



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

**TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN
MECATRÓNICA**

TEMA:

“Diseño de un robot controlado remotamente para la desinfección de espacios cerrados mediante la aplicación de rayos UVC”

AUTOR: Lenin Israel Caranqui Arévalo

DIRECTOR: Ing. Cosme Damián Mejía Echeverría, Msc.

IBARRA – ECUADOR



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte, se solicita no sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, ya que se encuentra en un proceso de registro de patente.

DATOS DEL AUTOR	
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1003739818-8
APELLIDOS Y NOMBRES:	Caranqui Arévalo Lenin Israel
DIRECCIÓN:	Río Aguarico 2-11 y Río Lita
EMAIL:	licaranquia@utn.edu.ec isra.caranqui3@gmail.com
TELÉFONO FIJO:	062 510 934
TELÉFONO MÓVIL:	+593 996 977 977
DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	“Diseño de un robot controlado remotamente para la desinfección de espacios cerrados mediante la aplicación de rayos UVC”
AUTOR:	Lenin Israel Caranqui Arévalo
FECHA (DD/MM/AAAA):	08/02/2022
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	Pregrado
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero en Mecatrónica
ASESOR/DIRECTOR:	Ing. Cosme Damián Mejía Echeverría, MSc.

Constancias

El autor manifiesta que la obra objeto de la presenta autorización es original y se la desarrolló, sin violar los derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de esta y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, 13 días del mes de julio de 2022.

EL AUTOR:

Caranqui Arévalo Lenin Israel

Certificación

Certifico que el trabajo de grado titulado “DISEÑO DE UN ROBOT CONTROLADO REMOTAMENTE PARA LA DESINFECCIÓN DE ESPACIOS CERRADOS MEDIANTE LA APLICACIÓN DE RAYOS UVC”, ha sido desarrollado en su totalidad por el señor: Caranqui Arévalo Lenin Israel portador de la cédula de identidad número: 1003739818; previo a la obtención del título de Ingeniería en Mecatrónica.



Firmado electrónicamente por:
COSME DAMIAN
MEJIA
ECHEVERRIA

Ing. Cosme Damián Mejía Echeverría, MSc.

Director del proyecto de titulación

Dedicatoria

A Dios, por haberme mantenido siempre en el camino del bien y cuidar cada uno de mis pasos a lo largo de mi formación profesional.

A mi familia, por haberme brindado desde niño, todo el amor, el tiempo y la dedicación necesarios para enfrentar los obstáculos de la vida.

A la memoria de mi tío Diego, que desde el cielo me cuida.

A la memoria de todas las personas que perdieron la batalla contra la covid-19.

Agradecimiento

A Dios por la sabiduría, la salud y la compañía en todos y cada uno de los momentos a lo largo de este tiempo, especialmente por no permitirme rendir ante las dificultades.

A mi padre Richard y mi madre Inés, ejemplos de vida, sabiduría y entrega. Por haber cuidado de mí y querer siempre lo mejor para mi futuro, que sepan que los llevo presentes en cada paso que doy.

A mi segunda madre, María, sinónimo de amor incondicional, esfuerzo y honradez. Gracias a su amparo y bondad jamás tuve ninguna carencia en mi vida.

A mis tíos, a cada uno de ellos, porque dentro de mí llevo una parte de todos. Siempre estaré en deuda por el amor, la generosidad y la paciencia que tuvieron hacia mí.

A mi compañera de vida, Alondra, por ser mi apoyo y recordarme en cada instante lo que soy capaz de lograr con esfuerzo y dedicación.

A mis maestros, porque supieron sembrar en mí el don de la ciencia, la pasión y la responsabilidad por entender el mundo que me rodea y poder mejorarlo.

A la Universidad Técnica del Norte, mi segundo hogar, por recibirme y brindarme la formación necesaria para mi vida profesional.

A todas aquellas personas que me dieron la mano durante los momentos difíciles.

A todos ellos, presento mis agradecimientos desde lo más profundo de mi ser.

Resumen

La actual crisis sanitaria que enfrenta el país ha causado estragos no solamente en el sistema de salud, sino que también ha tenido grandes repercusiones sociales y económicas, obligándose así a tomar medidas restrictivas que afectan la calidad de vida de las personas. Así pues, el objetivo de esta investigación es de diseñar, implementar y validar un prototipo de robot móvil sanitizador de aluminio en la cual se instalará un sistema de control previamente diseñado y probado, que permite su desplazamiento remoto y ayuda a brindar robustez, estabilidad y eficacia al funcionamiento del dispositivo.

Se pudo obtener resultados favorables ya que el funcionamiento del dispositivo permitió completar un proceso de desinfección completo de 17 minutos en un departamento de 90m² donde el riesgo de contagio es alto debido a la carga viral que los espacios con poca ventilación y alta afluencia de gente implica. Es necesario señalar que, al tratarse de un prototipo, la movilidad del dispositivo presenta pequeñas fluctuaciones debido a la adaptación entre los motores y las ruedas que fue implementada.

Palabras clave: luz ultravioleta/robot sanitizador/SARS-Cov2/inactivación bacteriana/UV

Abstract

The current health crisis facing the country has wreaked havoc not only on the health system, but has also had great social and economic repercussions, thus forcing it to take restrictive measures that affect people's quality of life. Thus, the objective of this research is to design, implement and validate a prototype mobile sanitizing robot.

For these reasons, a sanitizing robot prototype was manufactured whose structure is made of aluminum in which a previously designed and tested control system will be installed, which allows its remote displacement and helps to provide robustness, stability and efficiency to the operation of the device.

Favorable results could be obtained since the operation of the device allowed to demonstrate and corroborate the effect of ultraviolet light in closed places where the risk of contagion is high due to the viral load that spaces with little ventilation and high influx of people implies.

It is necessary to point out that, as it is a prototype, the mobility of the structure presents small fluctuations due to the motor-rim adaptation implemented.

Keywords: ultraviolet light/ sanitizing robot/ SARS-Cov2/ bacterial inactivation/ UVC

ÍNDICE GENERAL

Dedicatoria	IV
Agradecimiento	V
Resumen	VI
Abstract	VII
Introducción	1
Aspectos Generales	2
Problema.....	2
Objetivos	3
Objetivo General.....	3
Objetivos específicos	3
Alcance.....	3
Justificación.....	4
CAPÍTULO I	5
1. MARCO TEÓRICO Y REFERENCIAL	5
1.1 Marco Teórico	5
1.1.1 Métodos de desinfección UV	5
Generadores de Ozono mediante Radiación Ultravioleta	6
Lámparas de Radiación Ultravioleta tipo C.....	7
1.1.2 Fuentes de desinfección UV-C	8
Bombillas de Mercurio de Baja Presión.	8
Lámparas de Xenón Pulsado.....	9
1.1.3 Esterilización y desinfección.	10
Desinfección de alto nivel (DAN)	11
Desinfección de nivel intermedio (DNI).....	11
Desinfección de bajo nivel (DBN).....	11
1.1.4 Robots Móviles.....	11
1.1.5 Tarjetas de desarrollo Raspberry Pi.....	13
CAPÍTULO II	15
2. METODOLOGÍA.....	15
2.1 Materiales y métodos:	15
2.2 Diseño de la investigación:	16
2.3 Sistema de control:	16
2.3.2 Equipos de Comunicación inalámbrica y video	17

2.4 Diseño estructural y electrónico	18
2.4.1 Cálculos de elementos electrónicos	23
2.4.1.1 Cálculos para el sistema de alimentación por UPS y Batería	23
2.4.1.2 Cálculos para selección de motores de	23
2.4.2 Cálculos de elementos estructurales	25
2.4.2.1 Cálculos de esfuerzos y factor de seguridad.	25
2.4.2.2 Análisis estático asistido por computador.....	27
2.5 Costos y presupuesto	29
CAPÍTULO III.....	30
3. PRUEBAS Y RESULTADOS.....	30
3.1 Prueba de control de motores de corriente continua	30
3.2 Prueba de control de encendido y apagado de lámparas UV-C	32
3.3 Prueba de transmisión de video en vivo.....	33
3.4 Prueba de control de movimiento remoto	33
3.5 Parámetros de validación del prototipo.....	35
3.6 Resultados	38
CAPÍTULO IV.....	40
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	40
4.1 Conclusiones	40
4.2 Recomendaciones.....	41
Bibliografía	43
ANEXOS	45
Anexo 1: Código de programación	46
Anexo 2: Ruta de desinfección.....	50
Anexo 3: Software de Synertech para cálculo de dosis UV.....	52
Anexo 4: Planos mecánicos.....	54
Anexo 5: Planos eléctricos	63
Anexo 6: Flujograma de código de programación	66

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	17
Tabla 2	17
Tabla 3	20
Tabla 4	29

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	5
Figura 2	9
Figura 3	9
Figura 4	11
Figura 5	12
Figura 6	14
Figura 7	18
Figura 8	19
Figura 9	21
Figura 10	22
Figura 11	25
Figura 12	27
Figura 13	28
Figura 14	28
Figura 15	31
Figura 16	32
Figura 17	34
Figura 18	35
Figura 19	36
Figura 20	37
Figura 21	38

Introducción

El presente trabajo de investigación describe el desarrollo e implementación de un prototipo de robot sanitizador para la desinfección de espacios, mediante materiales de bajo coste y enfocado a la disminución de contagios de SARS-CoV2 en lugares concurridos y con poca ventilación.

El propósito de esta investigación es demostrar que el uso y la aplicación de criterios de ingeniería pueden ayudar significativamente a la disminución de contagios y de brindar la seguridad de llevar a cabo tareas cotidianas dentro de un espacio seguro cuyo riesgo de contagio sea mínimo.

El uso de sistemas microcontrolados accesibles y de fácil programación permiten el desarrollo de estos dispositivos con una gran variedad de aplicaciones las cuales pueden ser utilizadas de manera específica, dependiendo de las necesidades que se presenten y del enfoque requerido en la resolución de una problemática general.

Para la realización de este prototipo, se establecieron 3 sistemas de control que trabajan sincronizadamente a través de la unidad de procesamiento central (Raspberry Pi 4), mismos que fueron montados en una estructura de aluminio que permite llevar a cabo el proceso de desinfección de manera remota y con alta efectividad, validando su utilidad y viabilidad.

Aspectos Generales

Problema

La actual crisis sanitaria causada por el SARS Cov-2 ha provocado estragos tanto sociales como económicos a nivel global y las consecuencias de esto todavía se sienten con fuerza a pesar de que ya se han cumplido 1 año y 6 meses desde que se detectó el primer caso en el Ecuador.

El Ministerio de Salud Pública señala que en el Ecuador existen a fecha de hoy más de 707 mil casos confirmados y más de 24 mil muertes confirmadas por COVID-19. [5], estas cifras van en aumento cada día lo cual complica la situación sanitaria del país y obliga a los gobiernos locales a establecer limitaciones que afectan el aforo en espacios abiertos, cerrados y también la libre circulación.

El deficiente manejo del sistema de salud pública para enfrentar el virus y reducir los contagios ha sido evidente y por esta razón se han tomado medidas restrictivas que afectan la calidad de vida y la situación socioeconómica del país. [6]

Al no poder implementarse un método de sanitización altamente eficiente dentro de los lugares donde se encuentra una alta carga viral, los contagios seguirán en aumento debido a la aparición de nuevas variantes cuyos índices de contagio son superiores a las cepas antiguas, además de que la ciudadanía está retomando progresivamente sus actividades cotidianas y que existe una necesidad de reactivación económica. También, se ha implementado el retorno a clases presenciales en las diferentes unidades educativas de primaria, secundaria y superior.

El retorno progresivo a las actividades cotidianas genera aglomeraciones e implica mayor contacto entre personas, lo cual permite que se eleve la propagación del virus en dichos espacios y menor la capacidad para corroborar el cumplimiento de las medidas de bioseguridad y distanciamiento social.

Por esto es importante la implementación de un dispositivo que utilice una tecnología de desinfección UV eficaz para combatir la actual pandemia, puesto que varios autores afirman que la luz ultravioleta de tipo C a 254nm permite la destrucción del 99.99% de patógenos reduciendo significativamente la carga viral [2].

Objetivos

Objetivo General

- Desarrollar un prototipo de robot sanitizador mediante uso de rayos UV-C operado remotamente.

Objetivos específicos

- Evaluar la tecnología de desinfección de rayos UV-C orientado a eliminar el SARS-Cov2.
- Diseñar un sistema de sanitización de superficies por exposición de rayos ultravioleta de tipo C.
- Implementar el diseño seleccionado enfocado a la disminución de costos.
- Validar el prototipo de robot sanitizador.

Alcance

El presente trabajo de investigación propone el diseño de un prototipo de robot sanitizador a control remoto cuyo principio de desinfección sea el uso y la aplicación de rayos UV-C, que evite el contacto directo con seres humanos, el cual será puesto en operación en las diversas instalaciones de hospitales, centros de salud, aulas de clases y oficinas que requieran un nivel de desinfección profundo, una reducción en la carga viral y que existan limitantes en el uso de productos químicos.

El dispositivo ejecutará un código en Python mediante la terminal de Raspbian a través del escritorio remoto de VNC Viewer, la cual permitirá el control de movimiento, la transmisión de video y control de encendido y apagado de las lámparas UVC. Además, tendrá como premisa el uso de materiales de bajo coste en el mercado puesto que existen modelos desarrollados por gigantes tecnológicos cuyos precios de venta bordean los (USD)10.000. El tiempo de desarrollo y puesta en marcha del mismo será de 9 meses.

Justificación

La justificación para la presente investigación es de tipo tecnológica, puesto que propone un método diferente para frenar la propagación del COVID-19 en espacios donde la carga viral sea elevada, comúnmente en lugares que dispongan de poca o nula ventilación.

El uso de luces ultravioleta de tipo C es capaz de inhabilitar la replicación de agentes patógenos tales como virus, hongos y bacterias. Además, el método de desinfección que opera el prototipo de robot propuesto en este trabajo de investigación es amigable con el ambiente, ya que no promueve la utilización de productos químicos ni tampoco expone a las personas a que tengan contacto directo con superficies o medios contaminados o con una carga viral que ponga en riesgo su salud y la de los demás.

Así pues, se concluye que el desarrollo y la implementación de este prototipo representa un impacto social significativo, puesto que ayuda directamente a mitigar los estragos de la pandemia, que es una problemática de carácter global.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO Y REFERENCIAL

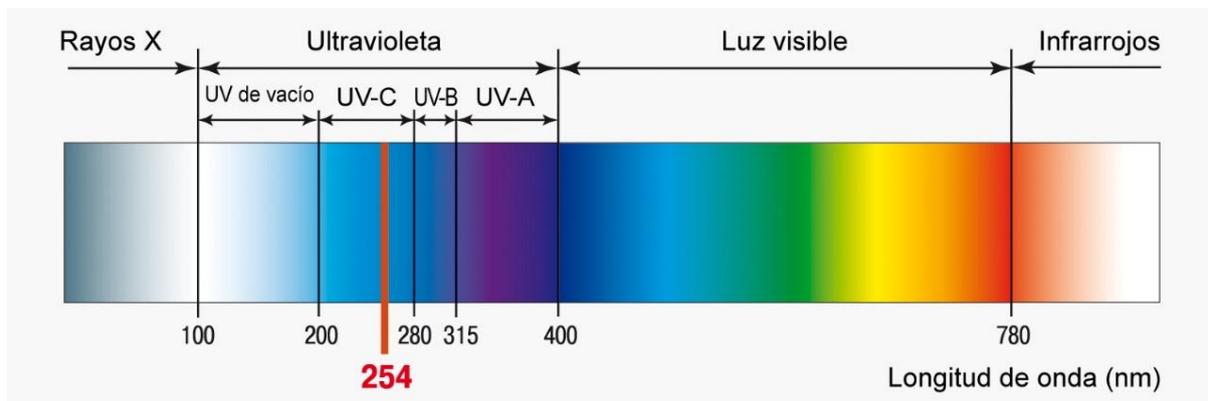
1.1 Marco Teórico

1.1.1 Métodos de desinfección UV

El uso de luz ultravioleta como método germicida está comprendido en el rango de longitud de onda entre 200-280 nm. En [5] se afirma que el uso de rayos UV-C es efectivo para inactivar varios tipos de coronavirus y, se ha establecido que aquellos rangos de entre los 200 a 220 nm a larga distancia son seguros para su uso en espacios públicos y poseen un efecto germicida aceptable.

Figura 1

Espectro de luz ultravioleta



Nota: El gráfico representa todo el espectro electromagnético de la luz en función de la longitud de onda. Tomado de *Influencia de la radiación solar en la salud de la piel de las personas* (p. 6), por Toledo, C., (<https://bit.ly/3rrWrX3>).

Sin embargo, no es en lo absoluto recomendable la exposición de rayos UV-C, en cualquiera de sus longitudes de onda, a los seres humanos debido al nivel de penetración y absorción de radiación ultravioleta que en las células epidérmicas y estructuras oculares ocurre.

En [5] se muestra que la vida media del SARS COv-2 en las superficies es de 1.1-1.2 horas en aerosoles, de 6.8 horas en plásticos, 5.6 horas en acero inoxidable, 1-2 horas en cobre y de 2-4 horas en cartón.

Dado que muchos de los instrumentos quirúrgicos y hospitalarios están fabricados en acero inoxidable, se presenta un gran riesgo en el hecho de que el SARS-COV2 tenga una vida prolongada en estas superficies, del mismo modo, la permanencia activa del virus en aerosoles es de 1 a 2 horas y, añadido este factor a una mala ventilación de los espacios con gran afluencia de personas, conlleva una alta concentración de carga viral lo que aumenta exponencialmente el riesgo de contagio.

Generadores de Ozono mediante Radiación Ultravioleta. La formación de ozono a través de radiación ultravioleta corresponde a uno de sus 4 intervalos de longitud de onda, siendo esta la comprendida entre los 100 y 200 nanómetros, denominada también como Luz Ultravioleta al Vacío (UV-V). [1]

Al exponer a una molécula de oxígeno común O₂ a los rayos ultravioleta de alta energía y baja longitud de onda, ésta se divide en 2 átomos de oxígeno simple, comúnmente denominado oxígeno atómico. [2]

Estos átomos desapareados buscan unirse a una molécula de oxígeno, dando paso así a la formación de una molécula de ozono O₃, no obstante, este método en cuestión también es capaz de destruir dicha molécula. [3]

Obtener o destruir la molécula de ozono a través de la radiación ultravioleta depende esencialmente de la longitud de onda de la fuente de rayos UV y, por consecuente, de su energía. Longitudes de onda corta de entre los 100 y 200 nanómetros son las que dan paso a la obtención de ozono, mientras que, desde los 240 hasta 315 nm lo destruyen. [2]

$$E = h * \frac{c}{\lambda} \quad (1)$$

Donde:

E= Energía

h= Constante de Planck

c= Velocidad de la luz

λ = Longitud de onda

Lámparas de Radiación Ultravioleta tipo C. La acción germicida producida por la luz ultravioleta es bien conocida y ha sido aprovechada desde la década de los 50, a pesar de que sus propiedades y sus primeras aplicaciones como bactericida datan desde 1910. [4]

Existe una clasificación general para identificar los tipos de radiación ultravioleta que existen, la cual se fundamenta en la longitud de onda que esta emite. [5]

UV-A (315-400 nm)

UV-B (280-315 nm)

UV-C (200-280 nm)

UV-V (100-200 nm)

No obstante, los agentes patógenos tales como virus y bacterias, muestran sensibilidad a la luz ultravioleta de tipo C, la cual está comprendida en una longitud de onda desde los 200 hasta 280 nm como se indica en su clasificación, siendo 254 nm el punto en el cual la luz UV-C alcanza su máxima efectividad como agente germicida. [6]

Esto es gracias a que, a dicha longitud de onda, la radiación ultravioleta de tipo C causa daños en el ADN y ARN de estos microorganismos, debido a que da paso a la formación de dímeros de pirimidina que pueden afectar la replicación de ADN, así como también, destruir

los ácidos nucleicos, lo que implicaría una inactivación del mecanismo de reproducción de los mismo. [7]

1.1.2 Fuentes de desinfección UV-C

Para obtener un efecto germicida es necesario conocer cómo se emite este tipo de radiación ultravioleta, así como también el espectro electromagnético de desinfección. [5]

Bombillas de Mercurio de Baja Presión. La formación de luz ultravioleta en las lámparas de vapor de mercurio está basada en el principio de luminiscencia obtenida por descarga eléctrica de mercurio gasificado. [8]

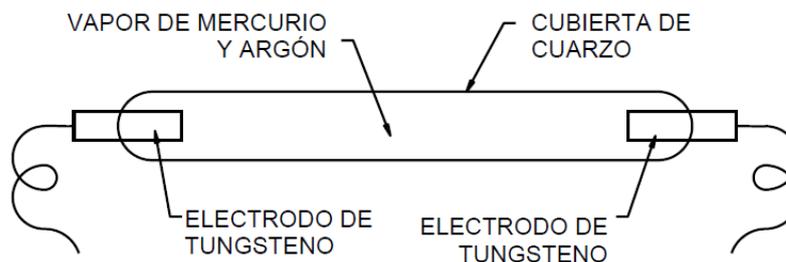
Cuando el vapor de mercurio se encuentra a bajas presiones, éste emite, casi en su totalidad, radiación ultravioleta con una longitud de onda de 253.7 nm, la cual es empleada para la inactivación genética de virus, bacterias y esporas. [5] [8]

Los elementos principales que conforman una lámpara típica de arco de mercurio son: un tubo de sílice vítrea o cuarzo herméticamente cerrado y sus respectivos electrodos ubicados en cada extremo. La lámpara emite radiación ultravioleta en el momento en que el vapor de mercurio, que se encuentra excitado por la descarga de argón, regresa a un nivel menor de energía. [16]

Así, por cuanto a las características de resistencia eléctrica negativa de las descargas de gas y, para un proceso de operabilidad estable de la lámpara, es necesario un balastro adecuado, el cual puede ser electromagnético o electrónico. [4]

Figura 2

Componentes de la lámpara

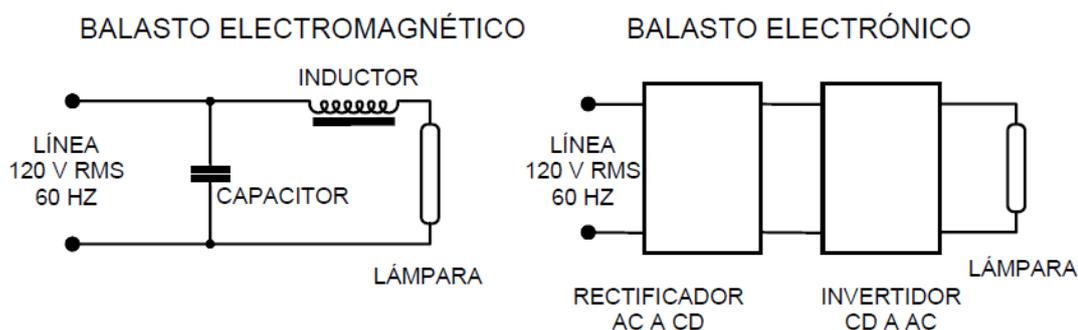


Nota: El gráfico representa el diagrama básico de los componentes de una lámpara de vapor de mercurio.

Adaptado de "Luz ultravioleta" (p. 4), por Wright, H. B. & Cairns W. L., 2016, Trojan Technologies Inc.

Figura 3

Tipos de balastro



Nota: El gráfico representa el esquema básico entre un balastro electrónico y uno electromagnético.

Adaptado de "Luz ultravioleta" (p. 4), por Wright, H. B. & Cairns W. L., 2016, Trojan Technologies Inc.

Lámparas de Xenón Pulsado. La tecnología de pulsos de luz (PL) se caracteriza por sus propiedades no-térmicas ya que está basada en la aplicación de pulsos o destellos sucesivos de luz de amplio espectro de emisión y alta energía que incide en la superficie sometida al proceso de desinfección. [9]

En [9] se afirma que, el espectro electromagnético de luz emitido en los pulsos se encuentra comprendido entre los 190 y 1000 nm (infrarrojo cercano), en consecuencia, existe una alta concentración de radiación ultravioleta.

Así, aproximadamente el 20% de la emisión de luz UV corresponde al espectro UV-C (200-280 nm), seguido de un 12% del tipo UV-A (320-400nm) y solamente un 8% del tipo UV-B (280-320 nm) que, además, también se encuentran caracterizados por la corta duración de los pulsos que varían desde los 100 a 350 us. [10] [11]

Los equipos de luz pulsada están compuestos generalmente por una o varias lámparas de xenón, un módulo de control y sus respectivos conmutadores de alto voltaje. Así, para emitir cada pulso de luz, la energía eléctrica es acumulada en un concentrador y de este modo se magnifica la potencia, la cual es liberada rápidamente por la lámpara de xenón y así se emite un flash de luz intenso, mismo que se propaga en todas direcciones [9]. El efecto germicida de esta tecnología de xenón pulsado sigue el mismo principio de inactivación genética ya descrito en el uso de bombillas de mercurio a baja presión, pero con ligeras variaciones en la eficiencia del mismo debido a la variada concentración de rayos UV-A, UV-B y UV-C expuestos por la lámpara y, en consecuencia, de la diferencia en la longitud de onda que cada una de estas sub clasificaciones emite.

1.1.3 Esterilización y desinfección.

La desinfección es la agrupación de medidas y métodos destinados a eliminar o destruir agentes infecciosos causantes de enfermedades y que están depositados en el medio ambiente. Es una medida que se implementa para modificar las condiciones ambientales e interrumpir la contaminación microbiana de espacios específicos, ayudando a la preservación de la salud de las personas. [12]

Figura 4

Producto de desinfección



Nota: Adaptado de *Desinfección en la pandemia* (Fotografía), por Higiene ambiental, 2021, (higieneambiental.com).

En [13] se indica que, de acuerdo al efecto microbicida de los agentes químicos sobre organismos, los niveles de desinfección pueden ser:

Desinfección de alto nivel (DAN). Es llevada a cabo mediante el uso de agentes químicos los cuales eliminan todos los microorganismos, como ejemplos se tiene al peróxido de hidrogeno y al ácido peracético.

Desinfección de nivel intermedio (DNI). Es realizada utilizando agentes químicos, mismos que eliminan bacterias vegetativas, virus y algunas esporas. En este nivel podemos encontrar al alcohol antiséptico, hipoclorito de sodio, amonio cuaternario, etc.

Desinfección de bajo nivel (DBN). Se efectúa por agentes químicos tales que son capaces de eliminar bacterias vegetativas como hongos y algunos virus en cortos periodos de tiempo. Un ejemplo común es el cloruro de benzalconio.

1.1.4 Robots Móviles

Los robots móviles en la actualidad representan un campo de la tecnología dedicado a mejorar la calidad de vida de las personas con sus diversas aplicaciones, sean estas simples o complejas.

*Figura 5**Brazo robótico*

Nota: *Adaptado de Who Will be responsible for Robot Errors?* (Fotografía), por Qrius, 2021, (qrius.com).

Existe una clasificación general para referirse a los tipos de robots móviles, los cuales son: Teleoperados y autónomos. El objetivo de esta investigación está centrado en diseño e implementación de un robot que se apega a las características de “teleoperados”, por tanto, solo se estudiará esta clasificación.

Según [14], sostiene que los sistemas teleoperados pueden clasificarse como sistemas manipulados o sistemas vehículos. Es decir, son sistemas que se mueven por mando en su ambiente, y que son usados sólo para navegar o moverse sobre su espacio individual respectivamente.

De este modo podemos deducir en pocas palabras que la robótica está enfocada a estudiar aquellos sistemas que están controlados por un computador y que a su vez sean capaces de interactuar, mediante su sensorica, con el entorno y así poder efectuar una determinada acción.

“Como aplicación especial y campo posible de investigación cabe destacar que los robots teleoperados son empleados en situaciones que implican peligro para los seres humanos” [14].

Por tanto, dentro del contexto de la investigación, al estar operando en condiciones de exposición a radiación ultravioleta se encuentra que este tipo de robots son adecuados para desempeñar la labor de desinfección remota, de hecho, homológicamente, una de las primeras aplicaciones de los robots móviles fue precisamente la limpieza.

También en [14], se detalla que la potencialidad estructural de ejecutar tareas diversas y/o ejecutar una misma tarea de forma diversa, lo cual implica una estructura mecánica de geometría variable, se entiende como versatilidad.

Además, existe un segundo parámetro que permite caracterizar a un robot, y es la autoadaptabilidad, que no es más que la capacidad de que este pueda realizar una tarea especificada incluso en presencia de perturbaciones del entorno valiéndose del uso de su sensorica. “Un robot operacional está constituido por cuatro sistemas relacionados entre sí: mecánico, sensorico, control y alimentación” [15].

1.1.5 Tarjetas de desarrollo Raspberry Pi

La Raspberry Pi es descrita como un ordenador funcional de dimensiones reducidas y costos accesibles, la cual permite crear una infinidad de proyectos de tipo caseros, comerciales y educativos, así como también realizar tareas cotidianas como navegación, juegos, consumo de contenido multimedia, etc. [19] [20]

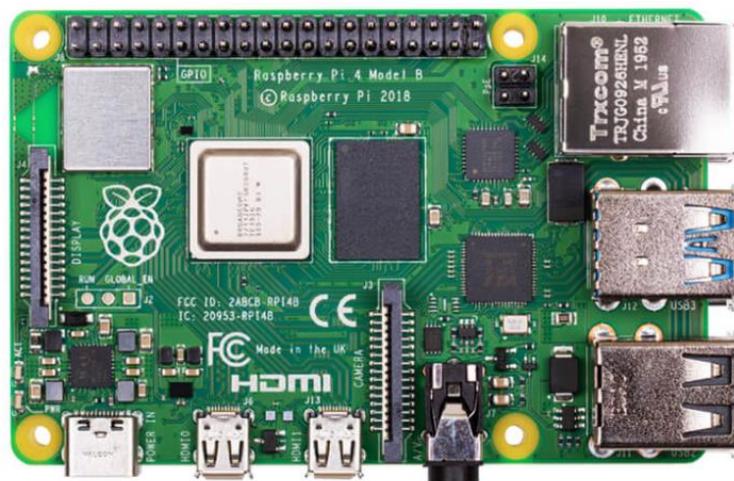
Raspberry Pi usa un sistema operativo llamado Raspberry Pi OS, anteriormente Raspbian, el cual es una distribución de Linux conocido como Debian. Todo esto con el fin de brindar apoyo académico a estudiantes que buscan una formación en el ámbito del desarrollo de software. [20]

Los elementos principales que componen una tarjeta de desarrollo Raspberry Pi son los siguientes:

- CPU (También conocido como system-on-chip) el cual está integrado junto con la GPU
- Memoria RAM
- Módulo de comunicaciones inalámbricas (Wi-Fi y Bluetooth)
- Módulo de gestión energética (PMIC)
- Puertos USB (2.0 y 3.0)
- Puerto Ethernet
- Conector AV de 3.5 mm
- Puerto para cámara (CSI)
- Puerto HDMI
- Puerto micro USB tipo C
- Puerto de conexión para pantalla (DSI)
- Tablero de pines GPIO

Figura 6

Raspberry Pi 4 Modelo B



Nota: Adaptado de *Electro store* (Fotografía), por *Electrostore*, 2019, (grupoelectrostore.com)

CAPÍTULO II

2. METODOLOGÍA

El presente trabajo de titulación corresponde a una investigación aplicada, debido a que establece una opción viable en la resolución de problemas relacionados con el contagio del SARS-CoV2 utilizando un método alternativo y eficaz mediante el control de un dispositivo móvil emisor de rayos ultravioleta de tipo C, que reduce la carga viral en espacios cerrados y disminuye la probabilidad de contagio por aerosoles. Lo cual enfoca a esta investigación como aplicada tecnológica.

2.1 Materiales y métodos:

Para la fabricación de la estructura del robot móvil se utilizó:

- Perfil de aluminio de 1 ¼"
- Paneles de aluminio compuesto
- Tensor de aluminio
- Conexiones internas tipo L

Para el sistema de control del robot móvil se utilizó:

- Raspberry Pi 4 Modelo B
- Driver L298N
- Módulo de 4 relés
- UPS
- Batería 12V
- 2 motores de 12V con caja reductora

Para el montaje del sistema de control en la estructura:

- Tornillos FDS3

- Taladro
- Amoladora
- Destornilladores plano y estrella
- Llave inglesa
- Martillo
- Remaches ¼"

2.2 Diseño de la investigación:

Se desarrolló el estado del arte de la situación actual en relación a los métodos que se están utilizando a nivel mundial para enfrentar la crisis sanitaria causada por el SARS-CoV2, basado en artículos científicos, patentes y revistas de investigación.

Del mismo modo, se identificaron las características de los distintos tipos de fuentes de luz ultravioleta y se determinó el tipo de luz ultravioleta adecuado (UVC) cuyas características de efecto germicidas son de mayor efecto en comparación a los demás tipos existentes (UVA, UVB, UVV).

En consecuencia, para la implementación del mecanismo de desinfección del dispositivo, se seleccionó la tecnología de emisión de luz ultravioleta mediante lámparas vapor de mercurio a baja presión, misma que emite luz ultravioleta de tipo C a 253.7 nm, longitud de onda óptima para la inactivación del mecanismo de reproducción de organismos patógenos y reducir la carga viral en un 99.99% de las áreas expuestas a la fuente de rayos ultravioleta, utilizando lámparas comerciales de 30 Watts de potencia a 120V en corriente alterna.

2.3 Sistema de control:

Para el desarrollo del sistema de sanitización como tal, se estableció el uso de la tarjeta de desarrollo Raspberry Pi 4 Modelo B debido a la estabilidad que se busca en cuanto a comunicación inalámbrica de señales y transmisión de video en vivo, además de la versatilidad que ofrece el lenguaje de programación Python y la amplia variedad de entornos de desarrollo

que este ofrece. Dentro de la unidad de procesamiento central se encuentran las funciones de control para el driver L298N, la emisión de señales mediante red Wifi, la transmisión de video y el monitoreo del funcionamiento de las lámparas UV.

Tabla 1

Componentes del Sistema de control

Elemento	Tipo
Unidad de procesamiento	Microcontrolador
	Controlador de motores dc
Actuadores y sensores	Motores dc
	Cámara de video
	Relevadores

Nota: Esta tabla muestra una clasificación general de los elementos que componen el sistema de control.

2.3.2 Equipos de Comunicación inalámbrica y video

Tabla 2

Tecnologías de comunicación inalámbrica

Parámetro	Wi-Fi	Bluetooth	Radio Frecuencia
Banda en que opera	2,4-5 GHz	2,4 GHz	2,4 GHz
Rangos de cobertura	<100 m	10m.	90m.
Topología	Malla	Picored	Punto a punto
Velocidad de datos	54 Mbps	2Mbps	Enlace directo
Consumo energético	400mA	40mA	≤ 150mA

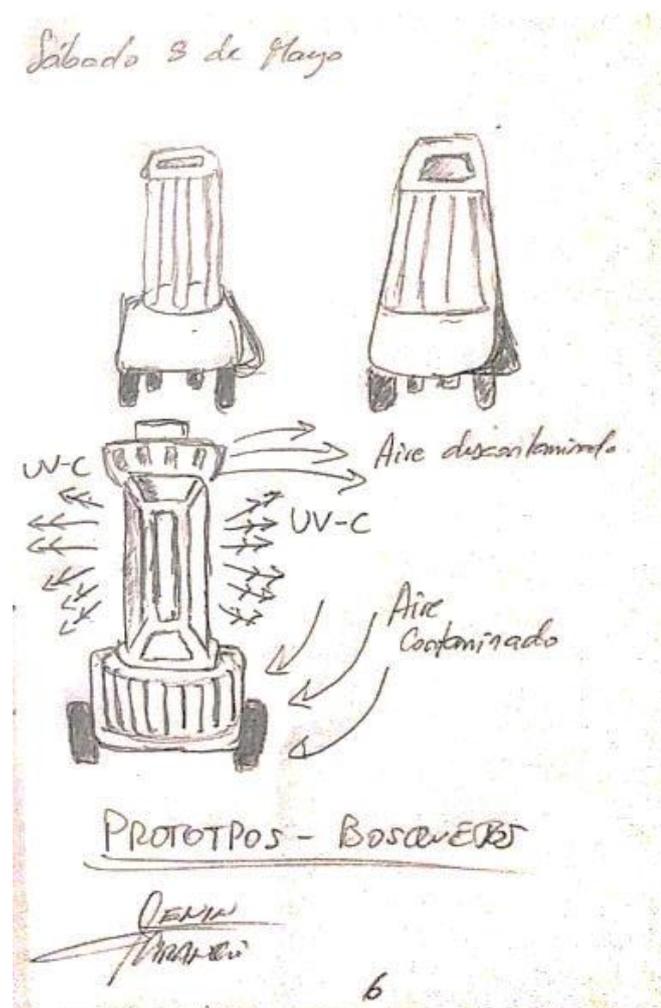
Nota: Esta tabla representa los diferentes parámetros que se establecen en una comunicación inalámbrica y las diferentes tecnologías que se pueden utilizar.

2.4 Diseño estructural y electrónico

En cuanto al diseño de la estructura que va a albergar el sistema de control y brindar la robustez para proteger estos elementos, se utilizó el software de modelamiento Solid Works®, el cual permitió obtener una representación tridimensional del prototipo de robot sanitizador; su estructura, su recubrimiento, la disposición de espacios mismos que albergaran los diferentes sistemas y, además, brindar un apoyo visual de la apariencia final del dispositivo. Previo a la realización del modelo tridimensional, se realizaron diferentes artes conceptuales del dispositivo para poder establecer el modelo óptimo tanto para el desempeño funcional como en la optimización económica.

Figura 7

Primeras artes conceptuales del robot sanitizador



En la Figura #7, se pueden contemplar los primeros bosquejos del prototipo de robot sanitizador, mismos que presentaban características físicas y funcionales diferentes que las que ofrece el diseño final seleccionado, ya que se pretendía abarcar de manera amplia las propiedades sanitizadoras de la luz ultravioleta, así como también dotar de inteligencia artificial al prototipo para una movilidad autónoma y reconocimiento de espacios y objetos tridimensionales. Todo esto con la intención de presentar un prototipo apto para ser usado específicamente en aplicaciones dentro del área de salud.

Figura 8

Arte conceptual



En la figura #8, se observa un modelo más estilizado del prototipo de robot sanitizador, cuyas características funcionales fueron reenfocadas a espacios generales y se perfilaba como una posible opción para entrar a la etapa de diseño.

Sin embargo, las geometrías del diseño suponían técnicas de manufactura más complejas que implicaban el aumento de los costos de fabricación y del tiempo de ejecución y obtención de las piezas a razón de toda la ingeniería de detalle que le correspondía.

Tabla 3

Análisis de propuestas

	Método de control	Tipo de Comunicación	Autonomía energética	Método de desinfección	Velocidad nominal	Costos de fabricación
Propuesta 1	Algoritmos de inteligencia artificial	Radio-frecuencia	<10 min mediante batería de gel 12V*20Ah	3 lámparas UVC para exposición directa y sistema de purificación de aire.	15cm/s	1000 USD aproximados.
Propuesta 2	Algoritmos de inteligencia artificial	Radio-frecuencia	<15 min mediante batería de gel 12V*18Ah	2 lámparas UVC para exposición directa y sistema de purificación de aire	15cm/s	1200 USD aproximados.
Modelo Final	Control manual por computador	Wi-Fi	17 min mediante UPS de 500W	4 lámparas UVC para exposición de superficies directa.	10cm/s	721.71 USD Fijos.

Nota: En esta tabla se muestra un breve análisis cualitativo de las diferentes propuestas de robot sanitizador incluido el modelo final utilizado para esta investigación.

En este contexto, después de analizar los diferentes artes conceptuales; la complejidad en el desarrollo de la propuesta, las prestaciones físicas, los costos de fabricación, así como también las características técnicas estimadas, se estableció el modelo final de robot sanitizador que se puede observar en la figura #9, el cual se encuentra representado en su vista isométrica.

Figura 9

Vista Isométrica del modelo 3D

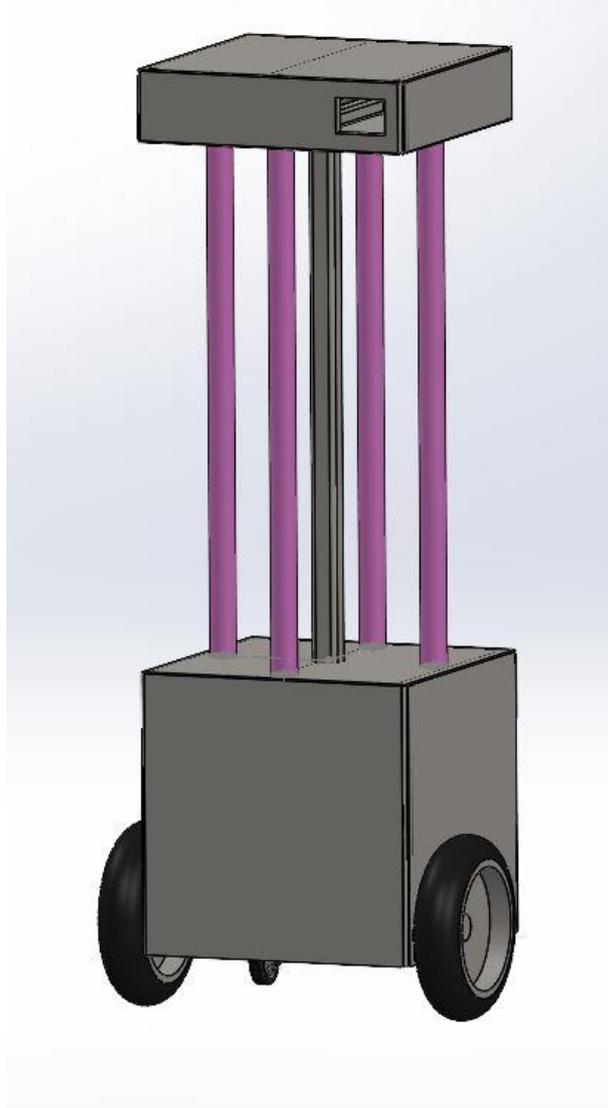


Figura 10

Vista isométrica de la estructura del robot sanitizador



En la figura #10, se detalla el diseño estructural en el cual están montados los elementos que componen el prototipo de robot sanitizador. Toda la estructura es de aluminio negro en perfil cuadrado de 1 1/4" y para el recubrimiento se utilizó láminas de aluminio compuesto. Los diferentes acoples y conexiones del miembro estructural están hechos en su mayoría con conexiones internas tipo L y remaches. Los planos de la estructura se encuentran en la sección de anexos.

En la parte externa, los paneles de aluminio compuesto están fijados a la estructura mediante tornillos de una pulgada, para facilitar su extracción en caso de requerir modificaciones internas del prototipo de robot sanitizador.

2.4.1 Cálculos de elementos electrónicos

Así, se realizaron cálculos tanto para el sistema de alimentación como para la selección de los motores que utiliza el prototipo para su movilidad.

2.4.1.1 Cálculos para el sistema de alimentación por UPS y Batería

Se determina la potencia de cada elemento y se realiza la sumatoria de las mismas:

$$Potencia_{Total} = \sum Potencias_{UPS} + \sum Potencias_{batería}$$

Así:

1 fuente de alimentación Raspberry Pi 4: 16 Watts

4 lámparas UV-C: 120 Watts

$$Potencia_{UPS} = 136 \text{ Watts}$$

1 controlador L298N: 25 Watts

2 motores dc: 6 Watts

$$Potencia_{Bat} = 31 \text{ Watts}$$

Por tanto,

$$Potencia_{Total} = 167 \text{ Watts}$$

Agregando un factor de seguridad de 1.5 para la UPS se tiene que:

$$\begin{aligned} Potencia_{Total\ UPS} &= 136 \text{ Watts} * 1.5 \\ &= 204 \text{ Watts} \end{aligned}$$

2.4.1.2 Cálculos para selección de motores dc

Para determinar el par motor necesario, se parte por la ecuación de la 2da Ley de Newton:

$$F = ma$$

Reescribiendo,

$$F = m \frac{dv}{dt}$$

Resolviendo la ecuación diferencial para F,

$$F \int_0^t dt = m \int_0^v dv$$

Así:

$$F * t = mv$$

Ó,

$$F = \frac{mv}{t}$$

Introduciendo los datos

$$F = \frac{30kg * 0.1m/s}{2s}$$

$$F = 1.5 N$$

Al ser 2 motores, la fuerza se divide para 2,

$$F = 0.75N$$

Se procede a calcular el par motor:

$$\tau = F * r$$

$$\tau = 0.75N * 0.063m$$

Así,

$$\tau = 0.047 Nm$$

$$\tau = 4.7 Ncm$$

Con estos datos, y para el suministro de energía del dispositivo, se seleccionó una fuente de poder ininterrumpida (UPS) de 500 Watts de potencia, la cual ofrece una autonomía de 17

minutos, suficiente para llevar a cabo un proceso de desinfección completo. Del mismo modo, utilizando los datos teóricos, se seleccionó un tipo de motor de corriente continua de 3 Watts de potencia y $3\text{N}\cdot\text{cm}$ de torque que se aprecia en la figura #11, el cual es ideal para proporcionar la movilidad del prototipo en superficies planas. Es necesario señalar que se utilizaron 2 motores, uno en cada rueda delantera.

Figura 11

Motor de C con caja reductora



2.4.2 Cálculos de elementos estructurales

Mediante la aplicación de la teoría de columnas cargadas excéntricamente, se determinó una característica fundamental en el diseño estructural, denominada “factor de seguridad”, que es la relación entre el esfuerzo de compresión máximo y el esfuerzo permisible.

2.4.2.1 Cálculos de esfuerzos y factor de seguridad.

Para la determinación de los esfuerzos y por las propiedades físicas y geométricas establecidas por el material (Aluminio 1373) del presente diseño, se tiene que:

$$P = 53.95 \text{ N}$$

$$A = 2.16 * 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$e = 0.212 \text{ m}$$

$$c = 0.0158 \text{ m}$$

$$Le = 2.224 \text{ m}$$

$$k = 0.0122 \text{ m}$$

$$E = 71.7 \text{ Gpa}$$

Utilizando la fórmula de la secante para columnas con carga excéntrica:

$$\sigma_{max} = \frac{P}{A} \left[1 + \frac{e * c}{k^2} * \sec \left(\frac{1}{2} \sqrt{\frac{P}{EA}} * \frac{Le}{r} \right) \right]$$

$$\sigma_{max} = 5.95 \text{ MPa}$$

Y,

$$\sigma_{perm} = \frac{P}{A}$$

$$\sigma_{perm} = 0.25 \text{ MPa}$$

Así, el factor de seguridad N está dado por:

$$N = \frac{\sigma_{max}}{\sigma_{perm}}$$

$$N = 23.8$$

Lo que significa que el diseño de estructura seleccionado es capaz de soportar 23.8 veces la carga actual aplicada.

2.4.2.2 Análisis estático asistido por computador

Para el respaldo de los cálculos realizados previamente, se dispuso someter al modelo estructural tridimensional, a un análisis estático realizado en el software SolidWorks®, con el fin de observar algunos efectos de la carga (P) sobre la estructura y así corroborar de manera alterna el cálculo del factor de seguridad (N).

Figura 12.

Tensión de vonMises

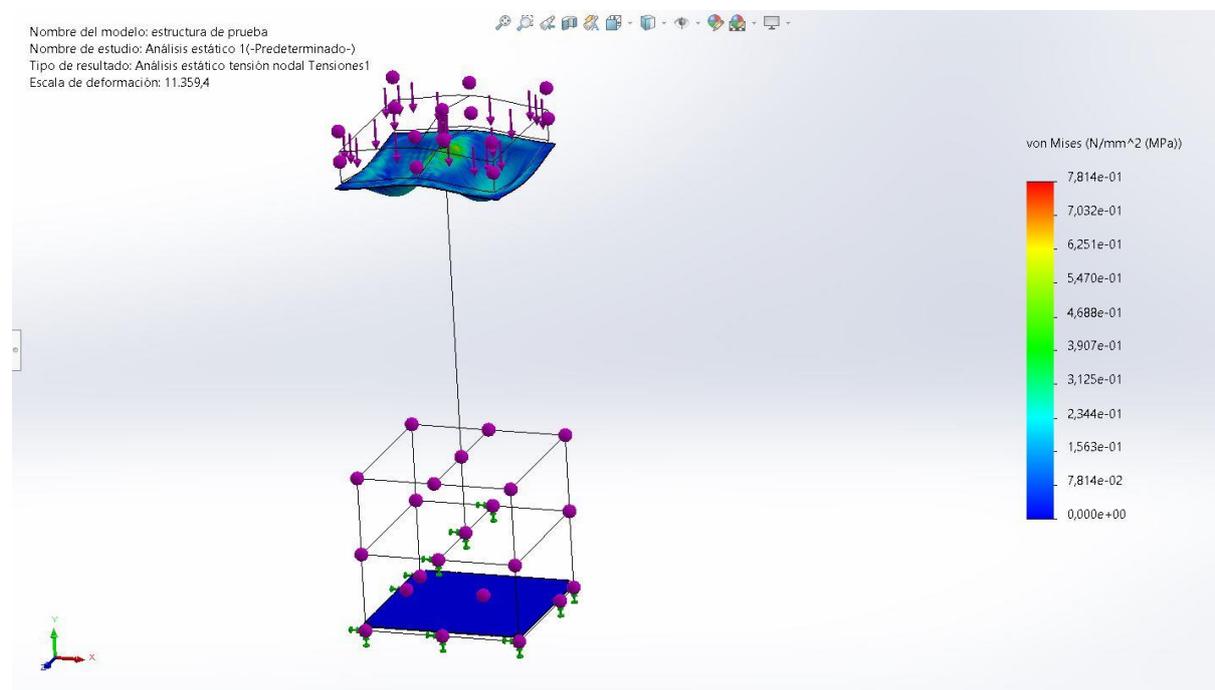


Figura 13

Desplazamientos unitarios

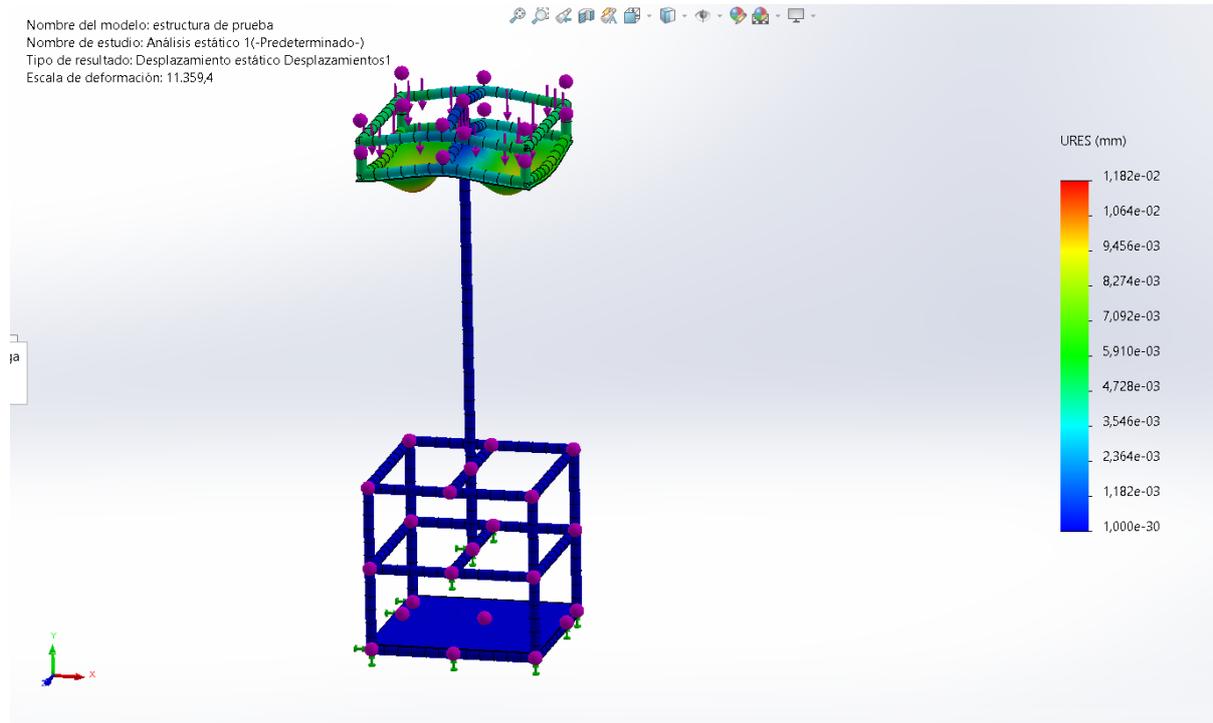
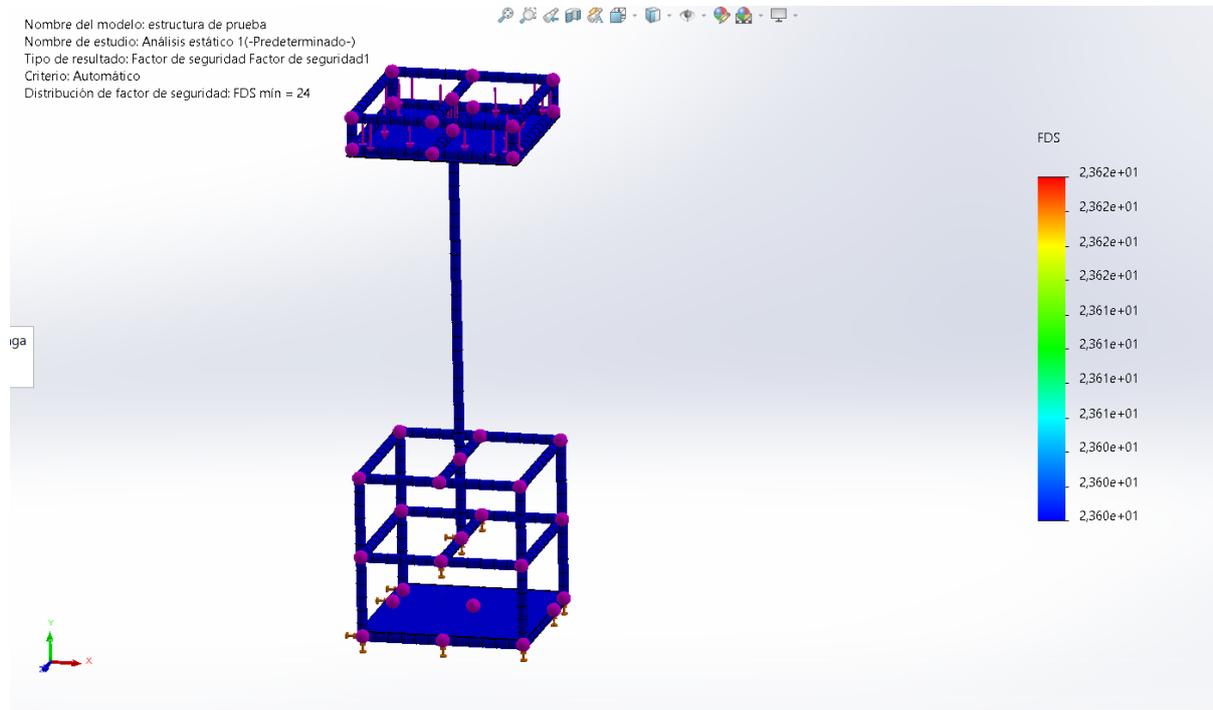


Figura 14

Factor de seguridad



2.5 Costos y presupuesto

Para la implementación del prototipo de robot sanitizador, se estimó un presupuesto inicial de 650 USD, sin embargo, debido a los cambios económicos suscitados en el país, los costos en ciertas materias primas experimentaron un aumento en los precios de venta al público. Por este motivo, el precio final del proyecto se estableció en 721,71 USD.

Durante el desarrollo y la implementación del prototipo, se realizaron pruebas con elementos eléctricos y electrónicos que presentaron dificultades para realizar la sincronización de los sistemas en su totalidad para el correcto funcionamiento del dispositivo. Estos gastos no están estipulados en la hoja de costos del proyecto.

Tabla 4

Costos del proyecto

ITEM	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO PARCIAL
Raspberry Pi 4 Modelo B	1	\$ 120.00	\$ 120.00
Lámpara UV-C	4	\$ 30.00	\$ 120.00
Controlador L298N	1	\$ 7.00	\$ 7.00
Módulo relé 4 canales	1	\$ 4.50	\$ 4.50
Cámara USB	1	\$ 55.00	\$ 55.00
Motor con caja reductora	2	\$ 14.80	\$ 29.60
UPS	1	\$ 55.00	\$ 55.00
Batería 12V	1	\$ 25.00	\$ 25.00
Estructura de Aluminio	1	\$ 230.00	\$ 230.00
Llantas	2	\$ 5.00	\$ 10.00
		Sub total	\$ 656.10
		Extras (10%)	\$ 65.61
		TOTAL	\$ 721.71

Nota: Esta tabla muestra en detalle todos los elementos utilizados en el proyecto y el costo de adquisición en el mercado incluido el IVA.

CAPÍTULO III

3. PRUEBAS Y RESULTADOS

3.1 Prueba de control de motores de corriente continua

Para testear el correcto funcionamiento de los motores de corriente continua utilizados en el prototipo es necesario realizar las conexiones respectivas tanto en el módulo L298N como en la Raspberry Pi 4 Modelo B, además, el desarrollo e implementación de un código de programación en lenguaje Python, dentro de la IDE Thonny Python y ejecutada en la terminal de Raspbian.

Una vez realizadas las conexiones, depurado el código y listo para su ejecución, se procede a abrir la terminal de Raspbian y ejecutar los siguientes comandos:

- `cd Documents` (Cambia el directorio a la carpeta Documentos)
- `dir` (Se direcciona a esa carpeta y muestra los archivos contenidos)
- `python Robot.py` (Ejecuta el código con el nombre del archivo .py deseado)

Después, se deben pulsar las teclas establecidas para controlar el movimiento de los motores: W (adelante), S (atrás), A (izquierda) y D (derecha); y comprobar que las direcciones de giro de los mismos estén acordes con la dirección de la tecla pulsada.

Figura 15

Prototipo de Robot Sanitizador ejecutando desinfección

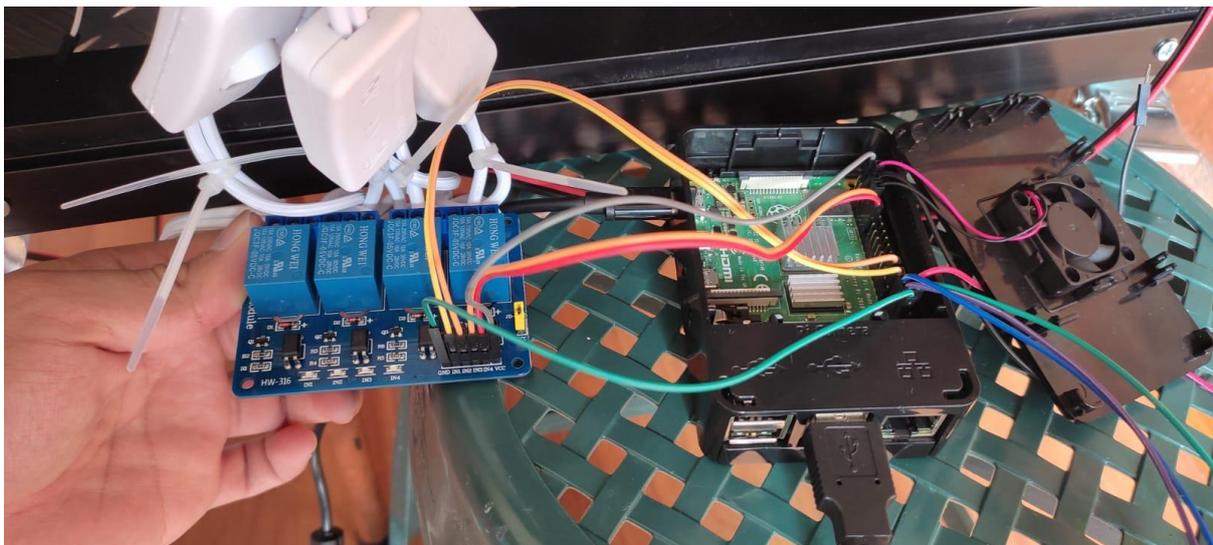


3.2 Prueba de control de encendido y apagado de lámparas UV-C

En el control de encendido y apagado de las lámparas UV-C es necesario un elemento electromecánico llamado relé o relevador, el cual, mediante la señal enviada desde un pin GPIO de la Raspberry, va a cambiar el estado del relé permitiendo el paso de corriente alterna (120V). Dicha señal está controlada mediante un segmento del código general que controla tanto el movimiento de los motores dc como la señal que enciende o apaga las lámparas UV-C por lo que no es necesario abrir otra ventana de la terminal de Raspbian para ejecutarlo, facilitando así su uso y optimizando recursos de procesamiento de la Raspberry.

Figura 16

Control de lámparas UV



Este segmento de código establece un nivel de salida alto o HIGH en su respectivo pin GPIO, activando o desactivando la etapa de potencia del relé.

Para esto, es necesario utilizar un módulo de relés de 4 canales, ya que son 4 las lámparas que se va a controlar, por ende, hay que realizar correctamente las conexiones en las terminales de salida del módulo de relés, ya que el estado inicial de las lámparas es “apagado” y el estado en activación es “encendido”. Esto se consigue identificando correctamente los pines: Normalmente Abierto, Normalmente Cerrado y Común del módulo de relés.

3.3 Prueba de transmisión de video en vivo

La transmisión de video en vivo del dispositivo móvil requiere esencialmente de una cámara USB estándar que soporte características de streaming y que posea el protocolo de controlador libre USB video class (UVC).

Al igual que el control de movimiento, encendido y apagado de lámparas, es necesario inicializar otra ventana de la terminal de Raspbian de manera simultánea en la cual se debe ejecutar una sencilla línea de código: “luvcview” la cual permite abrir el reproductor de video para Linux, que utiliza el ya antes mencionado controlador video class (UVC).

3.4 Prueba de control de movimiento remoto

El control a distancia del dispositivo se lo realiza a través de 4 elementos esenciales, un ordenador portátil, por el cual se realiza el enlace de escritorio remoto al sistema operativo de Raspbian, los motores de corriente continua, el driver L298N y la cámara USB. Estos 4 elementos trabajan de manera sincronizada, como ya se explicó, los motores dc y la cámara están controlados por el código general de programación, esto nos permite trasladar el dispositivo de un lugar a otro y al mismo tiempo monitorear en tiempo real la trayectoria que sigue el mismo. Para esto, se estableció una trayectoria dentro de un espacio de pruebas la cual el dispositivo completo exitosamente, simulando un proceso de desinfección en espacios cerrados, la prueba tuvo una duración de 20 minutos.

Figura 17

Desplazamiento del Robot Sanitizador

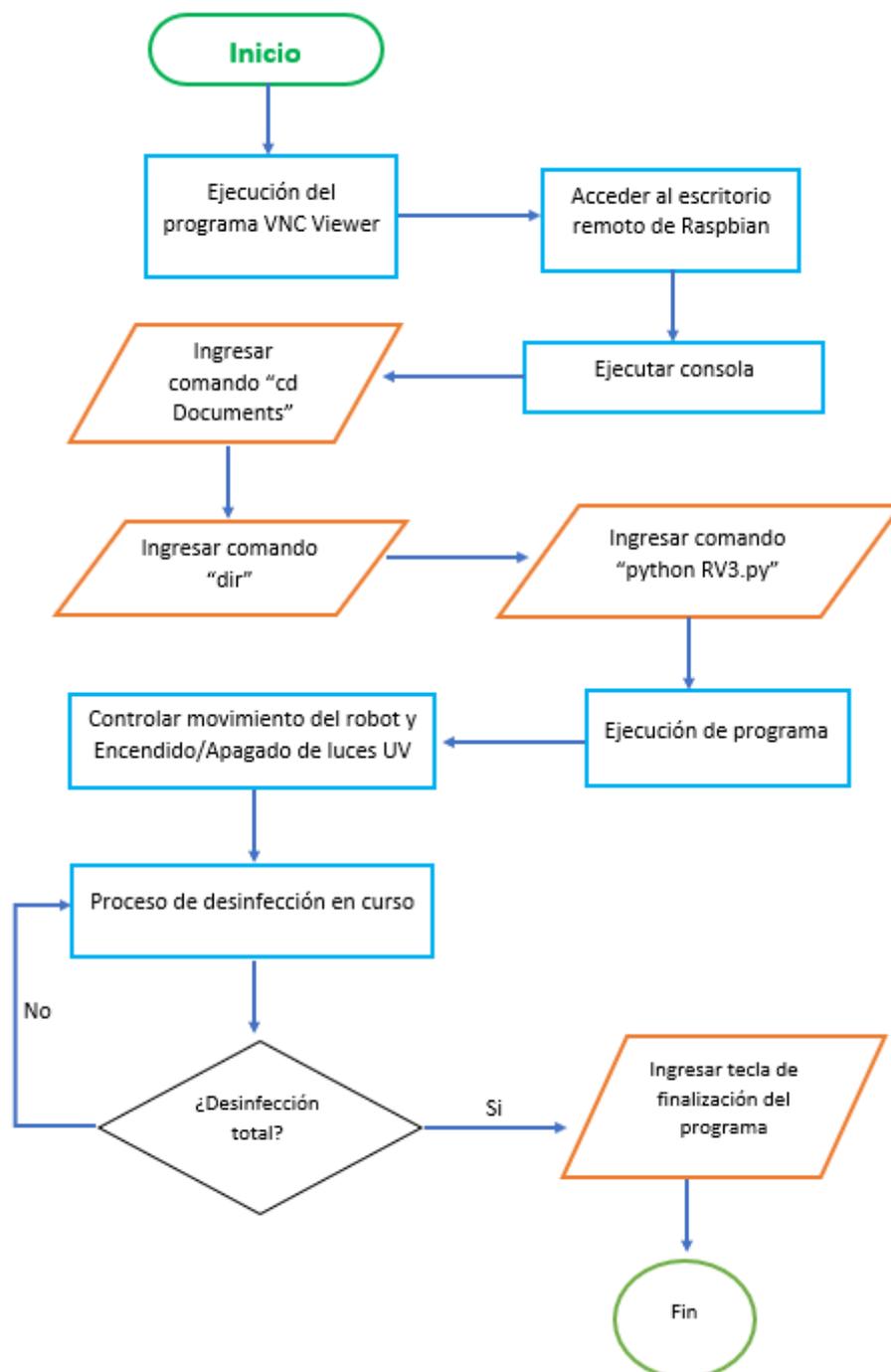


3.5 Parámetros de validación del prototipo

Respecto a la validación del prototipo, se realizaron en primera instancia pruebas del correcto funcionamiento de los motores dc, mediante el controlador L298N y la respectiva programación en la IDE Thonny Python de Raspberry, debido a la necesidad que se tiene de desarrollar un prototipo móvil que sea capaz de trasladarse y obedecer señales remotas para precautelar la seguridad del operador y poder garantizar un proceso de desinfección óptimo.

Figura 18

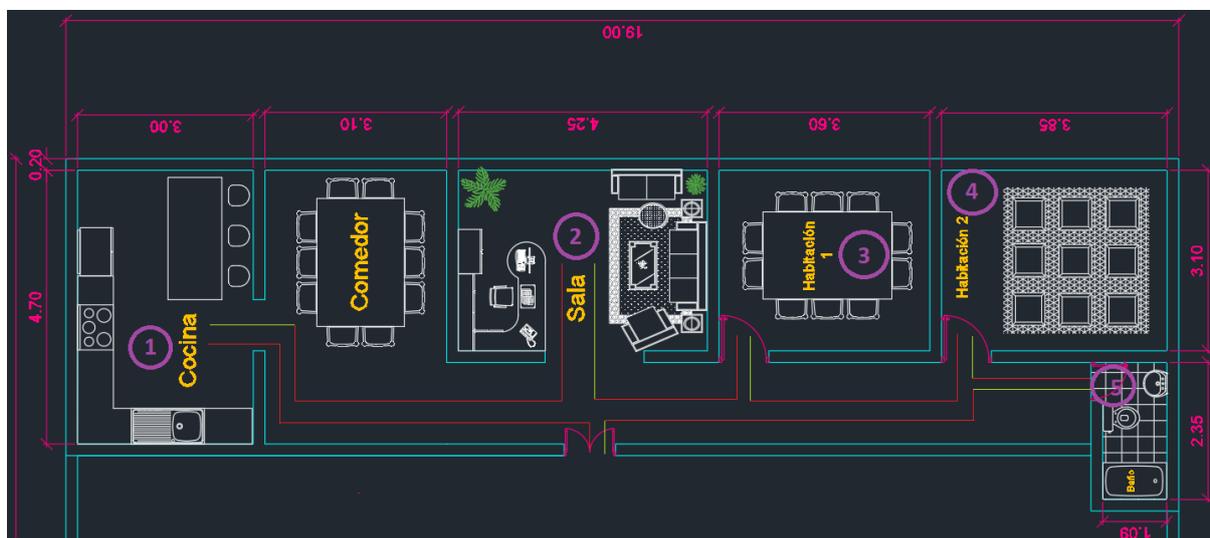
Flujograma de operación



Bajo esta premisa, se estableció una ruta a través de un departamento de 90m², mismo que posteriormente fue sometido al proceso de sanitización durante un tiempo estimado de 15 minutos, en el cual, se establecieron 5 puntos de permanencia de 2 minutos cada uno, los cuales se estiman como lugares de alta concurrencia de personas, por lo que representa un mayor riesgo de contagio debido a la falta de ventilación y a la concentración de carga viral que esto conlleva.

Figura 19

Ruta de desinfección



Estos tiempos de permanencia se obtuvieron gracias a un software profesional desarrollado por la empresa Synertech [17], el cual se trata de una tabla de cálculo donde se registran distintos parámetros necesarios tanto para calcular la dosis UV recomendada como para el tiempo de exposición necesario para la desinfección.

La dosis UV utilizada para el cálculo del tiempo de desinfección se muestra de forma automática en el software ya que esta se encuentra en función del tipo de agente biológico que se busca eliminar, en este caso, el SARS-CoV2. Para este tipo específico de coronavirus, se necesita una dosis estimada de 60J/m², recorriendo a una distancia promedio entre el prototipo móvil de desinfección y las superficies cercanas de 2 metros.

En base a estos parámetros, el software de cálculo arroja un resultado recomendado de 2 minutos en tiempo de desinfección, el cual fue verificado en el ensayo final de sanitización del departamento.

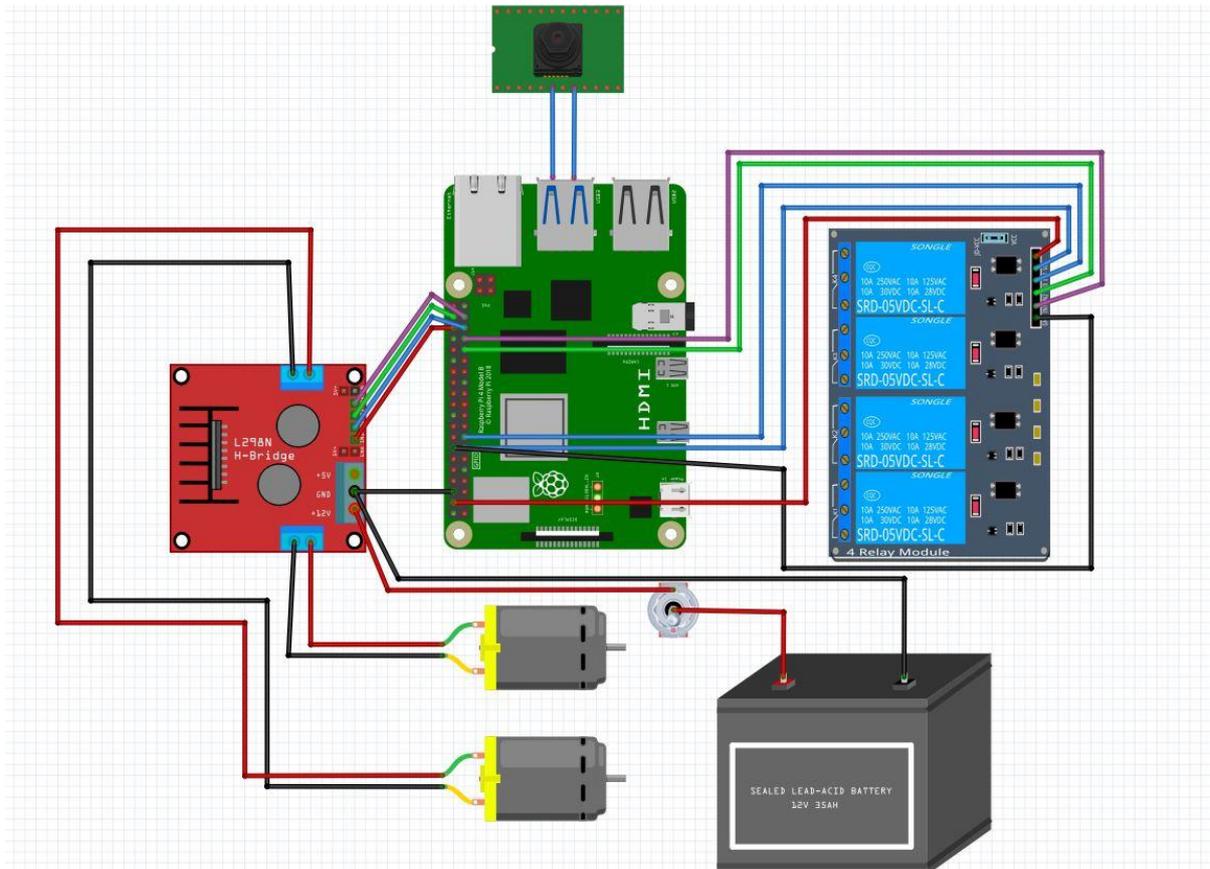
Figura 20

Prueba de encendido de lámparas UV



Figura 21

Esquema didáctico de conexión



3.6 Resultados

En las pruebas de control de motores, se realizó el montaje y la nivelación de las ruedas para poder brindar estabilidad al prototipo y mejorar la tracción de los motores acoplados con las ruedas respecto al piso, no obstante, debido a las irregularidades en las gomas de las llantas, así como también en el mecanismo de acople motor-llanta, se presenta cierto grado de desviación al momento de mover el dispositivo, sin embargo, funcionalmente no representa un problema, ya que el mismo control de giro del dispositivo es capaz de corregir la trayectoria, y que además, el dispositivo no tiene que estar en movimiento continuo para garantizar el proceso de sanitización, se puede mover en intervalos de espacios para cambiar el ángulo de incidencia de la luz ultravioleta, pero no es necesario que este constantemente variando su desplazamiento.

El control de encendido y apagado de las lámparas UV-C se logró de manera satisfactoria, lo cual aporta seguridad y confiabilidad a la hora de operar el prototipo de robot sanitizador, ya que, desde una distancia segura, se pudo controlar el estado de las lámparas UV-C, sin necesidad de exponerse en ninguna proporción a dosis de rayos UV-C

Para la transmisión de video, se pudo obtener una imagen en resolución 1080x720p, con una latencia de 1 segundo, esto debido a las prestaciones de la placa Raspberry, con un rendimiento máximo. La cámara soporta autoenfoco lo cual es ideal para distinguir la profundidad de objetos cercanos a la trayectoria establecida y el ángulo de visión es relativamente bueno para poder tener una perspectiva de los espacios que se van a someter al proceso de sanitización.

CAPÍTULO IV

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- Se logró evaluar la tecnología de desinfección de rayos UV-C mediante el estudio de diferentes investigaciones que establecen que la radiación ultravioleta de tipo C a 254 nm posee una efectividad del 99.9% en la inactivación de organismos patógenos tales como el SARS-CoV2 a través de la implementación de un sistema de sanitización basado en el uso de lámparas de vapor de mercurio a baja presión.
- Basados en las dimensiones y características técnicas de las lámparas de vapor de mercurio disponibles en el mercado local y con la aplicación de sistemas microprocesados se propuso un prototipo de robot sanitizador cuya estructura fue fabricada en perfil cuadrado de aluminio de 2" y con un recubrimiento de paneles de aluminio compuesto, el cual permite el montaje de un sistema de control, alimentación y desplazamiento mediante motores reductores de corriente continua acoplados directamente a dos llantas que generan un par motor para así controlar su movimiento.
- Se estableció un sistema de comunicación con el prototipo de robot sanitizador mediante el uso de una red de área local inalámbrica (WLAN), basado en protocolos IEEE 802.11 Wireless Fidelity (Wi-Fi) para permitir la transmisión de video en vivo a 30fps, controlar el desplazamiento del dispositivo mediante el giro de motores reductores de así como también el estado de un módulo de 4 relés que controla el encendido y apagado de las lámparas UV.
- A partir del diseño propuesto de robot sanitizador, se implementó el prototipo en perfilería de aluminio y aluminio compuesto, con un peso total del dispositivo de 30kg., una UPS que brinda 17 minutos de autonomía continua, así como también un sistema de control mediante el uso de una tarjeta de desarrollo Raspberry Pi 4 Modelo B,

mismos que son impulsados mediante 2 motores reductores de corriente continúa utilizando un módulo controlador L298N.

- El desarrollo y la implementación de este prototipo resultó factible como propuesta de un dispositivo alternativo, seguro y efectivo, ya que, en la actualidad, debido a la crisis sanitaria que causó el SARS-Cov2, se priorizó el desarrollar técnicas y métodos de desinfección que permitan mitigar la propagación del virus, disminuir los contagios y aminorar los estragos sociales y económicos que las medidas restrictivas establecidas por las autoridades nacionales causaron.
- Existen varios fabricantes de robots móviles y dispositivos para aplicaciones de sanitización, sin embargo, no contemplan el aspecto económico que ha sido evidentemente afectado a nivel nacional y por lo cual fue necesario ofrecer una alternativa viable orientada a la optimización de costes, sin perder la funcionalidad ni la efectividad del proceso de desinfección.
- Para la validación del prototipo se completó un proceso de desinfección remoto, seguro y eficiente cuyas pruebas para evaluar el correcto funcionamiento del dispositivo sanitizador se realizaron trazando una ruta de desinfección en un departamento de 90m², donde el tiempo de desinfección fue de 15 min, calculados mediante software profesional de la empresa Synertech.

4.2 Recomendaciones

- Realizar correctamente los cálculos para la selección de los distintos elementos eléctricos y electrónicos, así como también para conocer los rangos de tiempos de operabilidad que posean los diferentes sistemas del prototipo.
- Contemplar la selección de materiales a utilizar en el prototipo para poder optimizar el peso total del dispositivo y así ofrecer un mayor desempeño del sistema en su totalidad.

- En lo que a la parte de movilidad del dispositivo se refiere, es recomendable brindar estabilidad realizando mediciones precisas en cuanto a la ubicación y la nivelación de las llantas debido a que esto puede afectar el correcto direccionamiento de los motores durante su operación, así como también ubicar el centro de gravedad lo más cercano al piso posible, de este modo se evitaría que el dispositivo pierda equilibrio y vuelque.
- Optimizar el diseño para reducir las dimensiones y los costes de material con el objetivo de maximizar la operabilidad y la rentabilidad de una posible implementación del servicio de sanitización a mediana y gran escala.
- Realizar un análisis profundo a las especificaciones de los diferentes componentes del sistema de alimentación, considerando toda la ingeniería de detalle, ya que los mismos tienden a presentar limitaciones en las prestaciones de su funcionalidad, lo cual puede afectar significativamente a los sistemas que ayudan al correcto funcionamiento del prototipo y que también provocan gastos innecesarios.

Bibliografía

- [1] García, J. Alcañiz, S. Ferrández, F. Revisión de las aplicaciones del ozono y su generación para el uso en mascarillas contra patógenos. Versión Preliminar, Universidad de Alicante, Alicante, España, 2020.
- [2] Moreno, M. Diseño y construcción de un generador de ozono para aplicaciones médicas por tecnología de efecto corona y UV, Instituto Politécnico Nacional, México D.F., México, 2011.
- [3] Summerfelt, S. Ozonation and UV irradiation-an introduction and examples of current applications, The Conservation Fund's Freshwater Institute, WV, Estados Unidos. 2002.
- [4] Wright, H. Cairns, W. Luz Ultravioleta. Trojan Technologies Inc., Ontario, Canadá. 2016.
- [5] Briones, N. Zambrano, M. Febres, F. Cuenca, K. Luz ultravioleta para desinfección en áreas de salud, frente al covid-19. Revisión de literatura, Revista OACTIVA UC Cuenca, Cuenca, Ecuador, 2020.
- [6] International Commission on Illumination, Posición de la CIE respecto a la radiación ultravioleta (UV) para reducir el riesgo de transmisión del COVID-19, Viena, Austria, 2020.
- [7] García, E. Cardaba, M. Sánchez L. Revisión bibliográfica sobre eficacia y seguridad de la luz ultravioleta y ozono para la desinfección de superficies. Actualización. Agencia de Evaluación de Tecnologías Sanitarias del Instituto de Salud Carlos III, Madrid, España, 2020.
- [8] Colma, L. El ahorro de la energía en el campo de la iluminación. Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador, 1999.
- [9] Sánchez, D. Inactivación microbiana por pulsos de luz. Universidad de Zaragoza, Zaragoza, España, 2016.
- [10] Dunn, J. Clark, R. Asmus, J. Methods for Preservation of Foodstuffs. U.S. Patent 4,871,559, 1989. Nov. 13, 1986.
- [11] Wekhof, A. Desinfection with flash lamps, Wek-Tec, Heilbronn, Alemania, 2000.
- [12] De la Sota, M. Manual de procedimiento de desinfección, Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria, Buenos Aires, Argentina, 2004.
- [13] Córdoba, J. López, J. Torres, I, Revisión no sistemática del uso de la ultravioleta visible de onda corta (UV-C) en las áreas de trabajo, para minimizar el contagio por el SARS-CoV 2, Universidad ECCI, Medellín, Colombia, 2020.

- [14] Bermúdez, G. Robots móviles. Teoría, aplicaciones y experiencias, Tecnura, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia, 2002.
- [15] McDonald, A. Robot Technology: Theory, Design and Applications, Cambridge, Inglaterra, 1986.
- [16] Phillips, R. Sources and applications of ultraviolet radiation, New York, New York, 1983.
- [17] Synertech, «Synertech Waters Technologies,» 15 abril 2020. [En línea]. Available: <https://www.synertech.com.co/uv/area-industrial/en/paginas/prueba>. [Ultimo acceso: 02 marzo 2022].
- [18] Halfacree, G. THE OFFICIAL Raspberry Pi Beginner's Guide How to use your new computer, Cambridge, Inglaterra, 2020.
- [19] Pérez-Tavera, I. Raspberry Pi, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Pachuca de Soto, México, 2021.

ANEXOS

Anexo 1: Código de programación

```
import curses

import RPi.GPIO as GPIO

GPIO.setmode(GPIO.BCM)

GPIO.setup(20, GPIO.OUT)

GPIO.setup(26, GPIO.OUT)

GPIO.setup(19, GPIO.OUT)

GPIO.setup(16, GPIO.OUT)

GPIO.setup(13, GPIO.OUT)

def main(letra):

    while True:

        curses.halfdelay(1)

        key = letra.getch()

        #print key

        if key == 113:

            break

        elif key == 119:

            print "adelante"

            GPIO.output(20, GPIO.LOW)

            GPIO.output(26, GPIO.HIGH)

            GPIO.output(19, GPIO.LOW)
```

```
GPIO.output(16, GPIO.HIGH)

elif key == 97:

    print "izquierda"

    GPIO.output(20, GPIO.LOW)

    GPIO.output(26, GPIO.HIGH)

    GPIO.output(19, GPIO.HIGH)

    GPIO.output(16, GPIO.LOW)

elif key == 115:

    print "atras"

    GPIO.output(20, GPIO.HIGH)

    GPIO.output(26, GPIO.LOW)

    GPIO.output(19, GPIO.HIGH)

    GPIO.output(16, GPIO.LOW)

elif key == 100:

    print "derecha"

    GPIO.output(20, GPIO.HIGH)

    GPIO.output(26, GPIO.LOW)

    GPIO.output(19, GPIO.LOW)

    GPIO.output(16, GPIO.HIGH)

elif key == 105:
```

```
    print "UV Encendido"

    GPIO.output(13, GPIO.HIGH)

elif key == 111:

    print "UV Apagado"

    GPIO.output(13, GPIO.LOW)

else:

    print "detenido"

    GPIO.output(20, GPIO.LOW)

    GPIO.output(26, GPIO.LOW)

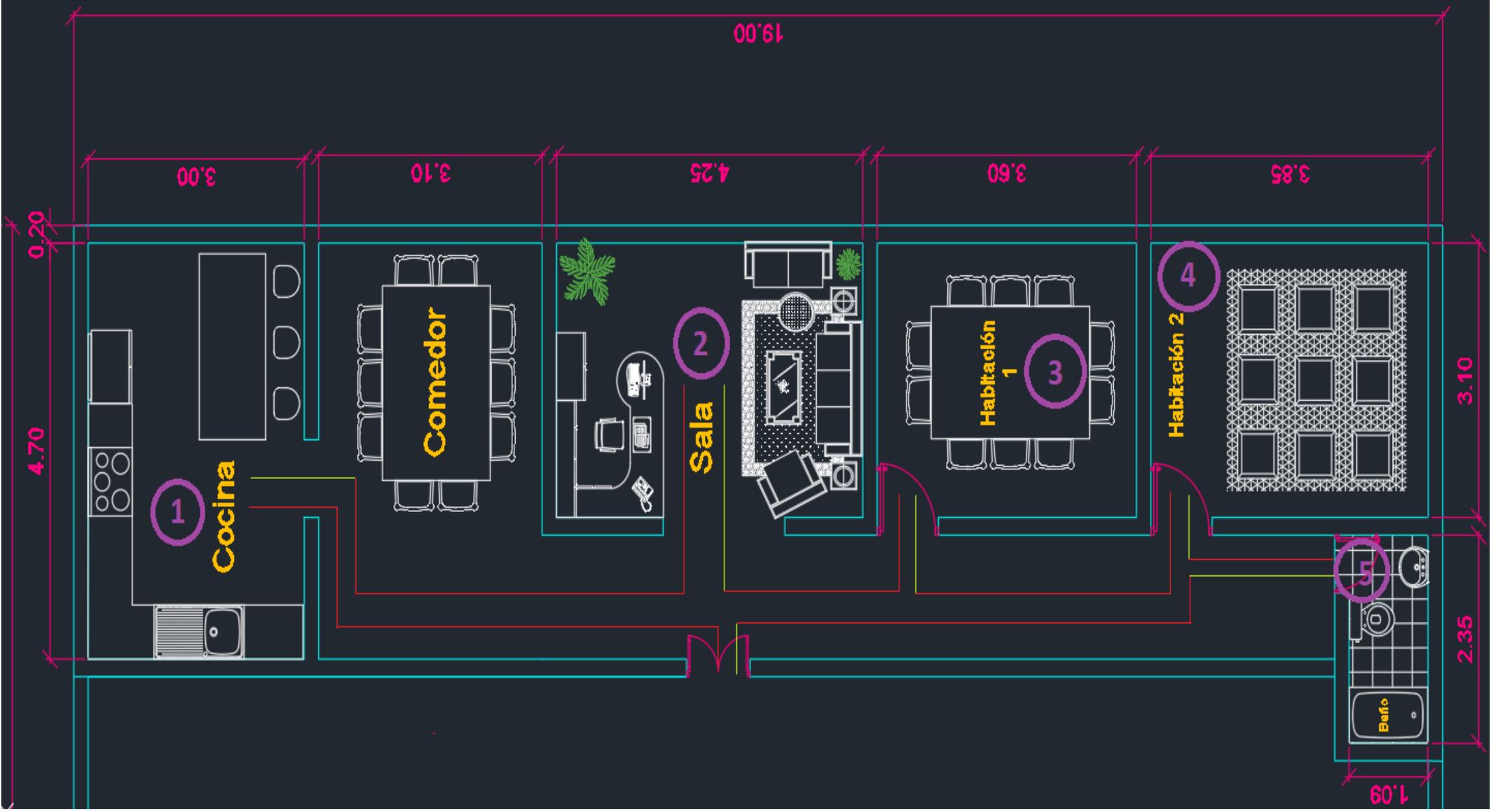
    GPIO.output(16, GPIO.LOW)

    GPIO.output(19, GPIO.LOW)

curses.wrapper(main)

GPIO.cleanup()
```

Anexo 2: Ruta de desinfección



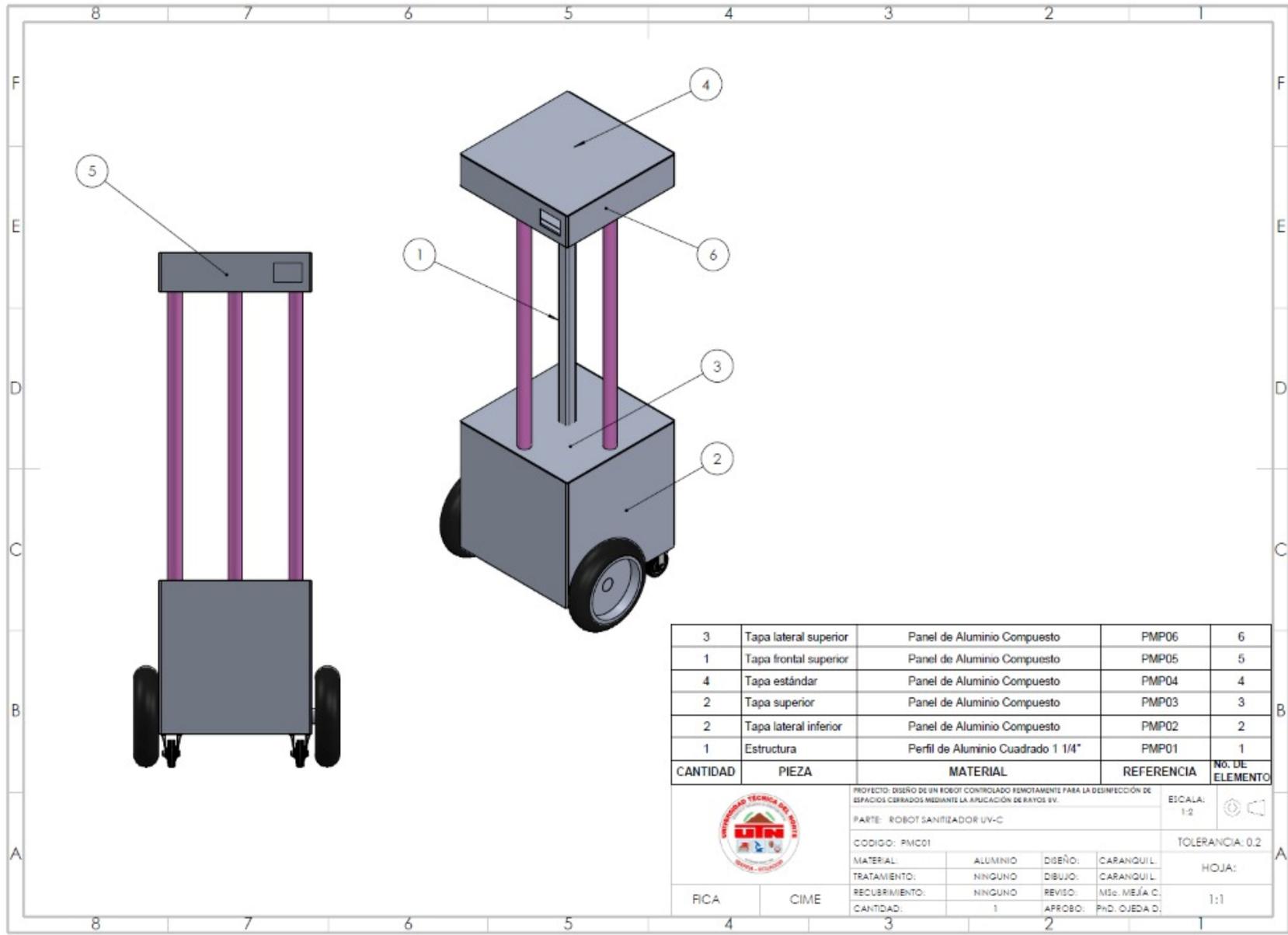
Anexo 3: Software de Synertech para cálculo de dosis UV

CALCULADORA DE DOSIS UV-C

Potencia de lámpara:	<input type="text" value="120W"/>
Tipo microorganismo:	<input type="text" value="Virus"/>
Microorganismo:	<input type="text" value="Covid-19"/>
Dosis (J/m ²):	<input type="text" value="60"/>
Distancia (m)	<input type="text" value="2"/>
Tiempo recomendado (minutos):	<input type="text" value="2"/>

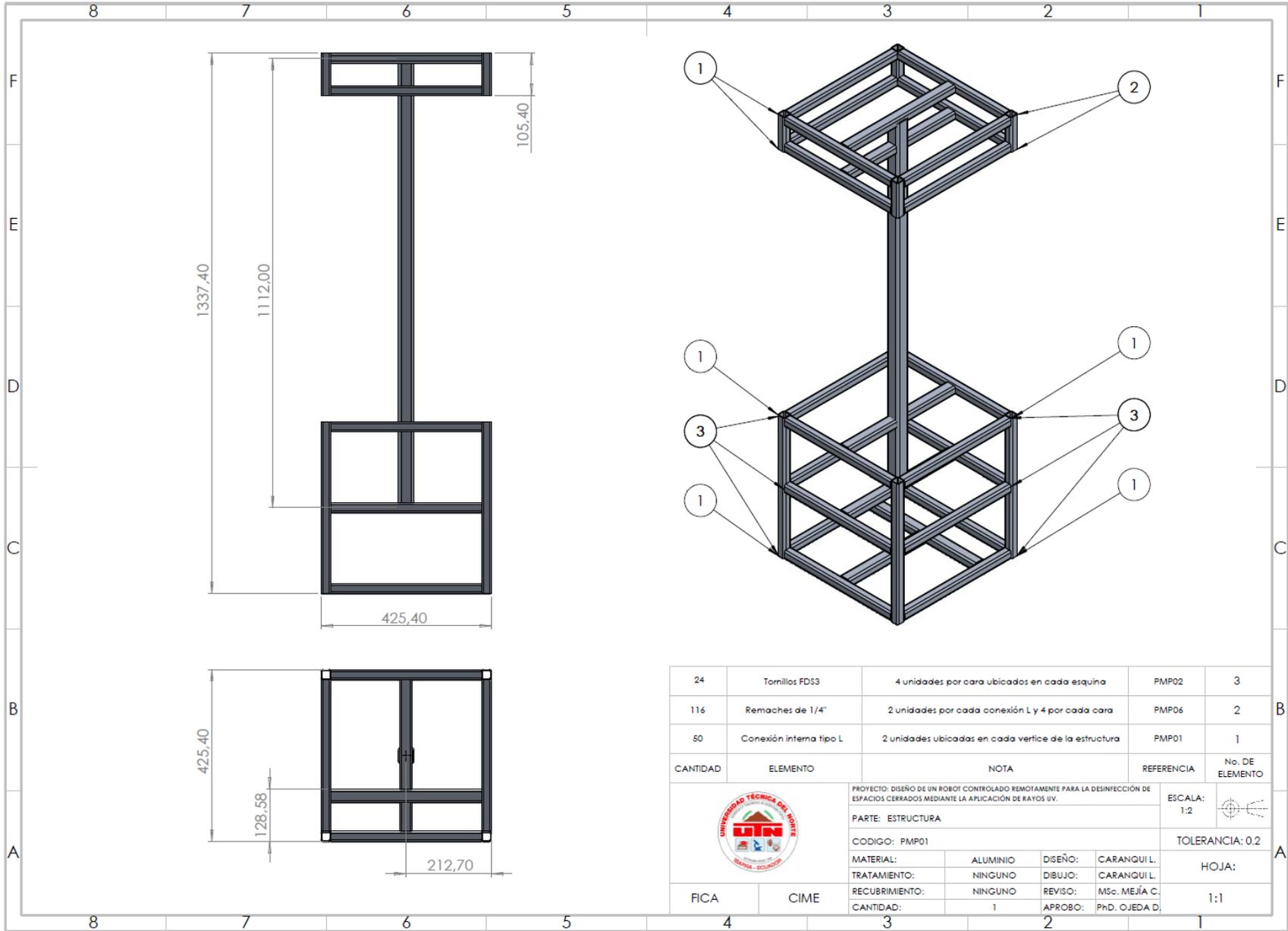
Tabla de cálculo para determinar el tiempo de radiación ultravioleta recomendado según la potencia de las lámparas y el tipo de microorganismo a destruir.

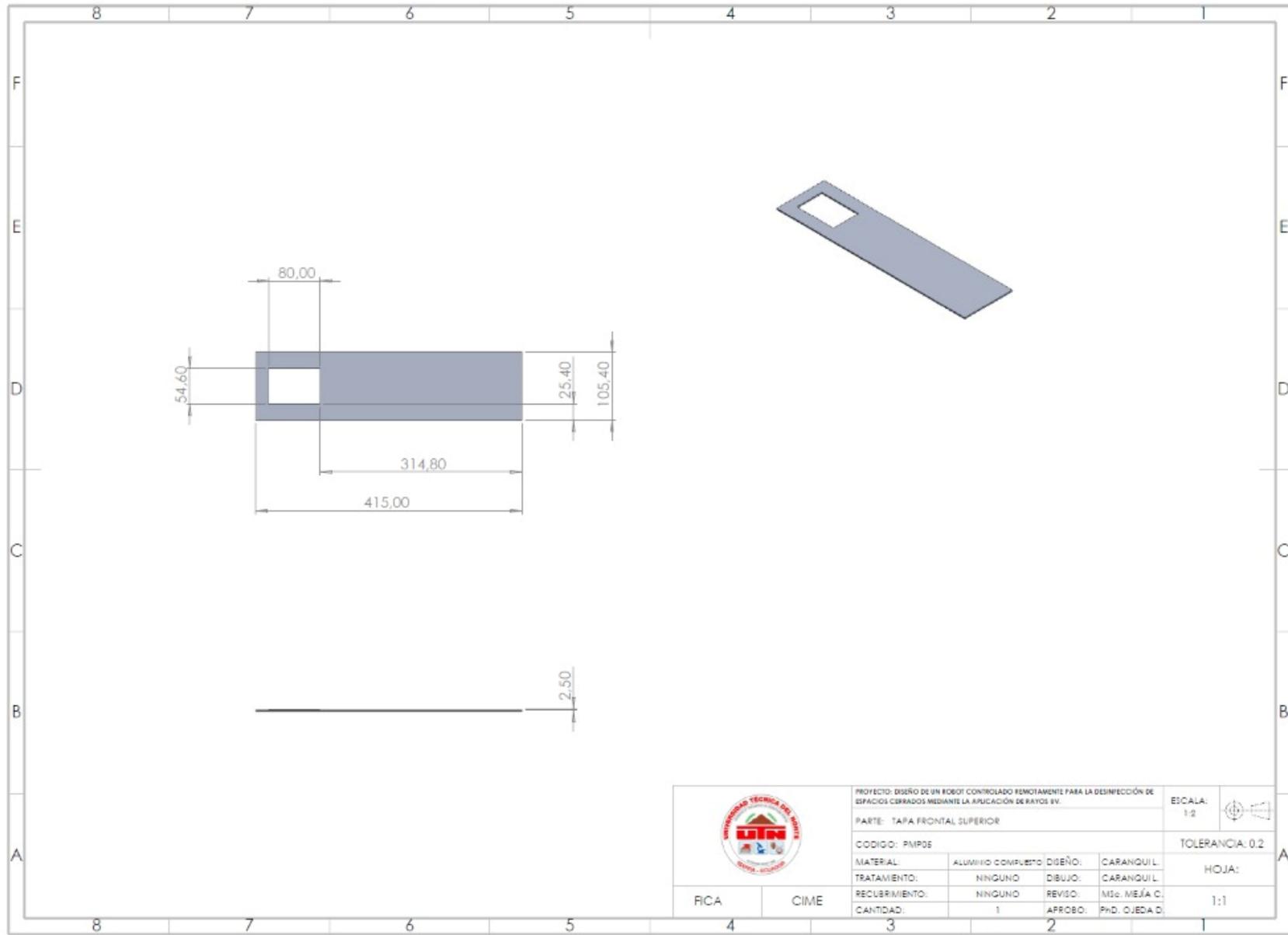
Anexo 4: Planos mecánicos



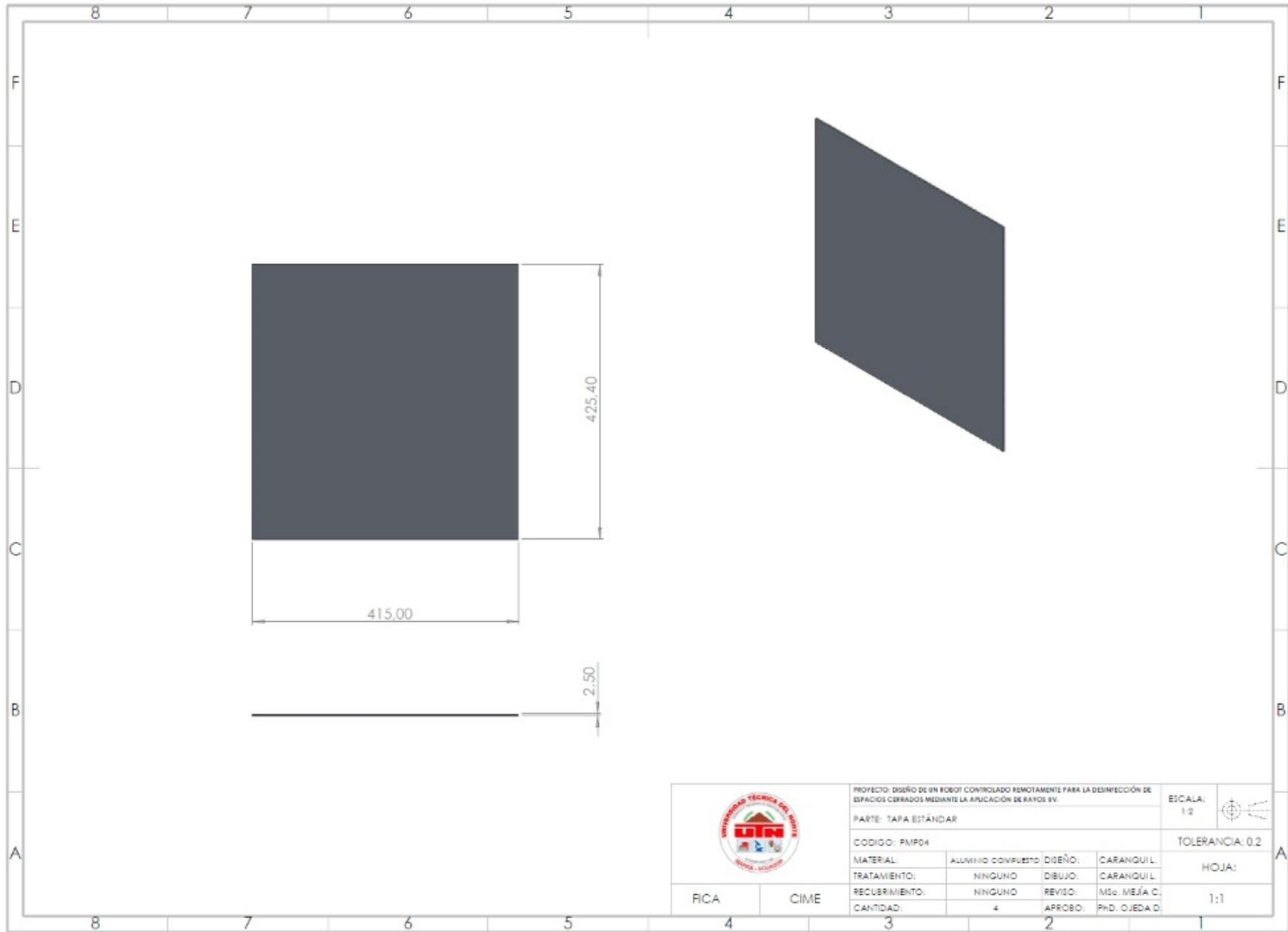
3	Tapa lateral superior	Panel de Aluminio Compuesto	PMP06	6
1	Tapa frontal superior	Panel de Aluminio Compuesto	PMP05	5
4	Tapa estándar	Panel de Aluminio Compuesto	PMP04	4
2	Tapa superior	Panel de Aluminio Compuesto	PMP03	3
2	Tapa lateral inferior	Panel de Aluminio Compuesto	PMP02	2
1	Estructura	Perfil de Aluminio Cuadrado 1 1/4"	PMP01	1
CANTIDAD	PIEZA	MATERIAL	REFERENCIA	Nº. DE ELEMENTO

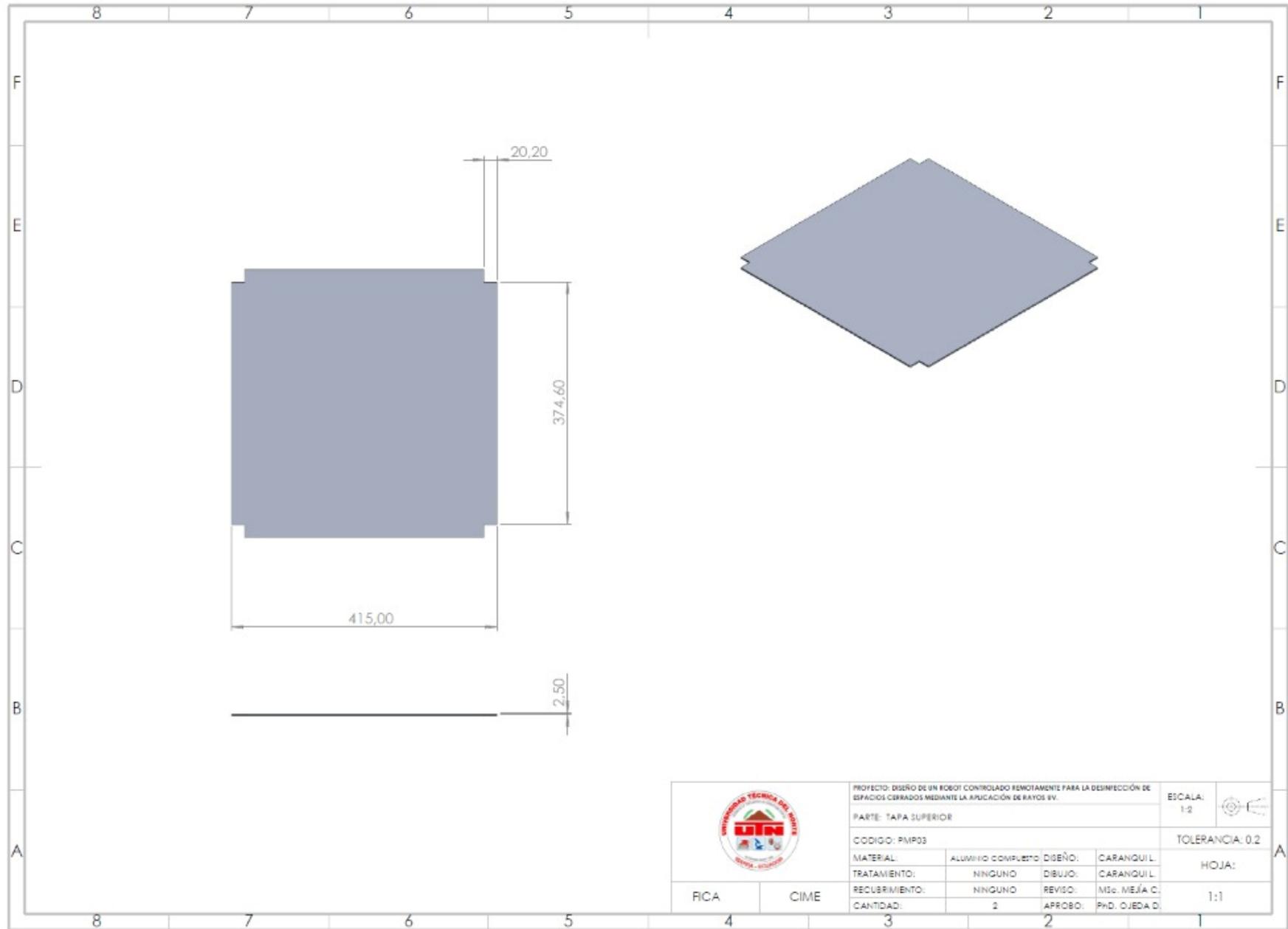
	PROYECTO: DISEÑO DE UN ROBOT CONTROLADO REMOTAMENTE PARA LA DESINFECCIÓN DE ESPACIOS CERRADOS MEDIANTE LA APLICACIÓN DE RAYOS UV-C.			ESCALA:	1:2
	PARTE: ROBOT SANITIZADOR UV-C			TOLERANCIA: 0.2	
CODIGO: PMP01		MATERIAL:	ALUMINIO	DISEÑO:	CARANQUI L.
		TRATAMIENTO:	NINGUNO	DIBUJO:	CARANQUI L.
		RECURSIVO:	NINGUNO	REVISO:	MSc. MEJÍA C.
		CANTIDAD:	1	APROBO:	PhD. OJEDA D.
RICA	CIME				HOJA:
				1:1	



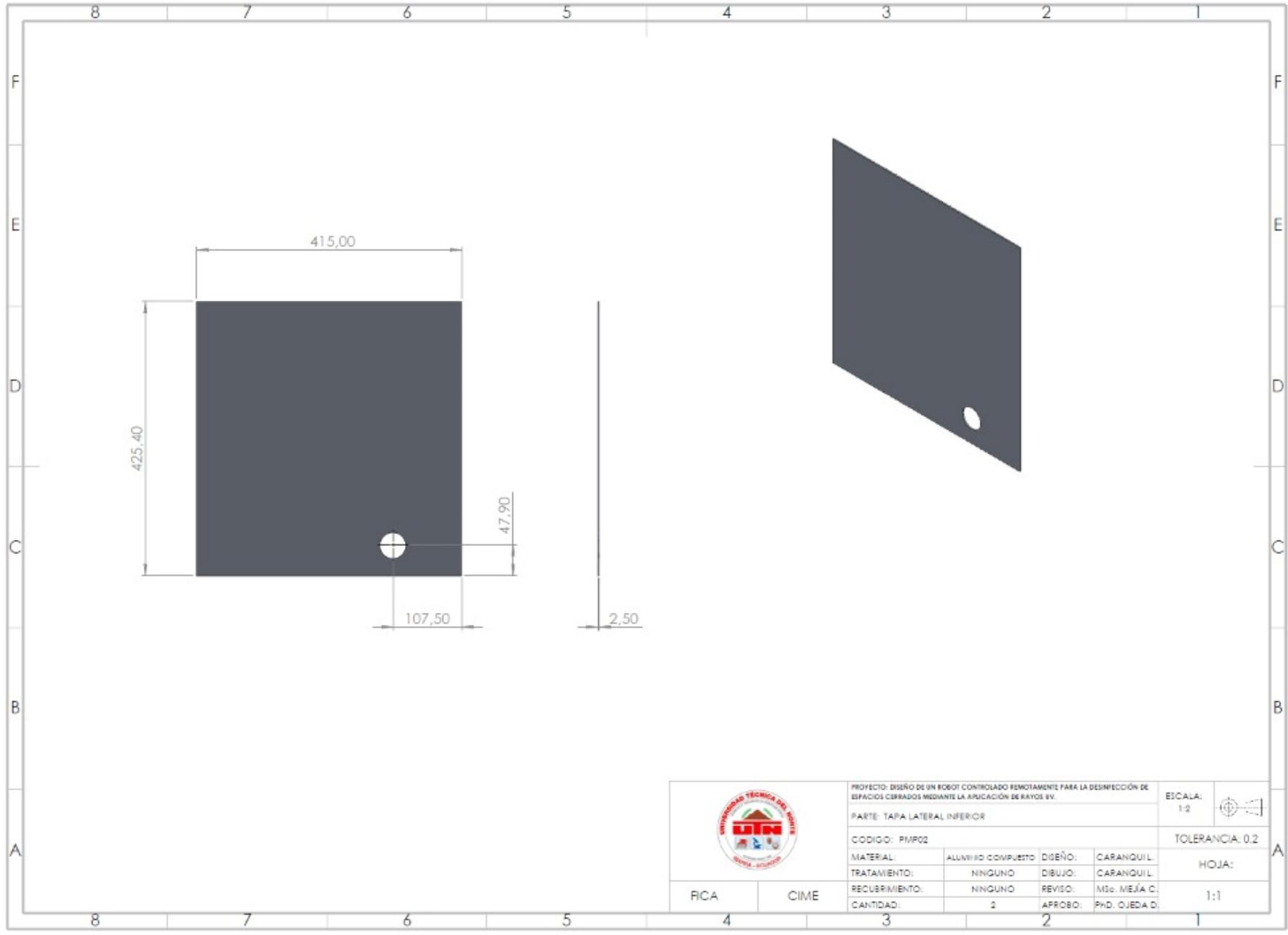


	PROYECTO: DISEÑO DE UN ROBOT CONTROLADO REMOTAMENTE PARA LA DESINFECTACIÓN DE ESPACIOS CERRADOS MEDIANTE LA APLICACIÓN DE RAYOS UV.			ESCALA: 1:2	
	PARTE: TAPA FRONTAL SUPERIOR			TOLERANCIA: 0.2	
CODIGO: PMP05		HOJA:			
MATERIAL: ALUMINIO COMPLETO	DISEÑO: CARANQUI L.	REVISIÓN:			
TRATAMIENTO: NINGUNO	DIBUJO: CARANQUI L.	REVISOR: MSc. MEJÍA C.			
RECLUBRIMIENTO: NINGUNO	REVISOR: MSc. MEJÍA C.	APROBADO: PND. OJEDA D.			
CANTIDAD: 1	REVISOR: MSc. MEJÍA C.	APROBADO: PND. OJEDA D.			
RICA	CIME	1:1			



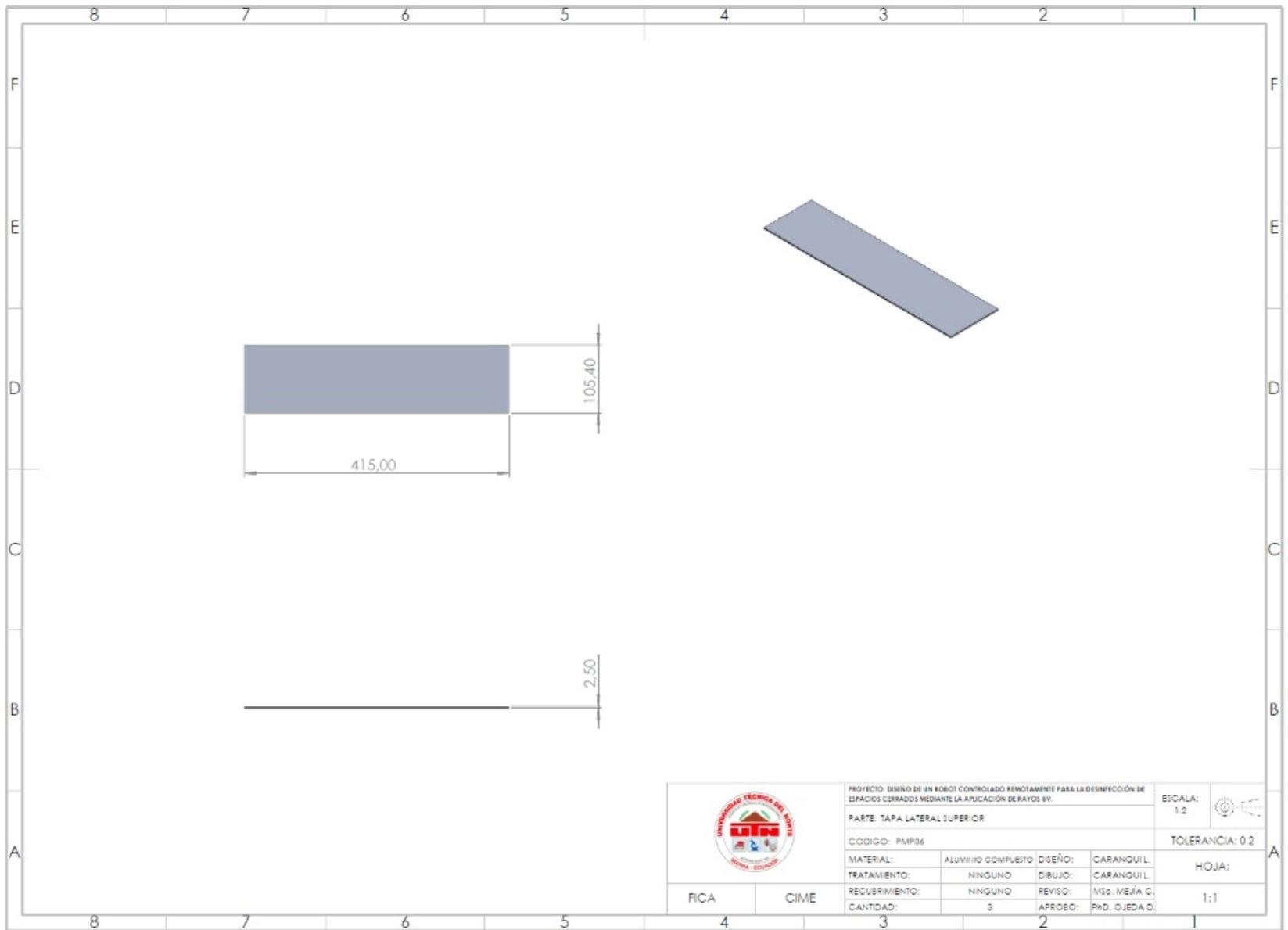


	PROYECTO: DISEÑO DE UN ROBOT CONTROLADO REMOTAMENTE PARA LA DESINFECCIÓN DE ESPACIOS CERRADOS MEDIANTE LA APLICACIÓN DE RAYOS UV.		ESCALA: 1:2
	PARTE: TAPA SUPERIOR		TOLERANCIA: 0.2
CODIGO: PMP03		DISEÑO: CARANQUI L.	HOJA: 1:1
MATERIAL: ALUMINIO COMPLETO	TRATAMIENTO: NINGUNO	DIBUJO: CARANQUI L.	
RECUBRIMIENTO: NINGUNO	CANTIDAD: 2	REVISO: MSc. MEJÍA C.	APROBO: PhD. OJEDA D.
RICA	CIME		

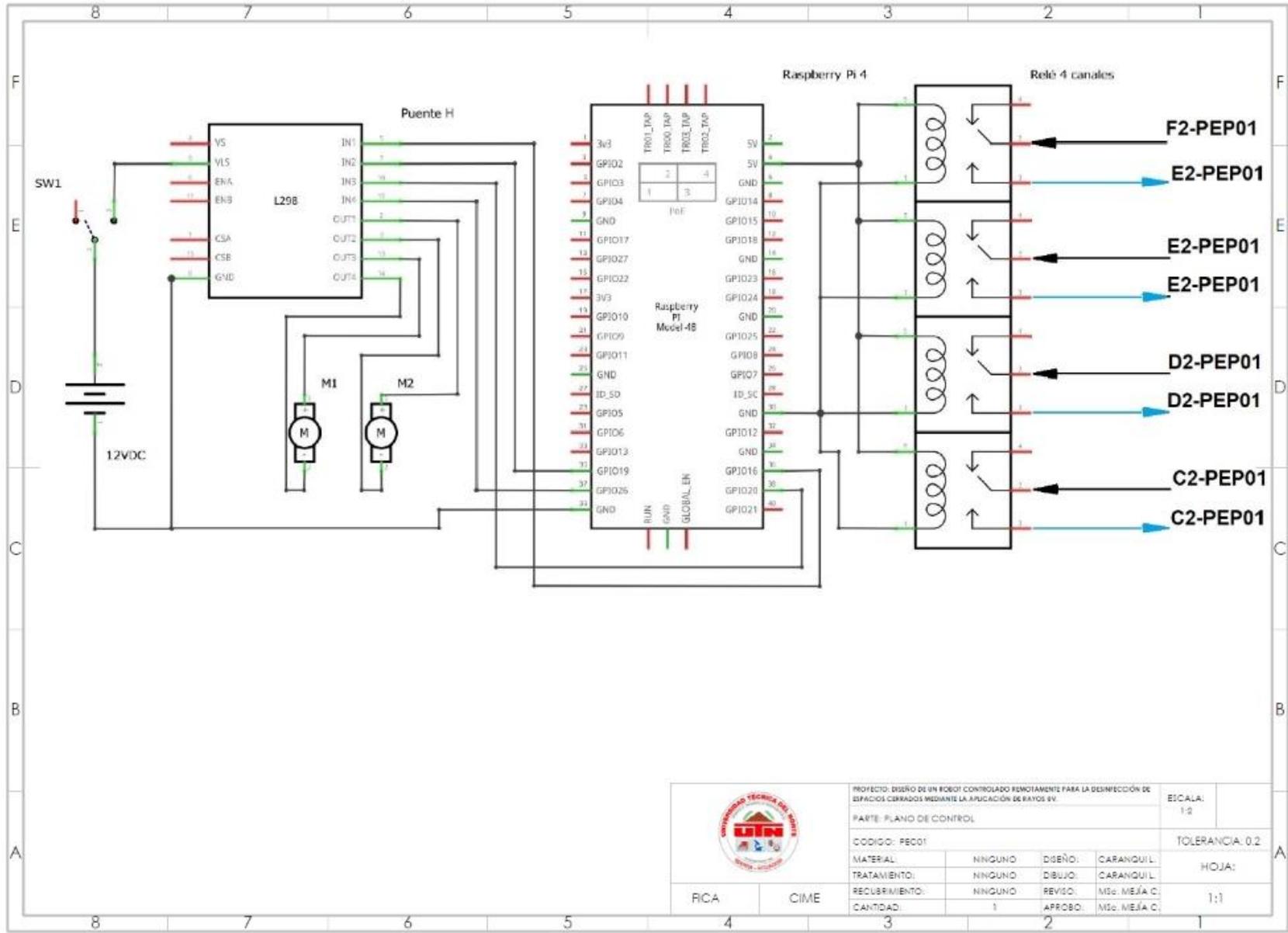


	PROYECTO: DISEÑO DE UN ROBOT CONTROLADO REMOTAMENTE PARA LA DESINFESTACIÓN DE ESPACIOS CERRADOS MEDIANTE LA APLICACIÓN DE RAYOS UV.				ESCALA: 1:2
	PARTE: TAPA LATERAL INFERIOR				 TOLERANCIA: 0.2
CODIGO: PM/P02					HOJA:
MATERIAL:	ALUMINIO COMPUESTO	DISEÑO:	CARANQUI L.	1:1	
TRATAMIENTO:	NINGUNO	DIBUJO:	CARANQUI L.		
RECUBRIMIENTO:	NINGUNO	REVISO:	MSc. MEJÍA C.		
CANTIDAD:	2	APROBO:	PhD. OJEDA D.		

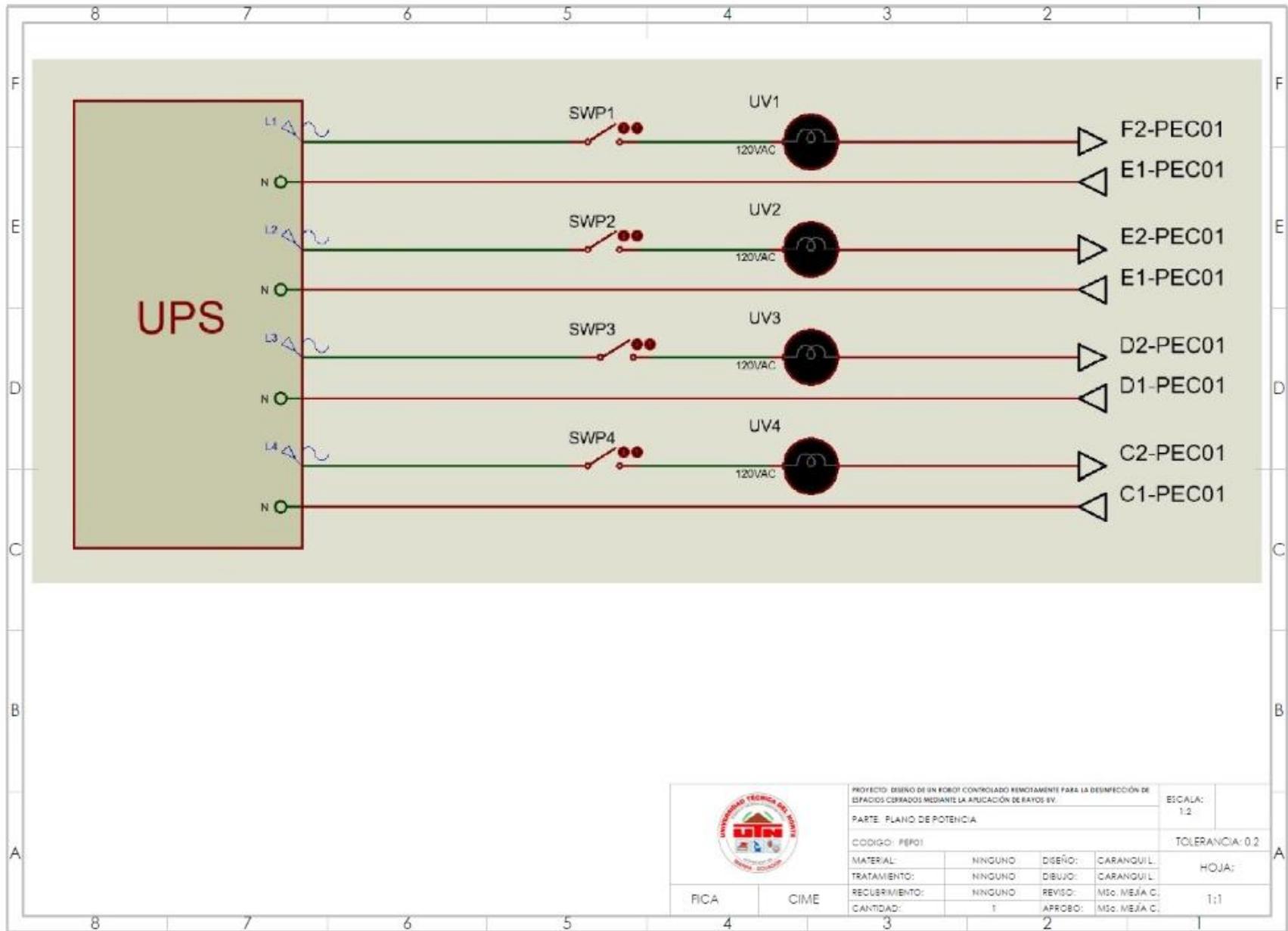
RCA CIME



Anexo 5: Planos eléctricos



		PROYECTO: DISEÑO DE UN ROBOT CONTROLADO REMOTAMENTE PARA LA DESINFECCIÓN DE ESPACIOS CERRADOS MEDIANTE LA APLICACIÓN DE RAYOS UV.		ESCALA: 1:2	
		PARTE: PLANO DE CONTROL		TOLERANCIA: 0.2	
CODIGO: PEC01				HOJA:	
MATERIAL:	NINGUNO	DISEÑO:	CARANQUI L.		
TRATAMIENTO:	NINGUNO	DIBUJO:	CARANQUI L.		
RECURSIVAMENTO:	NINGUNO	REVISÓ:	MSc. MEJÍA C.		
CANTIDAD:	1	APROBÓ:	MSc. MEJÍA C.	1:1	
RICA	CIME				



		PROYECTO: DISEÑO DE UN ROBOT CONTROLADO REMOTAMENTE PARA LA DESINFECCIÓN DE ESPACIOS CERRADOS MEDIANTE LA APLICACIÓN DE RAYOS UV.		ESCALA: 1:2	
		PARTE: PLANO DE POTENCIA		TOLERANCIA: 0.2	
CODIGO: PEPO1		MATERIAL: NINGUNO	DISEÑO: CARANGUIL	HOJA:	
TRATAMIENTO: NINGUNO		RECUBRIMIENTO: NINGUNO	DIBUJO: CARANGUIL		
RICA		CIME		CANTIDAD: 1	APROBO: MSc. MEJÍA C.
4		3		2	

Anexo 6: Flujograma de código de programación

