ANTE LA PROPAGACIÓN DEL SARS-CoV-2	
MATERIAL:		
ACERO INOXIDABLE	N°:	4 DE 7



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA		
ESTUDIANTE:	TÍTULO:	
BRANDON PAÚL NARVÁEZ CEVALLOS	DISEÑO DE PROTOTIPO DE PURIFICADOR DE AIRE PARA INTERIORES COMO MEDIDA DE PREVENCIÓN ANTE LA PROPAGACIÓN DEL SARS-CoV-2	
MATERIAL:		
PLA	Nº:	5 DE 7



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA		
ESTUDIANTE: BRANDON PAÚL NARVÁEZ CEVALLOS	TÍTULO: DISEÑO DE PROTOTIPO DE PURIFICADOR DE AIRE PARA INTERIORES COMO MEDIDA DE PREVENCIÓN ANTE LA PROPAGACIÓN DEL SARS-CoV-2	
MATERIAL: PLA		
	N°:	6 DE 7



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA		
ESTUDIANTE:	TÍTULO:	
BRANDON PAÚL NARVÁEZ CEVALLOS	DISEÑO DE PROTOTIPO DE PURIFICADOR DE AIRE PARA INTERIORES COMO MEDIDA DE PREVENCIÓN ANTE LA PROPAGACIÓN DEL SARS-CoV-2	
MATERIAL:		
PLA	N°:	7 DE 7

Anexo 2: Ficha técnica del purificador de aire

Ficha Técnica

EQUIPO PURIFICADOR DE AIRE BASADO EN RADIACIÓN ULTRAVIOLETA

El equipo purificador es un dispositivo diseñado y construido para interiores, como ambientes domésticos, académicos, y otros que, generalmente, presentan de ventilación reducida y un flujo regular de personas para aportar en la desinfección del aire y reducir la probabilidad de contagio por la concentración de aerosoles o fómites presentes.



Su funcionamiento se basa en la exposición de partículas (contaminadas) a la radiación UV-C generada mediante las lámparas LMP. El dispositivo es capaz de inactivar el SARS-CoV-2 y demás microorganismos como virus, bacterias y hongos, dentro del rango ofrecido por la dosis entregada.

En la tabla 1 se presenta la información general obtenida mediante ensayos de laboratorio de acuerdo a la capacidad de desinfección del dispositivo UV-C durante la ejecución del modo de desinfección automática.

Tabla 1.-

Detalles de operación del dispositivo en modo automático (6 horas)

Duración del periodo de operación	Ciclos de aplicación	Potencia UV media [$\mu\text{W}/\text{cm}^2$]	Volumen de aire desinfectado por periodo	Volumen de aire desinfectado por operación
30 min	8	9940,32	7,59 m ³	60,72 m ³
45 min	6		11,39 m ³	68,31 m ³
60 min	5		15,18 m ³	75,90 m ³

En la tabla 2 se presentan las características de distribución de la radiación ultravioleta dentro del dispositivo, además, se describe las dosis de radiación alcanzadas en distintos



The image shows a digital interface window titled "INFORMACIÓN" in large, bold, orange letters. Below the title, there are three input fields: "T. Periodo:" with an empty white box, "Periodo Actual:" with an empty white box, and "H/Lámparas:" with a white box containing the text "1 hrs". At the bottom of the window is a wide orange button labeled "VOLVER" in white text. In the bottom right corner, there is a logo for "CIEYT" featuring a stylized blue and orange graphic.

Figura 3.- Ventana de información de operación y contador de horas de trabajo.

En la tabla 4 se presenta las dosis de radiación necesaria para lograr distintos niveles de inactivación de una variedad de microorganismos, de manera que se pueda relacionar de forma efectiva el rango de inactivación dispuesto por el dispositivo, separando el tiempo necesario de calentamiento de las luminarias (5 minutos), ejercido en el primer periodo del dispositivo hasta alcanzar la potencia de radiación deseada.

Seguridad

La exposición directa a la radiación ultravioleta (UVC) representa un riesgo para la salud humana, especialmente en la vista y la piel; por ello, las propiedades físicas del dispositivo de basan en la concentración de las emisiones en el espacio de desinfección, de modo que, con el uso adecuado del mismo, permita la actividad de personas incluso estando en operación.

Propiedades

El dispositivo presenta las siguientes facultades:

- Programación intuitiva
- Herramientas de adaptación a entornos
- No produce ozono ni ningún residuo químico
- Esterilización ágil
- Fácil de transportar

análoga, se puede emplear el modo automático para una ejecución directa con los parámetros estándar del dispositivo.

La interfaz añade una ventana de información que permite la revisión simultánea de los ciclos de aplicación cumplidos, así como el tiempo de ejecución del periodo actual (observe la figura 3); de forma adicional, se agrega un espacio para el monitoreo de las horas de trabajo ejercido por las lámparas UVC.



Figura 1.- Interfaz gráfica general para operación del dispositivo purificador de aire.



Figura 2.- Ventana para ingreso de dimensiones del volumen a desinfectar.



INFORMACIÓN

T. Periodo:

Periodo Actual:

H/Lámparas:

VOLVER



Figura 3.- Ventana de información de operación y contador de horas de trabajo.

En la tabla 4 se presenta las dosis de radiación necesaria para lograr distintos niveles de inactivación de una variedad de microorganismos, de manera que se pueda relacionar de forma efectiva el rango de inactivación dispuesto por el dispositivo, separando el tiempo necesario de calentamiento de las luminarias (5 minutos), ejercido en el primer periodo del dispositivo hasta alcanzar la potencia de radiación deseada.

Seguridad

La exposición directa a la radiación ultravioleta (UVC) representa un riesgo para la salud humana, especialmente en la vista y la piel; por ello, las propiedades físicas del dispositivo de basan en la concentración de las emisiones en el espacio de desinfección, de modo que, con el uso adecuado del mismo, permita la actividad de personas incluso estando en operación.

Propiedades

El dispositivo presenta las siguientes facultades:

- Programación intuitiva
- Herramientas de adaptación a entornos
- No produce ozono ni ningún residuo químico
- Esterilización ágil
- Fácil de transportar

Tabla 4.- Dosis UV necesaria para alcanzar los niveles de esterilización de distintos patógenos.

Microorganismos	Nivel de esterilización					Referencia
	1Log	2Log	3Log	4Log	5Log	
	90%	99%	99.9%	99.99%	99.999%	
Bacterias						
<i>Aeromonas salmonicida</i>	1.5	2.7	3.1	5.9	-	Litved and Landfald 1996
<i>Aeromonas hydrophila</i> ATCC7966	1.1	2.6	3.9	5	6.7	Wilson et al. 1992
<i>Bacillus anthracis</i> - Anthrax	4.52	8.7	13.22	17.74	-	UV-ligth.co.UK
<i>Bacillus paratyphus</i>	3.2	6.4	9.6	12.8	-	UV-Ligth.co.UK
<i>Campylobacter jejuni</i> ATCC 43429	1.6	3.4	4	4.6	5.9	Wilson et al. 1992
<i>Citrobacter diversus</i>	5	7	9	11.5	13	Giese and Darby 2000
<i>Corynebacterium diphtheriae</i>	3.37	6.74	10.11	13.48	-	Sharp 1939
<i>Escherichia coli</i>	3.5	4.7	5.5	7	-	Sommer et al. 2000
<i>Escherichia coli</i> O157:H7	<2	<2	2.5	4	8	Yaun et al. 2003
<i>Klebsiella pneumoniae</i>	12	15	17.5	20	-	Giese and Darby 2000
<i>Legionella pneumophila</i> ATCC33152	1.9	3.8	5.8	7.7	9.6	Oguma et al. 2004
<i>Mycobacterium tuberculosis</i>	6.2	12.4	18.6	24.8	-	UV-Ligth.co.UK
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	5.5	11.0	16.5	22.0	-	Hollaender 1955
<i>Salmonella enteritidis</i>	4.0	8.0	12.0	16.0	-	UV-Ligth.co.UK
<i>Shigella sonnei</i> ATCC9290	3.2	4.9	6.5	8.2	-	Chang et al. 1985
<i>Staphylococcus aureus</i> ATCC25923	2.6	5.2	7.8	10.4	13.0	UV-Ligth.co.UK
<i>Streptococcus faecalis</i> ATCC29212	6.6	8.8	9.9	11.2	-	Chang et al. 1985
<i>Yersinia enterocolitica</i> ATCC27729	1.7	2.8	3.7	4.6	-	Wilson et al. 1992
Protozoos						
<i>Cryptosporidium parvum</i>	2.4	>5	5.2	9.5	-	Johnson et al. 2005
<i>Encephalitozoon cuniculi</i> , microsporidia	4	9	13	-	-	Marshall et al. 2003
<i>Encephalitozoon intestinalis</i> , microsporidia	<3	3	<6	6	-	Huffman et al. 2002
<i>Giardia muris</i>	<10	<10	<25	~60	-	Belosevic et al. 2001
Virus						
Bacteriophage - E. Coli	2.6	5.2	7.8	10.4	13.0	Walker 2007
Calicivirus canine	7	15	22	30	36	Husman et al. 2004
Calicivirus feline	5	15	23	30	39	Thurston-Enriquez et al. 2003
Hepatitis A HM175	5.1	13.7	22	29.6	-	Wilson et al. 1992
Infectus Hepatitis	5.8	11.6	17.4	23.2	-	UV-Ligth.co.UK
Influenza A virus	1.9	3.8	5.7	7.6	9.5	UV-Ligth.co.UK
Phi x 174 (Phage)	3	5	7.5	10	12.5	Sommer et al. 2001
Poliovirus - Poliomyelitis	3.15	6.3	9.45	12.6	-	UV-Ligth.co.UK
SARS-CoV-2	-	3.7	-	-	16.9	Biasin et al. 2021
Vaccina virus	0.1	0.2	0.3	-	-	McDevitt 2007

Anexo 3: Manual de usuario del purificador de aire

Manual de usuario

EQUIPO PURIFICADOR DE AIRE BASADO EN RADIACIÓN ULTRAVIOLETA



Autor:

Brandon Paúl Narvárez Cevallos

Estudiante CIEYT

Loja 2022

LUZ ULTRAVIOLETA COMO MEDIDA DE PREVENCIÓN ANTE LA PROPAGACIÓN DEL SARS-CoV-2
Brandon Paúl Narvárez Cevallos

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN A LA LUZ UV-C	3
1.1 Irradiación Germicida Ultravioleta (UVGI)	3
1.2 Unidades de medida	4
1.3 Dosis de exposición UV	5
2. USO PREVISTO.....	5
3. CONTRAINDICACIONES	6
4. INDICACIONES DE SEGURIDAD/ADVERTENCIAS IMPORTANTES	6
5. DESCRIPCIÓN Y FUNCIONALIDAD.....	7
6. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL EQUIPO	8
7. PROCEDIMIENTO DE FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO	8
8. INSTALACIÓN	10
9. PREPARACIÓN DEL EQUIPO.....	10
10. DURANTE EL USO DEL EQUIPO	10
11. APAGADO Y DESCONEXIÓN	10
12. PRECAUCIÓN	11
13. LIMPIEZA DEL EQUIPO	11
14. MANTENIMIENTO	11
15. ALMACENAMIENTO Y TRANSPORTE.....	12
REFERENCIAS.....	13



UNL

Universidad
Nacional
de Loja

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

1. INTRODUCCIÓN A LA LUZ UV-C

La luz ultravioleta ha sido objeto de estudio para una variedad de aplicaciones de desinfección a partir de las observaciones realizadas por Downes y Blunt en 1877 [1], que mostraron un efecto en la reducción de microorganismos mediante la exposición solar de algunas muestras; este descubrimiento sería clave para el aprovechamiento de las facultades germicidas de la UV.

La radiación ultravioleta es como se conoce al conjunto de emisiones con longitud de onda entre 400 y 100 nm, es decir, justo por debajo del espectro de luz visible. Esta radiación se considera del tipo no ionizante, por lo que, es incapaz de causar el desprendimiento de electrones en un átomo [2].

Como ya se conoce, este tipo de radiación está presente de forma natural, en su mayoría gracias a las emisiones de luz provenientes del sol [3]; en cierta escala, estos rayos forman parte de los procesos biológicos de una gran variedad de individuos, como elemento auxiliar para el proceso de la fotosíntesis y en el caso de los humanos, como medio de asimilación de la vitamina D para el bienestar óseo [4]. En contraste a ello, de acuerdo a las propiedades energéticas de los rayos UV, pueden ocasionar daños estructurales relacionados al ADN de los organismos, teniendo en cuenta que, la sobreexposición a estos puede desembocar en problemas agudos y crónicos en la piel, los ojos o el sistema inmunológico [4].

De acuerdo al valor de longitud de onda, la radiación UV se subdivide en ciertas regiones bien definidas [5]:

- La UV-A, considerada de baja absorción por las moléculas de ADN o ARN, lo que limita su capacidad germicida.
- La UV-B, empleada en baja medida para la inactivación reproductiva de los virus mediante la alteración del material genético.
- La UV-C, presenta el mayor grado de absorción (en comparación a las anteriores), por ende, permite una desinfección más efectiva y eficiente.

1.1 Irradiación Germicida Ultravioleta (UVGI)

La UVGI [5], refiere al uso de la capacidad germicida de este tipo de radiación para aplicaciones en aire y superficies, en especial en la región de onda corta (UV-C). Su



UNL

Universidad
Nacional
de Loja

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

principal característica es la eliminación o inactivación de microbios, mediante la alteración de su material genético (ADN o ARN), desembocando en la paralización de su mecanismo de replicación. La UVGI es ampliamente utilizada en la desinfección de aire, agua y superficies [6].

En la actualidad, existen diversos mecanismos de generación de luz ultravioleta para aplicaciones en el ámbito germicida. Las lámparas de mercurio de baja presión se destacan como las fuentes artificiales más comunes de ultravioleta, diseñadas para una variedad de potencias y una radiación máxima ubicada en 253,7 nm de longitud de onda (UV-C), lo cual, como mencionan Luo y Zhong [7], es cercano al pico de efectividad germicida de los microorganismos. El término "germicida" implica que la luz UV destruye o inactiva microorganismos como virus, bacterias, hongos y más. Para que este efecto exista es necesario establecer cuál proceso molecular en los microorganismos en exposición y cuál es el mecanismo para que ello ocurra.

La luz UV de 253,7 nm (≈ 254 nm) produce daños en el ácido desoxirribonucleico (ADN) y ácido ribonucleico (ARN) de los patógenos, de modo que se inhibe su capacidad de reproducirse. Este fenómeno se llama inactivación, es decir, los organismos no pueden ampliar su población y desarrollar enfermedades. El mecanismo de inactivación es el mismo para todos los microorganismos, la diferencia es la dosis necesaria para inactivarlos. La cantidad de inactivación es directamente proporcional a la dosis de radiación UV-C que se recibe.

Las propiedades de la radiación UV-C, indican un mejor funcionamiento de forma directa y en distancias cortas [8]. En términos técnicos, la energía que radian las lámparas está ligada a la ley del cuadrado inverso, en donde la propagación de la intensidad de la luz disminuye exponencialmente al aumentar la distancia entre el punto de medición y la fuente de luz. Esto significa que los objetos cercanos a la fuente de luz UV-C tendrán una mayor exposición y, por lo tanto, ciclos de desinfección más cortos. Al contrario, cuanto más lejos esté la fuente de luz UV-C, menos radiación alcanzará el objetivo; por ejemplo, al duplicar la distancia solo queda una cuarta parte de la radiación UV-C.

1.2 Unidades de medida

De acuerdo a lo mencionado por Bintsis et al. [6] y Kowalski [5], en lo que respecta a desinfección de aire y superficies, la intensidad de radiación UV se expresa como



irradiancia o intensidad de flujo en W/m^2 ; mientras que la dosis de radiación UV, se mide en función de la exposición de dicha intensidad en un rango de tiempo establecido con el J/m^2 como unidad; nótese que un W/m^2 equivale a 0.1 mW/cm^2 y, un Joule (J) es equivalente a un vatio-segundo ($W \cdot s$).

1.3 Dosis de exposición UV

En términos de cuantificación, Bono et al. [9] definen la dosis de radiación absorbida por un objeto, mediante la ecuación (1):

$$D = I * t \quad (1)$$

Donde:

- D , es la dosis de exposición UV aportada [J/m^2].
- I , es la intensidad de radiación UV medida en [W/m^2].
- t_{irr} , es el tiempo de exposición a la radiación [s].

En base a la dosis de exposición UV se presentan ciertos puntos referenciales para la tasa de desinfección de un determinado microorganismo; Kowalski [5], aporta que el proceso de desinfección de microorganismos se mide en términos de reducción de la densidad de acuerdo al medio evaluado (aire/superficies).

Tomando esto en cuenta, se establecen ciertos niveles de esterilización o D , como el D_{90} que representa un 90% de desinfección, así como el D_{99} indica un 99% de población microbiana eliminada. En general, se reconoce como una tasa de inactivación efectiva valores de al menos un 99,999%.

2. USO PREVISTO

De acuerdo a las propiedades que presenta la luz ultravioleta en la desinfección, ha sido ampliamente usada como método de protección ante patógenos en entornos de gran afluencia de personas como centros hospitalarios, plantas industriales, procesamiento de alimentos, ambientes domésticos, entre otros.

Los sistemas UV-C han demostrado especial utilidad en la desinfección intrahospitalaria y espacios de laboratorio, como complemento del sistema de ventilación e incluso esterilización de equipos, instrumentos y demás objetos relacionados al entorno médico. En este contexto, los sistemas a menudo consisten en un gabinete de metal reflectante en



el que se instala una o un arreglo de lámparas UV-C, entre los principales ejemplos se pueden distinguir los sistemas UV integrados a ductos de aire, unidades de recirculación, sistemas “Upper room” y los sistemas de barrera con filtrado de aire [2].

Mills et al. [10], en un estudio realizado en 2018, demostraron la efectividad de los sistemas UVGI en la desinfección de mascarillas N95 contaminados con el virus de la influenza (H1N1), obteniendo resultados positivos en cuanto a su esterilización, lo mismo que abrió la posibilidad de reutilización de estos instrumentos sanitarios.

Otros estudios como el de Begg & Avital [11] concluyen que, ante virus como el SARS-CoV-2 encapsulado en aerosoles, los sistemas “Upper Room” basados en UV-C (254nm) inactivan con relativa facilidad y pueden convertirse en un factor de control ante la transmisión de la COVID-19 en espacios de ventilación reducida.

En 2016 [12], se realizó un estudio para examinar el efecto de la radiación UV-C en la incidencia de las infecciones virales de las vías respiratorias altas en el Hospital Infantil de St. Mary, Nueva York, durante doce meses. Los resultados del estudio mostraron que, durante el año en el que se usó un dispositivo de radiación UV-C, se produjo una diferencia favorable del 44 % en los casos relacionados a infecciones respiratorias.

3. CONTRAINDICACIONES

3.1 Como detalla la ASHRAE [13], el uso de sistemas UV-C conlleva el riesgo de exposición a la luz ultravioleta, la misma que puede producir daños oculares, principalmente en la córnea, daños cutáneos como resequedad o quemaduras en la piel y otros síntomas derivados. Adicionalmente, se contemplan daños indirectos producidos por residuos como el ozono, el mismo que en concentraciones elevadas puede ocasionar dificultades en el sistema respiratorio.

4. INDICACIONES DE SEGURIDAD/ADVERTENCIAS IMPORTANTES

4.1 A nivel general, al trabajar con fuentes de radiación UV se recomienda el uso del equipamiento de protección personal adecuado para evitar la exposición directa de ojos y piel, como protectores faciales o gafas de seguridad.

4.2 Para cuidar la integridad de los usuarios, se debe impartir capacitación acerca del manejo de fuentes de radiación y buenas prácticas en el uso de dispositivos UV-C;



UNL

Universidad
Nacional
de Loja

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

además, es prudente manejar protocolos de acción ante problemas asociados a la sobreexposición o imperfecciones del sistema.

4.3 La Comisión Internacional de Protección contra las Radiaciones No Ionizantes (ICNIRP) establece ciertos estándares para la máxima exposición ocupacional a la radiación UV. Aquí se destaca que para la longitud de onda de trabajo habitual de los sistemas UVGI (254nm) se señala un valor máximo de 60 J/m^2 .

4.4 Para el correcto desenvolvimiento de un sistema UVGI es primordial el entendimiento del público general acerca de los riesgos derivados a la radiación, sin embargo, se recomienda que el sistema considere medidas de alerta o detección, como sensores de presencia o movimiento, para respaldar la seguridad de los usuarios.

4.5 Un sistema con tecnología UV-C se considera seguro si cumple con los requisitos de seguridad eléctrica, térmica, mecánica, exposición humana a campos electromagnéticos (EMF) y fotobiológica previstos en las normas IEC y UL.

5. DESCRIPCIÓN Y FUNCIONALIDAD

El dispositivo de purificación de aire está constituido por dos volúmenes principales y la unidad de control, el espacio de desinfección se compone de acero inoxidable, en tanto que se contempla un espacio cubierto por plástico para contención de los subsistemas eléctrico y electrónico.

En el interior de la estructura metálica se disponen dos fuentes de radiación UVC de 15W (lámparas LPM) y un ventilador axial para la generación del flujo de aire. La unidad de control e interacción con el usuario posee una protección de plástico, la misma que se ubica en la parte frontal del equipo. Adicionalmente, el prototipo posee un filtro de aire 2097 (P100) en su salida, para la contención de residuos o folículos macroscópicos presentes en el aire.

Su funcionalidad se basa en periodos de aplicación de radiación a un flujo constante de aire, con periodos fijos de trabajo y reposo para la seguridad de los componentes. A nivel de programación, se establece un modo de uso automático basado en valores preliminares de volumen de desinfección y tiempo de trabajo del equipo, no obstante, se añade la capacidad de variación de parámetros por el usuario, en base a la disposición y el entorno de desempeño.

6. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL EQUIPO

Tabla 1.-

Características técnicas del equipo Purificador de aire

Parámetros	Especificaciones		
Volumen interno para desinfección	12cm (H) x 12cm (W) x 60cm (L) = 8640cm ³		
Flujo de aire manipulado	4.217x10 ⁻³ m ³ /s		
Tensión de funcionamiento	120 V (AC), 60 Hz, 0.5 A		
Número de lámparas	2		
Potencia de luminarias	15 W		
Tiempo de vida de las luminarias	6000 horas		
Propiedades de luminarias	Largo: 45 cm	Diámetro: 25 mm	Conector: G5
Tiempo de vida del filtro	180 horas o 30 días (6 horas diarias)		

7. PROCEDIMIENTO DE FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO

7.1 Realizar la conexión a la alimentación eléctrica de forma correcta, tomando en consideración las condiciones físicas (posición, integridad) del equipo.

7.2 Encender el dispositivo y esperar la carga de la interfaz gráfica en la pantalla.

7.3 Establecer los parámetros de operación. El botón “PERIODO” permite al usuario intercalar los tiempos de aplicación de acuerdo a la capacidad de desinfección requerida. Por su parte el botón “VOLUMEN” brinda acceso a una ventana emergente para el ingreso de las dimensiones del entorno a desinfectar.

7.4 El sistema dispone de una configuración de ejecución automática, que provee parámetros predeterminados para una desinfección general e independiente del entorno de trabajo; para desplegarlo se debe pulsar el botón “AUTO” y el sistema iniciará inmediatamente. En este modo también hay posibilidad de ajustar los periodos de aplicación.

7.5 Una vez puesto en operación, se recomienda el acceso a la ventana de información del equipo para la verificación de los ciclos de trabajo que el dispositivo realizará e incluso el control del estado de las lámparas.

7.6 En caso de requerirse, el usuario puede interrumpir la ejecución del dispositivo mediante los botones de “PAUSA” y “STOP”, conforme a sus necesidades. En el estado de pausa, se debe pulsar nuevamente ese botón para reanudar la ejecución.

7.7 Cuando se cumplen los periodos de desinfección, el equipo actualiza el contador de horas de trabajo de las lámparas y entra en estado de espera. En este punto, el usuario puede asignar nuevos parámetros de trabajo o apagar el sistema mediante el botón dispuesto en la interfaz. Posterior al apagado del equipo, se debe interrumpir el suministro eléctrico mediante el switch general dispuesto en un costado del mismo.

7.8 Es importante realizar el proceso de apagado de acuerdo al punto anterior, de modo que se asegure la integridad del dispositivo y evite daños o errores en el sistema.



Figura 1.- Interfaz gráfica para interacción con el usuario.

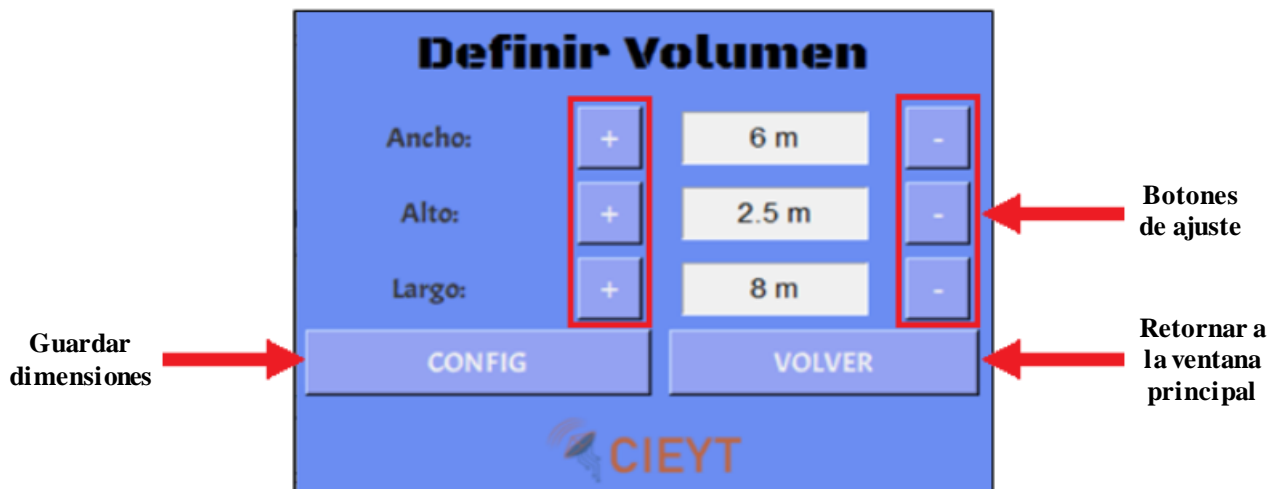


Figura 2.- Ventana de configuración de dimensiones del volumen a desinfectar.



Figura 3.- Ventana de información de operación y contador de horas de trabajo.

8. INSTALACIÓN

El equipo debe instalarse en un espacio cerrado, de forma estable sobre pared mediante soporte externo o incluso de forma libre sobre su base, teniendo en cuenta las medidas de prevención. No se impone una altura estándar de instalación, sin embargo, se recomienda establecer una altura que permita un control de usuario cómodo y con disponibilidad de conexión a la red eléctrica de 120 voltios.

9. PREPARACIÓN DEL EQUIPO

El dispositivo considera una etapa de calentamiento de las lámparas (aproximadamente 5 minutos) dentro de su sistema de operación, por lo que se puede proceder a la configuración y ejecución del dispositivo.

10. DURANTE EL USO DEL EQUIPO

No se debe interferir con el flujo normal de aire creado por el dispositivo, así como la alimentación eléctrica. En caso de requerir la interrupción del proceso, se puede usar los botones de pausa o stop (figura 1), de acuerdo a la necesidad del usuario.

Si existen puntos de fuga de radiación, detener el dispositivo y buscar respaldo técnico.

11. APAGADO Y DESCONEXIÓN

Luego de cumplir con los periodos de desinfección programados, el equipo se coloca en modo de espera, de modo que, para apagarlo debemos hacer uso del botón dispuesto en la interfaz gráfica (figura 1), para luego cortar el suministro eléctrico mediante el switch ubicado al costado del espacio de control.



UNL

Universidad
Nacional
de Loja

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

12. PRECAUCIÓN

- No manipular las clavijas de conexión eléctrica o el panel de configuración con las manos mojadas o húmedas.
- No manipular la entrada o salida de aire con el dispositivo en operación.
- No desconectar el dispositivo cuando se encuentra en operación.
- No obstruir el ventilador.

13. LIMPIEZA DEL EQUIPO

La limpieza interna del equipo se debe desempeñar posteriormente al mantenimiento preventivo; para ello se debe emplear un paño de tela de microfibra y alcohol. No se debe manipular directamente las luminarias ni sus conexiones.

Respecto a la limpieza externa, se debe aplicar una capa de WD-40 utilizando un paño limpio, no dejar excesos del lubricante en la superficie del equipo, siempre evitando el contacto de cualquier sustancia con la unidad de control o la pantalla de interacción. Esta limpieza dependerá de las condiciones de cada entorno, sin embargo, se recomienda que se realice de forma mensual y teniendo en cuenta las consideraciones de seguridad del equipo.

14. MANTENIMIENTO

El mantenimiento preventivo se centra en realizar una revisión operacional de los circuitos asociados a cada componente involucrado; esto debe llevarse a cabo por personal calificado en periodos de 6 meses.

En caso de presentarse algún desperfecto en su funcionamiento, se debe realizar un mantenimiento correctivo ejercido por personal técnico calificado.

La vida útil de las luminarias es de 6000 horas (aproximadamente 2 años con 8 horas diarias de uso), el equipo cuenta con un medidor de horas de funcionamiento en la ventana de información.

En tanto del filtro de aire a la salida del dispositivo, el fabricante recomienda un tiempo de renovación de 30 días en ambientes que contengan solo aerosoles de aceite; sin embargo, este tiempo puede ser mayor (máximo 45 días) al ajustarse a las condiciones del ambiente y el promedio de horas de uso diario.

14.1 Aspectos en consideración:

- Antes de cualquier revisión o cambio de componentes, es necesario verificar que el dispositivo se encuentre desconectado del suministro eléctrico.
- La sustitución de luminarias debe realizarse considerando las propiedades técnicas contempladas en el equipo, además, debe cerciorarse de que los repuestos no produzcan ozono.
- El proceso de cambio de lámparas finaliza con el restablecimiento del contador mediante software, para lo cual se debe acceder al sistema con las respectivas credenciales.
- En caso de necesitarse, se recomienda el reemplazo simultáneo de luminarias, permitiendo una correcta cuantización de horas de trabajo; caso contrario, es conveniente llevar un registro de estado al momento del cambio.
- Al finalizar el mantenimiento debe hacerse un chequeo físico del equipo con la finalidad de detectar cualquier posible punto de fuga en el mismo.

15. ALMACENAMIENTO Y TRANSPORTE

En caso de necesitar almacenar el equipo se deberá proceder a la correcta desconexión del mismo y el asegurar el estado de la estructura (sellada), además de contar con un ambiente adecuado de reposo, es decir, con las respectivas precauciones ante humedad, polvo y demás contaminantes.

En caso de requerir transporte, se recomienda cerciorarse de las condiciones de estructurales del equipo, llevar a cabo una correcta desconexión del suministro eléctrico, enrollar el cable de alimentación y para trayectos largos, se debe acoplar protectores para el centro de configuración (incluida la pantalla), el ventilador y el filtro. Como complemento, es preciso contemplar el uso de correas o fijadores para evitar golpes o averías causados por el movimiento del vehículo.





REFERENCIAS

- [1] N. G. Reed, “The History of Ultraviolet Germicidal Irradiation for Air Disinfection”, *Public Health Rep.*, vol. 125, núm. 1, p. 27, 2010, doi: 10.1177/003335491012500105.
- [2] A. F. Zapata y S. M. Moreno, “El uso de la luz ultravioleta para controlar la transmisión del virus SARS-CoV-2 en medios hospitalarios.”, *Salut. Sci. Spiritus*, vol. 6, núm. 1, pp. 107–115, 2020.
- [3] J. Bohórquez-Ballén y J. F. Pérez Mogollón, “Radiación ultravioleta”, *Cienc. Tecnol. para la Salud Vis. y Ocul.*, núm. 9, pp. 97–102, 2007, doi: 10.19052/sv.1520.
- [4] WHO, WMO, UNEP, y ICNIRP, “Global Solar UV Index A Practical Guide”, *World Health*, pp. 4–12, 2002.
- [5] W. Kowalski, *Ultraviolet Germicidal Irradiation Handbook*, 1a ed. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2009.
- [6] T. Bintsis, E. Litopoulou-Tzanetaki, y R. K. Robinson, “Existing and potential applications of ultraviolet light in the food industry - a critical review”, *J. Sci. Food Agric.*, vol. 80, núm. 6, pp. 637–645, 2000, doi: 10.1002/(SICI)1097-0010(20000501)80:6<637::AID-JSFA603>3.0.CO;2-1.
- [7] H. Luo y L. Zhong, “Ultraviolet germicidal irradiation (UVGI) for in-duct airborne bioaerosol disinfection: Review and analysis of design factors”, *Build. Environ.*, vol. 197, pp. 1–14, jun. 2021, doi: 10.1016/J.BUILDENV.2021.107852.
- [8] A. L. Jennifer Cadnum *et al.*, “Evaluation of Ultraviolet-C Light for Rapid Decontamination of Airport Security Bins in the Era of SARS-CoV-2”, *Pathog. Immun.*, vol. 5, núm. 1, pp. 133–175, 2020, doi: 10.20411/pai.v5i1.373.
- [9] N. Bono, F. Ponti, C. Punta, y G. Candiani, “Effect of UV Irradiation and TiO₂-Photocatalysis on Airborne Bacteria and Viruses: An Overview”, *Materials (Basel)*, vol. 14, núm. 5, p. 1075, feb. 2021, doi: 10.3390/ma14051075.
- [10] D. Mills, D. A. Harnish, C. Lawrence, M. Sandoval-Powers, y B. K. Heimbuch, “Ultraviolet germicidal irradiation of influenza-contaminated N95 filtering



UNL

Universidad
Nacional
de Loja

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

- facepiece respirators”, *Am. J. Infect. Control*, vol. 46, núm. 7, pp. 49–55, jul. 2018, doi: 10.1016/J.AJIC.2018.02.018.
- [11] C. B. Beggs y E. J. Avital, “Upper-room ultraviolet air disinfection might help to reduce COVID-19 transmission in buildings: a feasibility study”, *PeerJ*, vol. 8, pp. 1–18, oct. 2020, doi: 10.7717/PEERJ.10196.
- [12] M. Pavia, E. Simpser, M. Becker, W. K. Mainquist, y K. A. Velez, “The effect of ultraviolet-C technology on viral infection incidence in a pediatric long-term care facility”, *Am. J. Infect. Control*, vol. 46, núm. 6, pp. 720–722, jun. 2018, doi: 10.1016/J.AJIC.2018.01.014.
- [13] ASHRAE, “Ultraviolet Lamp Systems”, en *ASHRAE Handbook - HVAC System and Equipment*, H. E. Kennedy y M. S. Owen, Eds. Atlanta, 2020, pp. 1–10.

Anexo 1

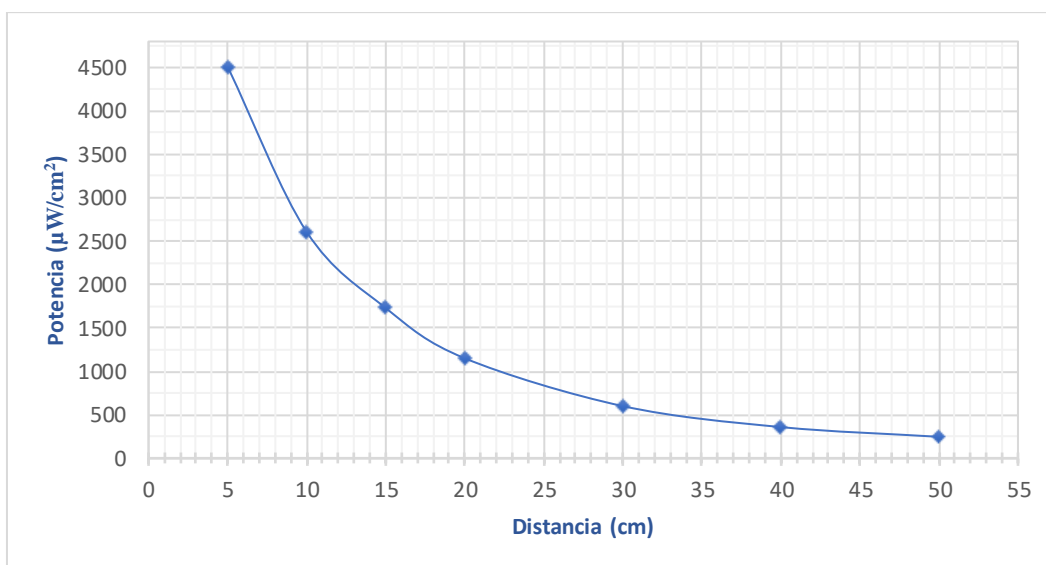
Planos

Anexo 2

Pruebas de Radiación

Pruebas realizadas con radiómetro para analizar la potencia de radiación UV a distintas distancias

Lámpara LPM (254nm)			
Distancia [cm]	Potencia [$\mu\text{W}/\text{m}^2$]	Potencia [mW/cm^2]	Generación de O_3
5	4510,9	45,109	0 ppm
10	2607,9	26,079	0 ppm
15	1730,7	17,307	0 ppm
20	1151,6	11,516	0 ppm
30	600,5	6,005	0 ppm
40	358,7	3,587	0 ppm
50	246,7	2,467	0 ppm



Pruebas realizadas con radiómetro para analizar la dosis de radiación UV-C aplicada por el equipo

Equipo Purificador de Aire					Dosis mínima para esterilización del SARS-CoV-2 (99,999%)
Resultados de intensidad de radiación en recorrido en trayectoria lineal ($t \cong 2,07 s$)					
Separación aproximada del foco de radiación	Potencia UV [$\mu W/cm^2$]	Potencia en [mW/cm^2]	Pruebas	Dosis UV aportada por recorrido [mJ/cm^2]	
5,38 cm	8172,2	8,1722	Prueba en punto límite del área transversal	16,908	16,9 mJ/cm ²
5,0 cm	8471,4	8,4714	Prueba en punto medio del área transversal	17,527	16,9 mJ/cm ²
1,25 cm	14103,0	14,103	Prueba en punto cercano al foco de radiación	29,179	16,9 mJ/cm ²

Anexo 3

Tablas de desinfección de la radiación UVC



Dosis UV (mJ/cm²) para varios niveles de eficiencia

Esporas	90%	99%	99.9%	99.99%	99.999%	99.9999%	Referencia
Bacillus magaterium sp. spores	2.73	5.46	8.19	10.92			UV-Light.co.UK
Bacillus subtilis ATCC6633 (spores)	36	48.6	61	78			Chang et al. 1985
Clostridioides difficile (C. diff) spores	6.0	12.0	18.0	24.0			UV-Light.co.UK
Bacterias	90%	99%	99.9%	99.99%	99.999%	99.9999%	
Aeromonas salmonicida	1.5	2.7	3.1	5.9			Liltved and Landfald 1996
Aeromonas hydrophila ATCC7966	1.1	2.6	3.9	5	6.7	8.6	Wilson et al. 1992
Bacillus anthracis – Anthrax	4.52	9.04	13.56	18.08			UV-Light.co.UK
Bacillus magaterium sp. (veg.)	1.3	2.6	3.9	5.2			UV-Light.co.UK
Bacillus paratyphus	3.2	6.4	9.6	12.8			UV-Light.co.UK
Bacillus subtilis	5.8	11.6	17.4	23.2			UV-Light.co.UK
Campylobacter jejuni ATCC43429	1.6	3.4	4	4.6	5.9		Wilson et al. 1992
Citrobacter diversus	5	7	9	11.5	13		Giese and Darby 2000
Citrobacter freundii	5	9	13				Giese and Darby 2000
Clostridium tetani	13.0	22.0					Light Sources Inc. 2014
Corynebacterium diphtheriae	3.37	6.74	10.11	13.48			UV-Light.co.UK
Ebertelia typhosa	2.14	4.28	6.42	8.56			UV-Light.co.UK
Escherichia coli O157:H7 CCUG 29193	3.5	4.7	5.5	7			Sommer et al. 2000
Escherichia coli O157:H7	<2	<2	2.5	4	8	17	Yaun et al. 2003
Halobacterium elongate ATCC33173	0.4	0.7	1				Martin et al. 2000
Halobacterium salinarum ATCC43214	12	15	17.5	20			Martin et al. 2000
Klebsiella terrigena ATCC257	4.6	6.7	8.9	11			Wilson et al. 1992
Legionella pneumophila ATCC33152	1.9	3.8	5.8	7.7	9.6		Oguma et al. 2004
Leptospira canicola – infectious Jaundice	3.15	6.3	9.45	12.6			UV-Light.co.UK
Micrococcus sphaeroides	1.0	2.0	3.0	4.0			UV-Light.co.UK
MRSA	3.2	6.4	9.6	12.8			UV-Light.co.UK
Neisseria catarrhalis	4.4	8.8	13.2	17.6			UV-Light.co.UK
Phytomonas tumefaciens	4.4	8.8	13.2	17.6			UV-Light.co.UK
Proteus vulgaris	3.0	6.0	9.0	12.0			UV-Light.co.UK
Pseudomonas stutzeri	100	150	195	230			Jaux et al. 1999
Pseudomonas aeruginosa	5.5	11.0	16.5	22.0			UV-Light.co.UK
Pseudomonas fluorescens	3.5	7.0	10.5	14.0			UV-Light.co.UK
Salmonella enteritidis	4.0	8.0	12.0	16.0			UV-Light.co.UK
Salmonella paratyphi – Enteric fever	3.2	6.4	9.6	12.8			UV-Light.co.UK
Salmonella typhosa – Typhoid fever	2.15	4.3	6.45	8.6			UV-Light.co.UK
Serratia marcescens	2.42	4.84	7.26	9.68			UV-Light.co.UK



Bacterias	90%	99%	99.9%	99.99%	99.999%	99.9999%	
Shigella dysenteriae – Dysentery	2.2	4.4	6.6	8.8			UV-Light.co.UK
Shigella flexneri – Dysentery	1.7	3.4	5.1	6.8			UV-Light.co.UK
Shigella paradysenteriae	1.68	3.3	5.04	6.72			UV-Light.co.UK
Shigella sonnei ATCC9290	3.2	4.9	6.5	8.2			Chang et al. 1985
Spirillum rubrum	4.4	8.8	13.2	17.6			UV-Light.co.UK
Staphylococcus albus	1.84	3.68	5.52	7.36			UV-Light.co.UK
Staphylococcus aureus	2.6	5.2	7.8	10.4			UV-Light.co.UK
Staphylococcus hemolyticus	2.16	4.32	6.48	8.64			UV-Light.co.UK
Streptococcus faecalis ATCC29212	6.6	8.8	9.9	11.2			Chang et al. 1985
Streptococcus viridans	2.0	4.0	6.0	8.0			UV-Light.co.UK
Vibrio anguillarum	0.5	1.2	1.5	2			Liltved and Landfald 1996
Vibrio comma – Cholera	3.37 5	6.75	10.125	13.5			UV-Light.co.UK
Yersinia enterocolitica ATCC27729	1.7	2.8	3.7	4.6			Wilson et al. 1992
Yersinia ruckeri	1	2	3	5			Liltved and Landfald 1996
Levaduras	90%	99%	99.9%	99.99%	99.999%	99.9999%	
Brewers yeast	3.3	6.6	9.9	13.2			UV-Light.co.UK
Common yeast cake	6.0	12.0	18.0	24.0			UV-Light.co.UK
Saccharomyces cerevisiae	6.0	12.0	18.0	24.0			UV-Light.co.UK
Saccharomyces ellipsoideus	6.0	12.0	18.0	24.0			UV-Light.co.UK
Mohos	90%	99%	99.9%	99.99%	99.999%	99.9999%	
Mucor racemosus A	17.0	34.0	51.0	68.0			UV-Light.co.UK
Mucor racemosus B	17.0	34.0	51.0	68.0			UV-Light.co.UK
Oospora lactis	5.0	10.0	15.0	20.0			UV-Light.co.UK
Penicillium digitatum	44.0	88.0	132.0	176.0			UV-Light.co.UK
Penicillium expansum	13.0	26.0	39.0	52.0			UV-Light.co.UK
Penicillium roqueforti	13.0	26.0	39.0	52.0			UV-Light.co.UK
Protozoos	90%	99%	99.9%	99.99%	99.999%	99.9999%	
Chlorella Vulgaris	13.0	26.0	39.0	52.0			UV-Light.co.UK
Cryptosporidium hominis	3	5.8					Johnson et al. 2005
Cryptosporidium parvum	2.4	<5	5.2	9.5			Craik et al. 2001
Cryptosporidium parvum, oocysts, tissue culture assay	1.3	2.3	3.2				Shin et al. 2000
Encephalitozoon cuniculi, microsporidia	4	9	13				Marshall et al. 2003
Encephalitozoon hellem, microsporidia	8	12	18				Marshall et al. 2003
Encephalitozoon intestinalis, microsporidia	<3	3	<6	6			Huffman et al. 2002
Giardia lamblia	<10	~10	<20				Campbell et al. 2002
Giardia muris	<10	<10	<25	~60			Belosevic et al. 2001
Nematode Eggs	45.0	90.0	135.0	180.0			UV-Light.co.UK
Paramecium	11.0	22.0	33.0	44.0			UV-Light.co.UK



UNL

Universidad
Nacional
de Loja

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

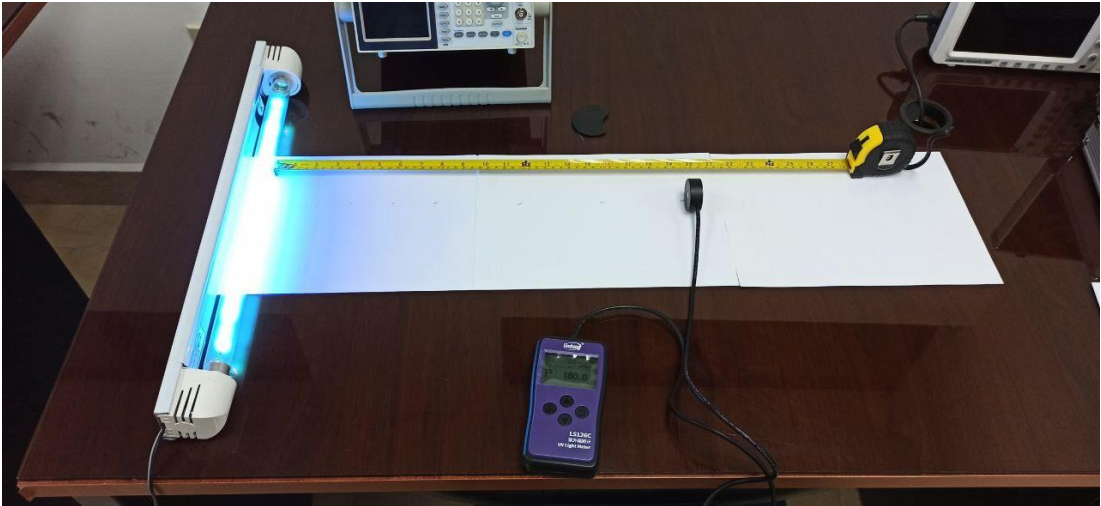
Dosis UV-C (mJ/cm²) para varios porcentajes de reducción

Virus	90%	99%	99.9%	99.99%	99.999%	99.9999%	Referencia
Adenovirus type 15	40	80	122	165	210		Thompson et al. 2003
Adenovirus type 2	40	78	119	160	195	235	Gerba et al. 2002
B40-8 (Phage)	11	17	23	29	35	41	Sommer et al. 2001
Bacteriophage – E. coli	2.6	5.2	7.8	10.4	13.0		Walker 2007
Calciavirus canine	7	15	22	30	36		Husman et al. 2004
Calciavirus feline	5	15	23	30	39		Thurston-Enriquez et al. 2003
Coxsackievirus B3	8	16	24.5	32.5			Gerba et al. 2002
Coxsackievirus B5	9.5	18	27	36			Gerba et al. 2002
Echovirus I	8	16.5	25	33			Gerba et al. 2002
Echovirus II	7	14	20.5	28			Gerba et al. 2002
Hepatitis A HM175	5.1	13.7	22	29.6			Wilson et al. 1992
Infectious Hepatitis	5.8	11.6	17.4	23.2			UV-Light.co.UK
Influenza A virus	1.9	3.8	5.7	7.6	9.5		UV-Light.co.UK
MS2 (Phage)		45	75	100	125	155	Thompson et al. 2003
Norovirus	10	16	22	26	30		Lee et al. 2008
Parvovirus	2.2	4.6					Cornelis et al. 1982
PHI x 174 (Phage)	3	5	7.5	10	12.5	15	Sommer et al. 2001
Poliovirus – Poliomyelitis	3.15	6.3	9.45	12.60			UV-Light.co.UK
Poliovirus 1	7	17	28	37			Thompson et al. 2003
PRD-1 (Phage)	9.9	17.2	23.5	30.1			Meng and Gerba 1996
Reovirus Type 1 Lang strain	16	36					Harris et al. 1987
Reovirus-3	11.2	22.4					Rauth 1965
Rotavirus	20	80	140	200			Meng and Gerba 1996
Rotavirus SA-11	9.1	19	26	36	48		Caballero et al. 2004
SARS-CoV-2		3.7			16.9		Biasin et al. 2021
Staphylococcus aureus phage A	8	17	25	36	47		Sommer et al. 2001
Tobacco mosaic	240. 0	440. 0					Light Sources Inc. 2014
Vaccina virus	0.1	0.2	0.3				McDevitt 2007

Anexo 4: Medición de intensidad de radiación de las lámparas LPM



Ambiente inicial de prueba.



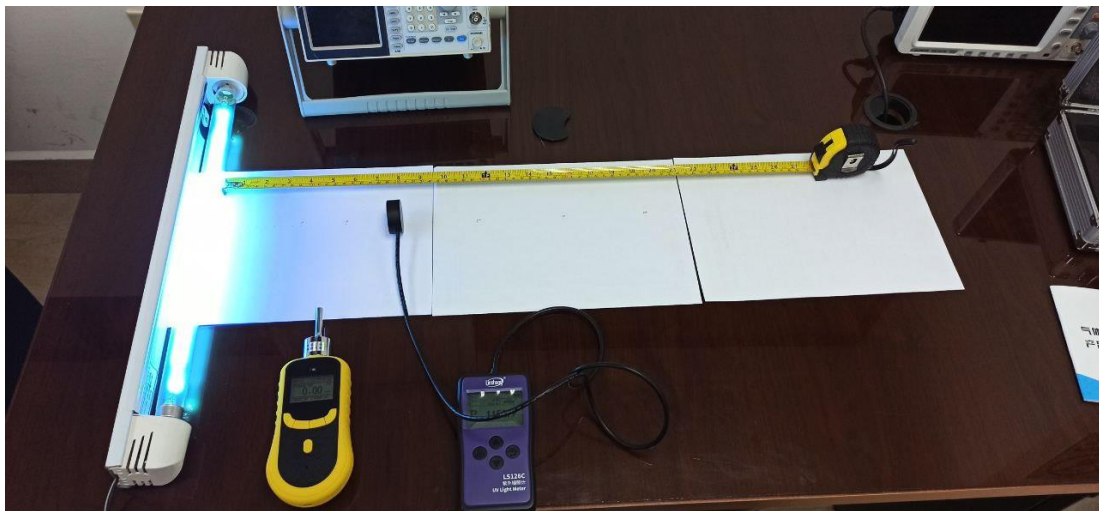
Medición a 50 cm de la lámpara.



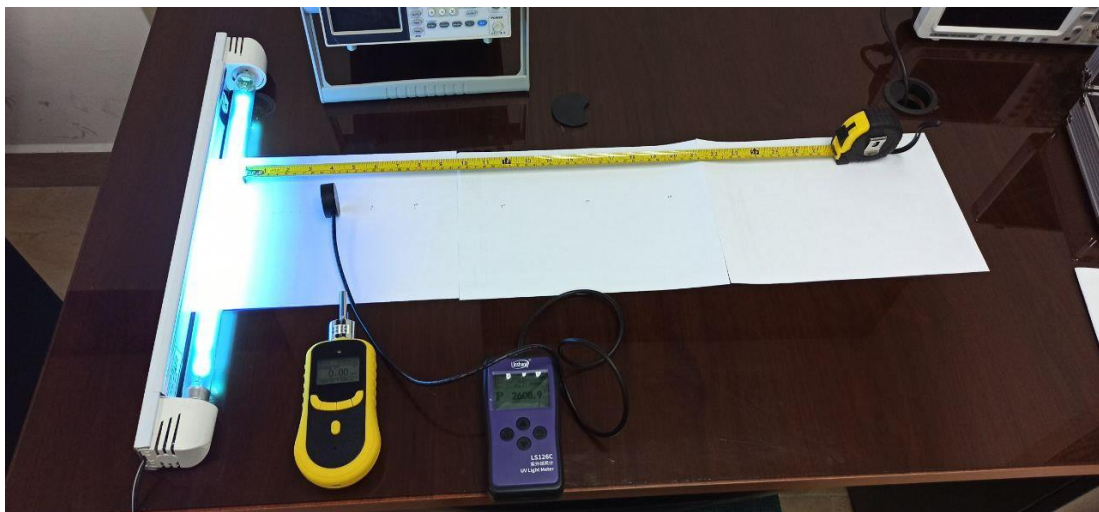
Medición a 40 cm de la lámpara.



Medición a 30 cm de la lámpara.



Medición a 20 cm de la lámpara.



Medición a 10cm de la lámpara.



Medición a 5 cm de la lámpara.

Anexo 5: Equipos de medición

A.5.1 Linshangtech – LS126CUV Light Meter



Medidor de intensidad de radiación (radiómetro).

Parameter	LS126C UV Light Meter
Spectral response	230nm-280nm, $\lambda_p = 254\text{nm}$
Measuring range	0 - 20000 $\mu\text{W} / \text{cm}^2$
Resolution	0.1 $\mu\text{W} / \text{cm}^2$
Measuring accuracy	$\pm 10\%$
Sampling speed	2048 times/second
Test hole diameter	$\varnothing = 10\text{mm}$
Power value storage interval	1s/10s/60s optional
Recording period	10 min / 100 min / 600 min
Bluetooth transmission distance	50 meters (open space)
Instrument size	148mm × 76mm × 26mm (L*W*H)
Probe size	Diameter 39mm × thickness 15mm
Probe wire length	1 meter
Weight	About 300 g
Display	240*160 dot matrix LCD
Battery	4 AAA alkaline dry batteries

Características específicas del radiómetro.

A.5.2 HISEED – Pump Suction Gas Detector HD-P900



Medidor de concentración de gas (Ozono).

Gas Detected	Ozone(O3)		
Detection Principle	Electrochemical principles		
Sampling Method	Pump- suction, flow up 1L/min, pump suction size ten stalls adjustable		
Measure Range	0-100%VOL		
Resolution	0.01%VOL		
Precision	2%FS		
Signal Output	USB interface high-speed data transfer, download-able print data		
Response Time	≤10s	Recovery Time	≤10s
Repeat-ability	≤±1%	Linearity Error	≤±1%
Zero Shift	≤±1% (F.S year)	Display	LCD
Operating	Language English/Chinese	Gas Unit	Multiple gas unit
Temperature	-20℃~50℃	Humidity	0~95%RH
Explosion-Proof	ExiallCT3	Degree of Protection	IP65
Alarm Mode	Sound, light, vibration	Operating Time	100 hours(Off)
Dimensions	207X77X38mm	Weight	300g

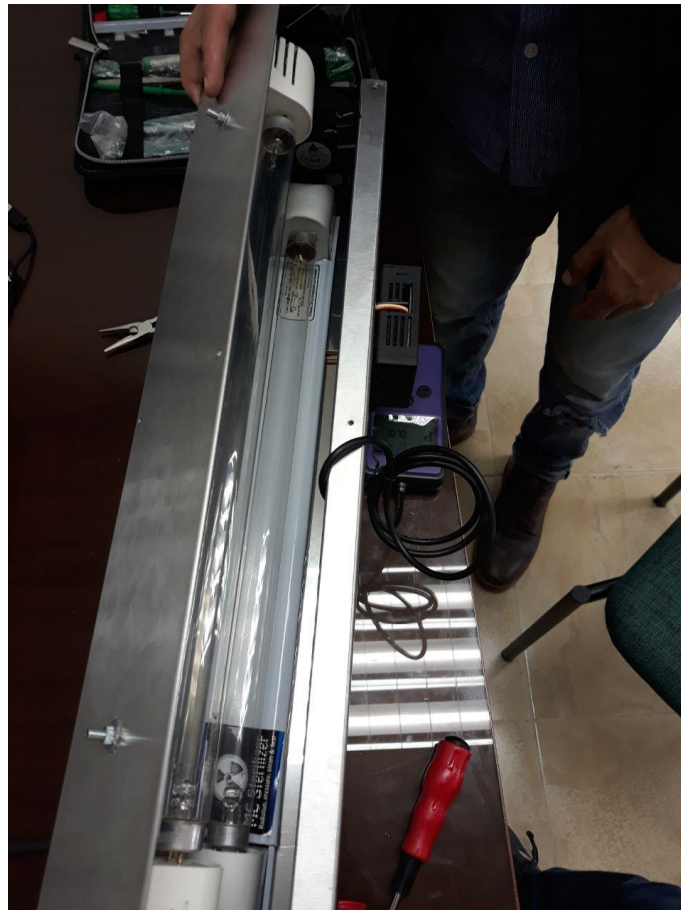
Características técnicas del detector de gas.

Anexo 6: Medición de la intensidad de radiación del dispositivo

A.6.1 Medición interna de la intensidad de radiación del dispositivo



Ambiente inicial de medición.



Disposición del primer ambiente de medición.



Vista externa del entorno de medición.



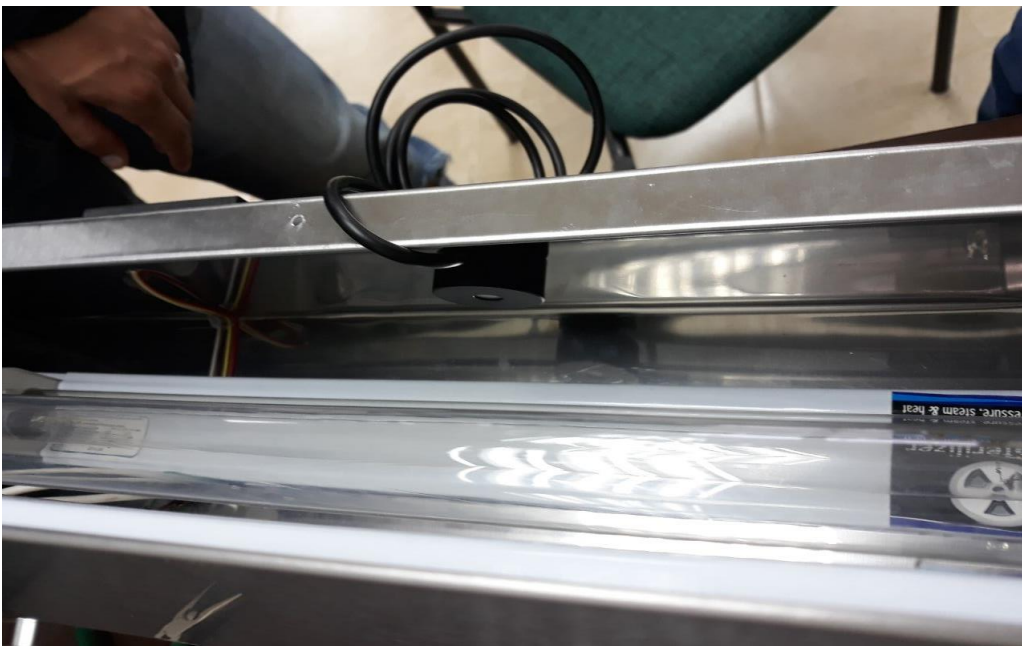
Etapas de calentamiento de las lámparas.



Etapas de calentamiento de las lámparas.



Medición de potencia de radiación en el punto lejano de la sección transversal.



Disposición del segundo ambiente de medición



Medición de potencia UV en el punto medio respecto al foco de radiación.



Disposición del tercer ambiente de medición.



Medición de potencia UV en el punto cercano al foco de radiación.

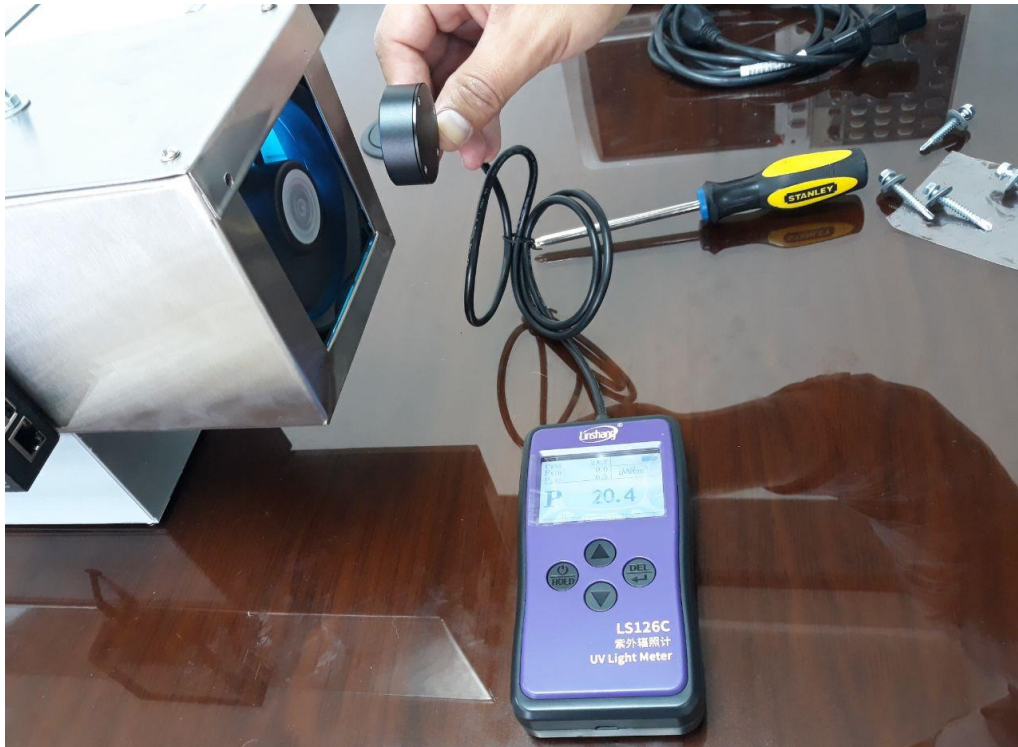
A.6.2 Medición externa de la intensidad de radiación del dispositivo



Medición en etapa de calentamiento (extremo de salida).



Medición en etapa de calentamiento (extremo de entrada).



Medición cercana en etapa de operación (extremo de entrada).



Medición lejana en etapa de operación (extremo de entrada).



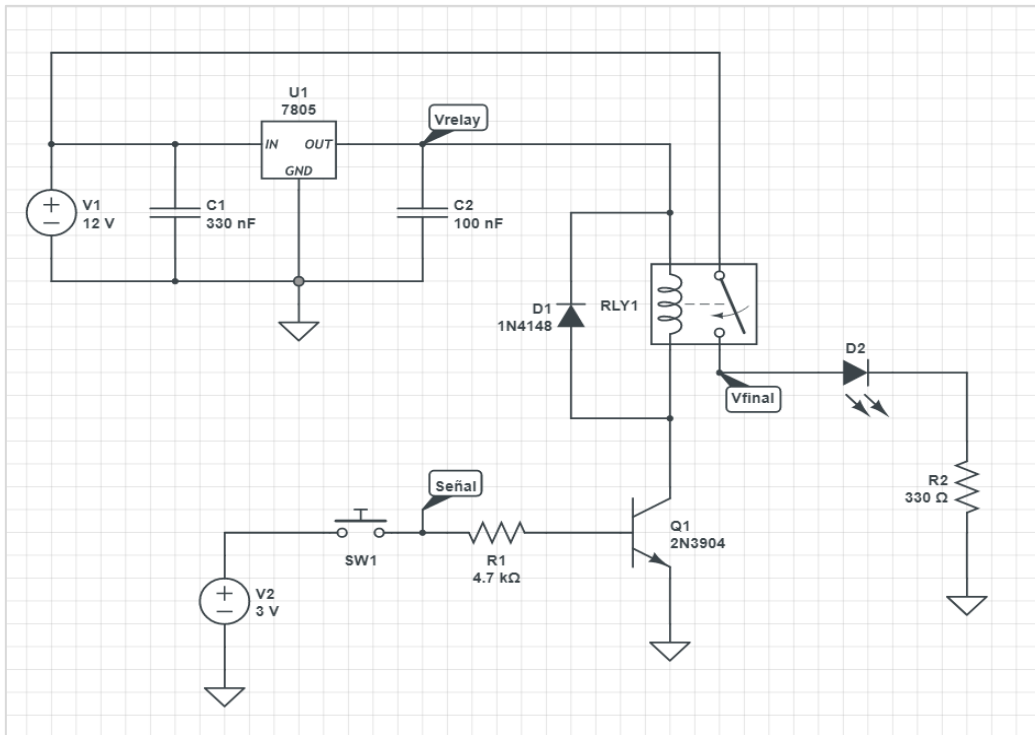
Medición de radiación en la zona frontal.



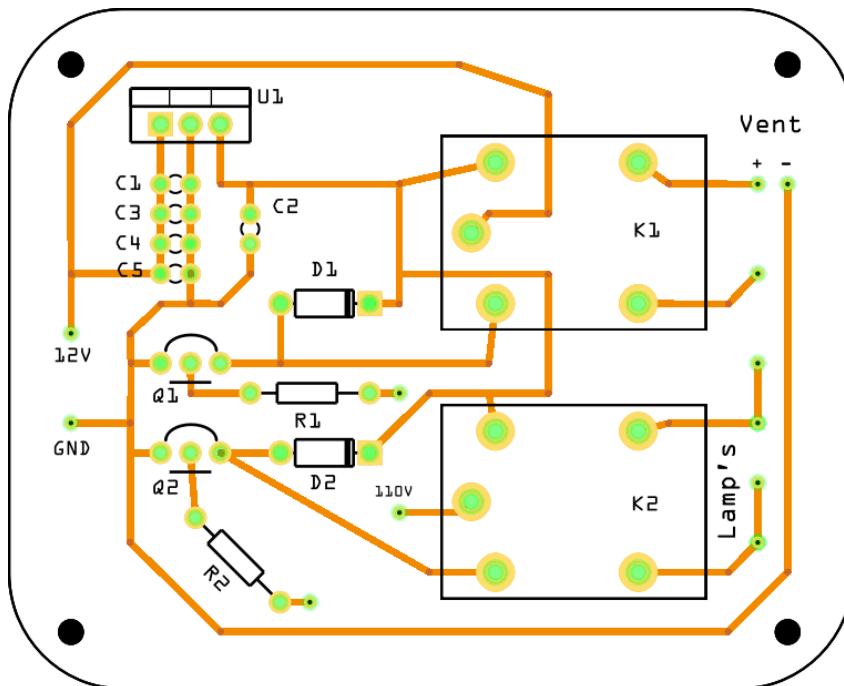
Medición de radiación en la zona posterior.

Anexo 7: Diseño del circuito de activación

A continuación, se muestra el esquema electrónico de activación para los componentes. El circuito se basa en un convertidor de nivel de 12 a 5 V, un relevador (relé) y un transistor para el cambio de estado de los elementos.



Esquema de diseño del circuito electrónico. Obtenido mediante CircuitLab.



Esquema de construcción del PCB del circuito. Obtenido mediante Fritzing.

Anexo 8: Código del programa de operación mediante GUI

```
from tkinter import ttk
from tkinter import*
from tkinter import messagebox
import threading
import RPi.GPIO as GPIO
import os

class Product:
    def __init__(self, window):
        self.raiz = window
        self.raiz.title('Purificador')
        GPIO.setwarnings(False)
        GPIO.setmode(GPIO.BOARD)
        GPIO.cleanup()

        self.puerto = (29, 31) #Pines utilizados como salida de activación
        self.pcontrol = 33 #Pin señal PWM

        freq = 1000 # Frecuencia de la señal PWM en Hz
        for port in self.puerto:
            GPIO.setup(port, GPIO.OUT)

        GPIO.setup(self.pcontrol, GPIO.OUT) #Define el pin PWM como salida
        self.control = GPIO.PWM(self.pcontrol, freq)
        def inicial(self):
            #-----Valores predeterminados-----
            self.ancho.set(str(self.d1)+" m")
            self.alto.set(str(self.d2)+" m")
            self.prof.set(str(self.d3)+" m")

        def tempo(self):
            self.per = 2 #Ajuste Temporal para pruebas
            self.rep = 1 #Ajuste Temporal para reposo
            temp = threading.Timer(0.985, self.tempo)

            if (self.sw == 1): #Estado ACTIVACION
                if (self.per != 0):
                    self.imprimir(0)
                if (self.m == 0) and (self.s == 0): #Inicio de operación
                    self.activacion(self.cont)
                    self.imprimir(1)
                    self.s = 1
                elif (self.m < self.per): #Contador de operación
                    if (self.s < 59):
                        self.s += 1
                    else:
                        self.m += 1
                        self.s = 0
                elif (self.m == self.per): #Contador de ciclos
```

```

        self.m = 0
        self.s = 0
        self.sw = 3 #Cambia a modo reposo

    if self.cont == 0 and self.m == 1: #Finalizar Calentamiento
        self.m = 0
        self.cont += 1
        temp.start()
    else:
        self.periodo.configure(state=NORMAL)
        self.voluc.configure(state=NORMAL)
if (self.sw == 3): #Estado REPOSO
    if (self.rep != 0):
        self.imprimir(0)
    if (self.m == 0) and (self.s == 0): #Inicio de conteo
        self.s = 1
        self.activacion(0)
    elif (self.m < self.rep): #Contador
        if (self.s < 59):
            self.s += 1
        else:
            self.m += 1
            self.s = 0
    elif (self.m == self.rep): #Evaluador de tiempo
        self.m = 0
        self.s = 0
        self.vent = 0
    if self.cont < self.np:
        self.sw = 1 #Cambio a modo activación
        self.cont += 1
    else:
        self.sw = 0 #Termina la operación
        temp.start()
elif (self.sw == 2): #Estado PAUSE
    temp.cancel()
    self.estado.set("---Pausa---")
    self.control.ChangeDutyCycle(0) #Apaga PWM
    for port in self.puerto:
        GPIO.output(port, GPIO.LOW)
elif (self.sw == 0): #Estado STOP
    if self.m != 0:
        self.hlamp += round(((self.cont*self.per)-(self.per-self.m))/60, 4)
    elif self.m == 0 and self.s == 0:
        self.hlamp += round((self.cont*self.per)/60,4)
    self.lamparas.set(str(int(self.hlamp))+ " hrs")
    temp.cancel()
    self.s = 0
    self.m = 0
    self.cont = 1
    self.control.stop() #Apaga PWM

```

```

        for port in self.puerto:
            GPIO.output(port, GPIO.LOW)

def activacion(self, v):
    if (v == 0):
        if(self.sw == 1):
            self.estado.set("Iniciando") #Calentamiento de las lámparas
            for port in self.puerto:
                GPIO.output(port, GPIO.LOW)
                GPIO.output(31, GPIO.HIGH)
        if (self.sw == 3): #Desactivación de componentes
            self.estado.set("Reposo")
            for port in self.puerto:
                GPIO.output(port, GPIO.LOW)
                self.control.ChangeDutyCycle(0)
        elif (v != 0): #Activación de componentes
            self.estado.set("Aplicación")
            for port in self.puerto:
                GPIO.output(port, GPIO.HIGH)
                self.control.ChangeDutyCycle(20)

def seleccion(self):
    self.per = (self.mod*15)+15 #Escoge el periodo de aplicación (40/50/60)min
    self.estado.set("---Configuración---")
    self.tiempo.set("T: "+ str(self.per)+"min | Vol: "+str(int(self.vol))+ "m3")

def btn_go(self):
    self.sw = 1
    self.calculo() #Calcular los periodos máximos a realizar
    self.control.start(0)
    self.tempo()

def btn_auto(self):
    self.tiempo.set("Modo Automático")
    if self.mod != 0 and self.mod != 3:
        if self.per == 30:
            self.np = 8
        elif self.per == 45:
            self.np = 6
        else:
            self.per = 60
    self.np = 5
    self.sw = 1
    self.proceso()
    self.control.start(0)
    self.tempo()

def calculo(self):
    if self.vol != 0 and self.per != 0:
        self.np = int(round(self.vol/(self.per*60*0.004217),0)) #Número de periodos

```

```

def modo(self): #Programa el tiempo de Periodo
    if (self.mod < 3):
        self.mod += 1
    else:
        self.mod = 1
    self.seleccion()
    self.inicio.configure(state=NORMAL)

def pause(self):
    if (self.sw != 0):
        if (self.sw == 1) or (self.sw == 3):
            self.sw = 2
            self.stop.configure(state=DISABLED)
        elif (self.sw == 2):
            self.sw = 1
            self.activacion(self.cont) #Continuar con el proceso previo
            self.stop.configure(state=NORMAL)
            self.tempo()

def btn_stop(self):
    self.estado.set("---Proceso Detenido---")
    self.sw = 0
    self.stand_by(0) #Setea botones

def btn_configurar(self):
    if self.d1 != 0 and self.d2 != 0 and self.d3 != 0:
        self.vol = self.d1*(self.d2-1)*self.d3
        self.config.configure(state=DISABLED)
        self.seleccion()
    else:
        messagebox.showwarning(message="Dimensiones Erroneas", title="Error")
        self.inicial()

def btn_apagar(self):
    self.estado.set("Apagando")
    self.tiempo.set("")
    os.system("sudo shutdown -h now")

def btn_ventvol(self):
    #llevar a la ventana de configuración
    self.raiz_v = Toplevel()
    self.raiz_v.title('Volumen')
    self.raiz_v.config(bg="#6B8DF2")

if __name__ == '__main__':
    window = Tk()
    aplicacion = Product(window)
    window.mainloop()

```

Anexo 9: Diseño de las Ventanas de la Interfaz gráfica

A.9.1 Ventana principal de la interfaz gráfica



A.9.2 Ventana emergente para establecer el volumen de desinfección



A.9.3 Ventana de información de operación y contador de horas de trabajo

INFORMACIÓN

T. Periodo:

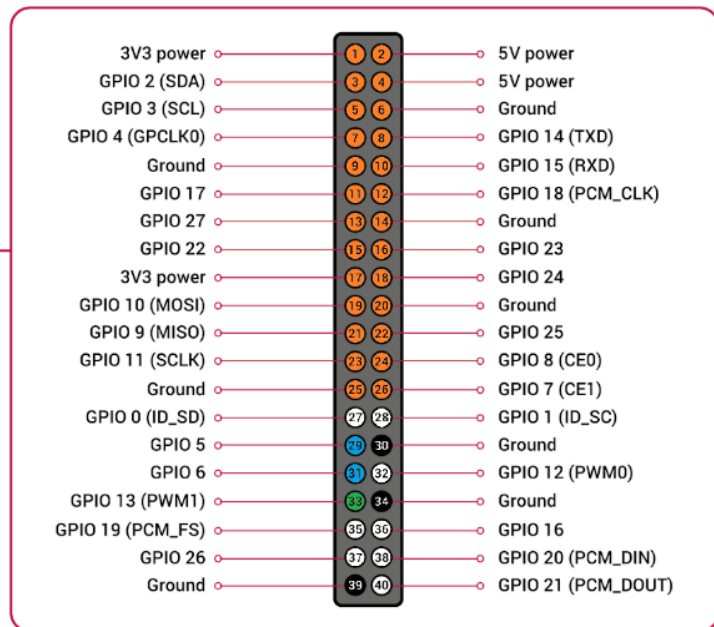
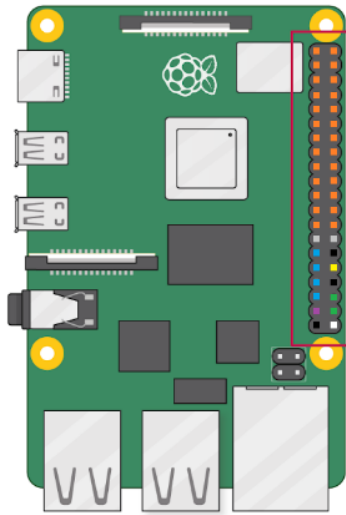
Periodo Actual:

H/Lámparas:

[VOLVER](#)



Anexo 10: Distribución de pines de la Raspberry Pi 3 B+



Distribución pines (?/40):

- 26 pines LCD (Pantalla 3.5")
- 2 pines de activación (lamps/vent)
- 1 pin de control (PWM)
- 3 pines GND
- _ pines libres

Anexo 11: Certificado de Traducción

English Speak Up Center

Nosotros "English Speak Up Center"

CERTIFICAMOS que

La traducción del documento adjunto solicitado por la señorita **Brandon Paúl Narvárez Cevallos** con cédula de ciudadanía número **1718413220** cuyo tema de investigación se titula: "**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE PURIFICADOR DE AIRE PARA INTERIORES, BASADO EN RADIACIÓN UV-C, COMO HERRAMIENTA DE PREVENCIÓN ANTE LA PROPAGACIÓN DEL SARS-COV-2**", ha sido realizada por el Centro Particular de Enseñanza de Idiomas "English Speak Up Center".

Esta es una traducción textual del documento adjunto, y el traductor es competente para realizar traducciones.

Loja, 3 de junio de 2022


Mg. Sc. Elizabeth Sánchez Bumeo

DIRECTORA ACADÉMICA

DIRECCION: SUCRE 707 48 ENTRE AZUAY Y MIGUEL RÍOFRÍO

TELF: 099 5263 264