



# INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

---

## UNIDAD PROFESIONAL INTERDISCIPLINARIA DE INGENIERÍA CAMPUS HIDALGO

Trabajo Terminal

**Robot desinfectante con luz UVC**

Que para obtener el título de  
**“Ingeniero en Mecatrónica”**

Presenta:

Germán Gerardo Sánchez Hernández

Tania Cerón García

Asesores:

Dr. Diego Adrián Fabila Bustos

M. en Ing. Jesús Gudiño Sánchez

Dr. Josué Daniel Rivera Fernández

julio 2023



# INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

## UNIDAD PROFESIONAL INTERDISCIPLINARIA DE INGENIERÍA CAMPUS HIDALGO

Trabajo Terminal

Robot desinfectante con luz UVC

Que para obtener el título de

“Ingeniero en Mecatrónica”

Presenta:

Germán Gerardo Sánchez  
Hernández

Tania Cerón García

Asesores:

Dr. Diego Adrián Fabila Bustos

M. en Ing. Jesús Gudiño  
Sánchez

Dr. Josué Daniel Rivera  
Fernández

Presidente del Jurado

Profesor Titular

M. en Ing. César Eduardo Cea  
Montufar

Dr. Jesús Mares Carreño

## AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, queremos agradecer a nuestros padres quienes nos han brindado su ayuda, compresión y amor en cada paso que hemos dado, han sido nuestro apoyo desde el primer momento en que ingresamos a la carrera, sin ellos tal vez no hubiéramos llegado hasta aquí.

A nuestros asesores Jesús Gudiño, Diego Adrián Fabila y Josué Daniel Rivera les agradecemos la confianza que pusieron en nosotros para poder realizar este proyecto, el apoyo que nos brindaron en el proceso para poder realizar el proyecto y la gran paciencia que nos tuvieron.

Agradecemos a los profesores que de forma indirecta nos brindaron su ayuda y consejos con respecto a nuestro proyecto. Al personal de los laboratorios y talleres que siempre tenían las puertas abiertas para que pudiéramos trabajar en nuestro proyecto.

Agradecemos a todos aquellos que de forma directa o indirecta nos guiaron, apoyaron, motivaron y confiaron en nosotros. **GRACIAS.**

## RESUMEN

Los patógenos son seres microscópicos que provocan diversas enfermedades, los seres humanos están en contacto con estos entes en muchas ocasiones sin darse cuenta, lo que puede provocar que se enfermen e incluso algunas de estas enfermedades pueden causarles la muerte.

La luz UVC es un tipo de luz germicida, esto es que puede desinhibir el ADN y ARN de las bacterias o virus evitando así su reproducción. Con ello al ser irradiada en superficies que pueden estar contaminadas evita que estas se propaguen e infecten a más personas.

Este proyecto es una opción que se propone para poder desinfectar diversas áreas que estén contaminadas evitando una propagación de diferentes patógenos. Considerando la reciente pandemia de COVID 19, este proyecto es adecuado para evitar que personal de limpieza se arriesgue a un posible contagio, además de que este hace un monitoreo constante del CO<sub>2</sub> presente en las habitaciones, con ello genera una nueva desinfección para evitar contagios. El robot cuenta con 6 lámparas de luz UVC que ayudaran al proceso de desinfección.

# CONTENIDO

<b>1 PRELIMINARES.....</b>	<b>1</b>
1.1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	2
1.3 OBJETIVOS.....	3
1.4 JUSTIFICACIÓN .....	3
1.5 ALCANCE .....	4
1.6 ESTADO DEL ARTE.....	5
1.7 SUMARIO .....	9
<b>2 MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>10</b>
2.1 ANTECEDENTES HISTÓRICOS.....	10
2.2 ROBÓTICA .....	12
2.2.1 ¿QUÉ ES UN ROBOT?.....	12
2.2.2 CLASIFICACIÓN DE LOS ROBOTS .....	13
2.2.3 ROBOTS MÓVILES .....	14
2.2.4 TIPOS DE ROBOTS MÓVILES TERRESTRES.....	14
2.2.5 RUEDAS.....	18
2.2.6 ESTRUCTURA GENERAL DE UN ROBOT .....	19
2.3 ENFERMEDADES CONTAGIOSAS .....	19
2.4 LUZ ULTRAVIOLETA.....	21
2.4.1 FUENTES DE LUZ UV.....	22
2.4.2 LONGITUD DE ONDA DE ACTIVACIÓN DE LUZ UV .....	22
2.4.3 IRRADIACIÓN GERMICIDA ULTRAVIOLETA (UVGI).....	23
2.5 SUMARIO .....	24
<b>3 ANÁLISIS DE REQUERIMIENTOS, ESPECIFICACIONES, FUNCIONES Y DISEÑO CONCEPTUAL .</b>	<b>25</b>
3.1 REQUERIMIENTOS.....	25
3.2 ESPECIFICACIONES.....	27
3.3 FUNCIONES.....	28
3.3.1 ÁRBOL DE FUNCIONES.....	29
3.3.2 DISEÑO CONCEPTUAL.....	30
3.3.3 GENERACIÓN DE CONCEPTO.....	31
3.3.4 COMPARACIÓN DE FUENTE DE ALIMENTACIÓN.....	31
3.3.5 COMPARACIÓN DEL SISTEMA DE COMUNICACIÓN INALÁMBRICO.....	32
3.3.6 COMPARACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL .....	32
3.3.7 COMPARACIÓN DE LA FUENTE DE ILUMINACIÓN UVC.....	33
3.3.8 COMPARACIÓN DE INDICADOR DEL SISTEMA.....	34
3.3.9 COMPARACIÓN DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN.....	34

3.3.10	COMPARACIÓN DE SENSORES.....	36
3.4	SELECCIÓN DE CONCEPTO.....	39
3.5	SUMARIO .....	41
4	<b>DISEÑO DETALLADO.....</b>	41
4.1	SISTEMA DE IRRADIACIÓN UVC .....	42
4.2	SISTEMA DE TRANSMISIÓN.....	45
4.2.1	CÁLCULOS PARA SELECCIÓN DE MOTORES.....	45
4.2.2	SELECCIÓN DE MOTOR Y REDUCTOR.....	47
4.2.3	SELECCIÓN DE RUEDAS .....	50
4.3	SISTEMA DE CONTROL.....	51
4.4	FUENTE DE ALIMENTACIÓN .....	53
4.5	SELECCIÓN DE SENSORES.....	54
4.5.1	SENSOR DE PRECENCIA INFRARROJO .....	54
4.5.2	SENSOR ULTRASÓNICO DE DISTANCIA.....	55
4.5.3	SENSOR DE CO <sub>2</sub> .....	56
4.5.4	CÁMARA.....	57
4.6	RELEVADORES.....	58
4.7	SELECTOR.....	58
4.8	SELECCIÓN DE CALIBRES DE CABLE.....	59
4.9	SUMARIO .....	73
5	<b>MANUFACTURA E IMPLEMENTACIÓN .....</b>	74
5.1	IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL Y RED WIFI LOCAL .....	74
5.2	IMPLEMENTACIÓN DE MOTORES .....	78
5.3	IMPLEMENTACIÓN DE SENSORES .....	79
5.3.1	SENSOR DE CO <sub>2</sub> .....	79
5.3.2	SENSOR INFRARROJO .....	80
5.3.3	SENSOR ULTRASÓNICO .....	81
5.4	IMPLEMENTACIÓN DE RELEVADORES .....	82
5.5	EJECUCIÓN DEL SERVIDOR AL ENCENDER RASPBERRY PI 4.....	84
5.6	TRANSMISIÓN.....	85
5.7	CHASIS .....	87
5.8	BASE DE LAS LÁMParas.....	90
5.9	SUMARIO .....	93
6	<b>VALIDACIÓN Y RESULTADOS .....</b>	94
6.1	RESULTADOS DE MONITOREO DE CO <sub>2</sub> .....	94

6.2	RESULTADOS DE DESINFECCIÓN UVC .....	96
6.3	RESULTADOS DE CONSUMO DE ENERGÍA Y CARGA.....	106
7	<i>CONCLUSIONES Y TRABAJO A FUTURO.....</i>	108
7.1	CONCLUSIÓN .....	108
7.2	TRABAJO A FUTURO.....	109
	<b>ANEXOS .....</b>	<b>110</b>
	<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>111</b>

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

<i>UVC</i>	Radiación ultravioleta tipo C
<i>UV</i>	Radiación ultravioleta
<i>nm</i>	Nanómetros
<i>ADN</i>	Ácido desoxirribonucleico
<i>ARN</i>	Ácido ribonucleico
<i>COVID 19</i>	Coronavirus 2019
<i>CO<sub>2</sub></i>	Dióxido de carbono

## ÍNDICE DE FIGURA

Figura 1.1 El espectro de la luz [18].....	5
Figura 1.2 Robot Lavander para desinfección UV [25]. .....	7
Figura 1.3 Robot de desinfección con peróxido de hidrogeno [27]. .....	8
Figura 2.1 Robot Shakey obtenida de [31].....	11
Figura 2.2 Robot Helpmate obtenido de [37].....	14
Figura 2.3 Tipos de locomoción en robots móviles obtenido de [40]. .....	16
Figura 3.1 Diagrama de Caja Negra del Prototipo de Robot Desinfectante con Luz UVC. ....	30
Figura 3.2 Caja gris del prototipo de Robot Desinfectante con Luz UVC. ....	30
Figura 4.1 Lámpara UVC Osram HNS 30W G13. ....	43
Figura 4.2 Balastro philips T8 3x32w. ....	44
Figura 4.3 Diagrama de fuerzas del modelo dinámico del robot. ....	46
Figura 4.4 Motor Nema 23 1.2Nm. ....	49
Figura 4.5 Reductor planetario PLE23-G5-D10.....	50
Figura 4.6 Rueda omnidireccional Mecanum 100mm. ....	51
Figura 4.7 Raspberry Pi 4B.....	51
Figura 4.8 Batería LiFePO4 de 20 Ah. ....	53
Figura 4.9 Modulo de sensor de CO2 SCD-40.....	56
Figura 4.10 Cámara web Logitech C920. ....	57
Figura 4.11 Selector APIELE de 3 posiciones. ....	59
Figura 4.12 Vista frontal y lateral del robot propuesto. ....	61
Figura 4.13 Vista lateral e inferior.....	61
Figura 4.14 Vista lateral e inferior.....	62
Figura 4.15 Vista lateral e inferior.....	62
Figura 4.16 Acople de la llanta para unir al reductor.....	63
Figura 4.17 Placa de acero, la primera vista muestra el diseño de CATIA, la segunda vista muestra las dimensiones de la placa con un grosor de 3mm. ....	64
Figura 4.18 Sección transversal del perfil de aluminio. ....	64
Figura 4.19 En la primera vista se ve la parte superior del sujetador de baterías, en la otra vista se aprecia de forma lateral.....	65
Figura 4.20 Base para uno de los relevadores. ....	65
Figura 4.21 Base para la tarjeta. ....	65
Figura 4.22 Base para el regulador.....	65
Figura 4.23 Base para uno de los relevadores. ....	65
Figura 4.24 Base para el convertidor de corriente. ....	66
Figura 4.25 Base central hecha de acrílico.....	66
Figura 4.26 Base principal de las lámparas. ....	67
Figura 4.27 Sockets giratorios. ....	67
Figura 4.28 Soporte adicional.....	68
Figura 4.29 Sujetador para sockets. ....	68
Figura 4.30 Soporte de apoyo. ....	68
Figura 4.31 Base superior externa de los sensores en 3 ángulos diferentes. ....	69
Figura 4.32 Base para los sensores infrarrojos. ....	69
Figura 4.33 Base para el sensor de CO2. ....	69

Figura 4.34 vista de los 4 perfiles centrales.	70
Figura 4.35 vista de los 4 perfiles centrales y de los 2 perfiles adicionales.	70
Figura 4.36 Tapa lateral izquierda.	70
Figura 4.37 Tapa lateral derecha.	71
Figura 4.38 Tapa lateral del lado de los motores.	71
Figura 4.39 Tapa superior del lado de los motores.	71
Figura 4.40 Tapa superior.	72
Figura 4.41 Tapa frontal y lateral.	72
Figura 4.42 Tapa central.	73
Figura 5.1 Diagrama de comunicación Wifi entre servidor Flask y dispositivo móvil.	74
Figura 5.2 Configuración de red local Wifi.	75
Figura 5.3 Comunicación entre tarjeta y dispositivo móvil con red local Wifi.	76
Figura 5.4 Aplicación web para operar el robot.	76
Figura 5.5 Diagrama de flujo del funcionamiento general del robot desinfectante UVC	77
Figura 5.6 Diagrama de conexión de motor a pasos Nema 23 con controlador DM542 y Raspberry Pi.	78
Figura 5.7 Diagrama de conexión del módulo sensor CO2.	80
Figura 5.8 Diagrama de conexión de los sensores infrarrojos de presencia con Raspberry Pi.	81
Figura 5.9 Diagrama de conexión de los sensores ultrasónicos.	82
Figura 5.10 Diagrama de conexión de relevadores.	83
Figura 5.11 Configuración de archivo system para ejecución del servidor al encender.	84
Figura 5.12 Acople de acero A36.	85
Figura 5.13 unión de la placa al chasis.	86
Figura 5.14 acople de impresión en 3D para llanta.	86
Figura 5.15 sistema de transmisión.	86
Figura 5.16 Estructura con los perfiles.	87
Figura 5.17 Colocación de la lámina inferior.	88
Figura 5.18 uniones para perfil 20x20 mm.	88
Figura 5.19 Vista de la parte inferior del robot.	89
Figura 5.20 Piezas impresas para la base central.	89
Figura 5.21 Base superior de los sensores infrarrojos y de CO2.	90
Figura 5.22 Base para sujetar los sensores infrarrojos y de CO2.	90
Figura 5.23 Base superior e inferior.	91
Figura 5.24 Vista de los soportes de apoyo.	91
Figura 5.25 Base para la bornera.	92
Figura 5.26 Vista lateral y frontal del robot ya terminado.	93
Figura 6.1 Grafica de monitoreo de CO2 de la primera prueba.	94
Figura 6.2 Grafica de monitoreo de CO2 de la segunda prueba.	95
Figura 6.3 Grafica en Ocean View de la longitud de onda emitida por las lámparas UVC del robot.	97
Figura 6.4 Pruebas de irradiación de cada lámpara	98
Figura 6.5 Grafica de la irradiación de las 6 lámparas.	99
Figura 6.6 Pruebas a distancia de la irradiación del robot.	100
Figura 6.7 Grafica de irradiación del robot a distancia.	100
Figura 6.8 Toma de muestras en las 3 zonas de la mesa	102

Figura 6.9 Desinfección en 3 diferentes zonas a diferencias distancias ..... 103

# ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Subclasificaciones de los robots [34].	13
Tabla 3.1 Requerimientos.	26
Tabla 3.2 Asignación de peso a los requerimientos.	26
Tabla 3.3 Métricas.	27
Tabla 3.4 Especificaciones objetivo.	27
Tabla 3.5 Comparación de requerimientos de fuentes de alimentación.	31
Tabla 3.6 Comparación de requerimientos del sistema de comunicación inalámbrico.	32
Tabla 3.7 Comparación de requerimientos del sistema de control.	33
Tabla 3.8 Comparación de requerimientos de la fuente de iluminación UVC.	33
Tabla 3.9 Comparación de requerimientos de la tecnología de la pantalla.	34
Tabla 3.10 Comparación de requerimientos de motor.	35
Tabla 3.11 Comparación de las ruedas.	35
Tabla 3.12 Comparación de los sensores para evasión de objetos.	36
Tabla 3.13 Comparación de cámara.	37
Tabla 3.14 Comparación de los sensores de presencia.	37
Tabla 3.15 Comparación de sensor CO <sub>2</sub> .	38
Tabla 3.16 Tabla de generación de concepto.	39
Tabla 3.17 Matriz de selección de conceptos.	40
Tabla 4.1 Características de lámpara philips	42
Tabla 4.2 Características del balastro philips.	43
Tabla 4.3 Características del convertidor.	44
Tabla 4.4 Pesos considerados de cada componente.	45
Tabla 4.5 Características de motor Nema 23 1.2Nm.	48
Tabla 4.6 Características de controlador DM542T stepperonline.	48
Tabla 4.7 Características de Reductor PLE23-G5-D10.	49
Tabla 4.8 Características de ruedas omnidireccionales Mecanum.	50
Tabla 4.9 Características de tarjeta Raspberry Pi 4B.	52
Tabla 4.10 Características de baterías.	53
Tabla 4.11 Características del módulo regulador Xy-3606	54
Tabla 4.12 Características del sensor HC-SR501	55
Tabla 4.13 Características del sensor HC-SR04	55
Tabla 4.14 Características del módulo de sensor SCD-40.	56
Tabla 4.15 Características de la cámara web Logitech C920.	57
Tabla 4.16 Características de los módulos relevadores JQC-3FF-S-Z y SLA-05VDC-SL-C.	58
Tabla 4.17 Características del selector APIELE.	59
Tabla 4.18 Características de los diferentes calibres de cables utilizados.	60
Tabla 4.19 Comparación de materiales.	63
Tabla 6.1 Pruebas de desinfección a diferentes distancias con 5 minutos de irradiación UVC	104
Tabla 6.2 Consumo de energía por componentes del robot.	106
Tabla 6.3 Comparación de tiempos de operación.	106

# 1 PRELIMINARES

## 1.1 INTRODUCCIÓN

Los seres vivos interactúan constantemente con seres microscópicos, como los agentes patógenos, estos son entidades biológicas que producen enfermedades infecciosas en un huésped [1], algunas de estas llegan a ser mortales. Un ejemplo claro es la reciente pandemia causada por la enfermedad por coronavirus (COVID-19), ocasionada por el virus SARS-CoV-2, o, que fue notificado por primera vez en Wuhan (China) el 31 de diciembre de 2019 [2], este virus se propaga cuando una persona infectada exhala partículas respiratorias que contienen el virus las cuales pueden ser inhaladas por otras personas, depositarse sobre sus ojos, nariz o boca o contaminar superficies que pueden ser tocadas por otras personas [2]. Otro ejemplo importante son las infecciones que se pueden contraer en los quirófanos. Estas representan del 14 al 17% de todas las infecciones adquiridas en un hospital, siendo una causa importante de la morbilidad y muerte de los pacientes [3]. Los quirófanos se rigen bajo un estricto régimen de limpieza [4][5] que permite controlar fuentes externas de contaminación o alteración micro ambiental, sin embargo la desinfección no es 100% efectiva. Los ejemplos anteriores dan un panorama de que es necesario la implementación tecnológica en el área sanitaria que permita enfrentar tanto situaciones de gran magnitud como son las pandemias hasta situaciones cotidianas que enfrentan los hospitales, escuelas y lugares de trabajo en términos de control sanitario.

Este trabajo propone, como una posible solución a estos problemas, la implementación de un robot móvil, el cual por medio de radiación ultravioleta tipo C (UVC) desinfecte superficies que así lo requieran. El uso específico de este tipo de luz ultravioleta es debido al intervalo de longitud de onda en el que se encuentra, 200-280 nm, pues permite inactivar el ADN y ARN en virus, bacterias, moho y hongos, inhibiendo su reproducción celular [3].

Una persona infectada por SARS-CoV-2, puede liberarlo en el ambiente por medio de la saliva, o al exhalar, con lo cual puede contagiar a personas que estén a su alrededor o que estén en contacto con las superficies que hayan sido contaminadas, es por ello que este proyecto integra un sensor de CO<sub>2</sub>, así cuando la cantidad de dióxido de carbono emitido en

una habitación sea considerable, acorde a lo reportado para la enfermedad del COVID-19 por la OMS, se comenzara una desinfección para evitar posibles contagios.

## 1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

A lo largo de la historia, la humanidad ha desarrollado tecnología y dispositivos robóticos capaces de realizar diferentes tareas, pero la mayoría de estos avances están dirigidos a la industria. Por otra parte, los que están dirigidos al cuidado de la salud se enfocan principalmente a servicios de rehabilitación, ya que por ahora se cuentan con dispositivos robóticos capaces de ayudar a personas con discapacidad, pero no a dar servicios de limpieza o a brindar apoyo para conservar áreas desinfectadas [6]. Actualmente, con el problema que se presenta a nivel mundial dado por la reciente pandemia de la COVID-19, se abre una brecha de posibilidades en el ámbito de los dispositivos robóticos capaces de apoyar en el área de los servicios enfocados al cuidado de la salud [7].

Uno de los principales problemas que se han detectado tanto en hospitales, escuelas y hogares es la desinfección del lugar, eliminando virus, bacterias y otros patógenos que pueden ser peligrosos para el ser humano, como el virus SARS-CoV-2, el cual ha llegado a ser sumamente contagioso, creando la necesidad de buscar maneras más rápidas y eficientes de realizar la desinfección en diversos lugares, de tal manera que se han llevado a cabo diferentes técnicas para cumplir este fin como el de aplicar líquidos desinfectantes sobre el área que requiere la limpieza, ya sea por el medio de contacto directo o la atomización del mismo [8].

No obstante, estos métodos llevan tiempo y, además, ponen en riesgo a la persona que se encarga de realizar el proceso de desinfección, quedando expuesta a un contagio o una intoxicación por el material de limpieza. También se debe de contemplar la creación de residuos y que el área no se puede utilizar de manera inmediata después de realizarse la desinfección [9].

Hoy en día, se cuenta con tecnología capaz de desinfectar, como la luz UVC con la cual se logra detener la reproducción celular de patógenos y virus peligrosos para el ser humano sin dejar algún residuo o tener que esperar a que el área sea segura; además, gracias a los dispositivos robóticos, se puede disminuir la participación humana en las tareas de

desinfección de un área haciendo el trabajo más rápido y seguro, dando lugar a que las personas puedan enfocarse a otras actividades que son igualmente de vital importancia [10].

Con base en la problemática descrita, el presente trabajo aborda el desarrollo un robot móvil capaz de realizar tareas de desinfección por medio de radiación UVC, dando paso a la aplicación de los sistemas robóticos en el cuidado de la salud. El robot pretende implementarse en diferentes lugares como escuelas y hospitales donde se puede tener una mayor concentración de patógenos peligrosos. De igual forma, el dispositivo busca emplear las nuevas tecnologías en desinfección basadas en luz UVC, de la cual se ha comprobado su efectividad, además de permitir utilizar el área inmediatamente después de llevarse el proceso de desinfección [11].

### 1.3 OBJETIVOS

- Objetivo general

Desarrollar un prototipo de robot que permita la desinfección de superficies mediante radiación ultravioleta y el monitoreo de CO<sub>2</sub>.

- Objetivos particulares
- Diseñar y construir la estructura mecánica del robot.
- Seleccionar los actuadores para el movimiento del robot.
- Implementar el sistema de detección de objetos.
- Implementar el sistema de irradiación UV.
- Integrar el sensor de CO<sub>2</sub>.
- Integrar los subsistemas y probar su funcionamiento.

### 1.4 JUSTIFICACIÓN

La propagación de la COVID 19 provocada por el virus SARS-CoV-2 puso en evidencia, principalmente en México y América Latina, la falta de medidas necesarias para poder afrontar y controlar situaciones como estas. El sector salud, el educativo y el laboral, que

conllevan un continuo contacto y acercamiento entre personas, se vieron gravemente afectados, haciendo que en muchos casos las actividades que desarrollan estos sectores se suspendieran. Este problema ha provocado que las personas busquen una manera de poder contribuir en la resolución de este problema con acciones que van desde el uso de mascarillas inteligentes [12] hasta robots autónomos [13] que permiten la desinfección de los espacios, como los hospitales o escuelas, donde existe una mayor demanda de higiene por la cantidad de personas que pueden ser afectadas por dicho virus.

De acuerdo con los Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades (CDC) el riesgo de contagiarse tocando alguna superficie como vidrio, metal o plástico es bajo siempre y cuando se lleve a cabo una limpieza del área correspondiente o en su defecto que el tiempo transcurrido después del primer contacto sea de 72 horas, garantizando una eliminación del virus cercana del 99% para dicha superficie, teniendo en cuenta esto es considerable replantear la posibilidad de hacer una limpieza cada cierto tiempo en lugares con gran contacto de superficies como las escuelas en general.

Este trabajo además de usar luz ultravioleta implementa el uso de un sensor de CO<sub>2</sub>, el cual, mide la concentración de dióxido de carbono en el lugar donde se encuentre. Tomando como referencia la COVID-19, las personas con dicho virus al exhalar no solo liberan CO<sub>2</sub>, sino que también expulsan el virus. Así cuando exista cierta concentración de este gas, será necesario desinfectar el lugar para evitar futuros contagios [14].

## 1.5 ALCANCE

Con la propuesta mencionada a partir de la problemática planteada, el alcance del proyecto se describe a continuación, considerando a manera de tareas que debe cumplir el prototipo de robot. Estas tareas se describen a continuación.

- Se desplazará en áreas horizontales, sin rampas o suelos irregulares.
- Permanecerá en modo de reposo en presencia de una persona.
- Se desplazará con la intervención de un control.
- Será capaz de monitorear la calidad del aire mediante un sensor de CO<sub>2</sub>.

## 1.6 ESTADO DEL ARTE

La luz UV ha sido utilizada como método de desinfección desde los años 30 [15], ejemplo de esto es el uso que se le daba en la desinfección del agua y del aire. Sin embargo, la luz UV obtuvo más relevancia en la década de los 50 donde fue empleada para erradicar la tuberculosis, usando tubos fluorescentes ultravioleta [16]. La luz UVC actualmente puede usarse con tecnología LED, lo cual implican ventajas como la durabilidad y el bajo consumo de energía, sin embargo cualquier tecnología empleada en este tipo de luz conduce a daños en la estructura molecular ya que es absorbida por el ADN y el ARN, por lo cual puede llegar a ser dañina en contacto directo para los seres humanos causando problemas en los ojos y piel que pueden posteriormente provocar cáncer [15]. La luz UVC, como se representa en la Figura 1.1, es efectiva cuando se requiere de un proceso de desinfección ya que puede romper las cadenas del ADN de los virus y bacterias, impidiendo su reproducción. Todo esto depende del tiempo de exposición a la luz y de la distancia que existe entre el objeto a esterilizar y la fuente de luz [17].

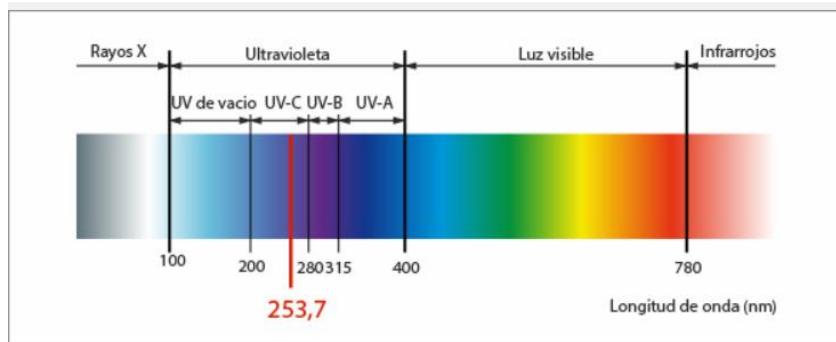


Figura 1.1 El espectro de la luz [18].

El campo de la robótica ha crecido en gran medida al pasar de los años, especialmente en el campo de la industria y servicios dentro de la misma, pero el sector de la salud es el menos beneficiado, lo que es notable al ver la mayor cantidad de estos en el campo industrial, no obstante se tienen robots de gran avance tecnológico empleados a cirugías como es el caso del sistema quirúrgico Da Vinci que cumple un papel importante en el campo de la salud ayudando a realizar movimientos de precisión que no son posibles por pulso humano [19]. Ahora con la aparición del virus SARS-CoV-2, la robótica está siendo rápidamente adaptada

a solucionar problemas como evitar la propagación de virus y bacterias a través de la desinfección, además de todo esto se estima que se requieren mayores robots de apoyo para enfermeras y personal con el fin de aumentar su productividad [20]. Un robot de servicio es el término que se implementó por primera vez en 1993 por el Instituto Fraunhofer de Ingeniería de Producción y Automatización (Fraunhofer IPA), el cual se cataloga según su interpretación como un dispositivo cinemático libremente programable que realiza los servicios de semi o de forma totalmente automática. Aclarando que los servicios son tareas que no contribuyen a la fabricación industrial de los bienes, pero son la ejecución de un trabajo útil para el ser humano y el equipo [20].

Ante esta pandemia, las medidas de desinfección en superficies se han intensificado, tratando de mantener limpio cualquier lugar con alto contacto humano, Zhang *et al.* [21] han demostrado que la propagación de las bacterias en el aire y superficie son tan peligrosas como estar en contacto con alguien infectado. Otro punto que es importante son los métodos de protección que son efectivos ante el virus, los cuales, de acuerdo con Sean Wei *et al.*, lo mejor que se puede hacer es utilizar máscaras y desinfectar superficies [22]. Actualmente, se tiene como forma más rentable de limpiar una superficie el contacto físico, sin embargo no es el método más viable por múltiples razones, como la posibilidad de que el personal no limpie toda el área, además de que no es un método de limpieza eficiente para lugares concurridos como es el caso de almacenes, escuelas, centros comerciales y hospitales, sumado todo a que la persona que realiza esta tarea está expuesta a productos químicos peligrosos e incluso a los propios virus y bacterias que deben limpiar [23]. Hasta el momento, para optimizar este proceso en áreas más grandes realizando tareas como la limpieza de pisos y la desinfección de zonas públicas sin riesgo humano y además ya no necesitan ser controlados [24]. La autonomía en los robots que se tiene hoy en día da grandes ventajas ya que se pueden aplicar métodos más eficientes y precisos, así como usar diversas técnicas simultáneamente, o simplemente depender lo menos posible del factor humano.

El desarrollo de estos dispositivos robóticos que ayudan en el campo de la salud en algo tan simple como la limpieza se ha convertido en un tema de vital importancia actualmente y esto ha llevado a que se presenten diferentes propuestas de robots para cumplir el fin común de desinfectar diversas áreas dependiendo lo menos posible de intervención humana.

Por ejemplo, la empresa Geek+ ha desarrollado un robot de desinfección (ver Figura 1.2), para garantizar entornos de trabajo seguros durante la pandemia por COVID-19, su robot “*Lavender*” de desinfección de UVC elimina al 99.99% de patógenos utilizando una longitud de onda de UVC a 253.5 nm, además de operar 24/7 sin supervisión o intervención humana, y excluyendo el uso de productos químicos para funcionar [25]. *Lavender* tiene lámparas UVC que están dispuestas en un patrón circular para entregar luz a todas las áreas. Este robot tiene tres funciones diferentes: modo estándar, que automáticamente realiza desinfección de mapas completas no tripuladas, un modo definido por el usuario que lleva desinfección a lo largo de una ruta preestablecida definida por el usuario, por último, un modo estático mediante el cual robot alcanza un lugar específico y completa la desinfección [25].



Figura 1.2 Robot *Lavender* para desinfección UV [25].

Como se puede observar existen alternativas ya desarrolladas que cuentan con especificaciones muy convenientes y atractivas que, además, son similares a las planteadas para el robot de este trabajo. Sin embargo, así como existen dispositivos similares en las especificaciones, también existen otros que cumplen con el mismo objetivo, pero empleando métodos de desinfección diferentes, como es el caso del peróxido de hidrógeno, ya que el es más fuerte que el cloro y la cloramina lo hace ideal para la descontaminación durante los brotes [26].

Andersen *et al.*, desarrollaron un robot programable que realiza la descontaminación de la superficie usando peróxido de hidrógeno en aerosol seco como medio desinfectante en salas de prueba y cirugía, ambulancias y equipos médicos. El robot, mostrado en la Figura 1.3, funciona produciendo peróxido de hidrógeno como partículas cargadas eléctricamente que

se mueven a través del aire como un aerosol seco, el peróxido de hidrógeno luego se adhiere a las partículas en la atmósfera y en superficies, formando una película seca en estas partículas [18].



*Figura 1.3 Robot de desinfección con peróxido de hidrogeno [27].*

Considerando la ineeficacia actual de diversas estrategias en la prevención de la propagación del virus, la falta de tratamientos específicos, y frecuente aumento de casos a diario, la desinfección es una importante medida disponible para prevenir la propagación del COVID-19 y para combatir el SARS-CoV-2 directamente, sin embargo, la desinfección exitosa de éste puede depender de diversos factores tales como las características propias del virus, e incluso de las características del lugar donde se efectúa el proceso de desinfección [28].

Los desinfectantes químicos normalmente son utilizados para inactivar o destruir microorganismos sobre superficies o lugares, mientras que los desinfectantes que están disponibles en líquido, gel o espuma se utilizan generalmente para desinfección de manos e incluso prendas de vestir. Las formas alternas de desinfección siguen avanzando, como la luz UVC implementada en dispositivos robóticos autónomos que eviten los problemas de intoxicación hacia las personas con sustancias químicas y exposición a otros contaminantes.

## 1.7 SUMARIO

Hasta ahora, se ha dado a conocer el problema que se quiere resolver, los objetivos que se pretenden alcanzar, el motivo por el cual se eligió este proyecto, además de una breve introducción en la intervención de tecnología en el área de limpieza.

En el siguiente capítulo se presenta un poco de la historia con respecto a los robots, definiciones tales como robótica, robot, sus clasificaciones haciendo hincapié en los robots móviles, abordando temas sobre su estructura. En este mismo capítulo se mencionan temas relacionados a los patógenos y la luz UV, su clasificación y datos en específico con respecto a la longitud de onda pertinente para la eliminación de ciertos patógenos, también se mencionan brevemente los antecedentes de esta.

## 2 MARCO TEÓRICO

Para el diseño y manufactura de un robot es necesario conocer las diferentes partes que lo integran, esto con el fin de hacer los cálculos y distribuciones pertinentes para su perfecto funcionamiento, definir qué acción realizará ya que existen diferentes tipos de robots los cuales se pueden usar para diferentes tareas según su morfología además de la implementación de partes externas que lo ayuden con su propósito, por ejemplo para este proyecto se hace uso de lámparas UVC, un sensor de CO<sub>2</sub>, sensores ultrasónicos, sensores infrarrojos y una cámara, solo por mencionar algunos elementos externos, los cuales deben ser considerados dentro del diseño del robot móvil. Por ello, en el presente capítulo se mencionan estos conceptos.

### 2.1 ANTECEDENTES HISTÓRICOS

A lo largo de la historia los seres humanos han buscado la manera de facilitar tareas en su vida diaria, en su trabajo u otras actividades que conlleven un proceso largo, requieran gran cantidad de fuerza o provoquen riesgos a la salud de los humanos.

Hay antecedentes que desde la antigua Grecia con Herón de Alejandría (85 d.C.), aparecen los primeros automatismos enfocados en disminuir el esfuerzo en diferentes tareas [29].

- En los siglos XVII y XVIII se crean dispositivos mecánicos los cuales contaban con algunas características de los robots actuales, estos fueron creados mayormente por artesanos del gremio de la relojería [30].
- A finales del siglo XVIII y principios del siglo XIX se crean invenciones mecánicas utilizadas principalmente por la industria textil, con ello se da paso a utilizar dispositivos automáticos en la producción lo que llevó a la automatización industrial [30].
- La primera empresa productora de robots fue Unimation instalando su primer robot en General Motors Company en su sistema de producción [30].

- En 1960 J. McCarthy, en el MIT, adopta el término inteligencia artificial donde sus discípulos Minsky, Newell y Simon difundieron los beneplácitos que esta nueva rama deparaba, como el razonamiento automático, los sistemas expertos y la robótica.
- En 1960 se diseña el primer robot móvil controlado por visión Shakey (véase la Figura 2.1), en la universidad de Stanford, el fracaso de este robot permitió ver que trasladar el razonamiento lógico de alto nivel era más práctico que introducir habilidades sensomotoras [29].



Figura 2.1 Robot Shakey obtenida de [31].

Actualmente los campos de aplicación donde existen robots son cada vez más numerosos [29], como:

- Conquista del espacio
- Industria en general
- Laboratorios
- Manipulación en entornos peligrosos
- Agricultura
- Educación
- Asistencia a discapacitados
- Seguridad y defensa
- Sector servicios

Sin duda el desarrollo tecnológico avanza a pasos agigantados. En el sector de interés para el presente trabajo, el campo médico, se puede apreciar esto, viendo como en 1985 el brazo

robótico PUMA 560 se usó para realizar una neurocirugía, en el año 2000 se produjo un gran avance al introducir el robot Da Vinci, el cual realiza cirugías de complejidad media, en el año 2009 aparece el robot RIBA el cual ofrece asistencia en hospitales a personas de edad avanzada y esto es solo por mencionar algunos [29]. Las aplicaciones en los que se puede observar la influencia de la robótica son en el área de cirugía, de rehabilitación, de almacenamiento y distribución de medicamentos, de asistencia sanitaria, de prótesis y exoesqueletos robóticos, de recuperación de sentidos y en la investigación de vacunas [32].

## 2.2 ROBÓTICA

La robótica es una rama de la tecnología, encargada de estudiar el diseño y la construcción de máquinas capaces de desempeñar tareas realizadas por seres humanos o que requieren el uso de inteligencia. Es una tecnología multidisciplinaria, ya que hace uso de recursos que le proporcionan otras ciencias o disciplinas como la informática, la electrónica, la mecánica y la ingeniería [30].

### 2.2.1 ¿QUÉ ES UN ROBOT?

La palabra robot se escuchó por primera vez en 1921 por el escritor checo Karel Capter en su obra Rossum's Universal Robot. La base de ésta es la palabra eslava *robo*ta, haciendo referencia al trabajo realizado de manera forzada [30].

La definición de la palabra robot puede variar, ya que no hay alguna en específico que satisfaga a todas las personas al mismo tiempo, algunas definiciones que pueden encontrarse en la literatura son:

*”Un robot es un manipulador programable, automáticamente controlado, reprogramable y multipropósito en tres o más ejes, que puede estar o no fijo en un lugar”* definición dada por la Organización Internacional para la Estandarización (ISO) [33].

El Instituto Americano de Robótica (RIA) utiliza la definición: *“un manipulador reprogramable, multi-funcional designado para mover materiales, partes, herramientas o dispositivos especializados mediante movimientos variables programados para el desempeño de una variedad de tareas”* [33]. Otra definición que se puede encontrar según el diccionario Merriam-Webster es *“una máquina que se parece a un ser humano y realiza diversas actividades complejas (como caminar o hablar) de un ser humano”* [33].

Haciendo referencia a la robótica, en este punto también se pueden aludir las tres leyes de la robótica, las cuales se hicieron mención por primera vez en la revista Galaxy Science Fiction por el escritor Isaac Asimov en 1945 [30].

- Primera ley. Un robot no puede perjudicar a un ser humano, ni con su inacción permitir que un ser humano sufra daño.
- Segunda ley. Un robot ha de obedecer las coordenadas recibidas de un ser humano, excepto si tales ordenes entran en conflicto con la primera ley.
- Tercera ley. Un robot debe proteger su propia existencia mientras tal protección no entre en conflicto con la primera o segunda ley.

A pesar de que estas leyes están empleadas bajo el tema de ciencia ficción, la tecnología avanza tan rápido que es de esperarse que en un futuro realmente sean usadas.

### 2.2.2 CLASIFICACIÓN DE LOS ROBOTS

La clasificación de los robots varía, teniendo en cuenta si la arquitectura está anclada a una plataforma fija (manipulador) o si la plataforma es móvil (robot móvil). Y de estas mismas surgen otras clasificaciones según la función que desempeñan como se muestra en la siguiente Tabla[34].

*Tabla 2.1 Subclasificaciones de los robots [34].*

Robot manipulador	Robots industriales
	Robots para aplicaciones médicas
	Robots para aplicaciones en rehabilitación
Robot móvil	Móviles terrestres autónomos
	Móviles aéreos autónomos
	Móviles subacuáticos autónomos
Híbridos	Caminadores (bípedos hexápodos)
	Humanoides

### 2.2.3 ROBOTS MÓVILES

Los robots móviles tienen la capacidad de desplazarse de forma autónoma o teleoperado en un entorno desconocido e incluso conocido parcialmente. Teniendo aplicaciones en varios campos, tales como: trabajos subterráneos, tareas submarinas, misiones espaciales y exploración planetaria, vigilancia e intervención de seguridad, aplicaciones militares, entre otros [35].

La palabra autónomo se refiere a la capacidad de percibir, modelar, planificar y actuar para alcanzar objetivos sin la intervención humana. Así, un robot móvil es un sistema donde se identifican diversos elementos que interactúan entre sí como el de percepción, planificación, control de movimiento y locomoción [36].

Uno de los robots dentro del área de los hospitales es el Helpmate que se muestra en la Figura 2.2, un robot enfermero fabricado por la compañía Helpmate Robotics Inc. Este robot fue diseñado para aliviar el peso de las labores de los enfermeros o algunos otros trabajadores de los hospitales[35].



Figura 2.2 Robot Helpmate obtenido de [37].

### 2.2.4 TIPOS DE ROBOTS MÓVILES TERRESTRES

Se desglosan tres tipos de acuerdo al sistema de locomoción que condicionan a un robot según su entorno [38]:

- Locomoción por ruedas. Usado principalmente para superficies lisas.
- Locomoción por orugas. Usados en superficies irregulares.
- Locomoción por extremidades. Coloquialmente nombrada ‘por patas’. Usados en superficies muy irregulares.

De lo anterior es importante conocer las características de los robots con ruedas, de ello una primera descripción que se puede obtener son los vehículos con ruedas. Estos consiguen movilidad en terrenos duros y libres de obstáculos, lo cual les permite conseguir velocidades altas. Cabe mencionar que su eficiencia disminuye en terrenos blandos además dependiendo de las características de la superficie se pueden presentar deslizamientos y vibraciones [39].

Los tipos de locomoción en robots móviles [39], se pueden ver representados en la Figura 2.3:

- a) Ackerman. Se usa en vehículos de cuatro ruedas, para eliminar el deslizamiento la rueda delantera interna gira un ángulo mayor a la rueda exterior. Para evitar deslizamiento y desgaste de las cubiertas al tomar curvas se precisa una divergencia de las ruedas delanteras, con lo anterior se obtiene una geometría eficaz para la dirección, esto es que todos los ejes de las ruedas van a incidir en un punto el llamado centro instantáneo de rotación. El problema principal de este tipo de locomoción es la limitación en la maniobrabilidad.
- b) Triciclo clásico. Es un sistema de tres ruedas, la rueda delantera ayuda a la tracción y direccionamiento del vehículo y su eje trasero cuenta con dos ruedas las cuales se mueven libremente. Un problema que puede presentar este sistema es disminuir la estabilidad del vehículo en superficies difíciles además del desplazamiento de su centro de gravedad cuando se presenta una pendiente, lo que conlleva una pérdida de tracción e incluso puede llevar a su volcadura.
- c) Direccionamiento diferencial. La dirección del vehículo se da por la diferencia que presentan las dos únicas ruedas de este vehículo, estas mismas también son las responsables de la tracción. Las variables que controlan este sistema son velocidades angulares de ambas ruedas.
- d) *Skid steer*. En este sistema el vehículo presenta múltiples ruedas en las laterales de este. Este tipo de vehículos son usados en aplicaciones de uso rudo, como aplicaciones mineras.
- e) Síncronas. Este sistema hace funcionar al mismo tiempo todas las ruedas haciendo que giren de forma síncrona.

- f) Tracción omnidireccional. El sistema utiliza tres ruedas directrices y motrices. Cuenta con tres grados de libertad lo cual no lo limita cinematicamente.

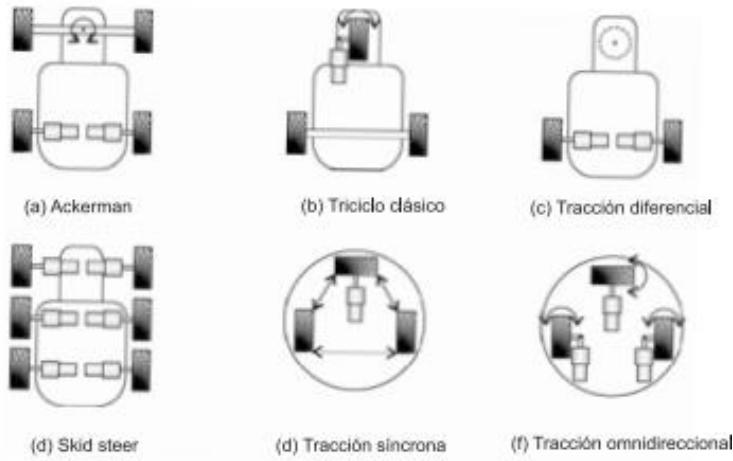


Figura 2.3 Tipos de locomoción en robots móviles obtenido de [40].

Para este proyecto se considera el sistema mecánico omnidireccional de 4 ruedas, como se ve en la Figura 2.4.

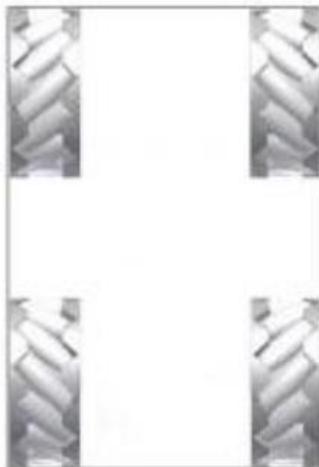


Figura 2.4 Distribución del sistema mecánico omnidireccional de 4 ruedas.

Esto con el fin de obtener una mayor movilidad del robot debido al poco espacio que puede tener el lugar que desinfectará.

Es importante mencionar que las llantas deben de encontrarse en una disposición específica según el lado en el que se encuentren debido a su forma ya que si no se colocan correctamente pueden afectar el movimiento del robot.

La Figura 2.5 muestra la disposición de las llantas Mecanum y un par de ejemplos del desplazamiento del robot.

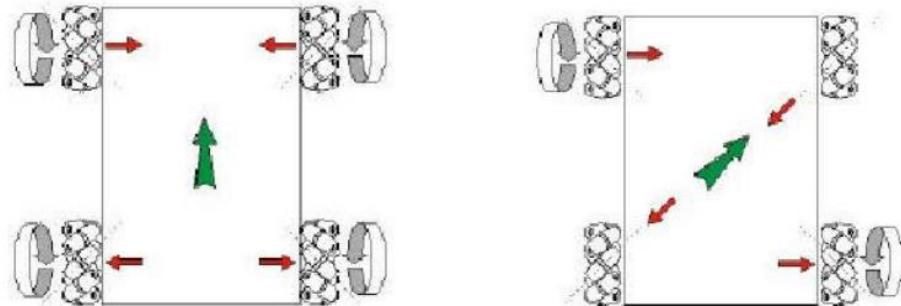


Figura 2.5 Posición de las llantas.

En la Figura 2.6 podemos visualizar que, en el primer caso, si se activan las 4 llantas siguiendo la dirección de las flechas azules permitirá el desplazamiento hacia enfrente del robot y las otras 9 direcciones disponibles en las cuales se podrá desplazar el robot.

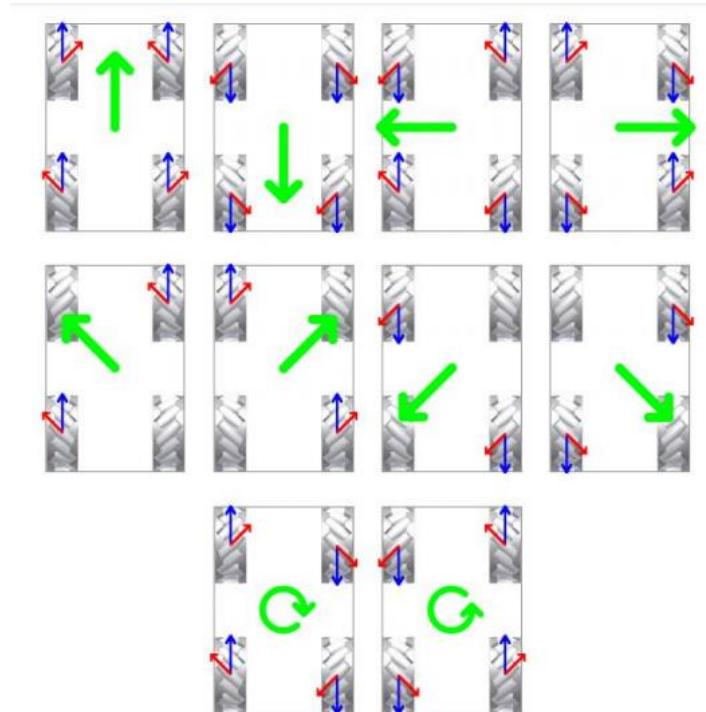


Figura 2.6 Combinación de velocidades para obtener las diferentes direcciones que pueden proporcionar las llantas Mecanum al robot.

## 2.2.5 RUEDAS

Dentro de estas se encuentran dos tipos de ruedas básicas: la rueda convencional y la rueda sueca. La primera prevé un contacto entre la rueda y la superficie que satisface la rotación sin resbalamiento, esto es, que la velocidad en el punto de contacto es cero. De esta división surge una subdivisión:

- Rueda fija. El eje de está fijo a la estructura del robot.
- Rueda orientada centrada. El movimiento de la rueda con respecto a la estructura es una rotación alrededor de un eje vertical que pasa a través del centro de la rueda.
- Rueda loca. La rotación del plano de la rueda es alrededor de un eje vertical el cual no pasa a través del centro de la rueda [40].

El segundo tipo de rueda, rueda sueca, solo hay una componente de la velocidad del punto de contacto de la rueda con la superficie que es igual a cero a lo largo del movimiento, con esto los rodamientos montados en la superficie de la misma pueden desplazarse en dirección perpendicular al plano de la rueda, la Figura 2.4 muestra los tipos de llantas antes mencionados [36-38].

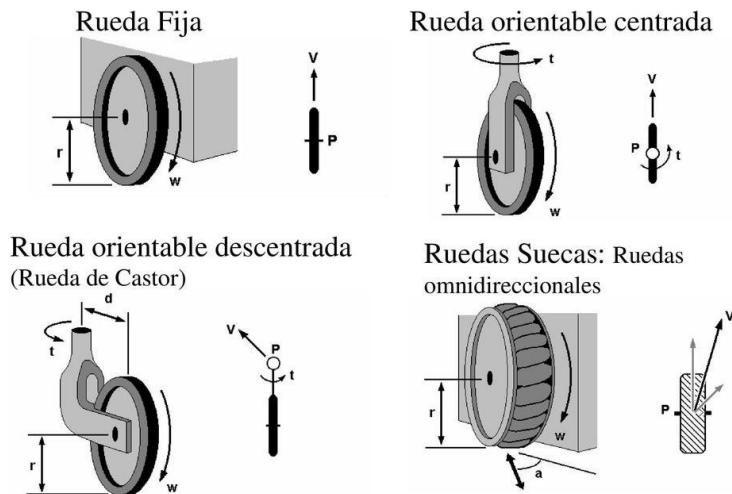


Figura 2.7 Tipos de ruedas convencionales.

Por último, cabe mencionar un punto relevante en cualquier robot móvil, los grados de libertad. Esto se refiere al número de movimientos independientes que puede realizar el

sistema, ya sea movimiento lineal o rotacional. Para un robot móvil terrestre el movimiento se genera en el plano X, Y así como movimiento rotacional.

### **2.2.6 ESTRUCTURA GENERAL DE UN ROBOT**

Un robot se constituye por cuatro sistemas relacionados entre sí: mecánico, sensórico, control y alimentación.

Sistema mecánico. Este permite el movimiento del robot, por lo cual es necesario considerar las propiedades físicas y la estabilidad del equipo. Este sistema se subdivide en sistemas de movilidad, sistemas de transmisión mecánico, cálculos de velocidad y la resolución espacial mecánica para caracterizar un robot [35].

Sistema sensórico. Brinda información para la ubicación de elementos u obstáculos, con la siguiente clasificación: los propioceptivos y exteroceptivos. El primero permite brindar posición, el segundo determina la interacción del entorno con el mismo. Para detectar objetos cercanos deben de tenerse en cuenta dos variables, proximidad y distancia y estas se obtienen de sensores capacitivos, inductivos, ultrasónicos, ópticos, etc. En cambio, para detectar objetos lejanos se emplean técnicas basadas en el mapeo espacial usando radares, sonares y otros [35].

Sistema de control. Es el cerebro de robot ya que interpreta toda la información de éste realizando las siguientes funciones: control de motores, manejo de información del sistema sensórico, algoritmos de navegación y algoritmos de procesamiento de información [35].

## **2.3 ENFERMEDADES CONTAGIOSAS**

Las enfermedades contagiosas son aquellas que se consideran infecciosas pero que se propagan de persona a persona, dentro de esta clasificación se encuentra la familia de los coronavirus, las cuales tienen la particularidad de ser sumamente contagiosas, puesto que tienen distintas maneras de propagación como el contacto físico, contacto con objetos que contengan fluidos infectados, además de por aire cuando se produce la expulsión de fluido infectado de una persona contagiada y otra llega a respirarlo. Estas enfermedades tienen

similitudes de transmisión y forma sin embargo siguen siendo diferentes con respecto al cuadro de evolución de los pacientes y tratamientos. Entre las más importantes están la gripe, los resfriados, el Síndrome Respiratorio Agudo Grave (SARS), el Síndrome Respiratorio de Oriente Medio (MERS), además del nuevo SARS-CoV-2 que ocasiona la enfermedad de COVID-19 [41]. Tomando como referencia el COVID-19 se sabe que se clasifica como una enfermedad respiratoria aguda que en ciertos casos evoluciona en grave, de acuerdo a las actuales investigaciones esta pertenece a la familia *Coronaviridae*, suborden *Cornidovirineae*, orden *Nidovirales*, y reino *Riboviria* [42]. El SARS-CoV-2 es un virus compuesto de ARN monocatenario de sentido positivo haciendo énfasis en su constitución por ácido ribonucleico y una replicación que difiere del uso de ADN intermedio. [43].

El SARS-CoV-2 se transmite mayormente por gotas de fluidos nasales cuando una persona infectada habla, tose o estornuda a una corta distancia de una persona. Otra posible vía de contagio es el contacto de las manos con la boca, ojos o nariz justo después de que una persona toca una superficie u objeto contaminado con el virus [44].

La transmisión del virus se puede dar por medio de aerosoles en el aire los cuales al momento de respirar se producen, esto implica que, si una persona sana inhala este aire con aerosoles contaminados con el virus y la cantidad es la mínima infecciosa, contagiarse sería muy fácil. Debido a esto se puede tomar en cuenta los niveles de CO<sub>2</sub> en lugares cerrados ya que monitoreando las partes por millón en el aire se puede determinar la acumulación de aire reutilizado en estos espacios. De acuerdo con Wenger [41] no se recomienda pasar del rango de las 1000 ppm ya que se tiene mayor exposición al riesgo de una infección [45].

Después del ingreso al cuerpo humano, el virus reconoce las células huésped y la síntesis de proteínas virales se produce utilizando los recursos de las células. Las proteínas virales producidas se acoplan a los ARN virales copiados para convertirse nuevos virus. La repetición de esta replicación viral provoca cambios funcionales y daño de las células huésped, lo que lleva a enfermedades infecciosas como enfermedades respiratorias graves. [46].

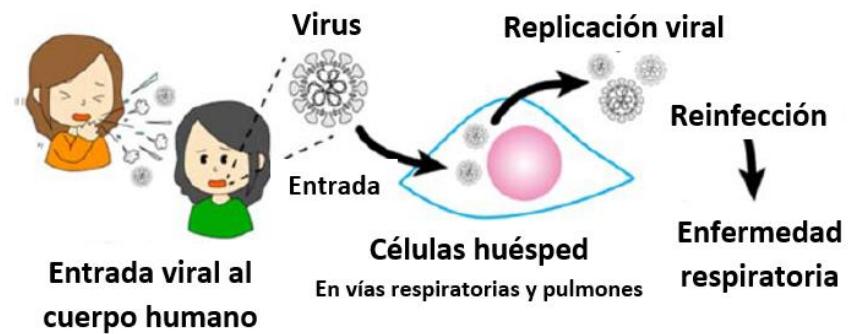


Figura 2.8 Mecanismos de replicación viral en la célula huésped, modificado de [47].

## 2.4 LUZ ULTRAVIOLETA

La historia de la luz ultravioleta comienza en 1672 con Isaac Newton, el cual publicó una serie de experimentos con prismas que dispersaba la luz solar en los colores que la constituyen, del rojo al violeta. Sin embargo, los siguientes datos relevantes sobre la luz ultravioleta se darían hasta 1814 con Fraunhofer quien cartografió más de 500 bandas de luz solar, algunas de las cuales estaban en la región ultravioleta; posteriormente en 1842, Becquerel y Draper mostraron cada uno de forma independiente que las longitudes de onda entre 340 y 400 nm [48]. Las primeras observaciones científicas de los efectos germicidas de la radiación ultravioleta comenzaron en 1877 con Downes y Blunt quienes informaron que las bacterias eran inactivadas por la luz solar y encontraron que el espectro violeta-azul era el más efectivo para dicha tarea, pero no fue hasta 1892 que se demostró que la luz ultravioleta era la responsable de esta acción con pruebas en *Bacillus anthracis* [49]. Los avances siguieron transcurriendo al pasar de los años mayormente en el desarrollo de evidencia bacteriana en condiciones húmedas y menor índice de bacterias en lugares con luz ultravioleta, sin embargo, el primer sistema UVGI (Irradiación Germicida Ultravioleta) el cual fue desarrollado específicamente para desinfectar, fue enfocado a superficies del equipo de tratamiento de aire, además de incluirse en la limpieza del agua de humidificador y sus filtros, y fue detallado por Grun y Pitz en 1974. Aún después de todos los avances y la creación del primer sistema de UVGI, del cual se tienen registros se utilizaba desde 1936 de manera informal en los hospitales, fue hasta 1974 donde se formalizó y se nombró como UVGI, hasta que en 2003 el Centro de Control de Enfermedades CDC reconoció

formalmente que los sistemas eran eficaces y podían utilizarse en hospitales con seguridad [50]. Posteriormente el mismo CDC demostró que los rayos UV podrían ser efectivos para el control de la tuberculosis, en respuesta a la creciente epidemia mundial de tuberculosis que había resistido el control por métodos tradicionales, donde la luz ultravioleta resultó ser eficaz y una gran ayuda para su control en distintas partes del mundo. [51].

#### **2.4.1 FUENTES DE LUZ UV**

La luz ultravioleta se genera de manera natural y de manera artificial, en el caso natural proviene del sol sin embargo la atmósfera filtra la mayoría de este tipo de radiación UV, en el caso de la radiación UV artificial se puede obtener con diferentes tecnologías entre ellas la LED, incandescente, Tubos fluorescentes y hasta láseres que pueden llegar a la longitud de onda UV. Actualmente sobresalen dos tecnologías, la LED y la que es a base de tubos fluorescentes, siendo la primera la más moderna tiende a tener ventajas como la durabilidad y el consumo energético pero desventajas como la longitud de onda a las que puede llegar las cuales no se comparan con la tecnología fluorescente y aunque sea más anticuada y tenga más consumo de energía y menor durabilidad sigue siendo muy usada hoy en día para fines germicidas, por las longitudes de onda que maneja alrededor de los 253 nm que es un número que la tecnología LED no puede alcanzar actualmente [52].

#### **2.4.2 LONGITUD DE ONDA DE ACTIVACIÓN DE LUZ UV**

El espectro de la luz ultravioleta se extiende desde longitudes de onda aproximadamente de 100 a 400 nm. Las subdivisiones de mayor interés en este documento son UVC (200–280 nm) y UVB (280-320 nm) que están dentro del intervalo germicida. Aunque es conocido que todas las longitudes de onda UV causan algunos efectos fotoquímicos, se tiene la particularidad de que las longitudes de onda en el rango de UVC son más dañinas para las células porque son absorbidas por proteínas, en concreto afectan al ARN y ADN [53].

La eficacia germicida de UVC alcanza un pico donde es más efectiva alrededor de 260–265 nm. Esto corresponde al pico de absorción de UV por el ADN bacteriano [54]. De acuerdo con los estudios realizados recientemente con luz ultravioleta y tecnología LED se determinó

que la longitud de onda más efectiva para inactivar el virus del COVID-19 es de 265 nm haciéndolo en un 99% con una menor cantidad de dosis en comparación a otras longitudes de onda como 280 nm y 300 nm. Esto se observa en la Figura 2.6 donde se muestran los resultados de las pruebas [55].

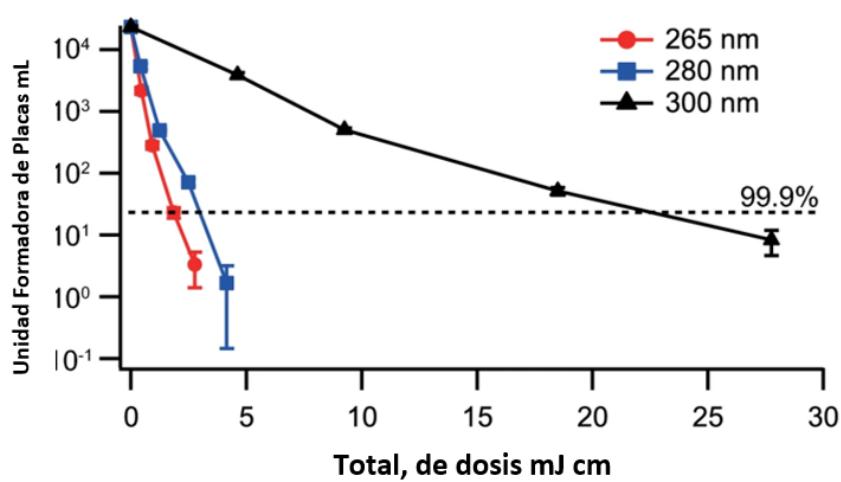


Figura 2.9 Longitud de onda y dosis de energía DUV-LED para la inactivación de COVID 19, modificado de [56].

Existen dos tipos generales de ácidos nucleicos, el ARN y el ADN. Los virus contienen ADN o ARN, pero no ambos [57]. De manera concreta se tiene el conocimiento que las bacterias y los hongos tienen ADN, mientras que los virus pueden tener ADN o ARN. El ADN y el ARN son responsables de la replicación microbiana y la síntesis de proteínas. Por ende, el daño a estos ácidos nucleicos correspondiente a un virus da como resultado su inactivación o dicho de otra manera a su falta de capacidad reproductiva. Las longitudes de onda UV inactivan los microorganismos al causar enlaces cruzados entre ácidos nucleicos constituyentes. Sin embargo también se tienen registros donde se observa que la absorción de luz UV puede resultar en mutaciones o muerte celular [58].

#### 2.4.3 IRRADIACIÓN GERMICIDA ULTRAVIOLETA (UVGI)

La irradiación germicida ultravioleta (UVGI) se define como el uso de rayos ultravioleta en longitudes de onda de luz en el intervalo germicida dado de 200 a 320 nm. El término fue acuñado originalmente por la Comisión Internacional de iluminación (CIE) y posteriormente fue adoptado por el CDC, una particularidad es el hecho que este término distingue las

aplicaciones de desinfección de las no germicidas, como por ejemplo las longitudes de onda UVA que corresponden a luces negras y lámparas bronceadoras correspondientes a una longitud de onda de 320–400 nm [59]. La UVGI también es tomada para distinguir las aplicaciones de desinfección de superficies y de aire de las aguas [60] además resume las definiciones de las bandas primarias de radiación UV, se considera que los rayos UVA se extienden hasta los 315 nm. La radiación UV hoy en día está clasificada estrictamente dentro de los rangos UVA, UVB y UVC. Esta división permite que los rayos UVA sean completamente no germicidas y coloque convenientemente todos los UV germicida en las longitudes de onda correspondientes a las bandas UVB y UVC [59].

Todos los tipos de coronavirus tienen una estructura similar y una longitud de cadena de ARN similar. De acuerdo con las investigaciones para determinar la dosis de radiación UV requeridas para la reducción de los virus en un 90%, varían de  $2\text{ mJ/cm}^2$  a  $20\text{ mJ/cm}^2$ . La dosis UV situada en el límite superior de la media obtenida después de estudiar diferentes dosis es de  $10.6\text{ mJ/cm}^2$ , esto considerando variedad de coronavirus y una longitud de onda alrededor de los 254 nm [61].

## 2.5 SUMARIO

En el siguiente capítulo se abordan los requerimientos, especificaciones y funciones que debe cumplir este proyecto. Con la ayuda de un árbol de funciones se pretende desglosar lo mejor posible todas las funciones necesarias para el buen funcionamiento del robot, además de que con el uso de tablas se hacen comparaciones entre diferentes opciones disponibles para la realización de este, se filtra cada opción hasta llegar a un solo diseño que cumple con las especificaciones, requerimiento y funciones anteriormente mencionadas, además de que se va explicando el motivo de cada elección.

### **3 ANÁLISIS DE REQUERIMIENTOS, ESPECIFICACIONES, FUNCIONES Y DISEÑO CONCEPTUAL.**

En este capítulo se establecerán los requerimientos, especificaciones y funciones que deberá integrar al robot desinfectante en cuestión. Dependiendo de las diferentes peticiones y objetivos a cumplir teniendo en cuenta el entorno donde se desempeñará el robot, se tendrá que implementar los requerimientos que sean necesarios para el cumplimiento de los objetivos específicos planteados en el trabajo, por lo cual partiendo de la planeación esta parte es la siguiente que es identificar los principales requerimientos que son indispensables en el dispositivo a desarrollar.

#### **3.1 REQUERIMIENTOS.**

Para este robot la identificación de los requerimientos que se implementarán fue con base en varios factores que se han considerado para robots enfocados a la limpieza y al servicio haciendo énfasis en el lugar que se quiere implementar. De acuerdo con la Federación Internacional de Robótica, un robot de servicio es un robot que opera de manera semi o autónoma para realizar servicios útiles para el bienestar de los humanos [7], por lo que el prototipo desarrollado se encuentra dentro de esta clasificación. El objetivo es que el robot realice el proceso de desinfección por medio de luz UV y mientras se esté ejecutando dicha actividad se debe evitar que las personas se encuentren dentro del área, ya que la luz ultravioleta puede causar daños en la piel dada la longitud de onda que es de tipo germicida [53].

En la Tabla 3.1 se indican los requerimientos que se han considerado para el desarrollo del prototipo.

*Tabla 3.1 Requerimientos.*

Requerimientos
Que sea fácil de controlar fuera del intervalo de acción del robot.
Que se desplace de manera segura.
Que desinfecte de manera eficiente.
Que tenga peso y dimensiones reducidas
Que sea viable en la operación germicida.
Que tenga buena autonomía energética.
Que sea seguro a la interacción imprevista con las personas
Que se opere vía control remoto.

Los requerimientos que se mencionan en la Tabla 3.2 se tomarán en cuenta para la construcción del prototipo por lo cual se asignará una ponderación para identificar las funciones más fundamentales que debe de contener este en cuanto a importancia y como se enfatizará esto en la construcción de este, todo esto se verá reflejado en la Tabla 3.2.

*Tabla 3.2 Asignación de peso a los requerimientos.*

Requerimientos		Peso
1	El robot desinfectante es	Se mueve de manera segura
2	El robot desinfectante es	Se controla fuera del rango de acción del robot
3	El robot desinfectante es	Es fácil de usar
4	El robot desinfectante es	Es viable en la irradiación germicida
5	El robot desinfectante es	Es seguro a la interacción imprevista con personas.
6	El robot desinfectante es	Tiene buena autonomía energética
7	El robot desinfectante es	Tiene peso y dimensiones reducidas

En la Tabla 3.3 se toma como valor más alto el 5 en la escala de importancia del requerimiento para así poder distinguirlos con mayor peso en el momento del diseño y construcción del prototipo.

### 3.2 ESPECIFICACIONES

Una vez determinado los requerimientos del prototipo se procederá a analizar aquellos que tengan un mayor peso en el diseño y la construcción del dispositivo. Utilizando nuevamente la ayuda de las métricas para esta parte se toman en cuenta las principales especificaciones traducidas en métricas para asignar su importancia acorde con los requerimientos que se relacionan.

*Tabla 3.3 Métricas.*

Número de métrica	Número de los requerimientos	Métrica	Importancia	Unidades
<b>1</b>	1-6-7	Peso del dispositivo	4	kg
<b>2</b>	2-4-6	Potencia de la Iluminación UVC	5	W
<b>3</b>	1-7	Volumen del dispositivo	5	cm <sup>3</sup>
<b>4</b>	4-2-7	Tiempo de operación por ronda de desinfección	3	minutos
<b>5</b>	2-4-6-7	Tiempo de operación total con una carga	5	horas
<b>6</b>	6-7	Tiempo de carga de las baterías	4	horas

En la siguiente Tabla 3.4 se muestran las especificaciones objetivo del prototipo, en base a la investigación realizada en el lugar de operación del robot, como el espacio donde se podrá movilizar el robot dentro del salón de clases, la altura máxima de las mesas y la longitud de onda necesaria para una que la radiación UV se considere germicida de acuerdo con la investigación previa realizada en los apartados anteriores.

*Tabla 3.4 Especificaciones objetivo.*

Número de métrica	Métrica	Unidad	Valor
<b>1</b>	Altura del robot	m	Mayor a 0.76
<b>2</b>	Ancho del robot	cm	40
<b>3</b>	Largo del robot	cm	40
<b>4</b>	Longitud de onda de luz UVC	nm	200 a 320

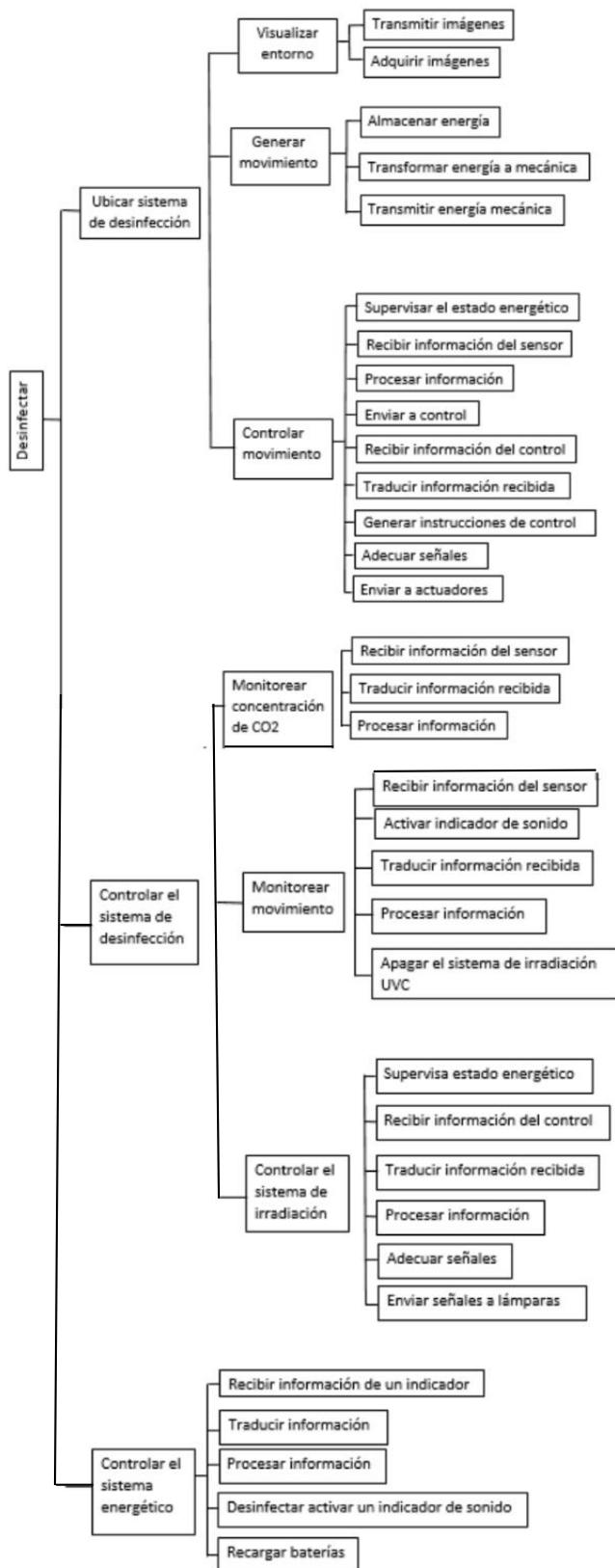
Un aspecto importante a considerar dentro del diseño en ingeniería es que durante el transcurso de diseño y construcción de un prototipo o sistema las especificaciones con aspectos dinámicos pueden ir cambiando conforme el proyecto avance dado a factores como los materiales y recursos disponibles además de las nuevos retos que se puedan presentar en el proceso [62], sin embargo, para el caso particular del presente trabajo todo se planteará y se analizará hasta poder determinar un diseño y construcción finales considerando los diferentes factores acorde con los requerimientos y las posibilidades que se tienen al alcance actualmente.

### 3.3 FUNCIONES

El siguiente diagrama permite visualizar de una manera más detallada cómo funcionará el robot, expresado de lo general a lo particular. De esta manera será más claro para el lector entender su funcionalidad.

Este árbol de funciones se divide en tres partes principales, la forma en la que se moverá o ubicará el robot, el control del sistema de desinfección y la fuente de energía. Estas se subdividen para profundizar en las acciones que el robot requiere ejecutar.

### 3.3.1 ÁRBOL DE FUNCIONES



### 3.3.2 DISEÑO CONCEPTUAL

Dejando los requerimientos claros en el apartado anterior, se continuó analizando las posibles herramientas de solución a emplear en el robot para que en conjunto se dé solución a los objetivos a cumplir. En esta sección se presenta información para generar propuestas de diseño referentes a los requerimientos que se planean satisfacer al culminar el prototipo.

Se reitera que el objetivo del trabajo terminal es desarrollar un prototipo de robot que permita la desinfección de superficies mediante radiación ultravioleta y el monitoreo de CO<sub>2</sub>. Para el desarrollo del concepto se tomó en cuenta el sistema representado en el diagrama de la Figura 3.2, posteriormente se separó en subsistemas, en una caja gris como se puede observar en la Figura 3.3, esto para facilitar su análisis y relaciones entre los mismos.

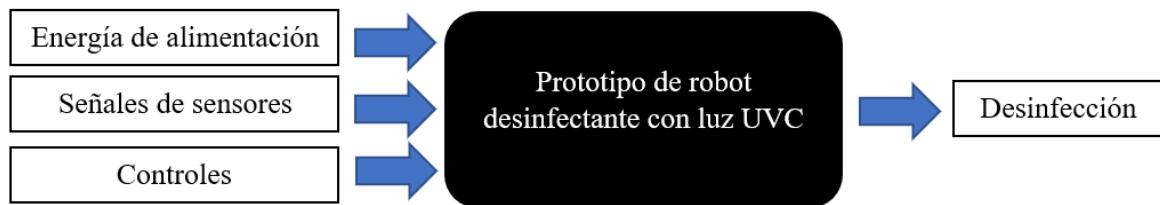


Figura 3.1 Diagrama de Caja Negra del Prototipo de Robot Desinfectante con Luz UVC.

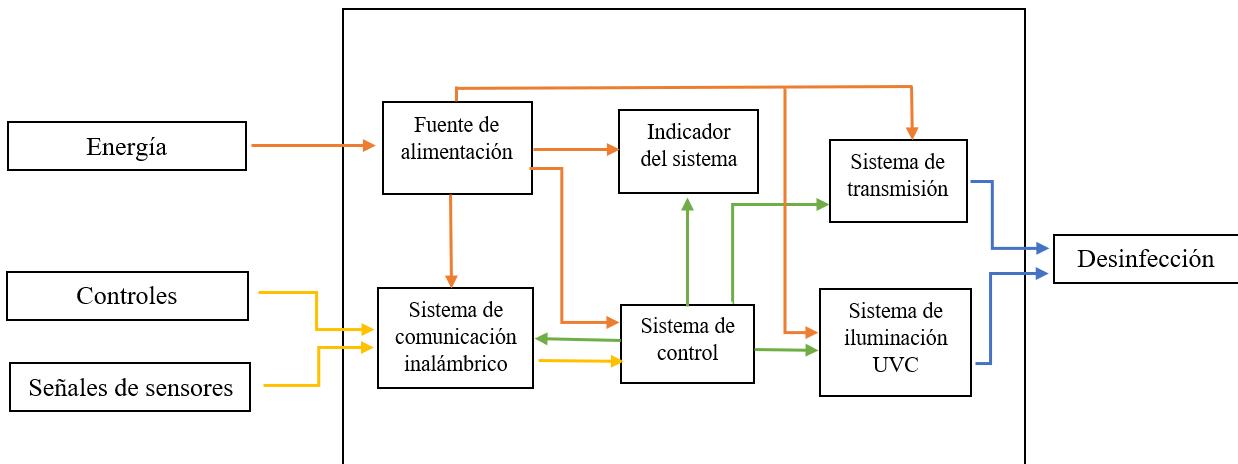


Figura 3.2 Caja gris del prototipo de Robot Desinfectante con Luz UVC.

### 3.3.3 GENERACIÓN DE CONCEPTO

En la etapa de generación de concepto se analizan las opciones tecnológicas que existen actualmente con respecto a los requerimientos del dispositivo, con el objetivo que en el diseño detallado se desarrolle en base a los elementos seleccionados en este apartado.

Para cumplir este propósito es necesario realizar una etapa de selección de concepto mediante una evaluación de debilidades y fortalezas entre las diferentes opciones que pueden ser parte de la implementación del prototipo.

Se realiza un análisis de las características con respecto a los requerimientos que se establecieron en el apartado anterior, dividiéndose en diferentes subsistemas como los que se plantearon en la caja gris de la Figura 3.3, además se comparan las características de los conceptos en una escala de decisión (alta, media y baja) para su selección.

### 3.3.4 COMPARACIÓN DE FUENTE DE ALIMENTACIÓN

Para la fuente de energía de este prototipo es necesario que sea portable e independiente para que la movilidad del robot no se vea comprometida ya que es un requerimiento importante, en consideración a lo anterior se evalúan dos tecnologías de baterías las cuales son a base de Litio y a base de Plomo, contemplando sus características en la Tabla 3.5.

Tabla 3.5 Comparación de requerimientos de fuentes de alimentación.

Características	Batería de Litio-ion	Batería de Acido-Plomo
Durabilidad	Alto	Medio
Densidad de energía	Alto	Medio
Seguridad	Medio	Bajo
Tamaño y peso	Medio	Alto
Costo	Alto	Medio

Las características de mayor interés en las baterías son la densidad energética, la seguridad con respecto a sus materiales de fabricación y el peligro que existe en su manipulación, además del tamaño y el peso ya que es un factor muy importante para el prototipo.

### 3.3.5 COMPARACIÓN DEL SISTEMA DE COMUNICACIÓN INALÁMBRICO

Para la comunicación entre el robot y el control las tecnologías planteadas son la Radio Frecuencia y el Wifi, las cuales permiten una comunicación bidireccional para recibir señales y enviar comandos de control que es lo requerido para este caso, en la Tabla 3.6 se muestran sus características.

Tabla 3.6 Comparación de requerimientos del sistema de comunicación inalámbrico.

Características	Radio Frecuencia	Wifi
Alcance	Alto	Bajo
Interferencia	Bajo	Medio
Velocidad	Alto	Alto
Volumen de transferencia de datos	Bajo	Alto
Costo	Alto	Medio

Las características de mayor interés en la comunicación inalámbrica son la velocidad y el volumen de transferencia de datos. Para la comparación en la Tabla 3.7 no fue tomada en cuenta la tecnología Bluetooth ya que es muy parecida a la tecnología Wifi, pero con menor velocidad y volumen de transferencia de datos, por lo cual no se hizo relevante incluirla en esta comparativa.

### 3.3.6 COMPARACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL

Para el sistema de control se requiere que pueda procesar la información tanto de los sensores como de los comandos de control a distancia y además que tenga una buena compatibilidad con diferentes tecnologías, por lo cual para esta comparativa llevada a cabo en la Tabla 3.8 se plantean dos posibles tecnologías las cuales son placas de desarrollo en base a microprocesadores y en microcontroladores.

*Tabla 3.7 Comparación de requerimientos del sistema de control.*

Características	Microcontrolador	Microprocesador
<b>Compatibilidad</b>	Medio	Alto
<b>Capacidad de procesamiento</b>	Medio	Alto
<b>Versatilidad</b>	Alto	Alto
<b>Dimensiones</b>	Bajo	Bajo
<b>Conectividad</b>	Bajo	Alto
<b>Costo</b>	Bajo	Medio

Las características con mayor peso en la tabla son la versatilidad, compatibilidad y conectividad ya que se requiere que se puedan conectar múltiples dispositivos y así cumplir con los objetivos de control del robot, en este caso no se consideraron las PICS ya que tienen una funcionalidad parecida a las tarjetas de desarrollo con microcontrolador, pero con una menor compatibilidad y versatilidad.

### 3.3.7 COMPARACIÓN DE LA FUENTE DE ILUMINACIÓN UVC

La fuente de iluminación UVC es una de las partes más importantes en cuanto a la desinfección se refiere por lo cual es necesario que cumpla con la potencia requerida y alcance las especificaciones objetivo, en cuanto a una longitud de onda germicida, para esta comparativa se plantean las tecnologías más usadas actualmente que es la LED y la que es a base de Tubos Fluorescentes, comparando sus características en la Tabla 3.8.

*Tabla 3.8 Comparación de requerimientos de la fuente de iluminación UVC.*

Características	LED	Tubo Fluorescente
<b>Durabilidad</b>	Alto	Medio
<b>Longitud de onda</b>	Medio	Alto
<b>Consumo energético</b>	Bajo	Alto
<b>Tamaño y peso</b>	Bajo	Medio
<b>Costo</b>	Alto	Bajo

La principal característica para tomar en cuenta en esta comparativa es la longitud de onda, ya que para poder llegar a que la radiación UV sea germicida se tiene que alcanzar un rango de longitud de onda específico, lo cual influye directamente en los requerimientos establecidos en el apartado anterior.

### 3.3.8 COMPARACIÓN DE INDICADOR DEL SISTEMA

Para poder ver la interacción del robot con el entorno en el control a distancia es necesario un indicador que en este caso sería una pantalla, la cual debe de poder mostrar toda esa información para el operador, además de tener buena compatibilidad y un tamaño relativamente pequeño, por lo cual se analizan dos opciones en la Tabla 3.9, correspondientes a las pantallas convencionales y a las pantallas táctiles.

Tabla 3.9 Comparación de requerimientos de la tecnología de la pantalla.

Características		Pantalla	Pantalla táctil
Durabilidad		Medio	Medio
Visualización de contenido		Alto	Alto
Consumo energético		Bajo	Medio
Funcionalidad		Baja	Alto
Dimensiones		Bajo	Bajo
Costo		Medio	Alto

En esta comparativa se puede ver que cada una de las tecnologías cuenta con sus puntos fuertes sin embargo las características principales a tomar en cuenta serían la funcionalidad y la visualización del contenido. La funcionalidad de una pantalla táctil es bien recibida para poder controlar el robot desde la misma pantalla de donde se visualiza la información, mientras que la pantalla convencional solo se puede usar para ver la información, pero tiene un costo menor.

### 3.3.9 COMPARACIÓN DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN

El sistema de transmisión es un apartado importante dentro del robot el cual se dividirá en dos partes principales, el motor y las ruedas, ya que las dos son fundamentales para la buena movilidad del prototipo. Comenzando con el motor se analizan 3 tipos de tecnologías como son, el motor DC, motor a pasos y el motor a pasos con reductor, los cuales se muestran en la Tabla 3.10, comparando sus características.

*Tabla 3.10 Comparación de requerimientos de motor.*

Características		Motor DC	Motor a pasos	Motor a pasos con reductor
<b>Torque</b>	Bajo	Medio	Alto	
<b>Velocidad</b>	Alto	Medio	Bajo	
<b>Consumo energético</b>	Medio	Medio	Medio	
<b>Tamaño y peso</b>	Bajo	Bajo	Medio	
<b>Controlabilidad</b>	Bajo	Medio	Alto	
<b>Costo</b>	Medio	Medio	Alto	

En esta comparativa los aspectos principales a considerar serían el torque que pueden desarrollar los motores, la controlabilidad, el peso y tamaño ya que son aspectos importantes para el buen funcionamiento del robot, si bien la velocidad es importante en este caso el robot no requiere moverse tan rápido por lo cual no se considera una característica fundamental.

Para el caso de las ruedas se analizan dos tipos en la Tabla 3.11, las cuales fueron ruedas estándar y las llantas omnidireccionales, considerando características principales de cada una para su comparación.

*Tabla 3.11 Comparación de las ruedas.*

Características		Estándar	Omnidireccionales
<b>Durabilidad</b>	Medio	Medio	
<b>Tracción a velocidad alta</b>	Medio	Bajo	
<b>Tracción a velocidad baja</b>	Alto	Alto	
<b>Movilidad</b>	Bajo	Alto	
<b>Tamaño y peso</b>	Medio	Medio	
<b>Costo</b>	Medio	Alto	

Las características principales de esta comparativa son la movilidad y la tracción, ya que se tiene previsto que el robot pueda moverse por un camino de dimensiones reducidas y de forma segura, por lo cual en la Tabla 3.11 se hace una comparación abordando estos puntos, pero dependiendo de la velocidad se toman características diferentes en el caso de la tracción.

### 3.3.10 COMPARACIÓN DE SENORES

El apartado de sensores es fundamental para el funcionamiento y objetivo principal del robot, principalmente porque sin ellos no podría movilizarse de manera correcta por el entorno seleccionado. Esta comparativa se divide en tres partes ya que se tiene planeado usar tres diferentes sensores para tres diferentes funciones que tendrá el robot.

La primera es la evasión de objetos en donde se presentarán sensores que nos permitan medir la distancia que existe entre los objetos del entorno y el robot, los cuales evitarán las colisiones que puedan llegar a ocurrir, dentro de esta comparativa entrarían dos tecnologías que pueden cumplir con esta tarea como los sensores ultrasónicos y los sensores ópticos.

Tabla 3.12 Comparación de los sensores para evasión de objetos.

Características	Ultrasónicos	Óptico
<b>Compatibilidad</b>	Alto	Alto
<b>Precisión</b>	Alto	Alto
<b>Distancia de detección</b>	Medio	Alto
<b>Dimensiones</b>	Medio	Bajo
<b>Fiabilidad de detección con diferentes formas de objetos</b>	Alto	Medio
<b>Fiabilidad de medición con diferentes colores</b>	Alto	Bajo
<b>Rango de detección</b>	Alto	Medio
<b>Costo</b>	Bajo	Medio

En la Tabla 3.12 se pueden observar las características que se comparan de los diferentes sensores para la evasión de objetos, tomando como características principales a la fiabilidad, la precisión y el rango de detección, ya que entregar las mediciones correctas en un entorno con objetos de diferentes formas y colores es esencial en este apartado.

Para una mejor movilidad controlada a distancia se complementa este apartado con una cámara (sensor de imagen), esto para apoyar al operador del robot a contar con más información y tener una movilidad más segura de forma remota. En esta comparativa mostrada en la Tabla 3.13 se consideran dos tecnologías CCD (dispositivo de acoplamiento de carga) y CMOS (semiconductor de óxido metálico complementario), estas representan a las principales tecnologías entre los sensores de imagen actuales.

*Tabla 3.13 Comparación de cámara.*

Características	CMOS	CCD
<b>Consumo energético</b>	Bajo	Alto
<b>Calidad de imagen</b>	Medio	Alto
<b>Compatibilidad</b>	Alto	Medio
<b>Dimensiones</b>	Bajo	Bajo
<b>Costo</b>	Bajo	Alto

Las características importantes de este tipo de comparativa son la compatibilidad, las dimensiones y el consumo energético ya que no se requiere de una cámara con una calidad de imagen tan grande, sin embargo, las dos tecnologías en las que te pueden entregar imagen estas cámaras son buenas y se encuentran disponibles a costos accesibles en el mercado.

Para la detección de movimiento en el caso de que una persona entre a una habitación donde se esté realizando la desinfección y el dispositivo sea forzado a apagarse, se tiene contemplados dos opciones de sensores de presencia, el que funciona con sonido que sería el ultrasónico y el que funciona con tecnología infrarroja, se comparan sus características en la Tabla 3.14 para este propósito en particular.

*Tabla 3.14 Comparación de los sensores de presencia.*

Características	Ultrasónicos	Infrarrojo
<b>Compatibilidad</b>	Alto	Alto
<b>Precisión</b>	Medio	Alto
<b>Distancia de detección</b>	Medio	Alto
<b>Dimensiones</b>	Medio	Bajo
<b>Fiabilidad de detección cuando se está en movimiento</b>	Bajo	Alto
<b>Rango de detección</b>	Bajo	Alto
<b>Costo</b>	Bajo	Medio

La característica principal de esta comparativa es su fiabilidad en movimiento ya que el dispositivo lo estará en su mayoría al realizar su trabajo. Se puede considerar un funcionamiento dual uniendo estas dos tecnologías, pero en esta tabla se consideran por separado para evaluar sus diferentes características.

Por último, en el apartado de sensores se tiene a considerar las diferentes características de los sensores de CO<sub>2</sub>, sin embargo, como todos los sensores que pueden medir la

concentración de dióxido de carbono tienen como base la tecnología infrarroja, en este análisis visto en la Tabla 3.15 se contemplaran como sensores CO<sub>2</sub> de gama media y alta, ya que si bien funcionan con la misma tecnología sus características dependiendo a la gama de costos son diferentes.

Tabla 3.15 Comparación de sensor CO<sub>2</sub>.

Características	Gama media	Gama alta
Rango de medición	Medio	Alto
Precisión	Medio	Alto
Consumo energético	Media	Media
Dimensiones	Bajo	Bajo
Costo	Medio	Alto

Para este sensor se considera que las características fundamentales serían la precisión y el rango de medición ya que es indispensable que el robot pueda registrar estos valores correctamente para su funcionamiento, en cuanto la consideración de una alternativa de gama baja no se consideró relevante ya que al ser un valor importante se busca una buena calidad en el funcionamiento de este componente.

Con la ayuda de las tablas anteriores se procede a crear tres diseños (A, B y C) que se consideran convenientes tomando en cuenta diferentes aspectos.

Para el concepto A se tomaron como prioridad los costos bajos de los componentes principales para que el modelo sea lo más barato posible, en el concepto B se prioriza la funcionalidad y durabilidad de los componentes sin importar el costo de los mismos y por último en el concepto C se opta por un equilibrio, reduciendo los costos en componentes que tienen una funcionalidad poco relevante y no considerar los costos en las partes relevantes que tienen una relación con los requerimientos más importantes como el motor, ruedas, batería y luces, los cuales tienen relación con las dimensiones, la movilidad y la eficacia germicida.

En la Tabla 3.16 se muestran los elementos seleccionados para cada concepto generado, el concepto seleccionado en este apartado fungirá como base para proceder al diseño y construcción de este prototipo.

Tabla 3.16 Tabla de generación de concepto.

	A	B	C
<b>Fuente de alimentación</b>	Batería Acido Plomo	Batería Litio-ion	Batería Litio-ion
<b>Fuente de luz UV</b>	Tubo Fluorescente	LED	Tubo Fluorescente
<b>Sistema de control</b>	Microcontrolador	Microprocesador	Microprocesador
<b>Comunicación inalámbrica</b>	Wifi	Wifi	Wifi
<b>Motor</b>	DC	Motor a pasos con reductor	Motor a pasos con reductor
<b>Ruedas</b>	Estándar	Omnidireccionales	Omnidireccionales
<b>Indicador del sistema de control</b>	Pantalla	Pantalla táctil	Pantalla táctil
<b>Sensor de evasión de objetos</b>	Ultrasónico	Ultrasónico	Ultrasónico
<b>Cámara</b>	CMOS	CCD	CMOS
<b>Sensor de presencia</b>	Ultrasónico	Infrarrojo	Infrarrojo
<b>Sensor de CO<sub>2</sub></b>	Gama media	Gama alta	Gama media

### 3.4 SELECCIÓN DE CONCEPTO

Para llevar a cabo la selección del concepto se realizó una matriz de selección de conceptos que se puede ver en la Tabla 3.18 tomando en cuenta un modelo como referencia llamado Lavender [25] que ya se encuentra en el mercado para compararlo con los conceptos contemplados en la Tabla 3.16. Para realizar la evaluación se utilizó el código (+ “mejor que”, 0 “igual a” y – “peor que”).

*Tabla 3.17 Matriz de selección de conceptos.*

Conceptos de solución					
Criterio de evaluación	Referencia	A	B	C	
<b>Volumen del prototipo</b>	0	+	+	+	
<b>Peso del prototipo</b>	0	0	+	+	
<b>Movilidad del prototipo</b>	0	-	0	0	
<b>Viabilidad germicida</b>	0	0	-	0	
<b>Eficiencia Energética</b>	0	0	+	0	
<b>Seguridad con las personas del prototipo</b>	0	-	0	0	
<b>Costo</b>	0	+	0	+	
<b>Control remoto del prototipo</b>	0	-	0	0	
<b>Evaluación</b>	0	-1	2	3	
<b>Lugar</b>	3	4	2	1	

Como se puede ver en la Tabla 3.17 el concepto ganador es el “C” el cual se intentó que sea el más equilibrado entre costos y funcionalidad de los componentes relacionados a los requerimientos clave del prototipo, por lo cual se opta por seguir con el diseño detallado a dicha propuesta, contemplando más adelante aspectos de disponibilidad de materiales y el tiempo de ejecución y ambientación con los elementos de diseño seleccionado. No obstante, se hace la observación en el apartado de eficiencia energética donde el único concepto que es mejor a los demás es el “B” gracias a que incluye una fuente de iluminación LED, esto se puede tomar en cuenta para implementarse en el concepto ganador siempre y cuando entre dentro de las posibilidades económicas y cumpla con la desinfección UV requerida.

### 3.5 SUMARIO

Para el siguiente capítulo se considera lo que se ha visto con anterioridad para describir de manera más específica las características de los elementos utilizados, de igual manera se dividen por secciones para llevar un orden en cuanto a su descripción. Cabe mencionar que en esta parte se integran los cálculos necesarios a considerar para su construcción, se muestra el diseño de cómo se verá completo y de los diseños necesarios que permitirán la unión o sujeción de los elementos que lo conforman.

## 4 DISEÑO DETALLADO

El concepto seleccionado a desarrollar consistió en un prototipo enfocado a la eficacia germicida UVC por lo cual se hizo énfasis en la potencia lumínica y la movilidad del prototipo. Así llegando a la conclusión de que el prototipo tendría una fuente de alimentación que consta de baterías de litio, una fuente lumínica UV con base a tubos fluorescentes, un sistema de transmisión integrado por motores a pasos con reductores y unas llantas omnidireccionales, también usando como sistema de control una tarjeta de desarrollo integrada por un microprocesador, un sistema de comunicación Wifi entre el robot y el control, con un indicador del sistema el cual sería una pantalla de gama media LCD estándar y en cuanto a los sensores, para el apartado de evasión de objetos se eligieron los que trabajan con tecnología ultrasónico, para el sensor de presencia un sensor infrarrojo y para el sensor de CO<sub>2</sub> un sensor de gama media infrarrojo, además de incluir una cámara de gama media estándar para complementar el apartado de evasión de objetos y así facilitar la movilidad del prototipo.

A continuación, fueron seleccionados los componentes específicos en base al concepto seleccionado, contemplando las características de funcionalidad más importantes para el objetivo principal del prototipo.

#### 4.1 SISTEMA DE IRRADIACIÓN UVC

El sistema de radiación UVC que se implementará para el robot será a base de tubos fluorescentes como se determinó en el diseño conceptual, en concreto se usaron 6 lámparas fluorescentes de la marca Osram de una potencia eléctrica de 30 W y las cuales emiten radiación en un rango de longitudes de onda dentro del considerado germicida. En la Tabla 4.1 se pueden apreciar sus características a detalle.

Tabla 4.1 Características de lámpara philips

Parámetro	Osram HNS 30W G13	Unidades
Rango de longitud de onda en el que opera	250 - 700	nm
Corriente nominal	0.365	A
Voltaje AC	102	V
Potencia eléctrica	30	W
Potencia lumínica	12	W
Horas de vida	9000	h
Peso	0.136	kg
Longitud	0.89	m
Diámetro	0.028	m

El rango de operación de la lámpara es de vital importancia para los fines germicidas, reiterando que la longitud de onda germicida dentro de la radiación UV está dentro del rango de 200 a 320 nm, lo cual no es problema para este tipo de lámpara.



Figura 4.1 Lámpara UVC Osram HNS 30W G13.

Como se puede observar en sus características este tipo de lámpara funciona con corriente alterna por lo cual se requiere de unos balastros para su funcionamiento y considerando que se usarán 6 lámparas en total y los balastros vienen en una configuración de pares, se requerirían de 3 balastros en total. Los balastros elegidos son los T8 3x32W igualmente de la marca Philips, contemplando sus características en la Tabla 4.2 para verificar su compatibilidad.

Tabla 4.2 Características del balastro philips.

Parámetro	Philips T8 3x32W	Unidades
Número de lámparas	2	lámparas
Corriente de entrada	0.54	A
Voltaje AC	120	V
Potencia eléctrica	65	W
Factor de potencia	98	%
Largo	0.24	m
Ancho	0.033	m
Alto	0.025	m

De acuerdo con las características del balastro y la de las lámparas, se determinó que son compatibles ya que se puede usar un balastro por 2 lámparas sin ningún problema, en base a la potencia, la corriente y el voltaje. Determinando que los parámetros para que puedan operar en conjunto son correctos.



Figura 4.2 Balastro philips T8 3x32w.

Por último, en este apartado es necesario contar con un convertidor de corriente directa a corriente alterna ya que en el apartado anterior se determinó que se usarían baterías recargables de Litio-ion, las cuales dan una salida de corriente directa. Para este dispositivo se consideró principalmente en la potencia que podía soportar ya que las 6 lámparas consumen en su totalidad 180 W, por lo cual se eligió el convertidor SP2-Q4000 de la marca LSFYYDS, el cual cuenta con 4000 W de potencia sobrepasando lo requerido así mismo teniendo un margen de seguridad por cualquier imprevisto.

Tabla 4.3 Características del convertidor.

Parámetro	SP2-Q4000	Unidades
<b>Potencia máxima</b>	4000	W
<b>Corriente</b>	2.4	A
<b>Voltaje de entrada</b>	12	V
<b>Voltaje de salida</b>	120	V
<b>Onda de salida</b>	Sinusoidal pura	-
<b>Peso</b>	0.363	kg
<b>Largo</b>	0.19	m
<b>Ancho</b>	0.14	m
<b>Alto</b>	0.010	m

En la Tabla 4.3 se pueden ver las características del convertidor considerado, donde se puede ver la potencia, el voltaje de entrada y de salida además de las dimensiones y el peso, factores importantes en la construcción futura del prototipo.

## 4.2 SISTEMA DE TRANSMISIÓN

El sistema de transmisión está conformado por los motores y las ruedas que dan movilidad al robot, para este prototipo se plantearon motores a pasos y unas ruedas omnidireccionales por lo cual se comenzó con calcular el torque necesario para mover el robot, por lo cual es necesario considerar un peso hipotético dado en base a una estimación de los pesos de componentes que representan un peso significativo dentro del robot como se muestra en la Tabla 5.1, se puede observar que la suma es de alrededor de 20 kg por lo cual se toma como máximo 25 kg para dejar un margen de error en caso de que el peso final sea mayor cuando el prototipo este ensamblado.

Tabla 4.4 Pesos considerados de cada componente.

Componente considerado	Número componentes	Peso en kg
<b>Motores incluyendo reductores</b>	4	5.6kg
<b>Batería</b>	3	3.66kg
<b>Cargador de batería</b>	1	0.35kg
<b>Balastros</b>	1	1.11kg
<b>Luces UV</b>	6	0.81kg
<b>Convertidor DC a AC</b>	1	1.36kg
<b>Llantas</b>	4	1.8kg
<b>Chasis</b>	-	6kg
<b>TOTAL</b>		<b>20.69kg</b>

### 4.2.1 CÁLCULOS PARA SELECCIÓN DE MOTORES

Ahora ya contemplado el peso máximo del robot y el diámetro de las llantas que se planean usar, se presenta el desarrollo para calcular el par motor requerido para los motores con las siguientes características a tomar en cuenta:

Peso aproximado del Robot (hipotético): 25 Kg.

Ruedas de caucho macizo: 100 mm de diámetro

Primero se tomará en cuenta el siguiente diagrama de fuerzas.

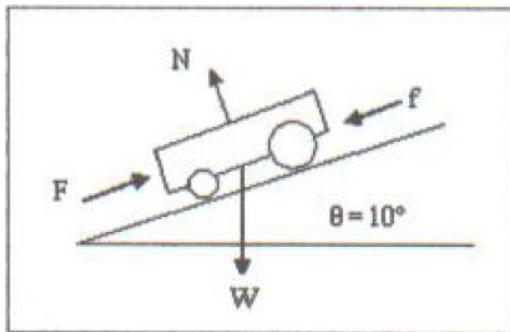


Figura 4.3 Diagrama de fuerzas del modelo dinámico del robot.

De acuerdo con la Figura 4.4 se tomará de igual manera un ángulo de 10° de inclinación, ya que el robot se desplazará en superficies planas y sin inclinaciones, todo esto con el fin que los motores puedan mover al robot en estado de reposo.

Sumatoria de fuerzas en x:

$$\sum F_x = F - f - W \sin(\theta) = 0$$

Donde:

f: es el rozamiento de rodamiento [N]

F: es la fuerza mínima requerida para que el robot salga del reposo [N]

W: peso del robot [kg m/s<sup>2</sup>]

El rozamiento al rodamiento está dado por:

$$f = \frac{W \cos \theta a}{r}$$

Donde

a: es el coeficiente de resistencia a la rodadura [cm]

r: radio de la rueda [m]

Para llantas de caucho macizo sobre una superficie plana el coeficiente de resistencia a la rodada tiene un valor de 0.1016 cm, según Goodman.

Sustituyendo en f se obtiene:

$$f = \frac{(25)(9.81)(\cos(10))(1.016 \times 10^{-3})}{(0.05)} = 4.90 \text{ N}$$

Sustituyendo f en F se obtiene:

$$F = f + W \sin(\theta)$$

$$F = (4.90) + (25)(9.81)(\sin(10)) = 47.49 \text{ N}$$

Por último, se calculará el par requerido por medio de la siguiente fórmula:

$$\tau_{requerido} = (F)(r)$$

$$\tau_{requerido} = (47.49 \text{ N})(0.05 \text{ m}) = 2.37 \text{ Nm}$$

Para cuatro motores:

$$\frac{\tau_{requerido}}{4 \text{ Motores}} = \frac{2.37 \text{ Nm}}{4} = 0.59 \text{ Nm} \approx 0.6 \text{ Nm por motor}$$

Considerando un factor de seguridad de 2 el torque por motor es igual a **1.2 Nm**

En los cálculos se contemplan 4 motores ya que el dispositivo contaría con un motor por rueda para tener la potencia distribuida igualitariamente.

#### 4.2.2 SELECCIÓN DE MOTOR Y REDUCTOR

En base a este cálculo se hace la elección correspondiente de un motor a pasos Nema 23 que cuanta con el torque requerido de 1.2 Nm, y que además se le puede acoplar un reductor para mantener la carga de su controlador bajo y evitar calentamientos tal como se planteó en el apartado de selección de concepto. En la Tabla 4.5 se muestran las principales características del motor seleccionado.

Tabla 4.5 Características de motor Nema 23 1.2Nm.

Parámetro	Nema 23 1.2Nm	Unidades
<b>Par de retención</b>	1.2	Nm
<b>Corriente Nominal</b>	2.8	A
<b>Angulo de paso</b>	1.8	°
<b>Voltaje</b>	24	V
<b>Peso</b>	700	g
<b>Longitud</b>	56	mm
<b>Tamaño de marco</b>	57 x 57	mm
<b>Diámetro de eje</b>	6.35	mm

Las características del motor seleccionado son las requeridas para el funcionamiento óptimo del motor, sin embargo, ya que se trata de un motor a pasos para pueda funcionar es necesario de un controlador, el cual debe de ser compatible con el motor tomando en cuenta características como voltaje y corriente. Para esta función se seleccionó el controlador DM542T de la marca stepperonline el cual es compatible con los motores Nema 23, en la Tabla 4.6 se pueden ver sus características.

Tabla 4.6 Características de controlador DM542T stepperonline.

Parámetro	DM542T	Unidades
<b>Compatibilidad con motores</b>	17, 23, 24 y 34	Nema
<b>Corriente de salida</b>	1.0 – 4.5	A
<b>Frecuencia máxima</b>	200	KHz
<b>Voltaje de entrada</b>	24 - 48	V
<b>Peso</b>	230	g
<b>Dimensiones</b>	118 x 25.5 x 75.5	mm

La compatibilidad el motor, así como los parámetros que maneja en voltaje y corriente son los indicados para trabajar con el motor Nema 23 que se eligió, por lo tanto, no debería de existir ningún problema en cuanto a su funcionamiento.

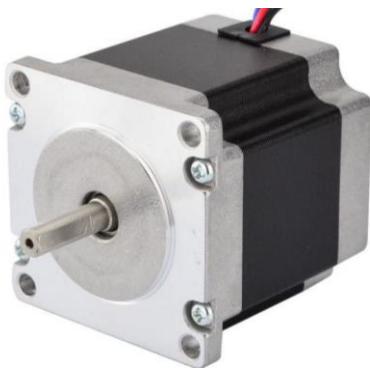


Figura 4.4 Motor Nema 23 1.2Nm.

Para la selección del reductor son importantes dos factores, el primero es que sea compatible con el motor Nema 23, y el segundo como se planteó al principio es que tenga una relación de 5:1, siendo esta una de las más bajas ya que se pretende solamente no sobrecargar el controlador con una corriente alta y entregando el mismo torque para mover el robot. En la Tabla 4.6 se pueden apreciar las características principales del reductor seleccionado el cual es el PLE23-G5-D10 de la marca stepperonline.

Tabla 4.7 Características de Reductor PLE23-G5-D10.

Parámetro	PLE23-G5-D10	Unidades
Par de torsión máximo	28	Nm
Relación de transmisión	5:1	giro
Eficiencia	96	%
Momento de torsión permitido	56	Nm
Peso	940	g
Longitud	73	mm
Tamaño de marco	60 x 60	mm
Diámetro de eje de entrada	10	mm
Diámetro de eje de salida	14	mm

La compatibilidad para acoplar el reductor con el motor son correctas en cuanto a las medidas que de cada uno como se puede ver en las Tablas 4.5 y 4.7, además de que el reductor soporta

una cantidad mayor de torque por lo que no debería de haber problemas en su funcionamiento conjunto de los dos dispositivos.



Figura 4.5 Reductor planetario PLE23-G5-D10.

#### 4.2.3 SELECCIÓN DE RUEDAS

Para la elección de las ruedas los factores a considerar son 3, el primero es que puedan soportar el peso de 25 kg máximo planteado del robot, el segundo es que midan 100 m de diámetro como se consideró en el cálculo para la selección de motores y por último que sean ruedas omnidireccionales las cuales fueron elegidas en la selección de conceptos por tener una funcionalidad mejor en la movilidad. Conforme a estos 3 factores se eligieron las ruedas omnidireccionales de la marca Mecanum de 100 mm, en la Tabla 4.8 se puede observar sus características principales.

Tabla 4.8 Características de ruedas omnidireccionales Mecanum.

Parámetro	Rueda Mecanum	Unidades
Diámetro de rueda	100	mm
Ancho de rueda	50	mm
Peso	450	g
Capacidad de carga	45	kg
Número de rodillos	9	rodillos
Material del cuerpo	Aleación de aluminio	-
Material de rodillos	Caucho	-
Tipo de rueda	Omnidireccional	-

Como se puede observar las características principales están dentro de los 3 requerimientos solicitados anteriormente por lo cual no existe ningún problema para ser empleadas en el prototipo a construir.



Figura 4.6 Rueda omnidireccional Mecanum 100mm.

### 4.3 SISTEMA DE CONTROL

Para el sistema de control del robot se seleccionó una tarjeta Raspberry Pi 4B, una placa de desarrollo que tiene como base un microprocesador, considerando lo que se seleccionó en diseño conceptual. Las razones principales por las cuales se seleccionó esta tarjeta en lugar de algunas opciones parecidas como la Jetson Nano, Asus Tinker Board S y la Rock Pi 4, fueron la conectividad, la compatibilidad con diferentes lenguajes de programación, sistemas operativos y librerías. En la Tabla 4.9 se pueden observar sus características principales.



Figura 4.7 Raspberry Pi 4B.

Tabla 4.9 Características de tarjeta Raspberry Pi 4B.

Componente	Raspberry Pi
<b>SoC</b>	Broadcom BCM2711
<b>CPU</b>	Quad core Cortex-A72 (ARM v8)
<b>Memoria</b>	SDRAM LPDDR4-3200 de 2 GB
<b>Puertos USB</b>	2 puertos USB 3.0; 2 puertos USB 2.0.
<b>Conectividad inalámbrica</b>	2.4 GHz y 5.0 GHz IEEE 802.11ac inalámbrico, Bluetooth 5.0, BLE
<b>Periféricos de bajo nivel</b>	Cabecera GPIO estándar de 40 pines de Raspberry Pi, Puerto de pantalla MIPI DSI de 2 carriles, Puerto de cámara MIPI CSI de 2 carriles
<b>Voltaje de operación</b>	5 VDC
<b>Consumo de energía</b>	800 mA
<b>Tamaño</b>	8.5 x 5.3 cm
<b>Sistemas operativos soportados</b>	GNU/Linux: Raspbian, Fedora (Pidora), Arch Linux (Arch Linux ARM), Slackware Linux, SUSE Linux Enterprise Server for ARM, RISC OS
<b>Salida de video</b>	2 puertos micro-HDMI (hasta 4kp60 compatibles)

En el apartado de memoria RAM se especifica la de 2 GB, ya que este modelo en particular puede tener más memoria de fábrica, sin embargo, se considera que con este modelo base se puede realizar las tareas de transmisión de video, datos de los sensores y recepción de las señales de controles ya que no son tareas tan demandantes no se encuentra necesario adquirir una tarjeta con mayor memoria.

#### 4.4 FUENTE DE ALIMENTACIÓN

Para la fuente de alimentación del robot se eligió una batería de litio por sobre una batería de ácido plomo, por lo cual se seleccionaron 2 baterías recargables LiFePO4, las cuales son en base litio con un cátodo de fosfato de hierro-litio.

Tabla 4.10 Características de baterías.

Características	Batería LiFePO4 1	Batería LiFePO4 1
Voltaje de salida	12.8 V	12.8 V
Capacidad nominal	20 Ah	12 Ah
Dimensiones	18 x 7.6 x 16 cm	15.4 x 9.9 x 9.4 cm
Peso	2.7 kg	1.38 kg
Ciclos de trabajo	2000-5000 ciclos	2000-5000 ciclos

Se puede observar en las características principales de las baterías en la Tabla 4.10, notando que las características que cambian son las dimensiones, el voltaje que pueden brindar, además de la capacidad en Amperes. El propósito de tener dos baterías con características diferentes es usarlas para diferentes propósitos. La batería con una capacidad de 20 Ah se usara para dar alimentación a las lámparas fluorescentes UVC y la batería con capacidad de 12 Ah sería utilizada para dar energía a los motores y la electrónica en general, cabe mencionar que se utilizaron 2 baterías de este tipo ya que el voltaje de operación de los controladores de los motores funciona de 20 a 50 V y sería imposible su funcionamiento solo con una batería de este tipo ya que su voltaje de salida es a 12 V.



Figura 4.8 Batería LiFePO4 de 20 Ah.

Adicional a las baterías utilizadas se agregará un regulador de voltaje de 24 V a 5 A, considerando que es el voltaje de operación de la electrónica en general, así como de la Raspberry Pi. Se seleccionó el módulo regulador de voltaje Xy-3606, principalmente porque cumple con el voltaje y amperaje requerido y además las dos salidas que maneja son tanto para conexión de cables y USB, características observables en la Tabla 4.11.

Tabla 4.11 Características del módulo regulador Xy-3606

Características	Modulo regulador Xy-3606
Voltaje de entrada	9 a 36 V
Voltaje de salida	5 V
Corriente de salida máxima	5 A
Dimensiones	6.3 x 2.7 x 1 cm

## 4.5 SELECCIÓN DE SENSORES

Para el apartado de sensores se seleccionaron de acuerdo con su funcionalidad de cada uno, además de contemplar factores como la medición, la cual debe de estar dentro del rango requerido para su propósito principal. Además, se expondrán las características de los diferentes sensores seleccionados y que se integraron a la construcción del robot, contemplando sensores de presencia infrarrojos, ultrasónicos de distancia, CO<sub>2</sub> y la cámara.

### 4.5.1 SENSOR DE PRECENCIA INFRARROJO

La funcionalidad de detectar la presencia de alguien cerca del robot es muy importante para evitar accidentes durante la operación de este, para el sensor infrarrojo se eligió el HC-SR501, el cual contempla el ángulo de detección más grande que varios en el mercado y además tiene opciones de regulación del tiempo de censado, y la distancia a la cual puede detectar movimiento. Sus principales características pueden visualizarse en la Tabla 4.12.

*Tabla 4.12 Características del sensor HC-SR501*

Características	Sensor HC-SR501
<b>Voltaje de operación</b>	5 a 20 V
<b>Consumo de energía</b>	65 mA
<b>Voltaje de salida</b>	3.3 V
<b>Angulo de censado</b>	120°
<b>Distancia de censado</b>	3 a 7 m

Como se puede observar en la tabla el ángulo de operación de un sensor es de 120 grados, por lo cual se utilizaron 3 sensores en la parte superior para tener completo el rango de detección al rededor del robot.

#### 4.5.2 SENSOR ULTRASÓNICO DE DISTANCIA

En la parte de abajo del robot se seleccionaron sensores ultrasónicos los cuales medirán constantemente la distancia en centímetros en los cuatro lados de este, los sensores seleccionados fueron los HC-SR04 ya que considerando el rango de medición y la operación de los mismo cumplen las especificaciones requeridas, en la Tabla 4.13 se pueden observar sus características principales.

*Tabla 4.13 Características del sensor HC-SR04*

Características	Sensor HC-SR04
<b>Voltaje de operación</b>	5 V
<b>Consumo de energía</b>	15 mA
<b>Rango de medición</b>	2 a 450 cm
<b>Precisión</b>	± 3 mm
<b>Angulo de apertura</b>	14°

Se pueden observar que el ángulo de apertura que puede detectar el sensor no es muy amplio, sin embargo, no se requiere de una medición una gran amplitud como el sensor de presencia, pero el rango de medición es el adecuado ya que comienza en 2 cm lo cual es suficiente para

evitar la colisión del robot, porque se consideró que el robot tendría un espacio entre las mesas de entre 5 a 10 cm, durante su movimiento por el salón de clases.

#### 4.5.3 SENSOR DE CO<sub>2</sub>

El sensor de CO<sub>2</sub> es una parte importante del prototipo por ende se consideró un sensor de gama media pero que estuviese dentro del rango de medidas necesario para considerarlo útil en los propósitos del robot, considerando que una medición superior de 1000 ppm se considera peligrosa en un lugar cerrado, por lo cual el sensor deberá de poder sensor alrededor de este valor. Considerando lo anterior se seleccionó el módulo de sensor SCD-40 del cual se pueden observar sus características principales en la Tabla 4.14.

Tabla 4.14 Características del módulo de sensor SCD-40.

Características	Módulo de sensor SCD-40
Voltaje de operación	3.3 V
Consumo de energía	4 mA
Rango de medición de ppm	400 a 2000 ppm
Precisión	+/- 40 ppm
Interfaz	I <sup>2</sup> C

De acuerdo con las especificaciones el rango de medición es el indicado ya que se puede monitorear el CO<sub>2</sub> antes de llegar al límite de 1000 y también después de que se supere el límite, además se consideró que fuese un módulo ya que la interfaz de conexión es conveniente para conectar con la Raspberry Pi ya que es I<sup>2</sup>C y es compatible con la misma, de igual forma considerando el voltaje de operación el cual también puede ser suministrado por la tarjeta.



Figura 4.9 Modulo de sensor de CO<sub>2</sub> SCD-40.

#### 4.5.4 CÁMARA

La cámara para poder visualizar el entorno de manera remota, se consideró que fuese de tecnología CMOS, ya que no se requiere de una resolución sumamente alta, solamente se requiere la imagen de la cámara para guiar al operador del robot dentro del salón de clases, considerando estos requerimientos se seleccionó la cámara web Logitech C920, la cual tiene la tecnología antes mencionada.

Tabla 4.15 Características de la cámara web Logitech C920.

Características	Cámara web Logitech C920
Voltaje de operación	5 V
Sistemas operativos compatibles	Windows, MacOS, Linux, Chrome OS
Resolución máxima de video	1920px x 1080px
Tecnología del sensor de imagen	CMOS
Interfaz de conexión	USB 2.0

Se puede ver en la Tabla 4.15 que la interfaz de conexión es USB y además los sistemas operativos compatibles, como es el caso de Linux. Esto es sumamente importante para poder usarse con Raspberry Pi ya que el sistema operativo Raspbian está basado en Linux, además de que la tarjeta cuenta con múltiples entradas USB lo cual no representa un problema para el uso en conjunto con este dispositivo.



Figura 4.10 Cámara web Logitech C920.

## 4.6 RELEVADORES

Para controlar el encendido el encendido de las lámparas UVC y la energía suministrada a los motores se consideraron usar dos módulos relevadores para este propósito los cuales pueden ser activados con la tarjeta, los seleccionados fueron el módulo relevador JQC-3FF-S-Z, para controlar la energía que se suministra a los motores y el módulo SLA-05VDC-SL-C, para encender las lámparas UVC.

Tabla 4.16 Características de los módulos relevadores JQC-3FF-S-Z y SLA-05VDC-SL-C.

Características	Relevador JQC-3FF-S-Z	Relevador SLA-05VDC-SL-C
<b>Voltaje de operación</b>	5V	5V
<b>Consumo de energía</b>	50mA	80mA
<b>Voltaje de disparo</b>	3 a 5V	3 a 5V
<b>Carga máxima del relevador</b>	250V/10A en CA y 30V/10A en DC	250V/30A en CA y 30V/30A en DC
<b>Salida de activación</b>	Low	High
<b>Dimensiones</b>	38 x 12 x 12 mm	50 x 33 x 24 mm

Como se puede apreciar en la Tabla 4.16 los dos relevadores funcionan con el mismo voltaje tanto de operación como de disparo, sin embargo, el relevador para las lámparas UVC tiene una mayor capacidad de corriente máxima ya que las lámparas consumen una mayor cantidad de energía, sobre pasando las capacidades del primer relevador, por lo cual se están usando dos diferentes modelos.

## 4.7 SELECTOR

El uso de un selector es para poder encender, apagar y cargar el robot, esto no es tan sencillo ya que se tienen 3 baterías dentro del prototipo y extraer las baterías para cargarlas sería demasiado difícil ya que se tiene muy poco espacio para moverlas, por ende, se seleccionó el selector APIELE de 3 posiciones para este propósito.

Tabla 4.17 Características del selector APIELE.

Características	Selector APIELE
<b>Voltaje de operación</b>	440V
<b>Posiciones</b>	3 (1-0-2)
<b>Corriente soportado por terminal</b>	25A
<b>Terminales</b>	12
<b>Dimensiónes</b>	10 x 6.3 x 5.8 cm

Como se puede observar en la Tabla 4.17 el selector tiene una corriente soportada de 25 A lo cual es más que los 20 A máximos que puede suministrar el cargador de las baterías, además que el voltaje es mayor de lo que se usara, las terminales también son suficientes ya que al ser 12 corresponden se pueden usar para conectar y desconectar las 3 diferentes baterías incluidas.



Figura 4.11 Selector APIELE de 3 posiciones.

## 4.8 SELECCIÓN DE CALIBRES DE CABLE

Para los cables a utilizar se seleccionaron 3 calibres diferentes, cada uno para un propósito en específico como la electrónica y sensores, energía de los motores, conexiones de baterías y lámparas. En la Tabla 4.18 se pueden observar las características principales de los 3 calibres diferentes.

*Tabla 4.18 Características de los diferentes calibres de cables utilizados.*

Características	Cable para electrónica y sensores	Cable para energía de motores	Cable para baterías y luces UVC
<b>Calibre</b>	22 AWG	20 AWG	16 AWG
<b>Diámetro</b>	0.644 mm	0.812 mm	1.29 mm
<b>Ohms/100m</b>	5.6	3.5	1.48
<b>Corriente máxima</b>	7A	12A	22A

De acuerdo con la tabla se seleccionó el calibre de los cables principalmente por la corriente que pueden soportar y también considerando su uso normalmente, por ejemplo, el cable calibre 16AWG el cual está recomendado para la función de las lámparas, además de que los balastros traen ese calibre de cable de fábrica, considerando también la corriente que soporta es que se usó con las baterías ya que lo máximo que podrían suministrar es 20 A, por lo cual también se usaron en esa parte. Para la electrónica se usó un calibre de cable de 22AWG, ya que no se requiere de una cantidad elevada de corriente, considerando el bajo consumo de la tarjeta y sensores. Por último, el cable calibre 20AWG se usó para las conexiones de los motores, considerando que estos consumieran su corriente máxima, estos no sobrepasan en conjunto los 12 A. Por lo tanto, se tiene un margen para evitar que el cable quedará justo en caso de usar lo máximo de los componentes conectados.

## 4.9 DISEÑO DEL ROBOT

Con base a los elementos seleccionados, en la Figura 4.12 se muestran dos vistas del diseño propuesto para este proyecto, dicho diseño ha sido realizado en el software de CATIA.

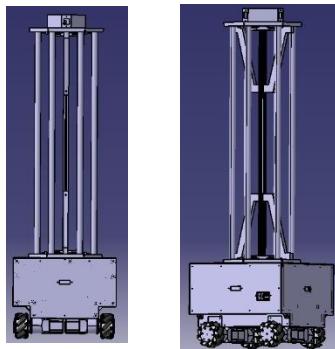


Figura 4.12 Vista frontal y lateral del robot propuesto.

Siguiendo el diseño mostrado, se procede a describir cada parte de este.

En primer lugar, se consideran las dimensiones del robot, debido a que se desplazará dentro de una escuela es importante considerar los espacios entre asientos. Esto nos lleva a considerar las dimensiones mostradas en la Figura 4.13.

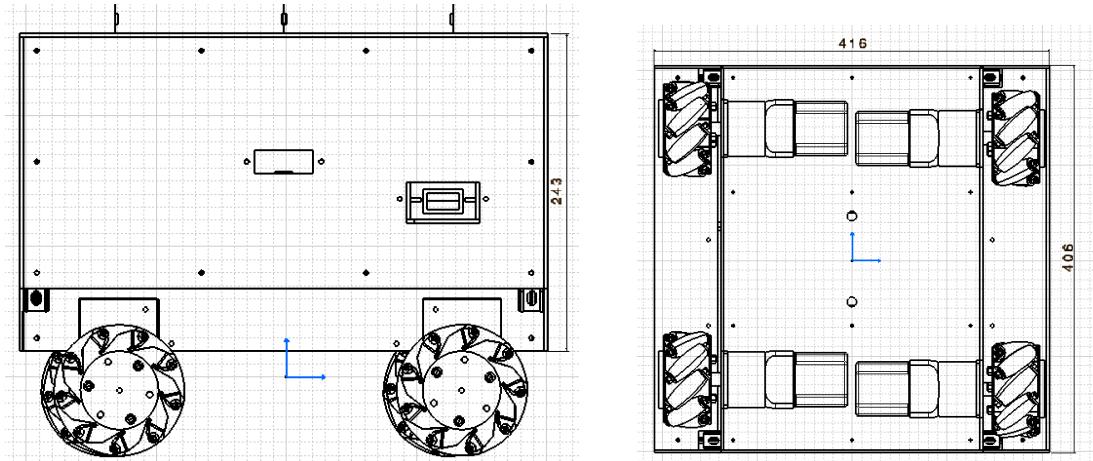


Figura 4.13 Vista lateral e inferior

La parte frontal y trasera muestran la forma que se presenta en la Figura 4.14.

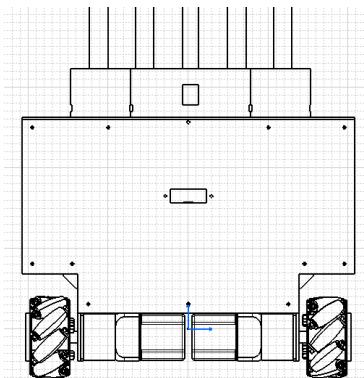


Figura 4.14 Vista lateral e inferior.

El motivo por el cual se utiliza esta forma es debido a que se busca que la altura del robot sea lo más baja posible para evitar inestabilidad en la estructura, además de evitar interferencias entre componentes.

El diseño se divide en dos módulos; el primero contiene la transmisión del sistema, la fuente de alimentación y a mayor parte de la electrónica, en el segundo módulo se tienen las lámparas, los sensores infrarrojos y el sensor de CO<sub>2</sub>.

El primer módulo del diseño también se divide en dos partes, una que contendrá el sistema de transmisión y la fuente de alimentación y otra que servirá de apoyo para colocar los diferentes elementos electrónicos a implementar, como los balastros, el convertidor de corriente, el relevador, entre otros.

Como se ha mencionado anteriormente se hace uso de un motor con un reductor, para estos dos elementos se usa un acople de acero A36 que permitirá unirlos y transmitir el movimiento de estos. Dicho acople se puede visualizar en la Figura 4.15.



Figura 4.15 Vista lateral e inferior.

Las propiedades físicas del acero A36 (acero al carbono estructural) se dividen en tres partes: mecánicas, físicas y térmicas. En las propiedades mecánicas se destacan su alta resistencia física, su gran elasticidad y su buena fusibilidad permite dar forma a los metales. En la parte química el porcentaje que contiene este acero le permite tener una mayor flexibilidad que otros, así mismo, en la parte térmica facilita el paso de la energía térmica o eléctrica.

Para unir el conjunto hecho del motor con el reductor a la llanta se propone la pieza mostrada en la Figura 4.16.

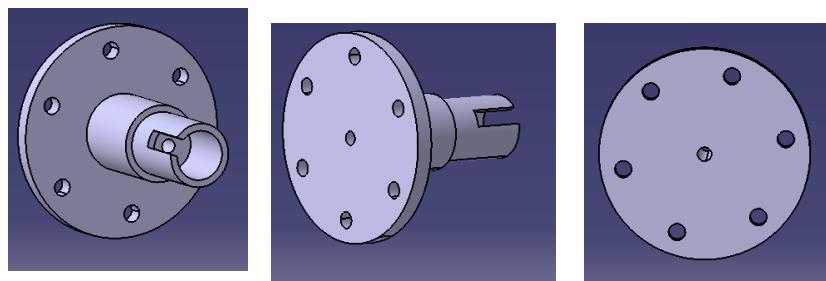


Figura 4.16 Acople de la llanta para unir al reductor

Este diseño se realizó en impresión 3D con material ABS, el cual en comparación con material PLA tiene mejores propiedades. En la Tabla 4.19 se muestra una comparación de ambos materiales.

Tabla 4.19 Comparación de materiales.

Material	Temperatura de impresión	Punto de fusión	Resistencia a la tracción	Módulo de flexión
PLA	190-230°C	150°C	≥60MPa	≥60MPa
ABS	220-260°C	160°C	≥68MPa	≥1800MPa

El material ABS (Acrilonitrilo Butadieno Estireno) es un polímero que se constituye de tres monómeros diferentes. El acrilonitrilo brinda rigidez, resistencia a ataques químicos, dureza y estabilidad a temperaturas altas. El butadieno da tenacidad a cualquier temperatura, es perfecto para ambientes fríos en los cuales otros plásticos se vuelven quebradizos. El estireno proporciona resistencia mecánica y rigidez todo esto brinda estabilidad y resistencia a impactos o vibraciones. Otra ventaja es el bajo costo a comparación de otros materiales como el metal.

Para la unión al chasis del nuevo conjunto de motor, reductor y llanta, se hizo uso de una placa de acero como se muestra en la Figura 4.17.

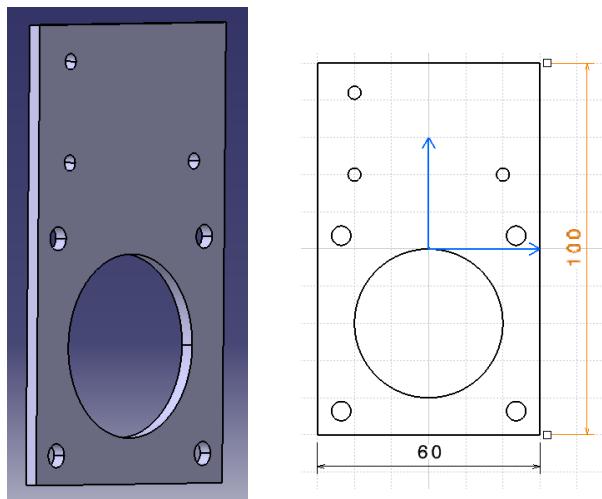


Figura 4.17 Placa de acero, la primera vista muestra el diseño de CATIA, la segunda vista muestra las dimensiones de la placa con un grosor de 3mm.

Todo el soporte del robot se realizó con perfil de aluminio V-slot 2020. La sección transversal de este perfil se muestra en la Figura 4.18.



Figura 4.18 Sección transversal del perfil de aluminio.

La selección de este perfil es debido a la facilidad de ensamble, se permite hacer modificaciones en el mismo sin muchas complicaciones, es rápido de usar, adicionalmente permite hacer estructuras rígidas además de hacerla ligeras.

Para la sujeción de las pilas que se usaron en el robot se realizaron los diseños mostrados en la Figura 4.19, las cuales se realizaran en impresión 3D.

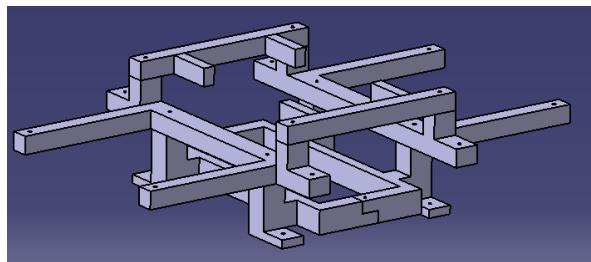
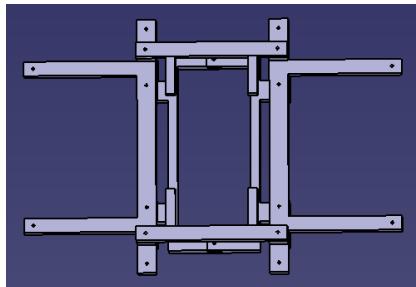


Figura 4.19 En la primera vista se ve la parte superior del sujetador de baterías, en la otra vista se aprecia de forma lateral.

Posteriormente se describe el segundo módulo de la base del robot. Aquí se apoyarán gran parte de los elementos electrónicos implementados, por ello se realizarán bases en impresión 3D las cuales permitirán sujetarlas a la base de acrílico (Figura 4.25) y evitar que se muevan. Los diseños se muestran en las siguientes figuras.

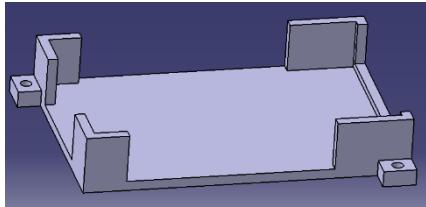


Figura 4.21 Base para la tarjeta.

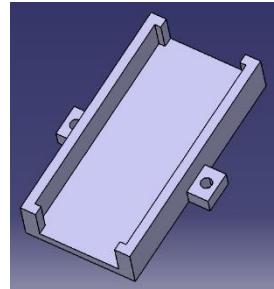


Figura 4.20 Base para uno de los relevadores.

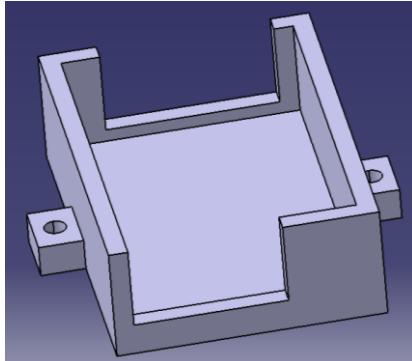


Figura 4.22 Base para el regulador.

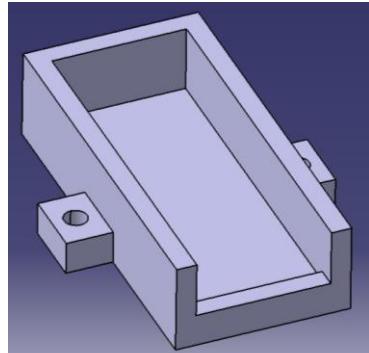


Figura 4.23 Base para uno de los relevadores.

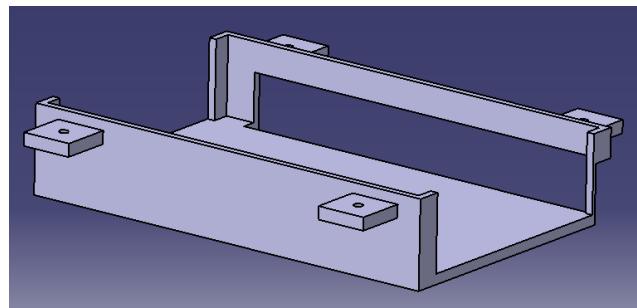


Figura 4.24 Base para el convertidor de corriente.

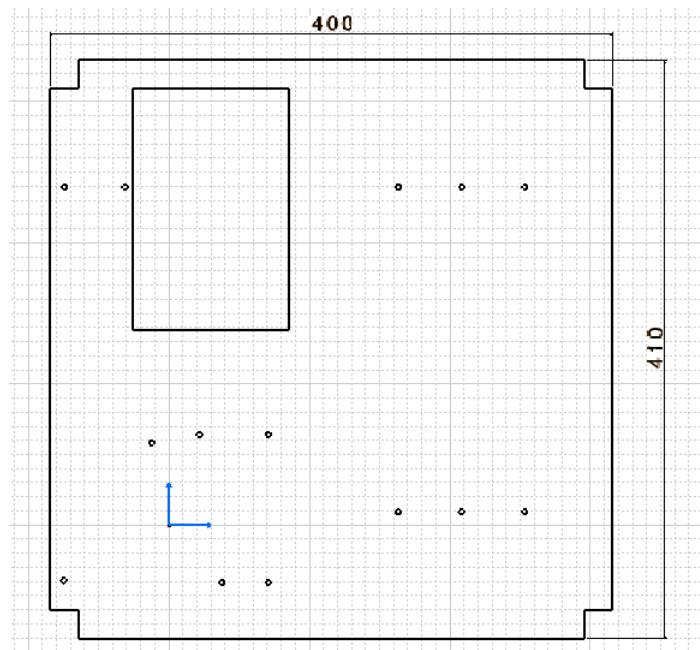


Figura 4.25 Base central hecha de acrílico.

Continuando con el diseño, ahora se describe la parte superior. Primero se considera el espacio disponible para poder poner la base y los sockets que se utilizaran para sujetar las lámparas, con ello se propone la siguiente base principal.

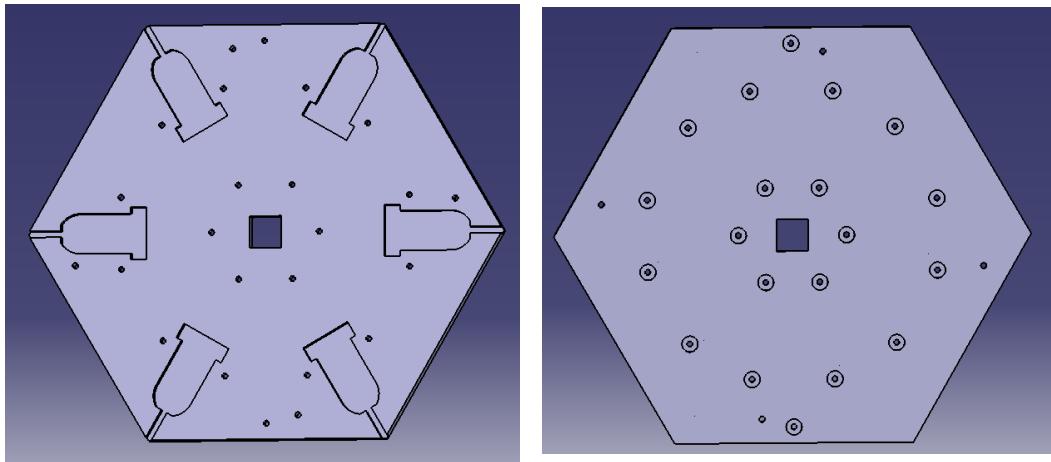


Figura 4.26 Base principal de las lámparas.

En la base se puede apreciar 6 espacios disponibles para el uso de 6 lámparas, cada espacio tiene una abertura frente a ella con el fin de poder quitar y poner las lámparas sin problemas, ya que se hace uso de sockets giratorios como se muestra en la Figura 4.27, de igual manera se hace uso de pequeños sujetadores para evitar que se salga algún socket. En la parte central se deja la abertura para que pase el eje del cual se sujetará toda la base y se dejan las perforaciones para poder sujetar la base de los sensores infrarrojos y de una pequeña base que brinda una mejor estabilidad en la base principal. Los diseños de anteriormente mencionado se muestran en las siguientes figuras.



Figura 4.27 Sockets giratorios.

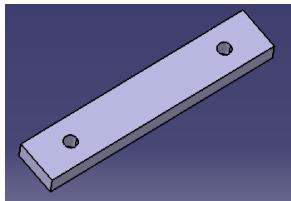


Figura 4.29 Sujetador para sockets.

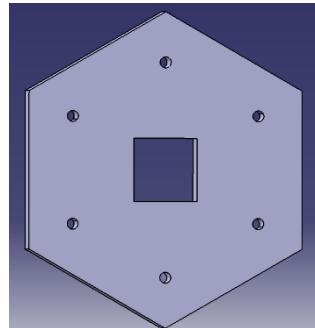


Figura 4.28 Soporte adicional.

A esta sección se agregan 4 soportes, los cuales nos ayudarán a mantener estable las bases principales cuando no tengan ninguna lámpara, además ayudarán cuando el robot empiece a construirse a mantener a las bases en las distancias apropiadas para su ensamble. Estos soportes se ven en la Figura 4.30.

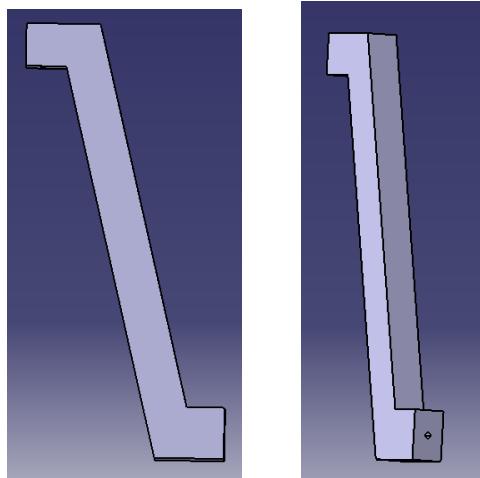


Figura 4.30 Soporte de apoyo.

En la parte superior de la base se puede visualizar una pequeña base la cual contiene los sensores infrarrojos y el sensor de CO<sub>2</sub>. Los diseños para esta parte se observan en las siguientes figuras.

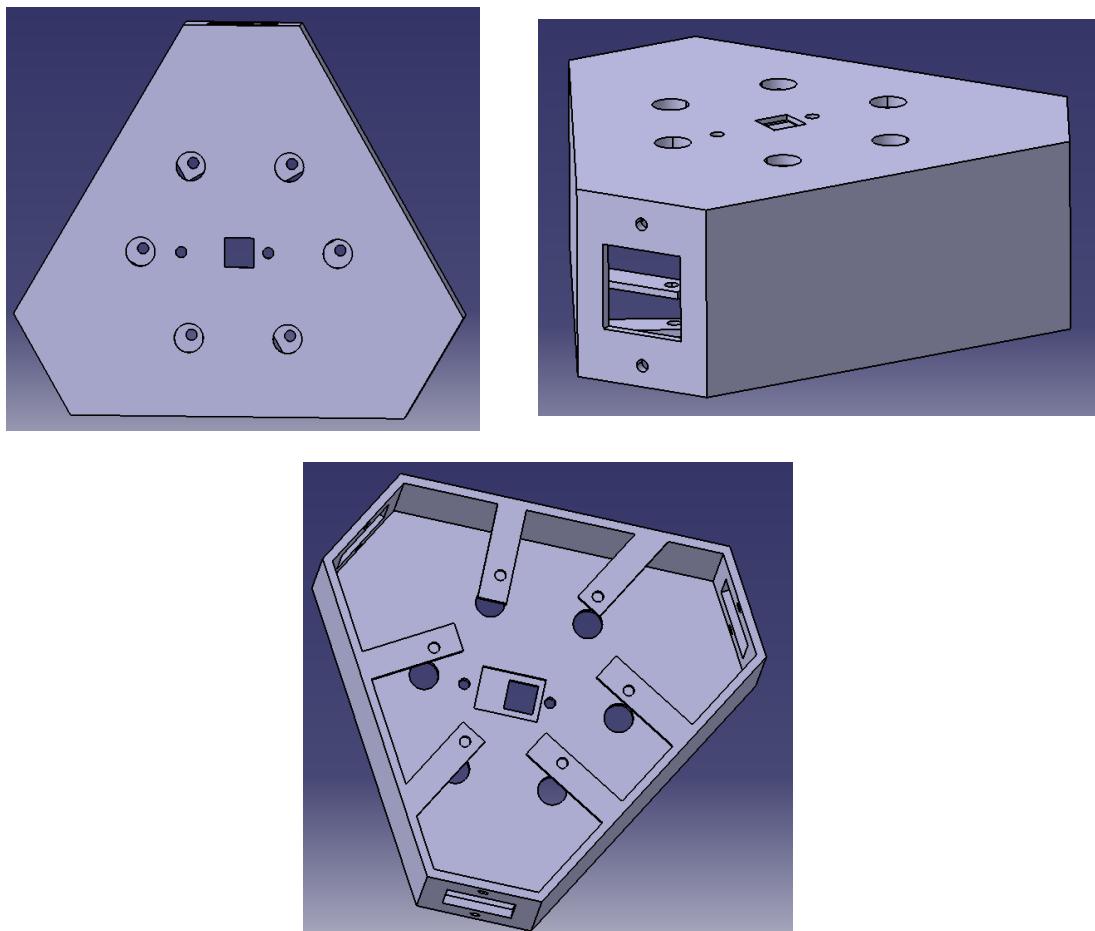


Figura 4.31 Base superior externa de los sensores en 3 ángulos diferentes.

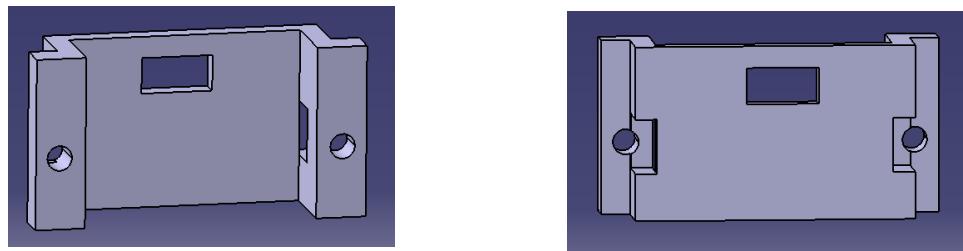


Figura 4.32 Base para los sensores infrarrojos.

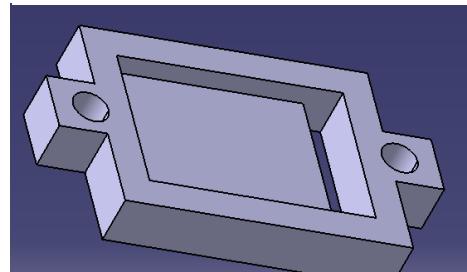


Figura 4.33 Base para el sensor de CO<sub>2</sub>.

Como se ha mencionado, estos componentes van sujetos a un eje central, este eje esta atornillado a 4 perfiles que se encuentran dentro de la estructura inferior del robot. Además, la base principal que queda abajo se atornilla a otros dos perfiles. Esto se puede apreciar en las siguientes figuras. I

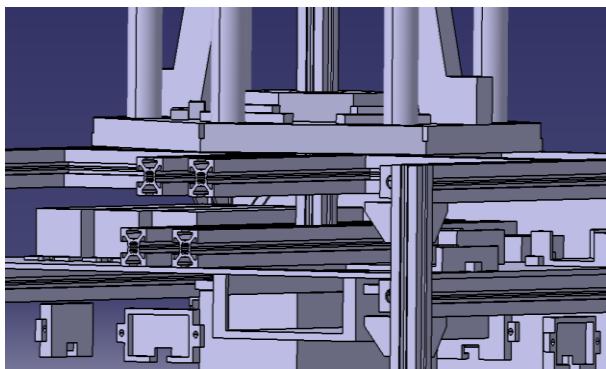


Figura 4.34 vista de los 4 perfiles centrales.

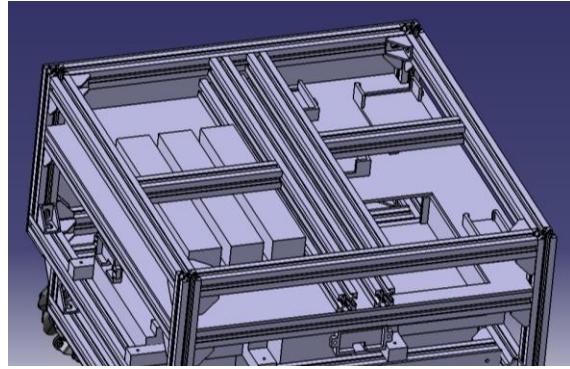


Figura 4.35 vista de los 4 perfiles centrales y de los 2 perfiles adicionales.

Por último, se utilizó acrílico negro de 6 mm para cubrir la carcasa del robot. Las tapas de cada una de las caras se muestran en las siguientes figuras.

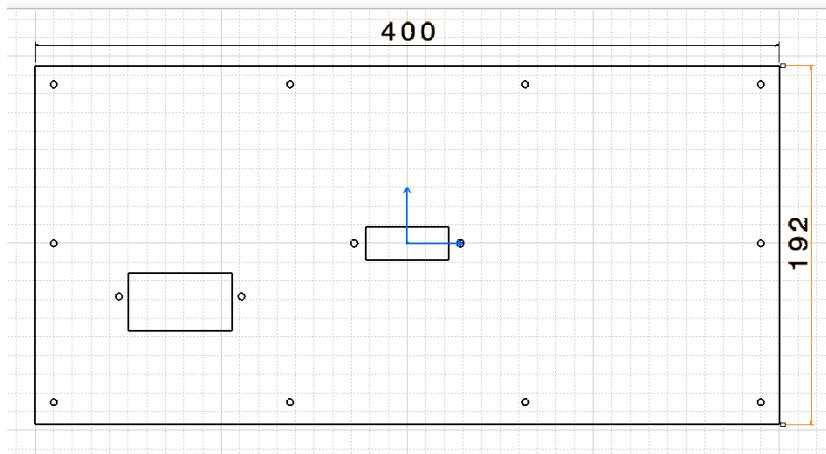


Figura 4.36 Tapa lateral izquierda.

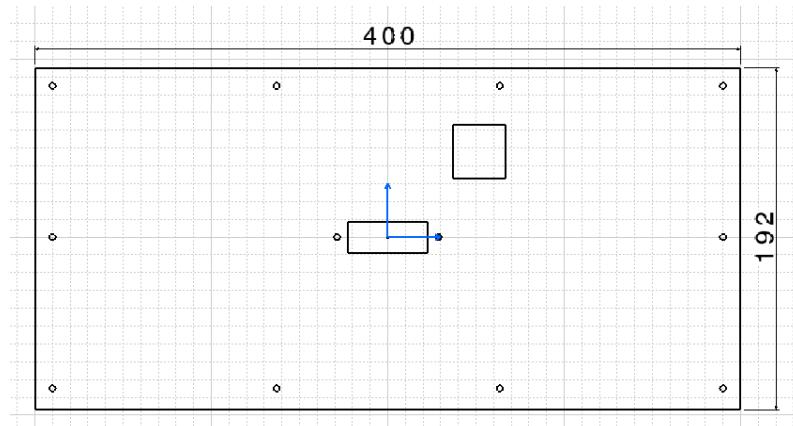


Figura 4.37 Tapa lateral derecha.

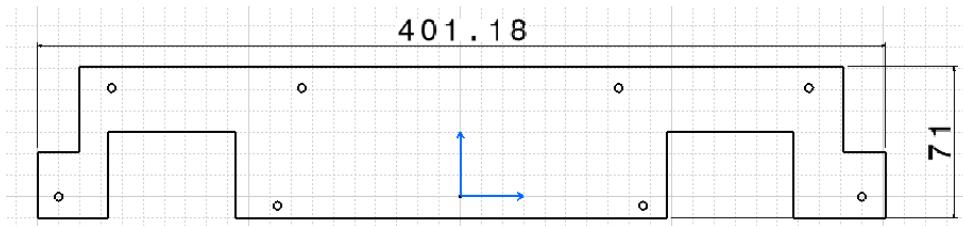


Figura 4.38 Tapa lateral del lado de los motores.

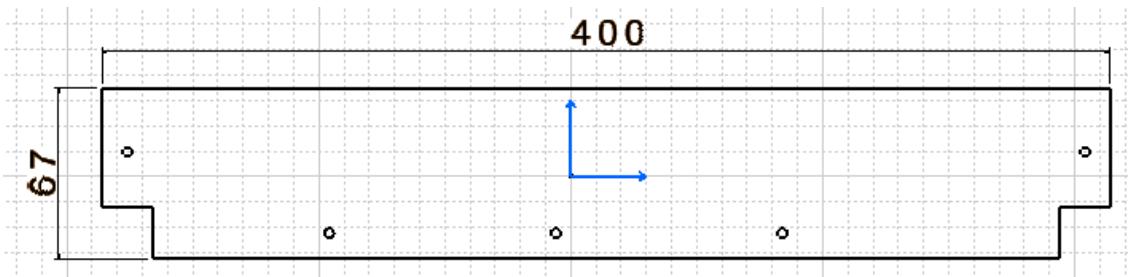


Figura 4.39 Tapa superior del lado de los motores.

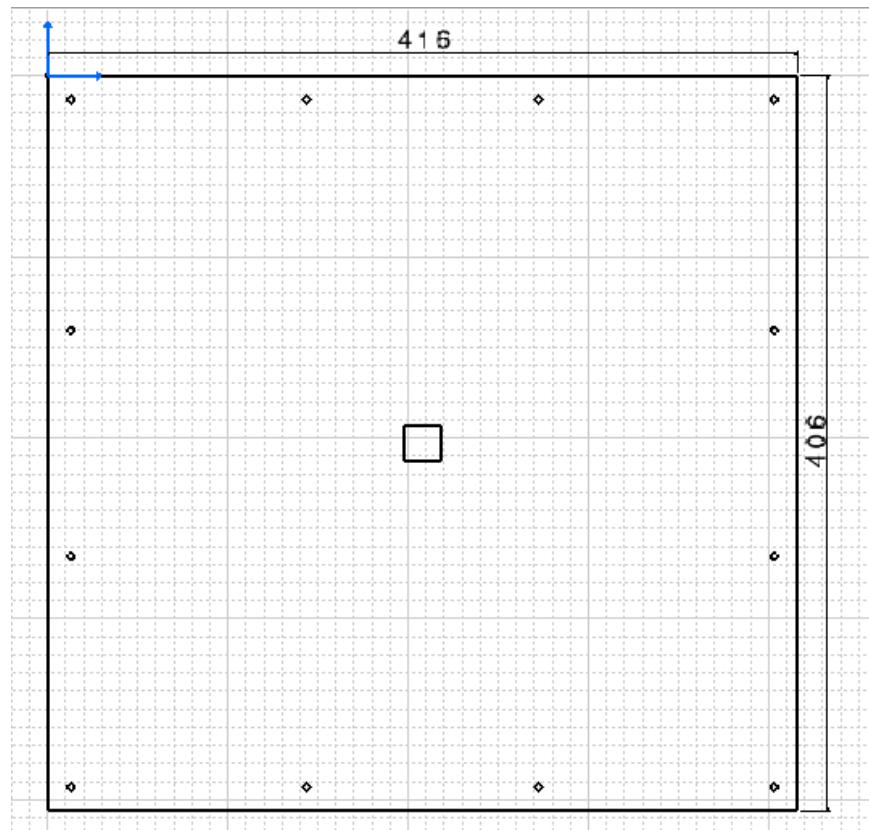


Figura 4.40 Tapa superior.

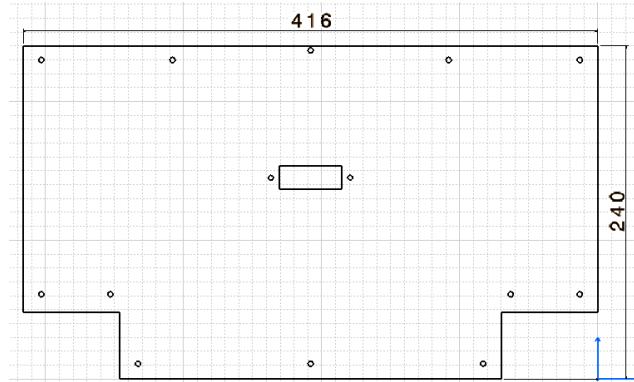


Figura 4.41 Tapa frontal y lateral.

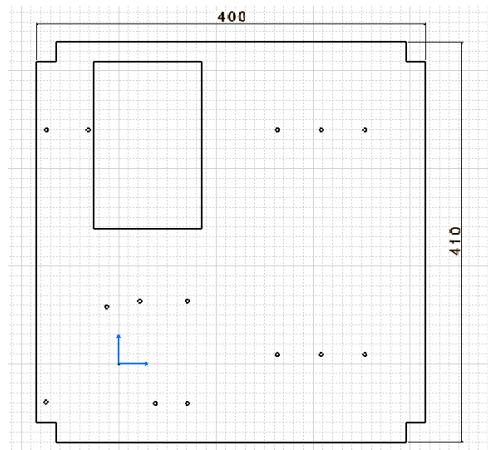


Figura 4.42 Tapa central.

De las figuras anteriores tómese en consideración que las medidas mostradas se encuentran en milímetros.

#### 4.9 SUMARIO

En el siguiente capítulo se describe el proceso de manufactura de cada sección del robot, se menciona como es la interfaz que se realizó para poder controlar el mismo por medio de un teléfono o Tablet. Se muestran diagramas con los cuales se puede ver como se hicieron las conexiones con los dispositivos utilizados: motores, sensores, cámara, lámparas, etc.

Adicionalmente, se describe como se construyó de manera física, se menciona el proceso que se realizó, considerando primero la construcción de la transmisión para dar paso a la creación del chasis e ir uniendo cada parte para llegar hasta el producto final.

## 5 MANUFACTURA E IMPLEMENTACIÓN

Una vez que se determinaron los componentes específicos y se dio a conocer el diseño detallado del prototipo, se considera que es posible avanzar a la implementación de estos componentes y sistemas para poder manufacturar el robot. En esta sección se expone cómo se desarrolló cada implementación de los diferentes subsistemas presentados anteriormente, además se dan a conocer la manufactura detrás de cada componente extra los cuales se crearon para poder unir todo dentro del prototipo y así cumplir el objetivo de construcción y funcionamiento de este.

### 5.1 IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL Y RED WIFI LOCAL

Para poder controlar el robot a distancia, fuera del alcance de la luz UVC, se realizó una aplicación web dentro de un servidor utilizando el micro framework llamado Flask el cual está escrito en el lenguaje Python para programación. Este framework nos permite tener una comunicación bidireccional entre la tarjeta y el dispositivo de control, así como se muestra en la Figura 5.1, desarrollando la aplicación en Flask se puede conectar un dispositivo que se encuentre conectado a la misma red Wifi.

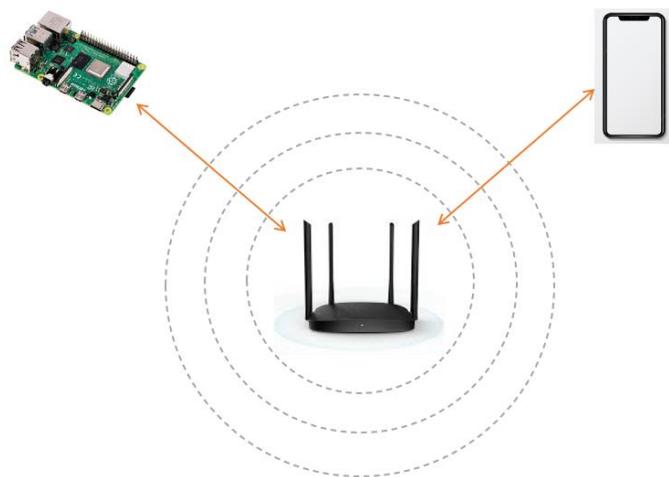


Figura 5.1 Diagrama de comunicación WiFi entre servidor Flask y dispositivo móvil.

En el caso mostrado en el Diagrama 5.1 la conexión entre la tarjeta y el dispositivo móvil depende de un rúter que crea la señal Wifi para así conectarse bidireccionalmente con el servidor creado, sin embargo se considera que no en todos lados se tendrá una conexión a internet con Wifi, por lo cual se creó una red local aprovechando la conectividad Wifi de la Raspberry Pi 4, esto se consiguió con software compatible con Linux llamado Host APD el cual funciona para la creación de puntos de acceso Wifi. Para su creación se especificaron datos importantes principalmente el nombre de la red y la contraseña, lo cual se muestra en la Figura 5.2. Adicional a este proceso se estableció una dirección IP estática, la cual funciona para la comunicación entre la tarjeta y el dispositivo móvil que se conectarán, además esta dirección funciona para cargar la aplicación web de Flask y en donde se conectará el dispositivo dentro de su navegador web una vez conectado a la red local Wifi.

```
GNU nano 5.4                                     /etc/hostapd/hostapd.conf
country_code=MX
interface=wlan0
ssid=Raspi4
hw_mode=g
channel=7
macaddr_acl=0
auth_algs=1
ignore_broadcast_ssid=0
wpa=2
wpa_passphrase=12345678
wpa_key_mgmt=WPA-PSK
wpa_pairwise=TKIP
rsn_pairwise=CCMP
```

Figura 5.2 Configuración de red local Wifi.

Considerando estas modificaciones no sería necesario el uso de un modem o rúter con internet Wifi, solamente se conectarán el dispositivo móvil directamente a la señal de red local de tarjeta y se comunicarán entre sí con la dirección IP estática que se determinó, así como se aprecia en el diagrama de la Figura 5.3, esto nos evita tener que depender de un sitio que tenga internet con señal Wifi, pero seguir aprovechando la conectividad Wifi de la Raspberry Pi 4.

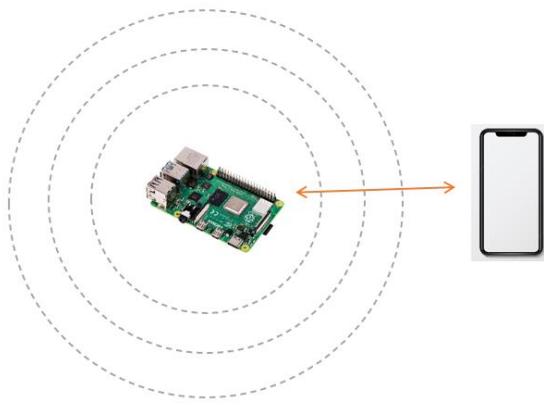


Figura 5.3 Comunicación entre tarjeta y dispositivo móvil con red local WiFi.

Las funcionalidades fueron creadas en el lenguaje de programación Python para ligarlas a diferentes rutas de Flask y así poder ejecutarlas en cuanto se presione un botón en la página web que muestra el servidor al conectarse algún dispositivo, ya que lo que se puede ver en la parte del operador del robot es una página web desarrollada en HTML, CSS y Java script. Esta página contiene la información de los sensores ultrasónicos de distancia, el sensor de CO<sub>2</sub> y el video de la cámara web, además de los controles para operar el robot, estos se transmiten de la tarjeta al servidor y al cliente que en este caso el dispositivo conectado como se puede ver en la Figura 5.4, donde se muestra la interfaz ejecutada en una Tablet.

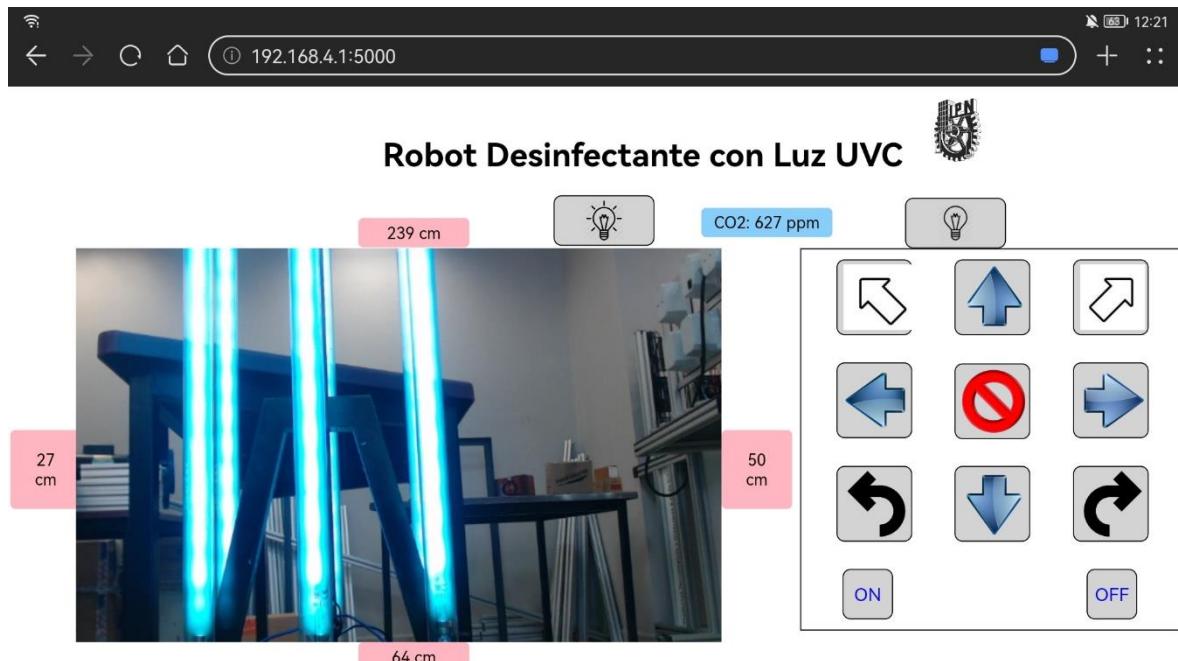


Figura 5.4 Aplicación web para operar el robot.

El funcionamiento de la aplicación en general se puede observar en el diagrama de flujo que está en la Figura 5.5, donde se muestra cómo funciona desde que se enciende el robot hasta que se apaga por completo.

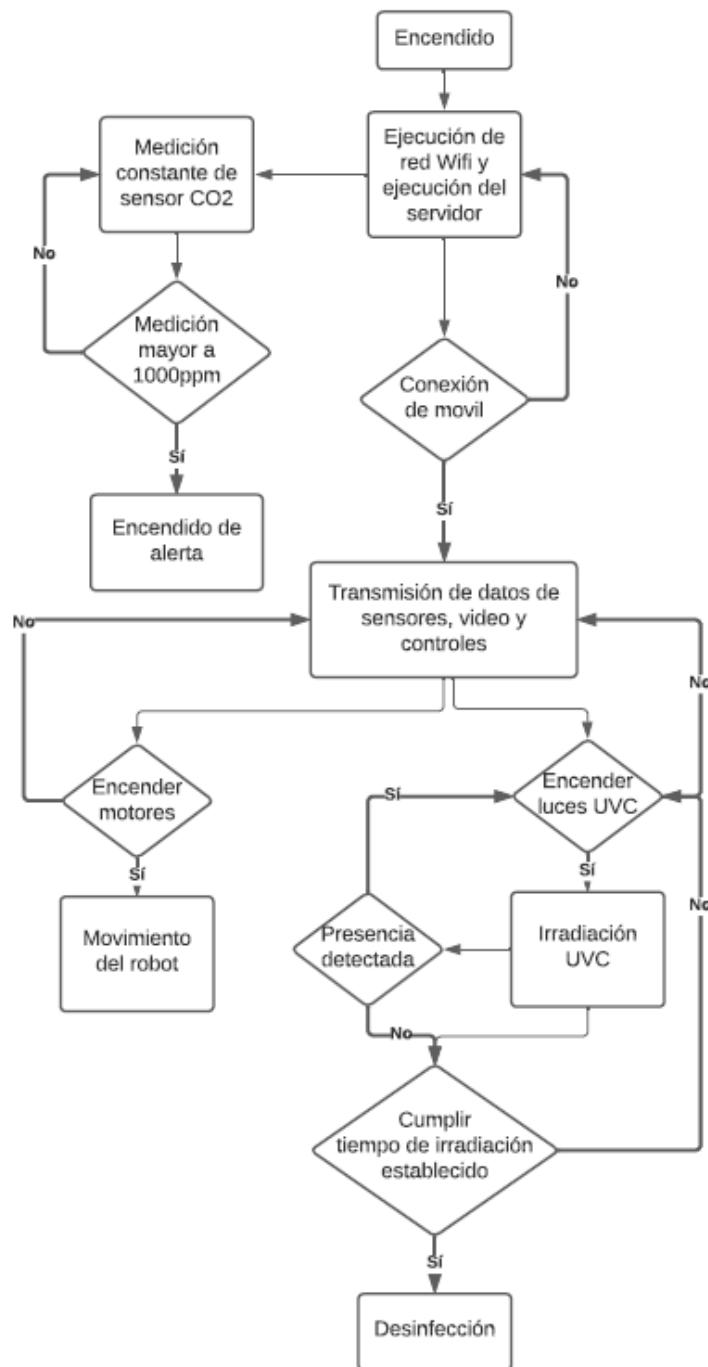


Figura 5.5 Diagrama de flujo del funcionamiento general del robot desinfectante UVC

## 5.2 IMPLEMENTACIÓN DE MOTORES

Para el funcionamiento de los motores, se requiere además de la alimentación de los mismos, la conexión con la tarjeta de control Raspberry Pi, por lo cual se conectó cada controlador de cada motor a la tarjeta como se ve en la Figura 5.7.

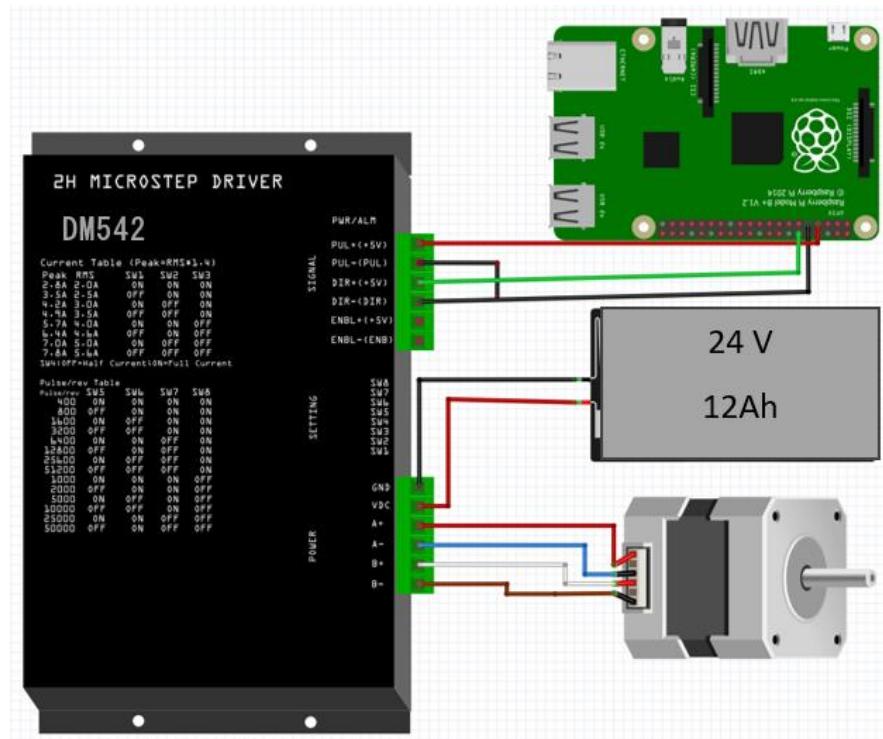


Figura 5.6 Diagrama de conexión de motor a pasos Nema 23 con controlador DM542 y Raspberry Pi.

Se puede observar en el Diagrama 5.7 que los cables conectados del motor al controlador son 4 ya que el motor a pasos se configuro para funcionar en serie. Esta configuración nos permite tener un menor consumo de energía aunque se reduce un poco el torque a diferencia de una configuración en paralelo, adicional a eso se configuro el controlador DM542 a 1.92 A considerando que la corriente máxima que puede usar el motor es de 2.8 A, también en cuanto a la configuración de pulsos se dejó en 1600 pulsos por revolución, lo cual no es muy alto comparado con el máximo configurable por el controlador pero solamente se requiere que el movimiento sea uniforme sin que el consumo de energía aumente demasiado y considerando que un motor a pasos normalmente necesita de 200 pulsos por revolución para dar una vuelta

completa, los micro pasos que suministra el controlador a 1600 pulsos ayudan a suavizar el movimiento sin aumentar tanto el consumo de energía.

En cuanto a las conexiones entre la tarjeta y el controlador se necesitan tres cables, el rojo correspondiente a los pulsos, el verde da la dirección a la que se mueve el motor a pasos y el negro de la tierra puenteado a dos entradas del controlador.

## 5.3 IMPLEMENTACIÓN DE SENSORES

En cada uno de los sensores utilizados se requirieron de conexiones y acondicionamientos diferentes, así como una conexión diferente con la tarjeta, considerando los voltajes de operación además de las señales que se adquieren de cada uno de ellos, sus conexiones difieren de cada una, por lo cual se mostrará un ejemplo de conexión referente a cada tipo de sensor empleado para la construcción del prototipo.

### 5.3.1 SENSOR DE CO<sub>2</sub>

La conexión del sensor SCD-40 se determinó específicamente en los pines de la tarjeta destinados a la conexión I<sub>2</sub>C, llamados SDA y SCL para la comunicación específica entre el sensor y la tarjeta ya que así lo requiere el módulo que se adquirió. Adicional a esos dos pines, se conectó a la alimentación de 3.3 V y a un pin GND de la misma tarjeta, ya que es el voltaje de funcionamiento dentro de sus especificaciones técnicas, además se conectó un *buzzer* de sonido el cual indicará cuando la lectura del sensor sobrepase los 1000 ppm, el cual se mantendrá activado siempre el valor sobrepase este valor.

Para su funcionamiento fue necesario instalar una librería de Adafruit, la cual nos permite censar de manera periódica cada 5 segundos, los valores obtenidos se importan al programa fuente de Flask y se envían a través del servidor al dispositivo móvil.

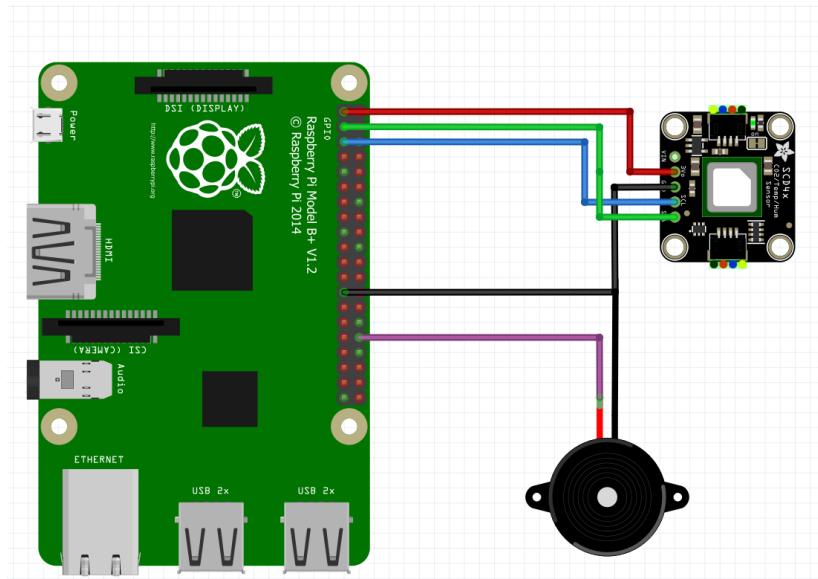


Figura 5.7 Diagrama de conexión del módulo sensor CO2.

### 5.3.2 SENSOR INFRARROJO

El sensor infrarrojo es un sensor PIR el cual solamente tiene un cable de salida el cual manda una señal alta o baja dependiendo de si detecta la presencia de alguien o no, por lo cual se conectaron los 3 sensores a utilizar puenteados a una salida de 5 V de la tarjeta, esto considerando su bajo consumo de energía, y las 3 salidas se conectaron a pines diferentes de la tarjeta para así recibir la información por separado de cada uno. A diferencia de el voltaje de operación de 5 V la salida de los sensores PIR tiene un voltaje de 3.3 V lo cual es el límite de entrada que soporta la tarjeta entonces la conexión puede ser directa.

Los sensores se configuraron a la menor distancia a la que pueden detectar movimiento que son 3 metros, esto pensando en los salones de clases en los que operara el robot y que su área no es tan grande. Se programó para que este checando presencia cada segundo que pase y en caso de que alguno de los sensores detecte a alguien se apagaran las lámparas UVC por 5 segundos, esto siempre y cuando siga detectando presencia para así dar la oportunidad a la persona de salir del salón rápidamente.

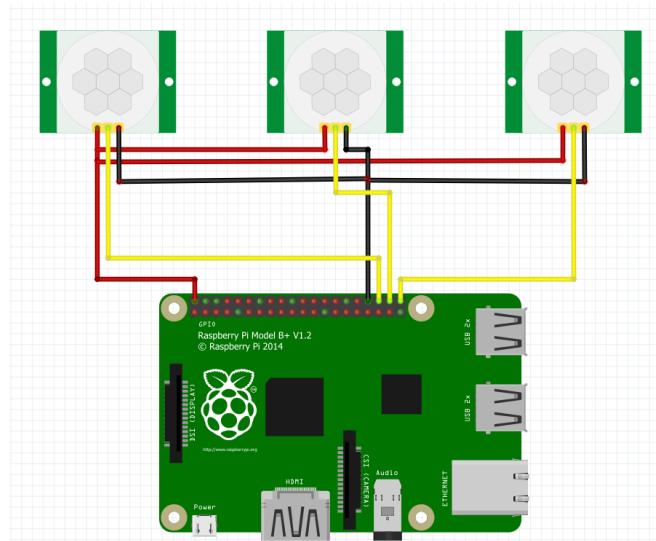


Figura 5.8 Diagrama de conexión de los sensores infrarrojos de presencia con Raspberry Pi.

### 5.3.3 SENSOR ULTRASÓNICO

Los sensores ultrasónicos además de necesitar de la alimentación de 5 V, necesitan de 2 pines para conectarse, una salida llamada Triger y una entrada llamada Echo, ya que dependiendo al retraso en el cual regrese la señal de Echo se puede determinar la distancia a la que está un objeto. Sin embargo, la salida que suministra el sensor es de 5 V lo cual dañaría la tarjeta, por lo cual se determinó usar un convertidor lógico de 5 V a 3.3 V. con la finalidad de bajar ese voltaje y pueda ingresar la información a la Raspberry Pi. Considerando los pines limitados de energía de la tarjeta los sensores ultrasónicos se conectaron directamente al regulador de voltaje que también suministra energía a la Raspberry Pi.

Para la implementación con el servidor, se importaron los valores de cada sensor al código principal del servidor en Flask y se mandaron con una petición GET constantemente cada 0.5 segundos del servidor a la página HTML y una función en JavaScript para actualizar los valores solamente de cada etiqueta, las cuales se muestran alrededor del video que muestra la cámara web.

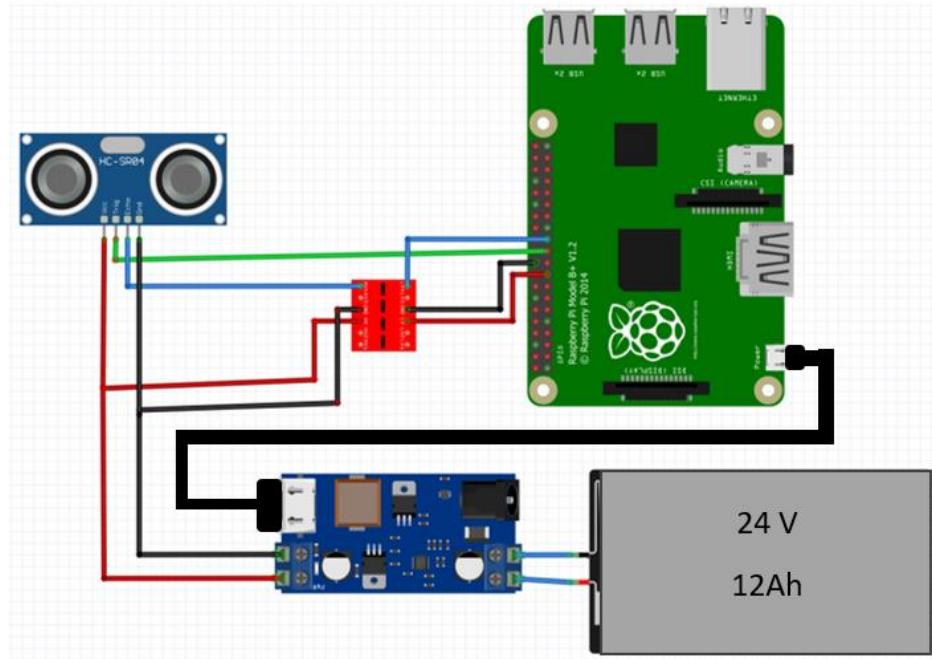


Figura 5.9 Diagrama de conexión de los sensores ultrasónicos.

## 5.4 IMPLEMENTACIÓN DE RELEVADORES

Para la implementación de los relevadores se conectaron directamente al regulador de 5 V, esto considerando que las salidas de voltaje de la tarjeta son limitadas y que demandan más corriente que los sensores. Los relevadores tienen una entrada de disparo que va desde los 3 a 5 V por lo cual la tarjeta puede controlarlos sin la necesidad de usar algún convertidor lógico.

El primer relevador que tiene una menor capacidad de amperaje máximo se conectó como interruptor para suministrar energía a los controladores de los motores y el relevador con 30 A de corriente máxima, se conectó a la salida del convertidor para ser interruptor de las lámparas UVC, esto aprovechando el interruptor del convertidor para que sea un apagador de seguridad el cual se debe de activar siempre que se esté preparado para encender las luces y así después encenderlas con el relevador.

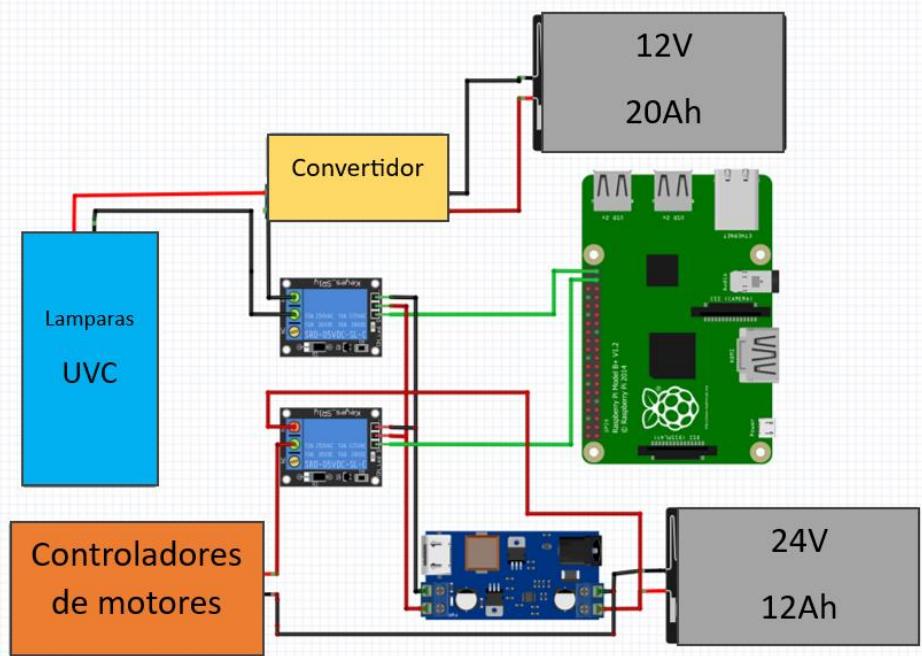
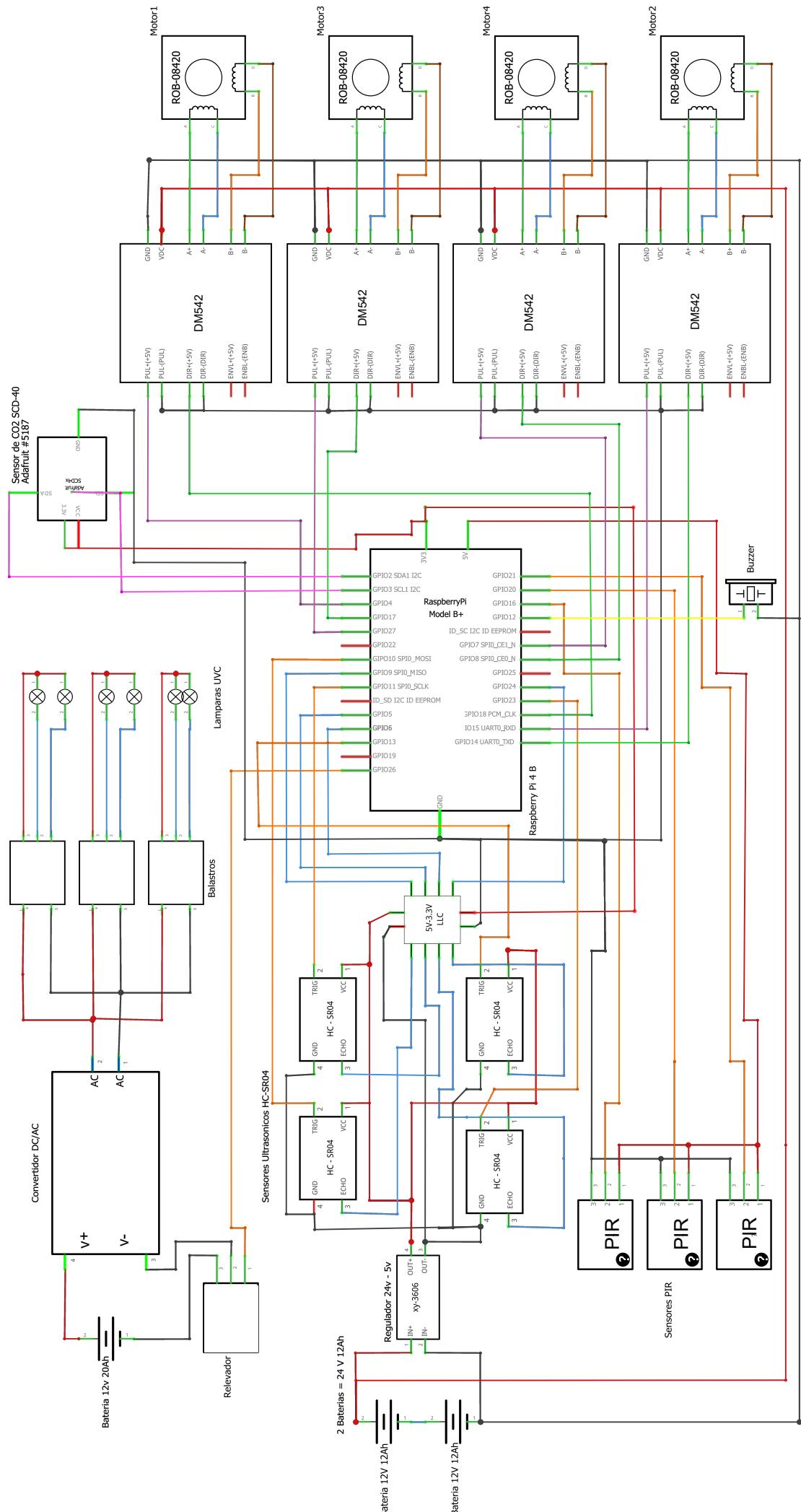


Figura 5.10 Diagrama de conexión de relevadores.

Como se puede ver en la Figura 5.11 se tienen conectados los relevadores al regulador para su funcionamiento y se están controlando el encendido y apagado proveniente de dos fuentes de alimentación diferentes, y para diferente propósito por lo cual eso implica que sus capacidades sean diferentes pero se pueden controlar solo con una entrada alta o baja la cual se manda a través de un programa en Python importado al código principal que levanta el servidor en Flask y mediante un ruta y un GET se pueden ejecutar las funciones de encendido. En cuanto al relevador que controla la luz UVC también está ligado al código referente a los sensores infrarrojos de presencia, el cual se activa cuando enciendes las lámparas.

## 5.5 DIAGRAMA ELECTRICO.

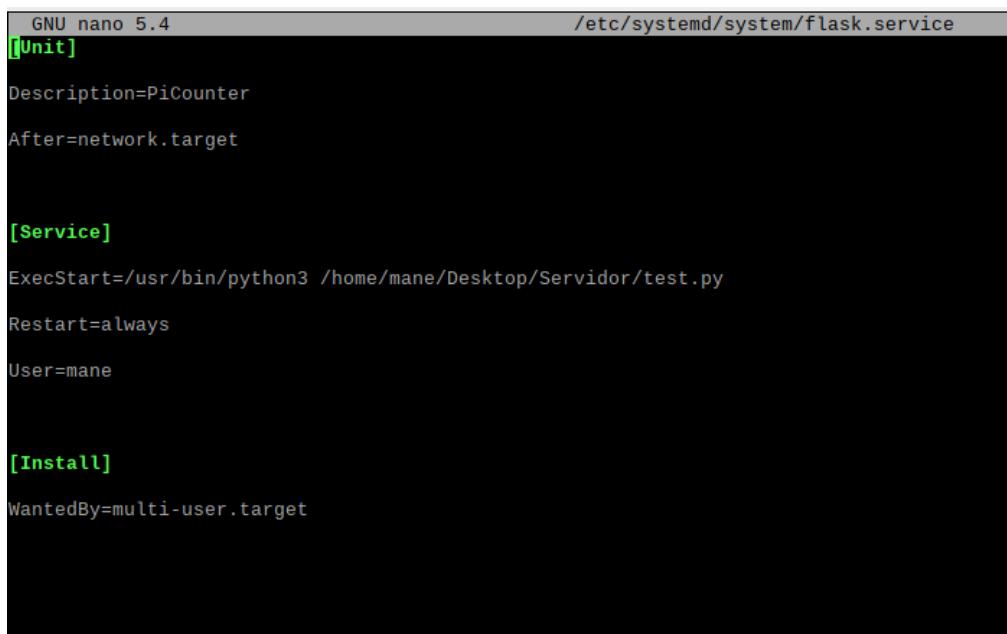
Para complementar la implementación de cada uno de los componentes se muestra el diagrama eléctrico completo del robot el cual fue creado en el software fritzing y en donde podemos visualizar la implementación de todos los componentes utilizados en el prototipo, además de observar las diferentes conexiones correspondientes a los apartados de lámparas UVC, motores y sensores. Esto con la finalidad de agregar una perspectiva más amplia sobre la conexión de todos los componentes que se usaron para la funcionalidad del prototipo.



## 5.6 EJECUCIÓN DEL SERVIDOR AL ENCENDER RASPBERRY PI 4.

La aplicación web se activa al ejecutar el script que contiene el código fuente del servidor en Flask, sin embargo, para poder hacer que se ejecute cuando se encienda la Raspberry se requiere de un proceso diferente al de la red Wifi, la red local que se creó como es parte de la configuración dentro de la tarjeta de red se ejecuta en cuanto se enciende, pero la aplicación web no lo hace así.

Existen diferentes formas para lograr que un programa se ejecute al encender una Raspberry Pi, pero en este caso que como es un servidor web lo que se considera algo más pesado de ejecutar por las importaciones de los programas que controlan sensores y actuadores se recomienda usar la función System que se encuentra en sistemas operativos en base Linux, esta función nos permite crear un archivo y darle instrucciones específicas ya sea ejecutar programas al encender o establecer un tiempo determinado entre otras.



```
GNU nano 5.4                               /etc/systemd/system/flask.service
[unitt
Description=PiCounter
After=network.target

[service]
ExecStart=/usr/bin/python3 /home/mane/Desktop/Servidor/test.py
Restart=always
User=mane

[install]
WantedBy=multi-user.target
```

Figura 5.11 Configuración de archivo system para ejecución del servidor al encender.

En este caso como se puede ver en la Figura 5.12 se creó el archivo para la funcionalidad de System al cual se le agregó la ruta del archivo que se ejecutará, además de darle la instrucción de ejecutar siempre cuando se inicie la Raspberry Pi, que es lo que se quiere hacer cuando se suministre energía a la tarjeta. Así mismo, se dieron permisos para que se pueda ejecutar el programa, ya que sin estos la instrucción se daría, pero el sistema no lo ejecutaría.

A continuación, se describe el proceso de construcción del prototipo. Para ello se ha considerado 3 fases: transmisión, chasis y base de las lámparas.

## 5.7 TRANSMISIÓN

En esta parte se inició con la manufactura de 4 acoples de metal que servirán para unir los motores con los reductores. Este acople se muestra en la siguiente figura.



Figura 5.12 Acople de acero A36.

Una vez acoplados los motores a los reductores se manufacturó la placa que une estos conjuntos al chasis, la Figura 5.14 muestra dicha unión.



Figura 5.13 unión de la placa al chasis

Por último, se imprimen 4 acoplos para las llantas, una vez que están hechos son integrados a las llantas, estos se unen a los ejes de los reductores y son atornillados. La Figura 5.15 muestra cómo se ven los acoplos en las llantas.



Figura 5.14 acople de impresión en 3D para llanta.

Así mismo  
Figura  
el acople



Figura 5.15 sistema de transmisión.

en la  
5.16 se ve  
final.

## 5.8 CHASIS

Con las piezas anteriores ya obtenidas se prosiguió al corte del perfil con las medidas propuestas en el diseño hecho en CATIA. Las siguientes figuras muestran como se ve únicamente la estructura con el perfil.

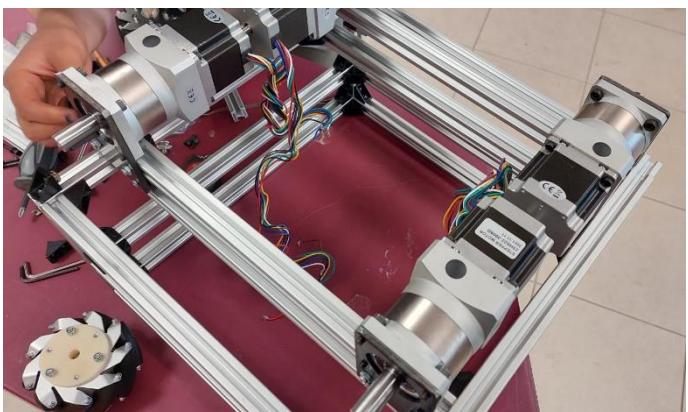
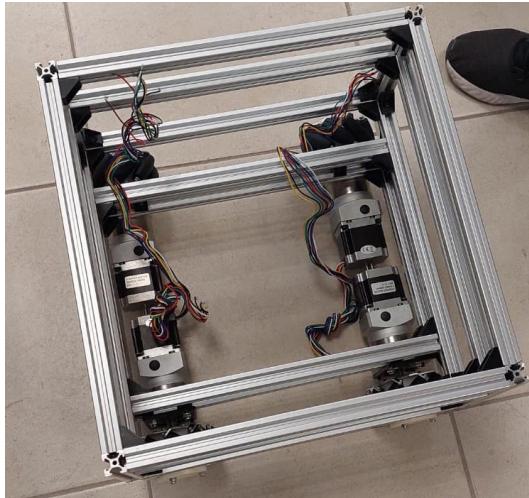


Figura 5.16 Estructura con los perfiles.

Al tener todas las piezas cortadas y unidas se puede cortar una lámina que se usará en la parte inferior del robot, a esta se le harán dos perforaciones para poder pasar los cables de los motores. Las siguientes figuras muestran fotografías de la lámina ya montada.

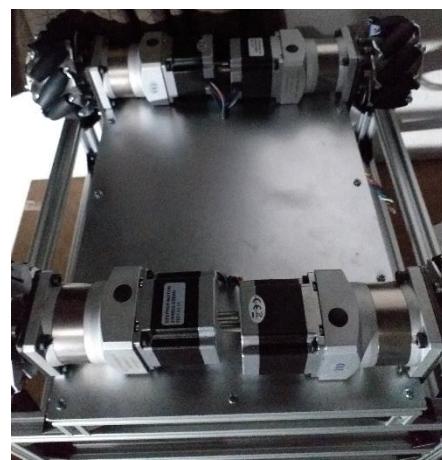
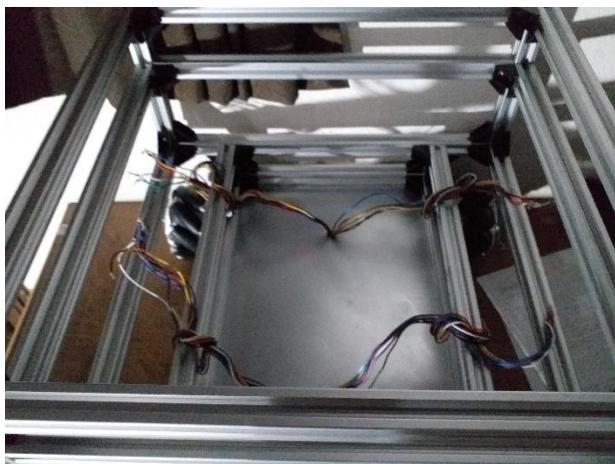


Figura 5.17 Colocación de la lámina inferior.

Cabe mencionar que en las uniones del perfil se hizo uso de uniones como se muestra en la Figura 5.19.

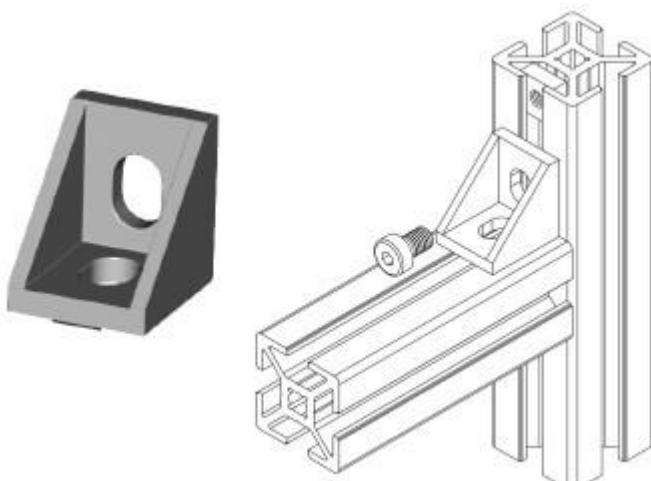


Figura 5.18 uniones para perfil 20x20 mm.

Antes de colocar la tapa central del robot se colocan los drivers, el selector, las pilas con sus respectivos sujetadores y se rutean los cables de cada elemento para tener una mejor

organización. Las siguientes figuras muestran como se ve después de colocar todo lo anterior.



Figura 5.19 Vista de la parte inferior del robot.

Una vez terminado esto, se imprimieron las bases para sujetar los elementos electrónicos del robot, la siguiente figura muestra las piezas impresas.



Figura 5.20 Piezas impresas para la base central.

Teniendo estas piezas se sujetan al acrílico y esté sujeta a la estructura de aluminio. Después se colocan los perfiles que ayudarán a sujetar la base de las lámparas.

## 5.9 BASE DE LAS LÁMPARAS

Antes de poder cerrar por completo el robot es necesario tener lista la base de las lámparas, por ello se procede a armarla. Primero se imprimen las piezas mostradas en las Figuras 5.22 y 5.23.

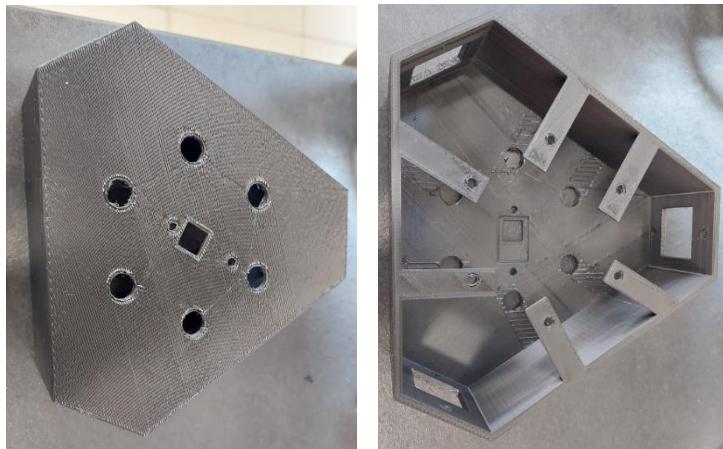


Figura 5.21 Base superior de los sensores infrarrojos y de CO<sub>2</sub>.

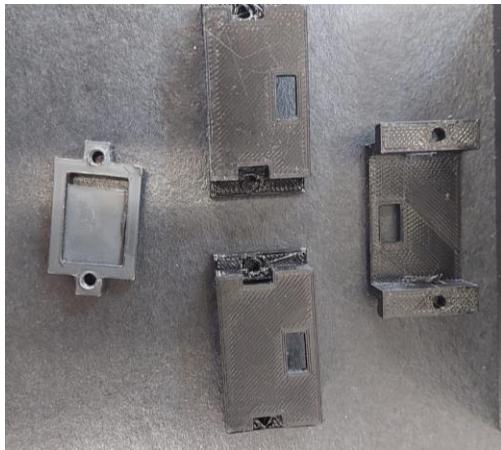


Figura 5.22 Base para sujetar los sensores infrarrojos y de CO<sub>2</sub>.

Para esto ya se debió de haber cortado el perfil que servirá como eje central. De igual manera las bases principales que contendrán los sockets ya deberán de estar impresas en conjunto con los pequeños sujetadores, la base pequeña que servirá de apoyo y los soportes que nos ayudarán a mantener fijas las bases principales. Se colocan todos los sockets en sus respectivos lugares con sujetadores. Al tener esto se introducen primero las bases hexagonales, luego se introducen las bases principales y los últimos soportes que se unirán al eje central. Al tener esto se cablean todos los sockets.

Y antes de dejar terminada esta parte se arma la base de los sensores, por ello a cada sensor infrarrojo se le coloca una base con la cual se podrá sujetar a la base, lo mismo pasa con el sensor de CO<sub>2</sub>. Se cablean los sensores, estos cables pasarán dentro de las ranuras del perfil lo cual nos permitirá llevarlos hasta la base inferior del robot para poder conectarlos. Las siguientes figuras muestra la base de las lámparas.

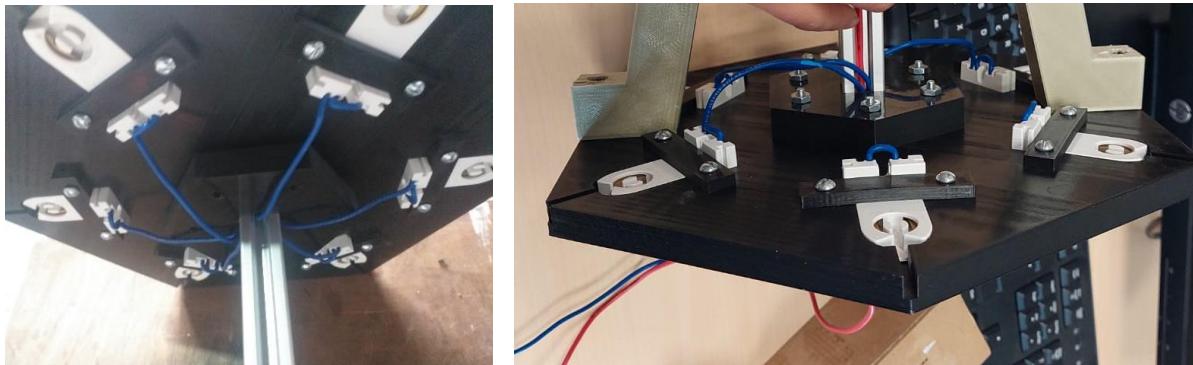


Figura 5.23 Base superior e inferior.

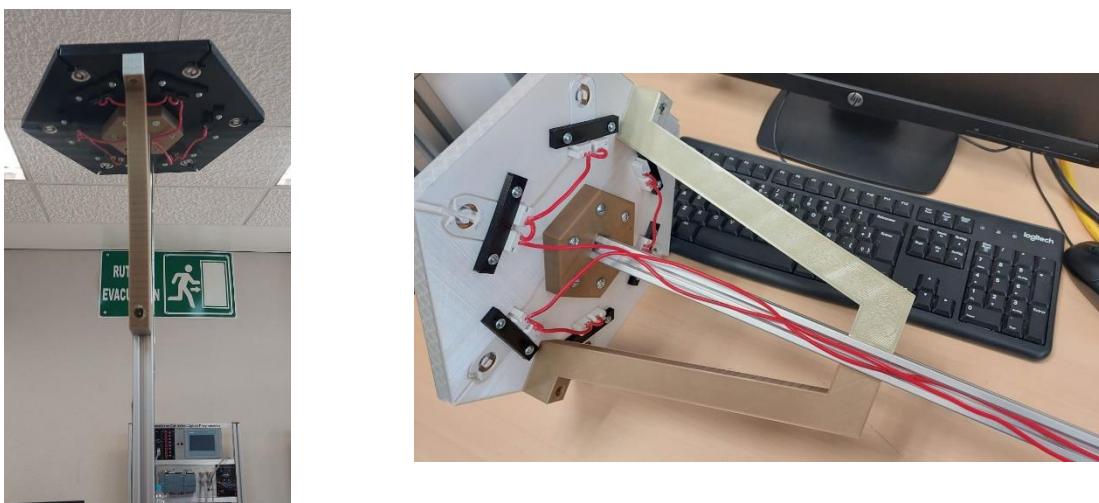


Figura 5.24 Vista de los soportes de apoyo.

Por último, la base de las lámparas se unirá al acrílico de la base superior y con ello se comienza a cerrar el robot. Se atornilla el eje central a los perfiles destinados a ello y la base principal de las lámparas a los perfiles sobrantes.

Para las tapas laterales se mandó a imprimir una pieza que ayudará como soporte para poner unas borneras que serán utilizadas para poder cargar las pilas y además se imprimieron las 4 bases de los sensores ultrasónicos. En cada cara se atornillan las bases con sus respectivos sensores y se atornillan y ajustan a la estructura para así poder cerrar el robot. Las siguientes figuras muestran lo anteriormente mencionado.

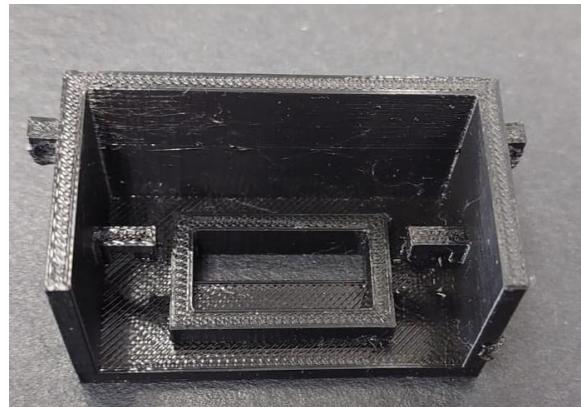


Figura 5.25 Base para la bornera.



Figura 5.26 Vista lateral y frontal del robot ya terminado.

## 5.10 SUMARIO

En el próximo capítulo se muestran los resultados obtenidos después de realizar diferentes pruebas para verificar que el objetivo del robot se cumpla, se hicieron pruebas para verificar el funcionamiento del sensor de CO<sub>2</sub> y como se comparte en lugares cerrados con una cantidad de personas dentro haciendo actividades cotidianas. Se realizó una prueba de desinfección en un área contaminada, esto se realizó con diferentes cantidades de irradiación y a diferentes distancias. Se considera los cálculos del consumo de energía del robot para saber la duración que este tendrá y por último se realizó una prueba para conocer el espectro de la luz

## 6 VALIDACIÓN Y RESULTADOS

Se realizaron diferentes tipos de pruebas para poder validar el correcto funcionamiento del robot, así como el objetivo principal que es la desinfección con la luz UVC, además de las pruebas de duración de baterías, tiempo de carga y de partes por millón con el sensor de CO<sub>2</sub>, por lo cual en esta sección se explican los resultados obtenidos.

### 6.1 RESULTADOS DE MONITOREO DE CO<sub>2</sub>

Para monitorear el CO<sub>2</sub> dentro de un salón se realizaron 2 pruebas, la primera de ellas en uno de los laboratorios de la UPIIH. En este, se tomaron mediciones cada 5 minutos durante una hora, cabe mencionar que el laboratorio corresponde al tamaño de un salón pequeño de la UPIIH y que ya contaba con 10 personas, todas realizando actividades comunes del laboratorio, así mismo se tenía una ventana abierta y la puerta se abría arbitrariamente para poder salir.

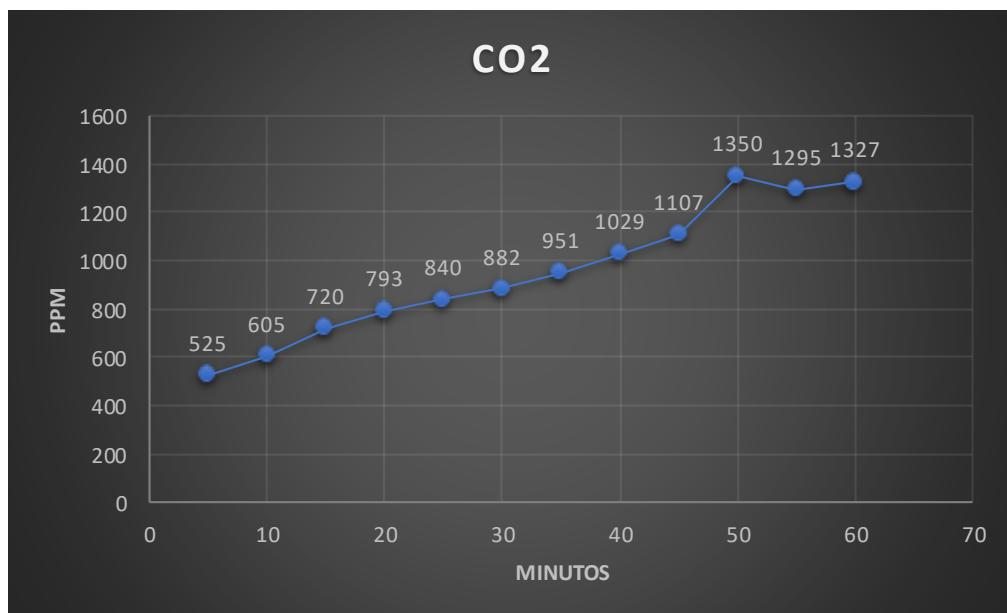


Figura 6.1 Grafica de monitoreo de CO<sub>2</sub> de la primera prueba.

Como se muestra en la gráfica de la Figura 6.1, dentro de los primeros 5 minutos el nivel de CO<sub>2</sub> aumentó considerablemente, esto considerando que el valor normal de un salón vacío es de alrededor de 420 ppm, por lo cual el aumento es considerable en solo ese tiempo, después se muestra un aumento progresivo hasta llegar a los 40 minutos donde se sobrepasaron las 1000 ppm, lo cual se considera peligroso en un área cerrada, pero solo 10 minutos después llega a su pico más alto superando los 1300 ppm. Posteriormente, en los últimos 10 minutos del monitoreo el valor ya no bajó de 1200 ppm y se comenzó a estabilizar, esto considerando que solo eran 10 personas dentro del salón y además se abría la puerta en diferentes momentos.

Para la segunda prueba se decidió usar un salón de la UPIIH y en un escenario normal de una clase, por ejemplo, un examen, en el cual se encontraban 28 personas incluyendo al docente, se consideran factores como: 3 ventanas abiertas, la puerta se mantuvo cerrada, pero se abre arbitrariamente ya que los alumnos puedan salir al baño, también se considera un monitoreo de una hora cada 5 minutos como con la primera prueba.

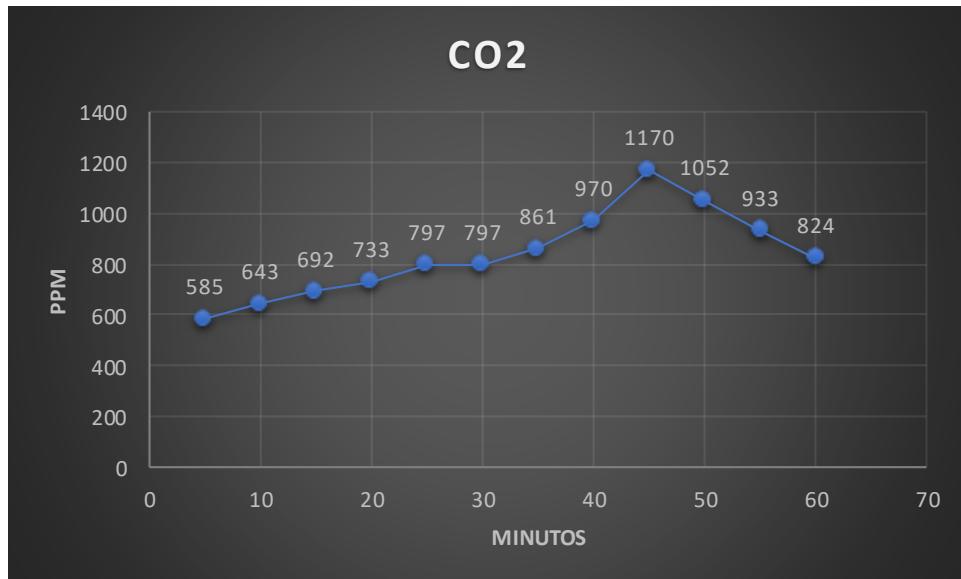


Figura 6.2 Grafica de monitoreo de CO<sub>2</sub> de la segunda prueba.

En este caso la Figura 6.2 nos muestra que a los 5 minutos las ppm suben más que en la primera prueba pero después su ascenso es más lento, ya que aunque se encuentran más personas dentro del salón de clases, la ventilación es mayor y el salón es más grande que el de la primera prueba. Para llegar a un valor por encima de los 1000 ppm es necesario esperar

hasta el minuto 45, un poco más de tiempo que en la primera prueba pero sigue siendo inquietante superar este valor, Sin embargo se muestra una caída en 15 minutos que llego hasta los 824 ppm, esto principalmente porque un grupo de 13 alumnos salieron casi al mismo tiempo del examen, lo cual hizo descender las ppm manteniéndose alrededor de 800 ppm, si este acontecimiento no hubiese ocurrido lo más probable es que el valor se mantuviese arriba de los 1000 ppm y probablemente hubiese superado el valor pico de la primera prueba, pero aun así el valor supero el límite que se considera peligroso en las dos pruebas dando una idea de lo poco confiable que sería tomar clases con una persona enferma ya que podría contagiar a los demás por solo estar en el mismo salón.

## 6.2 RESULTADOS DE DESINFECCIÓN UVC

Para poder comprobar que el robot tiene la capacidad de desinfectar primero se comenzó asegurando la dosis que se estaba utilizando para irradiar las zonas.

Se aseguró que la radiación UVC emitida por las lámparas este dentro de la longitud de onda que especifica el vendedor, ya que esta longitud de onda es importante para asegurar la desinfección, la longitud de onda que especifica la hoja de datos es de 254 nm lo cual entra dentro del rango germicida y de la luz ultravioleta tipo C.

Para esta prueba se utilizó el espectrómetro QE65000AB (Ocean Optics Corp.) y se obtuvieron los datos de la radiación emitida cuando se encendían las luces del robot. Como se puede ver en la figura 6.3, mediante el programa OceanView propio del dispositivo se adquirió el espectro de emisión de la lámpara. Al ser una lámpara de mercurio, esta emite en diferentes longitudes de onda, siendo la 254 nm el pico principal de emisión y mediante el cual se logra la desinfección. Así mismo, se puede observar ligeros picos de emisión alrededor de los 430 y 540 nm.

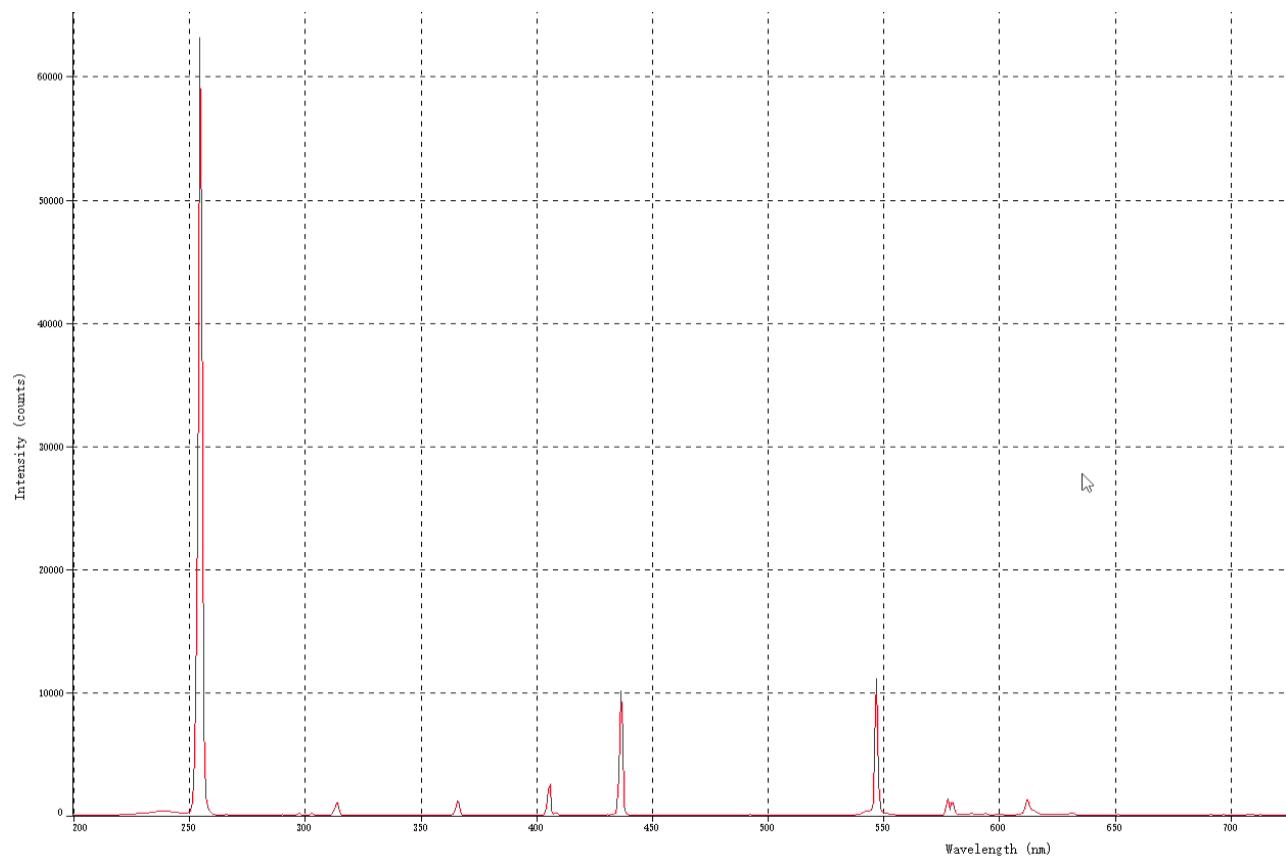


Figura 6.3 Grafica en Ocean View de la longitud de onda emitida por las lámparas UVC del robot.

Posterior a la adquisición del espectro de emisión, se calculó el tiempo de desinfección a una distancia de 80 cm de las luces del robot, se consideró esa distancia ya que la mitad de la mesa mide 60 cm y la distancia de la mesa a las lámparas es de 20 cm aproximadamente. Se determinó a la mitad de la mesa ya que se plantea que el robot pueda tener movimiento del otro lado de la mesa cuando pase por el pasillo de opuesto. Determinando la distancia, se procede con el tiempo de exposición a la luz UVC, primero se determinó un valor teórico con base al valor de radiación que se encuentra en la ficha técnica de las lámparas, con lo cual se obtuvo el brillo.

$$\text{Brillo} = \frac{72 \text{ W}}{4\pi(80^2)\text{cm}^2} = 895.24 \text{ } \mu\text{W/cm}^2$$

La fórmula de brillo se consideró que cada lámpara emite una radiación de 12 W y se dividió entre el área de la esfera, considerando los 80 cm como radio y poder obtener los watts sobre centímetro cuadrado. Para la dosis de desinfección se consideró una dosis de  $10.6 \text{ mJ/cm}^2$  que es igual a  $10600 \mu\text{Ws/cm}^2$ , esto de acuerdo con un estudio de diferentes virus y tomando el límite superior de la media [61].

$$\text{Tiempo} = \frac{10600 \mu\text{Ws/cm}^2}{895.24 \mu\text{W/cm}^2} = 11.84 \text{ s}$$

Al dividir la dosis de desinfección que se obtiene de la investigación entre la dosis calculada teórica, se obtiene el tiempo de exposición el cual ronda los 12 segundos, sin embargo, ese valor es considerando que el flujo luminoso de todas las lámparas es totalmente dirigido a la superficie.

Por consiguiente, se realizaron pruebas para la medición del flujo radiante mediante un radiómetro (PM100D, Thorlabs Inc), primero determinando que la potencia sea uniforme en todos los puntos de las 6 lámparas en 3 puntos diferentes de cada una, en los extremos y el centro.



Figura 6.4 Pruebas de irradiación de cada lámpara

Como se puede ver en la Figura 6.3 se obtuvieron las mediciones con el sensor a una distancia mínima a las lámparas y en cada posición propuesta.

Al registrar los resultados en una gráfica como en la Figura 6.5 se puede observar que la concentración es mayor en el centro de todas las lámparas en donde se consigue una media por encima de los 0.04 W, pero se puede observar que la irradiación es casi la misma en las 6 lámparas y aunque se concentre un poco más en el centro las otras dos posiciones situadas en los extremos no están tan debajo rondando los 0.033 W.

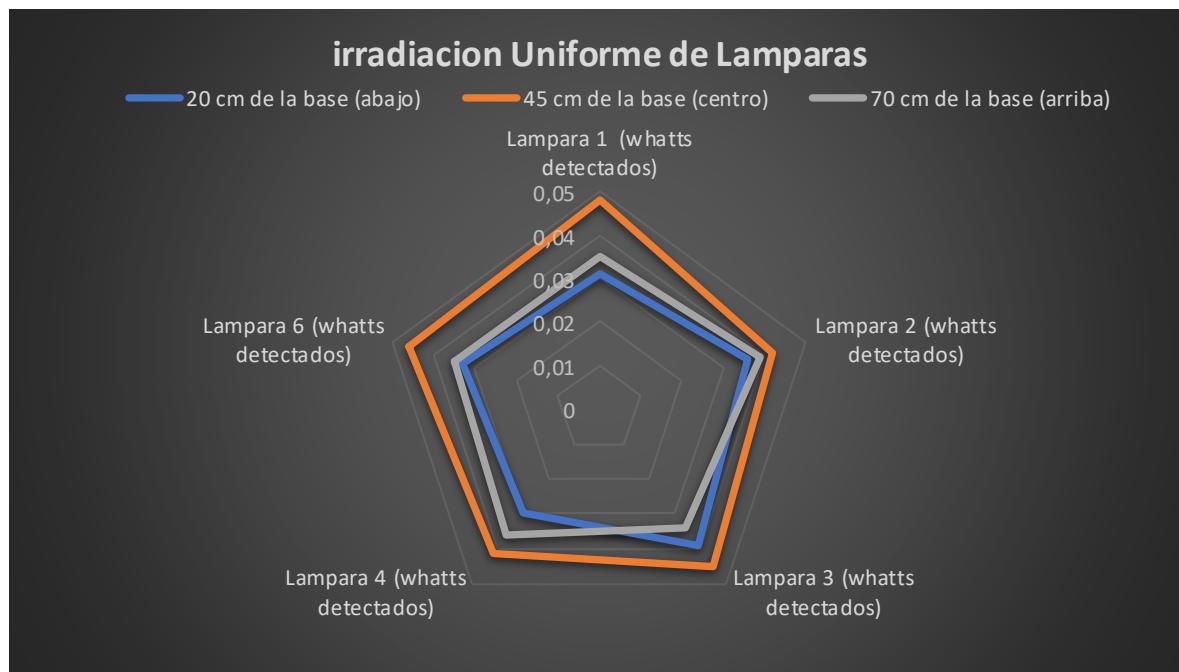


Figura 6.5 Grafica de la irradiación de las 6 lámparas.

Posteriormente se comprobó la irradiación en diferentes puntos de las lámparas, se realizó la medición a diferentes distancias con el radiómetro y así poder obtener los watts sobre que puede brindar el robot. En la Figura 6.6 se muestra que las pruebas fueron realizadas en un salón de clases donde se colocó el robot al costado de la mesa, simulando el lugar donde circularía.



Figura 6.6 Pruebas a distancia de la irradiación del robot.

Después de realizar las pruebas se graficaron los resultados los cuales se pueden ver en la Figura 6.7, los cuales muestran que los valores que se obtuvieron a un metro de distancia, con estos valores es posible determinar la dosis que llega a la distancia de 80 cm en la mesa.

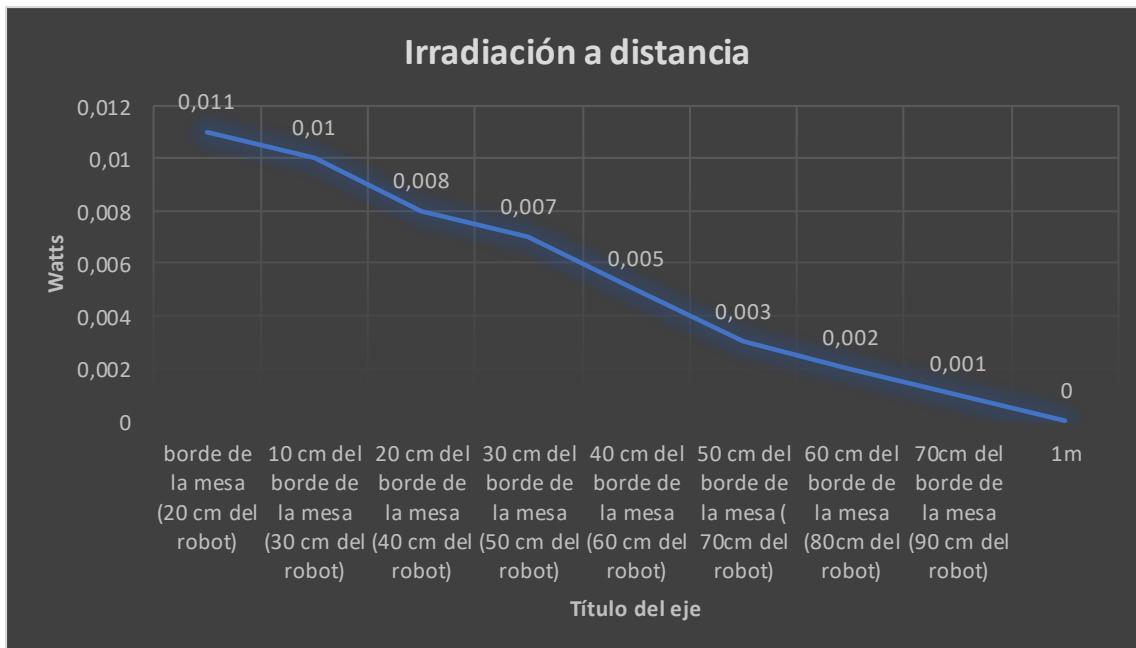


Figura 6.7 Grafica de irradiación del robot a distancia.

Consideran que la medición a 80 cm es de 0.002 W se calculó el brillo nuevamente, sin embargo, ahora se consideró el área circular del sensor para poder obtener los watts sobre centímetros cuadrados.

$$Brillo = \frac{0.002 \text{ W}}{4\pi(80^2) \text{ cm}^2} = 24.86 \mu\text{W/cm}^2$$

Después de conseguir el brillo se utiliza la dosis anterior de  $10600 \mu\text{Ws/cm}^2$ , con esto se calculó el tiempo real para lograr la desinfección con nuestro arreglo de luz UVC.

$$Tiempo = \frac{10600 \mu\text{Ws/cm}^2}{24.86 \mu\text{W/cm}^2} = 426.38 \text{ s} = 7.1 \text{ minutos}$$

Tomando en cuenta los cálculos descritos previamente, se realizaron pruebas para evaluar la efectividad de la desinfección del robot desarrollado en un salón de clases. En esta prueba se dividió la mesa en tres regiones (0 – 40 cm, 40 – 80 cm y 80 – 120 cm) con la finalidad de tomar una muestra de cada una de ellas.

Previo a iniciar el proceso de desinfección, se tomó una muestra de referencia, este procedimiento consistió en:

1. Tomar una muestra de referencia, la cual consiste en frotar con un isopo en la mesa y en nuestro recipiente de muestras.
2. Después se colocó el robot al lado de la mesa a la distancia que estaría normalmente.
3. Irradiar durante 5 minutos.
4. Al finalizar la desinfección, se tomaron muestras de la mesa en las diferentes zonas marcadas.
5. Después de tomar las muestras en los recipientes se colocaron en un dispositivo especial que favorece la creación de microorganismos por alrededor de 3 días.
6. Y por último se visualizaron los resultados obtenidos.

Un ejemplo de la toma de muestras en las superficies se puede ver en la figura 6.8, donde se puede observar que se tomaron de la forma más cuidadosa posible evitando contaminar la muestra, resaltando además que todos los involucrados utilizaron guantes y mascarilla para evitar la contaminación accidental.



*Figura 6.8 Toma de muestras en las 3 zonas de la mesa*

La posición del robot y la distribución de distancias se muestra en la Figura 6.9. Para las pruebas se consideró que las mesas y el salón fueron limpiados previamente por personal dedicado, quienes regularmente lo hacen con un trapo húmedo con diversos limpiadores.



*Figura 6.9 Desinfección en 3 diferentes zonas a diferencias distancias*

Como se describió previamente, el tiempo de exposición para una distancia de 80 cm es de alrededor de 7 minutos. Por lo cual, para verificar el funcionamiento del proceso de desinfección, se optó por un tiempo de 5 minutos donde evidentemente las regiones más cercanas del robot deben ser desinfectadas adecuadamente, mientras que en las regiones lejanas se debe tener un efecto menor. En la Tabla 6.2 se muestran las fotografías de los cultivos obtenidos para cada una de las regiones de la mesa de prueba, así como del cultivo de referencia.

*Tabla 6.1 Pruebas de desinfección a diferentes distancias con 5 minutos de irradiación UVC*

Zona de desinfección	Imagen de la muestra
<b>0 a 40 cm</b>	
<b>40 a 80 cm</b>	
<b>80 a 120 cm</b>	
<b>Referencia</b>	

Se puede apreciar a simple vista la contaminación que presenta la prueba de referencia, la cual se ve sumamente contaminada después de dejar alrededor de 3 días, sin embargo en la muestra de la zona más cercana al robot no se muestra ningún rastro visible de contaminación, al igual que la zona del centro donde no se puede apreciar nada, el único rastro visible de contaminación es en la parte más alejada al robot que sería hasta la esquina de la mesa, sin embargo se puede observar solo una pequeña marca lo cual es mínimo comparado con la muestra de referencia. Podemos considerar que el resultado de la desinfección es aceptable y cumple con su función, en este caso abarcando toda la mesa y analizando diferentes distancias, con un tiempo de 5 minutos de irradiación lo cual sigue siendo elevado considerando los cálculos teóricos pero aceptable considerando las diferentes variantes como el tipo de superficie así como la dosis contemplada no solamente para un patógeno específico, además se debe de considerar que aun con una limpieza tradicional que se realiza en la escuela se observa una gran cantidad de crecimiento bacteriano, lo cual no pasa con la irradiación ultravioleta, donde no se observa nada de crecimiento dependiendo del tiempo de la exposición y la distancia a la que se encuentra la superficie.

## 6.3 RESULTADOS DE CONSUMO DE ENERGÍA Y CARGA

Para estas pruebas el robot se programó para que se moviera a una velocidad de 0.1 m/s, ya que se requiere una velocidad baja para evitar el movimiento en la parte de arriba de las lámparas del robot, además se obtuvieron 3 mediciones de consumo de energía referentes a las lámparas, los motores y de la electrónica incluyendo la tarjeta de control.

*Tabla 6.2 Consumo de energía por componentes del robot.*

Componente	Consumo de energía
Lámparas UVC	0.97Ah a 120 V
Motores	2.16Ah a 24V
Electrónica	0.36h a 24V

Con base a estas mediciones se calculó primeramente el tiempo que el robot puede estar en modo de espera, además del funcionamiento en el caso de cuando está en movimiento y cuanto duran encendidas las luces.

*Tabla 6.3 Comparación de tiempos de operación.*

Componentes	Tiempo teórico	Tiempo en pruebas
Lámparas UVC	2 horas	56 minutos
Motores	4:30 horas	1:53 horas
Electrónica	33 horas	12:32 horas

En la Tabla 6.3 se puede observar los diferentes tiempos tanto teóricos como los registrados en las pruebas, considerando que los tiempos teóricos están basados en las mediciones de corriente con multímetro de cada uno de los componentes, entonces no deberían de ser tan alejadas a la realidad, sin embargo en la práctica las cosas cambian mucho ya que en la parte de lámparas UVC al llegar a los 56 minutos de encendido se nota una disminución de la potencia lumínica de las lámparas lo cual comprometería la desinfección, además de que las lámparas se comienzan a apagar o a parpadear, por ende el tiempo de 56 minutos es el tiempo que se pueden prender las luces UV sin comprometer la desinfección y las lámparas encendidas. En el apartado de motores de igual forma paso algo parecido, ya que antes de

alcanzar las 2 horas de funcionamiento el robot termino por apagarse por completo, esto sucede ya que la fuente de alimentación de la electrónica también son las baterías de 12 Ah y al no poder suministrar la corriente necesaria todo se apaga.

Para la parte de la electrónica se calculó el tiempo teórico el cual el robot podía permanecer en espera esto con la electrónica funcionando lo que es importante por si el sensor de CO<sub>2</sub> se mantiene encendido en una parte del salón de clases cuando se estén impartiendo clases y se quiera monitorear las partes por millón del ambiente dentro de este. El tiempo de este es de 12 horas y media, pero considerando que solo estaría monitoreando el CO<sub>2</sub> en un salón ya que drenaría las baterías de los motores y si se requiere mover el robot después de ese tiempo ya no sería posible.

La última prueba realizada en este apartado es de la carga, considerando el tiempo de 56 minutos de operación de las lámparas y además mover el robot por casi las dos horas de operación que se realizaron en la prueba, se realizó una carga a partir de eso. La carga se realizó con un cargador de 12v a 4 A cargando en paralelo las baterías, tomando una duración de 5 horas y 46 minutos hasta que el cargador nos indica que la carga está completa.

## 7 CONCLUSIONES Y TRABAJO A FUTURO

### 7.1 CONCLUSIÓN

En este trabajo se presenta un prototipo de un robot desinfectante con luz ultravioleta tipo C el cual tiene el objetivo de desinfectar primeramente enfocado en un salón de clases, el uso de las lámparas fluorescentes nos permite llegar a la longitud de onda requerida para la desinfección que es alrededor de los 254 nm, además de usar una dosis suficientemente elevada para poder desinfectar una superficie con un tiempo considerablemente no tan alto.

El uso de las lámparas fluorescentes es conveniente para la potencia de radiación ultravioleta, pero son frágiles además de consumir una cantidad considerable de energía, sin embargo, para las pruebas de desinfección tanto como las de radiación UVC funcionan correctamente considerando la aplicación que se requiere en este prototipo, no obstante, la idea de usar otra tecnología de iluminación como el led es importante considerarla a futuro.

La aplicación web que se desarrolló funciona correctamente para operar el robot a distancia, considerando que puede dar instrucciones al prototipo, además de poder monitorear los niveles de CO<sub>2</sub>, transmitir el video y la información de los sensores ultrasónicos. No obstante la continuidad del video de la aplicación se ve comprometido alrededor de los 15 metros de distancia entre el control y el robot, lo cual no es problema si el operador se mantiene fuera del salón y no se aleja demasiado de este, además de que los sensores ultrasónicos transmiten constemente los valores de distancia de cada lado pero al pasar en medio de mesas su precisión se ve comprometida ya que se tienen muchos objetos como las patas de sillas y mesas lo cual no permite su correcto funcionamiento, lo que no pasaría si fuese una pared, los valores son mejores y más estables. Esto se podría considerar más adelante y usar un sensor diferente o adicional a los ultrasónicos para apoyar a la movilidad del prototipo.

La energía que el robot utiliza es alta, por el consumo que tienen las lámparas fluorescentes además de que su operación a la mitad de la carga de la batería se ve comprometida al dar una menor potencia y entorpecer el encendido de las luces, así mismo las baterías de los motores dan una autonomía menor a la que se esperaba antes de comenzar a tener problemas.

Finalmente se considera que, aunque sea la primera versión del prototipo, tiene un margen de mejora y trabajo a futuro sumamente amplio, en cuanto a los resultados obtenidos se consideran satisfactorios ya que el propósito de este es la desinfección y lo cumple de acuerdo a las pruebas realizadas en la parte de resultados, además de que un prototipo así con estas características y este propósito no se allá desarrollado aun en nuestra región por lo que se espera más adelante que se sigan realizando investigación y prototipos similares o enfocados a esta área para complementar, mejorar y corroborar el trabajo realizado en este documento . El prototipo desarrollado se considera que cumple con el objetivo principal, sin embargo, el trabajo a futuro que se requiere para culminarlo y seguir mejorándolo es arduo y largo adentrándonos en mejorar las aplicaciones de la tecnología dentro del área de la salud.

## 7.2 TRABAJO A FUTURO

Considerando que el prototipo fue realizado en un tiempo corto, y que a pesar de cumplir con el objetivo principal se considera que tiene un amplio margen de mejora se consideran realizar las siguientes tareas a futuro para su terminación:

- ❖ Considerar la aplicación led para sustituir las lámparas de luz UVC dando una mayor autonomía energética.
- ❖ Implementar un control autónomo para el robot.
- ❖ Considerar remplazar los sensores ultrasónicos por otra tecnología de sensores como infrarrojos.
- ❖ Implementar tecnología nueva de sensores de posicionamiento o visión artificial para el manejo autónomo del robot.
- ❖ Implementar una base de datos en el robot para registrar los valores del sensor de CO<sub>2</sub>.
- ❖ Ampliar las pruebas realizadas tanto de desinfección como de calidad del aire en diferentes medios.
- ❖ Concluir el desarrollo de normas para validar eficazmente su correcto funcionamiento y así sea posible su implementación en el área de la salud.

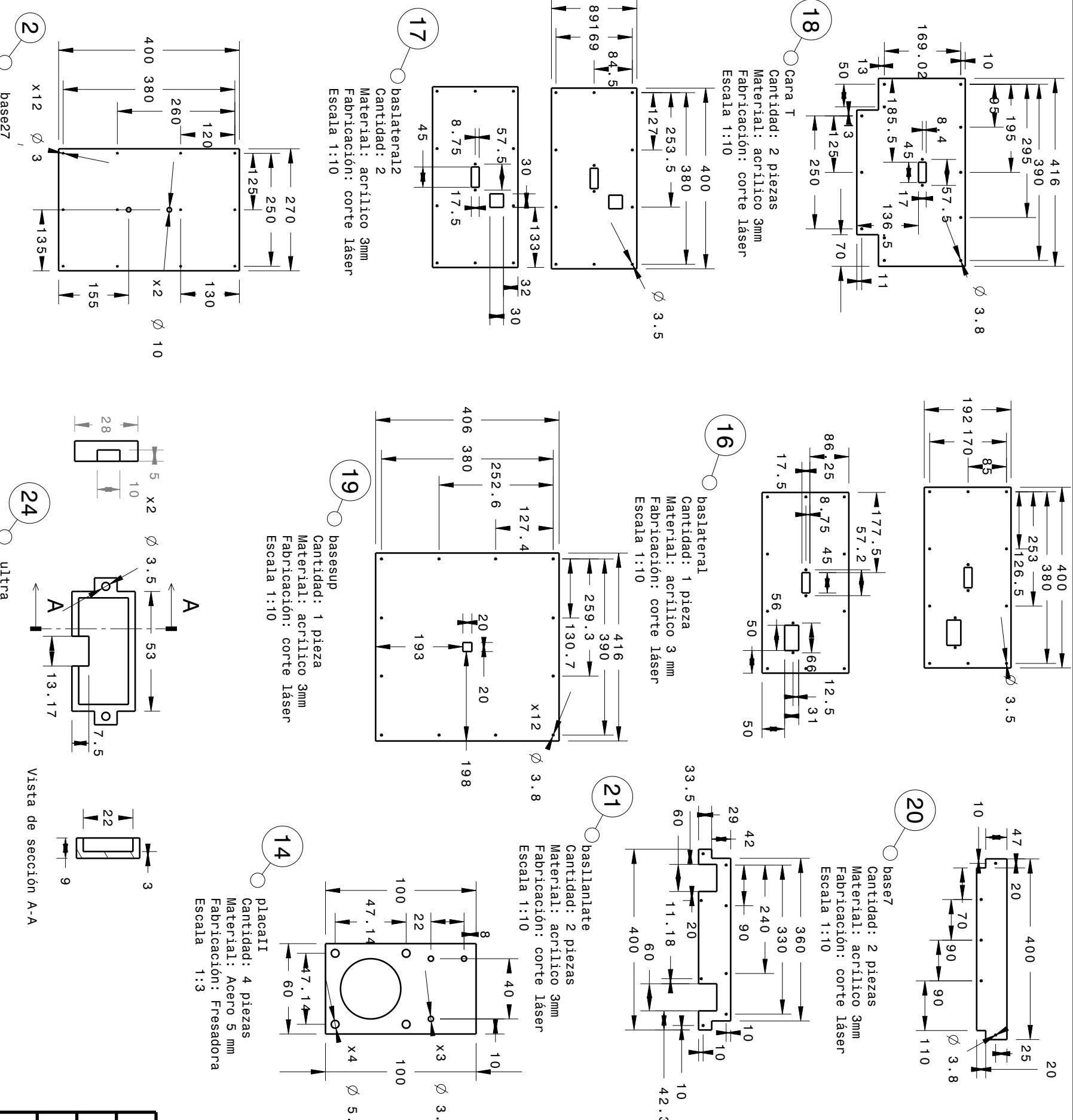
## ANEXOS



Número	Número de parte	Cantidad	Tipo
1	perfil27	2	Part
2	base27	1	Part
3	perfil46	10	Part
4	reductor	4	Part
5	motor	4	Part
6	Part1	5	Part
7	pila13	2	Part
8	perfil410	4	Part
9	Product2.1	1	Assembly
10	pila12v	2	Part
11	Part15	70	Part
12	perfil169esq	4	Part
13	perfil330m	6	Part
14	Product6	1	Assembly
15	placall	4	Part
16	Product1	4	Assembly
17	baslateral12	2	Part
18	Product7	1	Assembly
19	base7	1	Part
20	carat	2	Part
21	baseup	1	Part
22	placall	4	Part
23	bornera	1	Part
24	Part2	4	Part

REVISORES	FECHA	ROBOT DESINFECTANTE CON LUZ UVC
DIBUJÓ TCG	2023/06/10	
REVISÓ GSH	2023/06/20	TÍTULO
APROBÓ JGS	2023/06/30	PLANO DE DETALLE

SIZE	CAGE CODE	DWG NO	REV A
SCALE 1:10			SHEET 1 of 1



Vista de sección A-A

DWG NO	1	HOJA 2	REV A
HISTÓRICO DE REVISIONES			

## **Lista de materiales: Product2.1**

soporte6

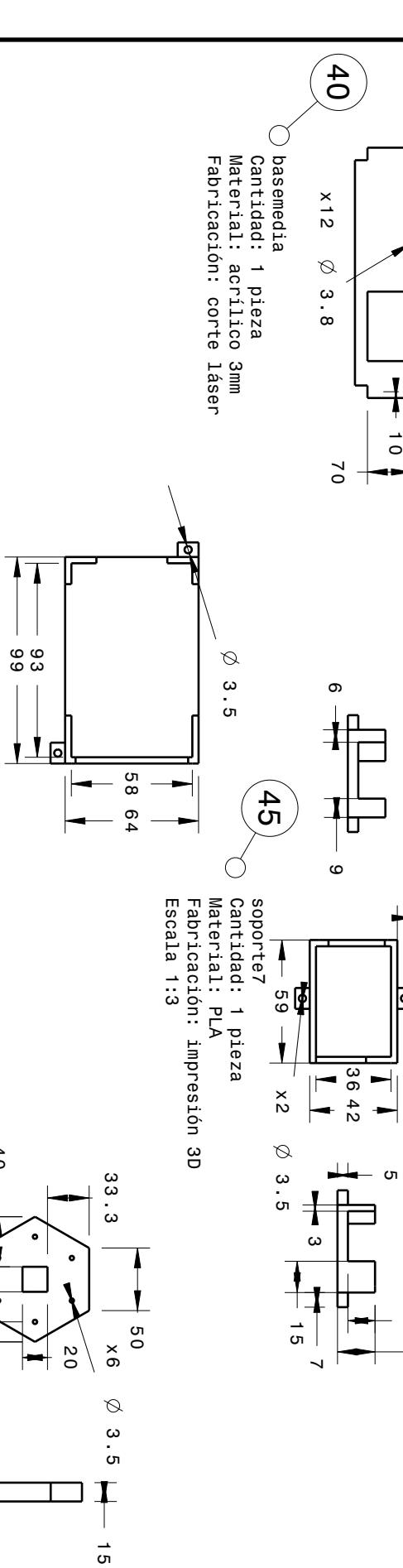
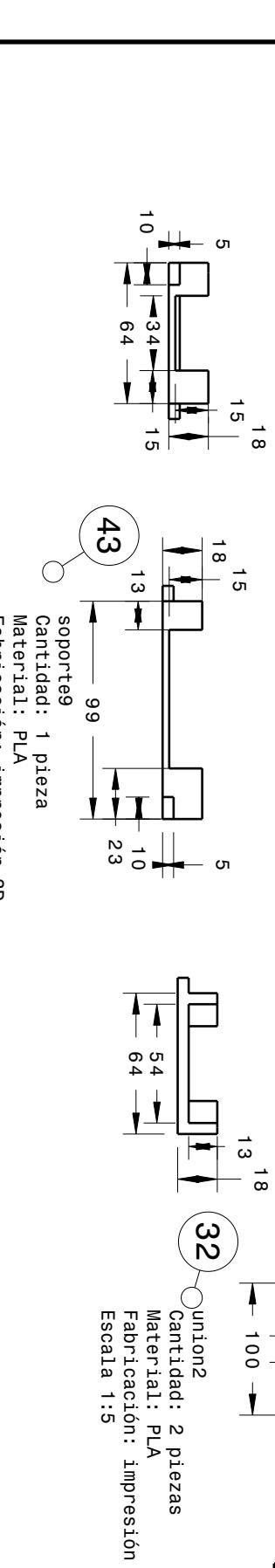
Cantidad: 1 pieza  
Material: PLA  
Fabricación: impresión 3D  
Escala 1:3

Lista de materiales: Product6

Número	Número de parte	Cantidad	Tipo
28	Product5	2	Assembly
29	eje	1	Part
30	tub	6	Part
	suj4	4	Part

Lista de materiales: Product1

Lista de materiales: Product			
Número	Número de parte	Cantidad	Tipo
31	Part1.1	1	Part
32	union2	1	Part
33	bass	6	Part
34	suj	6	Part



Cantidad: 1 pieza  
Material: acrílico 3mm  
Fabricación: corte láser

Fabricación: impresión 3D  
Escala 1:3

soporte

Cantidad: 1 pieza  
Material: PLA  
Fabricación: impresión 3D  
Escala 1:3

99

58 64

93

5 10 23

33.3 50 x6 Ø 3.5

40 16 20 100 18 13

54 64

union2

Cantidad: 2 piezas  
Material: PLA  
Fabricación: impresión 3D  
Escala 1:5

32

Fabricación: impresión 3D  
Escala 1:3

Cantidad: 1 pieza  
Material: acrílico 3mm  
Fabricación: corte láser

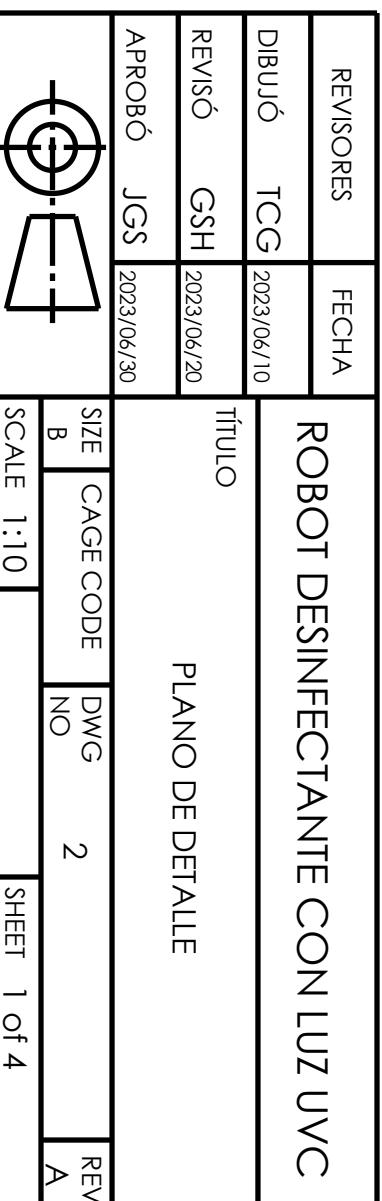
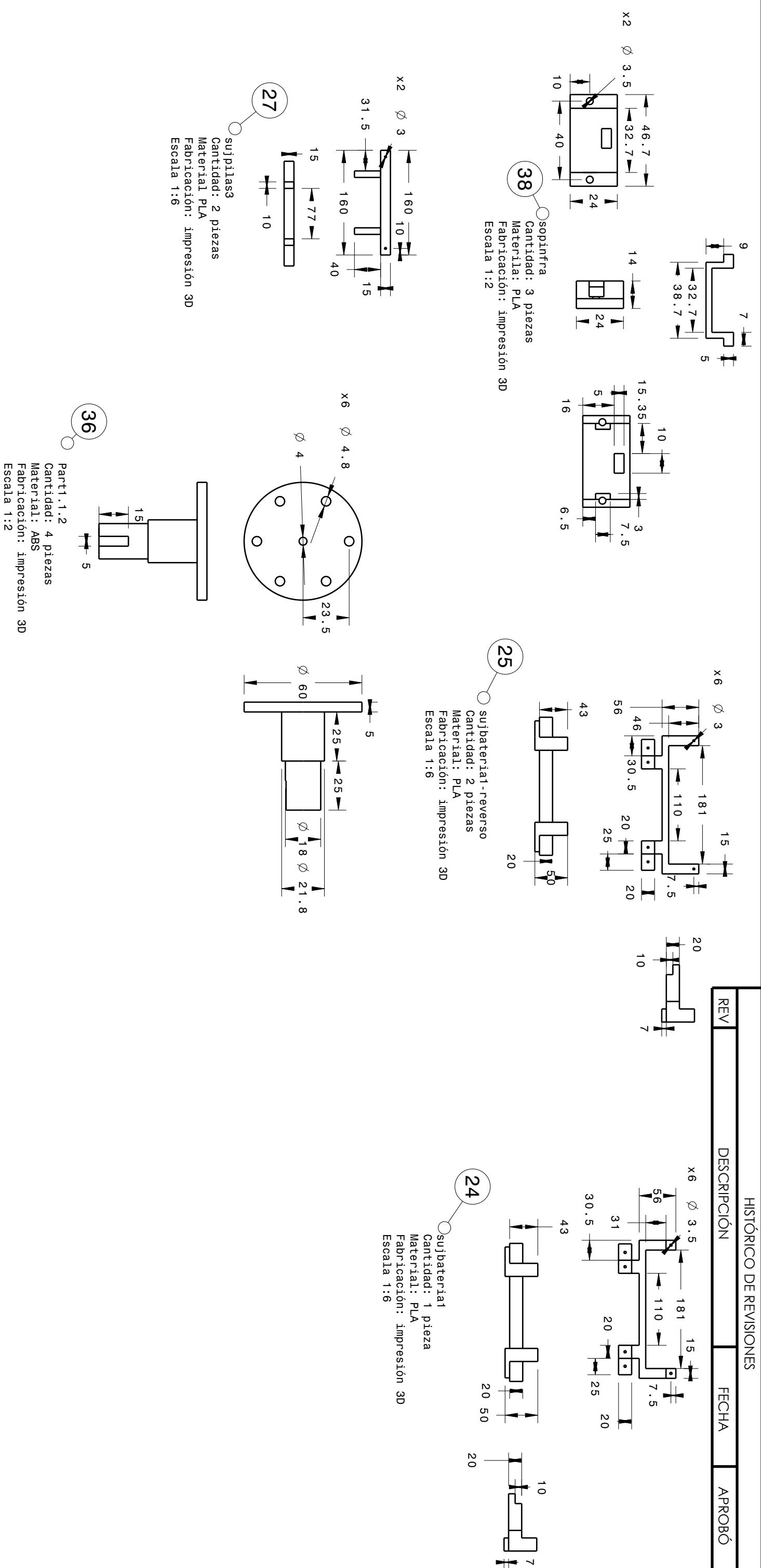
— Ø 3.5

43 soporte7  
Cantidad: 1 pieza  
Material: PLA



DWG NO	1	HOJA	4	REV	A
--------	---	------	---	-----	---

HISTÓRICO DE REVISI覩ES



## REFERENCIAS

- [1] Curtis, Barnes, Schnek, and Massarini, *Biología*. 2008.
- [2] M. Palacios Cruz, E. Santos, M. A. Velázquez Cervantes, and M. León Juárez, “COVID-19, a worldwide public health emergency,” *Revista Clinica Espanola*, vol. 221, no. 1. Elsevier Doyma, pp. 55–61, Jan. 01, 2021, doi: 10.1016/j.rce.2020.03.001.
- [3] C. Pacharawan, H. Pimkhuan, S. Tapparat, P. Wibool, and T. Treesukon, “An Ultra-violet sterilization robot for disinfection,” vol. 5, pp. 44–47.
- [4] Hindernis, “Conoce la norma oficial mexicana de esterilización y desinfección.” <https://hindernis.mx/blog/norma-oficial-mexicana-de-esterilizacion-y-desinfeccion>.
- [5] Instituto Nacional de Perinatología, “Técnicas\_limpieza-licitación.” p. 18, 2012.
- [6] J. Rolim and J. Teixeira, “The design and evaluation of travelling gun irrigation systems: Enrolador software,” *Eng. Agrícola*, vol. 36, pp. 917–927, 2016, doi: 10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v36n5p917-927/2016.
- [7] IFR, “Market for Professional and Domestic Service Robots Booms in 2018 - International Federation of Robotics.” 2018, [Online]. Available: <https://ifr.org/post/market-for-professional-and-domestic-service-robots-booms-in-2018>.
- [8] K. Vickery, A. Deva, A. Jacombs, J. Allan, P. Valente, and I. B. Gosbell, “Presence of biofilm containing viable multiresistant organisms despite terminal cleaning on clinical surfaces in an intensive care unit,” *J. Hosp. Infect.*, vol. 80, no. 1, pp. 52–55, 2012, doi: 10.1016/j.jhin.2011.07.007.
- [9] R. H. Taylor, A. Menciassi, G. Fichtinger, P. Fiorini, and P. Dario, “Part F | 63 63,” *Medical Robotics and Computer*..
- [10] Anderson M, “Could Far-UV Light Provide Widespread Disinfection of Airborne Viruses? - IEEE Spectrum,” 2020. <https://spectrum.ieee.org/ultraviolet-revolution-could-faruv-light-provide-widespread-safe-disinfection-of-airborne-viruses> (accessed Nov. 09, 2021).
- [11] I. Karabegović and V. Dolecek, “The Role of Service Robots and Robotic Systems in the Treatment of Patients in Medical Institutions,” 2017.
- [12] T. 10 Zone, “Top 10 Smart Face Masks for Virus Protection,” 2020. <https://www.youtube.com/watch?v=Wxxr9nbNDtI>.
- [13] FraunhoferIPA, “Cleaning and disinfection robot »DeKonBot«,” 2021. <https://www.youtube.com/watch?v=6Dr7SJ4p-D0>.
- [14] SensorGO, “La importancia de un medidor de CO<sub>2</sub> para la prevención en el contagio del coronavirus,” 2021. <https://sensorgo.mx/medidor-de-co2/>.
- [15] R. D. W. R. A. S. T. E. E. C. F. G.C. Walker W.Siede, “DNA Repair and

- Mutagenesis.” 2006.
- [16] H. H. B. LJ, “Ultraviolet Air Sanitation,” *Gen. Electr. Rep.* , p. LD-11, 1950.
  - [17] M. K, “Ultraviolet-LED Maker Demonstrates 30-Second Coronavirus Kill - IEEE Spectrum.” 2020, [Online]. Available: <https://spectrum.ieee.org/ultraviolet-led-maker-demonstrates-30second-coronavirus-kill>.
  - [18] LItzer, “UV-C Litzer | ¿Qué es desinfección UV-C?” 2020, [Online]. Available: <https://uvclitzer.mx/que-es-uvc>.
  - [19] C. G. de Desarrollo Estratégico en Salud Dirección de Inteligencia de la Salud, “INF Da vinci,” 2015.
  - [20] J. Holland *et al.*, “Service robots in the healthcare sector,” *Robotics*, vol. 10, no. 1. MDPI AG, Nov. 2021, doi: 10.3390/robotics10010047.
  - [21] R. Zhang, Y. Li, A. L. Zhang, Y. Wang, and M. J. Molina, “Identifying airborne transmission as the dominant route for the spread of COVID-19.,” *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.*, vol. 117, no. 26, pp. 14857–14863, Nov. 2020, doi: 10.1073/pnas.2009637117.
  - [22] S. W. X. Ong *et al.*, “Air, Surface Environmental, and Personal Protective Equipment Contamination by Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2 (SARS-CoV-2) From a Symptomatic Patient,” *JAMA*, vol. 323, no. 16, pp. 1610–1612, Nov. 2020, doi: 10.1001/jama.2020.3227.
  - [23] O. Dumas *et al.*, “Association of Occupational Exposure to Disinfectants With Incidence of Chronic Obstructive Pulmonary Disease Among US Female Nurses,” *JAMA Netw. Open*, vol. 2, no. 10, pp. e1913563–e1913563, Nov. 2019, doi: 10.1001/jamanetworkopen.2019.13563.
  - [24] R. Bormann, J. Hampp, and M. Hagele, “New brooms sweep clean - An autonomous robotic cleaning assistant for professional office cleaning,” *Proc. - IEEE Int. Conf. Robot. Autom.*, vol. 2015, pp. 4470–4477, Nov. 2015, doi: 10.1109/ICRA.2015.7139818.
  - [25] Geek, “Smart UVC Disinfection Robot,” 2021. <https://www.geekplus.com/product-2/smart-uvc-disinfection-robot> (accessed Nov. 09, 2021).
  - [26] S. G. Venticinque, V. S. Kashyap, and R. J. O’Connell, “Chemical Burn Injury Secondary to Intraoperative Transesophageal Echocardiography,” *Anesth. Analg.*, vol. 97, no. 5, pp. 1260–1261, 2003, doi: 10.1213/01.ANE.0000083641.58267.0C.
  - [27] B. M. Andersen, M. Rasch, K. Hochlin, F. H. Jensen, P. Wismar, and J. E. Fredriksen, “Decontamination of rooms, medical equipment and ambulances using an aerosol of hydrogen peroxide disinfectant,” *J. Hosp. Infect.*, vol. 62, no. 2, pp. 149–155, 2006, doi: 10.1016/j.jhin.2005.07.020.
  - [28] K. Dhama *et al.*, “The role of disinfectants and sanitizers during COVID-19 pandemic: advantages and deleterious effects on humans and the environment,” *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 28, no. 26. Springer Science

- and Business Media Deutschland GmbH, pp. 34211–34228, Nov. 2021, doi: 10.1007/s11356-021-14429-w.
- [29] P. J. Sanz, “Introducción a La Robótica Inteligente,” *Sanchez Pedro*, vol. 1, p. 80, 2006, [Online]. Available: <http://www3.uji.es/~sanzp/robot/RobInt-Apuntes.pdf>.
- [30] R. Ramírez and R. Reyes, “Diseño e Implementación de un Robot Autónomo Móvil Usando Tecnología FPGA,” p. 192, 2015, [Online]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/10429/1/UPS-GT001506.pdf>.
- [31] INVENTOS, “Shakey the Robot – Historia completa de Shakey the Robot.” <https://history-computer.com/shakey-the-robot-complete-history-of-shakey-the-robot/>.
- [32] IAT, “Robótica en medicina: la vida en sus manos (robóticas).” <https://iat.es/tecnologias/robotica/medicina/>.
- [33] D. H. Rubino, “Robot Autónomo Móvil,” p. 43, 2010.
- [34] S. E. E. Profile, “Robótica móvil: una aproximación preliminar,” no. May, 2019.
- [35] A. Y. Experiencias and G. Bermúdez, “Robots móviles. Teoría, aplicaciones y experiencias,” *Rev. Tecnura*, vol. 5, no. 10, pp. 6–17, 2002, doi: 10.14483/22487638.5882.
- [36] J. González-jiménez, “Estimación de la Posición de un Robot Móvil Estimación de la Posición de un Robot Móvil,” no. July, pp. 1–26, 2015, [Online]. Available: [https://www.researchgate.net/publication/267222718\\_Estimacin\\_de\\_la\\_Posicin\\_de\\_un\\_Robot\\_Mvil](https://www.researchgate.net/publication/267222718_Estimacin_de_la_Posicin_de_un_Robot_Mvil).
- [37] SCIENCEPHOTOLLIBRARY, “El Helpmate, un robot doméstico.” <https://www.sciencephoto.com/media/344571/view/the-helpmate-a-domestic-robot>.
- [38] A. R. Galv, “Centro Universitario Uaem Zumpango,” pp. 1–35, 2015.
- [39] O. B. Aníbal, *ROBÓTICA. Manipuladores y robots móviles*. Barcelona, 2001.
- [40] A. C. Orgerie and L. Lefèvre, “When clouds become green: The green open cloud architecture,” *Adv. Parallel Comput.*, vol. 19, pp. 228–237, 2010, doi: 10.3233/978-1-60750-530-3-228.
- [41] “¿Cuál es la diferencia entre infeccioso y contagioso? (para Adolescentes) - Nemours KidsHealth.” [Online]. Available: <https://kidshealth.org/es/teens/contagious.html>.
- [42] A. E. Gorbatenko *et al.*, “The species Severe acute respiratory syndrome-related coronavirus: classifying 2019-nCoV and naming it SARS-CoV-2,” *Nature Microbiology*, vol. 5, no. 4. Nature Research, pp. 536–544, Nov. 2020, doi: 10.1038/s41564-020-0695-z.
- [43] L. Alanagreh, F. Alzoughool, and M. Atoum, “The human coronavirus disease covid-19: Its origin, characteristics, and insights into potential drugs and its mechanisms,” *Pathogens*, vol. 9, no. 5. MDPI AG, Nov. 2020, doi:

- 10.3390/pathogens9050331.
- [44] K. A. Prather, C. C. Wang, and R. T. Schooley, “Reducing transmission of SARS-CoV-2,” *Science* (80-.), vol. 368, no. 6498, 2020, doi: 10.1126/science.abc6197.
- [45] M. C. Bohorquez, J. L. Chapa, D. López, M. A. Manrique, C. Miranda, and R. Tendero Caballero, “Use of filters and special materials in classrooms, based on the assessment of the presence of CO<sub>2</sub> as an indicator of Covid reduction and control in closed spaces = Uso de filtros y materiales especiales en aulas, basado en la evaluación de presencia de C,” *Build. Manag.*, vol. 5, no. 3, p. 51, 2021, doi: 10.20868/bma.2021.3.4714.
- [46] Y. Fu, Y. Cheng, and Y. Wu, “Understanding SARS-CoV-2-Mediated Inflammatory Responses: From Mechanisms to Potential Therapeutic Tools,” *Virologica Sinica*, vol. 35, no. 3. Science Press, pp. 266–271, 2020, doi: 10.1007/s12250-020-00207-4.
- [47] L. Alanagreh, F. Alzoughool, and M. Atoum, “The human coronavirus disease covid-19: Its origin, characteristics, and insights into potential drugs and its mechanisms,” *Pathogens*, vol. 9, no. 5. MDPI AG, 2020, doi: 10.3390/pathogens9050331.
- [48] P. E. Hockberger, “Invited Review A History of Ultraviolet Photobiology for Humans, Animals and Microorganisms \{}, volume = {76}, year = {2002}\},” *Photochemistry and Photobiology*, no. 6. pp. 561–579.
- [49] H. M. Ward, “V. Experiments on the action of light on *Bacillus anthracis*,” *Proc. R. Soc. London*, vol. 52, no. 315–320, Nov. 1893, doi: 10.1098/rspl.1892.0086.
- [50] R. Y. C. D. C. & H. S. L. Chinn, “Guidelines for Environmental Infection Control in Health-Care Facilities Recommendations of CDC and the Healthcare Infection Control Practices Advisory Committee (HICPAC),” *MMWR. Recomm. reports*, vol. 52, no. RR-10, pp. 1–42, 2003.
- [51] J. L. Gerberding *et al.*, “Centers for Disease Control and Prevention Lead Visual Information Specialist.” .
- [52] “DIFERENTES FUENTES DE LUZ ARTIFICIAL: COMPARACIÓN DE RADIACIÓN ULTRAVIOLETA Y LUZ AZUL.” <https://www.grupofranja2.com/index.php/oftalmica/item/2357-diferentes-fuentes-de-luz-artificial-comparacion-de-radiacion-ultravioleta-y-luz-azul> (accessed Nov. 22, 2022).
- [53] C. A. B. J. R. & Cotton, “The ultraviolet disinfection handbook.,” *Am. Water Work. Assoc.*, 2008.
- [54] W. Harm, *Biological effects of ultraviolet radiation*. Cambridge University Press, 1980.
- [55] T. Minamikawa *et al.*, “Quantitative evaluation of SARS-CoV-2 inactivation using a deep ultraviolet light-emitting diode,” *Sci. Rep.*, vol. 11, no. 1, p. 5070, 2021, doi: 10.1038/s41598-021-84592-0.

- [56] L. M, “Applications\_of\_Germicidal\_Erythemal\_and.”
- [57] W. Harm, *Biological effects of ultraviolet radiation*. Cambridge University Press, 1980.
- [58] Z. Kuluncsics, D. Perdiz, E. Brulay, B. Muel’, and E. Sage, “Wavelength dependence of ultraviolet-induced DNA damage distribution: involvement of direct or indirect mechanisms and possible artefacts,” *J. Photochem. Photobiol. B: Biol.*, vol. 49, pp. 71–80, 1999.
- [59] W. Kowalski, *Ultraviolet germicidal irradiation handbook: UVGI for air and surface disinfection*. Springer Berlin Heidelberg, 2009.
- [60] CIE, *Ultraviolet Air Disinfection*. CIE Central Bureau, 2003.
- [61] V. Mankar, A. Dhengre, N. Agashe, H. Rodge, and D. H. Chandi, “Ultraviolet irradiation doses for coronavirus inactivation – review and analysis of coronavirus photoinactivation studies,” *GMS Hyg. Infect. Control*, vol. 15, pp. 466–472, 2020, doi: 10.3205/DGKH000343.
- [62] F. D. G. Solfa and F. E. L. M. S. Sierra, “Procesos de diseño y desarrollo de nuevos productos: relación con el marketing y la ingeniería,” vol. 31, pp. 111–115.