

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción**

“Diseño y desarrollo de un robot móvil para la desinfección en espacios
cerrados.”

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero Mecánico

Presentado por:

Luis Fernando Allauca Paguay

Vicente Luis Villalva Torres

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2021

DEDICATORIA

El presente proyecto se lo dedico en primer lugar a Dios por la salud y la oportunidad de alcanzar una nueva meta en mi vida. A mis padres, Luis y Rosa por su esfuerzo y dedicación para brindarme las herramientas y ejemplos necesarios para formarme como una persona profesional e íntegra. A mis hermanos y tíos por su apoyo incondicional.

Luis Fernando Allauca Paguay

El presente proyecto final de Titulación se lo dedico a Dios que me ha otorgado la inteligencia y oportunidad de culminar con éxitos esta etapa académica tan importante en mi vida como son los estudios de Ingeniería Mecánica en la ESPOL. También es dedicado a mi mamá, papá, hermana, hermano, tías y abuela que han sido el pilar fundamental y guías durante todo este tiempo de formación profesional para graduarme como Ingeniero Mecánico en la ESPOL.

Vicente Luis Villalva Torres

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por permitirme disfrutar el logro de una nueva meta en mi vida, con mi familia y amigos. A mis padres, Luis y Rosa por su diario sacrificio y dedicación por darnos a mis hermanos y mi la herencia más grande en el mundo que es la educación. A mis tíos y hermanos por brindarme ánimo y fuerza durante toda mi carrera universitaria. Y finalmente, agradecemos al Ph.D. Ing. Dennys Paillacho por su valiosa guía en el desarrollo del presente proyecto.

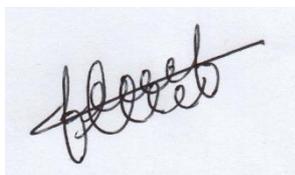
Luis Fernando Allauca Paguay

Agradezco a Dios por ser mi guía en la trayectoria de la carrera universitaria y darme salud para culminar con éxitos mis estudios profesionales de Ingeniería, también por el honor de haber trabajado con los profesores e investigadores varios semestres como profesor asistente académico ayudante de cátedra en la ESPOL. Gracias a mi familia más cercana por vuestro apoyo incondicional en todo momento. Gracias a todas las personas que han aportado positivamente en mi vida. Agradecemos también al Ph.D. Ing. Francis Loayza en la presente Tesis.

Vicente Luis Villalva Torres

DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Luis Fernando Allauca Paguay* y *Vicente Luis Villalva Torres* damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”



Luis Fernando Allauca
Paguay



Vicente Luis Villalva
Torres

EVALUADORES



Firmado electrónicamente por:
**FRANCIS RODERICH
LOAYZA PAREDES**

Ph.D. Francis Loayza Paredes
PROFESOR DE LA MATERIA



Firmado electrónicamente por:
**DENNYS FABIAN
PAILLACHO
CHILUIZA**

Ph.D. Dennys Paillacho Chiluiza
PROFESOR TUTOR

RESUMEN

Hoy en día la pandemia del COVID- 19 causada por el virus SARS-CoV-2 ha generado pérdidas a nivel de salud y económico. Y estudios demuestran que la efectividad de contagio del virus se basa en su capacidad de sobrevivir días en ciertas superficies y horas en el entorno (aire). El objetivo del presente proyecto es diseñar y elaborar la estructura mecánica de un robot móvil de desinfección llamado CoviBot, de bajo costo con la capacidad de desinfectar espacios cerrados, eliminando virus y bacterias por medio de radiación ultravioleta UV-C.

Para el desarrollo del presente proyecto se unieron conocimientos del área mecánica y mecatrónica, donde la arquitectura electrónica del CoviBot fue diseñada por Steven Silva (estudiante de mecatrónica) y el diseño mecánico es desarrollado en el presente documento. El diseño mecánico del CoviBot se divide en el diseño de la estructura interna y externa. En la parte interna se diseña y fabrica los niveles 2 y 3, columnas, soportes para los focos UV-C. Y en la estructura externa están las cubiertas, fijadas mediante guías semicirculares impresas en 3D.

En el diseño de los niveles 2 y 3 se usó aluminio compuesto, para el diseño de columnas se usó varillas roscadas galvanizadas y de soportes se usaron pie de amigos galvanizados. En consecuencia, de un correcto y cuidadoso estudio de selección de materiales se pueden diseñar y fabricar las mismas piezas, evitando costosas importaciones y por ende haciéndolo asequible al mercado local.

Palabras Clave: Virus, Superficies y entornos, CoviBot, Radiación ultravioleta UV-C, Diseño mecánico.

ABSTRACT

Nowadays the COVID- 19 pandemic caused by the SARS-CoV-2 virus has generated health and economic losses. And studies show that the contagion effectiveness of virus is based on its ability to survive for days on certain surfaces and hours in the environment (air). The objective of this project is to design and develop the mechanical structure of a low-cost mobile disinfection robot called CoviBot, with the ability to disinfect closed spaces, eliminating viruses and bacteria by means of UV-C ultraviolet radiation.

For the development of this project, knowledge of the mechanical and mechatronics area was combined, where the electronic architecture of the CoviBot was designed by Steven Silva (mechatronics student) and the mechanical design is developed in this document. The mechanical design of the CoviBot is divided into the design of the internal and external structure. In the internal part, levels 2 and 3, columns, supports for UV-C lamps are designed and manufactured. And in the external structure there are the covers, fixed by semicircular guides printed in 3D are used.

In the design of levels 2 and 3, composite aluminum was used, for the design of columns, galvanized threaded rods were used and galvanized feet of friends were used for supports. Consequently, from a correct and careful study of material selection, the same pieces can be designed and manufactured, avoiding costly imports and therefore making them affordable to the local market.

Keywords: *Viruses, Surfaces and environments, CoviBot, UV-C ultraviolet radiation, Mechanical design.*

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	I
ABSTRACT.....	II
ÍNDICE GENERAL.....	III
ABREVIATURAS	VI
SIMBOLOGÍA.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
ÍNDICE DE TABLAS	IX
ÍNDICE DE PLANOS.....	XI
CAPÍTULO 1	1
1. Introducción	1
1.1 Definición del Problema.....	1
1.2 Justificación del proyecto.....	3
1.3 Objetivos	3
1.3.1 Objetivo General	3
1.3.2 Objetivos Específicos	4
1.4 Marco teórico.....	4
1.4.1 Vías de transmisión del SARS-COV-2.....	4
1.4.2 Métodos de desinfección de espacios cerrados	5
1.4.3 Inactivación de SARS-Cov-2 mediante la irradiación de UV-C	6
1.4.4 Diseño de estructura interna y externa de equipo de desinfección.	6
CAPÍTULO 2	12
2. Metodología	12
2.1 Antecedentes y consideración de diseño.....	12
2.2 Normas.....	13
2.3 Elaboración de alternativas de solución de problema	13

2.3.1	Solución 1	13
2.3.2	Solución 2	14
2.3.3	Solución 3	14
2.3.4	Solución 4	15
2.3.5	Solución 5	15
2.4	Selección de diseño	16
2.5	Diseño de estructura interna de robot móvil de desinfección	17
2.5.1	Método de diseño de niveles.....	17
2.5.2	Selección de materiales para fabricación de los niveles.....	19
2.5.3	Método para el cálculo de esfuerzo máximo y factor de seguridad.....	19
2.5.4	Simulación del nivel 3 bajo carga estática.....	21
2.6	Método de selección y diseño de columnas.....	22
2.6.1	Simulación de varilla roscada galvanizada	22
2.7	Método de diseño de juntas empernadas para la sujeción de focos UV-C.	23
2.7.1	Forma de cálculo de fuerza de arrastre	24
2.7.2	Forma de selección de pernos y factor de seguridad contra la	25
	separación bajo carga estática.....	25
2.7.3	Proceso de simulación de junta empernada.....	28
2.8	Diseño de estructura externa de robot de desinfección	28
2.8.1	Método de selección de material para diseño y ensamble de la cubierta.	28
2.8.2	Diseño de guías riel para la ubicación de cubierta	29
	CAPÍTULO 3.....	31
3.	Resultados y Análisis	31
3.1	Cálculo de cargas vivas y muertas presentes en cada uno de los pisos.....	31
3.2	Cálculo de esfuerzo máximo en el centro de nivel 3.....	33
3.2.1	Resultado de simulación en nivel 3	34
3.3	Cálculo de diámetro mínimo requerido para columnas	35

3.3.1	Resultado de simulación para columna.....	36
3.4	Cálculo de juntas empernadas en la base de focos UV-C	36
3.4.1	Resultado de simulación para junta empernada.....	39
3.5	Cálculo de tiempo de dosificación de radiación UV-C.....	40
3.6	Cálculo de tiempo de dosificación de radiación UV-C.....	41
3.7	Análisis de costos.....	44
3.7.1	Costos presentes en el ensamblaje de estructura interna	44
3.7.2	Costos presentes en el ensamblaje de estructura externa:	46
3.7.3	Costos de impresiones 3D.	46
3.7.4	Costos de componentes y dispositivos electrónicos.....	47
3.7.5	Costo final de diseño.....	47
CAPÍTULO 4.....		51
4.	Conclusiones y recomendaciones.....	51
4.1	Conclusiones.....	51
4.2	Recomendaciones.....	52

BIBLIOGRAFÍA

APÉNDICES

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
MSP	Ministerio de Salud Pública
OMS	Organización Mundial de la Salud.
CDC	Centro para el Control y la Prevención de Enfermedades
OPS	Organización Panamericana de la Salud
ISD	Impuestos a la Salida de Divisas
EPA	Agencia de protección Ambiental de los Estados Unidos
UVGI	Irradiación germicida ultravioleta
RNA	Ácido ribonucleico
ADN	Ácidos nucleicos
INEN	Servicio Ecuatoriano de Normalización
ISO	Organización Internacional de Normalización.
ASHRAE	Sociedad Estadounidense de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado.
PLA	Ácido Poliláctico

SIMBOLOGÍA

<i>m</i>	Metro
<i>nm</i>	Nanómetro
μJ	Micro Joule
cm^2	Centímetro cuadrado
<i>mW</i>	Miliwatt
<i>mm</i>	Milímetro
μm	Micrómetro
<i>s</i>	Segundo
<i>W</i>	Watt
<i>Kg</i>	Kilogramo
<i>lb</i>	Libra
<i>N</i>	Newton
m^3	Metro cúbico
mm^2	Milímetro cuadrado
<i>KPa</i>	Kilopascal
<i>Pa</i>	Pascal
s^2	Segundo cuadrado
<i>min</i>	Minuto
$\$$	Dólar

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Estado inicial de prototipo de robot móvil de desinfección.	12
Figura 2.2. Primer modelo del robot. a) Modelo en 3D;	13
b) Alcance de la radiación de los focos UV-C a 1 m de distancia.	13
Figura 2.3. Segundo modelo de robot CoviBot usando platinas y soportes.	14
Figura 2.4. Tercer modelo del CoviBot usando 4 focos UV-C.....	14
Figura 2.5. Cuarto modelo del CoviBot usando un tubo cuadrado en el nivel 3.	15
Figura 2.6. Quinto modelo con 4 focos UV-C ubicados diagonalmente.	15
Figura 2.7. Ubicación de cargas sobre nivel 3.....	20
Figura 2.8. Propiedades del aluminio compuesto en ANSYS STUDENT.	21
Figura 2.9. Simulación de esfuerzos en nivel 3. a) Mallado b) Ubicación de cargas.	21
Figura 2.10. Propiedades del acero galvanizado en ANSYS STUDENT.	23
Figura 2.11. Ubicación de la carga total ejercida sobre las columnas.....	23
Figura 2.12. Fuerza total FT aplicada en el CG y fuerza de sujeción Fp de pernos.	25
Figura 2.13 Aplicación de fuerza total FT en el extremo superior del pie de amigo.	28
Figura 2.14 Diseño 3D de estructura externa del robot “CoviBot”.....	28
Figura 2.15 Ubicación de guías inferiores y medias alrededor de focos UV-C T8.	30
Figura 3.1 Distribución de los 77.82 N en dos cargas de 38.91 N en el nivel 3.	33
Figura 3.2 Diagramas a) Esfuerzo cortante y b) Momento en el nivel 3 del CoviBot....	33
Figura 3.3. Simulación en nivel 3 a) Deformación total; b) Esfuerzos de Von Mises....	35
Figura 3.4. Simulación en columnas a) Deformación máxima; b) Esfuerzo máximo.	36
Figura 3.5 Simulación en pie de amigos a) Deformación y b) Esfuerzo máximo.....	40
Figura 3.6. Vista explosionada de la zona de los 4 focos UV-C T8.....	48
Figura 3.7. Vista explosionada de base móvil	48
Figura C 1. Propiedades del aluminio compuesto Alumat, extraído de Mathiesen.....	64
Figura C 2. Propiedades físicas del aluminio compuesto extraída de DISTEC.	64

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Bandas de radiación ultravioleta	5
Tabla 2.1. Propiedades de focos UV C-T8	13
Tabla 2.2. Parámetros de selección de diseño estructural interior del 'CoviBot'.	16
Tabla 2.3. Rango de calificaciones	17
Tabla 2.4. Ponderación y selección de mejor alternativa de solución	17
Tabla 2.5. Dispositivos presentes en los niveles 1, 2 y 3, cortesía de Steven Silva.	18
Tabla 2.6 Propiedades mecánicas de materiales para el diseño de los niveles 2 y 3. ...	19
Tabla 2.7. Propiedades del aire	24
Tabla 2.8. Propiedades físicas y mecánicas de perno M6x1x19.	26
Tabla 2.9. Propiedades mecánicas de materiales para cubierta del 'CoviBot'.	29
Tabla 2.10. Propiedades mecánicas y físicas de PLA.	29
Tabla 3.1. Dispositivos presentes en el nivel 3 del 'CoviBot'.	31
Tabla 3.2 Dispositivos presentes en el nivel 2 del 'CoviBot'.	31
Tabla 3.3 Dispositivos presentes en el nivel 1 del 'CoviBot'.	31
Tabla 3.4 Equipos y materiales presentes en la parte inferior del nivel 1.	32
Tabla 3.5 Elementos representando las cargas muertas presentes en el CoviBot.	32
Tabla 3.6 Cálculos totales de cargas vivas y muertas aplicadas sobre el equipo.	32
Tabla 3.7. Cotización de posibles materiales para la fabricación de niveles 2 y 3.	44
Tabla 3.8 Costos finales para la compra de materiales y herramientas.	45
Tabla 3.9 Costos finales por concepto de transporte y mano de obra.	45
Tabla 3.10. Costos finales en el ensamblaje de estructura interna del 'CoviBot'	45
Tabla 3.11. Cotización de materiales para la estructura exterior del 'CoviBot'	46
Tabla 3.12. Compra de plancha de aluminio H14.	46
Tabla 3.13. Costos finales de impresiones 3D	47
Tabla 3.14. Costos finales de equipos electrónicos, cortesía de Steven Silva.	47
Tabla 3.15. Costo final de diseño de CoviBot.	47

Tabla 3.16. Elementos presentes en el diseño de la estructura interna del 'CoviBot'. ..	49
Tabla 3.17. Dispositivos presentes en el diseño de la estructura interna del 'CoviBot'. ..	49
Tabla 3.18. Elementos y dispositivos presentes en la estructura externa del 'CoviBot'. ..	50
Tabla A 1. Dispositivos presentes en nivel 1	58
Tabla A 2. Elementos presentes en nivel 2.	59
Tabla A 3. Elementos presentes en nivel 3	59
Tabla B 1. Proceso de ensamble del 'CoviBot'.	61

ÍNDICE DE PLANOS

PLANO 1. Pie de amigo de 120*350 mm de acero galvanizado

PLANO 2. Base de aluminio compuesto de 3 mm

PLANO 3. Soporte para fijar focos UV-C

PLANO 4 Ubicación de focos UV-C en base (Pie de amigo)

PLANO 5. Nivel 3 de CoviBot

PLANO 6. Diseño de base móvil con sus tres niveles

PLANO 7. Ensamble de estructura interna

PLANO 8. Cubierta de aluminio liso H14

PLANO 9. Guía riel en parte inferior de focos UV-C

Plano 10. Guía riel media

PLANO 11. Guía riel media para ubicación de cámara D435 i

PLANO 12. Ensamble completo de CoviBot.

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Definición del Problema

Hoy en día la humanidad se enfrenta a un enemigo silencioso, cambiante y mortal llamado COVID-19, en el Ecuador hasta la fecha se registra cerca de 491.831 personas contagiadas, 31.788 personas fallecidas, según datos del Ministerio de Salud del presente año 2021 (MSP, 2021). Por otra parte, la Organización Mundial de la Salud (OMS) advierte que para prevenir la infección por el virus es necesario lavarse las manos con agua y jabón o gel hidroalcohólico, mantener una distancia mínima de 2 m, usar siempre mascarilla, etc. Se debe agregar, que el Centro para el Control y la Prevención de Enfermedades (CDC) detalla métodos de limpieza y desinfección de los establecimientos para reducir el contagio (CDC, 2021). Sin embargo, en muchos lugares públicos y privados del país se evidencia una concurrencia masiva de personas, haciendo que cualquier medida sea insuficiente para mantener todas las superficies y entornos libres de virus y bacterias, convirtiendo a sus visitantes en potenciales víctimas de contagio. En este contexto surge la necesidad de mantener altos niveles de asepsia en hospitales, supermercados, restaurantes, y otros espacios de concurrencia pública.

Dentro de los requerimientos del proyecto está en primer lugar la **Salud Pública**, debido a que hoy en día los hospitales reciben y albergan una cantidad considerable de pacientes con síntomas del virus, lo cual creará áreas de contagio. Y es ahí donde surge la importancia del robot móvil de desinfección llamado “CoviBot”, ya que garantizará la existencia de espacios seguros, al eliminar constantemente el virus presente en el medio (superficie y entorno).

Por otra parte, está la **seguridad y bienestar** y en este aspecto la COVID-19 además de representar un riesgo potencial, ha permitido la apertura del mercado con importaciones o diseño de equipos de desinfección que usan

radiación UV-C. Uno de los beneficios a resaltar además de su capacidad de desinfección es evitar el contacto entre el usuario y los desinfectantes químicos los cuales afectan la salud del usuario a largo o corto, tal como lo establece la Organización Panamericana de la Salud (OPS, 2020). Pero además de sus benéficos la UV-C también representa un riesgo; razón por la cual se acude a normas locales e internacionales para garantizar la seguridad y salud del usuario.

Los **aspectos globales** dentro del contexto de la pandemia, hacen que el equipo represente una gran ventaja a nivel mundial; ya que según investigaciones el virus puede permanecer activo tanto en el aire como en ciertas superficies, pero según la empresa Signify, líder mundial en iluminación, demostró que gracias a los rayos UV-C se puede lograr una inactivación del virus del 95% y reduciendo el incremento de contagios a causa del virus cuando las personas entran en contacto con entornos y superficies infectadas con el virus (Griffiths, 2020).

Al estudiar los **aspectos sociales y culturales** se determina que no influyen directamente en el proyecto, ya que al mencionar social se busca que el equipo sea asequible a cualquier establecimiento, independientemente de su estatus social. Por otra parte, al mencionar cultural se comprende que la sociedad presentará resistencia a los cambios, pero la evolución de la tecnología es inevitable y casi imperceptible.

Gracias a un estudio de selección de materiales y un correcto análisis de esfuerzos en función de cargas estáticas es posible emplear materiales y elementos disponibles en el mercado local, evitando así importaciones costosas, reduciendo considerablemente los costos y obteniendo un impacto positivo en el **aspecto económico**.

El proyecto se apega a la **parte técnica** debido a que el equipo está constituido por una base móvil, sensores, módulos, focos UV T8, etc. y por ende el diseño está completamente detallado mediante representaciones 3D

y planos, con el fin de que el cliente tenga una idea clara y completa del funcionamiento del equipo y a su vez garantizando un fácil mantenimiento.

1.2 Justificación del proyecto

Hoy en día el Ecuador busca impulsar la reactivación económica, pero en el país existen una gran cantidad de locales comerciales, centros de entretenimiento, y sin dejar de lado los hospitales y centros de salud, en su mayoría lugares cerrados, que albergan una cantidad considerable de personas diariamente, lo cual hace que la mayoría de las veces fallen las normas de bioseguridad y los métodos de limpieza y desinfección, convirtiéndose así en zonas de alta probabilidad de contagio.

Por otra parte, vale mencionar que en el país no existen empresas que se enfoquen en el diseño y desarrollo de robots móviles de desinfección y como consecuencia recurren a la importación cancelando elevados valores por concepto de Impuestos a la Salida de Divisas (ISD).

Es así que surge la necesidad de desarrollar un método económico y efectivo de desinfección, razón por la cual en el presente proyecto se propone realizar un robot móvil de desinfección, el cual está formada por una base móvil, sensores, módulos, focos UV mientras que la parte mecánica, ampliamente desarrollada en el presente, proyecto está compuesta por niveles, columnas, soportes para focos, cubiertas adquiridas a nivel local y evitando importaciones. Con la finalidad de eliminar virus y bacterias en las superficies y entornos en determinadas zonas de los lugares cerrados tales como: pasillos, habitaciones y cualquier superficie en general, gracias a los rayos ultravioleta UV-C.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Diseñar y elaborar la estructura mecánica de un robot móvil de bajo costo con la capacidad de desinfectar espacios cerrados de virus y bacterias por medio de luz ultravioleta UV-C.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Diseñar la estructura interna y externa del robot móvil.
- Realizar el análisis mecánico y validar el diseño con un prototipo a escala del robot.
- Garantizar que las partes y piezas mecánicas se puedan implementar fácilmente en el robot usando el principio de modularidad.

1.4 Marco teórico

1.4.1 Vías de transmisión del SARS-COV-2

- **Transmisión por gotículas**

Se da cuando una persona sana está con una persona infectada en un espacio no mayor a 1 m, debido a que cuando esta última tose, estornuda o habla las gotículas pueden llegar a los ojos, labios o nariz de la persona sana.

- **Transmisión aérea**

Se origina por la presencia y exhalaciones de núcleos goticulares o aerosoles, suspendidos en el aire por tiempos y distancias considerables. Y esto se da principalmente en entornos cerrados con pobre ventilación. (OMS, 2020). Y mediante estudios se demostró que el virus es emitido en forma de aerosol tanto por una persona sintomática como asintomática alcanzando una vida media de tres horas en el aire de interiores, mientras es transportado (Neeltje van, 2020). Sin embargo, la evaporación y la fragmentación reduce el tamaño de las gotas, pero la coalescencia aumenta su tamaño (Jarvis, 2020) (Neeltje van Doremalen, 2020).

- **Transmisión por fómites:**

Esta surge cuando las gotículas respiratorias pueden contaminar las superficies y objetos produciendo fómites o superficies contaminadas (OMS, 2020). Debido a que el SAR-Co v-2 puede sobrevivir de 3 a 4 días en superficies de plástico, 2 días en metales en acero inoxidable, 1 día en cartón y 2 días en vidrio, cerámicas y caucho, y en función de

las condiciones ambientales (Aboubakr, 2020). Haciendo posible una transmisión indirecta en el momento de tocar una superficie infectada y llevarse sus manos al rostro, boca o nariz.

1.4.2 Métodos de desinfección de espacios cerrados

El objetivo de la desinfección es eliminar todos aquellos virus y bacterias o reducir sus concentraciones en las superficies expuestas al virus, por ello se emplean:

- **Limpieza mediante agua, jabón y desinfectantes químicos.**

Este método consiste en aplicar la fuerza mecánica durante el cepillado, frotado o lavado sobre determinada superficie, con el fin de eliminar la suciedad y restos de materia orgánica. Esta última impide el contacto directo de los desinfectantes sobre el virus haciendo inefectiva este método de desinfección (OMS, 2020). Cabe mencionar que la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) establece la lista de desinfectantes contra el coronavirus que cumplen con normas de seguridad ambiental y salud (EPA, 2021).

- **Limpieza mediante productos que usan radiaciones UV**

La irradiación germicida ultravioleta (UVGI) consiste en el uso de las longitudes de onda de luz ultravioleta (UV) dentro del rango germicida es decir de 200 a 320 nm, necesaria para la desinfección del aire y superficies. Existen diferentes tipos de UV, tales como:

Tabla 1.1 Bandas de radiación ultravioleta

Banda	Longitud de onda, nm	Tipo y clasificación		
UVA	320-400	No germicida		
UVB	280-320	Eritema	Germicida	Actínico
UVC	200-280			
VUV	100-200	Vacío ultravioleta		

Fuente: Extraído de *Ultraviolet Germicidal Irradiation Handbook*, (Kowalski, 2009)

1.4.3 Inactivación de SARS-Cov-2 mediante la irradiación de UV-C

El rango de longitud de la UVC va de 200 a 280 nm y haciéndola peligrosa para las bacterias y virus debido a que interrumpe a sus proteínas y nucleótidos representados por ácido ribonucleico (RNA) y ácidos nucleicos (ADN) ya que estas absorben altas cantidades de UV (Cotton, 2008). Y de esta manera la energía inactiva su capacidad de replicarse y causar más enfermedades (ASHRAE, 2011).

- **Dosificación UV y respuesta microbiana.**

La acción de UVGI está en función de la dosis o tasa de fluencia (D_{UV}) dada en $\frac{\mu J}{cm^2}$, la cual es administrada a los microorganismos (Martin, 2008):

$$D_{UV} = It \quad (1.1)$$

Donde.

I : Irradiación o intensidad, $\frac{mW}{cm^2}$

t : Tiempo de exposición, s

Y recientes estudios realizados por Signify y la Universidad de Boston confirman el uso de la radiación UV-C para la inactivación completa del virus en dosis de 5 a 22 $\frac{mJ}{cm^2}$ (Griffiths, 2020).

1.4.4 Diseño de estructura interna y externa de equipo de desinfección.

- **Cargas vivas y muertas**

Se llaman cargas muertas a aquellas cargas que no cambian su magnitud y permanecen constantes en un mismo lugar, tales como paredes, piso y columnas. Por otra parte, las cargas vivas se definen como aquellas cargas que cambian de magnitud y de lugar por ejemplo accesorios, dispositivos (McCORMAC, 2013).

- **Análisis de esfuerzo debido a flexión, cortante y principales**

En el caso de esfuerzos debido a flexión se toma el caso de una viga o superficie que está sometida a cargas transversales, las cuales ejercen

momentos de flexión en la viga y consigo nace el esfuerzo a flexión y está dada por (Mott, 2006):

$$\sigma = \frac{Mc}{I} \quad (1.2)$$

Donde:

M : Momento de flexión en sección transversal

c : Distancia de eje neutro a la fibra más externa.

I : Momento de inercia de sección transversal.

En el caso de los esfuerzos cortantes estos surgen debido a que las cargas transversales ejercen fuerzas de corte y está dada por:

$$\tau = \frac{VQ}{It} \quad (1.3)$$

Donde:

V : Fuerza de corte

Q : Primer momento con respecto al centroide de la sección transversal.

t : Espesor de sección donde se aplica el esfuerzo cortante.

A partir de esta última se deduce la ecuación para calcular el esfuerzo cortante vertical máximo para rectángulos:

$$\tau_{m\acute{a}x} = \frac{3V}{2A} \quad (1.4)$$

Donde A es la superficie transversal de viga o cuerpo. Y para la obtención de los esfuerzos principales se usa la ecuación:

$$\begin{aligned} \sigma_A, \sigma_B \\ = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2} \end{aligned} \quad (1.5)$$

$$\tau_{m\acute{a}x} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2} \quad (1.6)$$

- **Teorías de falla de materiales frágiles**

Debido a que cada uno de los pisos va a resistir ciertas cantidades de carga estática, se debe realizar un estudio de cómo van a fallar los

pisos si uno de sus esfuerzos principales excede la resistencia del material. Para ello se acude a la teoría de Mohr-Coulomb para materiales frágiles (Budynas R. G., 2015):

$$\sigma_A = \frac{S_{ut}}{n} ; \sigma_A \geq \sigma_B \geq 0 \quad (1.7)$$

$$\frac{\sigma_a}{S_{ut}} - \frac{\sigma_B}{S_{uc}} = \frac{1}{n} ; \sigma_A \geq 0 \geq \sigma_B \quad (1.8)$$

$$\sigma_B = -\frac{S_{uc}}{n} ; 0 \geq \sigma_A \geq \sigma_B \quad (1.9)$$

Donde:

σ_A, σ_B : Esfuerzos principales

S_{ut} : Resistencia a la tensión

S_{uc} : Resistencia a la compresión

n : Factor de seguridad

- **Columnas con carga centrada**

Las fallas en las columnas nacen por la compresión simple o pura, ejercida

por una fuerza P a través de su eje centroidal (Budynas R. , 2008), pero cuando la columna llega a un grado de inestabilidad, a esta fuerza se la denomina como fuerza crítica y está dada por:

$$\frac{P_{cr}}{A} = \frac{C\pi^2 E}{(l/k)^2} \quad (1.10)$$

Donde:

P_{cr} : Es la carga o fuerza crítica para la columna.

C : Su valor recomendado es 1.2 para ambos extremos empotrados.

E : Es el Módulo de Young del material de la columna.

l : Es la Longitud real de la columna.

A : Área de la sección transversal de la columna.

k : Mínimo valor de radio de giro y está dada por la ecuación 1.11:

$$k = \sqrt{\frac{I_0}{A}} = \frac{d}{4} \quad (1.11)$$

Y el diámetro (d) en caso de columnas circulares se determina, mediante:

$$d = \left(\frac{64P_{cr}l^2}{\pi^3CE} \right)^{1/4} \quad (1.12)$$

- **Diseño y selección de junta empernada**

Debido a que se necesita sujetar o fijar diferentes materiales para mantenerlas juntas en diferentes situaciones de carga, se define cargas externas como la de arrastre:

$$F_D = \frac{1}{2} \rho v^2 [C_D \cdot A_D] \quad (1.13)$$

Y luego que se conozca la carga que va a soportar el perno, se recomienda precargar la junta y está dada por la ecuación:

$$F_i = 0,9S_p A_t \quad (1.14)$$

Para el cálculo de la longitud de rosca de tornillos métrica, se la define como:

$$L_T = 2d + 6 \text{ mm}; L \leq 125, d \leq 48 \quad (1.15)$$

$$L_d = L - L_T \quad (1.16)$$

$$L_t = l - L_d \quad (1.17)$$

Donde:

L_T : Longitud roscada en mm

l : Longitud de junta o de agarre.

L : Longitud de perno.

L_t : Longitud cargada axialmente dentro de zona de sujeción

L_d : Longitud de parte sin rosca en el agarre

A_d : Área total de la sección transversal sin rosca (diámetro mayor)

A_t : Área de esfuerzo por tensión de perno o roscada (tablas)

d : Diámetro mayor o diámetro del sujetador

d_r : Diámetro menor.

Para el cálculo de la rigidez efectiva del perno en la zona de sujeción, se emplea la ecuación:

$$\frac{1}{k_b} = \frac{L_t}{A_t E} + \frac{L_d}{A_d E} \rightarrow k_b = \frac{A_d A_t E}{A_d L_t + A_t L_d} \quad (1.18)$$

Luego se calcula la rigidez del material (k_m) para ello se asume cilindro completo del material, el cual se encuentra comprimido:

$$\frac{1}{k_m} = \frac{L_1}{A_{m1} E_1} + \frac{L_2}{A_{m2} E_1} = \frac{4L_1}{\pi D_{ef1}^2 E_1} + \frac{4L_2}{\pi D_{ef2}^2 E_2} \quad (1.19)$$

Donde:

A_m : Áreas efectivas de los materiales sujetos

D_{ef}^2 : Diámetros efectivos

Factor o constante de rigidez de la junta:

$$C = \frac{k_b}{k_m + k_b} \quad (1.19)$$

La porción de carga en el perno (P_b) y en el material está dado por:

$$P_b = CP \quad (1.20)$$

$$P_m = (1 - C)P \quad (1.21)$$

Donde P es la carga aplicada. Y para el cálculo de cargas resultantes (máximas) en el perno (F_b) y material (F_m):

$$F_b = F_i + P_b \quad (1.23)$$

$$F_m = F_i + P_m \quad (1.24)$$

Esfuerzo de tensión máximo en perno:

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_t} \quad (1.22)$$

Factor de seguridad contra fluencia del perno:

$$n_y = \frac{S_y}{\sigma_b} \quad (1.23)$$

Carga requerida para separar la junta (P_0) y el factor de seguridad contra separación ($N_{separación}$), (NORTON, 2011):

$$P_0 = \frac{F_i}{(1 - C)} \quad (1.24)$$

$$N_{separación} = \frac{P_0}{P} \quad (1.25)$$

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

2.1 Antecedentes y consideración de diseño

Una de las primeras actividades para establecer el diseño del concepto fue conocer el estado estructural y operacional del robot móvil de desinfección, ver Fig. 2.1, motivo por el cual el Centro de Investigación, Desarrollo e Innovación de Sistemas Computacionales (CIDIS) informó que el equipo usa una base móvil la cual es parte del sistema de un robot completo Arlo y a su vez estableció los requerimientos del equipo tanto para el diseño de su estructura interna como externa, es decir detalló que el equipo debe ser modular, los niveles deben ser ligeros, resistentes y económicos, y por otra parte su cubierta debe ser resistente a la corrosión, ligera y estética.



Figura 2.1 Estado inicial de prototipo de robot móvil de desinfección.

Además, se estableció que el funcionamiento principal del equipo es desinfectar espacios cerrados mediante el uso de focos UV T8, los cuales son lámparas UV-C (CHANGHONG, 2021) con efecto germicida usada comúnmente para desinfección de agua y aire, cuyas propiedades se muestra en la tabla 2.1:

2.3.2 Solución 2

En el modelo 2, tal como se muestra en la Fig. 2.3, se propuso conservar los dos focos T8 similar al modelo 1, pero considerando el principio de modularidad se colocarán dos platinas perforadas de aluminio de 1 m de largo en la parte posterior de los marcos de aluminio de los focos UV-C con el fin de que estos perfiles sostengan un par de placas de aluminio para las cámaras y sensores.



Figura 2.3. Segundo modelo de robot CoviBot usando platinas y soportes.

2.3.3 Solución 3

En el modelo 3, tal como se muestra en la Fig. 2.4, se propuso solucionar la limitación de ángulo de apertura de los modelos 1 y 2 y para ello se ubican cuatro focos UV C-T8 en referencia a los puntos cardinales (NE-SE-SO-NO) y así obtener un ángulo de apertura de 360°. Para esto se emplean 4 pie de amigos de 305*355 mm para que fijen a cada uno de los focos al tercer nivel del robot, mediante juntas empernadas.

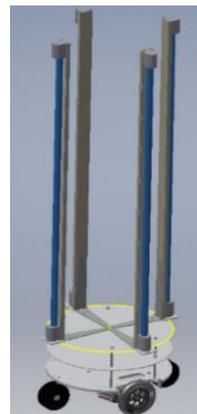


Figura 2.4. Tercer modelo del CoviBot usando 4 focos UV-C.

2.3.4 Solución 4

En el modelo 4, ver Fig. 2.5, se propuso conservar el ángulo de apertura de 360° y para ello conservó los cuatro focos UV-C T8. Pero se propuso ubicar un tubo cuadrado de aluminio de 63.5×63.5 mm, soldado sobre una placa de aluminio de 300×300 mm, con el fin de empernar cada uno de los marcos de aluminio de los focos UV-C a las caras de este tubo cuadrado.



Figura 2.5. Cuarto modelo del CoviBot usando un tubo cuadrado en el nivel 3.

2.3.5 Solución 5

En el presente modelo, ver Fig. 2.6, se mantuvo el ángulo de apertura de 360° pero a diferencia del modelo 3 y 4 se busca que el modelo sea económico y modular. Por ende, en el modelo 5 se optó por cortar la base de pie de amigo de 305 mm a 120 mm para acercar más los focos UV C-T8 en el centro del tercer nivel. Y finalmente se ubicó cada uno de los focos en sentido NE-SE-SO-NO.



Figura 2.6. Quinto modelo con 4 focos UV-C ubicados diagonalmente.

2.4 Selección de diseño

Previo a la selección del modelo ganador, se definen los siguientes criterios:

- **Costo:** Se requiere que su elaboración sea en base a productos locales evitando costosas importaciones.
- **Facilidad de ensamblar:** Permite que el equipo sea ensamblado por máximo dos personas, haciendo uso de herramientas convencionales.
- **Mantenimiento:** Debido a que el equipo estará expuesto a zonas contaminadas, acumulará impurezas y se necesitará un fácil acceso a cada uno de los niveles para su respectiva limpieza o reparación.
- **Apertura de irradiación UV-C:** Permite que la irradiación producida por los focos UV-C llegue a diferentes áreas de difícil acceso.
- **Fácil de manejar:** Permite que sea operado por un solo usuario y con especificaciones detalladas en el manual.
- **Modular:** Permite la implementación de diversos accesorios y dispositivos.

Luego de definir los criterios de selección, se procede especificar sus respectivas ponderaciones según su importancia en el desarrollo del proyecto, ver tabla 2.2:

Tabla 2.2. Parámetros de selección de diseño estructural interior del 'CoviBot'.

Parámetro	Ponderación
Menor costo	0,2
Fácil de ensamblar	0,1
Mantenimiento	0,2
Apertura de irradiación UV-C	0,3
Fácil de manejar	0,2
Modular	0,1

Se da mayor ponderación a la apertura de irradiación UV-C porque si el equipo no cubre los 360° durante su avance no desinfectará completamente el entorno y a su vez consumirá más energía.

Por otra parte, se consideró que los parámetros de menor costo, mantenimiento y fácil de manejar posean el mismo porcentaje debido a que su implementación está en función al diseño y programación del robot móvil.

Fácil de ensamblar y modular fue designada con una menor ponderación debido a que su implementación está en función del tipo de operación y lugar a desinfectar.

Tabla 2.3. Rango de calificaciones

Calificación	Valor
Pésimo	1
Desfavorable	2
Regular	3
Favorable	4
Excelente	5

Tabla 2.4. Ponderación y selección de mejor alternativa de solución

<i>Criterios y alternativas</i>	Menor costo	Fácil ensamblado	Mantenimiento	Apertura de irradiación UV-C	Fácil de manejar	Modular	Total
	0,2	0,1	0,1	0,3	0,2	0,1	1
Alternativa 1	4	4		1	3,5	3	2,5
Alternativa 2	3	3,5	4	1	3,5	4	2,75
Alternativa 3	3	3	3	5	3	2,5	3,55
Alternativa 4	2	2,5	2	4	3	2	2,85
Alternativa 5	3	3	3,5	5	3	5	3,85

Finalmente, en la tabla 2.2 se muestra el análisis de la matriz de selección, la cual usa un rango de calificación mostrado en la tabla 2.3. Y los resultados definen a la alternativa 5, robot móvil de desinfección con 4 lámparas UV-C en el sentido NE-SE-SO-NO, como el diseño idóneo con una calificación de 3.85/5.

2.5 Diseño de estructura interna de robot móvil de desinfección

2.5.1 Método de diseño de niveles.

Una vez definida la solución adecuada, se conoce que el modelo posee una base móvil la cual está formada por tres niveles, donde el primer nivel es la

planta inferior y alberga a los motores, seguido por el segundo nivel o planta media, y termina en el tercer nivel o planta superior, en este último se colocan los focos UV C.

Pero la base móvil adquirida vino solo con el nivel 1 y los 2 motores por ende se procedió al diseño de los niveles 2 y 3, realizando el respectivo estudio de selección de materiales el cual consistió en definir propiedades tales como la rigidez, resistencia y el costo.

Previo a esto se definen los posibles dispositivos que se ubicaría en los tres niveles del robot, ver tabla 2.5, y así determinar el caso más crítico, es decir el piso que estará sometido a mayor carga y en el presente caso fue el nivel 3 por la presencia de los focos UV.

Tabla 2.5. Dispositivos presentes en los niveles 1, 2 y 3, cortesía de Steven Silva.

Equipos presentes en piso 3	Lampara UV
	Socket T8
	Perfil de aluminio BAL-A045
	Pie de amigo de 12*14 in
	D 435i (Cámara de profundidad)
	Otros (Cubierta, impresiones 3D)
Equipos presentes en piso 2	RP LIDAR (Mapeo y localización)
	T 265 (Odometría, localización, mapeo)
Equipos presentes en piso 1	Jetson Nano
	Tarjeta DH-V10 Driver (H bridge motor control)
	Esp 32 (Comunicación de velocidades)
	Tarjeta o placa de distribución de potencia
	Step Down (Energetizar Jetson nano)
	Inversor

Luego de listar los materiales, ver imágenes en sección anexos A 1, se procedió a pesar cada uno de estos accesorios, con el fin de obtener las cargas que actúan sobre cada piso representadas por las cargas vivas y muertas. Y a su vez se observaba que la carga total no exceda la carga límite de los motores 12V-DC, que es de 27 Kg (60 Lb), ver en sección resultados tabla 3.1, 3.2, 3.3, 3.4, 3.5 y 3.6.

2.5.2 Selección de materiales para fabricación de los niveles.

En el mercado existe una gran variedad de materiales, los cuales poseen excelentes propiedades mecánicas pero diferentes pesos y costos. Y se realizó un listado de los posibles materiales, tal como se muestra en la Tabla 2.6:

Tabla 2.6 Propiedades mecánicas de materiales para el diseño de los niveles 2 y 3.

Material	Dimensiones [mm*mm]	Espesor [mm]	Peso [Kg/m]	Resistencia a la fluencia [Mpa]	Resistencia a la tracción [MPa]	Resistencia a la flexion [Mpa]	Resistencia al corte [Mpa]
Plancha de aluminio Liso H14	1220*2440	3	16,2	95	127		
Plancha de Nylon 6 A	1000*2000	5	11,4		71-82		
Plancha de acero inoxidable 304	1220*2440	2	47,56	210	520		
Plancha Galvanizada de ASTM A653	1220*2441	2	46,74		270		
Plancha de aluminio compuesto	1220*2442	3	4,6			113	28,92

Luego de analizar sus propiedades mecánicas, se procedió al análisis de costos de cada uno de estos materiales, ver sección resultados tabla 3.8, obteniendo que la plancha de aluminio compuesto es el más viable para la fabricación de los niveles 2 y 3, debido a su bajo costo y alta resistencia.

2.5.3 Método para el cálculo de esfuerzo máximo y factor de seguridad

En primer lugar, se realizó de manera manual el cálculo de esfuerzo máximo en el nivel 3 por acción del peso total (77.82 N), ver tabla 3.1, pero por motivos de cálculos se analizó una sección rectangular de 450*100 mm extraída del nivel 3. Por otra parte, se dividió la carga de 77.82 N en dos partes y a su vez conservando la ubicación de los focos, tal como se muestra en la figura 2.7:

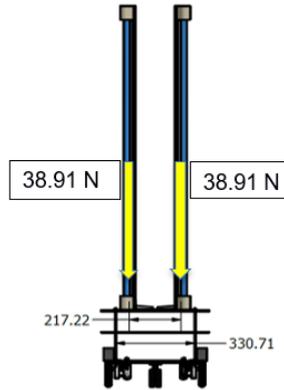


Figura 2.7. Ubicación de cargas sobre nivel 3

Luego mediante el software libre llamado calculadora de deflexión de viga-SkyCiv, se obtuvo los diagramas de momentos y cortante que experimenta el nivel 3 por acción de las cargas, cuyos valores máximos fueron usados para calcular el esfuerzo de flexión y cortante dado por las ecuaciones 1.2 y 1.3:

$$\sigma_x = \frac{MC}{I}$$

$$\tau_{xz} = \frac{VQ}{It}$$

Luego se procedió a calcular el esfuerzo cortante máximo y los esfuerzos principales, mediante la ecuación 1.5 y 1.6, donde:

$$\tau_{m\acute{a}x} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_z}{2}\right)^2 + \tau_{xz}^2}$$

$$\sigma_A = \frac{\sigma_x + \sigma_z}{2} + \tau_{m\acute{a}x}$$

$$\sigma_B = 0$$

$$\sigma_C = \frac{\sigma_x + \sigma_z}{2} - \tau_{m\acute{a}x}$$

Se empleó la teoría de Mohr-Coulomb para materiales frágiles para obtener el factor de seguridad, usando la ecuación 1.7:

$$N = \frac{S_{ut \text{ de aluminio compuesto}}}{\sigma_A}$$

2.5.4 Simulación del nivel 3 bajo carga estática.

Para comprobar la veracidad de los cálculos se realizó una simulación mediante el uso del programa ANSYS STUDENT 2021 R1 Academic versión estudiantil, para ello en primer lugar se definió las propiedades del aluminio compuesto, (MATHIESEN, 2008), como se observa en la figura C2 y 2.8:

Aluminio Compuesto	
Density	1,533e-06 kg/mm ³
Structural	
▼ Isotropic Elasticity	
Derive from	Young's Modulus and Poisson's Ratio
Young's Modulus	30200 MPa
Poisson's Ratio	0,42000
Bulk Modulus	62917 MPa
Shear Modulus	10634 MPa
Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion	1,28e-05 1/°C
Compressive Ultimate Strength	0 MPa
Compressive Yield Strength	0 MPa
Tensile Ultimate Strength	113,00 MPa
Tensile Yield Strength	108,00 MPa
Thermal	
Isotropic Thermal Conductivity	0,00028000 W/mm·°C
Specific Heat Constant Pressure	2,3e+06 mJ/kg·°C

Figura 2.8. Propiedades del aluminio compuesto en ANSYS STUDENT.

Posteriormente se usó un tamaño de elementos finitos de 10 mm y la ubicación de la carga que actúa sobre nivel 3 (77.822 N), como se observa en la Fig. 2.9:

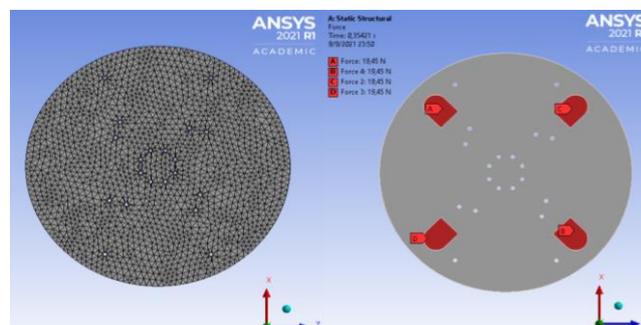


Figura 2.9. Simulación de esfuerzos en nivel 3. a) Mallado b) Ubicación de cargas.

Pero debido a que este material no estaba registrado en la base de datos de ANSYS, se cambiaron las propiedades mecánicas y físicas del polietileno por las del aluminio compuesto, según la ficha técnica MATHIESEN.

2.6 Método de selección y diseño de columnas.

En base de normas y costos se asumió el uso de varillas galvanizadas para el diseño de las columnas, las cuales sostendrán y fijarán los niveles 2 y 3.

Luego se determinó la carga total P que va a soportar las columnas, para ello se suma la carga del piso 3 más la carga del piso 2, las cuales están definidas en las tablas 3.1 y 3.2.

Finalmente, para obtener el diámetro mínimo d se definió la carga crítica P_{cr} usando un factor de seguridad de 4 y a su vez se estableció que las varillas se encuentran empotradas en sus extremos, por lo tanto C es igual a 1.2 (Budynas R. , 2008), obteniendo mediante la ecuación 1.10 y 1.11:

$$\frac{P_{cr}}{A} = \frac{C\pi^2 E}{(l/k)^2}$$
$$k = \sqrt{\frac{I_0}{A}} = \frac{d}{4}$$

El diámetro mínimo requerido d , dado por la ecuación 1.12:

$$d = \sqrt[4]{\frac{64 \cdot P_{cr} \cdot L^2}{\pi^3 \cdot C \cdot E}}$$

2.6.1 Simulación de varilla roscada galvanizada

Se realizó su respectiva simulación en ANSYS R1 2021, para ello se define en primer lugar las propiedades mecánicas del acero galvanizado, tal como se observa en la figura 2.10:

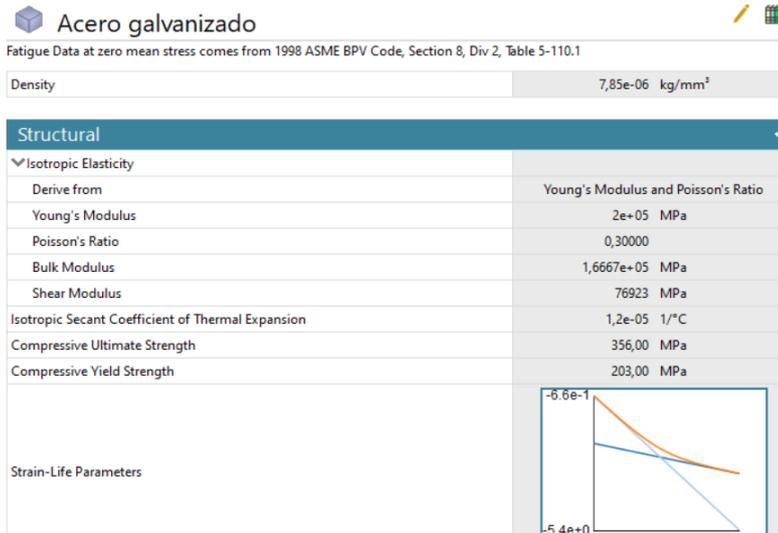


Figura 2.10. Propiedades del acero galvanizado en ANSYS STUDENT.

Luego se ubica la carga crítica, producto de carga total P por 4, en la parte superior de la varilla y empotramiento fijo en la parte inferior, por acción de las tuercas, tal como se muestra en la figura 2.11:

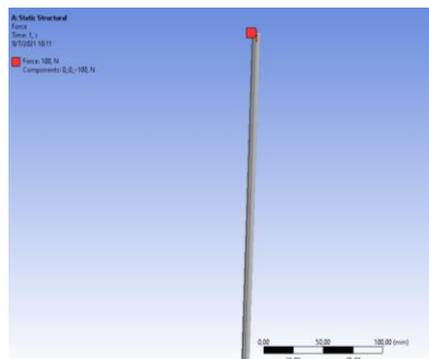


Figura 2.11. Ubicación de la carga total ejercida sobre las columnas.

2.7 Método de diseño de juntas emperradas para la sujeción de focos UV-C.

Debido a que una de las zonas más críticas del diseño del robot de desinfección es la ubicación de los focos UV-T8 en el nivel 3, se realizó un estudio detallado de la junta emperrada que fija los 4 focos UV a este nivel, de 9 mm de espesor, mediante 4 pie de amigos de 304.8*355 mm.

Por lo tanto, se empezó con el cálculo de fuerza de arrastre que actúa sobre los focos UV, cuya altura es de 1.3 m, con un centro de gravedad a 163 mm. Por otra parte, también se consideró el momento producido por peso de los

focos UV-C al producirse un posible volcamiento y así evitar una posible rotura de la junta empernada.

2.7.1 Forma de cálculo de fuerza de arrastre

Para el cálculo de fuerza de arrastre se consulta la ASHRAE, la cual establece que la velocidad de aire requerida para actividades sedentarias es de 0.8 m/s y para el presente proyecto se asume de 1 m/s (ASHRAE Standard 55, 2010). Y por motivos de cálculos se considera que los focos tienen forma de paralelogramo de base cuadrada de 60*60 mm y altura de 1300 mm.

En primer lugar, se definen las propiedades del aire (Munson, 1940), ver tabla 2.7:

Tabla 2.7. Propiedades del aire

Propiedades	Valores
Temperatura (T)	25°C
Densidad de aire (ρ_{aire})	1.184 $\frac{Kg}{m^3}$
Viscosidad cinemática (γ)	1.56 x 10 ⁻⁵ $\frac{m^2}{s}$

Luego se obtuvo, el número de Reynolds Re_l para comprobar si existe turbulencia:

$$Re_l = \frac{VD_s}{\nu}$$

Debido a que se asumió, que la forma de los focos son análogos a un paralelogramo se usa el coeficiente de arrastre (C_D) de 2.1 para cilindros cuadrados (White, 1998), y se obtuvo una fuerza de arrastre según la ecuación 1.13:

$$F_D = \frac{1}{2} \rho v^2 [C_D \cdot A_D]$$

2.7.2 Forma de selección de pernos y factor de seguridad contra la separación bajo carga estática.

Previo a la selección de los pernos, se define las cargas que estos soportan, para ello se suma el peso de los focos (W_{foco}) registrada en la tabla 3.1 más la fuerza de arrastre (F_D) actuando en el centro de gravedad, representada por F_T :

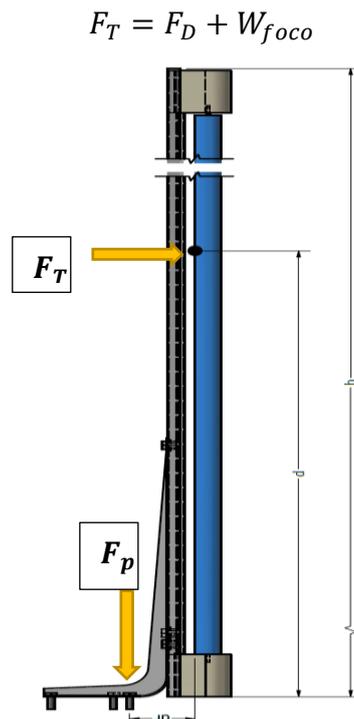


Figura 2.12. Fuerza total (F_T) aplicada en el CG y fuerza de sujeción (F_p) de pernos.

Luego se calculó el momento producto por la F_T , para determinar cuánta fuerza de sujeción debe proveer los pernos:

$$M_{F_T} = M_{\text{tornillo}}$$

$$F_T \cdot d = F_p \cdot d_r$$

$$F_p = \frac{F_T \cdot d}{d_r}$$

Donde:

F_T : Fuerza total

d : Distancia desde base de foco a CG.

d_r : Distancia de CG a perno más cercano.

F_p : Fuerza de sujeción actuando sobre el perno.

Luego, para al diseño de la junta empernada se asumió el uso de pernos de acero galvanizado M6x1x19, cuyas propiedades se muestra en la tabla 2.8:

Tabla 2.8. Propiedades físicas y mecánicas de perno M6x1x19.

Propiedades	Valores
Resistencia de prueba mínimo (S_p)	310 MPa
Resistencia de fluencia mínimo (S_y)	340 MPa
Resistencia a tensión mínimo (S_t)	420 MPa
E_{acero}	207 GPa
Área de esfuerzo por tensión, A_t	20.12 mm ²

Se procedió al cálculo de la precarga, mediante la ecuación 1.14:

$$F_i = 0,9S_pA_t$$

Luego se calculó la longitud total roscada, sin rosca y roscada dentro de junta mediante la ecuación 1.15, 1.16, 1.17 respectivamente:

$$L_T = 2d + 6 \text{ mm}$$

$$L_d = L - L_{cuerda}$$

$$L_t = l - L_s$$

Donde la rigidez del perno (k_b) está dada por la ecuación 1.18:

$$k_b = \frac{A_d A_t E_b}{A_d L_t + A_t L_d}$$

Luego se calculó la rigidez del material (k_m), dada por la ecuación 1.19:

$$\frac{1}{k_m} = \frac{4l_{acero}}{\pi D^2_{ef1} E_{acero}} + 3 * \frac{4l_{Aluminio compuesto}}{\pi D^2_{ef2} E_{Aluminio compuesto}}$$

Luego se obtuvo la constante de rigidez C , con el fin de obtener la carga aplicada en el perno P_b y en el material P_m según las ecuaciones 1.20, 1.21, 1.22:

$$C = \frac{k_b}{k_m + k_b}$$

$$P_b = CP$$

$$P_m = (1 - C)P$$

De esta manera se obtuvo la carga de compresión F_m en el material y la carga de tensión F_b en el perno, dado por 1.23 y 1.24:

$$F_b = F_i + P_b$$

$$F_m = F_i + P_m$$

Y finalmente se calculó el esfuerzo de tensión máximo en perno y su respectivo factor de seguridad contra fluencia, dado por 1.25 y 1.26:

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_t}$$

$$n_y = \frac{S_y}{\sigma_b}$$

Y luego se calculó la carga requerida (P_0) para separar la junta y el factor de seguridad contra separación ($N_{separación}$) con las ecuaciones 1.27 y 1.28:

$$P_0 = \frac{F_i}{(1 - C)}$$

$$N_{separación} = \frac{P_0}{P}$$

2.7.3 Proceso de simulación de junta empernada

Para su simulación, se aplicó la carga total F_T en el extremo superior del pie de amigo de 304.8 *355.6 mm y a su vez ubicando a la junta empernada como soportes fijos, tal como se muestra en la figura 2.13:



Figura 2.13 Aplicación de fuerza total F_T en el extremo superior del pie de amigo.

2.8 Diseño de estructura externa de robot de desinfección

Luego de ensamblar la estructura interna del robot móvil de desinfección, se procedió al diseño 3D de su cubierta, como se muestra en la Fig. 2.14:

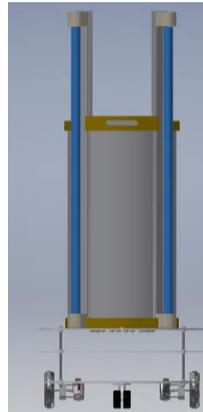


Figura 2.14 Diseño 3D de estructura externa del robot “CoviBot”.

2.8.1 Método de selección de material para diseño y ensamble de la cubierta.

Para el respectivo estudio de selección de materiales se listó las propiedades mecánicas y físicas de los posibles materiales, como se muestra en la tabla 2.9:

Tabla 2.9. Propiedades mecánicas de materiales para cubierta del 'CoviBot'.

Material	Dimensiones [mm*mm]	Espesor [mm]	Peso [Kg]	Resistencia a la fluencia [Mpa]	Resistencia a la tracción [MPa]
Plancha de aluminio Liso H14	1220*2440	0,7	5,61	95	127
Plancha de acero inoxidable 201	1000*2000	0,5	11,89	247	641
Plancha de acero inoxidable 304	1220*2440	0,5	11,89	176	479

Según los resultados mostrados en la tabla 2.9 y 3.10, apuntaron que la plancha de aluminio liso H14 es la mejor opción para ser el recubrimiento del equipo, además de su costo y peso relativamente bajo.

2.8.2 Diseño de guías riel para la ubicación de cubierta

Durante el diseño surgió un problema con la ubicación de la cubierta alrededor de los focos por ende se diseñaron guías en forma de riel circulares con ranuras de 2 mm para colocar la cubierta. Y para la fabricación de estas guías se recurrió a la impresión 3D usando como material base el ácido poliláctico (PLA) (ULTIMAKER, 2017), cuyas propiedades se muestran en la tabla 2.10. Los planos de las guías mencionadas se encuentran en la sección de anexos.

Tabla 2.10. Propiedades mecánicas y físicas de PLA.

Propiedad	Valores
Densidad	1240 Kg/m ³
Peso neto	1 Kg
Módulo de elasticidad a la tracción	2346,5 MPa
Esfuerzo de tracción a la rotura	45,6 Mpa
Resistencia a la flexión	103 MPa
Dureza	83 (Shore D)
Transición vítrea	60°C
Temperatura de fusión	145-160 °C

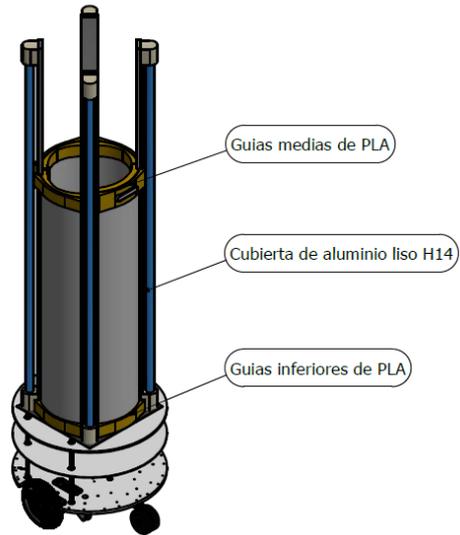


Figura 2.15 Ubicación de guías inferiores y medias alrededor de focos UV-C T8.

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

3.1 Cálculo de cargas vivas y muertas presentes en cada uno de los pisos

Previo a la selección de material para el diseño de los pisos 2 y 3 se define los esfuerzos máximos que los niveles van a soportar en función de la carga ejercida por todos los componentes o dispositivos, por lo tanto, se lista la carga que ejerce cada uno de los componentes:

Tabla 3.1. Dispositivos presentes en el nivel 3 del 'CoviBot'.

Cargas por equipos en planta 3						
Equipo	Cantidad	Masa [kg]	Total masa [Kg]	Materiales	Dimensiones [bxh] mm ²	Ancho [mm]
Lampara UV-C T8	4	0,132	0,528	Cuarzo y gas	D 30 mm	
Socket T8	8	0,101	0,808	Policarbonato	45*50	55
Marco de luces (aluminio)	4	0,24	0,96	Aluminio	50*1300	11,5
Pie de amigo 305*355 mm	4	0,25	1	Acero		2
D 435i(Cámara de profundidad)	1	0,073	0,073	Aluminio	90*25	25,5
Guias de focos-Impresiones 3D	12	0,097	1,164	PLA		
Cubiertas	8	0,425	3,4	Aluminio liso H14	175*779	0,7
Masa total piso 3			7,933 Kg			
Peso total en piso 3			77,82273 N			

Tabla 3.2 Dispositivos presentes en el nivel 2 del 'CoviBot'.

Cargas por equipos en planta 2						
Equipo	Cantidad	Masa [Kg]	Total masa [Kg]	Materiales	Dimensiones [bxh] mm ²	Ancho [mm]
RP LIDAR (Mapeo y localización)	1	0,219	0,219	Polietileno	70*98,5	60
T 265 (Odometría, localización)	1	0,054	0,054	Aluminio	108*25	30
Masa total piso 2			0,273	Kg		

Tabla 3.3 Dispositivos presentes en el nivel 1 del 'CoviBot'.

Cargas por equipos en planta 1						
Equipo	Cantidad	Masa [Kg]	Total masa [Kg]	Materiales	Dimensiones [bxh] mm ²	Ancho [mm]
Jetson Nano	1	0,23	0,23	Polietileno	106,9*85,1	32
Tarjeta DH-V10 (Driver motor)	1	0,038	0,038		65*75	2
ESP 32 (Comunicación)	1	0,009	0,009	Polietileno	54*27	2
Placa de distribución de potencia	1	0,25	0,25	Polietileno	150,3*90	40
Step Down 5V 5A	2	0,05	0,1	Polietileno	60*20	2
Inversor 12VDC-110VAC	1	1	1	Aluminio	220*100	55,5
Masa total piso 1			1,627 Kg			

Tabla 3.4 Equipos y materiales presentes en la parte inferior del nivel 1.

Cargas en bandeja de baterías sujetadas por bloque de rodamientos						
Equipo	Cantidad	Masa [Kg]	Total masa [Kg]	Materiales	Dimensiones [bxh] mm ²	Ancho [mm]
Baterías	2	2,054	4,108		147,5*65,5	94,7
Bandeja de baterías	1	1	1	High density PE	300*150	10
Masa total en bandeja de baterías			5,108	Kg		

Tabla 3.5 Elementos representando las cargas muertas presentes en el CoviBot.

Cargas muertas						
Elementos	Cantidad	Masa[Kg]	Total masa [Kg]	Materiales	Área mm ²	Ancho [mm]
Superficies redondas (Pisos 2 y 3)	3	0,25	0,75	Aluminio compuesto	0,159	12,5
Varillas de M6*250 mm	4	0,15	0,6	Acero galvanizado	31,669	250
Base de robot Arlo	1	2	2	High density PE	0,159	10
Pernos M6 y arandelas	1	0,5	0,5	Acero galvanizado		
Total de masa de cargas muertas			3,85 Kg			
Total de cargas muertas			37,7685 N			

Tabla 3.6 Cálculos totales de cargas vivas y muertas aplicadas sobre el equipo.

	Kg	N
Carga viva	14,991	147,06171
Carga muerta	3,85	37,7685
Carga total en equipo de desinfección	18,841	184,83021
Capacidad de carga de motores de engranaje de CC con accionamiento helicoidal montada en bloques de aluminio macizo 6061	27,27	266,96

Según la tabla 3.6, se determinó las cargas totales que actúan sobre el CoviBot, en primer lugar está la carga viva detallada en las tablas 3.1, 3.2, 3.3, 3.4, con un total de 147.06 N más la carga muerta total de 37.76 N, proveen al robot móvil de desinfección una carga total de 184.83 N. Luego se acudió a la ficha técnica de los motores de engranaje de 12V DC de la base móvil Arlo (PARALLAX, 2021), la cual detalla que la capacidad de carga útil de los motores es de 60 Libras lo que equivale a 266.96 N. Finalmente se comprueba que la carga de 184.83 N que representa el robot de desinfección, puede ser manejada por esos motores.

3.2 Cálculo de esfuerzo máximo en el centro de nivel 3.

- Ubicación de cargas y soportes fijos:

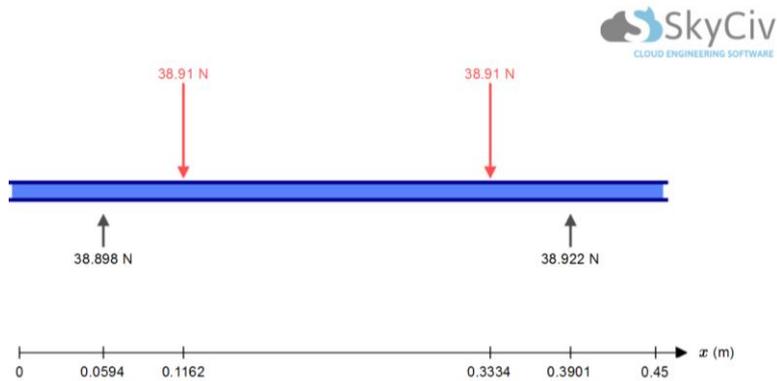


Figura 3.1 Distribución de los 77.82 N en dos cargas de 38.91 N en el nivel 3.

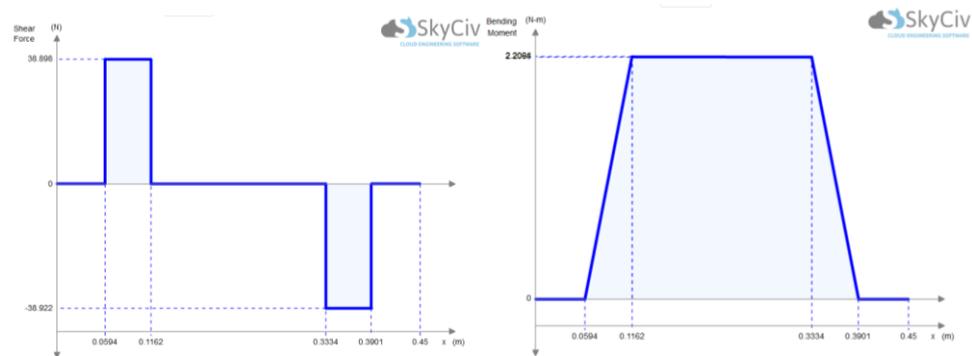


Figura 3.2 Diagramas a) Esfuerzo cortante y b) Momento en el nivel 3 del CoviBot.

Según las gráficas 3.1 y 3.2, los valores de momento y cortante máximo de son 2.2 Nm y 38.89 respectivamente, y sus esfuerzos son:

$$\sigma_x = \frac{(2.2 \text{ Nm})(3 * 10^{-3})m}{1.8 * 10^{-9} m^4} = 3.6 \text{ MPa}$$

$$I = \frac{b * h^3}{12} = \frac{(0.1m) * (6 * 10^{-3})^3}{12} = 1.8 * 10^{-9} m^4$$

Por otra parte, el esfuerzo cortante es:

$$\tau_{xz} = \frac{3V}{2A} = \frac{3 * (38.89N)}{2 * (0.1 * 0.006)m^2} = 97.20 \text{ KPa}$$

Donde su esfuerzo cortante máximo y los esfuerzos principales son:

$$\tau_{m\acute{a}x} = \sqrt{\left(\frac{3.6 * 10^6 Pa - 0}{2}\right)^2 + (97.2 * 10^3 Pa)^2}$$

$$\tau_{m\acute{a}x} = 1.80 MPa$$

Y sus esfuerzos principales son:

$$\sigma_A = \frac{3.6 MPa + 0}{2} + 1.80 MPa = 3.6 MPa$$

$$\sigma_B = 0$$

$$\sigma_C = \frac{3.6 MPa + 0}{2} - 1.80 MPa = 0$$

En base a la teoría de Mohr modificado para materiales frágiles, se procede al cálculo del factor de seguridad para materiales frágiles para confirmar que los esfuerzos principales no excedan la resistencia del aluminio compuesto y para ello:

$$N = \frac{113 * 10^6 Pa}{3.6 * 10^6 Pa} = 31.4$$

3.2.1 Resultado de simulación en nivel 3

Luego del cálculo manual, se procedió a realizar la respectiva simulación para validar dichos valores mediante el uso del programa ANSYS Static Structural, versión estudiantil. Vale recalcar que la ficha técnica no establece la densidad exacta de una plancha de aluminio compuesto por ende se realizó el cálculo de su densidad:

$$Masa_{promedio} = \left(4.6 \frac{Kg}{m^2}\right) * (2.9768 m^2) = 13.693 Kg$$

$$Densidad_{promedio} = \frac{13.693 Kg}{(2.9768 m^2) * (3 * 10^{-3} m)} = 1532.96 \frac{Kg}{m^3}$$

Luego de establecer las propiedades, mallado, cargas y restricciones se corre la simulación, obteniendo:

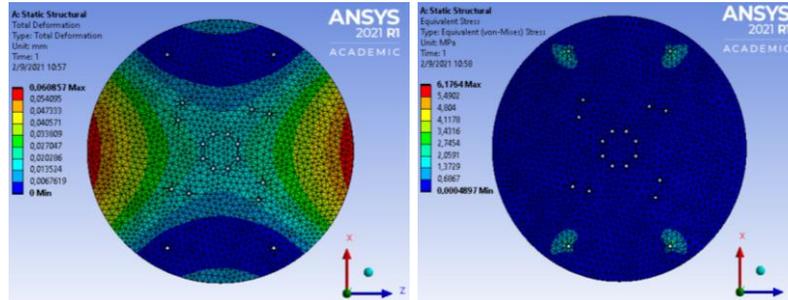


Figura 3.3. Simulación en nivel 3 a) Deformación total; b) Esfuerzos de Von Mises.

Según la figura 3.3, el aluminio compuesto presenta una deformación máxima de 0.06 mm y zonas con esfuerzos máximos de 6 MPa y un factor de seguridad de 15. Por otra parte, manualmente se obtuvo que el esfuerzo máximo es de 3.8 N y un factor de seguridad para materiales frágiles bajo carga estática de 31. Por lo tanto, al tener esfuerzos máximos menores que la resistencia del material y factores de seguridad altos, hacen que el aluminio compuesto sea adecuado para la fabricación de los pisos 2 y 3.

3.3 Cálculo de diámetro mínimo requerido para columnas

En primer lugar, se establece la carga total (P) que las columnas soportarán, es decir:

$$P = \text{Carga de piso 2} + \text{Carga de piso 3} + \text{Cargas muertas}$$

$$P = (0.273 \text{ Kg}) \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) + (7.933 \text{ Kg}) \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) +$$

$$(0.25 + 0.15 + 0.5 \text{ Kg}) \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) = 89.32 \text{ N}$$

$$P = 89.98 \cong 100 \text{ N}$$

$$P_4 = 100 \text{ N} * 4 = 400 \text{ N}$$

Luego se calculó el diámetro mínimo requerido para evitar la inestabilidad, mediante la ecuación de Euler:

$$d = \sqrt[4]{\frac{64(400\text{N})(250 \times 10^{-3}\text{m})^2}{\pi^3(1,2) \left(206,86 \times 10^9 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}\right)}} = 3.20 \times 10^{-3}\text{m} = 4\text{mm}$$

Por lo tanto, se obtiene un diámetro mínimo recomendado de 4 mm, pero en el mercado local lo más cercano a 4 mm es la varilla roscada de acero galvanizada de 6.35 mm, grado SAE 2, las cuales poseen una resistencia a la tensión mínima S_y *mínimo* de 393 MPa.

Luego se verificó si se trata de Euler:

$$\left(\frac{L}{k}\right) = \left(\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot C \cdot E}{S_y}\right)^{\frac{1}{2}} = \left(\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot (1,2) \cdot \left(207 \times 10^9 \frac{N}{m^2}\right)}{356 \times 10^6 Pa}\right)^{\frac{1}{2}} = 117$$

3.3.1 Resultado de simulación para columna.

Se realizó la simulación en ANSYS Static Structural, versión estudiantil, para ello primero se definió sus propiedades mecánicas, luego se usó un mallado de 10 mm, soportes fijos en la parte inferior y cargas en la parte superior y al ejecutarlo se obtiene:

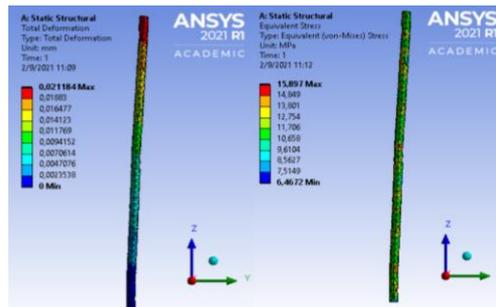


Figura 3.4. Simulación en columnas a) Deformación máxima; b) Esfuerzo máximo.

Según las gráficas 3.4, se deduce que las deformaciones máximas serán de 0.02 mm ubicada en el extremo superior y que el esfuerzo máximo será de 15.89 MPa, por lo tanto, la varilla roscada galvanizada grado 2 es la elección adecuada porque su resistencia a la tensión es de 393 MPa.

3.4 Cálculo de juntas empernadas en la base de focos UV-C

Luego del análisis de las varillas se procedió a la selección de perno y cálculo de factor de seguridad de junta empernada en los pies de amigo. Para ello se

determinó la fuerza total (F_T) que actúa en el centro de gravedad (CG), dado por la ecuación:

$$F_T = F_D + W_{foco}$$

En primer lugar, se calculó la fuerza de arrastre y para esto se obtiene el número de Reynolds:

$$Re = \frac{VD_s}{\gamma} = \frac{(1 \text{ m/s})(60 * 10^{-3} \text{ m})}{(1,56 * 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s})} = 3846 \approx 4000, \text{ turbulento.}$$

$$A_D = [1,3 \text{ m} * (60 * 10^{-3} \text{ m})] = 0,078 \text{ m}^2$$

$$F_D = \frac{1}{2} \left(1,184 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right) \left(1 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)^2 (2,1)(0,078 \text{ m}^2) = 0,097 \text{ N} \approx 1 \text{ N}$$

Y luego se consideró una posible rotura de la junta empernada por el volcamiento de los focos por acción del peso total de los focos UV-C, 77.82 N, ver tabla 3.1, pero como son 4 focos, cada foco pesó 19.5 N, obteniendo que la fuerza total que actúa sobre el centro de gravedad de un foco es:

$$F_T = 1 \text{ N} + 19,5 \text{ N} = 20,5 \text{ N}$$

Luego se procedió a calcular la fuerza que actuará sobre los pernos llamada F_p , cuyo desarrollo se demuestra en figura 2.12:

$$F_p = P = \frac{(20,5 \text{ N})(0,613 \text{ m})}{(61,52 * 10^{-3} \text{ m})} = 204,27 \text{ N}$$

Luego para determinar el tamaño adecuado de los pernos, factores de seguridad contra fluencia y separación bajo carga estática, se asumió pernos de acero galvanizado M6*1*19 mm, cuyas propiedades mecánicas y físicas fueron listadas en la sección de metodología, y se obtuvo un valor de precarga de:

$$F_i = 0,9(310 * 10^6 \text{ Pa})(2,012 * 10^{-5} \text{ m}^2) = 5613,48 \text{ N}$$

En primer lugar, se obtiene la longitud roscada, L_T :

$$L_T = 2(6mm) + 6 mm = 18 mm$$

Donde la longitud de la parte sin rosca en el agarre es:

$$L_d = 19 mm - 18 mm = 1 mm$$

Y la longitud de la parte roscada en el agarre es:

$$l = l_{acero(pie\ de\ amigo)} + 3 * l_{Aluminio\ compuesto} + l_{arandela}$$

$$l = 1mm + 3 * 3mm + 1.5mm = 11.5 mm$$

$$L_t = 11.5 mm - 1 mm = 10.5 mm$$

Rigidez del perno fue:

$$k_b = \frac{(28.27mm^2)(20.12mm^2)(207 * 10^9 Pa)}{(28.27mm^2)(10.5 mm) + (20.12mm^2)(1mm)}$$

$$k_b = 371.423 * 10^6 N/m$$

Luego se procedió a calcular la rigidez del material:

$$D^2_{ef2} = D^2 - d^2 = (11 x 10^{-3})^2 - (6 x 10^{-3})^2 = 8.5 x 10^{-5} m^2$$

$$\frac{1}{k_m} = \frac{4 * (1 x 10^{-3})}{\pi(8.5 x 10^{-5} m^2)(207 * 10^9 Pa)} + 3 * \frac{4 * (3 x 10^{-3})}{\pi(8.5 x 10^{-5} m^2)(3,02 x 10^4 MPa)}$$

$$k_m = 220.44 * 10^6 N/m$$

*Factor de rigidez:

$$C = \frac{371.423 * 10^6 N/m}{220.44 * 10^6 N/m + 371.423 * 10^6 N/m} = 0,627$$

Carga en perno y material:

$$P_b = CP = (0.627) * (204.27 N) = 128.189 N$$

$$P_m = (1 - 0.627) * (204.27 N) = 76.081 N$$

Y sus cargas resultantes fueron:

$$F_b = 5613.48 N + 136.657 N = 5741.669 N$$

$$F_m = 5613.48 N - 67.613 N = 5537.399 N$$

Esfuerzo de tensión máximo en perno

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_t} = \frac{5741.669 N}{2.012 * 10^{-5} m^2} = 285 * 10^6 Pa$$

Factor de seguridad contra fluencia del perno de acero galvanizado de 6.35 mm de diámetro.

$$n_y = \frac{340 * 10^6 Pa}{285 * 10^6 Pa} = 1,19 ; \text{ solo para un perno.}$$

Luego se determinó la carga requerida para separar la junta y a su vez el factor de seguridad contra separación:

$$P_0 = \frac{5613.48 N}{(1 - 0,627)} = 15049.54 N$$

$$N_{separación} = \frac{15049.54 N}{204.27 N} = 73.674$$

$\cong 74$; El factor de seguridad es aceptable.

3.4.1 Resultado de simulación para junta empernada

Luego se realizó la respectiva simulación en ANSYS R1 Academic, aplicando la carga total de 20.45 N, en el extremo superior del pie de amigo y ubicando a la junta empernada como soportes fijos, obteniendo:

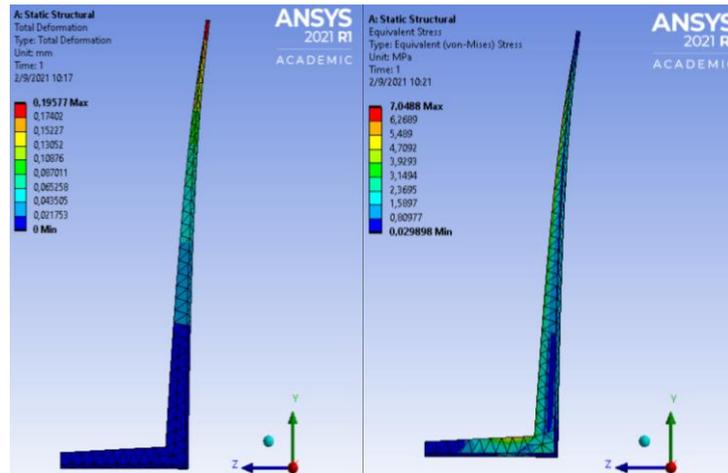


Figura 3.5 Simulación en pie de amigos a) Deformación y b) Esfuerzo máximo.

Según la figura 3.5, se observa tanto la deformación como el esfuerzo máximo que experimenta el pie de amigo, luego de aplicar la 20.45 N. Y según los resultados de la simulación se demostró que la deformación máxima será de 0.19 mm y el esfuerzo máximo será de 7.08 MPa, pero debido a que el perno M6 posee una resistencia de fluencia mínimo de 340 MPa, soportará la fuerza total (F_T). Por otra parte, el cálculo manual demostró que el perno y el material seleccionado satisface las cargas aplicadas debido a que se obtuvo un factor de fluencia de un perno de 1.19 y a su vez un factor de seguridad contra la separación de la junta de 74.

3.5 Cálculo de tiempo de dosificación de radiación UV-C.

Se procedió al cálculo del tiempo de dosificación de radiación UV-C recomendada para lograr una inactivación (retardo) del virus:

$$t = \frac{D_{UV}}{I} = \frac{5 \frac{mW * s}{cm^2}}{0.2mW/cm^2} = 25 s$$

Y para inactivación completa del virus:

$$t = \frac{D_{UV}}{I} = \frac{20 \frac{mW * s}{cm^2}}{0.2mW/cm^2} = 100 s$$

3.6 Cálculo de tiempo de dosificación de radiación UV-C.

Debido a la pandemia del COVID-19 que se vive actualmente, en este trabajo se presenta el diseño y construcción de un robot móvil para la desinfección de espacios cerrados llamado CoviBot, el cual posee tres niveles en la parte inferior del robot, de los cuales el nivel 2 y 3, medio y superior respectivamente, están fabricados de aluminio compuesto mientras que el nivel 1, inferior, vino como parte del Kit de la plataforma Arlo Parallax y está fabricada de polietileno de alta densidad. Por otra parte, posee 4 focos UV-C T8 los cuales posee una irradiación de $0.2 \frac{mW}{cm^2}$ y dispuestos de manera diagonal en la parte superior del nivel 3, garantizado un ángulo de apertura de irradiación de 360 y consigo una efectiva desinfección de la superficie y entorno. Además, posee una base móvil, parte del kit de la plataforma Arlo Parallax, la cual posee dos motores de engranajes de DC de tornillo sin fin, montado en bloques de aluminio macizo 6061, con un voltaje nominal de operación de 12V y es capaz de soportar hasta 27 Kg es decir 266.6 N. Mientras que en su parte exterior posee 4 cubiertas aluminio liso H14 de 775 mm de alto y 175 mm de ancho y de 0.7 mm de espesor, ubicadas en los espacios entre los focos, estas cubiertas se fijan en sus extremos mediante guías semicirculares de longitud circunferencial de 180 mm, impresas en 3D usando como material base el PLA.

Debido a que el nivel 3 alberga 4 focos UV-C, impresiones 3D, cubiertas y otros dispositivos hacen que sea uno de los niveles con mayor carga, ver tabla 3.1, por lo tanto, se buscó un material con considerable resistencia, ligero y económico es así que se optó por el aluminio compuesto cuya resistencia es de 113 MPa, su peso es de $4.6 \frac{Kg}{m^2}$ y su costo fue de \$23.98, haciendo que sea el material adecuado para el diseño.

Se observó que los niveles 2 y 3 generan carga sobre las columnas y esta carga al no exceder la carga crítica, usando factor de seguridad 4, garantizará que el uso de 4 varillas de M6*1*250 mm sea adecuada para actuar como columna para soportar y sujetar a los pisos 2 y 3. Y este análisis es evidenciado por la obtención de deformaciones irrisorias mediante la

simulación de elementos finitos de ANSYS STUDENT R1 y su respectiva modelación 3D mediante el uso del programa Autodesk Inventor Professional 2019 Versión estudiantil.

Debido a que el robot móvil realiza la desinfección mediante el uso de lámparas UV-C de 1.3 m de largo, el estudio de la junta empernada que une a estas lámparas con el nivel 3 es prioridad por lo tanto se usó pernos M6x1x19 mm y se obtuvo factores de seguridad contra la fluencia y contra la separación mayor a 1, lo cual garantiza la eficacia y seguridad en la junta. Además, vale recalcar que por la ubicación de los pies de amigo se colocó 4 pernos M6 espaciados correctamente, lo cual incrementa su fiabilidad.

El CoviBot en comparación con el Geek Plus Smart UV Robot (BOREAL, 2020), ambos poseen lámparas UV-C de longitud de onda de 254 nm. Su diferencia radica en que el Geek posee 6 lámparas UVC con una intensidad de $145 \frac{\mu W}{cm^2}$, pero el CoviBot posee 4 lámparas con una intensidad UV de $200 mW/cm^2$ haciendo que ambos tengan un alto rendimiento, pero el equipo diseñado tendrá una mayor dosificación. Ambos equipos poseen un estético les permite operar en varios espacios tales como hospitales, centros comerciales, hoteles, etc.

Por otra parte, está el equipo SpeedyCare TM 1500 (SpeedyCare, 2020) que, en comparación con el CoviBot, ambos usan lámparas UV-C de longitud de onda de 254 nm, pero el primero dispone de un juego de 20 lámparas mientras que el segundo solo posee 4. Y en el caso de SpeedyCare posee un chasis de acero inoxidable y aluminio mientras que el presente robot posee solo cubierta de aluminio complementada con piezas impresas en 3D usando PLA. Esto último repercute en el peso ya que para el SpeedyCare posee un peso de 59 Kg frente a los 18.84 Kg del robot móvil diseñado.

Se conoce que el robot de desinfección Keenon (KEENON, 2020) posee 4 lámparas UV-C de intensidad $200 \frac{\mu W}{cm^2}$ a una distancia de 1 m, al igual que el robot móvil diseñado. Pero Keenon usa un spray para la desinfección

mediante el efecto de pulverización con una capacidad de 15 L y posee un peso total de 60 Kg, pero por otra parte el robot móvil solo realiza desinfección mediante UV-C y con un peso de 18.84 Kg, pero gracias a su diseño modular deja abierta la posibilidad de posibles implementaciones.

Existe el robot móvil autónomo SafeRobot (Robotplus, 2019) el cual gracias a su diseño posee un ángulo de apertura 360° con 8 focos UV-C de 254 nm, pero el CoviBot solo posee 4 focos de igual longitud de onda. Pero el primero posee un peso de 200 Kg mientras que el robot diseñado solo alcanza los 18.84 Kg.

La empresa LG creó un robot autónomo (Pérez, 2020) para la desinfección y al igual que el CoviBot pueden moverse autónomamente gracias a sus sensores, y además ambos diseños lámparas UV-C con una longitud de onda de 265 nm, logrando desinfectar las superficies hasta un 99%.

En comparación con el UV Disinfection Robot (SmartGuard, 2021) de la empresa SmartGuard y el CoviBot, el primero posee una lámpara de xenon en la parte superior, dispuestas en ángulo de haz de 170° y gracias a su base móvil cubre los 360°; mientras que el CoviBot posee 4 lámparas UV-C dispuestas diagonalmente logrando un ángulo de apertura de 360°. El primero se encuentra completamente cubierto obteniendo un peso de 140 Kg, mientras que el CoviBot posee una cubierta de aluminio liso H14 en el área de los focos obteniendo un peso de 18.8 Kg.

El Spirit Ant UV-C disinfection robot (SPIRIT ANT, 2018) posee 6 lámparas UV de 36 W con una intensidad de radiación de $90 \frac{\mu W}{cm^2}$ y para ello usa una batería de 60 Ah (3 A durante 20 horas) pero el CoviBot posee 4 lámparas UV-C de 36 W e intensidad de $200 \frac{\mu W}{cm^2}$, ubicadas diagonalmente y están alimentadas por un par de baterías 12 V DC y 8 Amperios hora, dispuestas en paralelo. Además, vale recalcar que el primero posee un peso de 68 Kg, pero el CoviBot posee un peso de 18.8 Kg y gracias a que es modular, le da la posibilidad de futuras implementaciones.

3.7 Análisis de costos

3.7.1 Costos presentes en el ensamblaje de estructura interna

- **Costos presentes en la fabricación de niveles 2 y 3**

Previo a la compra del material se realizó un estudio de selección de materiales, el cual consistió en analizar en primer lugar las propiedades mecánicas de ciertos materiales para el diseño y fabricación de los niveles 2 y 3, tal como se detalló en tabla 2.6. En la presente sección se continuó con dicho estudio, para ello se realizó la cotización de estos materiales tal como se muestra en la tabla 3.7:

Tabla 3.7. Cotización de posibles materiales para la fabricación de niveles 2 y 3.

MULTIMETALES S. A.				
Material	Ancho x Largo [m x m]	Espesor [mm]	Unidades	Costo final
Plancha de Alum Comp	1,2 x 2,4	2,5 - 3	1	\$23,98
Plancha galvanizada	1,2 x 2,4	2,8 - 3	1	\$112,34
Plancha Inoxidable mate 304 2B	1,2 x 2,4	3	1	\$363,01
Plancha de auliminio liso H 14	1,2*2,4	4	1	\$127,58

DIPAC MANTA S. A.				
Material	Ancho x Largo [m x m]	Espesor [mm]	Unidad	Costo final
Plancha de Aluminio antideslizante	1,2 x 2,4	2,5 - 3	1	\$84,44
Plancha galvanizada	1,2 x 2,4	2,8 - 3	1	\$99,81
Plancha Inoxidable	1,2 x 2,4	3	1	\$279,33

Los costos obtenidos en la tabla 3.7, indican que la plancha de aluminio compuesto es el material adecuado por su bajo costo y además su selección es respaldada por la tabla 2.6.

Tabla 3.8 Costos finales para la compra de materiales y herramientas.

Costos finales			
Pernos Lumitec			
Descripción	Cantidad	Precio unitario	Total
Kilo de tuerca de 6 mm Galvanizada (Pisos)	24	\$ 0,04	\$ 0,85
Kilo anillo plano sencillo de 6 mm Galvanizada (Pisos)	24	\$ 0,04	\$ 1,06
Fijador de rosca azul de 6 ml Loctite	1	\$ 3,47	\$ 3,47
Llave mixta 11 mm stanley	2	\$ 2,65	\$ 5,30
Kilo de perno hexagonal M6*1*12 mm Galv. (Focos)	12	\$ 0,04	\$ 0,54
Kilo de perno hexagonal M6*1*19 mm Galv. (Focos)	16	\$ 0,05	\$ 0,73
Kilo de tuerca de 6 mm Galvanizada (Focos)	28	\$ 0,04	\$ 0,99
Kilo anillo plano sencillo de 6 mm Galvanizada (Focos)	28	\$ 0,04	\$ 1,23
Arco de sierra 12 mango antidelizante	1	\$ 4,90	\$ 4,90
Sierra sanflex de 18 dientes BAHCO	1	\$ 1,26	\$ 1,26
Varilla de roscada Galvanizada 6 mm*1 m	2	\$ 0,60	\$ 1,20
Tuerca de presion galvanizada 6 mm	24	\$ 0,04	\$ 0,96
Broca HSS de 6 mm DHW ALT	1	\$ 0,95	\$ 0,95
		Iva 12%	\$ 2,81
		Total	\$ 26,25
MegaMetales			
Descripción	Cantidad	P/Unit	Valor total
Panel Aluminio Compuesto 1200*2400*3mm Silver Natu	1	\$ 21,41	\$ 21,41
		Iva	2,57
		Total	\$ 23,98
Ferretria Reinoso			
Descripción	Cantidad	P/Unit	Valor total
Par de pie de amigo gris chino 305*355 mm	2	1,5	3
		Total	\$ 3,00

Tabla 3.9 Costos finales por concepto de transporte y mano de obra.

Transporte y mano de obra	
Taxi a MegaMetales	\$ 3,00
Alquiler de camioneta en MegaMetales	\$ 12,00
Corte de planchas en la mitad en Megametales	\$ 2,00
Total	\$ 17,00

Tabla 3.10. Costos finales en el ensamblaje de estructura interna del 'CoviBot'

Lugar y actividad	Descripción	Valor total
Pernos Lumitec	Pernos, tuercas y arandelas	\$ 26,25
MegaMetales	Panel Alum Comp	\$ 23,98
Ferreteria Reinoso	Pie de amigo	\$ 3,00
Transporte y mano de obra	Transporte y corte de Alum Comp	\$ 17,00
	Total	\$ 70,23

Luego de la compra de los materiales listados se procedió al respectivo ensamblaje de la estructura interna del equipo, tal como se muestra en el apéndice B, tabla B 1.

3.7.2 Costos presentes en el ensamblaje de estructura externa:

Luego de revisar las propiedades mecánicas de los materiales tal como se observa en la tabla 2.9, se procedió a realizar su respectiva cotización, como se muestra en la tabla 3.11.

Tabla 3.11. Cotización de materiales para la estructura exterior del ‘CoviBot’.

GERONETO S.A.				
Material	Ancho x Largo [m x m]	Espesor [mm]	Unidad	Costo final
Acero inoxidable mate 304-2B	1,2 x 2,4	0,5	1	\$48,81
Acero inoxidable mate 201-2B	1,2*2,4	0,5	1	\$29,13
MEGAMETALES				
Material	Ancho x Largo [m x m]	Espesor [mm]	Unidad	Costo final
Plancha de Aluminio liso H14	1,2 x 2,4	0,7	1	\$23,50
Plancha Inoxidable mate 304 2B	1,2 x 2,4	0,6	1	\$55,72

Según los resultados de la tabla 3.11, señalan que la plancha de aluminio liso H14 es la mejor opción debido a que su peso y costo es menor a la del acero. Y no influye la resistencia a la tracción de esta plancha debido a que la cubierta no soportará carga.

Tabla 3.12. Compra de plancha de aluminio H14.

MEGAMETALES S.A.				
Material	Ancho x Largo [mm* mm]	Espesor [mm]	Unidad	Costo final
Aluminio Liso H14	1200*2400	0,7	1	\$ 23,50
			SUBTOTAL	\$ 23,50
			IVA 12%	\$ 2,82
			VALOR TOTAL	\$ 26,32

3.7.3 Costos de impresiones 3D.

Debido a que se observó inestabilidad en la zona de los focos durante las pruebas de movimiento, se recurrió al diseño de piezas mecánica con el fin de que establezca y fije los 4 focos entre si y con el nivel 3 del “CoviBot”. Por ende, se diseñó las guías inferiores, medias, soporte de cámara y la estación de recarga usando la impresión 3D con PLA. En la tabla 3.13 se muestran los costos finales de la impresión 3D:

Tabla 3.13. Costos finales de impresiones 3D

Equipo	Unidades	Costo unitario	Costo total
Guías inferiores y medias en Zona de focos	7	\$ 45,00	\$ 315,00
Guía media y soporte de cámara D 435	1	\$ 45,00	\$ 45,00
Puerto de auto recarga	1	\$ 25,00	\$ 25,00
Soporte cámara T265	1	\$ 15,00	\$ 15,00
Total			\$ 400,00

3.7.4 Costos de componentes y dispositivos electrónicos

Debido a que el diseño del CoviBot depende tanto de la parte mecatrónica y mecánica, a continuación, en la tabla 3.14 se lista el costo final de los componentes electrónicos:

Tabla 3.14. Costos finales de equipos electrónicos, cortesía de Steven Silva.

Componentes Robot de Desinfección				
Equipo	Unidades	Costo Unitari	Costo Total	Fabricante/Proveedo
Plataforma Arlo Parallax	1	\$700.00	\$700.00	Parallax
Jetson Nano 2GB	1	\$60.00	\$60.00	Nvidia
RPLidar A1	1	\$100.00	\$100.00	SlamTech
Cámara D435	1	\$189.00	\$189.00	Intel
Cámara T265	1	\$209.00	\$209.00	Intel
Step Down 5V 5A	2	\$30.00	\$60.00	N/A
ESP32	1	\$12.00	\$12.00	Espressif
Inversor 12VDC – 110VAC	1	\$25.00	\$25.00	Suredom
Lamparas UV	4	\$11.00	\$44.00	N/A
Marcos Luces UV	4	\$3.00	\$12.00	N/A

3.7.5 Costo final de diseño

Tabla 3.15. Costo final de diseño de CoviBot.

Aporte	Costo
Extrutura interna	\$ 70,23
Extrutura externa (cubierta)	\$ 32,63
Impresiones 3D	\$ 400,00
Arquitectura electrónica	\$ 1.341,00
Total	\$ 1.843,86

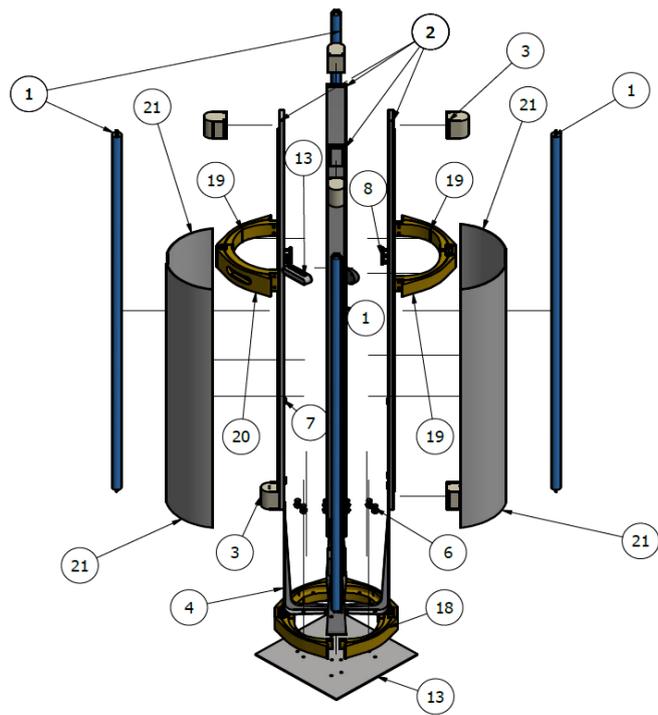


Figura 3.6. Vista explosionada de la zona de los 4 focos UV-C T8

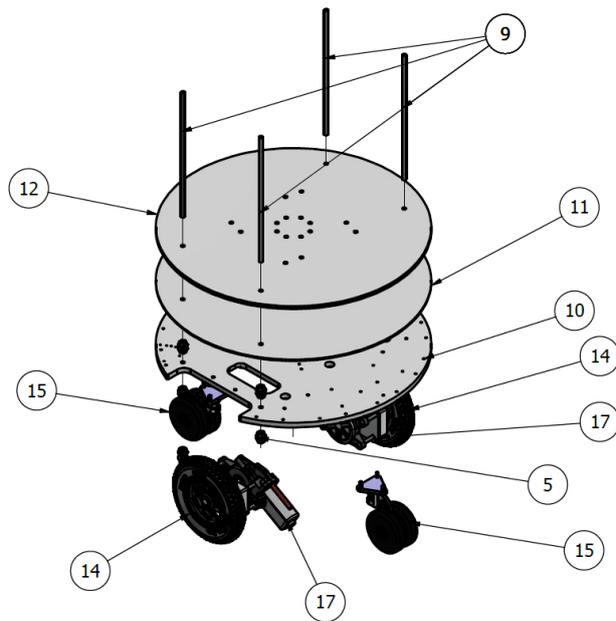


Figura 3.7. Vista explosionada de base móvil

Tabla 3.16. Elementos presentes en el diseño de la estructura interna del 'CoviBot'.

Elementos presentes en estructura interna		
Componentes estructurales		
Indice	Elementos	Descripción
1	Lampara UV-C T8	Potencia de 36 W, intensidad de 200 $\mu\text{W}/[\text{cm}]^2$
2	Marco de luces	Aluminio (Kit focos UV-C)
3	Sockets	Polietileno (Kit focos UV-C)
4	Pie de amigo	Dimensión de 305*355 y fabricados de acero
5	Tuercas y arandelas	De 6 mm de acero galvanizado
6	Pernos M6*1*19	Pernos de acero galvanizado
7	Pernos M6*1*12	Pernos de acero galvanizado
8	Pernos M6*1*25	Pernos de acero galvanizado
9	Columnas	Varillas roscada de acero galvanizado M6*1*250 mm
10	Nivel 1	Diámetro de 45 cm y fabricados con polietileno de alta densidad (Kit Arlo)
11	Nivel 2	Diámetro de 45 cm y fabricados con aluminio compuesto
12	Nivel 3	Diámetro de 45 cm y fabricados con aluminio compuesto
13	Base cuadrada	Base de 300*300 mm de aluminio compuesto
14	Llanta Knobby	De 154,23 mm de diámetro y espesor de 28 mm (Kit Arlo)
15	Ruedas Giratorias	Neumáticos de goma de 76 mm de diámetro (Kit Arlo)

Tabla 3.17. Dispositivos presentes en el diseño de la estructura interna del 'CoviBot'.

Componentes electronicos presentes en estructura interna		
	RP LIDAR	Usado para el mapeo y localización
	T 265	Usado para la odometría, localización
	Jetson Nano	Capacidad de 2GB
16	D 435i	Cámara de profundidad
	Step Down	De 5V, 5A
	ESP 32	Usada para la comunicación
	Inversor	De 12 V DC-110 V AC
	Baterias	Par de baterías 12 VDC y 8 Amperios hora (Kit Arlo)
17	Motor 12V-DC	Motores de engranaje de CC con accionamiento helicoidad en bloques de aluminio macizo 6061 (Kit Arlo)

Tabla 3.18. Elementos y dispositivos presentes en la estructura externa del 'CoviBot'.

Componentes estructurales presentes en estructura externa		
Indice	Elemento	Descripción
18	Guías inferiores	Impresiones 3D con PLA, ubicadas en la base de focos UV-C.
19	Guías medias	Impresiones 3D con PLA, ubicadas en la mitad de focos UV-C.
20	Guía para D 435 i	Diseñada exclusivamente para colocar la cámara D435 i
21	Cubiertas	Fabricadas en aluminio liso H14 de 0,7 mm de espesor
	Puerto de auto recarga	Impresión 3D para recargar baterías de robot (Diseñada por Steven Silva)
	Soporte de T265	Impresión 3D usada para fijar cámara T265 (Diseñada por Steven Silva)

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- Debido a que los esfuerzos máximos que va a soportar el nivel 3, obtenidos mediante análisis de elementos finitos de ANSYS STUDENT R1 y manualmente usando los criterios de falla bajo carga estática de materiales frágiles, no exceden la resistencia a flexión del aluminio compuesto hacen que este material sea adecuado para el diseño y fabricación de los niveles 2 y 3 del robot móvil de desinfección, CoviBot.
- Los resultados obtenidos en la simulación mediante ANSYS STUDENT R1 durante el diseño de las columnas confirman que la varilla de acero galvanizado es la opción adecuada debido a que sus esfuerzos aplicados fluctúan de 6 a 15 MPa lo cual no excede su resistencia última a la tensión que es de 356 MPa.
- Los resultados obtenidos en la simulación mediante ANSYS STUDENT R1 durante el diseño de las juntas empernadas confirman que el perno M6x1 de acero galvanizado es la opción adecuada debido a que sus esfuerzos aplicados sobre la junta van de 1 a 7 MPa, lo cual no excede su resistencia a la fluencia que es de 340 MPa.
- Al igual que el resto de los robots de desinfección posee una cubierta de aluminio liso H14 para garantizar que su limpieza sea fácil y rápida, y a su vez la cubierta se fija mediante guías semicirculares, impresiones 3D de PLA. Estas impresiones además de brindar estabilidad a los focos y cubierta se pueden ubicar a varias alturas y albergar cualquier dispositivo según el principio de modularidad.
- Se ensambló tanto la estructura interna como externa del CoviBot y a su vez se instalaron todos los componentes tanto electrónicos como

mecánicos sobre cada uno de los niveles del CoviBot obteniendo una excelente respuesta de la estructura debido a que no se observó flexión en cada uno de los niveles, ni pandeo en las columnas, pero sí se observó estabilidad del robot durante su avance y sin pérdida de potencia por parte de los motores.

- El uso cotidiano del equipo de desinfección mediante UV-C ayuda a reducir la escasez de recursos tales como agua, desinfectantes, gel de alcohol. Además, vale recalcar que en el caso de los desinfectantes y el alcohol no logran una desinfección efectiva de las superficies y entornos y en ocasiones repercuten en la salud de sus usuarios a corto o largo plazo.

4.2 Recomendaciones

- Si se desea usar materiales frágiles como el aluminio compuesto, es aconsejable usar pernos de cuerdas gruesas ya que al atravesar el material no lo estropeará durante su ingreso.
- En caso de usar soluciones desinfectantes hacerlo bajo recomendaciones del fabricante y con el respectivo equipo de protección adecuado, ya que caso contrario afectaría su efectividad o dañaría la superficie a desinfectar. (OMS, 2020)
- Debido a que la radiación UV-C es dañina para los ojos y la piel pudiendo generar eritemas cutáneos y conjuntivitis, es aconsejable usarla en ausencia de personas (OMS,2020).
- No ingresar a los espacios desinfectados inmediatamente después de la esterilización hecha por la lámpara UV-C y es recomendable esperar al menos 30 min.

BIBLIOGRAFÍA

- Aboubakr, H. A. (14 de Julio de 2020). *Stability of SARS-CoV-2 and other coronaviruses in the environment and on common touch surfaces and the influence of climatic conditions: A review*. Obtenido de National Center for Biotechnology Information: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7361302/>
- ASHRAE. (2011). ULTRAVIOLET AIR AND SURFACE TREATMENT. En *ASHRAE HANDBOOK 2011- HVAC Applications* (págs. 62.1-62.3). Georgia: ASHRAE.
- ASHRAE Standard 55. (2010). Elevated Air Speed. En *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy* (págs. 9-10). Atlanta: American National Standard.
- BOREAL. (10 de junio de 2020). *Geek Plus Smart UV Robot*. Obtenido de Robots AMR: <https://borealtch.com/producto/geek-plus-smart-uv-robot/>
- Budynas, R. (2008). Columnas largas con carga centrada. En *DISEÑO EN INGENIERÍA MECÁNICA DE SHIGLEY* (págs. 173-174). México: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
- Budynas, R. (2008). Constantes de condiciones finales de las columnas de Euler. En *DISEÑO EN INGENIERÍA MECÁNICA DE SHIGLEY* (págs. 175-176). México: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
- Budynas, R. G. (2015). Modificaciones de la teoría de Mohr para materiales frágiles. En *DISEÑO EN INGENIERÍA MECÁNICA DE SHIGLEY* (págs. 237-238). México.: McGraw-Hill Interamericana Editores, S.A.
- CDC. (15 de junio de 2021). *Limpieza de su establecimiento*. Obtenido de COVID-19: <https://espanol.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/community/disinfecting-building-facility.html>
- CHANGHONG, C. (2021). *T8 Germicidal Lamp UVC*. Obtenido de Special Lighting : <http://www.ch-lighting.com/productinfo/387308.html?templateId=1133605>
- Cotton, J. B. (2008). Mechanism of UV Disinfection-Inactivation mechanisms. En *The Ultraviolet Disinfection Handbook* (págs. 25-26). Colorado: American Water Works Association.
- DISTEC. (2020). *Ficha técnica e información general de planchas de aluminio compuesto*. Canal La Punta 8770, Workcenter Costanera, Módulo 7, Renca: DISTEC.

- EPA. (6 de julio de 2021). *List N Tool: COVID-19 Disinfectants*. Obtenido de About List N: Disinfectants for Coronavirus (COVID-19): <https://cfpub.epa.gov/wizards/disinfectants/>
- Griffiths, D. A. (17 de junio de 2020). *Signify y la Universidad de Boston validan la efectividad de las fuentes de luz UV-C*. Obtenido de Signify.
- INEN. (1989). Principios de representación y acotación. En *Código de dibujo mecánico* (págs. 10-97). Quito: BRUTUM FULMEN.
- ISO 15858. (07 de 2016). *UV-C Devices — Safety information — Permissible human exposure*. Obtenido de ISC-Standards Catalogue: <https://www.iso.org/standard/55553.html>
- Jarvis, M. C. (23 de November de 2020). *Aerosol Transmission of SARS-CoV-2: Physical Principles and Implications*. Obtenido de Frontiers in Public Health : <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpubh.2020.590041/full#B5>
- KEENON. (2020). *Disinfection Robot*. Obtenido de Create a New Future: https://www.keenonrobot.com/EN/Product/pro3.html?gclid=CjwKCAjw95yJBhAgEiwAmRrutKXmCmvvTIPkkQyznyYor8PF14FWLLN2ICrgPEozMQRt9YRrlqRZzRoCJogQAvD_BwE
- Kowalski, W. (2009). Ultraviolet Germicidal Irradiation (UVGI). En *Ultraviolet Germicidal Irradiation Handbook-UVGI for Air and Surface Disinfection* (págs. 1-2). New York: Springer Heidelberg Dordrecht London New York.
- Martin, S. B. (2008). *Ultraviolet Germicidal Irradiation-Current Best Practice*. Georgia: ASHRAE 2020.
- MATHIESEN, Y. R. (2008). *Aluminio Compuesto ALUMAT*. Quito: ACIMCO Sistemas Constructivos Modernos.
- McCORMAC, J. C. (2013). Especificaciones, cargas y métodos de diseño. En *DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE ACERO* (págs. 42-43). México: Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C. V.
- Mott, R. L. (2006). Análisis de esfuerzo y deformaciones. En *Diseño de elementos de máquinas* (págs. 102-104). México: Pearson Education.
- MSP. (06 de Agosto de 2021). *Actualización de casos de coronavirus en Ecuador*. Obtenido de Situación epidemiológica COVID-19, Nacional: <https://www.salud.gob.ec/actualizacion-de-casos-de-coronavirus-en-ecuador/>

- Munson, B. R. (1940). Physical Properties of Fluids: Physical Properties of Air at Standard Atmospheric Pressure (SI Units)a. En *Fundamentals of fluid mechanics* (pág. 741). United States of America: John Wiley & Sons, Inc.
- Neeltje van Doremalen, P. (16 de April de 2020). *Aerosol and Surface Stability of SARS-CoV-2 as Compared with SARS-CoV-1*. Obtenido de The New England Journal of Medicine: <https://www.nejm.org/doi/10.1056/NEJMc2004973>
- Neeltje van, D. (16 de april de 2020). *Aerosol and Surface Stability of SARS-CoV-2 as Compared with SARS-CoV-1*. Obtenido de The New: <https://www.nejm.org/doi/full/10.1056/nejmc2004973>
- NORTON, R. L. (2011). Sujetadores pre cargados a la tensión-Pernos precargados bajo carga estática. En *DISEÑO DE MÁQUINAS* (págs. 744-750). México: Pearson Educación.
- OMS. (15 de mayo de 2020). *Limpieza y desinfección de las superficies del entorno inmediato en el marco de la COVID-19*. Obtenido de Orientaciones técnicas sobre el nuevo coronavirus (2019-nCoV): <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/332168/WHO-2019-nCoV-Disinfection-2020.1-spa.pdf>
- OMS. (9 de julio de 2020). *Transmisión del SARS-CoV-2: repercusiones sobre las precauciones en materia de prevención de infecciones*. Obtenido de Orientaciones técnicas sobre el nuevo coronavirus (2019-nCoV): https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/333390/WHO-2019-nCoV-Sci_Brief-Transmission_modes-2020.3-spa.pdf?
- OPS. (11 de mayo de 2020). *Recomendaciones sobre seguridad química para elementos de limpieza y desinfección*. Obtenido de Pan American Health Organization (PAHO): <https://iris.paho.org/handle/10665.2/52165>
- PARALLAX. (2021). *Motor Mount and Wheel Kit – Aluminum*. Obtenido de Arlo Complete Robot System: <https://www.parallax.com/product/motor-mount-wheel-kit-aluminum/>
- Pérez, E. (15 de Diciembre de 2020). *Lo último de LG es un robot autónomo con luz ultravioleta para desinfectar habitaciones del coronavirus en 15 minutos*. Obtenido de XATAKA: <https://www.xataka.com/robotica-e-ia/ultimo-lg-robot-autonomo-luz-ultravioleta-para-desinfectar-habitaciones-coronavirus-15-minutos>
- Robotplus, S. (2019). *Robot móvil de desinfección ultravioleta: automático, seguro, limpio y eficiente*. Obtenido de Robotplus Saferbot:

<https://www.interempresas.net/Robotica/FeriaVirtual/Producto-Robot-movil-de-desinfeccion-ultravioleta-Robotplus-Saferbot-185742.html>

SmartGuard. (2021). *UV Disinfection Robot*. Obtenido de SmartGuard-Disinfection :

<https://smartguard-disinfection.com/products/uv-disinfection-robot/>

SpeedyCare, T. U. (2020). *Technical Specifications*. Obtenido de SpeedyCare™ 1500:

<https://www.speedycare.com/1500.php>

SPIRIT ANT. (2018). *Specification chart*. Obtenido de The Spirit Ant UVC disinfection

Robot Start up a new virus-killing Mode.: <http://turing-era.com/en/h-col-142.html>

ULTIMAKER. (2017). *Ficha de datos técnicos PLA*. Países Bajos: PLA Ultimaker.

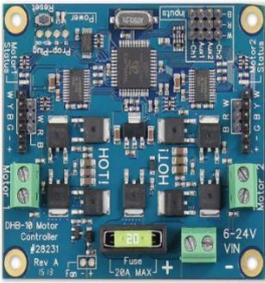
White, F. M. (1998). Drag of Immersed Bodies . En *Fluid Mechanics: 4th (fourth)* (págs. 458-459). South Kingstown: McGraw-Hill Higher Education.

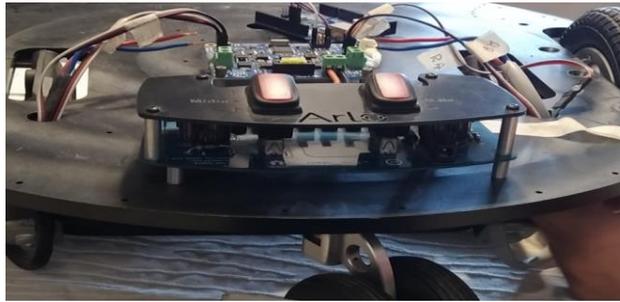
APÉNDICES

APÉNDICE A- DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS PRESENTES EN LOS NIVELES DEL ROBOT MÓVIL DE DESINFECCIÓN

Durante el listado de materiales presentes en cada uno de los pisos, se añade una visualización de cada uno de los componentes:

Tabla A 1. Dispositivos presentes en nivel 1

 <p>Jetson Nano (Mini computadora, ejecuta imágenes, detección de objetos y segmentación simultáneamente, 5 V)</p>	 <p>Dual H Bridge Motor Control (Accionamiento de micromotores)</p>
 <p>Procesador Esp32 (Comunicación de velocidades, proporciona WIFI, Bluetooth)</p>	 <p>Step Down (Energizar Jetson nano, entrega voltaje de salida constante e inferior al voltaje de entrada)</p>
 <p>Inversor (Power inverter 1000W)</p>	 <p>Motor de engranaje de 12V DC con neumático Knobby de caucho de 153 mm y ancho de 28 mm con tubo.</p>



Tarjeta o placa de distribución de potencia (Posee varias ranuras de contacto con batería, protección de voltaje y distintos buses de alimentación).

Tabla A 2. Elementos presentes en nivel 2.



Cámara T625 (Sensor de movimiento, mapeo y localización simultánea)



RP LIDAR (Su frecuencia de muestreo permite el mapeo de forma rápida y precisa)

Tabla A 3. Elementos presentes en nivel 3



Focos UV-T8



Sockets



Perfil de aluminio (canaleta)



Pie de amigo de 12"-14".



Cámara D435 (Profundidad, amplio campo de visión, alcance 10 m)

APÉNDICE B - PROCESO DE ENSAMBLE DE ROBOT MÓVIL DE DESINFECCIÓN

A continuación, se presentan imágenes del proceso de fabricación del robot móvil de desinfección, "CoviBot".

Tabla B 1. Proceso de ensamble del 'CoviBot'.



Corte de secciones cuadradas de la plancha de aluminio compuesto, usando una sierra manual.



Corte de superficies circunferenciales de 449.85 mm mediante el uso de la caladora.



Desmantelamiento de base móvil previo a la instalación de varillas.



Corte de varillas roscadas de acero galvanizado en secciones de 25 cm.



Perforación de superficies circunferenciales usando taladro de con broca de 6 mm.



Ubicación de varillas de 6.35 mm de diámetro en Base Arlo de polietileno de alta densidad.



Ubicación de pisos 2 y 3 soportados mediante 4 varillas de 6.35 mm de diámetro.



Corte de base de pie de amigo de acero galvanizado a 12 cm, usando una cortadora.



Ubicación de nuevas perforaciones en pie de amigos, tanto en su base de apoyo como en la de sujeción.



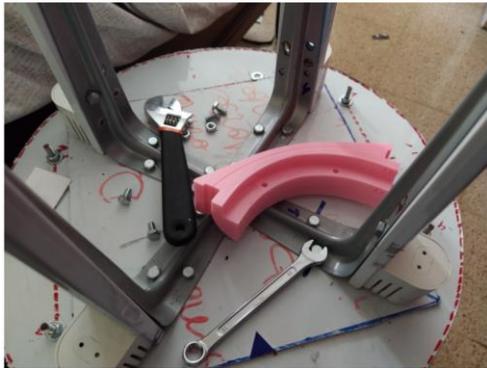
Perforación de perfiles de aluminio de focos UV-T8 usando como guía las perforaciones de los pies de amigo.



Ensamblaje final de perfiles de aluminio de los focos UV en piso 3.



Impresión 3D de guías inferiores usando PLA.



Instalación de Guías inferiores en base de focos UV-C.



Diseño e instalación de guías medias en marcos de focos UV-C.



Instalación de cubierta inferiores fabricadas de aluminio liso H 14, en la zona de los focos UV-C.



Vista frontal de robot móvil de desinfección, CoviBot.



Funcionamiento de robot móvil para la desinfección de espacios cerrados, CoviBot.

APÉNDICE C- TABLAS DE PROPIEDADES MECÁNICAS DE MATERIALES

Aluminio Compuesto Alumat

> DATOS TÉCNICOS

PROPIEDADES MECÁNICAS

Item	Resultados Test
Resistencia a la Flexión	113 MPa
Modulo de Flexión	3.02 x 10 ⁴ MPa
Resistencia a la Penetración	9.00 kN
Resistencia al Corte (Cizalle)	28.92 MPa
Resistencia al Desprendimiento (180°)	11.90 N/mm

PROPIEDADES TÉRMICAS

Item	Resultados Test
Resistencia al Ciclo de Temperatura	Sin cambio
Coefficiente de Expansión Térmica	1.28 x 10 ⁻⁵ oc ⁻¹
Desviación de carga de temperatura	105 o

Figura C 1. Propiedades del aluminio compuesto Alumat, extraído de Mathiesen.

Por otra parte, el catálogo de Alumat no detalla la densidad promedio de aluminio compuesto por ello se acude a la ficha técnica de planchas de aluminio compuesto (DISTEC, 2020), de la cual se conoce que:

INFORMACIÓN GENERAL

CARACTERÍSTICAS

- placas livianas
- se pueden plegar en frio
- placa manuable
- alta resistencia a las condiciones climáticas

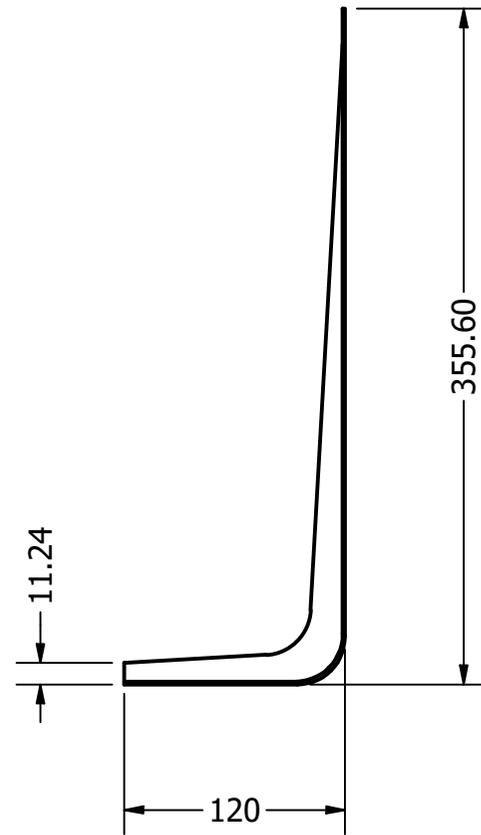
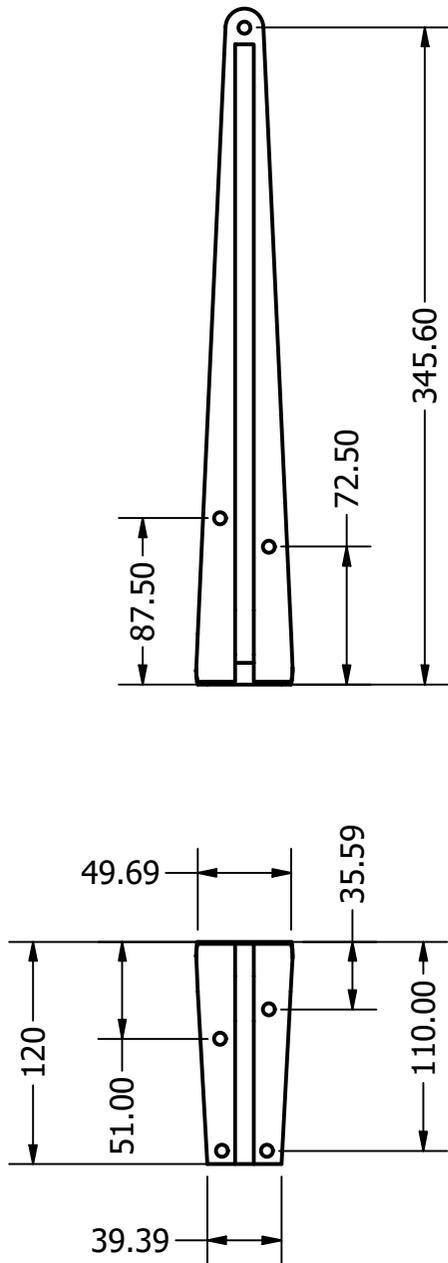
Producto	Espesor		Peso (gr/m2)	Ancho* (mm)	Largo* (mm)	Colores disponibles	Colores especiales**
	(mm)	(in.)					
Aluminio Compuesto	3 (Espesor aluminio: 0.2)	0.118	4.6	1220	2440	Blanco, gris metalizado, amarillo, azul, rojo y negro.	A pedido
	4 (Espesor aluminio: 0.4)	0.157	5.5	1500	5000	Blanco y gris metalizado.	

* Largo ± 3mm, Ancho ± 2 mm

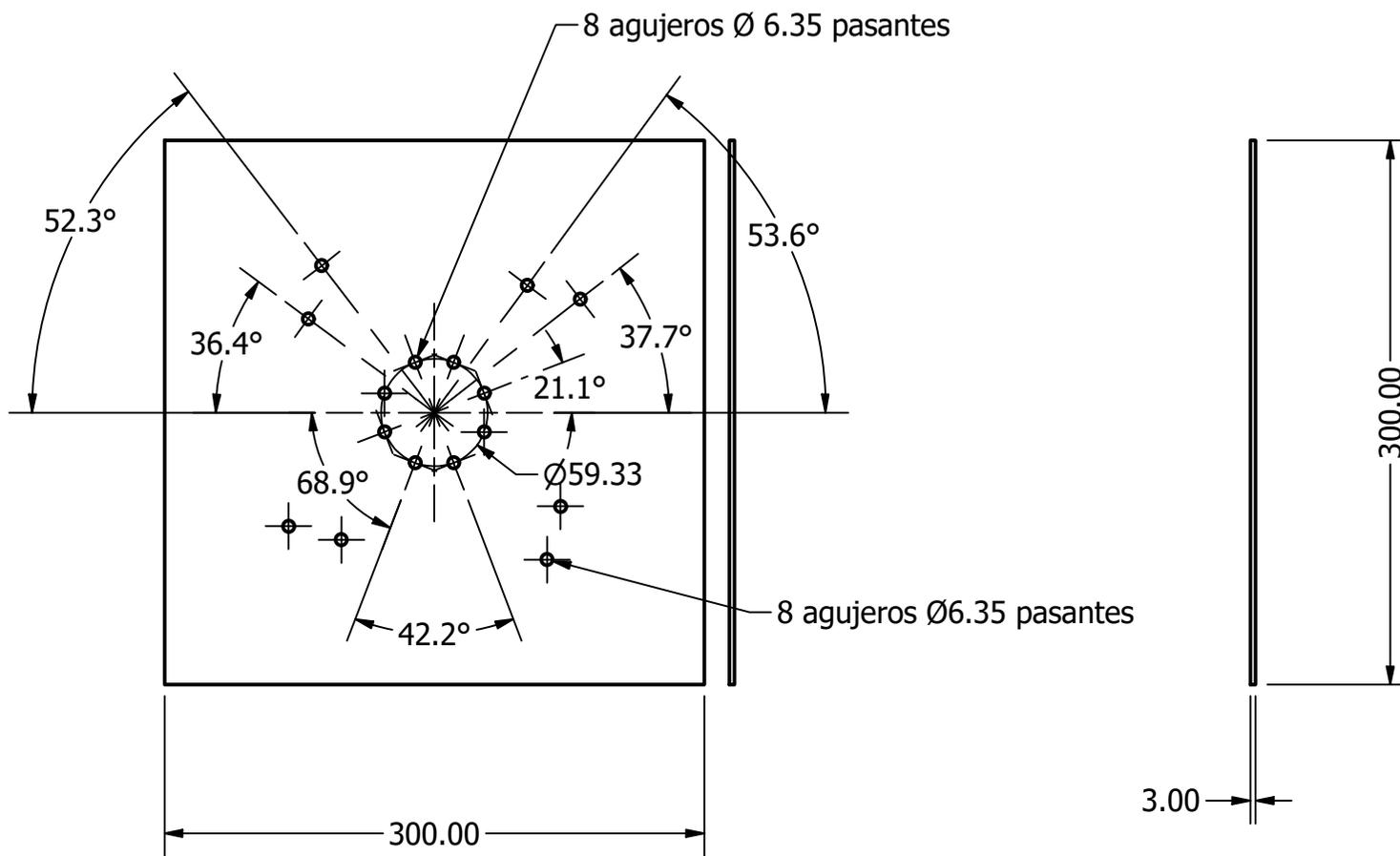
**Sujeto a cantidades mínimas de pedido, póngase en contacto con la oficina de ventas para más información.

Figura C 2. Propiedades físicas del aluminio compuesto extraída de DISTEC.

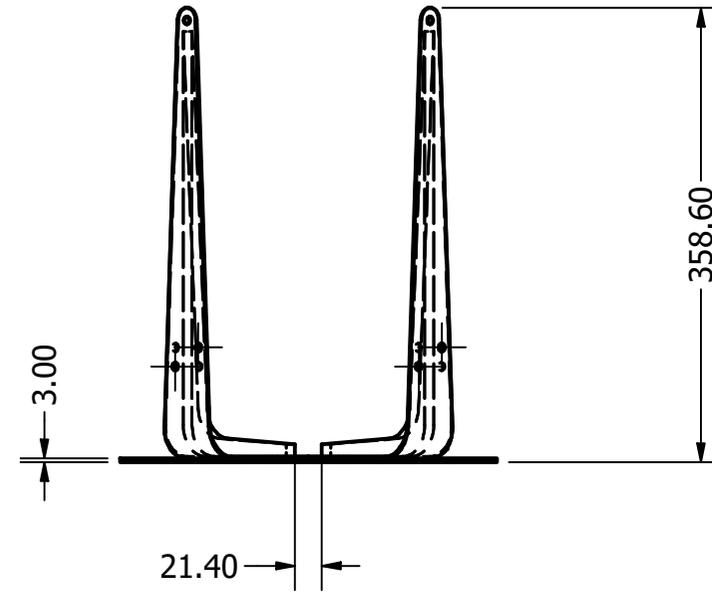
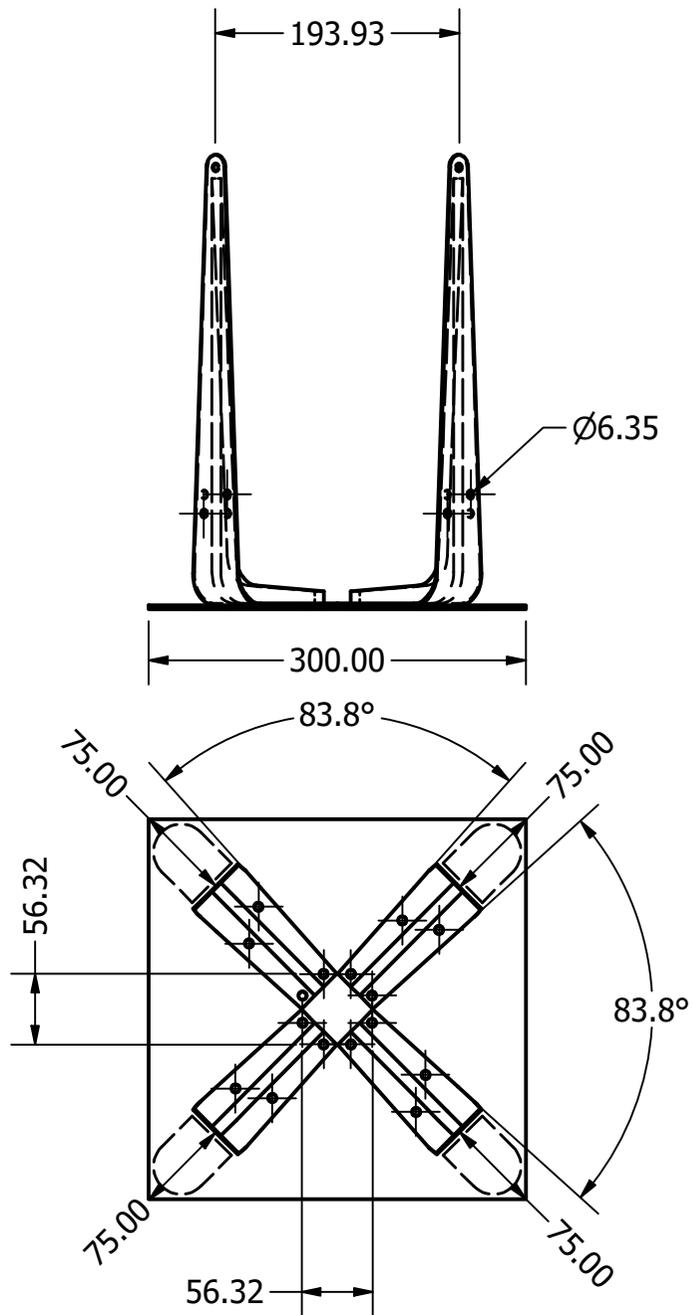
APÉNDICE D - PLANOS



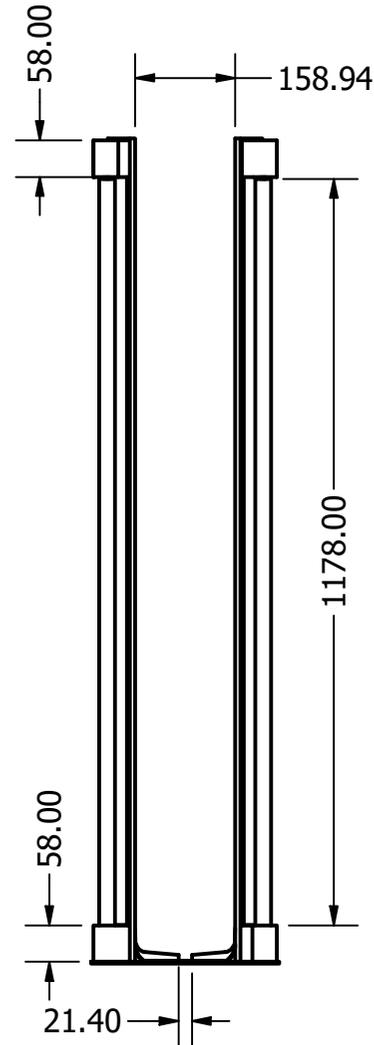
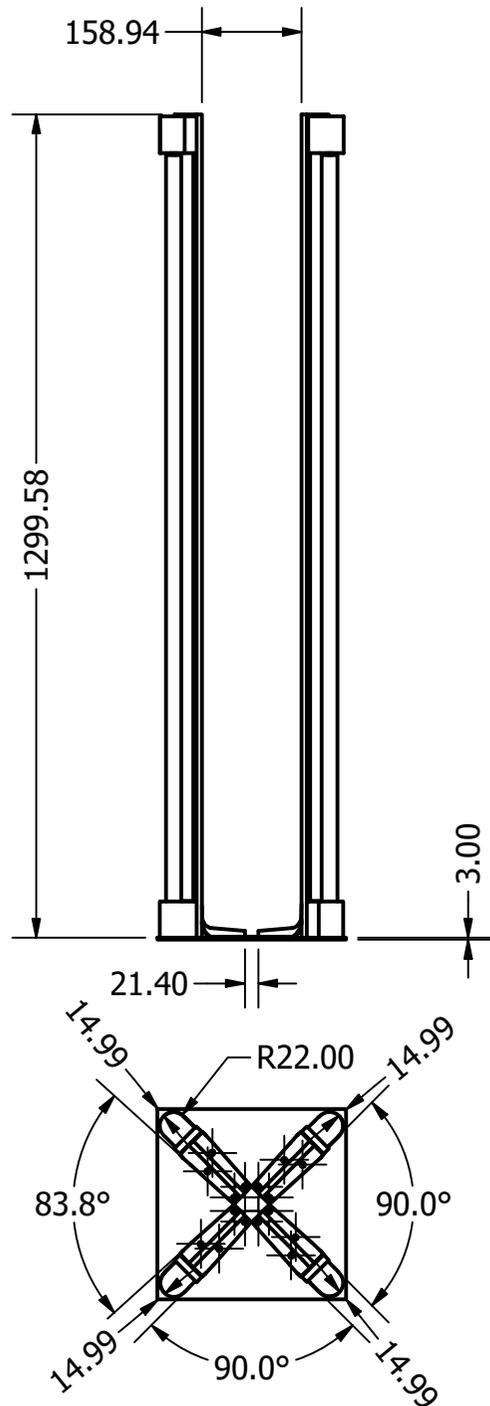
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN		Docente:	Ing. Loaiza
		Alumno:	Allauca P.
		Paralelo:	1
		Fecha:	7/7/2021
Materia integradora Pie de amigo de 120x355 mm		Lámina:	1
Escala: 1:4 I Término			



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN		Docente:	Ing. Loaiza
		Alumno:	Allauca P.
		Paralelo:	1
		Fecha:	7/7/2021
Materia integradora		Lámina:	2
		Base de aluminio compuesto de 3 mm	
Escala: 1:4 I Término			



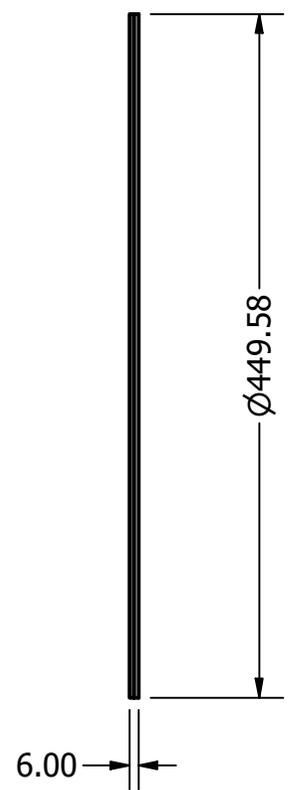
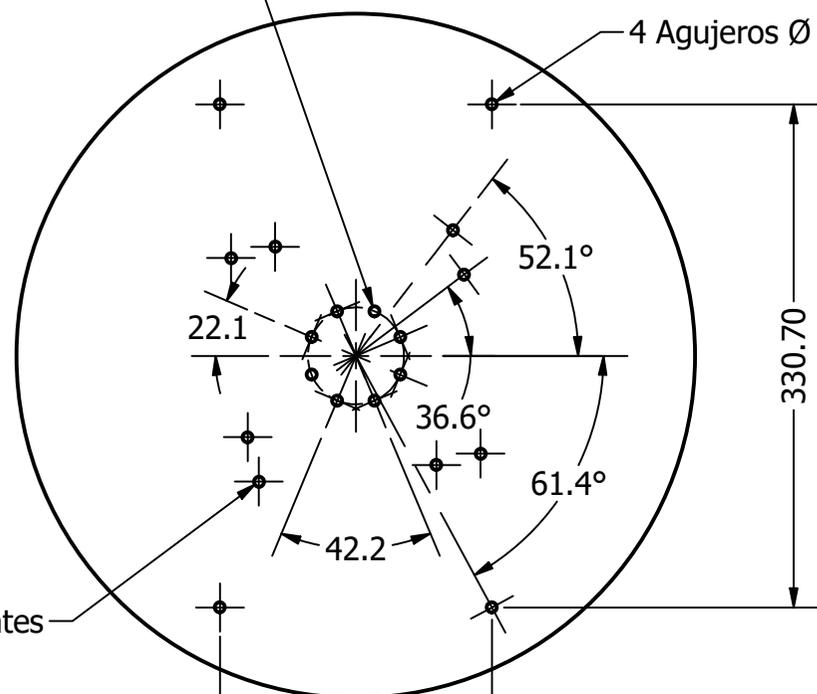
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN		Docente:	Ing. Loaiza
		Alumno:	Allauca P.
		Paralelo:	4
Materia integradora		Fecha:	7/7/2021
		Lámina:	3
Soporte para fijar focos UV-C			
Escala: 1:6 I Término			



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN		Docente:	Ing. Loaiza
		Alumno:	Allauca P.
		Paralelo:	1
		Fecha:	7/7/2021
Materia integradora		Lámina:	4
		Ubicación de focos UV-C en soporte.	
Escala: 1:12 I Término			

8 agujeros Ø 6.35 pasantes

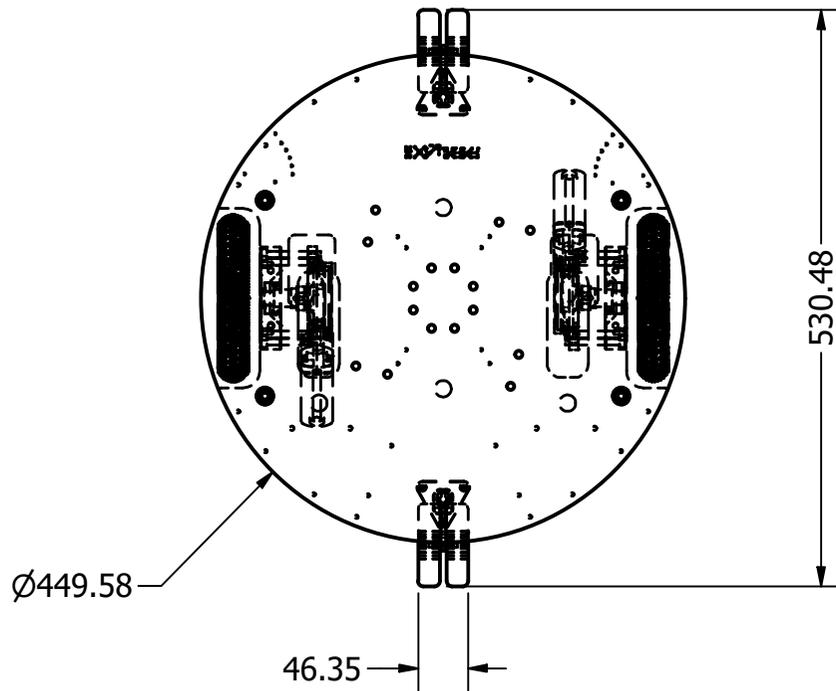
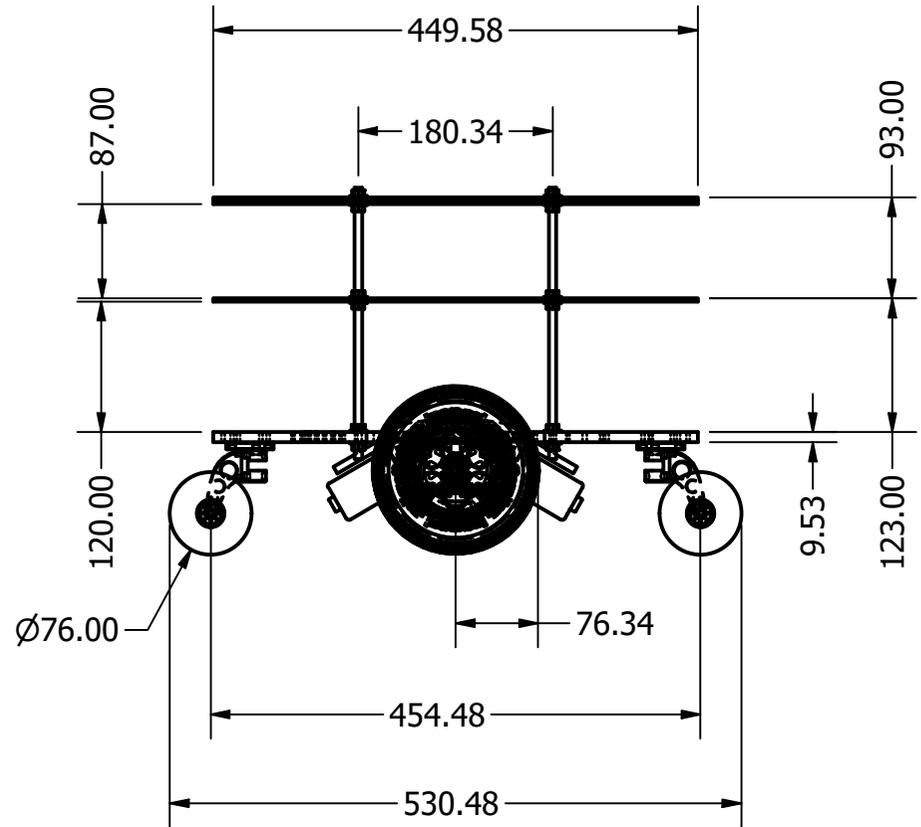
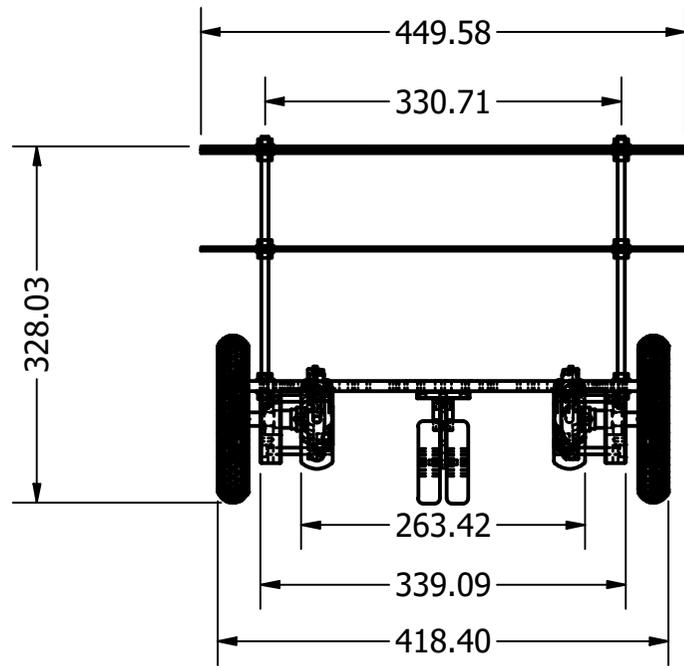
4 Agujeros Ø 6.35 pasantes



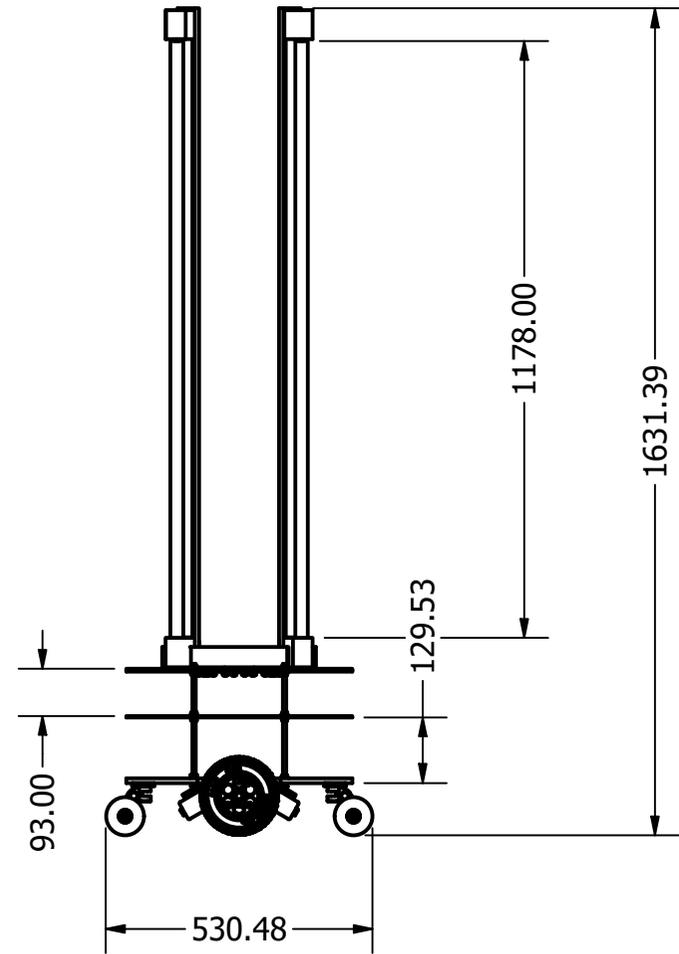
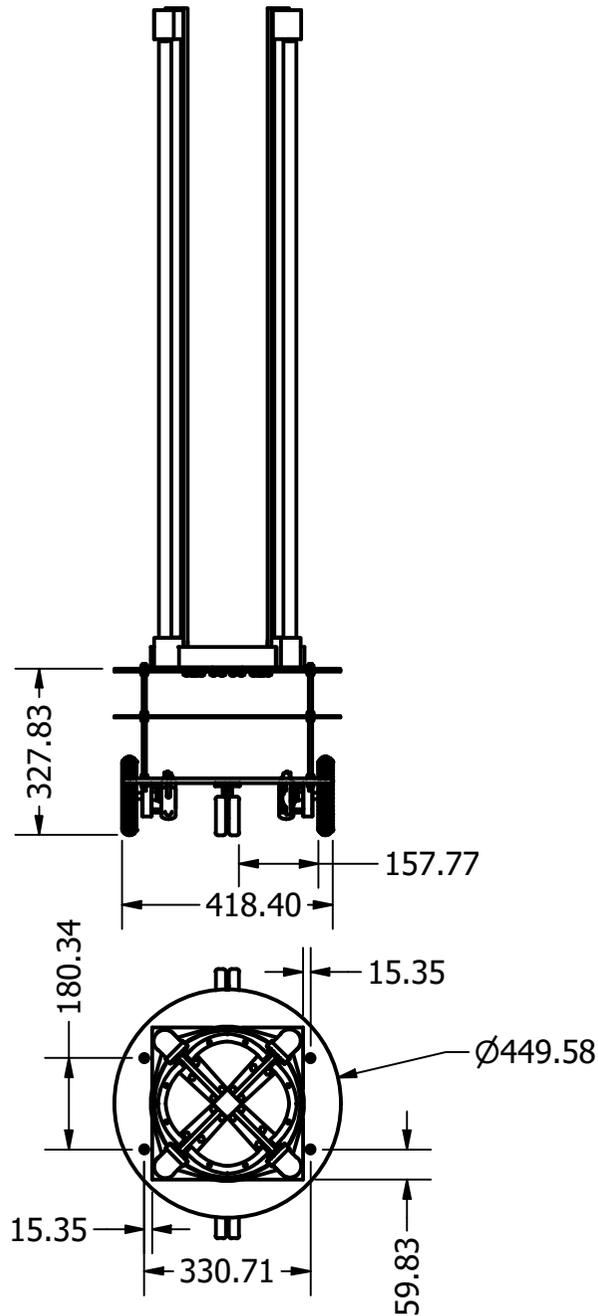
8 agujeros Ø 6.35 pasantes

180.31

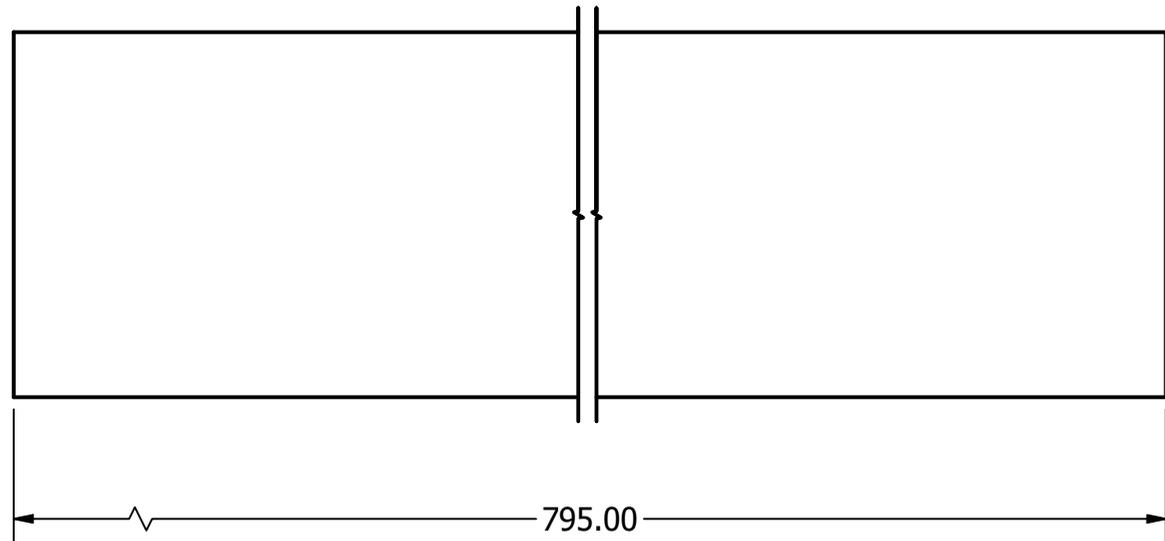
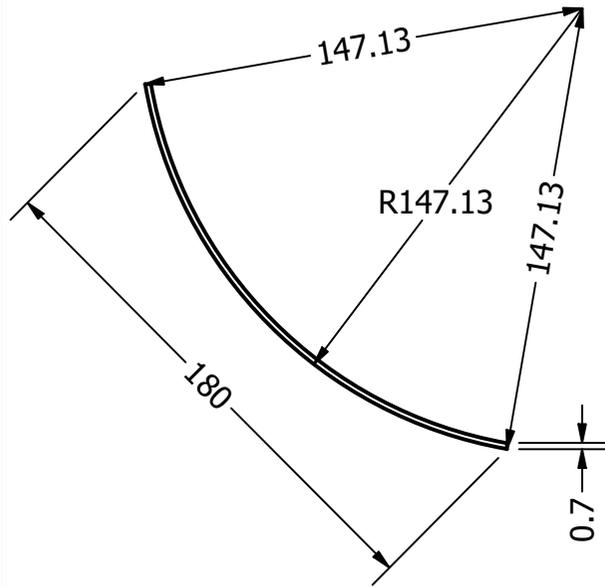
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN	Docente:	Ing. Loaiza
	Alumno:	Allauca P.
	Paralelo:	1
	Fecha:	7/7/2021
Materia integradora	Lámina:	5
	Nivel 3 de 6 mm de espesor.	
Escala: 1:5 I Término		



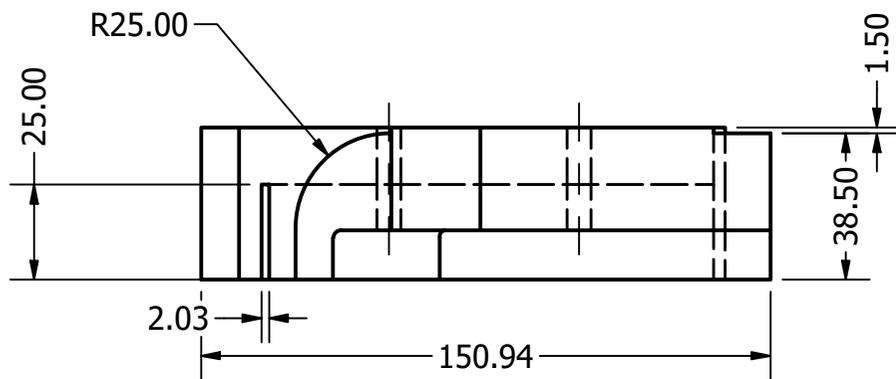
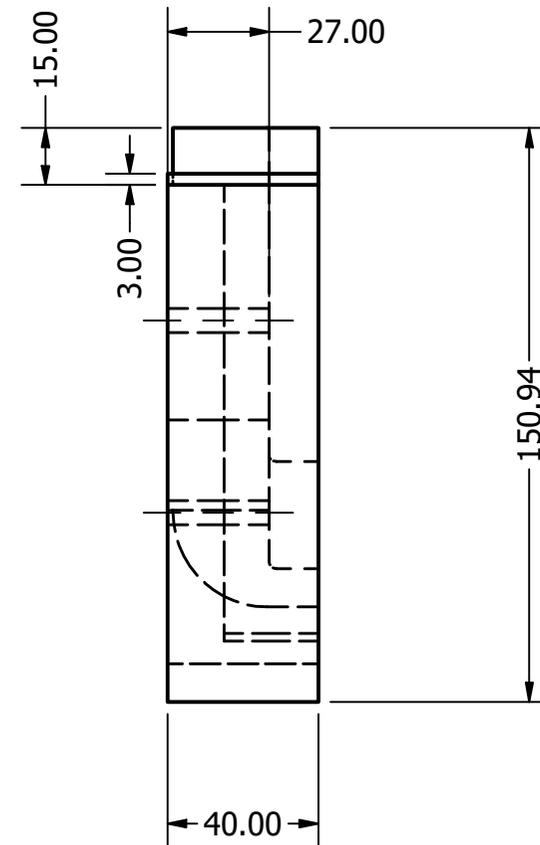
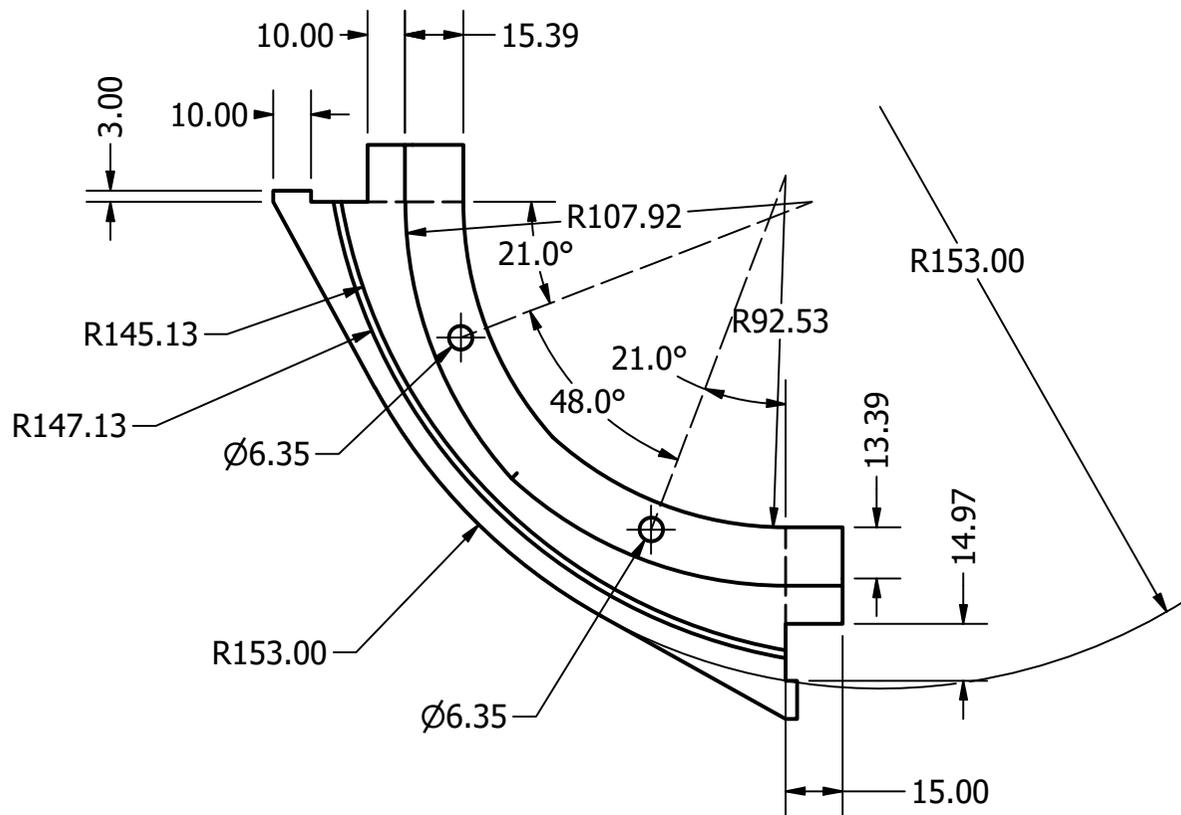
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN		Docente:	Ing. Loaiza
		Alumno:	Allauca P.
		Paralelo:	1
		Fecha:	7/7/2021
		Lámina:	6
Materia integradora			
Base móvil del CoviBot y sus tres niveles			
Escala: 1:4			
I Término			



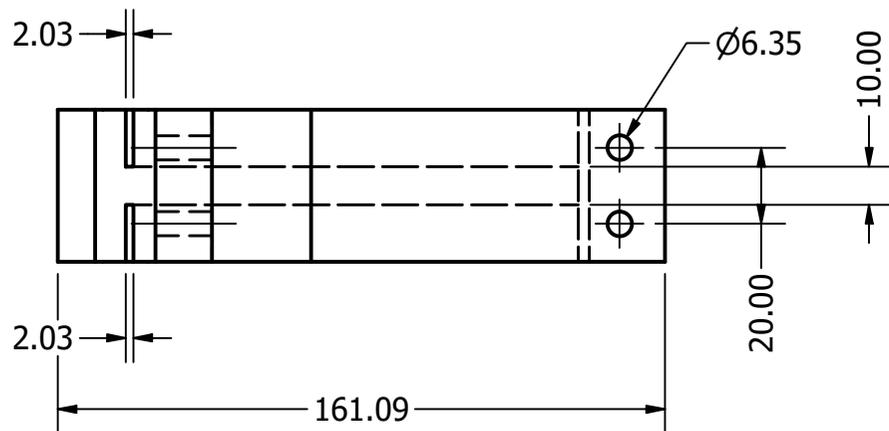
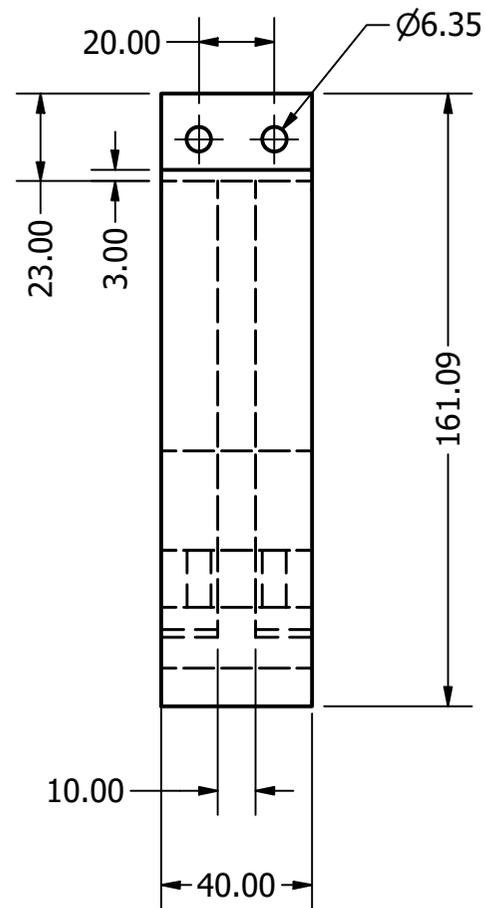
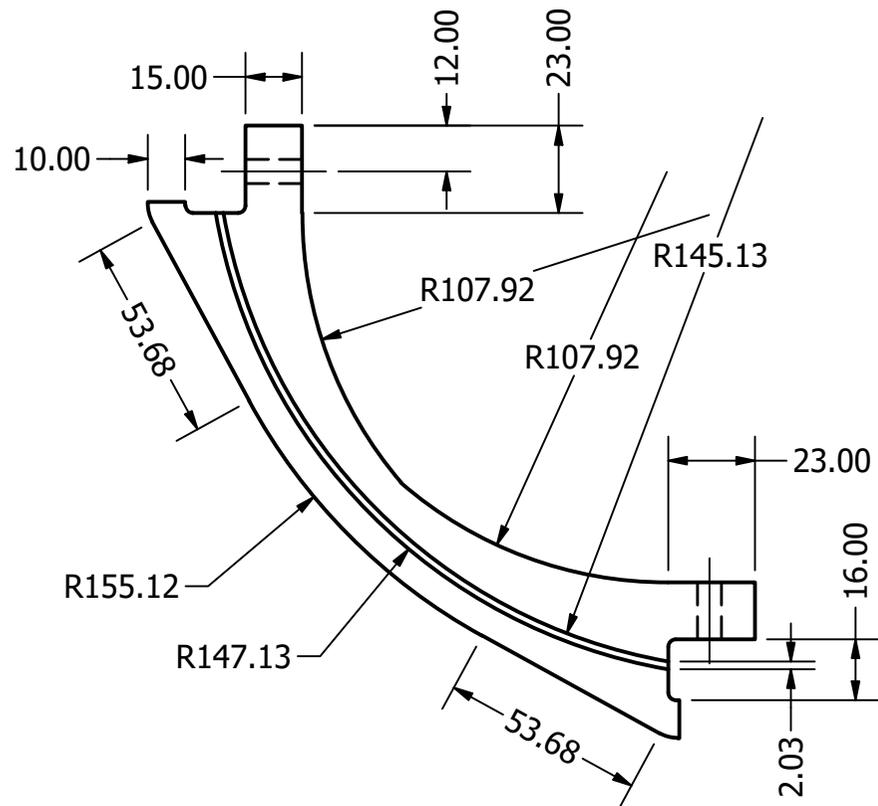
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN		Docente:	Ing. Loaiza
		Alumno:	Allauca P.
		Paralelo:	1
		Fecha:	7/7/2021
Materia integradora Estructura interna de CoviBot		Lámina:	7
Escala: 1:15 I Término			



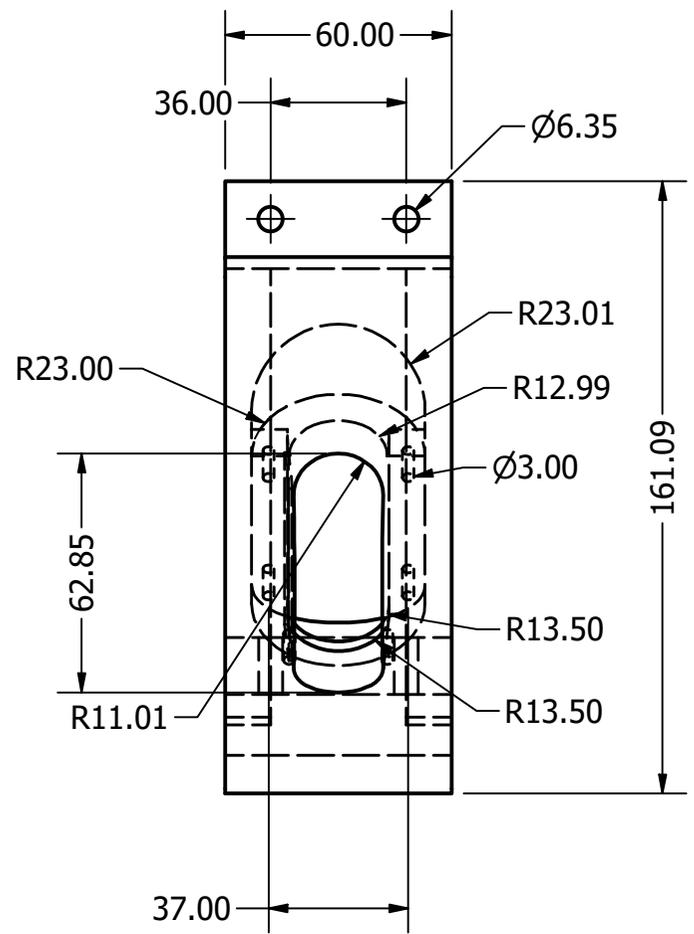
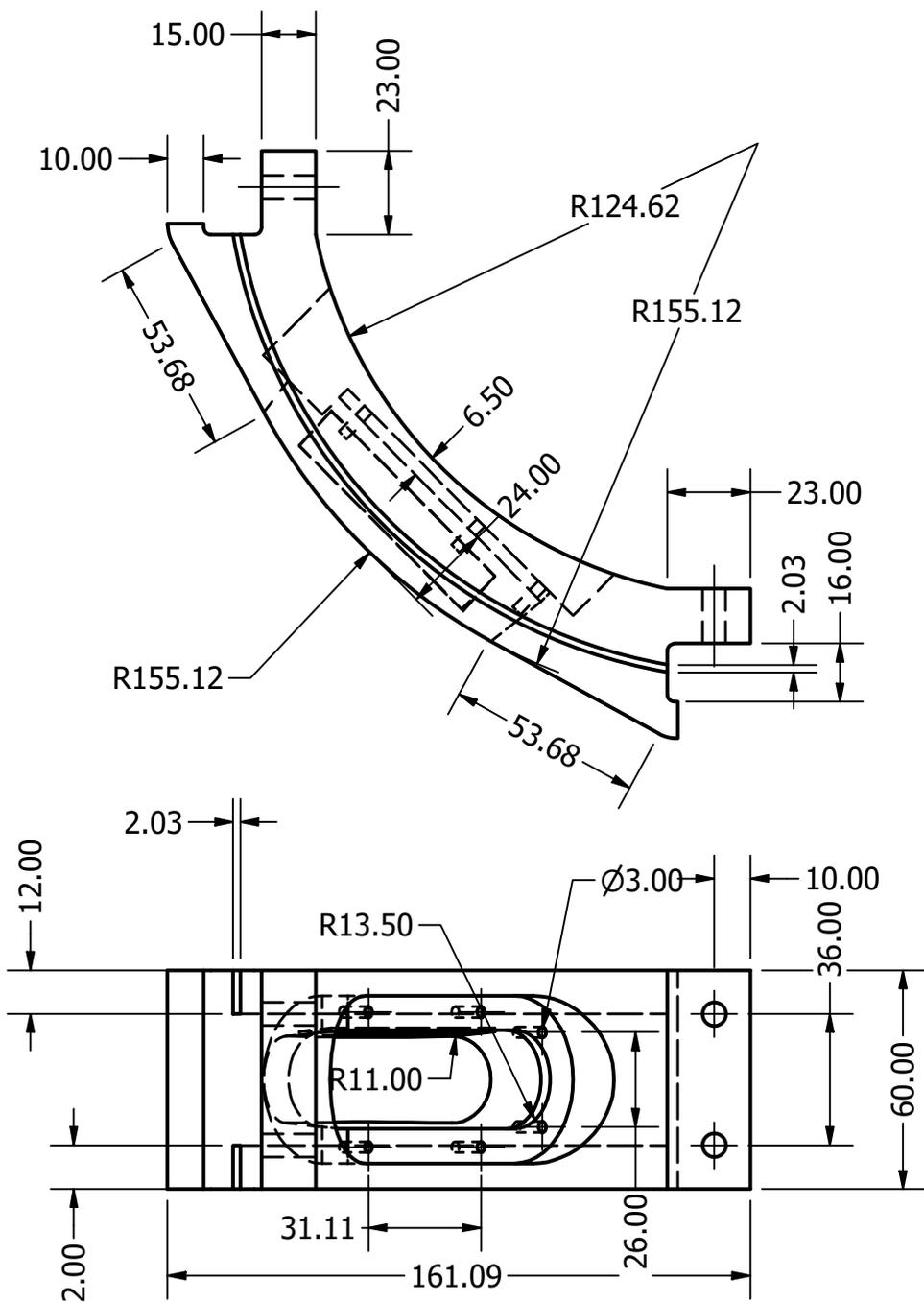
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN		Docente:	Ing. Loaiza
		Alumno:	Allauca P.
		Paralelo:	1
		Fecha:	7/7/2021
Materia integradora		Lámina:	8
		Cubierta inferior de aluminio liso H14	
Escala: 1:2.5 I Término			



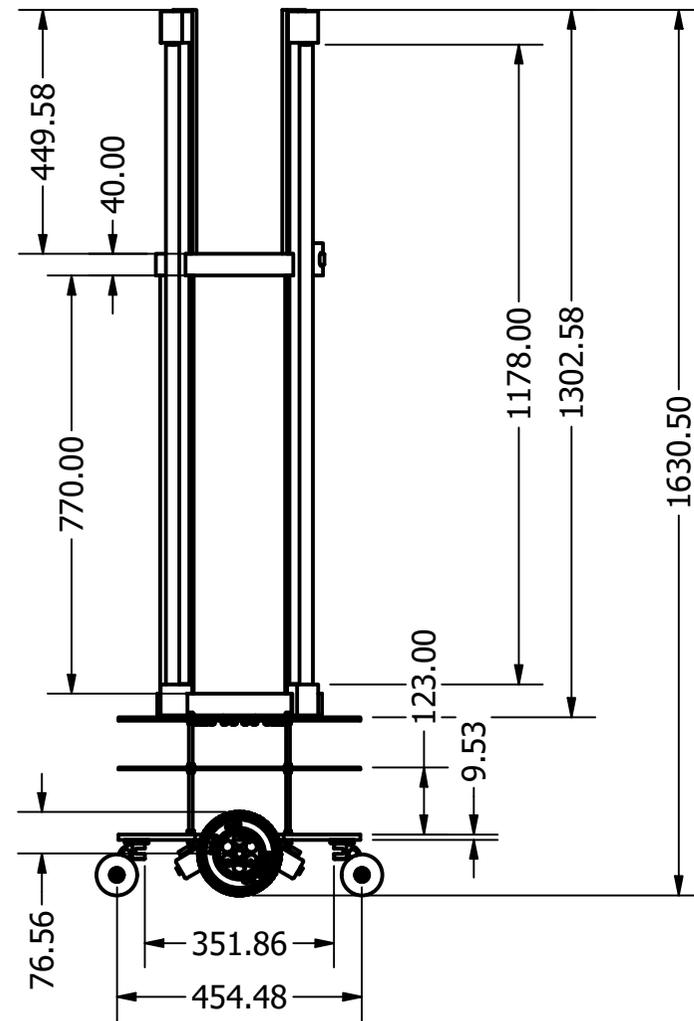
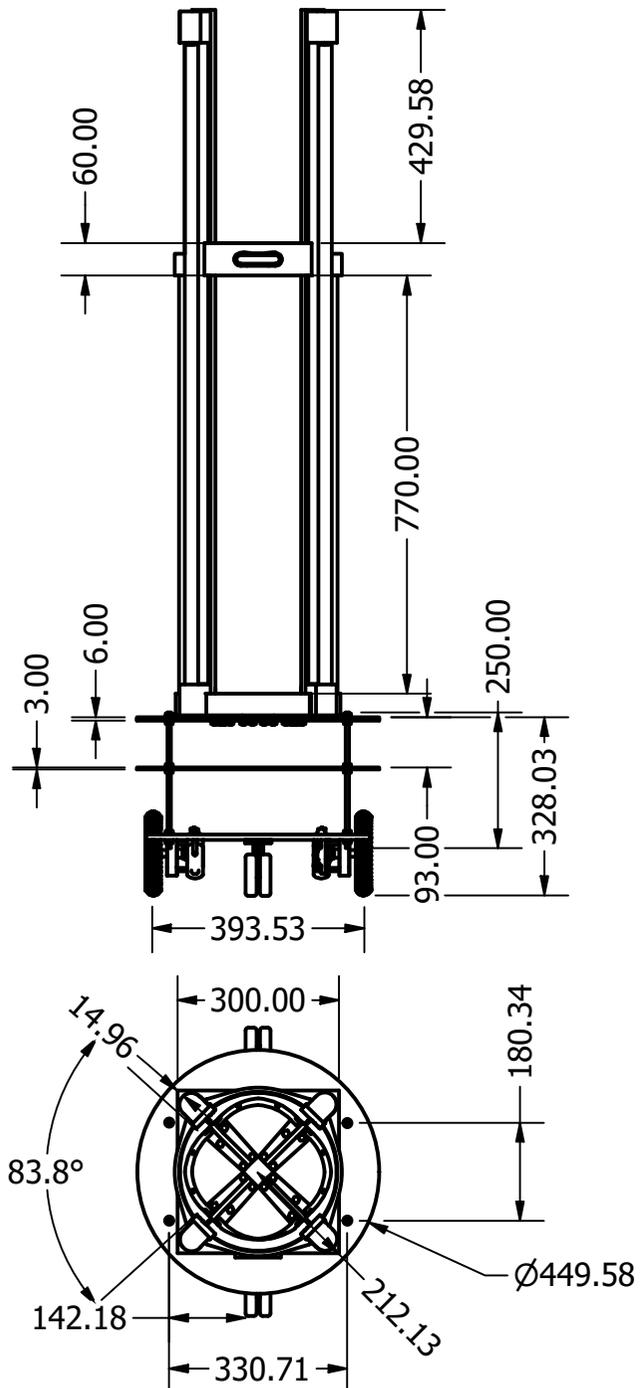
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN		Docente:	Ing. Loaiza
		Alumno:	Allauca P.
		Paralelo:	1
		Fecha:	7/7/2021
Materia integradora Guia riel inferior de focos UV-C		Lámina:	9
Escala: 1:2 I Término			



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN	Docente:	Ing. Loaiza
	Alumno:	Allauca P.
	Paralelo:	10
	Fecha:	7/7/2021
Escala: 1:2 I Término	Materia integradora	
	Diseño de guía media de focos UV-C para CoviBot	



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN		Docente: Ing. Loaiza Alumno: Allauca P. Paralelo: 1 Fecha: 7/7/2021
Materia integradora Guia media porta cámara de focos UV-C		Lámina: 11
Escala: 1:2 I Término		



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN		Docente:	Ing. Loaiza
		Alumno:	Allauca P.
		Paralelo:	1
		Fecha:	7/8/2021
Materia integradora Robot móvil de desinfección para espacios cerrados (CoviBot)		Lámina:	12
Escala: 1:2 I Término			