



# ESPE

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS**  
**INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA**

**Diseño e implementación de un robot autónomo móvil para desinfectar  
ambientes médicos usando SLAM y UVC para OSH ecuador / consultorio médico**

**Jorge Luis Cárdenas.**

Silva Chato, Carlos Andrés

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería en Mecatrónica

Trabajo de titulación, previo la obtención del título de Ingeniera En Mecatrónica

Ing. Mendoza Chipantasi, Darío José

04 de agosto del 2022

Latacunga

## Reporte de verificación de contenido

# COPYLEAKS

Fina3.1.pdf

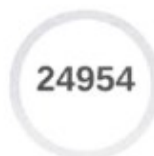
Scanned on: 16:54 August 3, 2022 UTC



Overall Similarity Score




Results Found



Total Words in Text

Identical Words	439
Words with Minor Changes	137
Paraphrased Words	253
Omitted Words	1434



Ing. Darío Mendez



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería en Mecatrónica

#### Certificación

Certifico que el trabajo de titulación: **"Diseño e implementación de un robot autónomo móvil para desinfectar ambientes médicos usando SLAM y UVC para OSH Ecuador / consultorio médico Jorge Luis Cárdenas"** fue realizado por el señor **Silva Chato Carlos Andrés**; el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Latacunga, 04 de agosto del 2022

Firma:

Ing. Mendoza-Chipantasi, Darío José

C.C: 0603110834



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica  
Carrera de Ingeniería en Mecatrónica

**Responsabilidad de Autoría**

Yo, **Silva Chato Carlos Andrés**, con cédula de ciudadanía n° 1804205555, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **Diseño e implementación de un robot autónomo móvil para desinfectar ambientes médicos usando SLAM y UVC para OSH Ecuador / consultorio médico Jorge Luis Cárdenas** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

**Latacunga, 04 de agosto del 2022**

Firma

**Silva Chato, Carlos Andrés**

C.C.: 1804205555



**Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica**

**Carrera de Ingeniería en Mecatrónica**

**Autorización de Publicación**

Yo, **Silva Chato Carlos Andrés**, con cédula de ciudadanía n° 1804205555, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **"Diseño e implementación de un robot autónomo móvil para desinfectar ambientes médicos usando SLAM y UVC para OSH Ecuador / consultorio médico Jorge Luis Cárdenas"** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

**Latacunga, 04 de agosto del 2022**

Firma

**Silva Chato, Carlos Andrés**

C.C.: 1804205555

## **Dedicatoria**

Este trabajo está dirigido a todos esos miembros de la salud que estuvieron responsablemente en primera línea en la pandemia global debido al COVID 19, que sin dudar no tuvieron el temor de hacer cumplir su deseo de ayudar a las personas y a costa de su propia vida, ayudaron incansablemente a muchas personas.

Todas esas marcas que dejaba el sistema de seguridad personal en su cuerpo, todas esas lágrimas derramadas por no poder hacer lo suficiente, todas esas malas noches, todos esos turnos frustrantes, todo ese tiempo lejos de la familia, toda esa incertidumbre que dejó la pandemia en nosotros, nunca existirán las palabras adecuadas para expresar mi agradecimiento a todo ese personal valiente.

Este trabajo también está dirigido a todo ese personal técnico que estuvo dentro y fuera del país, trabajando en momentos de pandemia, que no dejaron que las máquinas pararan y siguieron produciendo los insumos que nos protegieron en momentos de pandemia y que hicieron lo que más se pudo, con lo que tuvieron al alcance.

Este proyecto también es dedicado a todas las personas que perdimos algún ser querido en esta pandemia.

**Silva Chato, Carlos Andres**

## **Agradecimiento**

Agradezco mucho a la vida por enseñarme las dos caras de la moneda en todo momento y por no dejarme abandonado en esos momentos más difícil.

Agradezco también mi abuelita María que con su cariño siempre me cuidó y pudo mantener a la familia unida y que nunca dejó que cada hijo o hija deje sus metas sin concluir y demostrarme la mujer luchadora que ella es.

También agradezco a todos esos peluditos de 4 patitas que siempre estuvieron a mi lado desde muy pequeño, sacándome una sonrisa con sus locuras, haciéndome compañía, y enseñándome que no se necesita grandezas para que alguien te quiera desinteresadamente, les agradezco también por enseñarme que a pesar que este mundo esté lleno de desigualdades y personas malas que solo buscan aprovecharse de los demás, siempre estarán ellos para demostrarme que aún existe amor en este mundo y que no todo está perdido, también les agradezco por cuidarme todas esas noches de frío y lluvia mientras yo dormía.

Agradezco a Patricio y Ruth que siempre tendrán un lugar en mi corazón, por entenderme en esos momentos de locura y siempre apoyarme y estar a mi lado, aun cuando el camino no se veía tan claro y sacrificar sus vidas por darme un bienestar mental y social, todos los días a su lado fue y será una aventura.

Un agradecimiento especial a esa mujer de ojos verdes, que robó mi corazón desde la primera vez que la vi y que con el pasar de los años se volvió mi compañera de vida, te agradezco mucho por entenderme, apoyarme, amarme y eres lo que más quiero en este mundo eso eres y mi pensamiento más profundo también eres mi amor.

**Silva Chato, Carlos Andrés**

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

Carátula .....	1
Reporte de verificación de contenido.....	2
Certificación.....	3
Autoría de responsabilidad .....	4
Autorización.....	5
Dedicatoria .....	6
Agradecimiento .....	7
Índice de contenidos.....	8
Índice de tablas.....	12
Índice de figuras .....	15
Resumen.....	19
Abstract .....	20
Capítulo I: Fundamentación Teórica.....	21
Introducción .....	21
Antecedentes .....	22
Formulación del problema.....	25
Objetivos del proyecto .....	28
<i>Objetivo general</i> .....	28
<i>Objetivos específicos</i> .....	28
Justificación e importancia .....	28
Hipótesis.....	31
Variables de investigación .....	31
<i>Variables Independientes</i> .....	31
<i>Variables Dependientes</i> .....	31
Estado del arte.....	31
Robot autónomo móvil.....	31
Desinfección.....	32
<i>Desinfección por luz UVC</i> .....	33
<i>Agentes virales comunes en el área clínica</i> .....	34
Staphylococcus aureus.....	34
Escherichia Coli .....	35
Enterococcus faecalis .....	36
Control del robot.....	37



<i>Sistemas de control</i> .....	37
<i>Sistemas de control de lazo abierto</i> .....	38
<i>Sistemas de control de lazo cerrado</i> .....	39
<i>Características de un sistema de control</i> .....	40
<b>Sistemas operativos robóticos</b> .....	41
<i>Sistema operativo Ros</i> .....	41
<i>Objetivo del ROS</i> .....	42
<i>Sistema de archivos</i> .....	42
<i>Nodos</i> .....	43
<i>ROS en red</i> .....	43
<b>Locomoción del robot</b> .....	44
<i>Locomoción mediante ruedas</i> .....	44
<i>Ventajas en el uso de ruedas</i> .....	45
<i>Omnidireccional de 3 ruedas</i> .....	45
<i>Configuración de cuatro ruedas</i> .....	46
<i>Omnidireccional circular</i> .....	46
<i>Omnidireccional con ruedas orientables</i> .....	47
<i>Omnidireccional Mecanum</i> .....	48
<i>Dispositivos de movilidad</i> .....	49
<b>Navegación reactiva</b> .....	49
<i>Localización y mapeo simultáneo SLAM</i> .....	51
<i>LiDAR SLAM</i> .....	51
<b>Validación</b> .....	53
<b>Capítulo II: Metodología y definición de componentes</b> .....	57
<b>Definición de necesidades</b> .....	57
<b>Definición de especificaciones</b> .....	58
<b>Definición de la estructura funcional</b> .....	58
<b>Construcción de la estructura del robot UVC</b> .....	59
<i>Sensor láser LDS-01</i> .....	61
<i>Raspberry Pi 3 modelo B</i> .....	62
<i>Tarjeta OpenCR 1.0</i> .....	64
<i>Motores DYNAMIXEL XL430</i> .....	65
<i>Lámparas de Luz UV-C</i> .....	66
<i>Balastro PSP2GPH40HOIVDW</i> .....	67
<i>Jetson Xavier NX Developer Kit</i> .....	68
<i>Raspberry Pi Cámara módulo 2</i> .....	70

<i>Regulador de voltaje de 12V a 5V en CC</i> .....	71
<i>Regulador de señal</i> .....	71
<i>Relé de estado sólido SSR – 25 A</i> .....	72
<i>Regleta Led</i> .....	73
<i>Paro de emergencia</i> .....	74
<b>Definición del diseño</b> .....	75
<i>Módulo 1. Base</i> .....	75
<i>Módulo 2. Tracción</i> .....	76
<i>Módulo 3. Potencia</i> .....	80
<i>Módulo 4. Energético</i> .....	81
<i>Módulo 5. Navegación reactiva</i> .....	83
<i>Módulo 6. Odometría</i> .....	84
<i>Módulo 7. Adquisición y mando</i> .....	84
<i>Módulo 8. Visión</i> .....	85
<i>Módulo 9. Control</i> .....	85
<b>Capítulo III: Diseño, selección e implementación del robot UVC</b> .....	88
<b>Diseño</b> .....	88
<i>Cálculo de la dosis necesaria para la inactivación de las bacterias</i> .....	88
<i>Cálculo de la velocidad de movimiento del robot para una correcta desinfección</i> .....	90
<i>Diseño del mapa generado con ROS</i> .....	90
<i>Modificación del mapa generado</i> .....	91
<i>Ubicación de goals fuera del área conocida del robot</i> .....	93
<i>Ubicación de puntos auxiliares</i> .....	95
<i>Path Plannig</i> .....	96
<i>Diseño de la estructura del AMR</i> .....	96
<b>Selección</b> .....	100
<i>Módulo 1. Base</i> .....	101
<i>Módulo 2. Tracción</i> .....	103
<i>Módulo 3. Potencia</i> .....	104
<i>Módulo 4. Energético</i> .....	106
<i>Módulo 5. Navegación reactiva</i> .....	107
<i>Módulo 6. Odometría</i> .....	109
<i>Módulo 7. Adquisición y mando</i> .....	110
<i>Módulo 8. Visión</i> .....	112
<i>Módulo 9. Control</i> .....	113

Implementación de etapas del AMR.....	115
<i>Sistema de control para la detección de obstáculos mediante el sensor láser LDS-01</i> .....	115
<i>Sistema de control para la detección de personas mediante la implementación de visión artificial</i> .....	116
Implementación de accesorios.....	117
<i>Pantalla táctil de 5 pulgadas</i> .....	117
<i>Implementación de mouse y teclado</i> .....	118
Capítulo IV: Pruebas y resultados.....	119
Pruebas de funcionamiento de los algoritmos de control. ....	119
<i>Pruebas del reconocimiento de personas</i> .....	120
<i>Pruebas de funcionamiento para evadir obstáculos</i> .....	123
Pruebas de comunicación con el robot y computadora de monitoreo externo. ....	126
Pruebas de funcionamiento en los ambientes de desinfección del centro médico.....	130
<i>Pruebas de cantidad de luz en diferentes lugares del consultorio</i> .....	130
<i>Pruebas de laboratorio para la inactivación de bacterias con luz UV-C</i> .....	134
Validación de la hipótesis.....	135
Capítulo VI: Conclusiones y recomendaciones.....	137
Conclusiones. ....	137
Recomendaciones .....	138
Bibliografía .....	140
Anexos .....	149

## Índice de tablas

<b>Tabla 1</b> <i>Representación de la reducción logarítmica en términos de unidades formadoras de colonias (CFus) y porcentaje</i> .....	23
<b>Tabla 2</b> <i>Detalle de necesidades</i> .....	57
<b>Tabla 3</b> <i>Detalle de especificaciones</i> .....	58
<b>Tabla 4</b> <i>Módulos de la plataforma robótica autónoma móvil</i> .....	59
<b>Tabla 5</b> <i>Especificaciones Técnicas del TURTLEBOT3</i> .....	60
<b>Tabla 6</b> <i>Especificaciones Técnicas del sensor láser LDS-01</i> .....	61
<b>Tabla 7</b> <i>Especificaciones Técnicas - Raspberry Pi3 – B</i> .....	63
<b>Tabla 8</b> <i>Especificaciones Técnicas de la tarjeta OpenCR 1.0</i> .....	64
<b>Tabla 9</b> <i>Especificaciones Técnicas del motor DYNAMIXEL XL430</i> .....	65
<b>Tabla 10</b> <i>Especificaciones Técnicas de lámpara TUV 55W HO</i> .....	67
<b>Tabla 11</b> <i>Especificaciones Técnicas del Balastro</i> .....	68
<b>Tabla 12</b> <i>Especificaciones Técnicas Jetson Xavier NX</i> .....	69
<b>Tabla 13</b> <i>Especificaciones Técnicas Módulo Cámara</i> .....	70
<b>Tabla 14</b> <i>Especificaciones Técnicas del Relé de estado sólido</i> .....	73
<b>Tabla 15</b> <i>Especificaciones Técnicas de reglet led</i> .....	74
<b>Tabla 16</b> <i>Especificaciones del paro de emergencia</i> .....	75
<b>Tabla 17</b> <i>Componentes seleccionados</i> .....	75
<b>Tabla 18</b> <i>Características del servomotor XL 430-W250-T</i> .....	80
<b>Tabla 19</b> <i>Características del controlador es el OpenCr 1.0</i> .....	80
<b>Tabla 20</b> <i>Tipos de baterías y características</i> .....	82
<b>Tabla 21</b> <i>Características de la batería LIFEP04</i> .....	83
<b>Tabla 22</b> <i>Nodos desarrollados en ROS</i> .....	85
<b>Tabla 23</b> <i>Ponderación de criterios de evaluación para el módulo 1</i> .....	101
<b>Tabla 24</b> <i>Ponderación de control para las alternativas de diseño al módulo 1</i> .....	102
<b>Tabla 25</b> <i>Ponderación de implementación las alternativas de diseño al módulo 1</i> ...	102

<b>Tabla 26</b> <i>Ponderación de costo para las alternativas de diseño al módulo 1</i> .....	102
<b>Tabla 27</b> <i>Conclusión en la selección de alternativa de diseño al módulo 1</i> .....	102
<b>Tabla 28</b> <i>Ponderación de criterios de evaluación para el módulo 2</i> .....	103
<b>Tabla 29</b> <i>Ponderación de control para las alternativas de diseño al módulo 2</i> .....	103
<b>Tabla 30</b> <i>Ponderación de implementación para alternativas de diseño módulo 2</i> .....	103
<b>Tabla 31</b> <i>Ponderación de costo para las alternativas de diseño al módulo 2</i> .....	104
<b>Tabla 32</b> <i>Conclusión en la selección de alternativa de diseño al módulo 2</i> .....	104
<b>Tabla 33</b> <i>Ponderación de criterios de evaluación para el módulo 3</i> .....	104
<b>Tabla 34</b> <i>Ponderación de Funcionamiento las alternativas de diseño al módulo 3</i> ...	105
<b>Tabla 35</b> <i>Ponderación de Modularidad para las alternativas de diseño módulo 3</i> .....	105
<b>Tabla 36</b> <i>Ponderación de control para las alternativas de diseño módulo 3</i> .....	105
<b>Tabla 37</b> <i>Conclusión en la selección de alternativa de diseño al módulo 3</i> .....	105
<b>Tabla 38</b> <i>Ponderación de criterios de evaluación para el módulo 4</i> .....	106
<b>Tabla 39</b> <i>Ponderación de la implementación para las alternativas de diseño al</i> <i>módulo 4</i> .....	106
<b>Tabla 40</b> <i>Ponderación del tamaño para las alternativas de diseño módulo 4</i> .....	106
<b>Tabla 41</b> <i>Ponderación de costo para las alternativas de diseño al módulo 4</i> .....	107
<b>Tabla 42</b> <i>Conclusión en la selección de alternativa de diseño al módulo 4</i> .....	107
<b>Tabla 43</b> <i>Ponderación de criterios de evaluación para el módulo 5</i> .....	107
<b>Tabla 44</b> <i>Ponderación de precisión para las alternativas de diseño al módulo 5</i> .....	108
<b>Tabla 45</b> <i>Ponderación de robustez para las alternativas de diseño al módulo 5</i> .....	108
<b>Tabla 46</b> <i>Ponderación de costo para las alternativas de diseño al módulo 5</i> .....	108
<b>Tabla 47</b> <i>Conclusión en la selección de alternativa de diseño al módulo 5</i> .....	108
<b>Tabla 48</b> <i>Ponderación de criterios de evaluación para el módulo 6</i> .....	109
<b>Tabla 49</b> <i>Ponderación de la programación para las alternativas de diseño al</i> <i>módulo 6</i> .....	109
<b>Tabla 50</b> <i>Ponderación de la Información para las alternativas de diseño al</i> <i>módulo 6</i> .....	109

<b>Tabla 51</b> <i>Ponderación de costo para las alternativas de diseño al módulo 6</i> .....	110
<b>Tabla 52</b> <i>Conclusión en la selección de alternativa de diseño al módulo 6</i> .....	110
<b>Tabla 53</b> <i>Ponderación de criterios de evaluación para el módulo 7</i> .....	110
<b>Tabla 54</b> <i>Ponderación de la programación las alternativas de diseño al módulo 7</i> ...	111
<b>Tabla 55</b> <i>Ponderación de la información para las alternativas de diseño al módulo 7</i> .....	111
<b>Tabla 56</b> <i>Ponderación del costo para las alternativas de diseño al módulo 7</i> .....	111
<b>Tabla 57</b> <i>Conclusión en la selección de alternativa de diseño al módulo 7</i> .....	111
<b>Tabla 58</b> <i>Ponderación de criterios de evaluación para el módulo 8</i> .....	112
<b>Tabla 59</b> <i>Ponderación de la programación las alternativas de diseño al módulo 8</i> ...	112
<b>Tabla 60</b> <i>Ponderación de la información para las alternativas de diseño al módulo 8</i> .....	112
<b>Tabla 61</b> <i>Ponderación de costo para las alternativas de diseño al módulo 8</i> .....	113
<b>Tabla 62</b> <i>Conclusión en la selección de alternativa de diseño al módulo 8</i> .....	113
<b>Tabla 63</b> <i>Ponderación de criterios de evaluación para el módulo 9</i> .....	113
<b>Tabla 64</b> <i>Ponderación de la programación las alternativas de diseño al módulo 9</i> ...	114
<b>Tabla 65</b> <i>Ponderación de la información para las alternativas de diseño al módulo 9</i> .....	114
<b>Tabla 66</b> <i>Ponderación del costo para las alternativas de diseño al módulo 9</i> .....	114
<b>Tabla 67</b> <i>Conclusión en la selección de alternativa de diseño al módulo 9</i> .....	114
<b>Tabla 68</b> <i>Especificaciones Técnicas de pantalla touch</i> .....	117
<b>Tabla 69</b> <i>Resultado de reconocimiento de varias personas</i> .....	121
<b>Tabla 70</b> <i>Resultado de reconocimiento de personas en diferentes posiciones</i> .....	122
<b>Tabla 71</b> <i>Resultados de dosímetro UV-C</i> .....	133
<b>Tabla 72</b> <i>Resultados de microbiología antes y después de aplicación UV-C</i> .....	134
<b>Tabla 73</b> <i>Resultados de microbiología después de una semana</i> .....	135
<b>Tabla 74</b> <i>Prueba T de student</i> .....	136

## Índice de figuras

<b>Figura 1</b> <i>Robot autónomo móvil de desinfección</i> .....	32
<b>Figura 2</b> <i>Luz UVC contra virus y bacterias</i> .....	33
<b>Figura 3</b> <i>Factores de virulencia de Staphylococcus aureus</i> .....	35
<b>Figura 4</b> <i>Mecanismo de virulencia de Escherichia Coli</i> .....	36
<b>Figura 5</b> <i>Factores de virulencia de Enterococcus faecalis</i> .....	37
<b>Figura 6</b> <i>Esquema general de un sistema</i> .....	38
<b>Figura 7</b> <i>Diagrama de bloques de sistema en lazo abierto</i> .....	39
<b>Figura 8</b> <i>Diagrama de bloques de sistema en lazo cerrado</i> .....	40
<b>Figura 9</b> <i>Sistema operativo ROS</i> .....	41
<b>Figura 10</b> <i>Locomoción mediante ruedas</i> .....	44
<b>Figura 11</b> <i>Robot Omnidireccional Triangular</i> .....	46
<b>Figura 12</b> <i>Robot Omnidireccional de cuatro ruedas</i> .....	47
<b>Figura 13</b> <i>Robot Omnidireccional de ruedas orientables</i> .....	48
<b>Figura 14</b> <i>Robot Omnidireccional Mecanum</i> .....	48
<b>Figura 15</b> <i>Trayectorias simuladas por el algoritmo DWA para navegación</i> .....	50
<b>Figura 16</b> <i>Espectro electromagnético y el tamaño de objetos comunes</i> .....	51
<b>Figura 17</b> <i>Principio de medición de un sensor LiDAR</i> .....	52
<b>Figura 18</b> <i>Resultados del nivel de la bacteria staphylococcus aureus sin exposición a la luz UV y después de la exposición a la luz UV</i> .....	53
<b>Figura 19</b> <i>Resultados del nivel de la bacteria E. coli sin exposición a la luz UV y después de la exposición a la luz UV</i> .....	54
<b>Figura 20</b> <i>Resultados del nivel de bacterias E. faecalis sin exposición a la luz UV y después de la exposición a la luz UV</i> .....	55
<b>Figura 21</b> <i>Componentes del TURTLEBOT3 - BURGER</i> .....	60
<b>Figura 22</b> <i>Sensor Láser LDS-01</i> .....	61
<b>Figura 23</b> <i>Módulo USB2LDS</i> .....	62
<b>Figura 24</b> <i>Tarjeta Raspberry Pi3 – B</i> .....	63

<b>Figura 25</b> <i>Estructura de la tarjeta OpenCR 1.0</i> .....	64
<b>Figura 26</b> <i>Motores DYNAMIXEL XL430</i> .....	65
<b>Figura 27</b> <i>Dimensiones de lámpara TUV 55W HO</i> .....	66
<b>Figura 28</b> <i>Balastro PSP2GPH40HOVDW</i> .....	67
<b>Figura 29</b> <i>Jetson Xavier NX</i> .....	69
<b>Figura 30</b> <i>Módulo cámara - Raspberry Pi</i> .....	70
<b>Figura 31</b> <i>Transformador de 12v a 5v</i> .....	71
<b>Figura 32</b> <i>Conexiones del regulador de señal</i> .....	72
<b>Figura 33</b> <i>Relé de estado sólido</i> .....	72
<b>Figura 34</b> <i>Regleta Led</i> .....	73
<b>Figura 35</b> <i>Botón - paro de emergencia</i> .....	74
<b>Figura 36</b> <i>Cargas en reposo sobre una rueda motorizada</i> .....	76
<b>Figura 37</b> <i>Cargas presentes en el desplazamiento de una rueda motorizada</i> .....	78
<b>Figura 38</b> <i>Cargas presentes en el desplazamiento desde el reposo de una rueda motorizada</i> .....	79
<b>Figura 39</b> <i>Jerarquía de nodos en ROS</i> .....	86
<b>Figura 40</b> <i>Mapa del lugar de estudio</i> .....	91
<b>Figura 41</b> <i>Mapa del lugar de estudio</i> .....	92
<b>Figura 42</b> <i>Coordenadas de navegación del AMR</i> .....	92
<b>Figura 43</b> <i>Designación de coordenadas</i> .....	93
<b>Figura 44</b> <i>Nueva trayectoria en espacio conocido</i> .....	94
<b>Figura 45</b> <i>Trayectoria fuera del espacio conocido</i> .....	94
<b>Figura 46</b> <i>Mensaje de error fuera del espacio conocido</i> .....	95
<b>Figura 47</b> <i>Trayectoria sugerida para eliminación de ruido</i> .....	95
<b>Figura 48</b> <i>Trayectoria generada por robots diferenciales</i> . .....	96
<b>Figura 49</b> <i>Composición del AMR</i> .....	97
<b>Figura 50</b> <i>Componentes de la etapa de desinfección</i> .....	98
<b>Figura 51</b> <i>Componentes del identificador del entorno</i> .....	99



<b>Figura 52</b> Alcance de detección de módulos cámara .....	99
<b>Figura 53</b> Componentes de la etapa de locomoción.....	100
<b>Figura 54</b> Diagrama de funcionamiento del sistema de detección de obstáculos.....	115
<b>Figura 55</b> Diagrama de bloques activación de luz UV-C. ....	116
<b>Figura 56</b> Pantalla touch para Raspberry .....	117
<b>Figura 57</b> Diagrama de flujo del algoritmo de control .....	119
<b>Figura 58</b> Verificación de lámparas UV-C .....	120
<b>Figura 59</b> AMR detenido debido a la presencia de una persona .....	120
<b>Figura 60</b> Captura de pantalla del AMR con la presencia de una persona .....	121
<b>Figura 61</b> Captura de pantalla sin la presencia de una persona.....	121
<b>Figura 62</b> AMR con obstáculo .....	123
<b>Figura 63</b> Ubicación en 2D del AMR .....	123
<b>Figura 64</b> Evasión del obstáculo .....	124
<b>Figura 65</b> Nueva trayectoria del AMR .....	125
<b>Figura 66</b> Nueva ruta creada.....	125
<b>Figura 67</b> Nueva ruta creada en mapa 2D .....	126
<b>Figura 68</b> Primera posición del AMR para prueba de comunicación con pc.....	127
<b>Figura 69</b> Primera posición del AMR en plano 2D.....	127
<b>Figura 70</b> Segunda posición del AMR para prueba de comunicación con pc. ....	127
<b>Figura 71</b> Segunda posición del AMR en plano 2D .....	128
<b>Figura 72</b> Tercera posición del AMR para prueba de comunicación con pc. ....	128
<b>Figura 73</b> Tercera posición del AMR en plano 2D .....	129
<b>Figura 74</b> Cuarta posición del AMR para prueba de comunicación con pc.....	129
<b>Figura 75</b> Cuarta posición del AMR en plano 2D.....	130
<b>Figura 76</b> Resultado dosímetro UV-C de S1 .....	131
<b>Figura 77</b> Resultado dosímetro UV-C de S2 .....	131
<b>Figura 78</b> Resultado dosímetro UV-C de S3 .....	131
<b>Figura 79</b> Resultado dosímetro UV-C de S4 .....	132

**Figura 80** *Resultado dosímetro UV-C de S5* ..... 132

## Resumen

El presente proyecto abarca el diseño e implementación de un AMR para la desinfección de espacios clínicos, donde se investigó que las bacterias más comunes son staphylococcus aureas, escherichia coli y enterococcus faecalis para lo cual se diseñó un robot que desinfecta espacios médicos con luz UVC, en el cual la velocidad requerida para la desinfección y desactivación de las bacterias es de  $0.3 \text{ m/s}$ . El sistema operativo ROS permite navegar, planear rutas y evadir obstáculos mediante el escaneo del espacio a su alrededor a través del sensor láser LiDAR. Se implementó en el robot un mecanismo de seguridad, que es el reconocimiento de personas mediante visión artificial, el cual controla el encendido y apagado de las lámparas UVC. Una vez desarrollado el protocolo de funcionamiento, las pruebas nos permitieron comprobar que el algoritmo de programación detecta sin problema personas tanto hombres como mujeres, de diferentes estaturas y posiciones, desde los 0.5 metros hasta los 3 metros. Las pruebas de evasión de obstáculos permitieron comprobar su correcto funcionamiento. Para medir la cantidad de luz UVC en varios puntos del consultorio clínico se utilizaron dosímetros UVC. Finalmente se realizaron pruebas de microbiología, tomando muestras antes y después de la aplicación de la luz UVC, los resultados mostraron la presencia de hasta 100.000 colonias de bacterias antes de la desinfección y después de la misma, se redujo a menos de 10.000 colonias en todos los puntos. Para verificar la hipótesis del presente proyecto se determinó que la reducción de bacterias fue del 99% y de esta manera dando cumplimiento al objetivo general.

*Palabras clave: luz UVC, ROS, LiDar.*

**Abstract**

This project covers the design and implementation of an AMR for the disinfection of clinical spaces where it was investigated that the most common bacteria are *Staphylococcus aureas*, *escherichia coli* and *enterococcus faecalis* for which a robot was designed to disinfect spaces with UVC light, for which the dose required for the disinfection of spaces and deactivation of bacteria was determined that the AMR must move with a speed of  $0.3 \text{ m/s}$ . The ROS operating system allows navigation to avoid obstacles by scanning the space around it through the laser sensor LiDAR, in addition a security mechanism was implemented for users which is the recognition of people through camera modules and artificial intelligence of a trained neuron that processes the information through a Jetson Xavier card. Once the operation protocol was developed, the performance tests allowed us to verify that the programming algorithm detects without problem people both men and women of different heights and positions in distances from 0.5 meters to 3 meters. Obstacle avoidance tests allowed us to verify its correct operation in the presence of obstacles. UVC dosimeters were used to measure the amount of UVC light at various points in the clinical office. Finally, microbiology tests were carried out before and after the application of UVC light, where the results showed the presence of up to 100,000 colonies of bacteria and the results after the application showed that it was reduced to less than 10,000 colonies at all points, so to verify the hypothesis of this project it was determined that the reduction of bacteria was 99%, thus fulfilling the overall objective.

*Keywords: UVC lights, ROS, LiDAR.*

## Capítulo I

### Fundamentación Teórica

#### Introducción

La robótica conforma una de las ramas más resaltadas dentro de la ingeniería mecatrónica, esto en razón de su aplicación en varias áreas del campo humano con incidencia en diversas actividades, siendo este el motivo principal por lo cual, el presente trabajo de investigación guarda su orientación hacia el diseño y desarrollo de un robot autónomo móvil, el cual tendrá por objetivo central el garantizar una desinfección óptima de espacios clínicos. Los robots autónomos móviles o conocidos como AMR, suelen ser utilizados dentro de áreas de instituciones clínicas, debido al beneficio que estos representan en la actualidad, mantienen una demanda cada vez mayor, generando en los fabricantes de robots la necesidad de mantenerse constantemente actualizados en relación a la tecnología disponible, que permita mejorar la eficiencia de estas máquinas y maximizar su autonomía. El objetivo principal de la presente investigación radica en diseñar e implementar un AMR para desinfectar ambientes clínicos, usando radiación ultravioleta tipo C (UVC) la cual suele ser utilizada dentro de la salud y seguridad ocupacional en áreas de trabajo en ECUADOR (OSH), para ello se utilizó un sensor LiDAR que da la posibilidad de generar un mapeo de la zona clínica a desinfectar, misma que le permitirá al AMR evadir obstáculos de forma eficaz. De tal forma para un correcto desarrollo del presente trabajo se tomó de guía la siguiente estructura:

Dentro del Capítulo I, se plantea el fundamento teórico, el cual estará estructurado por el desarrollo de antecedentes de la investigación, permitiendo así una mejor contextualización de los tópicos a tratar, de igual forma se abordarán las bases teóricas que servirán de guía para el desarrollo de la investigación. En este primer Capítulo se priorizará el uso de información relacionada al detalle de las nociones acerca de los AMR,

sistemas operativos robóticos, localización y mapeo simultáneo (SLAM) y se profundizará en tópicos relacionados a la desinfección por radiación UVC. En cuanto al Capítulo II, este abordará los tópicos relacionados a la metodología y diseño del robot; dentro del Capítulo III, se ahondará en relación al diseño, selección e implementación del robot equipado con fuente de desinfección UVC, para dar paso al Capítulo IV, dentro del cual, se presentarán las pruebas empleadas y resultados obtenidos.

Finalmente, dentro del Capítulo V, se plantean las conclusiones y recomendaciones a las cuales se llegaron posterior al desarrollo y cumplimiento de los objetivos planteados. Además, se detallarán las referencias bibliográficas utilizadas, así como los anexos e información que dé validez a la investigación.

### **Antecedentes**

“Las infecciones asociadas al contacto con patógenos resistentes a múltiples fármacos dentro de los espacios clínicos, se relacionan significativamente con un aumento de la mortalidad y la morbilidad en los usuarios de dichas áreas, así mismo, esta representa una incidencia en los costos excesivos de la atención médica.” (Magil, Edwards, & et al, 2014)

“Los dispositivos de desinfección por radiación ultravioleta tipo C (UVC), ofrecen varias ventajas en contraste a la desinfección estándar, mediante el uso de desinfectantes tradicionales. La desinfección con UVC incluye: actividad germicida contra organismos de amplio espectro, requisitos de tiempo más cortos para bacterias vegetativas, seguridad y ecología sin residuos peligrosos, ahorro de costos como mano de obra y consumibles y una forma relativamente simple de configurar y operar la maquinaria en instalaciones de atención médica; además de la desinfección de las superficies que el personal de limpieza suele pasar por alto o que ya se han limpiado manualmente, pero que aún están

contaminadas debido a la dificultad de retención del desinfectante que suelen emplear.”  
(Nerandzic, Cadnum, Pultz, & Donskey, 2010)

“En términos de control de infecciones, las "reducciones logarítmicas" transmiten la eficacia de un producto para reducir los patógenos. Cuanto mayor sea la reducción logarítmica, más eficaz será el producto para matar bacterias y otros patógenos que pueden causar infecciones. "Log" es la abreviatura de logaritmo, un término matemático para una potencia a la que se puede elevar un número. Por ejemplo, si usa 10 como un número dado, un aumento de Log 3 se puede mostrar como  $10^3$  o  $10 \times 10 \times 10 = 1,000$ . Una reducción logarítmica toma el poder en la dirección opuesta. Por ejemplo, una reducción logarítmica de 1 es equivalente a una reducción de 10 veces o para decirlo de otra manera, bajar un decimal o una reducción del 90%.” (Endurocide, 2017)

**Tabla 1**

*Representación de la reducción logarítmica en términos de unidades formadoras de colonias (CFUs) y porcentaje*

<b>Log Reduction</b>	<b>Number of CFUs Remaining</b>	<b>Percentage Reduction</b>
0log	1.000.000	0%
1log	100.000	90%
2log	10.000	99%
3log	1.000	99.9%
4log	100	99.99%
5log	10	99.999%
6log	1	99.9999%

*Nota.* La tabla fue obtenida de (Endurocide, 2017).

“En un estudio anterior, se informó que un sistema UV-C en función de 6 log, es eficaz para reducir varias bacterias mediante radiación UV-C pulsada, incluido el *Staphylococcus aureus*, el cual suele ser resistente a la meticilina (MRSA), *Pseudomonas*

aeruginosa y *Enterococcus faecium* (VRE) son resistentes a la vancomicina, con una reducción de más de 4 log, durante 5 a 15 minutos a una distancia de 2,7 m.” (Mediland Enterprise Corporation, 2017)

“Una de las características principales de los robots autónomos móviles (AMR), radica en que estos son capaces de generar una guía de forma autónoma para realizar tareas humanas, esto quiere decir que, no está obligado a seguir una ruta fija, porque es capaz de decidir el mejor camino para llegar al objetivo fijado. Es capaz de levantar y remolcar cargas pesadas, así como de entregar cargas a su destino. El AMR consta de muchas partes eléctricas y mecánicas. En última instancia, dos partes principales del robot son el controlador que actúa como un cerebro para el AMR y el controlador integrado que regula al dispositivo.” (Automation & Robotics, 2020)

“El mapeo y localización simultánea (SLAM) permite que las unidades autónomas móviles, como robots con ruedas o patas y drones voladores, descubran dónde están y hacia dónde se dirigen dentro del espacio. Es especialmente complicado cuando el robot o el dron no tiene acceso a referencias externas como GPS o un mapa prediseñado. Los sistemas SLAM funcionan calculando la posición y la orientación de un robot en relación con otros objetos en un espacio y al mismo tiempo crean un mapa de su entorno.” (SLAMCORE, 2019)

“El sistema operativo robótico (ROS), es un framework flexible para escribir el software del robot. Es una colección de herramientas, bibliotecas y convenciones que tienen como objetivo, el simplificar la tarea de crear un comportamiento robótico complejo y robusto en una amplia variedad de plataformas robóticas.” (ROS, 2020)



## Formulación del problema

“La propagación de enfermedades e infecciones transmitidas por el ambiente y las superficies contaminadas, aumentan la mortalidad en las personas y la amenaza de transmisión de dichas enfermedades a través de la propagación de patógenos, ya sea por contacto o por aire. Un proceso de esterilización adecuado, ayuda a reducir la probabilidad de transmisión de enfermedades y juega un papel vital en la prevención y transmisión de enfermedades. La asepsia eficaz y frecuente del entorno garantiza una vida segura y para aquello la luz ultravioleta tipo C, es una de las mejores soluciones posibles. La desinfección con UVC en superficies clínicas es un ejemplo muy destacado de radiación germicida ultravioleta que emplea este método.” (Katara, Hemvani, Chitnis, & Chitnis, 2008)

“Las infecciones adquiridas en hospitales (HAI) y las infecciones asociadas al cuidado de la salud son un importante y creciente problema para el sistema sanitario y dan lugar a costos significativos para los hospitales, principalmente debido a días extra en cama, reingresos, fallecimientos, etc. Las infecciones ocurren típicamente en el proceso de admisión, examen, tratamiento, atención o rehabilitación. La fuente de infección puede ser por otros pacientes, personal, visitantes o incluso equipos y ambientes.” (Klevens et al, 2007; Fletcher et al, 2004)

“Un estudio reciente realizado por Organización Mundial de Salud (OMS), muestra que, de cada 100 pacientes hospitalizados en promedio, 7 de ellos adquirirán al menos una HAI; este dato es referencial en países desarrollados, mientras que en países en vías de desarrollo se estima un promedio de 10 pacientes que adquirirán al menos una HAI. En cualquier tiempo, la prevalencia de las HAI en los países desarrollados varía entre el 3,5% y el 12%. El centro para la prevención y el control de enfermedades de la Unión Europea informa una prevalencia media del 7,1% en los países europeos.” (OMS, 2013)

La tasa de incidencia estimada en los Estados Unidos de América (EE.UU.), fue según la misma fuente 8,5% en 2013, correspondiente a 18,2% de infecciones por 1000 pacientes al día y 3,14 millones de pacientes afectados.

“Múltiples estudios han demostrado que la limpieza y desinfección manual de superficies en hospitales no es óptima. En muchas instalaciones, solo entre el 40 % y el 50% de las superficies que deben limpiarse, son limpiadas por el personal de limpieza. Un estudio encontró variaciones entre el personal de limpieza, en la cantidad de tiempo dedicado a limpiar las superficies, el número de toallitas usadas en cada habitación y el porcentaje de desinfección logrado. Se ha demostrado que los equipos de limpieza especializados que incluían personal de control de infecciones reducen la contaminación de la superficie. La rotación de personal entre los departamentos de servicios es un problema importante, que puede alcanzar del 30% al 50% en algunas instalaciones.”

(Boyce J. M., 2016)

Las lámparas de luz UVC son una fuente de irradiación que requieren las debidas precauciones para garantizar un uso seguro. Actualmente, no existen reglas y regulaciones relacionadas con el lugar de trabajo establecidas por la Asociación de Salud y Seguridad Ocupacional (OSHA), con respecto a la salud y seguridad ambiental del uso de la UVC. Si bien la radiación UVB es ampliamente reconocida por sus efectos nocivos en la piel humana y su vínculo con el cáncer de piel, cada una de las bandas UV (UVA, UVB y UVC) crea diferentes riesgos para los humanos. La intensidad de fuentes puntuales como los LED UVC se reduce a 1 sobre la distancia al cuadrado ( $1/d^2$ ), y una vez que supera la longitud de dispersión, cae exponencialmente. Esto significa que cuanto más lejos esté la fuente de UVC de un ser humano, menor será la dosis a la que está expuesto. En el caso de exposición directa y prolongada a la luz UVC, se ha presentado daño temporal a los ojos y la piel, como una lesión en la córnea (a veces denominada "ojo

de soldador"), aunque esto generalmente se cura después de un par de días. Por lo tanto, las recomendaciones de seguridad con la UVC incluyen proteger la piel (en particular las heridas abiertas) y, lo más importante, los ojos de la radiación UVC.

“Se encontró que, el valor límite de exposición para los rayos UV (180-400nm) es 30 J/m<sup>2</sup> (= valor diario de 8 h). Los efectos agudos (a corto plazo) incluyen enrojecimiento o ulceración de la piel. A altos niveles de exposición, estas quemaduras pueden ser graves. Para exposiciones crónicas (a largo plazo), también existe un riesgo acumulativo, que depende de la cantidad de exposición durante su vida. El riesgo a largo plazo de una gran exposición acumulativa incluye el envejecimiento prematuro de la piel y el cáncer de piel.” (Kahn, 2020)

“A pesar de que existe la materia prima para poder construir robots en el Ecuador, no se lo aplica debido a que 1 de cada 3 ecuatorianos han sido emprendedores de un negocio (más que en el resto de países de América Latina); sin embargo, el 90% de los emprendimientos en Ecuador, no llega a los tres años. Estas cifras que arrojó el Global Entrepreneurship Monitor muestran las dos caras de la moneda: por un lado, los ecuatorianos no tienen miedo a proponer nuevas ideas; pero parece que existen factores adversos que hacen que estas ideas no maduren en empresas sostenibles y rentables.” (Edes, 2018)

“En el Ecuador se realizan emprendimientos no con el punto de vista de crecer y perdurar, se dan por escasez de empleo y son una solución temporal a un problema de pobreza o vulnerabilidad.” (Expreso, 2020)

## **Objetivos del proyecto**

### ***Objetivo general***

- Diseñar e implementar un robot autónomo móvil para desinfectar ambientes médicos usando UVC para OSH ECUADOR.

### ***Objetivos específicos***

- Investigar el estado del arte correspondiente al tema.
- Diseñar el robot que permita integrar el sistema de desinfección física utilizando radiación UVC.
- Construir el robot UVC y conectarlo a una red inalámbrica para monitorear su funcionamiento.
- Establecer la comunicación de los sensores con la computadora a bordo del robot.
- Implementar algoritmos de navegación, control en el robot y en el sistema de localización de los entornos.
- Validar la hipótesis mediante el análisis de resultados de las pruebas de funcionamiento aplicadas a un entorno médico.

## **Justificación e importancia**

La creación de un robot autónomo móvil de desinfección, tiene la ventaja que puede trasladarse y posicionarse de forma autónoma, así mismo de manera óptima en relación con los puntos calientes de infección, por ejemplo, en una cama de hospital. A causa de estas mejoras tecnológicas, la desinfección con el robot UVC puede lograr una mayor eficiencia de desinfección y al mismo tiempo, tiene un menor impacto en el flujo de trabajo del personal de limpieza, en comparación con las existentes soluciones tradicionales de limpieza.

El personal de limpieza del centro médico, puede ubicar el robot de desinfección en el entorno requerido a desinfectar antes de realizar la limpieza manual, esto con la finalidad de evitar posibles contagios con patógenos que se encuentren en la habitación, mientras ellos realizan otras tareas más complejas y así optimizando el trabajo de limpieza.

La utilización de la luz UVC como método de desinfección, permite disminuir extraordinariamente los niveles de *Clostridium difficile*, el cual es una bacteria causante de diarrea en personas que la contraen y en grupos vulnerables (como personas mayores, personas con sistemas inmunológicos debilitados, pacientes posquirúrgicos y personas con enfermedades o lesiones importantes), a quienes les puede causar complicaciones graves e incluso puede ser fatal para ellos. Un estudio de 2017 en "The Lancet", muestra que la desinfección mejorada de las salas de atención hospitalaria (utilizando desinfección UVC además de los métodos existentes), da como resultado una "disminución significativa" en las tasas de infección por *Clostridium difficile*.

La aplicación de tecnologías móviles autónomas de desinfección para centros médicos, perfecciona la limpieza de superficies especialmente las cuales tienen formas extrañas, difícil acceso o son demasiado pequeñas como por ejemplo los espacios en paredes, manijas de las puertas, los cables, los enchufes y similares; estos pueden pasarse por alto utilizando métodos de desinfección clásicos. Las áreas pequeñas que se tocan con frecuencia como: interruptores de luz o manijas de puertas, pueden presentar un desafío particular cuando se trata del control de infecciones. Un estudio de 2017 del "American Journal of Infection Control", sugiere que la limpieza con UVC podría ser la respuesta a esto. El estudio indicó que existe la posibilidad de que la desinfección UVC se utilice en superficies más pequeñas y de alto tráfico con contornos irregulares que pueden

no responder particularmente bien a la limpieza estándar o que pueden pasarse por alto accidentalmente

El disponer de un AMR de desinfección UVC en una unidad de atención médica, proporciona una herramienta para asegurar la calidad de esterilización del lugar debido a que una vez que un paciente recibe el alta o sale del quirófano, una parte importante de cualquier estrategia de control de infecciones es asegurarse de que se realice una limpieza completa antes de la admisión del siguiente paciente.

Una de las ventajas de utilizar la limpieza UVC robótica es que, las máquinas utilizan equipos avanzados de monitorización y detección para modificar su trayectoria en caso de que la necesitase para adaptarse a las condiciones individuales. Existen numerosas variables que pueden afectar el grado de desinfección requerido: un robot UVC las considera y administra una dosis personalizada de UVC que proporciona el nivel adecuado de limpieza necesario para un entorno particular.

Con el proyecto realizado, se evitaría utilizar menos mano de obra del personal de limpieza, una vez en posición, el robot implementado de UVC realizará el trabajo sin necesidad de más control; lo que reducirá la necesidad de recurrir a suministros continuos de desinfectante y reemplazar el equipo de limpieza. El robot implementado de UVC, puede entrar en espacios reducidos y limpiar áreas de difícil acceso manualmente o mediante otros métodos de limpieza, limpiando detrás de los objetos si es necesario. También proporciona más seguridad, debido a que el robot no usa productos químicos, aerosoles u otros productos de limpieza, no hay posibilidad de que sustancias peligrosas caigan accidentalmente en las manos equivocadas; siendo esta una consideración importante en los hospitales donde se alojan personas vulnerables.

El desarrollar un sistema de control de encendido y apagado de las lámparas UVC, permite una mayor seguridad al personal de los centros médicos para evitar la exposición de a la luz por error, eliminando la posibilidad de efectos nocivos en la piel humana y su vínculo con el cáncer de piel, daño temporal a los ojos, como lesiones en la córnea.

El robot UVC demostraría que existe el personal calificado dentro del país que se está preocupando por encontrar soluciones tecnológicas y de vanguardia para problemas que la sociedad está enfrentando actualmente, como es la pandemia mundial por COVID 19 que estamos viviendo en este momento, pudiendo utilizar el robot como un elemento clave para combatir el nuevo Coronavirus.

### **Hipótesis**

¿El diseño e implementación de un robot autónomo móvil podrá desinfectar ambientes médicos usando UVC para OSH Ecuador/Consultorio Médico Jorge Luis Cárdenas.?

### **Variables de investigación**

#### ***Variables Independientes***

Robot Autónomo Móvil UVC de Desinfección.

#### ***Variables Dependientes***

Desinfectar ambientes médicos usando UVC.

### **Estado del arte**

#### **Robot autónomo móvil**

“Los robots móviles autónomos, también conocidos como AMR, realizan una navegación de características naturales o “libres”, lo que significa que el robot no se encuentra vinculado a ninguna guía física para su navegación y su movilidad se da sin

necesidad de la instalación de nuevo hardware como: cables, cintas. etc. Antes de la navegación natural, solo se tenía vehículos guiados automatizados (AGV). Los AGV navegan utilizando diferentes tecnologías, por ejemplo, siguiendo una cinta magnética en el suelo o triangulando la posición y el movimiento gracias a una tecnología de navegación láser. Estas tecnologías necesitan algún tipo de hardware o dispositivo en el área de trabajo para permitir una correcta navegación. En cambio, los AMR no necesitan nada para navegar, porque identifican y mapean el área circundante. Estos robots identifican paredes, columnas, estantes y navegan con esta información mediante un sistema de mapeo y localización simultáneo denominado SLAM por sus siglas en inglés.” (AGV network, 2020).

### **Figura 1**

*Robot autónomo móvil de desinfección*



*Nota.* La tabla fue obtenida de (AGV network, 2020).

### **Desinfección**

“La asepsia y la desinfección de superficies, indumentaria y espacios cuyo contacto haya sido prolongado, referente a factores contaminantes o de alto riesgo para la salud del ser humano como son agentes infecciosos y virales, representan una arista de suma importancia al momento de garantizar una salubridad óptima dentro del entorno al cual se haga referencia o se cite. Tener una especial minuciosidad en cuanto a la limpieza de espacios que deberían ser estériles, resulta un factor importante ya que esta garantiza

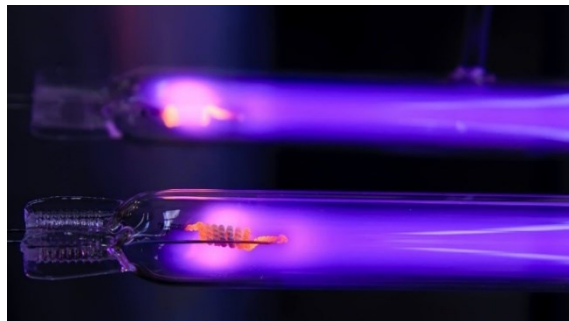


la reducción de complicaciones a la salud de las personas y evita la propagación de enfermedades. Es así que en relación a los usuarios encargados de la asepsia de indumentarias, espacios e instrumentos de determinado sitio se tiene que este personal debe poseer un conocimiento amplio y responsable del uso de desinfectantes y aplicarlos acordes a las necesidades de sanitización, iniciando desde la preparación correcta del área y tomar las medidas apropiadas que garanticen su integridad y el del ambiente. Por lo cual, el planteamiento de estrategias de limpieza, es crucial en base al riesgo que una determinada labor represente y es aquí en donde prima el bienestar del ser humano y se opta por el uso de instrumentos o medios alternativos de desinfección, como el uso de nuevas tecnologías.” (Rosetto, 1995).

### ***Desinfección por luz UVC***

#### **Figura 2**

*Luz UVC contra virus y bacterias*



*Nota.* La figura fue obtenida de (Boyce, 2016)

“La irradiación germicida ultravioleta (UVGI), puede causar un daño suficiente al ácido desoxirribonucleico (ADN) y las estructuras celulares de los microorganismos, como para hacerlos incapaces de replicarse.” (Kowalski, 2010).

“Múltiples ensayos, han demostrado la efectividad de los dispositivos de luz ultravioleta (UV) para reducir la carga biológica ambiental de organismos patógenos.” (Weber, y otros, 2016).

“Además, muchos estudios han demostrado que la UVGI, producida a partir de un dispositivo emisor de rayos UV de xenón pulsado portátil utilizado junto con la desinfección manual del entorno del paciente reduce el riesgo de infecciones adquiridas en la atención médica.” (Boyce, 2016)

“La transmisión de infecciones por micobacterias no es infrecuente en entornos sanitarios.” (Rodríguez y otros, 2016)

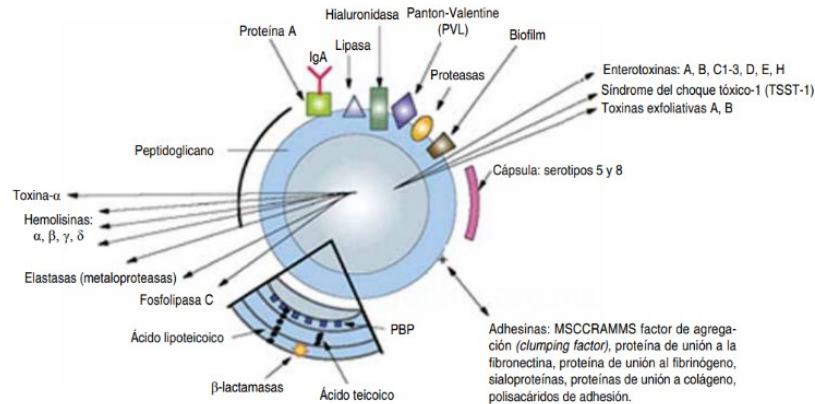
### ***Agentes virales comunes en el área clínica***

#### **Staphylococcus aureus**

“El staphylococcus aureus, es catalogada como una de las causas más concurridas tanto de mortalidad como morbilidad a escala mundial, esto debido a que este es un agente infeccioso de fácil y rápido contagio o transmisión. Siendo así que, este agente patógeno puede causar en la salud humana una amplia gama de enfermedades con una escala de peligro variante, ya sea desde infecciones mínimas a nivel cutáneo, infecciones graves e incluso llegar a extremos como la neumonía por staphylococcus aureus y sepsis mortales. Este agente infeccioso es altamente destacado dentro de las áreas clínicas, debido a su alta resistencia a los antibióticos, motivo por el cual, una vez infectado el paciente, no se puede citar el desarrollo o existencia de una vacuna, capaz de afrontar los efectos negativos que se llegasen a producir por este microorganismo y llevándose a determinar el grado de gravedad en la salud de la persona por la zona en la cual se inoculó el staphylococcus aureus.” (Cervantes, González, & Schettino, 2014)

### Figura 3

#### *Factores de virulencia de Staphylococcus aureus*



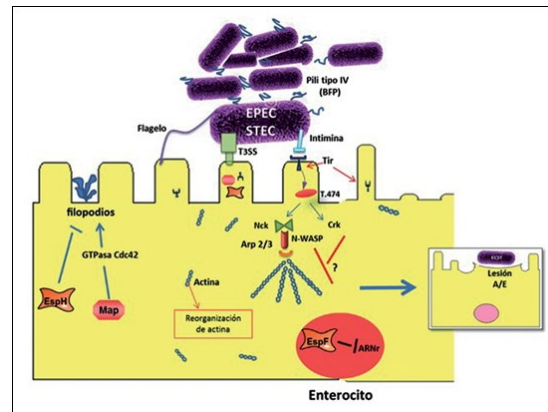
*Nota.* La figura fue obtenida de (Cervantes, González, & Schettino, 2014).

### Escherichia Coli

“Catalogada como parte fundamental e indispensable de la microflora intestinal normal del ser humano, el Escherichia Coli mantiene un margen vírico amplio, es decir que, puede dar paso al desarrollo de gran variedad de enfermedades mayoritariamente del sistema excretor y digestivo. En investigaciones acerca del E coli, se ha identificado al menos seis patotipos diferentes, los cuales pueden desarrollar en la persona desde enfermedades entéricas como la disentería, diarrea o llevar a infecciones extraintestinales ya sea el caso del tracto urinario e incluso llegando a extremos como la meningitis. Los factores asociados a la virulencia del E coli, pueden llegar a presentar una incidencia amplia en lo concerniente a los procesos celulares eucarióticos e incluso a la señalización celular, también la secreción de iones entre otros de gran relevancia como funcionalidad del citoesqueleto y mitocondria.” (Kaper, Nataro , & Mobley, 2004)

## Figura 4

### Mecanismo de virulencia de *Escherichia Coli*



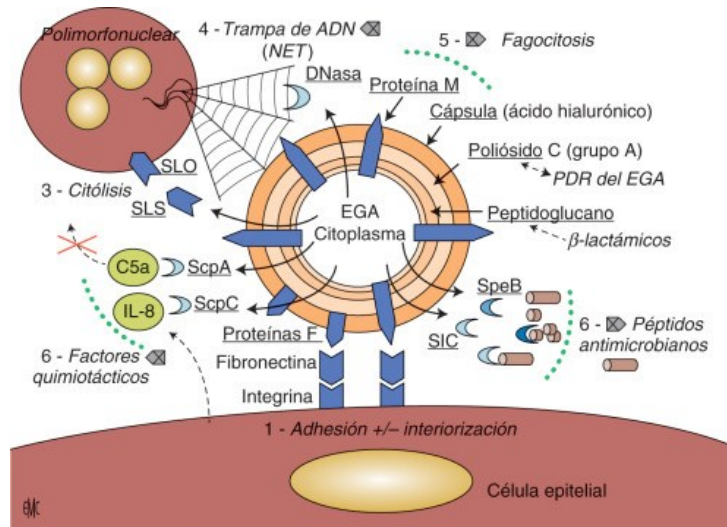
*Nota.* La figura fue obtenida de (Kaper, Nataro , & Mobley, 2004)

## Enterococcus faecalis

La *enterococcus faecalis*, se caracteriza por ser un miembro esencial de la flora gastrointestinal de los seres humanos, así como de varios mamíferos, también representa una de las principales causas que dan paso a infecciones nosocomiales, las cuales se han convertido cada día en un problema latente en los servicios de salud pública. Los agentes responsables de dichas infecciones, suelen verse con frecuencia citados como agentes virales de gran resistencia de múltiples antibióticos, llegando incluso a un nivel de diseminación de resistencias a los antibióticos.

## Figura 5

### Factores de virulencia de *Enterococcus faecalis*



Nota. La figura fue obtenida de (Kaper, Nataro , & Mobley, 2004)

## Control del robot

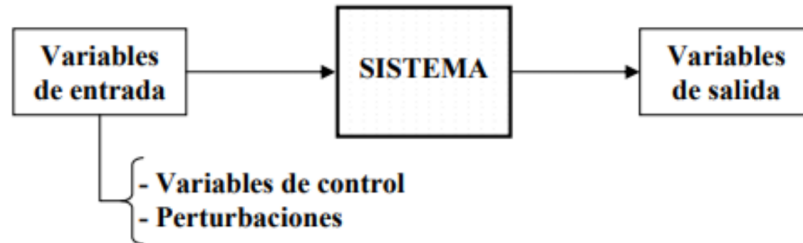
### Sistemas de control

“Fuera de la formalidad, se habla acerca de las deficiencias y dificultades en el control en los robots autónomos móviles, las cuales radican en primera instancia, en el seleccionar de un conjunto, un número determinado de elementos de forma arbitraria, ya sean parámetros, funciones, lecturas o configuraciones que, aplicados a un sistema fijo, para que, de esta forma, consigan cumplir con la finalidad de comportarse, según la configuración predeterminada por el operador.” (Alvarez, 2014).

A manera didáctica se representa en la figura 6 la manera conceptual del funcionamiento del sistema de control.

## Figura 6

*Esquema general de un sistema*



*Nota.* La figura fue obtenida de (Alvarez, 2014)

### **Sistemas de control de lazo abierto**

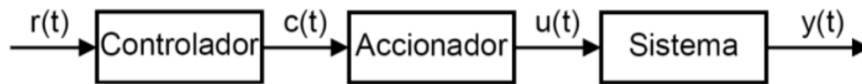
La acción o respuesta de control, se logran establecer en base a la información de la dinámica del sistema, estimaciones aproximadas de los errores (perturbaciones) y de las consignas ingresadas desde el ordenador, esto con la finalidad de reducir al mínimo el margen de error. Esta estrategia está direccionada a la compensación de irregularidades propias del sistema empleado, para de esta forma anticiparse a los fallos y cumplir con los requerimientos establecidos por el usuario. Sin embargo; la comunicación abierta o lazo abierto, suele ser insuficiente debido a los errores intrínsecos del modelo que utiliza este tipo de lazo y de igual forma a las estimaciones de los errores observados de planteamientos previos.

“Por lo cual, suele ser común la correlación entre distintos tipos de lazo, en este caso, tanto del lazo abierto como del cerrado, para de esta forma compensar y equilibrar los errores generados por el uso del sistema de lazo abierto.” (Alvarez, 2014).

En la figura 7 se da una explicación de lo anteriormente citado, en donde se interpreta mediante el uso de diagramas de bloques, la conformación de un sistema de lazo abierto en donde las salidas no guardan relación con las variables de entrada.

## Figura 7

*Diagrama de bloques de sistema en lazo abierto*



*Nota.* La figura fue obtenida de(Alvarez, 2014)

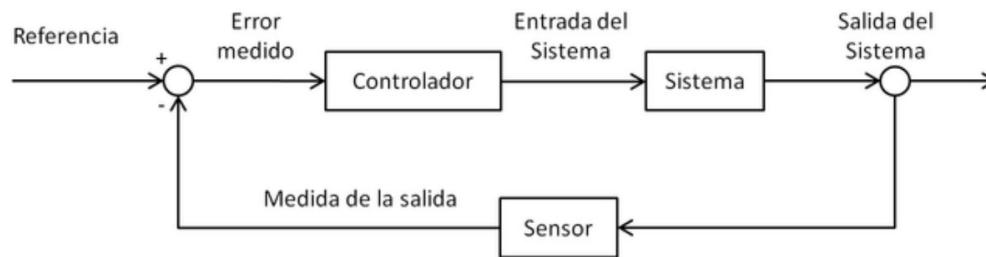
### **Sistemas de control de lazo cerrado**

El cálculo de la acción de control, se suele dar en base al error obtenido entre las variables controladas y la variable de respuesta anticipada o deseada. Los errores o perturbaciones, aunque no son reconocidas en la mayoría de casos, son consideradas como indirectas, debido a la respuesta que se llega a observar mediante sus consecuencias dentro de los efectos producidos en las variables de salida. La estrategia presentada, se basa en consecuencias dentro del sistema de control en donde se puede emplear dicho factor a cualquiera que sea la variable controlada en el sistema. En gran mayoría, los sistemas de control que suelen desarrollarse en la actualidad pertenecen al tipo de lazo cerrado, por su característica de reducir al mínimo los errores no predecibles.

“Dentro de la figura 8, se puede observar una esquematización a través de un diagrama de bloques, acerca de la composición de un sistema de lazo cerrado, que permite identificar las variables de salida como totalmente dependientes de las variables propuestas a la entrada y la señal del sensor estará a cargo de realimentar el sistema, hasta que se alcance el resultado esperado.” (Alvarez, 2014).

## Figura 8

*Diagrama de bloques de sistema en lazo cerrado*



*Nota.* La figura fue obtenida de (Alvarez, 2014)

### **Características de un sistema de control**

Dentro de la vanguardia de avances en relación a los sistemas de control, se tiene que la finalidad de diseñar, desarrollar y ejecutar un control automático de procesos, forma hoy en día una de las disciplinas con mayor avance, mismas que refuerza lo que hoy en día es considerado por muchos autores como la revolución industrial. El uso excesivo de las prácticas y técnicas de control automático dentro de los procesos, dan origen a la evolución y tecnificación de tecnología, como son las de medición y control asociadas al ambiente industrial, forman en la actualidad la razón del porque los autores citan esto como la revolución industrial.

El eje central de todo sistema de control, radica en la ejecución del concepto de retroalimentación o también citado como feedback, el cual se basa en la verificación de los procesos de entrega de información y generación de valores, en relación a los datos ya observados o esperados y cuya característica principal será el mantener al operador central constantemente informado del estado de las variables de trabajo, para de esta forma generar soluciones necesarias acordes a cada caso.



“Este principio citado, suele estar presente dentro de varios ámbitos y campos como puede ser el control de maquinaria destinada a la fabricación de acero o componentes relacionados a indumentaria de todo tipo, máquinas de herramientas, procesamientos químicos e incluso llegando a incidir dentro de áreas clínicas y destacando su eficacia dentro de acciones de alta complejidad y agilidad como la guía de trayectoria de proyectiles militares.” (Alvarez, 2014).

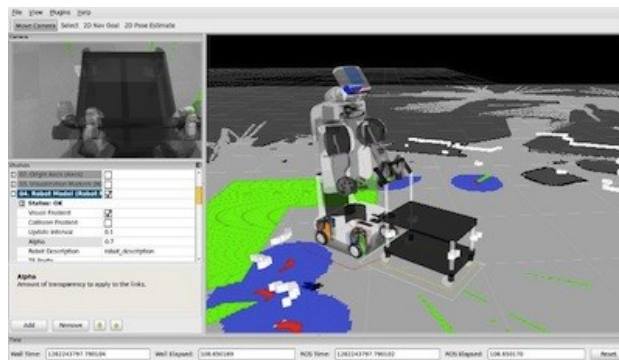
## Sistemas operativos robóticos

### *Sistema operativo Ros*

“El sistema operativo para robots o también denominado como ROS, es catalogada como una plataforma direccionada al desarrollo de sistemas robóticos open source, la cual otorga una gama de servicios y librerías que reducen, simplifican y agilizan el desarrollo y diseño de aplicaciones complejas para ser empleadas en los robots.” (Köseoğlu & Pektaş, 2015)

### **Figura 9**

#### *Sistema operativo ROS*



*Nota.* La figura fue obtenida de (García , 2014)

### **Objetivo del ROS**

“El objetivo principal del ROS, radica en ser un apoyo dentro del código reutilizable en la investigación del área robótica y el desarrollo de sistemas estructurados, que permitan la ejecución de tareas diversas en un mismo proceso, que permiten llevar a cabo los procesos previamente ingresados en forma individual y la utilización de estos de forma dinámica y no fija en tiempo real y así agrupar paquetes comparativos y asociados a distribución de acciones.” (García , 2014).

### **Sistema de archivos**

Su composición da paso a todos los recursos necesarios que pueden hallarse en un programa:

- Paquetes: estos conforman lo que se conoce como la unidad principal de organización en el ROS relacionado a su software. Su contenido es amplio en relación a procesos independientes, archivos de configuración, procesos ejecutables, bibliotecas y conjuntos de datos de acceso y modificación libre.
- Pilas: su función presenta similitud con la citada en los paquetes.
- Manifiestos de pilas: este apartado otorga al operador información acerca de las pilas, en donde se destaca y menciona información sobre la licencia del software y dependencia de otras pilas.
- Mensajes: es la encriptación o la definición de pasos, que dan lugar a que los datos puedan ser emitidos en ROS.
- Servicios: encargados y enfocados a la definición de la solicitud de datos y estructura de los mismos, necesarios para el correcto desenvolvimiento del sistema operativo de ROS (Albornoz & Calahorrano , 2016).

## **Nodos**

Los nodos en relación al sistema operativo ROS se encuentran caracterizados por los siguientes puntos:

- Su programación, se encuentra sustentada en los códigos que componen el paquete como tal y mismos que se caracterizan por contener uno o más nodos. Cabe destacar que los procesos desarrolladores son de tipo bucle.
- La comunicación se lleva a cabo de nodo a nodo, tomando en consideración que estos solo pueden transportar información en una trayectoria unidireccional y trabajan en base a los tópicos planteados.
- Los nodos poseen la capacidad de ejecutarse tanto de forma paralela como de forma individual.
- Una vez que los nodos son definidos y puestos en marcha, estos pueden generar una comunicación automática entre sí, ya sea en una o varias máquinas y de esta forma su autonomía se vuelve mucho mayor.
- El lenguaje de programación, se convierte en procesos susceptibles a la flexibilidad, ya que aquellos nodos programados según un tipo específico de lenguaje de programación, pueden conseguir comunicarse con otros cuya programación haya sido en un lenguaje diferente. (Albornoz & Calahorrano , 2016).

## **ROS en red**

El sistema operativo para robots o también denominado como ROS, es empleado debido a las ventajas que este representa en relación a la facilidad de trabajo con el operador, el cual ofrece una comunicación mediante el uso de protocolo IP en un red Wireless, con la cual, para hacer uso de la ya mencionada característica únicamente se deberá referenciar la IP del maestro y el de los subordinados, con el objetivo de que estas

pruebas se mantengan en el área experimental de trabajo, para ser constantemente afinadas acorde a las necesidades del área en la que sea empleada.

“Gracias a la cualidad ya citada, se tiene que los nodos que se emplean en el maestro y subordinado se mantienen en constante relación, e intercambian información mediante sus tópicos de entrada y salida respectivamente y de esta forma se consigue al ejecutar en una única máquina el código de generación de los nodos, con el cual se toma en cuenta el trabajo del sistema operativo ROS dentro de una determinada red.” (García , 2014).

## **Locomoción del robot**

### ***Locomoción mediante ruedas***

“Dentro de los tipos de los AMR que existen en la actualidad, se presentan aquellos cuya función o cumplimiento de objetivo tiene como área de desplazamiento los medios terrestres, los cuales hoy en día son los más utilizados dado a su sencillez en el manejo y estabilidad en los movimientos que generan.” (Cevallos, 2020)

## **Figura 10**

### ***Locomoción mediante ruedas***



*Nota.* La figura fue obtenida de (Cevallos, 2020).

### ***Ventajas en el uso de ruedas***

La mayor parte de los AMR suelen desplazarse en base al uso de ruedas o patas, para lo cual se presentan las siguientes ventajas en relación al uso de ruedas en los AMR terrestres:

- Representan una mayor eficiencia en relación al gasto energético y el cumplimiento de objetivos, debido a su desplazamiento en superficies terrestres.
- Su uso puede estar direccionado a varias áreas como la ingeniería, industria, y áreas clínicas de acuerdo a las necesidades.
- Su complejidad no supera las presentadas en los AMR de áreas aéreas o acuáticas.
- El control de desplazamiento es flexible y adaptable a los entornos en los cuales se los requiera emplear.
- El desgaste de su superficie de movilización no representa un gran impacto, a comparación del uso de robots con adaptaciones de fricción, como los robots tipo oruga.
- “Al usar AMRs condicionados a ruedas, se reducen las posibilidades de desestabilización en superficies y se procura la prevalencia del contacto entre superficie y AMR.” (Gonzales, 2003)

El uso de ruedas en relación al desplazamiento de los AMR, suele ser de extrema importancia debido a las ventajas que estos representan, en relación a su trayectoria asociado a la superficie.

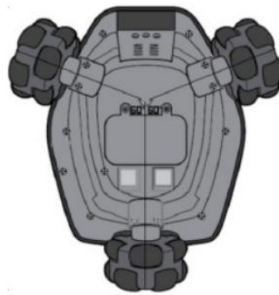
### ***Omnidireccional de 3 ruedas***

“Las configuraciones en tres ruedas, suelen poseer una estructura o distribución de tipo triangular en compensación a la estabilidad propuesta a dicha cantidad de ruedas, por lo cual en el implemento de las ruedas omnidireccionales universales simples o

dobles, se da una libertad de movimiento de 120 grados entre ellas, como lo detalla y representada en la figura 11.” (Saenz, Bugarin, & Santibanez, 2016)

### **Figura 11**

#### *Robot Omnidireccional Triangular*



*Nota.* La figura fue obtenida de (Saenz, Bugarin, & Santibanez, 2016).

#### **Configuración de cuatro ruedas**

“Los AMRs de carácter omnidireccionales estructurados a cuatro ruedas, suelen poseer una disposición más efectiva entre sus ruedas y estas a su vez dan paso a la implementación de una cantidad más versátil de número de ruedas.” (Saenz, Bugarin, & Santibanez, 2016).

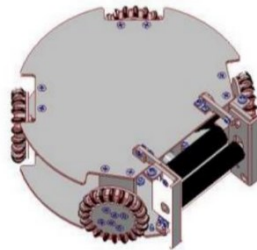
#### **Omnidireccional circular**

Esta configuración de carácter circular es el aproximado y equivalencia a la configuración omnidireccional de tres ruedas o triangular, lo cual es apreciable dentro de la figura 12, en donde se observa que la distribución estructural en relación a las ruedas, se asemeja a dicha configuración. Este ejemplo de distribuciones o canales de ordenamiento, tiene grandes ventajas en donde se destacan algunas como el obtener un desplazamiento óptimo en superficies planas.

“El control eficaz de las velocidades del equipo y sus combinaciones de desplazamiento, que permiten detectar movimientos irregulares de las ruedas y permiten una corrección casi al instante de dicha trayectoria.” (Saenz, Bugarin, & Santibanez, 2016)

### **Figura 12**

*Robot Omnidireccional de cuatro ruedas*



*Nota.* La figura fue obtenida de (Saenz, Bugarin, & Santibanez, 2016).

### ***Omnidireccional con ruedas orientables***

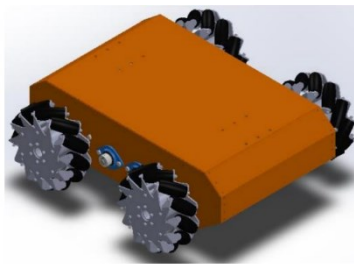
La omnidireccionalidad con ruedas orientables, se caracteriza por tener tres grados de libertad, así como de la rotación de los rodillos que forman parte de su estructura. Dentro de este modelo se destacan ventajas como lo son, el contar con un sistema de transmisión de información continua, el cual estaría a cargo de proveer en el vehículo o equipo un uso más eficaz de los motores y volviéndolo más ágil y mejorando su rango de velocidad. La ejemplificación de dicho modelo se encuentra representada en la figura 13 (Saenz, Bugarin, & Santibanez, 2016).

**Figura 13***Robot Omnidireccional de ruedas orientables*

*Nota.* La figura fue obtenida de (Saenz, Bugarin, & Santibanez, 2016).

***Omnidireccional Mecanum***

“Las ruedas dentro de la configuración mecanum, a diferencia de las anteriormente citadas se ubican de una forma parecida a la que poseen los automóviles, sus rodillos poseen cierto grado de rotación hacia determinadas direcciones, la cual por norma general se ubica dentro de los 45 grados respecto a la circunferencia exterior de la rueda, la cual es evidenciable en la figura 14.” (Saenz, Bugarin, & Santibanez, 2016)

**Figura 14***Robot Omnidireccional Mecanum*

*Nota.* La figura fue obtenida de (Saenz, Bugarin, & Santibanez, 2016).



### **Dispositivos de movilidad**

“Mahida y col. (2013) han evaluado el dispositivo de descontaminación de salas UVC automatizado y móvil Tru-D. Han demostrado que el dispositivo erradica todos los microorganismos con una reducción media de log 10 entre tres y cuatro, cuando se usa a  $22 \mu\text{J} / \text{cm}^2$ . Esto incluye un porcentaje medio de microorganismos reducido entre 99,9 y 99,99%. Dentro de dicha investigación, el robot fue colocado en una posición central, el dispositivo resultó fácil de usar y no requirió monitoreo durante la descontaminación. Funcionó sin necesidad de desactivar la ventilación de la habitación o los detectores de humo.”

“Recientemente, Cadnum et al. (2017) han comparado la eficacia de un dispositivo de desinfección de salas UVC estándar operado en una ubicación específica y la robótica móvil que opera en posición estacionaria o móvil. El robot navega por la habitación del paciente para minimizar la distancia entre el dispositivo y la sombra. El hallazgo de los autores es que el dispositivo robótico que opera en una posición estacionaria, fue tan efectivo como el dispositivo estándar contra organismos en las proximidades del mismo, pero significativamente menos efectivo a distancias mayores. Sin embargo, el dispositivo robótico con UVC programado para navegar automáticamente por la habitación, es eficaz para reducir la contaminación en los sitios de la habitación. Un robot desinfectante, es una tecnología reciente que se utiliza para desactivar microorganismos, pero requiere un dominio de un conjunto de tecnologías que van desde la robótica, la electrónica, la mecánica y la programación.”

### **Navegación reactiva**

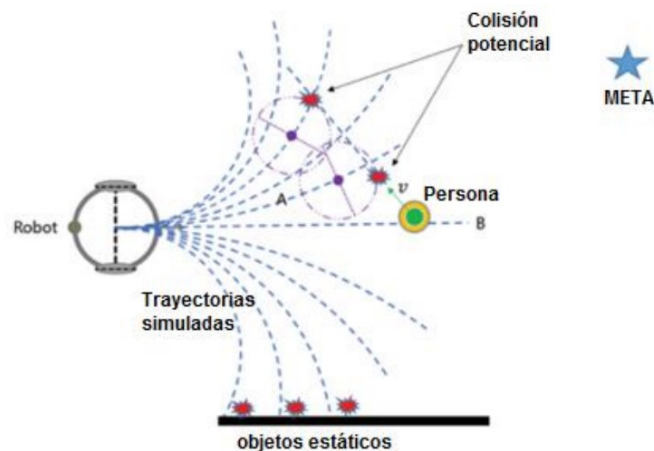
“La navegación reactiva, es definida como una estrategia de navegación mayormente utilizada dentro del diseño, desarrollo e implementación del AMR, en donde

se destaca su capacidad de respuesta ante estímulos presentes en el entorno, en el cual trazan su trayectoria y permite evitar obstáculos.” (Ruiz, Galindo, & Gonzalez, 2011).

“Se remarca además la existencia de la ventana dinámica "Dynamic Window Approach", la cual se define como un algoritmo de navegación, que toma como base el reconocimiento del entorno de trayectoria en el ambiente que se encuentra y así garantizar un mayor dinamismo en relación a su desplazamiento, por lo cual, es altamente utilizado en concordancia con el objetivo de evadir obstáculos mientras que el robot continúa su desplazamiento;” (Ruiz, Galindo, & Gonzalez, 2011)

### Figura 15

*Trayectorias simuladas por el algoritmo DWA para navegación*



*Nota.* La figura fue obtenida de (Ruiz, Galindo, & Gonzalez, 2011).

“En base a la figura 15, se puede apreciar el resultado obtenido con el uso del algoritmo DWA, para la navegación y desplazamiento del robot, en donde se evidencia el cálculo de probabilidades de trayectorias posibles simuladas y en donde en relación a la opción más viable, se tiene que el robot contará con la capacidad de seleccionar la mejor

trayectoria en base a la combinación precisa de comandos de velocidad y aceleración, logrando acercarse al objetivo o meta.” (Yingfeng, Feng, & Wei, 2017).

### **Localización y mapeo simultáneo SLAM**

La localización y mapeo simultáneo, es un conjunto de algoritmos que se utilizan para navegar los AMR, este concepto se llama SLAM.

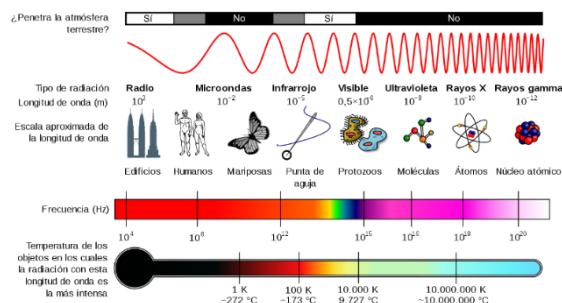
“Es un método utilizado para los AMR, que le permite construir un mapa y localizarlo en un entorno en tiempo real. Los algoritmos SLAM, permiten al robot trazar un mapa de entornos desconocidos. La información del mapa sirve para realizar tareas como la planificación de rutas y evitar obstáculos.” (Mathworks, 2020).

### **LiDAR SLAM**

“Dentro de la figura 16, se puede apreciar la representación del espectro electromagnético, que está asociado al uso de un sistema LiDAR y a su vez a los dispositivos electroópticos. En relación a las longitudes de onda, tanto de los espectros infrarrojos como visibles, se caracterizan por ser ondas cortantes en contraste a las ondas de microondas y de radio, pero destacándose a las ondas anteriores, por ser más largas que las emitidas en los rayos X y rayos gamma.” (McManamon, 2019).

### **Figura 16**

#### *Espectro electromagnético y el tamaño de objetos comunes*

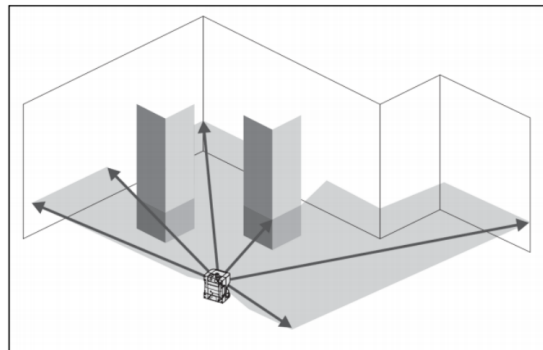


*Nota.* La figura fue obtenida de (McManamon, 2019)

El sensor LiDAR, se caracteriza por la medición de un entorno y la distribución de sus distancias con el uso de un láser, el cual tiene como función anticiparse al hecho y mediante pulsos de luz escanear de forma precisa el perímetro sobre el cual se desplaza y así realizarlo de forma radial en un solo plano. De igual forma, se recalca el uso y ejecución de medición bidimensional, a través de la emisión de pulsos láser en su entorno con un ángulo de exploración de 360 grados aproximadamente y realizando la medición del retorno de las señales. Dentro de la figura 17, se puede observar el proceso de medición del sistema LiDAR con el cual puede escanear los alrededores a través de la percepción de los objetos.

### **Figura 17**

*Principio de medición de un sensor LiDAR*



*Nota.* La figura fue obtenida de (McManamon, 2019).

La recopilación de datos, suele llevarse a cabo ya sea en un formato de dos dimensiones o tres, las cuales son almacenados en la nube, siendo un requisito previo para iniciar el proceso de mapeo. Al momento de formular la solución cartográfica final, se deberá tener en cuenta aspectos como la selección del sensor adecuado, para lo cual se precisa ahondar dentro de los tipos de sensores para el mapeo de interiores.

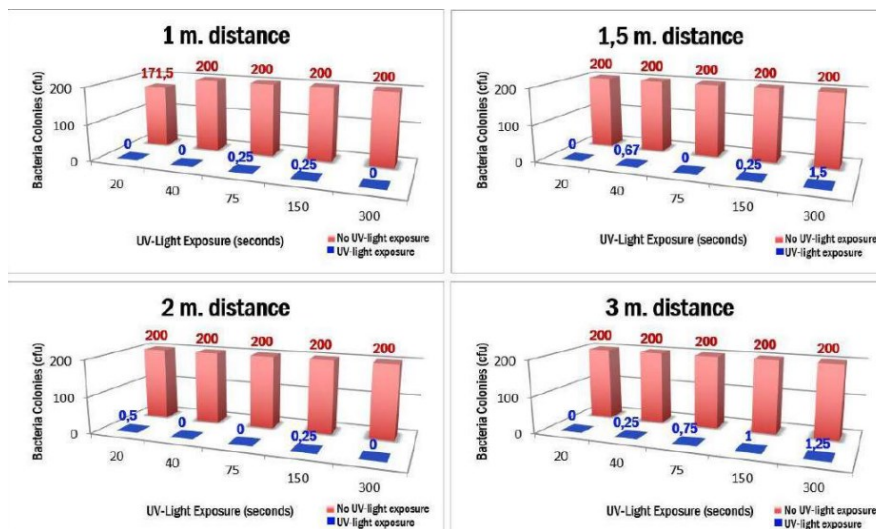
## Validación

En concordancia a lo citado acerca de los AMR y parte de sus componentes que le permiten trazar una trayectoria efectiva, se toma en consideración apartados ya mencionados respecto a la desinfección de espacios clínicos mediante la luz UVC.

“Además de ello, se recalca las dosis requeridas para obtener un gran margen de efectividad respecto a dicha desinfección, en relación a los agentes patógenos, virales y bacterianos más presentes en los entornos clínicos como son: el staphylococcus aureus, escherichia coli y el enterococcus faecalis; para los cuales se detallará a continuación el grado de validez de desinfección respecto al implemento de un AMR equipado de luz UVC para desinfección de área clínicas.” (RUBÆK, CIKOTIC, & FALDEN, 2016).

### Figura 18

*Resultados del nivel de la bacteria staphylococcus aureus sin exposición a la luz UV y después de la exposición a la luz UV*



*Nota.* La figura fue obtenida de (RUBÆK, CIKOTIC, & FALDEN, 2016).

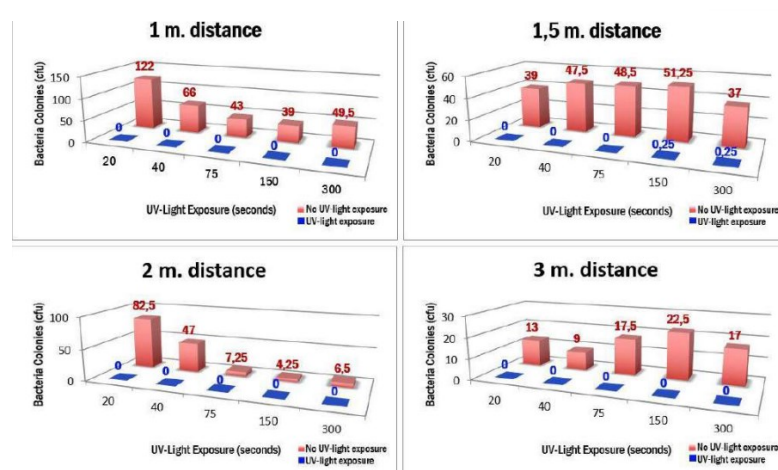
En relación a la figura 18, se encuentran los resultados de un estudio realizado, el cual se tomaron muestras antes y después de la luz UVC. Siendo así, que en el caso del

staphylococcus aureus se encontraron 200 UFC antes de la exposición UVC, después de la exposición de luz UVC a una distancia de un metro con respecto al AMR, se deberá mantener un tiempo de 20 segundos para la eliminación del 100% de las colonias, a 40 y 300 segundos se obtuvieron los mismos resultados, a diferencia de 75 y 150 segundos que se obtuvieron 0.25 UFC respectivamente.

Igualmente se tiene, que para una distancia de 1,5 metros y una exposición de 40 segundos a la radiación UVC, deja una cifra de 0,67 UFC, para 150 segundos una cifra de 0,25 UFC y para 300 segundos 1,5 UFC sin eliminar. En cuanto a los 2 metros se presenta, que a los 20 segundos se mantiene una cifra de 0,5 UFC y a los 150 segundos una cifra de 0,25 UFC. Finalmente se presenta, que para los 3 metros se obtuvieron 200 UFC antes de la luz UVC. Después de la luz UVC, dio como resultado que a 20 segundos una formación de 0 UFC, a 40 segundos 0.25 UFC, a 75 segundos 0.75 UFC, a 150 segundos 1 UFC y finalmente a una exposición de 300 segundo se obtuvieron una formación de 1.25 UFC, en donde se resalta que, en relación a los segundos.

### Figura 19

*Resultados del nivel de la bacteria E. coli sin exposición a la luz UV y después de la exposición a la luz UV*



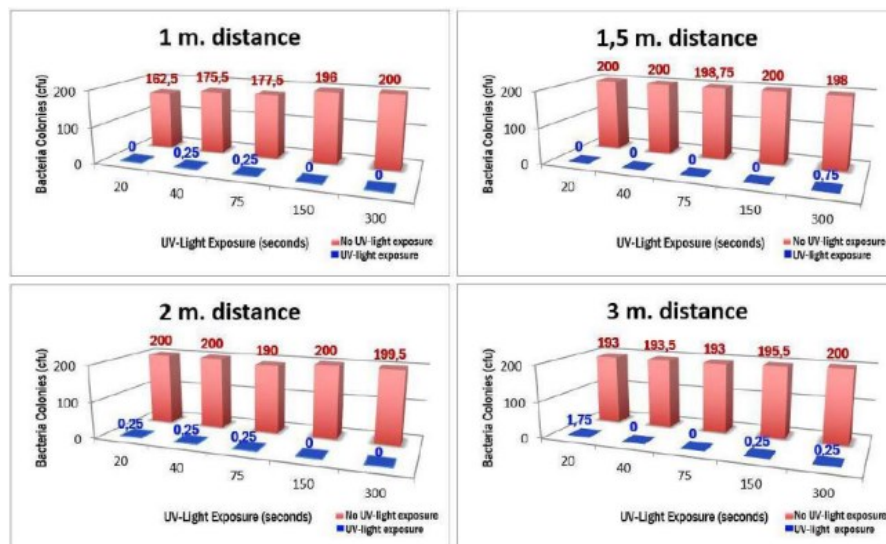
*Nota.* La figura fue obtenida de (RUBÆK, CIKOTIC, & FALDEN, 2016)

En relación a la figura 19, se aprecia el caso del escherichia coli, el cual registra que dentro de una colonia bacteriana de 200 y a una distancia de un metro con respecto al AMR, se deberá tener en cuenta un tiempo 20 segundos para la eliminación del 100% de las colonias, a 40, 75, 150 y 300 segundos se mantiene que estas guardan un resultado similar que con el primero.

Dentro de los segundos planteados se tiene, que para una distancia de 1,5 metros una exposición de 150 segundos a la radiación UVC, deja una cifra de 0,25 UFC y para 300 segundos una cifra de 0,25 UFC sin eliminar. En cuanto a los 2 metros, se presenta que las exposiciones de segundos planteados son indiferentes a la distancia, lográndo con toda una efectividad de desinfección de 100%. Finalmente se presenta, que para los 3 metros esta guarda una relación muy similar a los 2 metros en concordancia con su efectividad percibida la cual es del 100%.

## Figura 20

*Resultados del nivel de bacterias E. faecalis sin exposición a la luz UV y después de la exposición a la luz UV*



*Nota.* La figura fue obtenida de (RUBÆK, CIKOTIC, & FALDEN, 2016)

En relación a la figura 20, para el enterococcus faecalis, se mostró una formación bacteriana de 200 UFC antes de la luz UVC, se deberá tener en cuenta un tiempo 20 segundos para la eliminación del 100% de las colonias, a 40 segundos se obtiene un residuo de 0,25 UFC, a 75 segundos se observa un valor 0,25UFC al igual que en la exposición a 40 segundos, mientras que para los 150 segundos y 300 segundos la desinfección en relación a 1 metro de distancia resulta efectiva.

Dentro de los segundos planteados se tiene que, para una distancia de 1,5 metros, una exposición de 20, 40, 75 y 150 segundos ofrecen una desinfección del 100%, mientras que esta difiere a los 300 segundos en donde el residuo representa 0,75 UFC. En cuanto a los 2 metros, se presenta que a los 20 segundos se mantiene una cifra de 0,25, al igual que a los 40 y 75 segundos, mientras que, a los 150 y 300 segundos la cifra es de 0 garantizando la eficacia. Finalmente se presenta, que se obtuvo una formación de colonias antes de la luz UVC de 193 UFC a 200 UFC. Después de la luz UVC a 20 segundos se encontraron 20 UFC, a 40 y 75 segundos una formación de 0 UFC, para 150 y 300 segundos se observó 0.25 UFC.



## Capítulo II

### Metodología y definición de componentes

#### Definición de necesidades

La importancia de establecer en primera instancia las necesidades, se basa en que mediante estas se determinan las características y equivalencias, que deben guiar el diseño final del robot autónomo móvil (AMR).

Dentro de este capítulo, se dan a conocer de forma general las principales necesidades de la investigación, sin embargo; se presenta el caso de que existen aspectos extras, que deben ser tomados en cuenta. Por lo cual, en base a la tabla 2 se considera cierta cantidad de detalles, en cuanto a las necesidades para llevar a cabo la concepción de la plataforma robótica autónoma móvil (AMR). Además, esta toma en cuenta la base de donde se originan las necesidades, es decir: usuarios (U) y diseñadores (D). De igual manera, se toma en consideración aspectos y factores como el análisis y clasificación de todos los conceptos presentados en los requerimientos (R) y deseos (D).

**Tabla 2**

*Detalle de necesidades*

Concepto	#	Propone	R/D	Unidad
Función	1	U	R	Diseño para interiores médicos
	2	U	R	Navegación reactiva
	3	U/D	R	Restringir velocidad de desplazamiento
	4	U/D	R	Sistema inalámbrico
	5	U	R	Capacidad de realizar SLAM
	6	U	R	Operatividad 30 min
Manufactura	7	U/D	R/D	Implementar componentes
	8	D	R	Estabilidad estática y dinámica
	9	U/D	D	Estructura liviana
	10	D	D	Uso de materiales nuevos
Control	11	D	R/D	Movimientos sencillos
	12	D	R/D	Sensores pequeños y compatibles
	13	U	R	Tecnología de código abierto

Costos	14	D	D	Mantener costos lo más bajos posibles
--------	----	---	---	---------------------------------------

### Definición de especificaciones

En el desarrollo de este apartado, se tuvo en consideración las necesidades ya citadas del usuario, las cuales sumadas a un detalle de equilibrio y métrica dan como resultado las especificaciones inherentes dentro del cumplimiento del objetivo de la plataforma robótica móvil. Las métricas son un reflejo mensurable que se representan en las necesidades, por lo cual, con el cumplimiento de los parámetros detallados se logra cumplir con las necesidades y expectativas del usuario.

**Tabla 3**

*Detalle de especificaciones*

<b>Necesidad</b>	<b>Métrica</b>	<b>Magnitud</b>	<b>Unidad</b>
1, 7, 12, 14	Dimensiones máximas de la plataforma	50x50x180	cm
2, 3, 8, 11	Velocidad promedio de desplazamiento	0.5	m/s
1, 7, 9, 12	Peso máximo de la plataforma	10	Kg
1, 3, 11, 14	Número mínimo de motores	2	Unidad
1, 8, 11, 14	Número de puntos de apoyo	4	Unidad
4, 6, 14	Duración mínima de la batería	1	Hora
1, 2, 5, 12, 14	Distancia máxima de percepción	3	m
5, 12, 13	Uso de tecnología abierta	-	-
14	Costo máximo de producción	2000	USD

### Definición de la estructura funcional

Dentro del desarrollo del concepto de un producto, es necesario entender y tomar en cuenta aspectos cómo, el de determinar la manera que se guiará el trabajo y el establecimiento de cómo este deberá ser. Por lo cual, para llegar a este paso se tendrá en consideración la forma que debe funcionar el producto. Este punto permite generar una amplia gama de operatividad del mismo y trabajar en módulos. Finalmente, se destaca que los ya mencionados módulos tendrán por objetivo, el permitir distribuir de una forma

más eficiente las diversas operaciones funcionales. Es por ello que se presenta la tabla 4, en la cual se detalla el proceso para desarrollar la plataforma robótica móvil.

**Tabla 4**

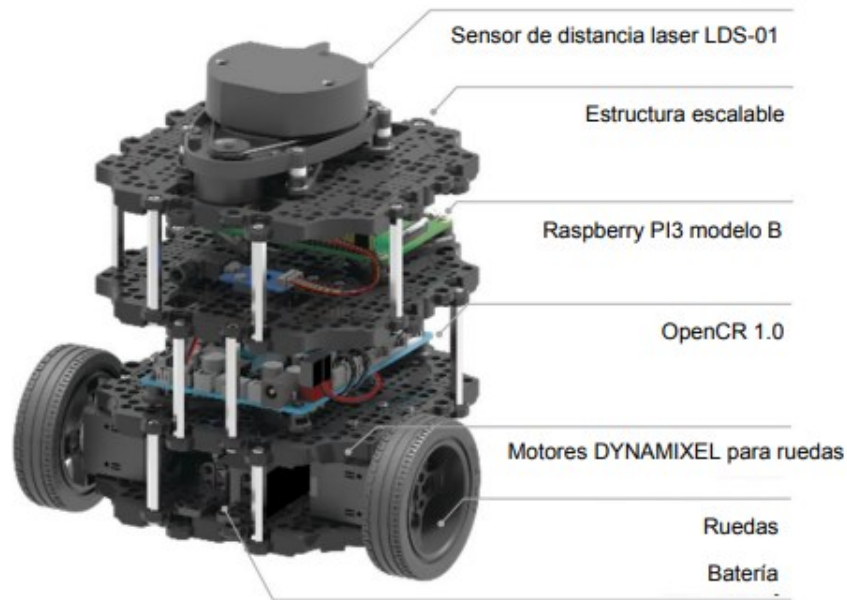
*Módulos de la plataforma robótica autónoma móvil*

#	Módulo	Funciones
1	Base	Principio de desplazamiento
2	Tracción	Actuadores de desplazamiento
3	Potencia	Acondicionamiento de señales de control
4	Energético	Aporta energía a los componentes
5	Navegación reactiva	Detecta obstáculos
6	Odometría	Registra cambios de posición
7	Adquisición y mando	Adquisición de datos
8	Visión	Control en bajo nivel
9	Control	Controla los movimientos del robot

### **Construcción de la estructura del robot UVC**

TurtleBot3 Burger perteneciente al conjunto de plataformas TurtleBot, están en constante evolución y son accesibles gracias a su software de código abierto y costo bajo.

“Al ensamblar el TurtleBot3 modelo burger queda distribuida en cuatro niveles. El primer nivel es para la batería, los motores y las ruedas; en el segundo nivel se encuentra la tarjeta OpenCR para las entradas/salidas digitales y analógicas; en el tercer nivel se encuentra la Raspberry PI3 y en el último nivel está el sensor de distancia láser LDS-01.” (Capera, 2021).

**Figura 21***Componentes del TURTLEBOT3 - BURGER*

*Nota.* La figura fue obtenida de (Caperá, 2021)

Dentro de las características técnicas que posee el modelo burger tenemos:

**Tabla 5***Especificaciones Técnicas del TURTLEBOT3*

Velocidad máxima	0.22 – 0.36 m/s
Velocidad máxima de rotación	2.84 rad/s
Carga máxima	15 kg
Tiempo de funcionamiento esperado	2h 30 min
Unidad de medición inercial	Giroscopio, acelerómetro, magnetómetro
Conexión a PC	USB
Conectores de alimentación	3.3 V / 800 mA
	5 V / 4A
	12 V / 1 <sup>a</sup>
Sensor de distancia	Sensor de distancia láser 360 LDS-01

Pines

GPIO 18 pines – Arduino 32 pines

*Nota.* La tabla fue obtenida de (Capera, 2021).

### **Sensor láser LDS-01**

Turtlebot 3 Burger utiliza un sensor láser de distancia LDS – 01, este sensor es capaz de recopilar medidas de distancia alrededor del robot gracias a que gira 360°, además es accesible debido a su fácil conexión y configuración.

### **Figura 22**

*Sensor Láser LDS-01*



*Nota.* La figura fue obtenida de (Capera, 2021)

### **Tabla 6**

*Especificaciones Técnicas del sensor láser LDS-01*

Voltaje de operación	5V DC
Consumo	400 mA
Tasa de muestreo	1.8 KHz
Distancia de detección	120 a 3500 mm
Dimensiones	69.5 (ancho) X 95.5 (profundidad) X 39.5 (alto) mm
Masa	1000 gr

Rango de escaneo	300 ±10 rpm
Rango de escaneo Angular	360°
Resolución Angular	1°

*Nota.* La tabla fue obtenida de (Capera, 2021).

El sensor se conecta a un USB2LDS que permite la comunicación con la Raspberry Pi3.

### Figura 23

*Módulo USB2LDS*



*Nota.* La figura fue obtenida de (Capera, 2021)

### **Raspberry Pi 3 modelo B**

Es un ordenador de formato compacto y costo accesible, destinado al desarrollado para hacer accesible la informática. La Raspberry Pi también es utilizada para desarrollar

pequeños prototipos de control debido a que permite controlar dispositivos electrónicos y lectura de sensores.

### Figura 24

*Tarjeta Raspberry Pi3 – B*



*Nota.* La figura fue obtenida de (Capera, 2021)

### Tabla 7

*Especificaciones Técnicas - Raspberry Pi3 – B*

Procesador	Broadcom BCM2837, Cortex-A53 (ARMv8) 64-bit SoC
RAM	1 GB
Pines	GPIO extendido de 40 pines
Puertos	4 USB 2.0, HDMI, Micro USB (alimentación)
Voltaje de operación	5.1 V
Consumo	2.5 Ah

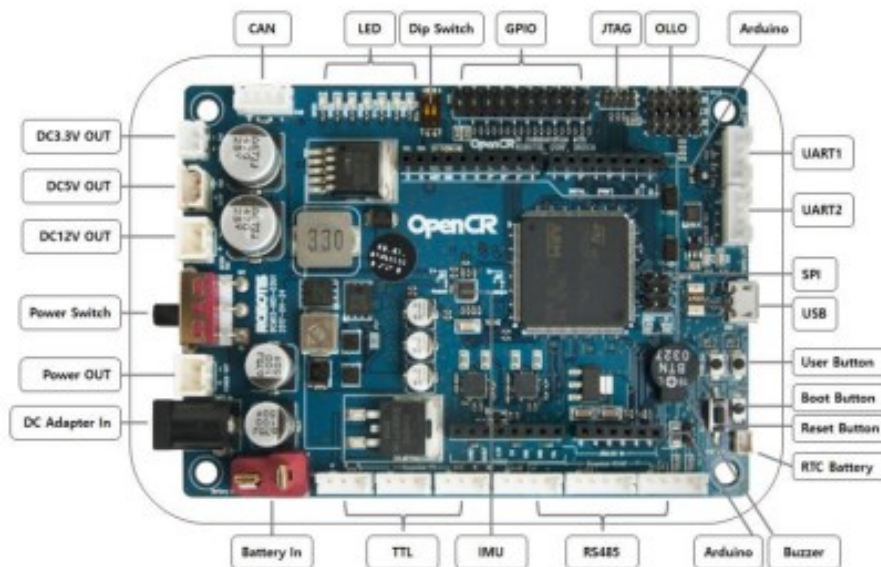
*Nota.* La tabla fue obtenida de (Capera, 2021).

### Tarjeta OpenCR 1.0

Es una tarjeta que proporciona pines de entrada/salida digitales y analógicos que pueden interactuar con la Raspberry Pi3 B y varios sensores. También cuenta con salidas de potencia de 3.3V, 5V y 12V para la Raspberry Pi3 y sensores.

#### Figura 25

Estructura de la tarjeta OpenCR 1.0



Nota. La figura fue obtenida de (Capera, 2021)

#### Tabla 8

Especificaciones Técnicas de la tarjeta OpenCR 1.0

Sensores	Giroscopio, acelerómetro, magnetómetro
Microcontrolador	STM32F746ZGT6 / 32-bit ARM Cortex®-M7 with FPU (216MHz, 462DMIPS)



Conectores	32 pines (L 14, R18)*Conectividad Arduino Módulo sensor x4 pines Conector de extensión x18 pines
Comunicación	USB, TTL, RS485, UART x2, CAN

*Nota.* La tabla fue obtenida de (Capera, 2021).

### **Motores DYNAMIXEL XL430**

Los motores DYNAMIXEL son los actuadores más avanzados a nivel de robótica. Son motores de muy altas prestaciones para robots programables y que proporcionan mucha información de feedback.

### **Figura 26**

*Motores DYNAMIXEL XL430*



*Nota.* La figura fue obtenida de (Capera, 2021)

**Tabla 9***Especificaciones Técnicas del motor DYNAMIXEL XL430*

Motor	Húmedo
Resolución	4096(pulso/rev)
Velocidad de transmisión	9600(bps) – 4.5(Mbps)
Voltaje de entrada	11.1 V
Consumo	40 - 100 mA

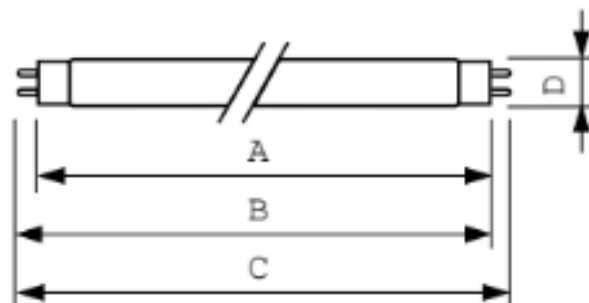
*Nota.* La tabla fue obtenida de (Capera, 2021).

### **Lámparas de Luz UV-C**

“La longitud de onda de la luz UV-C se encuentra en el rango de 200 a 280 nanómetros (nm) el cual para fines germicidas está dentro del rango ya que para garantizar la inactivación de bacterias es de 100 a 400 nm, así como se muestra en la Figura 16 .”(PHILIPS, 2020).

**Figura 27**

*Dimensiones de lámpara TUV 55W HO.*



*Nota.* La figura fue obtenida de (PHILIPS, 2020)

**Tabla 10****Especificaciones Técnicas de lámpara TUV 55W HO**

Dimensiones	D 28 x A 894.6 x B 901.7 x C 908.8 (mm)
Vida útil	9000 h
Voltaje de operación	110 V
Consumo	770 mA
Potencia de operación	54 W
Código de orden	376343
Radiación de brillo	17.5 W

Nota. La tabla fue obtenida de (PHILIPS, 2020)

**Balastro PSP2GPH40HOIVDW.**

El balastro electrónico es utilizado para el encendido de lámparas con precalentamiento.

**Figura 28****Balastro PSP2GPH40HOIVDW**

Nota. La figura fue obtenida de (ROBERTSON, 2020)

**Tabla 11***Especificaciones Técnicas del Balastro*

Corriente nominal de lámpara	800 mA
Voltaje de arco	23 a 118 V
Voltaje de entrada	100 a 227 V AC
Lámparas aplicables	18 y 36 W o 37 95 W a 50 y 60 Hz

*Nota.* La tabla fue obtenida de (ROBERTSON, 2020)

Como sistema de seguridad principal se implementan dos cámaras, que en conjunto con las tarjetas Raspberry Pi y Jetson Xavier controlan el encendido y apagado de las lámparas (ROBERTSON, 2020).

***Jetson Xavier NX Developer Kit***

El kit para desarrolladores NVIDIA® Jetson Xavier NXT, incluye el módulo Jetson Xavier NX compacto y de bajo consumo. Es 10 veces más poderoso que su predecesor Jetson TX2 ampliamente adoptado. Para los OEM de máquinas inteligentes, los desarrolladores de aplicaciones de inteligencia artificial que desean crear productos innovadores, ofrecen la capacidad de desarrollar sistemas eficientes en el consumo de energía con inferencia de inteligencia artificial multimodal y precisa (NVIDIA, 2021).

**Figura 29***Jetson Xavier NX*

*Nota.* La figura fue obtenida de (NVIDIA, 2021).

**Tabla 12***Especificaciones Técnicas Jetson Xavier NX*

CPU	6-core NVIDIA Carmel ARM®v8.2 64-bit CPU 6 MB L2 + 4 MB L3
Memoria	8 GB 128-bit LPDDR4x @ 51.2GB/s
Conexiones de pantalla	HDMI y Puerto de visualización
Dimensiones	103 mm x 90.5 mm x 34.66 mm
Puertos	4x USB 3.1, USB 2.0 Micro-B
Voltaje de operación	5 V DC
Consumo	4 A

*Nota.* La tabla fue obtenida de (NVIDIA, 2021).

## **Raspberry Pi Cámara módulo 2**

Este módulo se puede utilizar para tomar fotografías y videos en alta definición, su aplicación es accesible para principiantes y de usos más complejos como la aplicación de inteligencia artificial para el reconocimiento de objetos y personas (PiHut, 2020).

### **Figura 30**

*Módulo cámara - Raspberry Pi*



*Nota.* La figura fue obtenida de (PiHut, 2020)

### **Tabla 13**

*Especificaciones Técnicas Módulo Cámara*

Dimensiones	25x24x9 mm
Masa	10 g
Resolución	8 megapíxeles
Voltaje de operación	5 V
Consumo	140 mA
Formato de fotografía	JPEG, JPEG + DNG (raw), BMP, PNG, YUV420, RGB888
Formato de video	raw h.264 (accelerated), MJPEG

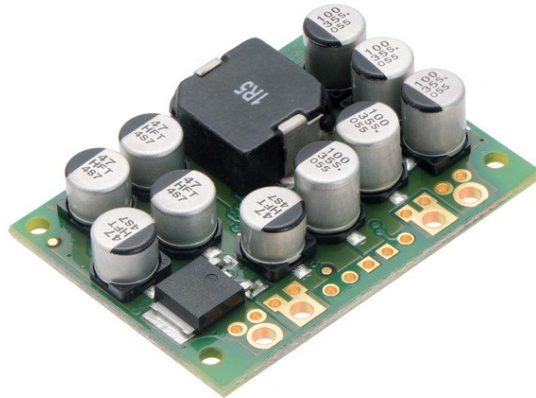
*Nota.* La tabla fue obtenida de (PiHut, 2020)

### **Regulador de voltaje de 12V a 5V en CC**

Este regulador o reductor de voltaje de comunicación sincrónica, toma un voltaje de hasta 40 voltios y lo reduce eficazmente hasta los 5 voltios con una salida de corriente de hasta 15 A. Las especificaciones de este regulador son ideales para alimentar grandes cargas y su estructura permite que el voltaje sea estable (Pololu, 2019).

#### **Figura 31**

*Transformador de 12v a 5 v*



*Nota.* La figura fue obtenida de (Pololu, 2019)

### **Regulador de señal**

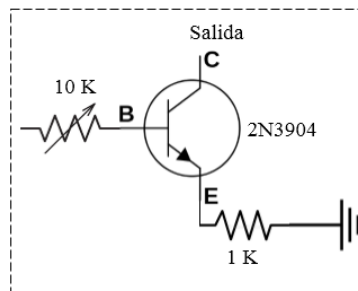
Debido a la presencia de ruido, que se genera por los componentes electrónicos, las cámaras presentan una inestabilidad de la señal que llega a la Jetson Xavier, por lo tanto, el regulador permite recibir solo las señales más grandes y aquellas que son intermitentes las elimina, dando una señal más clara al relé que activa y desactiva las lámparas UV-C.

- Potenciómetro de 10 K Ohm
- Resistencia de 1K Ohm

- Transistor 2N3904.

### Figura 32

*Conexiones del regulador de señal*



### Relé de estado sólido SSR – 25 A

Un relé de estado sólido (SSR) contiene un circuito integrado (IC), que actúa como un relé mecánico. Es más utilizado, para controlar cargas de alta tensión de los circuitos de control de tensión inferior (señal). Relés de estado sólido, tienen varias ventajas sobre los relés mecánicos (MicroJPM, 2019).

### Figura 33

*Relé de estado sólido*



*Nota.* La figura fue obtenida de (MicroJPM, 2019).



**Tabla 14***Especificaciones Técnicas del Relé de estado sólido*

	Larga vida útil y fiabilidad
Voltaje de salida	24 a 380 V AC
Corriente de salida	24 A
Tensión de entrada	3-32V AC
Control	CC a CA
Tiempo de conmutación	< 10 ms

*Nota.* La tabla fue obtenida de (MicroJPM, 2019).

**Regleta Led**

La regleta o cinta de luces led “NeoPixel RGBW Neon-like Flex Strip - Cool White 5500K - 1 meter - 5V 60 LEDs/m” permite dar un indicador visual al momento de que una persona se aproxime al robot cuando está desinfectando (ADAFRUIT, 2020).

**Figura 34**

*Regleta Led.*



*Nota.* La figura fue obtenida de (ADAFRUIT, 2020).

**Tabla 15***Especificaciones Técnicas de regleta de leds*

Voltaje de operación	5V
Consumo	140 mA
Proporción	60 leds por metro
Protección	Cubierta de silicona
Gama de colores	RGBW

*Nota.* La tabla fue obtenida de (ADAFRUIT, 2020)

***Paro de emergencia***

En caso de que algún sistema tienda a fallar, es necesario la implementación de un botón de paro, capaz de apagar las lámparas de Luz UV-C.

**Figura 35***Botón - paro de emergencia*

*Nota.* La figura fue obtenida de (STOPBOTTON, 2021)

**Tabla 16***Especificaciones del paro de emergencia*

Voltaje de salida	Hasta 600 V
Corriente de salida	Hasta 10 A
Dimensiones	∅ 22 mm x 8.5 mm de alto

*Nota.* La tabla fue obtenida de (STOPBOTTON, 2021)

**Definición del diseño**

Dentro de la tabla 17, se detallan las alternativas que se escogieron. Dichas soluciones serán llevadas a cabo en cada módulo.

**Tabla 17***Componentes seleccionados*

<b>Módulo</b>	<b>Definición</b>	<b>Selección</b>
Módulo 1	Base	Desplazamiento diferencial
Módulo 2	Tracción	Motor DC Servo
Módulo 3	Potencial	Open CR module
Módulo 4	Energético	Batería
Módulo 5	Navegación reactiva	LiDAR
Módulo 6	Odometría	Encoder y Servomotor
Módulo 7	Adquisición y mando	Raspberry Pi
Módulo 8	Visión	Cámara 175 grados
Módulo 9	Control	Sistema Operativo Robótico (ROS)

**Módulo 1. Base**

La base de diseño seleccionada abarca un patrón de desplazamiento diferencial. La fabricación y manufactura de la base del robot, engloba el instalar los motores y de igual forma las ruedas motrices en las posiciones establecidas, asegurándose de reducir todo error posible, esto para evitar desequilibrios en el desplazamiento frontal. De igual

forma, estas ruedas móviles deben ser ligeras, pero con un labrado que permita adherirse a cualquier superficie.

Así mismo, las ruedas auxiliares deben asegurar un rápido desplazamiento de la plataforma, con una orientación ágil y eficaz, por esta razón es que las ruedas locas fueron seleccionadas. Este elemento de igual forma debe servir como punto de base del AMR, permitiendo un equilibrio y mejora en el desplazamiento sin caer en puntos ciegos.

### **Módulo 2. Tracción**

En cuanto al módulo de tracción, trata sobre motores que entregan el torque requerido para que la estructura realice los movimientos de desplazamiento. La selección de opciones de diseño menciona a los servomotores como la mejor opción que podría llegar a considerarse.

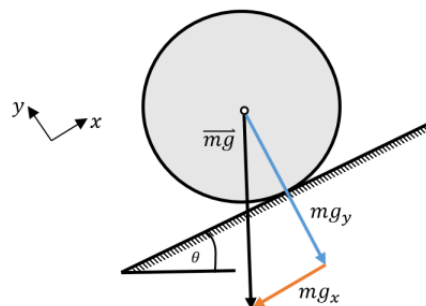
El dimensionamiento adecuado del motor, comienza con la configuración sin carga que afecta el funcionamiento del motor. La figura 36, muestra estas cargas para el caso de una rueda destinada a moverse sobre un plano inclinado. Así mismo, esta figura muestra cómo el peso del robot, se divide en dos cantidades correspondientes a los ejes de coordenadas del plano inclinado. Entonces se tiene:

$$m * g_x = m * g * \sin \theta \quad (1)$$

$$m * g_y = m * g * \cos \theta \quad (2)$$

### **Figura 36**

*Cargas en reposo sobre una rueda motorizada*



Donde  $m$  es la masa,  $g_x$  y  $g_y$  conforman los componentes de la gravedad  $g$  en los ejes X y respectivamente. De igual forma, para que el AMR no se deslice por una superficie inclinada, debe existir la fuerza de fricción entre la rueda con la superficie. Esta asociación se demuestra:

$$f = \mu * N \quad (3)$$

Donde  $f$  es la fuerza de rozamiento,  $\mu$  es el coeficiente de fricción y  $N$  es la fuerza normal o reacción que se produce al poner en contacto dos superficies. La fuerza de rozamiento es el componente energético, que debe ser vencido por el torque del motor. La figura 37, muestran estas fuerzas sobre el caso de la rueda, que pretende desplazarse sobre un plano inclinado.

Es así que finalmente, la sumatoria de fuerzas respecto al origen de la rueda, no permite considerar la siguiente relación:

$$T = f * R \quad (4)$$

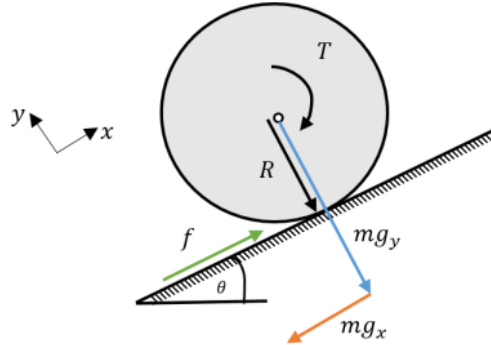
Donde el torque de motor es expresado con la  $T$ ,  $f$  es la fuerza de rozamiento y el radio de la rueda con la letra  $R$ .

Hasta este punto, era posible obtener del motor el par necesario para mantener el movimiento una vez que se había iniciado. Sin embargo, para el tamaño de motor correcto, se debe considerar un caso más extremo. Así es como, se puede empezar a hacer que la rueda descansa e intentar que esta se mueva. Físicamente, este concepto se refiere a la aceleración de  $\partial$ . La Figura 37 muestra la adición de este nuevo componente.

Conociendo esto se pueden equilibrar las fuerzas en el eje x. Así que se tiene:

### Figura 37

*Cargas presentes en el desplazamiento de una rueda motorizada*



$$\sum F_x = m * a = m * g_x + f \quad (5)$$

Reemplazando las ecuaciones 1 y 4 se tiene:

$$m * a = m * g * \sin \theta + \frac{T}{R} \quad (6)$$

Despejando la ecuación 6 se obtiene:

$$T = [a + g * \sin \theta] * m * R \quad (7)$$

La ecuación presentada, representa el par o torque necesario para que el AMR avance por una pendiente, con una velocidad no continua utilizando únicamente un motor. El diseño propuesto hace uso de dos motores en configuración diferencial, esto implica dividir el resultado de la ecuación en dos. Es así que se obtiene:

$$T_m = \frac{T}{2} = \frac{[a + g * \sin \theta] * m * R}{2} \quad (8)$$

Finalmente, se debe tomar en cuenta la eficiencia del motor y el factor de seguridad. Con estas nuevas variables se obtiene:

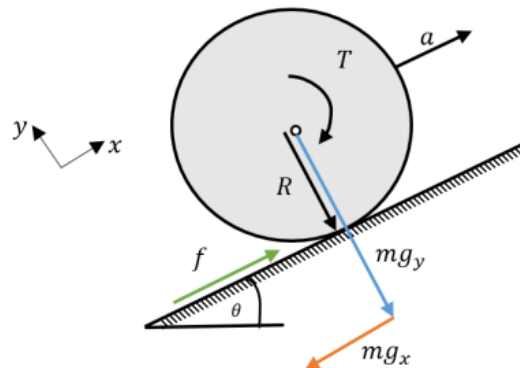
$$T_{fm} = f_s * \left(\frac{100}{e}\right) * \left\{\frac{[a+g*\sin \theta]*m*R}{2}\right\} \quad (9)$$

Donde  $T_{fm}$  es el torque final del motor,  $f_s$  es el factor de seguridad y  $e$  es la eficiencia del motor.

La ecuación citada, demuestra el modelo matemático que debe emplearse para el dimensionamiento de motores de las bases robóticas móviles. Para obtener un valor numérico, se utiliza los siguientes valores:  $m_{max} = 10kg$ ,  $R = 0.15 m$ ,  $\theta = 15^\circ$ ,  $a = 0.1 m/s^2$ ,  $e = 90\%$ ,  $f_s = 2$ . Estos parámetros concuerdan con los requisitos planteados en la sección.

### Figura 38

*Cargas presentes en el desplazamiento desde el reposo de una rueda motorizada*



Como se puede ver en la ecuación dada, el par de cada motor requerido para mover la plataforma del AMR en el caso extremo es 2,2Nm.

### **Módulo 3. Potencia**

Dentro del control Open CR, se tiene que estas son de las mejores alternativas a utilizar, de acuerdo a las revisiones previamente planteadas. Los sistemas integrados del mercado, reducen el tiempo de producción de estos componentes y aumentan significativamente la durabilidad de los circuitos eléctricos y electrónicos.

**Tabla 18**

*Características del servomotor XL 430-W250-T*

<b>Característica</b>	<b>Magnitud (Unidad)</b>
Dimensiones	28,5 x 46,5 x34,0 mm
Peso	57.00 gr
Toque nominal	2,45 N.m
Voltaje de operación	6,5 a 12v
Corriente máxima	1,4v
Rango de temperatura	-20 a 50 grados

El tamaño de estos motores debe depender de las características de rendimiento del motor. Por lo tanto, la Tabla 18 presenta los parámetros eléctricos que puede requerir el servomotor seleccionado. La corriente máxima que debe manejar el motor debe ser de 1.4A y el voltaje de operación debe estar entre 6.5 y 12V.

Finalmente, tomando en cuenta a los diferentes aspectos mencionados, sumados a la disponibilidad de estos mismo dentro del mercado y el precio del equipo requerido se decide colocar los controladores para motores a pasos del servomotor XL 430-W250-T. La tabla 19 presenta, las principales cualidades del controlador que se utilizara.

**Tabla 19**

*Características del controlador es el OpenCr 1.0*

<b>Característica</b>	<b>Magnitud (Unidad)</b>
Peso	60 gr
Voltaje de operación	5 a 24 v
Corriente de operación	1 a 4,3 A
Rango de temperatura	-10 a 45 grados



#### **Módulo 4. Energético**

La variante de diseño elegida indica, que la mejor opción para esta unidad es usar la batería. En este contexto, se dimensiona la capacidad de la batería adecuada. La elección de la batería determina la relación entre la fuerza mecánica del motor y la fuerza eléctrica, con variables determinadas por la unidad de control y el motor.

$$T * \omega = I * V \quad (10)$$

Donde  $T$  es el par o torque,  $\omega$  es representativo a la velocidad angular,  $I$  es definida por la intensidad de corriente y  $V$  es el voltaje utilizado y expresado en voltios. Se considera, que el torque superior del motor es de 2,45 Nm, la velocidad angular del motor es de  $3.5 \text{ rad/s}$  y el voltaje en un rango de 12 a 24 V. En la ecuación presentada, señala una expresión que tiene como única incógnita la corriente de operación que se necesitará para el adecuado movimiento de la plataforma del robot autónomo móvil.

La capacidad de la batería, está determinada por la corriente que es capaz de suministrar durante un período de tiempo específico. La ecuación nos muestra la cantidad correspondiente a la capacidad de la batería.

$$C = I * t \quad (11)$$

$$C = 6 * 1 = 6A$$

Donde  $C$  es la capacidad de la batería,  $I$  es el amperaje y  $t$  es el tiempo de funcionamiento, Teniendo para esta aplicación un tiempo de 1 hora. El valor definido en la ecuación 11 debe ser multiplicado por dos valores:

- El primer valor es correspondiente al factor de carga  $f_c$  que especifica la capacidad de la batería debe ser 1,2 veces el valor nominal, para evitar la caída de voltaje debido a la descarga de la batería.
- El segundo corresponde al factor de seguridad  $f_z$ , que puede ignorar errores en la medición dimensional. En el caso de las baterías, el valor recomendado es 1,1 veces el valor medido.

Así, la ecuación expresada nos permite visualizar la capacidad de corriente en relación a la hora de la fuente requerida para la operación de la plataforma robótica móvil o AMR.

$$C_{final} = C * 1.2 * 1.1 = 6.92 Ah \quad (12)$$

Otro aspecto a tener en cuenta a la hora de elegir una batería, es el voltaje nominal, que para las baterías de uso común es de 12 voltios.

Con la información obtenida, la elección de la batería que cumpla con los requisitos del motor y la plataforma sigue siendo una cuestión de elección. Esta aplicación requiere alta eficiencia, larga vida, alta densidad de energía y seguridad. La Tabla 20 presenta varios tipos de celdas de batería, así como características que justifican la elección realizada.

**Tabla 20**

*Tipos de baterías y características*

<b>Batería</b>	<b>Unidad</b>	<b>PbSO2</b>	<b>Ni-Cd</b>	<b>Ni-Mh</b>	<b>LiFePO4</b>
Energía por kilogramos	(Wh/kg)	30/40	40/60	30/80	100
Ciclos de uso		500/800	2000	1500	2000
Temperatura de operación	◦ C	-20/50	-40/60	-20/60	-20/60
Costo por Kilovatio	(S/kW)	150	400/800	250	400

De acuerdo con la Tabla 20 y teniendo en cuenta la disponibilidad de mercado, así como el precio de este elemento, se decidió utilizar la batería LIFEP04, cuyas características se presentan en la tabla 21.

Ya para terminar, se señala que la batería no es solo una fuente de alimentación para la unidad de control y el motor, sino también para alimentar los controles y sensores. Estos componentes no requieren una corriente total superior a 0,1 A, por lo que no afectan los cálculos realizados para la selección de baterías.

### **Tabla 21**

*Características de la batería LIFEP04*

<b>Característica</b>	<b>Magnitud (Unidad)</b>
Voltaje de operación	12V
Capacidad de corriente	7 Ah
Duración de ciclo	20 horas
Ciclos de uso	300 ciclos

### **Módulo 5. Navegación reactiva**

Como diseño alternativo, la unidad de navegación receptiva utiliza cámaras ubicadas en la parte frontal de la plataforma del robot móvil. Además, se deben integrar mecanismos que le permita al AMR evadir obstáculos.

**Sensor LiDAR.** El sensor LiDAR de la plataforma del robot móvil, juega un papel similar al del ojo humano. La capacidad de evitar obstáculos mientras el robot se mueve en un entorno cerrado, es la principal aplicación de estos dispositivos. Además, el sensor LiDAR es un recurso económico con tasas de precisión relativamente altas y se usan ampliamente en aplicaciones similares.

### ***Módulo 6. Odometría***

La utilización de giroscopio y encoder se presenta como la propuesta con mayor peso dentro de la selección de opciones de diseño para el módulo de odometría. El encoder define el número de revoluciones, así como la velocidad hace referencia a giros de los motores. De igual forma, el giroscopio detalla los ángulos de orientación del AMR.

**Encoder.** Dentro de la odometría, este dispositivo permite codificar el movimiento mecánico de un motor en distintos tipos de impulsos, tanto digitales como análogos, siendo una interfaz entre un dispositivo mecánico móvil y un controlador. Al utilizarlo dentro de los mecanismos móviles, permite identificar la posición y dirección del movimiento que realiza.

**Servomotor.** Este dispositivo engloba la facilidad de identificar la odometría dentro del proyecto, ya que dentro de su composición contiene un Encoder, que mediante el controlador permite mediante pulsos comandar los movimientos.

### ***Módulo 7. Adquisición y mando***

La definición del sistema embebido a utilizar, representa un apartado de gran importancia debido a la modulación de señales que este representará. Siendo así, que esta herramienta electrónica permitirá obtener la mayor cantidad de información de los sensores y controlar con mayor eficacia el movimiento de la plataforma del AMR y agilizar la comunicación con el módulo de control.

Las tarjetas Raspberry Pi3 modelo B y la Jetson Xavier son las encargadas del procesamiento de datos y comandar los distintos dispositivos a utilizar.

### **Módulo 8. Visión**

Dentro de las propuestas, que se emplean en el sistema de visión, está la utilización de cámaras, las cuales son las más ponderadas en la selección de diseño de alternativa. Esta herramienta posee la cualidad de poder ser posicionada sobre la plataforma del AMR, con el propósito de ser un apoyo en el SLAM.

### **Módulo 9. Control**

Dentro de este módulo se dan detalles, acerca de la operatividad de la plataforma robótica móvil. La propuesta que se generó a partir de la evaluación de alternativas de diseño, fue el sistema ROS el cual es definido como una herramienta informática, que funciona en distribuciones como la de Linux, lo que implicaría el implemento de un computador para el funcionamiento del dispositivo.

**Estructura de control de la plataforma robótica móvil.** El empleo del sistema ROS engloba tanto el desarrollo de nodos, los cuales deben ir acorde con las necesidades de la plataforma robótica móvil autónoma o AMR, siendo esta la razón por la cual, en los siguientes módulos son descritos brevemente. Estos nodos, presentados dentro de la tabla 22, deben estar ordenados de forma jerárquica a fin de obtener un adecuado desenvolvimiento del AMR.

**Tabla 22**

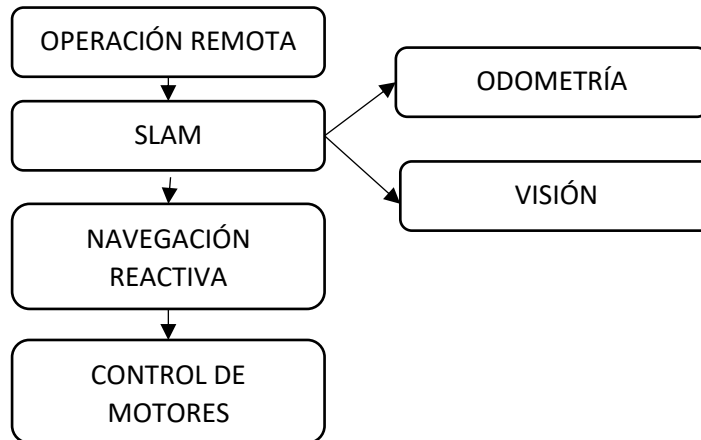
*Nodos desarrollados en ROS*

<b>#</b>	<b>Nodo</b>	<b>Módulo relacionado</b>
1	Navegación reactiva	Navegación reactiva
2	Operación remota	-
3	SLAM	-
4	Odometría	Odometría
5	Visión	Visión
6	Control de motores	Tracción

## Jerarquía de nodos en ROS

**Figura 39**

*Jerarquía de nodos en ROS*



**Nodo 1. Operación remota.** Para la operación remota, ROS es comandado desde una PC, pero para ello el AMR debe estar conectado a la misma red de internet de la PC, lo cual permite instalar comandos para que cumplan funciones específicas y pruebas piloto para verificar la conectividad entre ambos dispositivos.

**Nodo 2. SLAM.** El nodo SLAM, es responsable de establecer la independencia de la plataforma del AMR. Allí convergen los nodos visuales, ya que su funcionamiento requiere información de estos nodos. Además, los movimientos llevados a la tarjeta de control del motor, están limitados por la navegación sensible y el control remoto.

**Nodo 3. Navegación reactiva.** La plataforma del robot en movimiento, debe evitar obstáculos al moverse. Esto se logra mediante el uso de un algoritmo, que bloquea las direcciones desordenadas, dejando solo las direcciones sin objetos delante de ellas. El nodo de navegación reactiva en el sistema ROS, recopila información de la red octogonal del sensor LiDAR a través del módulo de adquisición y control. Esta información, se recibe como un vector y se ingresa al nodo responsable de procesar y especificar las direcciones de trabajo y luego se presenta como un mensaje. Las notificaciones se actualizan cada vez que el AMR toma una nueva dirección.

**Nodo 4. Control de motores.** Dentro de la cadena de nodos, se tiene que el control de motores es el último en recibir datos de velocidad lineal y velocidad angular, mismos que son generados a partir del procesamiento de los nodos descritos en subtemas anteriores. Este nodo a su vez, está a cargo de entregar y transmitir un mensaje al módulo de adquisición de datos, en donde su función será la de procesar dicha información y convertirla en señales convenientes para el control de los motores del robot.

## Capítulo III

### Diseño, selección e implementación del robot UVC

En este capítulo, se plantea el diseño y selección de componentes del Robot UVC tomando en consideración estudios, diseños existentes y principalmente los requerimientos para la correcta desactivación de las bacterias (Estafilococos Aureas, Escherichia Coli y Enterococcus Faecalis); con el fin de establecer la implementación, construcción, sensores, controladores y tarjeta electrónica, donde se desarrollará el algoritmo de control del sistema y su conexión con la interfaz ROS.

#### Diseño

Para precautelar la seguridad de los usuarios del centro médico, el AMR realizará la desinfección del lugar en la noche. Para el diseño se determinó los siguientes parámetros:

#### ***Cálculo de la dosis necesaria para la inactivación de las bacterias***

Cálculo del tiempo de dosis para desinfección de bacterias.

Las dosis requeridas de luz UV para la inactivación de las siguientes bacterias que se desea eliminar en esta investigación:

- Estafilococo Aureus se requiere  $10 \text{ mJ}/\text{cm}^2$
- Escherichia Coli se requiere  $7.3 \text{ mJ}/\text{cm}^2$
- Enterococcus Faecalis se requiere  $13 \text{ mJ}/\text{cm}^2$

De la Tabla 64 se obtuvo la información de 17.5 W de la lámpara que se seleccionó UV, TUV 55W HO 1SL/6.



Se realizará el cálculo con varias distancias (10, 20,30 cm), desde la superficie de las paredes hasta la superficie de las lámparas.

$$B = \frac{RUV * \# \text{ de lámparas}}{4 * \pi * d^2} \quad (13)$$

$$B_{10} = \frac{(17.5 W) * 2}{4 * \pi * (10 \text{ cm})^2} = 0.02785 \text{ W/cm}^2$$

$$B_{20} = \frac{(17.5 W) * 2}{4 * \pi * (20 \text{ cm})^2} = 0.00696 \text{ W/cm}^2$$

$$B_{30} = \frac{(17.5 W) * 2}{4 * \pi * (30 \text{ cm})^2} = 0.00309 \text{ W/cm}^2$$

Se selecciona la distancia de 10 cm ya que proporciona el mayor brillo correspondiente a  $0.02785 \text{ W/cm}^2$

Para calcular la cantidad de tiempo de exposición que deben recibir las bacterias para su inactivación.

$$Tiempo = \frac{Dosis \text{ UV}}{Brillo} \quad (14)$$

- *Estafilococo Aureus*.

$$10 \frac{mJ}{cm^2} * \frac{10^{-3} J}{1 mJ} * \frac{1W}{1J} = 0.01 \text{ Ws/cm}^2$$

$$Tiempo = \frac{0.01 \text{ Ws/cm}^2}{0.02785 \text{ W/cm}^2} = 0.36 \text{ s}$$

- *Escherichia Coli*.

$$7.3 \frac{mJ}{cm^2} * \frac{10^{-3} J}{1 mJ} * \frac{1W}{1J} = 0.0073 \text{ Ws/cm}^2$$

$$Tiempo = \frac{0.0073 \text{ Ws/cm}^2}{0.02785 \text{ W/cm}^2} = 0.26 \text{ s}$$

- Enterococcus Faecalis.

$$13 \frac{\text{mJ}}{\text{cm}^2} * \frac{10^{-3} \text{ J}}{1 \text{ mJ}} * \frac{1 \text{ W}}{1 \text{ J}} = 0.01 \text{ Ws/cm}^2$$

$$Tiempo = \frac{0.013 \text{ Ws/cm}^2}{0.02785 \text{ W/cm}^2} = 0.47 \text{ s}$$

Se selecciona el tiempo del Escherichia Faecalis, ya que es el que más tiempo requiere para ser desactivado.

### ***Cálculo de la velocidad de movimiento del robot para una correcta desinfección***

Una vez elegido las lámparas, que se usará para desinfectar el centro médico, tenemos como dato, que la lámpara UVC philips de 55 w tiene una radiación UVC de 150  $\mu\text{W/cm}^2$  a 1 m de distancia y los puntos de desinfección están ubicados a 1 m respectivamente.

$$Velocidad = \left( \frac{\text{distancia}}{\text{tiempo}} \right) \quad (15)$$

$$Velocidad = \left( \frac{1 \text{ m}}{60 \text{ segundos}} \right) \quad (16)$$

$$Velocidad = 0.02 \left( \frac{\text{m}}{\text{segundos}} \right) \quad (17)$$

### ***Diseño del mapa generado con ROS***

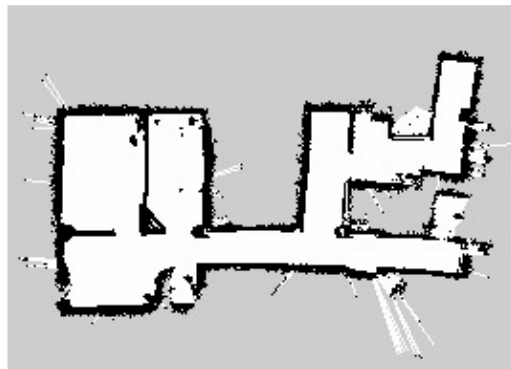
Una vez que el nodo SLAM esté en correcto funcionamiento, el TurtleBot3 explorará un área desconocida del mapa mediante la teleoperación.

Es importante evitar movimientos vigorosos, como cambiar la velocidad lineal y angular demasiado rápido. Al crear un mapa con TurtleBot3, es una buena práctica escanear principalmente todos los rincones del mapa.

Para ejecutar el correcto funcionamiento y comenzar a crear el mapa, se cargará el siguiente programa que permite mover el TurtleBot3 mediante los comandos (a, s, d, w y x), mientras que el sensor láser LDS-011 escanea el espacio.

#### **Figura 40**

*Mapa del lugar de estudio*



La figura 40 muestra el resultado de crear un mapa con TurtleBot3. Se tardó aproximadamente una hora en crearlo y con una distancia de viaje de unos 60 m<sup>2</sup>.

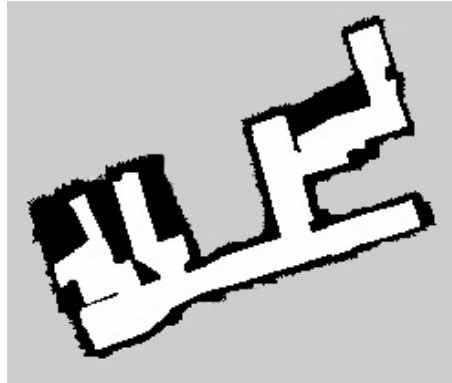
#### ***Modificación del mapa generado***

Una vez que se ha generado el mapa en 2D en el formato “map.pgm”, es necesario corregir geometrías que el sensor LiDAR no generó de manera correcta como esquinas, entradas, contornos y sobre todo se debe añadir geometrías como mesas, camillas y sillas, ya que el sensor no puede captar objetos a cierta altura. Por ejemplo, en el caso de una camilla del consultorio, solo identificará los pies de la camilla más no toda la superficie. Se debe corregir para evitar que el AMR golpee con objetos.

Para realizar este proceso se utilizó el complemento de ROS llamado “gmapping” el cual permite dibujar nuevas geometrías sobre el mapa generado mediante trazos más definidos.

**Figura 41**

*Mapa del lugar de estudio*

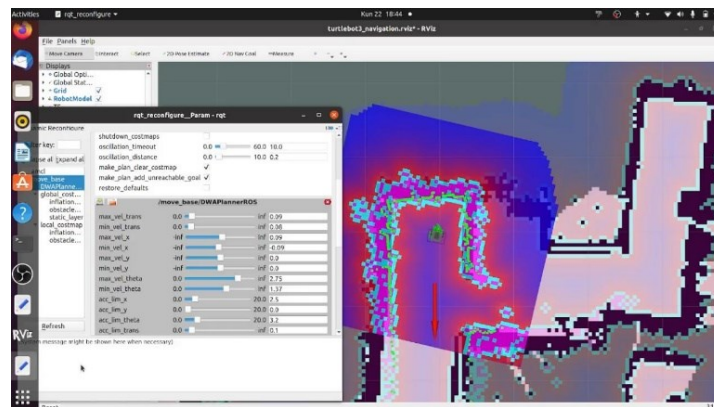


En la figura 41, se muestran los trazos más definidos en comparación a la figura 40.

- Identificación de coordenadas en el mapa.

**Figura 42**

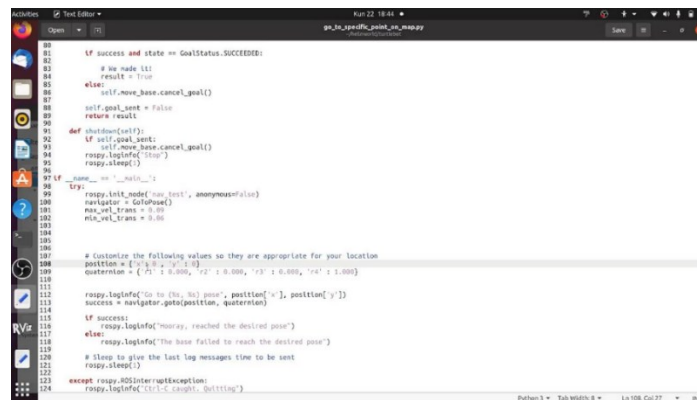
*Coordenadas de navegación del AMR*



Se debe tomar en cuenta que, al momento de identificar las coordenadas, el punto (0, 0) correspondientes al eje X y será donde el robot esté ubicado al encenderse como se muestra en la figura 42, por lo tanto, el punto final debe siempre ser el mismo del inicio.

**Figura 43**

*Designación de coordenadas*



```

80 if success and state == GoalStatus.SUCCEEDED:
81     # We made it!
82     result = True
83 else:
84     self.move_base.cancel_goal()
85     return result
86
87 self.goal_achieved = False
88 return result
89
90 def shutdown(self):
91     if self.goal_achieved:
92         self.move_base.cancel_goal()
93     rospy.loginfo("Stop")
94     rospy.sleep()
95
96 if __name__ == '__main__':
97     try:
98         rospy.init_node('nav_test', anonymous=True)
99         navigator = GoToPose()
100         max_vel_trans = 0.50
101         min_vel_trans = 0.05
102
103         # Customize the following values so they are appropriate for your location
104         position = [0, 0, 0]
105         quaternion = ('P', 1, 0.000, 'R', 0.000, 'Y', 0.000, 'G', 1.000)
106
107         rospy.loginfo("Go to (%s, %s) pose", position['x'], position['y'])
108         success = navigator.goTo(position, quaternion)
109
110         if success:
111             rospy.loginfo("robot, reached the desired pose")
112         else:
113             rospy.loginfo("The base failed to reach the desired pose")
114
115         # Sleep to give the last log messages time to be sent
116         rospy.sleep()
117
118     except rospy.ROSInterruptException:
119         rospy.loginfo("Catching exception: %s" % sys.exc_info()[0])

```

Al identificar al robot, en la pantalla de simulación y abrir la pestaña del programa como se muestra en la figura 43, se encuentran las coordenadas (0, 0) y permite continuar designando coordenadas de acuerdo al mapa 2D.

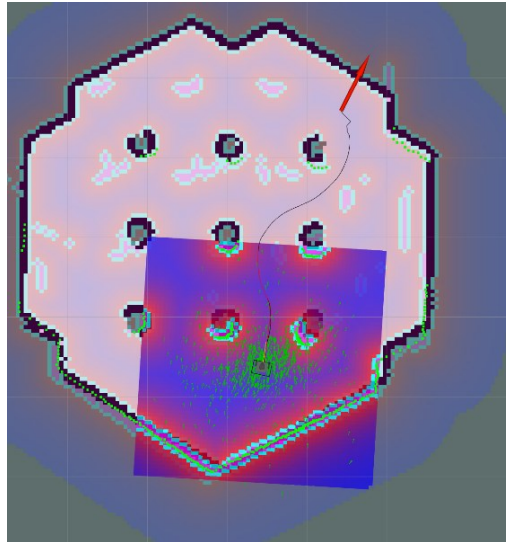
### ***Ubicación de goals fuera del área conocida del robot***

Una vez generado el mapa 2D, se obtendrá áreas blancas las cuales son lugares donde el robot no tendrá problemas de colisión, áreas negras los cuales son lugares que se encuentran ocupados y son inaccesibles para el robot y áreas de color gris las cuales representan áreas desconocidas.

Si el robot UVC es dirigido a una trayectoria dentro del campo conocido, se trazará una trayectoria al punto deseado como se muestra en la figura 44

**Figura 44**

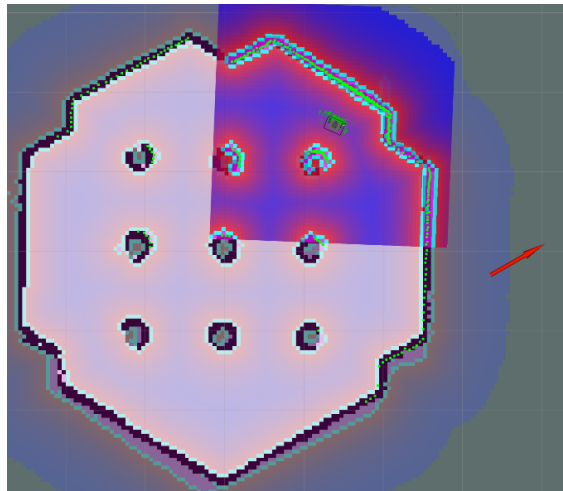
*Nueva trayectoria en espacio conocido*



Al contrario, si el robot es dirigido a una trayectoria desconocida como se muestra en la figura 45.

**Figura 45**

*Trayectoria fuera del espacio conocido*



El algoritmo de control esperará 60 segundos, para que el nodo de navegación cree una trayectoria, una vez superado ese tiempo se abortara el movimiento si no se ha encontrado una trayectoria y nos mostrará el siguiente mensaje "Aborting because a valid

plan could not be done. Even after executing all recovery behaviors” como se muestra en la figura 46.

### Figura 46

*Mensaje de error fuera del espacio conocido*

```

INFO [1659279426.96822838, 105.262000000]: Goal reached
WARN [1659279433.590874526, 114.272000000]: Clearing both costmaps to unstuck
robot (3.80m).
WARN [1659279439.540654322, 119.474000000]: Rotate recovery behavior started.
WARN [1659279452.800548256, 131.074000000]: Clearing both costmaps to unstuck
robot (1.84m).
WARN [1659279458.836892870, 136.274000000]: Rotate recovery behavior started.
ERROR [1659279472.210840691, 147.774000000]: Aborting because a valid plan cou
ld not be found. Even after executing all recovery behaviors

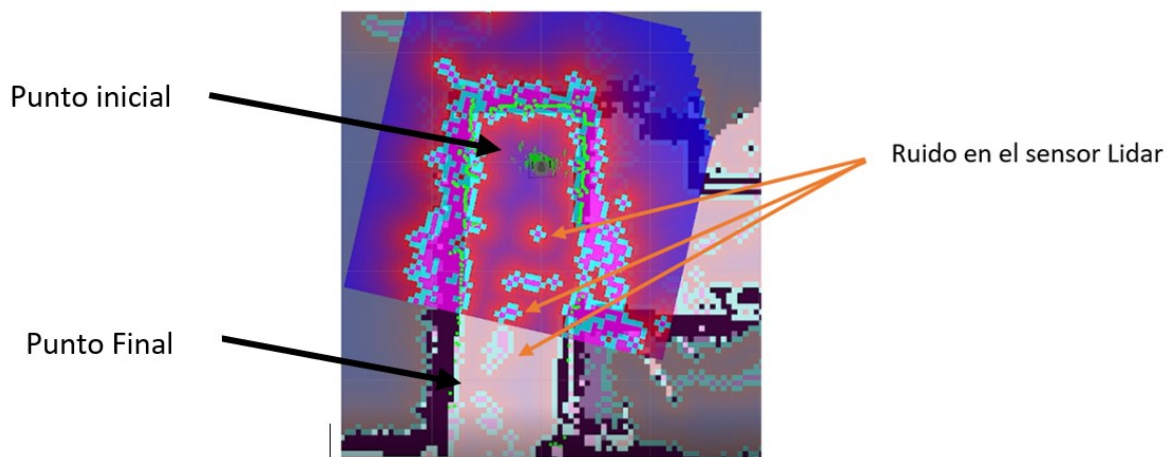
```

### Ubicación de puntos auxiliares

Al momento de asignar puntos de desinfección al robot, se recomienda utilizar puntos auxiliares para el eliminar ruido en el sensor LiDAR, los puntos auxiliares se recomiendan ubicar en intervalos 0.50 cm hasta llegar al punto final, de esta forma el algoritmo de planeación de trayectoria, no detectara el ruido en el sensor como obstáculos como se visualiza en la figura 47.

### Figura 47

*Trayectoria sugerida para eliminación de ruido*

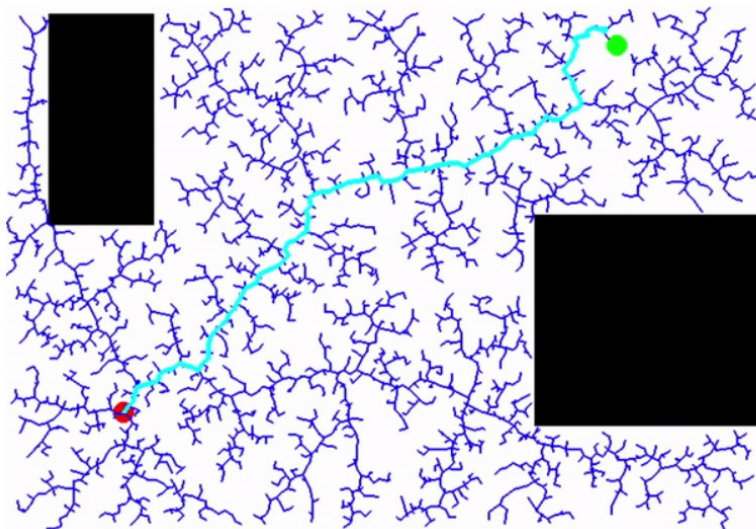


## ***Path Plannig***

Trurtlebot utiliza RRT (Rapidly-exploring Random Tree) Algoritmo para diseñar la trayectoria más eficiente para ubicarse en un punto final deseado, este método es utilizado para robots diferenciales y que necesiten evadir obstáculos en su movimiento.

### **Figura 48**

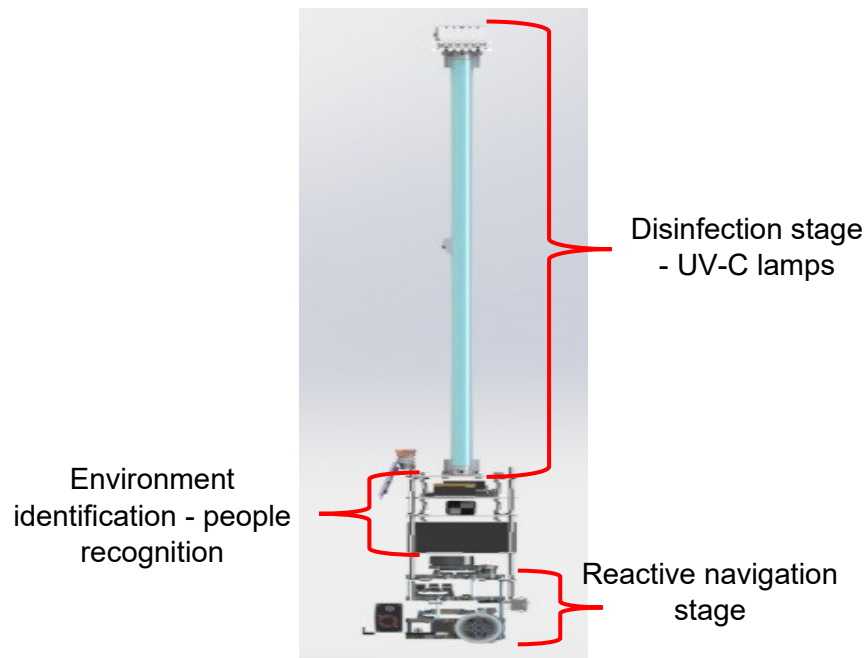
*Trayectoria generada por robots diferenciales.*



### ***Diseño de la estructura del AMR.***

La composición estructural del AMR fue diseñada en tres niveles:



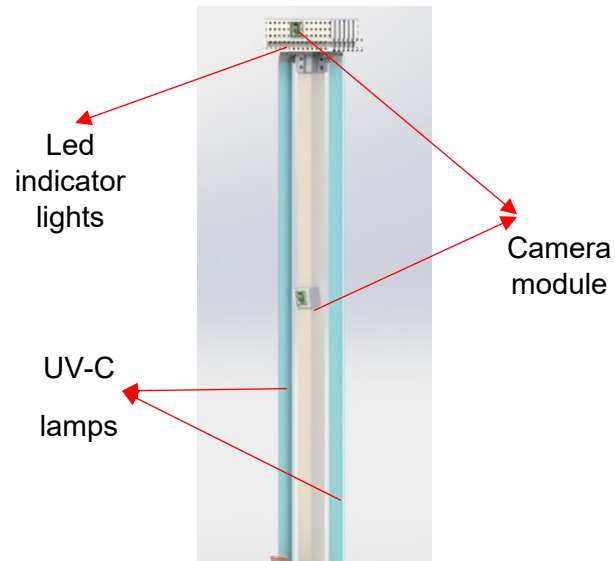
**Figura 49***Composición del AMR*

a) Etapa de desinfección – Lámparas UV-C.

Este nivel está compuesto, de una estructura metálica encargada de sostener las lámparas UV-C en posición vertical y las cámaras que nos servirán como un sistema de seguridad. Finalmente, en la parte superior se encuentran los indicadores leds, que tiene la función de dar una advertencia visual al cambiar de color rojo cuando haya la presencia de una persona.

**Figura 50**

*Componentes de la etapa de desinfección*

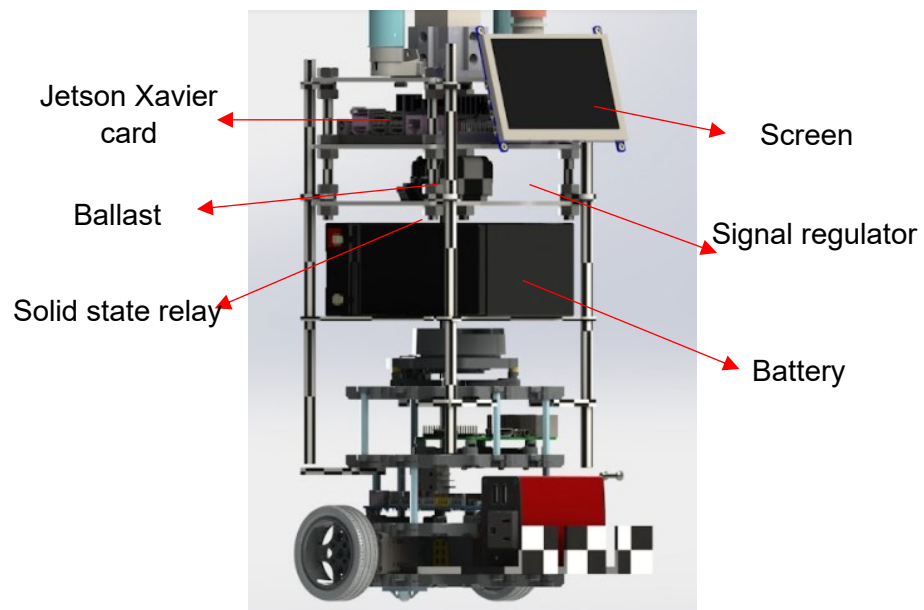


b) Identificación del entorno - reconocimiento de personas.

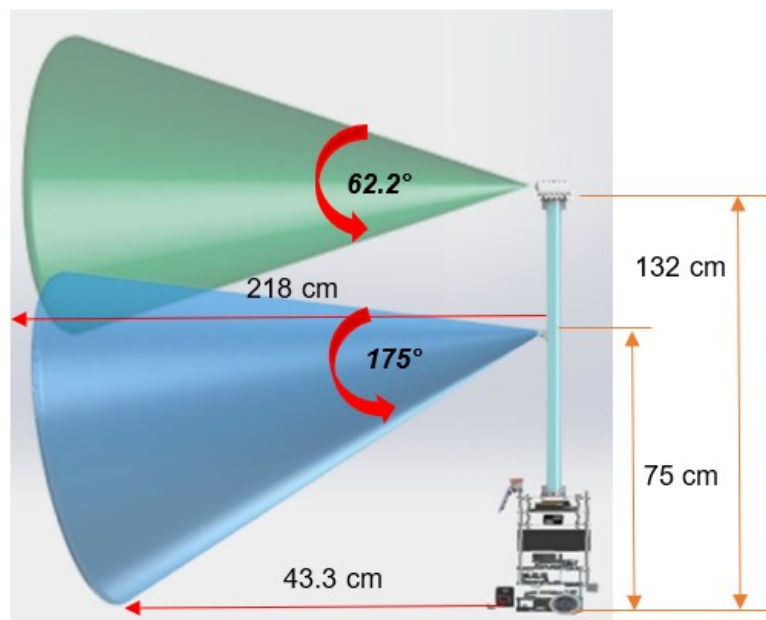
El algoritmo de reconocimiento de personas que se encuentra implementado en la Jetson Xavier, es la encargada de detectar personas alrededor del AMR, una vez que una persona es detecta mediante visión artificial, se envía una señal de control al relé de estado sólido, para desconectar las lámparas o encender las mismas cuando no existe presencia de una persona.

**Figura 51**

*Componentes del identificador del entorno*

**Figura 52**

*Alcance de detección de módulos cámara*



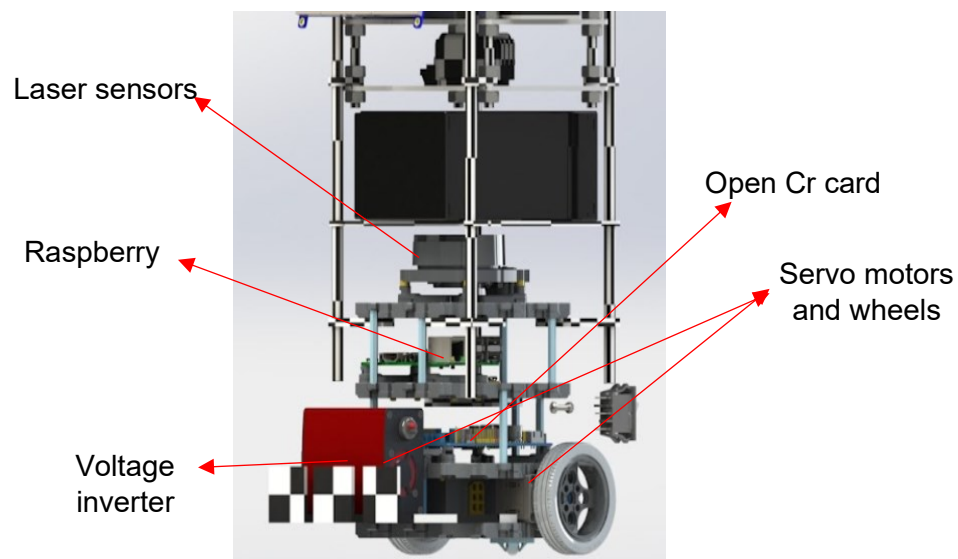
Mediante la figura 52, se puede identificar que la primera cámara tiene un alcance de 218 cm, el cual no captará objetos que estén por debajo de los 132 cm de altura. Mientras que la cámara ubicada a 75 cm de altura, capta objetos a una distancia de 43.3 cm de distancia.

c) Etapa de locomoción.

Este nivel recibe la información que capta el sensor LiDAR del exterior, para ser procesado por la tarjeta Raspberry y comandar los servomotores.

### Figura 53

*Componentes de la etapa de locomoción.*



### Selección

Para realizar la selección de los componentes, se usa el método ordinal corregido de criterios ponderados.

Como paso inicial para la evaluación y selección de la alternativa de diseño, se deben estandarizar los criterios de valoración para cada módulo. Detallados dichos criterios, se procede a realizar la ponderación de los mismos. Se hace necesaria la elaboración de tablas de ponderaciones en la cual se colocan valores comprendidos entre 0 y 1. Si el valor es 1 significa que el criterio de la fila es más relevante que el criterio de la columna, caso contrario, si el valor es 0 significa que el criterio de la columna es más importante que el correspondiente a la fila y si entre los criterios de la fila y la columna son similares tendrán una puntuación de 0.5.

A continuación, se detallan y evalúan las alternativas de los componentes para cada módulo.

### **Módulo 1. Base**

**Tabla 23**

*Ponderación de criterios de evaluación para el módulo 1*

<b>Criterio</b>	<b>Costo</b>	<b>Implementación</b>	<b>Control</b>	$\sum +1$	<b>Ponderación</b>
Costo	-	1	1	3	0,50
Implementación	0	-	1	2	0.33
Control	0	0	-	1	0.17
			Suma	6	1

Solución A: Desplazamiento omnidireccional única

Solución B: Desplazamiento diferencial

Solución C: Desplazamiento por el mecanismo tipo Ackerman

**Tabla 24***Ponderación de control para las alternativas de diseño al módulo 1*

<b>Control</b>	<b>Solución A</b>	<b>Solución B</b>	<b>Solución C</b>	$\sum +1$	<b>Ponderación</b>
Solución A	-	0	0,5	1,5	0.25
Solución B	1	-	1	3	0,50
Solución C	0.5	0	-	1,5	0.25
			Suma	6	1

**Tabla 25***Ponderación de implementación para las alternativas de diseño al módulo 1*

<b>Implementación</b>	<b>Solución A</b>	<b>Solución B</b>	<b>Solución C</b>	$\sum +1$	<b>Ponderación</b>
Solución A	-	0,5	0,5	2	0.33
Solución B	0,5	-	1	2,5	0.42
Solución C	0,5	0	-	1,5	0.25
			Suma	6	1

**Tabla 26***Ponderación de costo para las alternativas de diseño al módulo 1*

<b>Costo</b>	<b>Solución A</b>	<b>Solución B</b>	<b>Solución C</b>	$\sum +1$	<b>Ponderación</b>
Solución A	-	0.5	0	1.5	0.25
Solución B	0.5	-	1	2.5	0,42
Solución C	1	0	-	2	0.33
			Suma	6	1

**Tabla 27***Conclusión en la selección de alternativa de diseño al módulo 1*

	<b>Costo</b>	<b>Implementación</b>	<b>Control</b>	$\sum$	<b>Orden de selección</b>
Solución A	0.25	0.33	0.25	0.83	2
Solución B	0,42	0.42	0,50	1.34	1
Solución C	0.33	0.25	0.25	0.83	3

**Módulo 2. Tracción****Tabla 28***Ponderación de criterios de evaluación para el módulo 2*

<b>Criterio</b>	<b>Costo</b>	<b>Implementación</b>	<b>Control</b>	$\sum +1$	<b>Ponderación</b>
Costo	-	1	1	3	0,50
Implementación	0	-	0	1	0.17
Control	0	1	-	2	0.33
			Suma	6	1

Solución A: Motor con estator bobinado

Solución B: Motor paso a paso

Solución C: Servomotor

**Tabla 29***Ponderación de control para las alternativas de diseño al módulo 2*

<b>Control</b>	<b>Solución A</b>	<b>Solución B</b>	<b>Solución C</b>	$\sum +1$	<b>Ponderación</b>
Solución A	-	0,5	0	1,5	0.30
Solución B	0.5	-	0	1.5	0.30
Solución C	1	1	-	2	0,40
			Suma	5	1

**Tabla 30***Ponderación de implementación para las alternativas de diseño módulo 2*

<b>Implementación</b>	<b>Solución A</b>	<b>Solución B</b>	<b>Solución C</b>	$\sum +1$	<b>Ponderación</b>
Solución A	-	0	0	1	0.17
Solución B	1	-	0	2	0.33
Solución C	1	1	-	3	0.50
			Suma	6	1

**Tabla 31**

*Ponderación de costo para las alternativas de diseño al módulo 2*

<b>Costo</b>	<b>Solución A</b>	<b>Solución B</b>	<b>Solución C</b>	$\sum +1$	<b>Ponderación</b>
Solución A	-	1	0	2	0.34
Solución B	0	-	0	1	0,16
Solución C	1	1	-	3	0.50
			Suma	6	1

**Tabla 32**

*Conclusión en la selección de alternativa de diseño al módulo 2*

	<b>Costo</b>	<b>Implementación</b>	<b>Control</b>	$\sum$	<b>Orden de selección</b>
Solución A	0.30	0.17	0.34	0.81	2
Solución B	0.30	0.33	0.16	0.79	3
Solución C	0,40	0.50	0.50	1.4	1

### **Módulo 3. Potencia**

**Tabla 33**

*Ponderación de criterios de evaluación para el módulo 3*

<b>Criterio</b>	<b>Costo</b>	<b>Funcionamiento</b>	<b>Modularidad</b>	$\sum +1$	<b>Ponderación</b>
Costo	-	1	1	3	0,50
Funcionamiento	0	-	1	2	0.33
Modularidad	0	0	-	1	0.17
			Suma	6	1

Solución A: HTC234

Solución B: DCX-MC300 Board

Solución C: OpenCr Module



**Tabla 34***Ponderación de Funcionamiento para las alternativas de diseño al módulo 3*

<b>Funcionamiento</b>	<b>Solución A</b>	<b>Solución B</b>	<b>Solución C</b>	$\sum +1$	<b>Ponderación</b>
Solución A	-	1	0	2	0.33
Solución B	0	-	0	1	0.17
Solución C	1	1	-	3	0.50
			Suma	6	1

**Tabla 35***Ponderación de Modularidad para las alternativas de diseño módulo 3*

<b>Modularidad</b>	<b>Solución A</b>	<b>Solución B</b>	<b>Solución C</b>	$\sum +1$	<b>Ponderación</b>
Solución A	-	0.5	0	1.5	0.25
Solución B	0.5	-	0	1.5	0.25
Solución C	1	1	-	3	0.50
			Suma	6	1

**Tabla 36***Ponderación de costo para las alternativas de diseño módulo 3*

<b>Costo</b>	<b>Solución A</b>	<b>Solución B</b>	<b>Solución C</b>	$\sum +1$	<b>Ponderación</b>
Solución A	-	0.5	0	1.5	0.25
Solución B	0.5	-	0	1.5	0,25
Solución C	1	1	-	3	0.50
			Suma	6	1

**Tabla 37***Conclusión en la selección de alternativa de diseño al módulo 3*

	<b>Costo</b>	<b>Funcionamiento</b>	<b>Modularidad</b>	$\sum$	<b>Orden de selección</b>
Solución A	0.25	0.33	0.25	0.83	2
Solución B	0,25	0.17	0.25	0.67	3
Solución C	0.50	0.50	0.50	1,50	1

### Módulo 4. Energético

**Tabla 38**

*Ponderación de criterios de evaluación para el módulo 4*

Criterio	Costo	Implementación	Tamaño	$\sum +1$	Ponderación
Costo	-	1	1	3	0,50
Implementación	0	-	0	1	0.17
Tamaño	0	1	-	2	0.33
			Suma	6	1

Solución A: Celda solar inalámbrica

Solución B: Transformador cableado

Solución C: Batería inalámbrica

**Tabla 39**

*Ponderación de la implementación para las alternativas de diseño al módulo 4*

Implementación	Solución A	Solución B	Solución C	$\sum +1$	Ponderación
Solución A	-	0	0	1	0.17
Solución B	1	-	0	2	0.33
Solución C	1	1	-	3	0.50
			Suma	6	1

**Tabla 40**

*Ponderación del tamaño para las alternativas de diseño módulo 4*

Tamaño	Solución A	Solución B	Solución C	$\sum +1$	Ponderación
Solución A	-	0.5	0	1.5	0.25
Solución B	0.5	-	0	1.5	0.25
Solución C	1	1	-	3	0.50
			Suma	6	1

**Tabla 41***Ponderación de costo para las alternativas de diseño al módulo 4*

<b>Costo</b>	<b>Solución A</b>	<b>Solución B</b>	<b>Solución C</b>	$\sum +1$	<b>Ponderación</b>
Solución A	-	0	0	1	0.17
Solución B	1	-	0.5	2.5	0.42
Solución C	1	0.5	-	2.5	0.42
			Suma	6	1

**Tabla 42***Conclusión en la selección de alternativa de diseño al módulo 4*

	<b>Costo</b>	<b>Implementación</b>	<b>Tamaño</b>	$\sum$	<b>Orden de selección</b>
Solución A	0.17	0.17	0.25	0.59	3
Solución B	0.42	0.33	0.25	1.00	2
Solución C	0.42	0.50	0.50	1.42	1

**Módulo 5. Navegación reactiva****Tabla 43***Ponderación de criterios de evaluación para el módulo 5*

<b>Criterio</b>	<b>Costo</b>	<b>Precisión</b>	<b>Robustez</b>	$\sum +1$	<b>Ponderación</b>
Costo	-	1	1	3	0,50
Precisión	0	-	0.5	1.5	0.25
Robustez	0	0.5	-	1.5	0.25
			Suma	6	1

Solución A: LiDAR

Solución B: Sonar

Solución C: Sensor ultrasónico

**Tabla 44***Ponderación de precisión para las alternativas de diseño al módulo 5*

<b>Precisión</b>	<b>Solución A</b>	<b>Solución B</b>	<b>Solución C</b>	$\sum +1$	<b>Ponderación</b>
Solución A	-	1	1	3	0.50
Solución B	0	-	0	1	0.17
Solución C	0	1	-	2	0.33
			Suma	6	1

**Tabla 45***Ponderación de robustez para las alternativas de diseño al módulo 5*

<b>Robustez</b>	<b>Solución A</b>	<b>Solución B</b>	<b>Solución C</b>	$\sum +1$	<b>Ponderación</b>
Solución A	-	0.5	0.5	2	0.33
Solución B	0.5	-	0.5	2	0.33
Solución C	0.5	0.5	-	2	0.33
			Suma	6	1

**Tabla 46***Ponderación de costo para las alternativas de diseño al módulo 5*

<b>Costo</b>	<b>Solución A</b>	<b>Solución B</b>	<b>Solución C</b>	$\sum +1$	<b>Ponderación</b>
Solución A	-	1	1	3	0.50
Solución B	0	-	0	1	0,17
Solución C	0	1	-	2	0.33
			Suma	6	1

**Tabla 47***Conclusión en la selección de alternativa de diseño al módulo 5*

	<b>Costo</b>	<b>Precisión</b>	<b>Robustez</b>	$\sum$	<b>Orden de selección</b>
Solución A	0.50	0.50	0.33	1.33	1
Solución B	0,17	0.17	0.33	0.67	3
Solución C	0.33	0.33	0.33	0.99	2

## Módulo 6. Odometría

**Tabla 48**

*Ponderación de criterios de evaluación para el módulo 6*

<b>Criterio</b>	<b>Costo</b>	<b>Programación</b>	<b>Información</b>	$\sum +1$	<b>Ponderación</b>
Costo	-	1	1	3	0,50
Programación	0	-	1	2	0,33
Información	0	0	-	1	0,17
			Suma	6	1

Solución A: Encoder con giroscopio

Solución B: Rueda dentada

Solución C: Sensor de desplazamiento óptico

**Tabla 49**

*Ponderación de la programación para las alternativas de diseño al módulo 6*

<b>Programación</b>	<b>Solución A</b>	<b>Solución B</b>	<b>Solución C</b>	$\sum +1$	<b>Ponderación</b>
Solución A	-	1	1	3	0,50
Solución B	0	-	0	1	0,17
Solución C	0	1	-	2	0,33
			Suma	6	1

**Tabla 50**

*Ponderación de la Información para las alternativas de diseño al módulo 6*

<b>Información</b>	<b>Solución A</b>	<b>Solución B</b>	<b>Solución C</b>	$\sum +1$	<b>Ponderación</b>
Solución A	-	1	1	3	0,50
Solución B	0	-	0,5	1,5	0,25
Solución C	0	0,5	-	1,5	0,25
			Suma	6	1

**Tabla 51***Ponderación de costo para las alternativas de diseño al módulo 6*

<b>Costo</b>	<b>Solución A</b>	<b>Solución B</b>	<b>Solución C</b>	$\sum +1$	<b>Ponderación</b>
Solución A	-	1	1	3	0,50
Solución B	0	-	0,5	1,5	0,25
Solución C	0	0,5	-	1,5	0,25
			Suma	6	1

**Tabla 52***Conclusión en la selección de alternativa de diseño al módulo 6*

	<b>Costo</b>	<b>Programación</b>	<b>Información</b>	$\sum$	<b>Orden de selección</b>
Solución A	0,50	0,50	0,50	1,50	1
Solución B	0,25	0,17	0,25	0,67	3
Solución C	0,25	0,33	0,25	0,83	2

**Módulo 7. Adquisición y mando****Tabla 53***Ponderación de criterios de evaluación para el módulo 7*

<b>Criterio</b>	<b>Costo</b>	<b>Programación</b>	<b>Información</b>	$\sum +1$	<b>Ponderación</b>
Costo	-	1	1	3	0,50
Programación	0	-	1	2	0,33
Información	0	0	-	1	0,17
			Suma	6	1

Solución A: Raspberry

Solución B: Rock64 media board

Solución C: BeagleBone

**Tabla 54***Ponderación de la programación para las alternativas de diseño al módulo 7*

Programación	Solución A	Solución B	Solución C	$\sum +1$	Ponderación
Solución A	-	1	1	3	0.50
Solución B	0	-	1	2	0,33
Solución C	0	0	-	1	0.17
			Suma	6	1

**Tabla 55***Ponderación de la información para las alternativas de diseño al módulo 7*

Información	Solución A	Solución B	Solución C	$\sum +1$	Ponderación
Solución A	-	0.5	1	2.5	0.42
Solución B	0.5	-	1	2.5	0.42
Solución C	0	0	-	1	0.17
			Suma	6	1

**Tabla 56***Ponderación del costo para las alternativas de diseño al módulo 7*

Costo	Solución A	Solución B	Solución C	$\sum +1$	Ponderación
Solución A	-	1	1	3	0.50
Solución B	0	-	0	1	0.16
Solución C	0	1	-	2	0,34
			Suma	6	1

**Tabla 57***Conclusión en la selección de alternativa de diseño al módulo 7*

	Costo	Información	Programación	$\sum$	Orden de selección
Solución A	0.50	0.42	0.50	1.42	1
Solución B	0.16	0.42	0,33	0.91	2
Solución C	0,34	0.17	0.17	0.68	3

## Módulo 8. Visión

**Tabla 58**

*Ponderación de criterios de evaluación para el módulo 8*

<b>Criterio</b>	<b>Costo</b>	<b>Disponibilidad</b>	<b>Robustez</b>	$\sum +1$	<b>Ponderación</b>
Costo	-	1	1	3	0,50
Disponibilidad	0	-	1	2	0,33
Robustez	0	0	-	1	0,17
			Suma	6	1

Solución A: Kinect

Solución B: Módulo cámara 90 grados de visión

Solución C: Cámara de 175 grados de visión

**Tabla 59**

*Ponderación de la robustez para las alternativas de diseño al módulo 8*

<b>Robustez</b>	<b>Solución A</b>	<b>Solución B</b>	<b>Solución C</b>	$\sum +1$	<b>Ponderación</b>
Solución A	-	0	0	1	0.17
Solución B	1	-	0	2	0.33
Solución C	1	1	-	3	0.50
			Suma	6	1

**Tabla 60**

*Ponderación de la disponibilidad para las alternativas de diseño al módulo 8*

<b>Disponibilidad</b>	<b>Solución A</b>	<b>Solución B</b>	<b>Solución C</b>	$\sum +1$	<b>Ponderación</b>
Solución A	-	0	0.5	1.5	0.25
Solución B	1	-	0	2	0.34
Solución C	0.5	1	-	2.5	0.41
			Suma	6	1



**Tabla 61***Ponderación de costo para las alternativas de diseño al módulo 8*

<b>Costo</b>	<b>Solución A</b>	<b>Solución B</b>	<b>Solución C</b>	$\sum +1$	<b>Ponderación</b>
Solución A	-	0	0	1	0.17
Solución B	1	-	0.5	2.5	0.42
Solución C	1	0,5	-	2.5	0.42
			Suma	6	1

**Tabla 62***Conclusión en la selección de alternativa de diseño al módulo 8*

	<b>Costo</b>	<b>Disponibilidad</b>	<b>Robustez</b>	$\sum$	<b>Orden de selección</b>
Solución A	0.17	0.25	0.25	0.67	3
Solución B	0.42	0.34	0.25	1,01	2
Solución C	0.42	0.41	0.50	1.33	1

**Módulo 9. Control****Tabla 63***Ponderación de criterios de evaluación para el módulo 9*

<b>Criterio</b>	<b>Costo</b>	<b>Programación</b>	<b>Información</b>	$\sum +1$	<b>Ponderación</b>
Costo	-	1	1	3	0,50
Programación	0	-	1	2	0,33
Información	0	0	-	1	0,17
			Suma	6	1

Solución A: Matlab

Solución B: Sistema operativo robótico (ROS)

Solución C: OpenBionics

**Tabla 64***Ponderación de la programación para las alternativas de diseño al módulo 9*

<b>Programación</b>	<b>Solución A</b>	<b>Solución B</b>	<b>Solución C</b>	$\sum +1$	<b>Ponderación</b>
Solución A	-	0	0	1	0.16
Solución B	1	-	1	3	0.50
Solución C	1	0	-	2	0,34
			Suma	6	1

**Tabla 65***Ponderación de la información para las alternativas de diseño al módulo 9*

<b>Información</b>	<b>Solución A</b>	<b>Solución B</b>	<b>Solución C</b>	$\sum +1$	<b>Ponderación</b>
Solución A	-	0,5	1	2,5	0.42
Solución B	0,5	-	1	2,5	0.42
Solución C	0	0	-	1	0,17
			Suma	6	1

**Tabla 66***Ponderación del costo para las alternativas de diseño al módulo 9*

<b>Costo</b>	<b>Solución A</b>	<b>Solución B</b>	<b>Solución C</b>	$\sum +1$	<b>Ponderación</b>
Solución A	-	0	0	1	0.16
Solución B	1	-	1	3	0.50
Solución C	1	0	-	2	0,34
			Suma	3	1

**Tabla 67***Conclusión en la selección de alternativa de diseño al módulo 9*

	<b>Costo</b>	<b>Programación</b>	<b>Información</b>	$\sum$	<b>Orden de selección</b>
Solución A	0.16	0.16	0.42	0.74	3
Solución B	0.50	0.50	0.42	1,42	1
Solución C	0,34	0,34	0,17	0,85	2

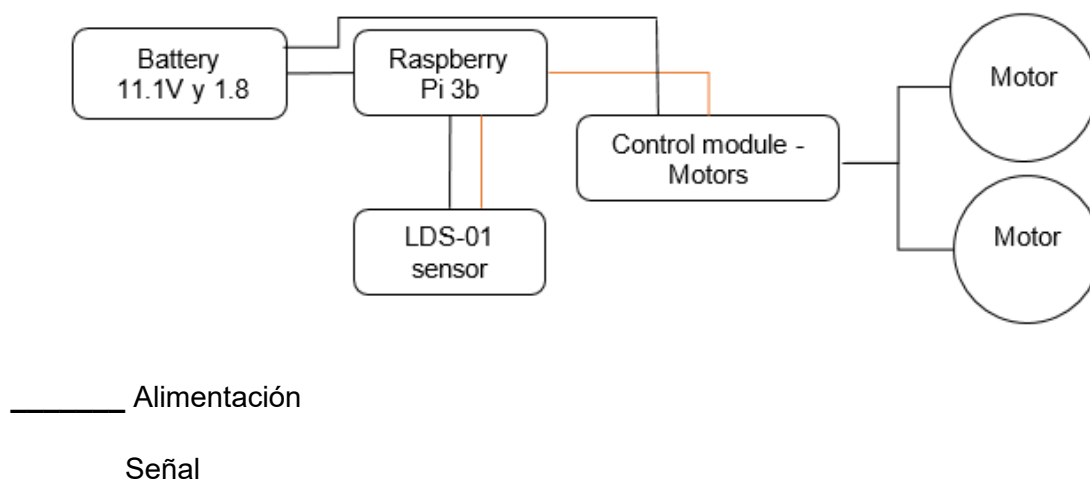
## Implementación de etapas del AMR.

### ***Sistema de control para la detección de obstáculos mediante el sensor láser LDS-01***

En la figura 54, se puede apreciar la arquitectura propuesta para el AMR, el sistema capta información del exterior a través de la implementación del sensor láser LDS-01, el cual utiliza luz infrarroja para medir distancias en tiempo real. Este sensor puede captar distancias desde 120 a 3500 mm a la redonda, esta información es enviada al microordenador para posteriormente ser procesada y dar órdenes al microcontrolador, el cual mediante lógica difusa manda acciones sobre los motores que determinan la velocidad y dirección de cada rueda. El microcontrolador del sistema es el ATmega328. La placa de desarrollo posee de catorce pines E/S digitales y seis pines E/S analógicos, utiliza una memoria de 32kB y una memoria EEPROM de 1 kB, con una frecuencia de 16 MHz.

#### **Figura 54**

*Diagrama de funcionamiento del sistema de detección de obstáculos.*



### ***Sistema de control para la detección de personas mediante la implementación de visión artificial***

En la figura 55, se puede apreciar la arquitectura desarrollada para la detección de personas, el cual permite precautelar la seguridad de las personas, mediante la desactivación de las lámparas UV.

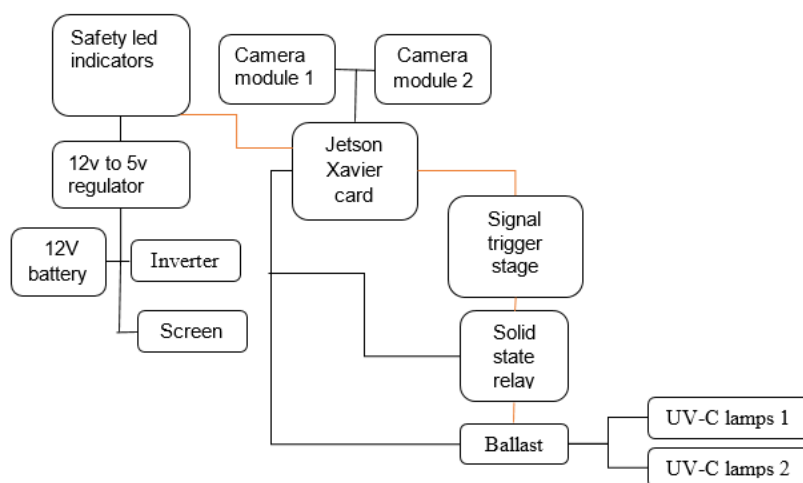
Se utilizó la tarjeta Jetson Xavier que permite el procesamiento de datos, de una gran gama de sensores, para el presente proyecto se implementaron dos módulos de cámaras, con una apertura de 175° de visión el cual capta imágenes del exterior y mediante la neurona entrenada SSD-Mobilenet-v2 permite la detección de personas.

Para el correcto encendido de las lámparas, se instaló un balastro para que exista un precalentamiento de las lámparas y evitar dañar los componentes.

Finalmente, se instaló un botón de paro de emergencia.

#### **Figura 55**

*Diagrama de bloques activación de luz UV-C.*



\_\_\_\_\_ Alimentación

\_\_\_\_\_ Señal

## Implementación de accesorios.

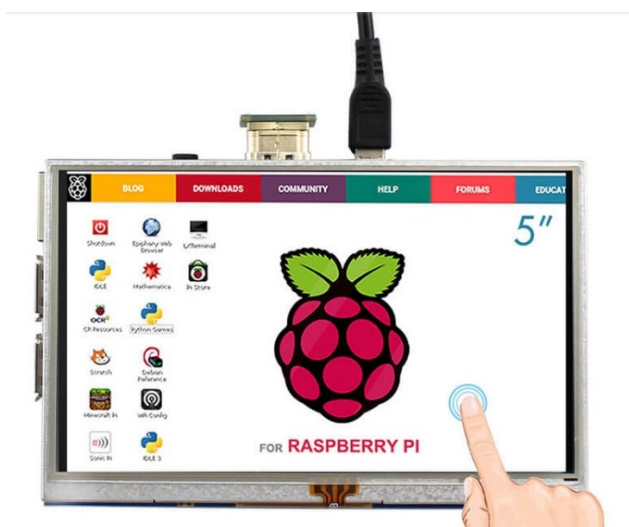
Los accesorios que posee el robot para complementarlos en su funcionamiento son:

### ***Pantalla táctil de 5 pulgadas***

Es una pantalla táctil mini con conexión HDMI de 5 pulgadas. Este dispositivo permitirá visualizar el entorno que el AMR está captando en tiempo real y a su vez si es necesario modificar la programación para actualizaciones posteriores. (ELECTROW, 2018).

### **Figura 56**

*Pantalla touch para Raspberry*



*Nota.* La figura fue obtenida de (ELECTROW, 2018).

### **Tabla 68**

*Especificaciones Técnicas de pantalla touch*

Resolución	800x480 pixeles
Comunicación	HDMI
Voltaje de operación	5 V
Consumo	1 A

Controlador LCD IC	ILI9486L
Frecuencia de actualización	60 Hz
Tamaño de pantalla	121x78 mm

*Nota.* La tabla fue obtenida de (ELECTROW, 2018).

### ***Implementación de mouse y teclado***

Para la interacción del usuario con la tarjeta Jetson Xavier, se le incorporó un mouse y teclado inalámbrico para el cumplimiento de acciones específicas como la visualización de imágenes provenientes de las cámaras, arranque del programa de reconocimiento de personas y modificaciones futuras.

## Capítulo IV

### Pruebas y resultados

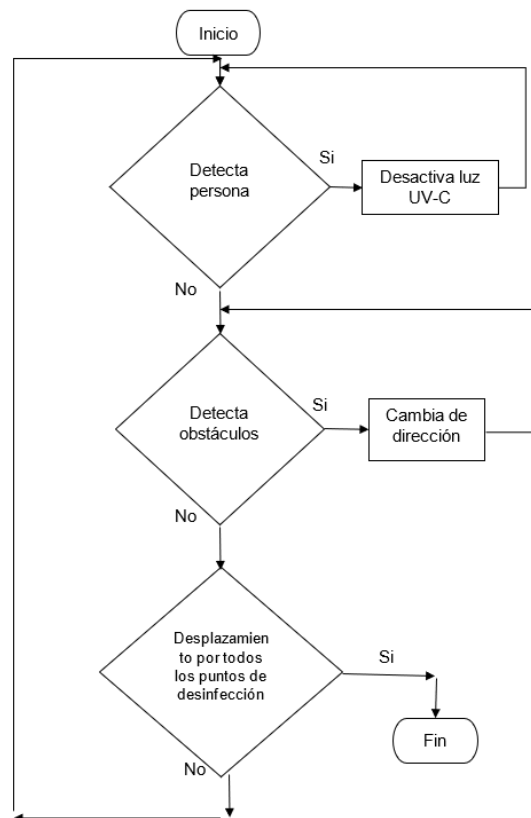
#### Pruebas de funcionamiento de los algoritmos de control.

Los algoritmos de control se dividen en dos subsistemas; el primero encargado de reconocer a una persona cuando está cerca del AMR para apagar las lámparas UV-C por seguridad, mientras que el segundo se encarga de evadir obstáculos que se pueden presentar en la trayectoria.

La secuencia de acciones que debe realizar el AMR se detalla en la figura 57.

#### Figura 57

*Diagrama de flujo del algoritmo de control*



### ***Pruebas del reconocimiento de personas***

Una vez cargado la programación de ROS en la tarjeta Jetson Xavier, el AMR comienza a realizar la trayectoria de desinfección como se muestra en la figura 58 y se constata que las lámparas son UV-C mediante tarjetas de dosímetros.

#### **Figura 58**

*Verificación de lámparas UV-C*



Si el robot detecta la presencia de una persona, automáticamente detiene su movilización y apaga las lámparas, también en la pantalla implementada se visualiza las imágenes que captan las cámaras como se muestra en las figuras 59 y 60.

#### **Figura 59**

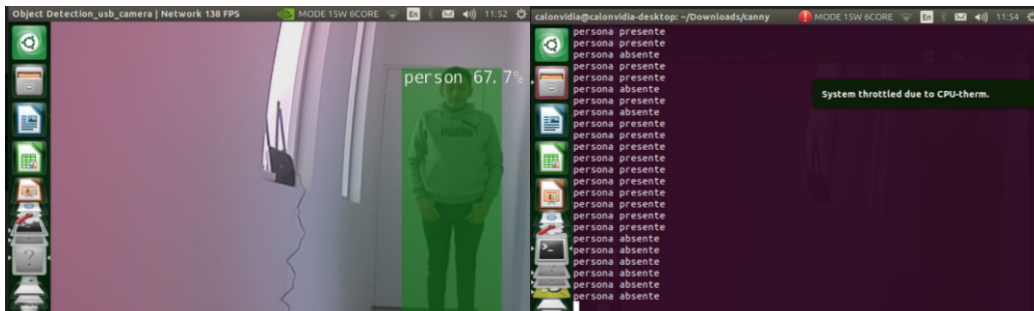
*AMR detenido debido a la presencia de una persona*





**Figura 60**

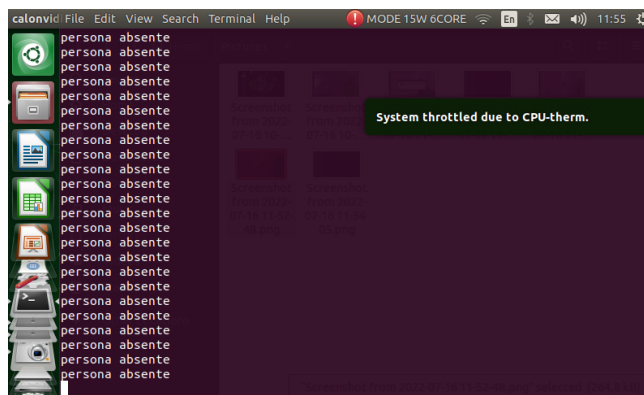
*Captura de pantalla del AMR con la presencia de una persona*



Cuando la tarjeta Jetson Xavier no detecta a ninguna persona, internamente cada medida se presenta como ausente como se muestra en la figura 61.

**Figura 61**

*Captura de pantalla sin la presencia de una persona*



- Reconocimiento de personas en base a hombre/mujer y distancia.

**Tabla 69**

*Resultado de reconocimiento de varias personas*

Código	Hombre/Mujer	Estatura (m)	Distancia (m)	Identifica
P1	Mujer 1	1.48	Se realizaron reconocimientos desde 0.5 a 3	Si
P2	Mujer 2	1.65		Si
P3	Hombre 1	1.65		Si

<b>P4</b>	Hombre 2	1.69	metros con intervalos de 0.5	Si
<b>P5</b>	Hombre 3	1.73		Si

En base al Anexo 4 se desarrolló la tabla 69, donde se aprecia que el sistema reconoce a hombres como a mujeres de diferentes estaturas y con un alcance de hasta 3 metros, lo cual representa una óptima seguridad a las personas.

- Reconocimiento de personas en base a la posición y distancia.

### **Tabla 70**

*Resultado de reconocimiento de personas en diferentes posiciones*

<b>Código</b>	<b>Hombre/Mujer</b>	<b>Posición</b>	<b>Estatura (m)</b>	<b>Distancia (m)</b>	<b>Identifica</b>
<b>P1</b>	Mujer 1	Lateral derecho	1.48	Se realizaron reconocimientos desde 0.5 a 3 metros con intervalos de 0.5	Si
<b>P2</b>	Mujer 2	Lateral izquierdo	1.65		Si
<b>P3</b>	Hombre 1	De espalda	1.65		Si
<b>P4</b>	Hombre 2	De frente	1.69		Si
<b>P5</b>	Hombre 3	Parte superior	1.73		Si

- Cálculo de radiación a una distancia de tres metros.

Cómo determinó que el AMR tiene un alcance seguro de reconocimiento de personas a una distancia mayor de 3 metros, se determina la radiación a dicha distancia.

$$B = \frac{RUV * \# \text{ de lámparas}}{4 * \pi * d^2} \quad (18)$$

$$B_{10} = \frac{(17.5 W) * 2}{4 * \pi * (300 \text{ cm})^2} = 0.0000928 \text{ W/cm}^2$$

La radiación determinada es mínima y se considera despreciable ya que no afecta a la salud de las personas.

Para una mayor verificación de reconocimiento de personas como se muestra en la tabla 70, se optó por colocar a las mismas 5 personas de prueba en frente del AMR con varias posiciones donde P1 con posición lateral derecha sí fue reconocido a la misma distancia que en la última prueba (0.5, 1, 1.5, 2, 2.5 y 3 metros) de igual manera se reconoció a P2 con posición lateral izquierda, P3 con posición de espaldas, P4 con posición frontal y finalmente a P5 con una vista desde la cintura hasta la cabeza.

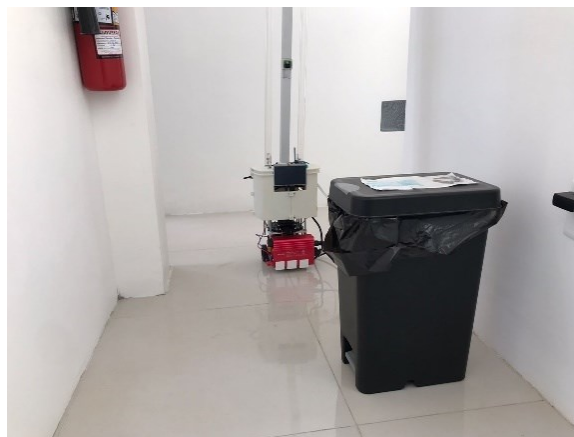
### ***Pruebas de funcionamiento para evadir obstáculos***

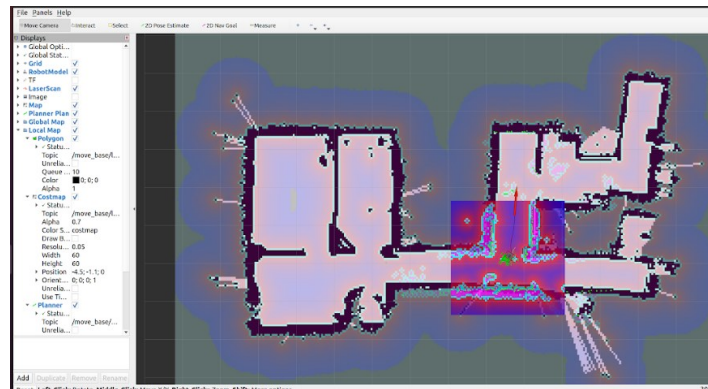
Para verificar el funcionamiento del AMR ante obstáculos, se utiliza la función de visualizar la traslación del robot mediante la PC de control en tiempo real.

El AMR detecta el objeto mediante el sensor LiDAR, que detecta el obstáculo como se muestra en la figura 62 y 63.

### **Figura 62**

*AMR con obstáculo*



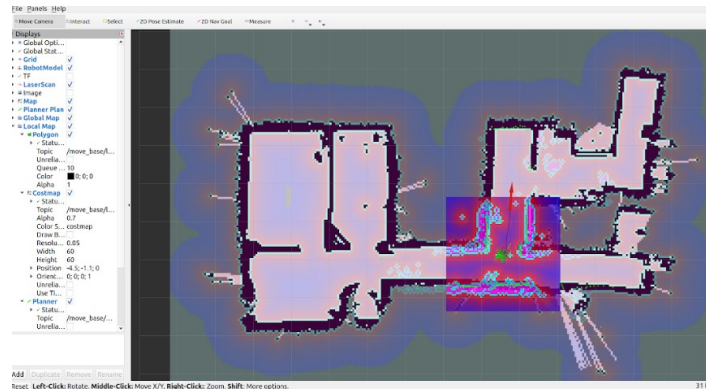
**Figura 63***Ubicación en 2D del AMR*

El AMR después de detectar el obstáculo crea una nueva trayectoria como se muestra en la figura 64 y 65.

**Figura 64***Evasión del obstáculo*

**Figura 65**

*Nueva trayectoria del AMR*



Una vez que el AMR detectó el obstáculo y creó la nueva trayectoria, continua y regresa a su dirección y sentido original como se muestran en las figuras 66 y 67.

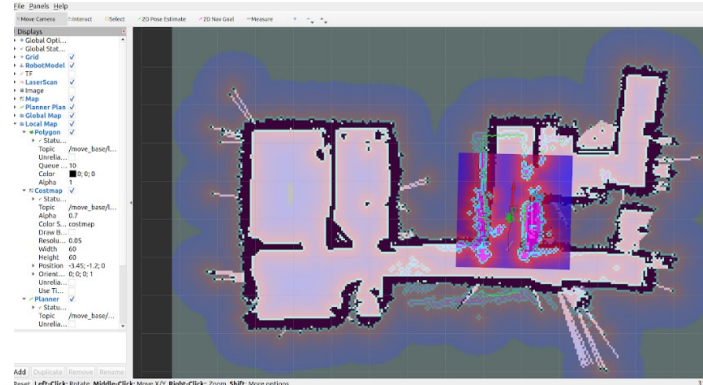
**Figura 66**

*Nueva ruta creada*



**Figura 67**

*Nueva ruta creada en mapa 2D*



### **Pruebas de comunicación con el robot y computadora de monitoreo externo.**

Para la realización de las pruebas de comunicación del AMR y la PC, ambos deben estar conectados a la misma red wifi y compartir la misma dirección IP.

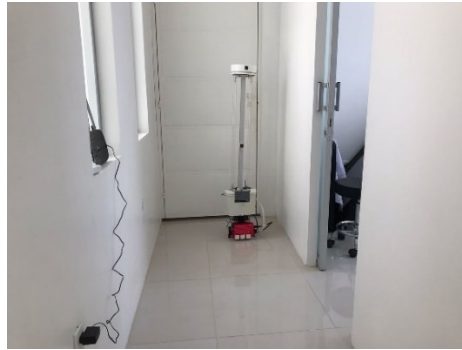
Una prueba preliminar es cuando se desarrolló el mapa en 2D, que se utiliza para programar la ruta de desinfección.

Lo principal es verificar, que el sensor LiDAR capte las diferentes geometrías del centro médico como salientes, pasillos y otros cuartos.

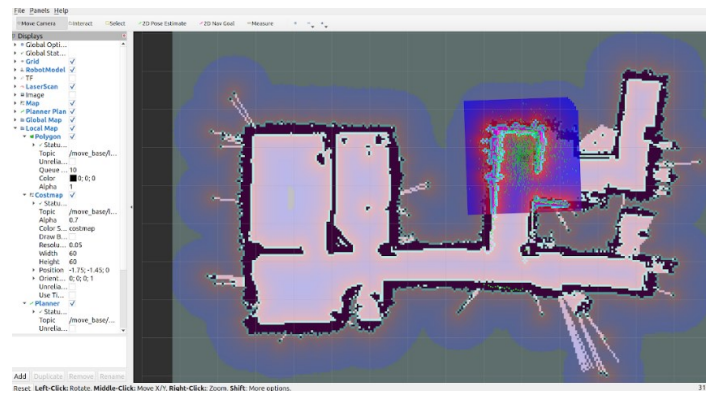
Para la realización de esta prueba, se movilizó al AMR con la PC en 4 posiciones que presentan menor complejidad, para que se proyectará en el mapa 2D de manera correcta. La primera posición del AMR se encuentra al inicio del pasillo como se muestra en la figura 68 y 69.

**Figura 68**

*Primera posición del AMR para prueba de comunicación con pc.*

**Figura 69**

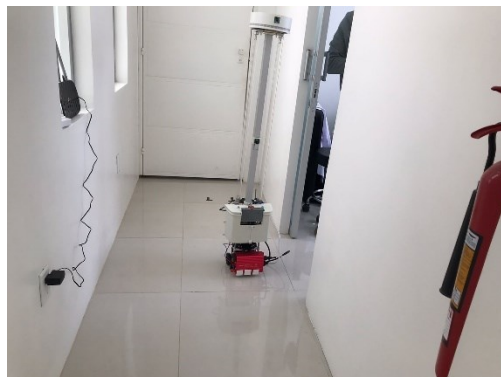
*Primera posición del AMR en plano 2D*



En la segunda posición se encuentra un acceso a un cuarto.

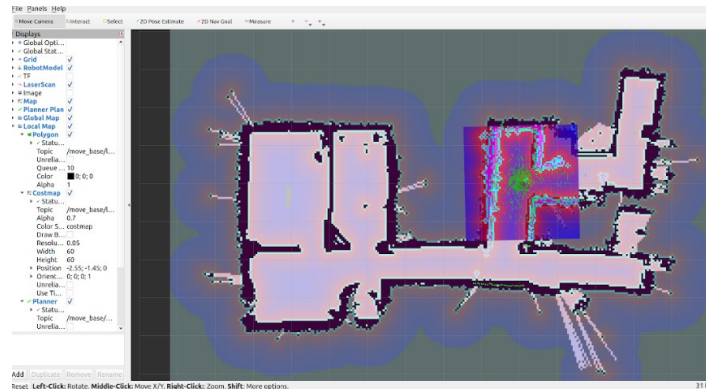
**Figura 70**

*Segunda posición del AMR para prueba de comunicación con pc.*



## Figura 71

*Segunda posición del AMR en plano 2D*



En la tercera posición se aprecia las geometrías del lugar ya captadas y del pasillo que cruza como se muestra en la figura 72 y 73.

## Figura 72

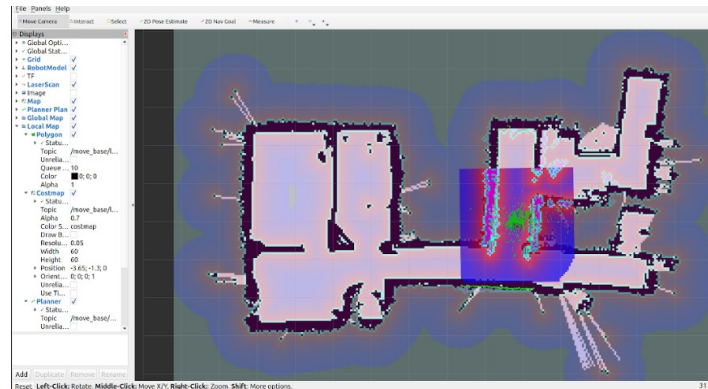
*Tercera posición del AMR para prueba de comunicación con pc.*





### Figura 73

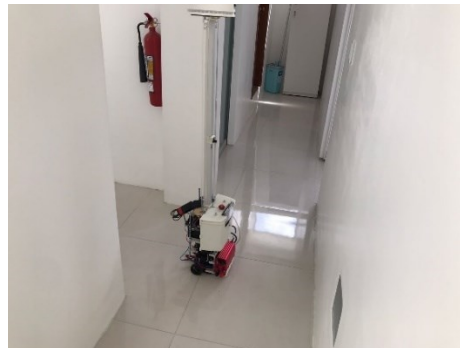
*Tercera posición del AMR en plano 2D*



Finalmente, la cuarta posición del AMR muestra el pasillo por donde comenzó a moverse, el espacio para ingresar al cuarto y el nuevo pasillo que cruza como se muestra en la figura 74 y 75.

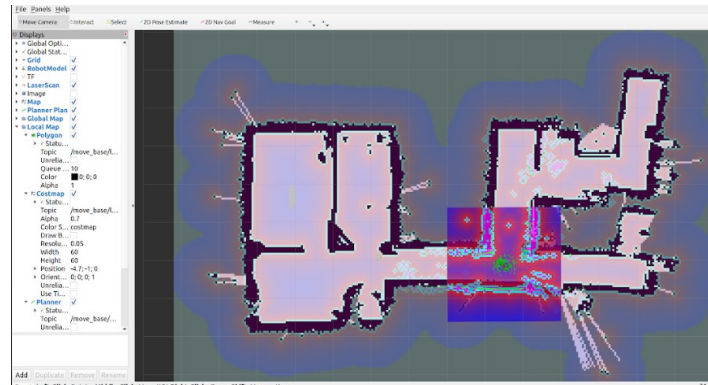
### Figura 74

*Cuarta posición del AMR para prueba de comunicación con pc.*



**Figura 75**

*Cuarta posición del AMR en plano 2D*



## **Pruebas de funcionamiento en los ambientes de desinfección del centro médico**

### ***Pruebas de cantidad de luz en diferentes lugares del consultorio***

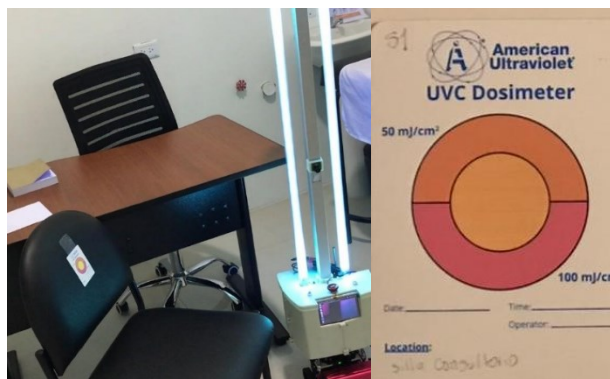
Para las pruebas de desinfección, se escogieron 5 puntos considerados de mayor contacto con personas y manipulación los cuales son:

- S1, Silla consultorio.
- S2, camilla consultorio
- S3, silla recepción
- S4, isla recepción
- S5, camilla consultorio 2

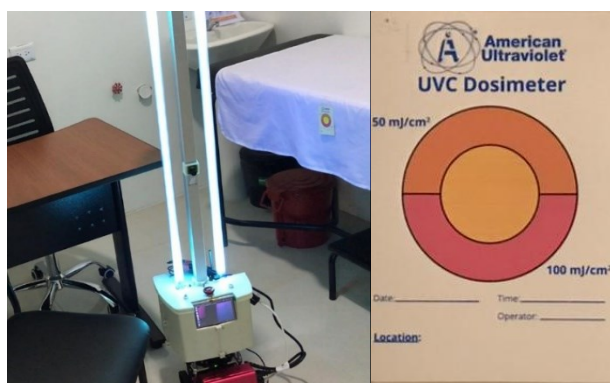
Para identificar la cantidad de radiación, que llega a estos 5 puntos se utilizó tarjetas (dosímetros UV-V), los cuales de acuerdo a la cantidad de luz UV-C toman un color que puede variar de  $50 - 100 \frac{mJ}{cm^2}$ .

**Figura 76**

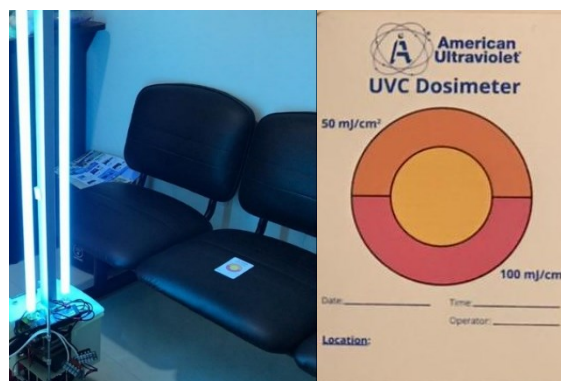
*Resultado dosímetro UV-C de S1*

**Figura 77**

*Resultado dosímetro UV-C de S2*

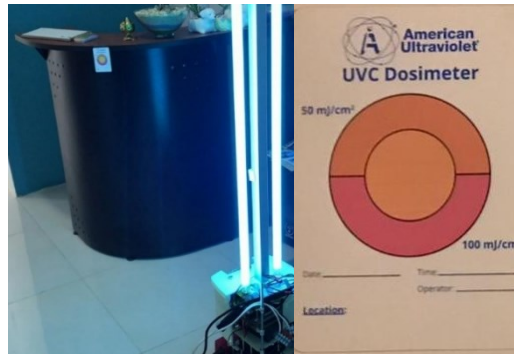
**Figura 78**

*Resultado dosímetro UV-C de S3*

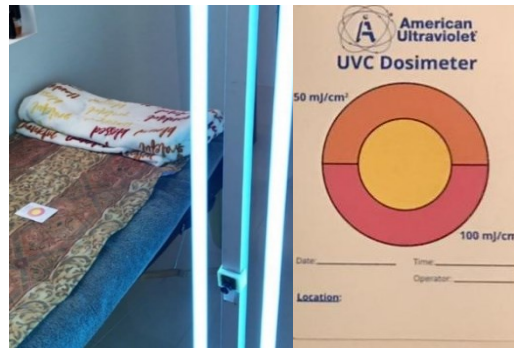


**Figura 79**

*Resultado dosímetro UV-C de S4*

**Figura 80**

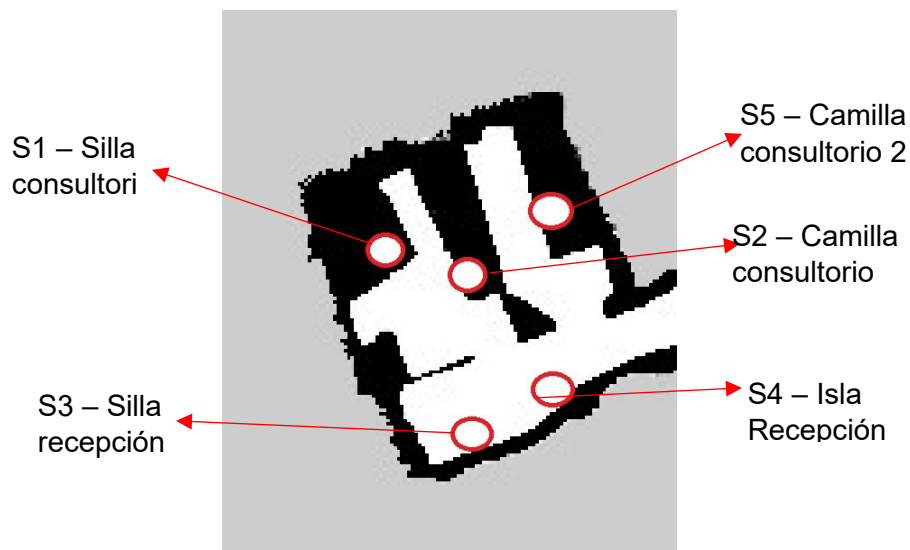
*Resultado dosímetro UV-C de S5*



En las figuras 76, 77, 78, 79 y 80 se visualiza la cantidad de luz UV-C en los S1, S22, S3, S4 y S5 respectivamente.

**Figura 81**

*Puntos de toma de muestras en el centro médico*



En la tabla 71 se visualizan los resultados de los dosímetros UV-C.

**Tabla 71**

*Resultados de dosímetro UV-C*

Ubicación	Código	Posición	Tiempo de exposición (s)	Resultado $mJ/cm^2$
Silla consultorio	S1	Vertical	3	40
Camilla consultorio	S2	Vertical	3	40
Silla recepción	S3	Vertical	3	45
Isla recepción	S4	Vertical	3	50
Camilla consultorio	S5	Horizontal	3	25

***Pruebas de laboratorio para la inactivación de bacterias con luz UV-C.***

Para la presente prueba se tomaron muestras de los 5 puntos antes mencionados, antes y después de la aplicación de luz UV-C, posteriormente se realizó un cultivo para evaluar el crecimiento de las colonias de bacterias.

En base a los estudios de microbiología que se pueden visualizar en el Anexo 1, se obtuvieron los siguientes resultados.

**Tabla 72**

*Resultados de microbiología antes y después de aplicación UV-C*

<b>Código</b>	<b>Resultado antes (UFC/ml)</b>	<b>Código</b>	<b>Resultado después (UFC/ml)</b>
S1	70.000	S1.1	<10.000
S2	40.000	S2.1	<10.000
S3	< 10.000	S3.1	<10.000
S4	>100.000	S4.1	<10.000
S5	70.000	S5.1	<10.000

En base a la Tabla 1, cuando existe hasta 10.000 UFC se considera que la reducción logarítmica es del 99%, después de visualizar los resultados, en cada punto donde se tomaron las muestras se aprecia la existencia de menos de 10.000 UFC.

En base a los estudios de microbiología que se hicieron una semana después, para confirmar que los primeros estudios fueron reales, se pueden visualizar en el Anexo 5 los siguientes resultados.

**Tabla 73***Resultados de microbiología después de una semana*

<b>Código</b>	<b>Resultado antes (UFC/ml)</b>	<b>Código</b>	<b>Resultado después (UFC/ml)</b>
S1	80.000	S1.1	<10.000
S2	90.000	S2.1	<10.000
S3	< 10.000	S3.1	<10.000
S4	40.000	S4.1	<10.000
S5	70.000	S5.1	<10.000

En base a la Tabla 1, cuando existe hasta 10.000 UFC se considera que la reducción logarítmica es del 99%, después de visualizar los resultados realizados hace una semana en cada punto donde se tomaron las muestras, se aprecia la existencia de menos de 10.000 UFC.

#### **Validación de la hipótesis.**

El AMR mediante las pruebas de reconocimiento de personas y evasión de obstáculos, se comprobó que el algoritmo de programación cumple sin problemas estas condiciones; de igual forma al realizar estas pruebas con hombres y mujeres de diferentes estaturas y hasta una distancia de 3 metros, siendo esta una distancia segura que una persona puede estar cerca de la luz UV-C sin repercutir en su salud.

Mediante las tarjetas de dosímetros UV-C, se midió la cantidad de luz UV-C en varios puntos considerados importantes, en base al mayor contacto con las personas, donde se evaluó si llega a la cantidad adecuada. Se verificó mediante las pruebas de microbiología, que la reducción de las colonias de bacterias es menor a las 10.000 UFC por cada mililitro, la cual resulta ser una desinfección del 99%.

Debido a que los resultados obtenidos se mantuvieron dentro de un margen similar de desinfección y a manera de corroboración de la hipótesis de investigación planteada en un inicio, se optó por el uso de la prueba T de student del paquete estadístico SPSS (Tabla 74), en donde se obtuvieron los siguientes datos:

**Tabla 74**

*Prueba T de student*

<b>Prueba T de student para muestras independientes</b>					
		Prueba Levene para la igualdad de varianzas		Prueba T para la igualdad de medias	
		F	Sig.	gl	Sig. bilateral
Desinfección con UVC	Se han asumido varianzas iguales	2,533	1,50	8	0,933
	No se han asumido varianzas iguales			7,281	0,933

Es así que, una vez aplicada la prueba T de student se destaca una significancia de 1,50; valor que supera a 0,05 con lo cual, se confirma la relación entre el uso del AMR implementado con UVC y los resultados de desinfección obtenidos (Sig. > 0,05). A manera de complemento se presenta el valor de la significancia bilateral de la prueba T, la cual fue de 0,933 y manteniéndose este valor superior al 0,05 mencionado con lo cual, se confirma de forma definitiva la hipótesis de investigación planteada al inicio del presente trabajo de investigación (Sig. bilateral > 0.05).



## Capítulo VI

### Conclusiones y recomendaciones

#### Conclusiones.

- Mediante la investigación del estudio del arte, se determinó que el desarrollo de los AMRs son los más eficientes para el presente proyecto. La desinfección mediante luz UV-C, tiene la capacidad de eliminar bacterias con mayor eficiencia especialmente al staphylococcus aureus, Escherichia coli y faecalis. Mediante el sistema operativo ROS, el cual permite conjugar diferentes etapas como la navegación, detección de obstáculos y creación de nuevas rutas.
- Se determinó, que para una correcta desinfección de las bacterias que son más frecuentes en los consultorios médicos, se necesita una dosis de luz UV-C de  $10 \text{ mJ/cm}^2$ , el cual corresponde al staphylococcus aureus y el robot debe movilizarse a una velocidad de  $0.3 \text{ m/s}$ , la etapa de control también se diseñó con un sistema de seguridad, el cual desactiva las lámparas UVC automáticamente con la presencia de algún individuo.
- Se determinó que, para una correcta comunicación entre el AMR y el monitor de control, los dos deben estar conectados a la misma red local.
- Se determinó que, en la etapa de locomoción, el sensor que trabaja de manera eficiente con el sistema operativo ROS, es el sensor láser LiDAR LDS-01, que es capaz de recopilar información del entorno en tiempo real, mientras que en la etapa de identificación del entorno – reconocimiento de personas la tarjeta Jetson Xavier trabaja eficientemente con las cámaras y mediante neuronas entrenadas permite el reconocimiento de personas en tiempo real.
- Validar la hipótesis mediante el análisis de resultados de las pruebas de funcionamiento aplicadas en un entorno médico. Mediante la validación de la

hipótesis, se concluyó que el AMR cumple con la función de desinfección, el cual se demostró con la ayuda de la aplicación de dosímetros UV-C, ubicados en diferentes puntos del centro médico, los cuales miden la cantidad de luz UVC que llegó a ese lugar, de igual manera se comprobó la hipótesis a través de pruebas microbiológicas, tomando muestras antes y después de la aplicación de luz UV-C y obteniendo una reducción desde 100.000 UFC a un valor menor de 10.000 UFC, lo cual representa una desinfección del 99%.

## Recomendaciones

- El balastro PSP2GPH40HOVDW – 3P20166 de Marca Robertson utilizado para activar las lámparas UVC de 55 W de marca PHILIPS, producen interferencia con los protocolos de comunicación de las cámaras conectadas a la computadora a bordo, se recomienda aislar la computadora a bordo con alguna carcasa que aisle los campos magnéticos producidos por fuentes exteriores.
- El poder de procesamiento de la Raspberry pi 3, es insuficiente para poder realizar visión artificial de 2 cámaras en tiempo real, se recomienda utilizar una computadora dedicada solo para fines de visión artificial como por ejemplo la computadora Jetson Xavier Nx.
- La utilización del sistema operativo robótico (ROS) en su última versión, no puede ser la mejor opción para el desarrollo de un producto final, debido a que no existe mucho soporte técnico del mismo, se recomienda utilizar un sistema operativo robótico que tenga el mayor soporte técnico, para poder encontrar una solución temprana a problemas que se susciten en el desarrollo del producto final.
- Para el diseño de la locomoción del robot se utilizó un sistema diferencial de 2 ruedas debido a su bajo costo y rápida implementación, pero este sistema produce muchas vibraciones a la estructura al momento de trasladar pesos en su estructura, se recomienda para futuros trabajos realizar la locomoción del robot con 4 ruedas para eliminar las vibraciones.

- El centro de masa debe estar ubicado lo más cerca del suelo posible, con el fin de eliminar la inestabilidad del robot al momento de trasladarse, estas vibraciones pueden causar que el robot pierda su estabilidad o ingreso de ruido a algún sensor instalado en el AMR.
- La navegación en 2D, es excelente en medios que no existan mucha variación de forma y tamaño en 2 ejes de coordenadas, pero si el objeto cambia de forma en un tercer eje, el sensor LiDAR que proporciona la navegación 2D, no observa este cambio dando una percepción errónea del ambiente que rodea al robot, se recomienda realizar una navegación 3D para lugares con mucha variación de su ambiente.
- Se incrementa la eficiencia de desinfección, implementar un sistema de reconocimiento de objetos críticos en el centro médico mediante visión artificial, por ejemplo, interruptores o manijas de puertas y dando un mayor tiempo de desinfección a estas.
- Las puertas de cristal y cualquier superficie transparente o reflectiva, da una mala percepción al sistema de navegación, se recomienda evitar estas superficies al momento de usar un sensor LiDAR como principal sensor para la navegación.

## Bibliografía

- Acosta, S. (2011). Manual de control de infecciones y epidemiología hospitalaria. *Organizacion panamericana de la salud*, 361. Obtenido de [https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/51545/ControllnfecHospitalarias\\_spa.pdf?sequence](https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/51545/ControllnfecHospitalarias_spa.pdf?sequence)
- ADAFRUIT. (2020). NeoPixel RGBW Neon-like Flex Strip - Cool White 5500K - 1 meter - 5V 60 LEDs/m. *NeoPixels*. Obtenido de <https://www.adafruit.com/product/4689>
- Agarwal, S. (2013). Data Mining: Data Mining Concepts and Techniques. *International Conference on Machine Intelligence and Research Advancement*, 13(2), 9. <https://doi.org/10.1109/ICMIRA.2013.45>
- Alados, C., Garcia , E., Leiva, J., Perez, J., Rojo, E., Cercenado, E., & Cantón, R. (2017). Seguridad en el laboratorio de Microbiología Clínica. *SEIMEC*, 68. Obtenido de <https://seimc.org/contenidos/documentoscientificos/procedimientosmicrobiologia/seimc-procedimientomicrobiologia10a.pdf>
- Albornoz, C., & Calahorrano , D. (2016). Seguimiento de objetos basado en visión artificial para cuadrirrotor Parrot AR.Drone 2.0. *SREI*, 98. Obtenido de <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/16978>
- ALFONSO , M., CAZORLA, M., & COLOMINA, O. (2003). Inteligencia artificial: modelos, técnicas y áreas de aplicación. *Editorial paraninfo*, 312. Obtenido de [https://books.google.com.ec/books/about/Inteligencia\\_artificial.html?id=\\_spC6S7UfZgC&redir\\_esc=y](https://books.google.com.ec/books/about/Inteligencia_artificial.html?id=_spC6S7UfZgC&redir_esc=y)
- Alvarez, B. (2014). Sistemas de Control. *Microsoft - Tesinaglobal*, 15. Obtenido de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/3330/34059-5.pdf?sequence=5>

- Cadena, C., Carlone, L., Carrillo, H., Latif, Y., Scaramuzza, D., Neira, J., & Reid, I. (2016). Past, Present, and Future of Simultaneous Localization And Mapping: Towards the Robust-Perception Age. *Computer Science*, 2(19), 37. Obtenido de <https://arxiv.org/abs/1606.05830>
- Capera, C. (2021). Manual de usuario del robot movil TURTLEBOT3 modelo BURGER. *ARMOS*, 5-7. Obtenido de <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/24883/CaperaCuellarCamila2020.pdf?sequence=2&isAllowed=y#:~:text=El%20sensor%20laser%20LDS%20D01,su%20f%C3%A1cil%20conexi%C3%B3n%20y%20configuraci%C3%B3n>.
- Carling, P., Bringgs, J., Hylander, D., & Perkins, J. (2006). An evaluation of patient area cleaning in 3 hospitals using a novel targeting methodology. *Am J Infect Control*, 5(13), 8. <https://doi.org/10.1016/j.ajic.2005.09.001>
- Cervantes, G., González, G., & Schettino, S. (2014). Características generales del *Staphylococcus aureus*. *Revista Mexicana de Patología Clínica y Medicina de Laboratorio*, 61(1), 16. Obtenido de <https://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumen.cgi?IDARTICULO=48300>
- Cevallos, P. (2020). Locomoción de robots modulares. *Vinculos*, 7(10), 3. Obtenido de <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/vinculos>
- Costa, J. (2015). Uso adecuado de lámparas germicidas. *Biotecnología*, 7(3), 5. Obtenido de <https://oftalmologos.org.ar/files/institucional/covid/uso-adecuado-de-lamparas-germicidas.pdf>
- Dario, P., Guglielmelli, E., & Allotta, B. (1996). Robotics for medical applications. *IEEE Robotics & Automation*, 3(3), 30. <https://doi.org/10.1109/100.540149>

- Diegel, Badve, & Potgierte. (2002). Improved Mecanum Wheel Design for Omnidirectional. *Australasian Conference on Robotics and Automation*, 5. Obtenido de <http://ftp.mi.fu-berlin.de/pub/Rojas/omniwheel/Diegel-Badve-Bright-Potgieter-Tlale.pdf>
- DSSNY. (2003). *Departamento de salud y servicio para adultos mayores de New Jersey*, 15(6), 6. Obtenido de <https://nj.gov/health/eoh/rtkweb/documents/fs/1451sp.pdf>
- ELECTROW. (2018). Elecrow HDMI 5 Inch 800x480 TFT Raspberry Pi Display with GPIO Backlight Control. *Electrow SA*. Obtenido de <https://www.elecrow.com/hdmi-5-inch-800x480-tft-display-with-automatic-backlight-control.html>
- Fragapane, G., Kosterb, R., Sgarbossa, F., & Strandhagena, O. (2021). Planning and control of autonomous mobile robots for intralogistics: Literature review and research agenda. *European Journal of Operational Research*, 2(16), 7. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ejor.2021.01.019>
- Gallardo, J. (2015). SIMULTANEOUS LOCALIZATION AND MAPPING. *UPGA*, 168. Obtenido de [file:///C:/Users/chico/Desktop/Tesis%20Carlos%20Silva/Informacion%20adicional/Compilacion%20de%20tesis%20con%20contenido%20parecido%20a%20mi%20tesis/T-ESPE-048831\\_Mas%20cercano.pdf](file:///C:/Users/chico/Desktop/Tesis%20Carlos%20Silva/Informacion%20adicional/Compilacion%20de%20tesis%20con%20contenido%20parecido%20a%20mi%20tesis/T-ESPE-048831_Mas%20cercano.pdf)
- García , A. (2014). ROS : Robot Operating System. *RAI*, 7(3), 123. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10317/3597>
- Gonzales, B. (2003). Alternativas Hardware para la Locomoción de un Robot. *FPGA*, 13. Obtenido de [http://www.learobotics.com/personal/juan/publicaciones/art2/51-Gonzalez\\_et\\_al.pdf](http://www.learobotics.com/personal/juan/publicaciones/art2/51-Gonzalez_et_al.pdf)

- Gonzalez, F. (2016). Introducción a los sistemas de control. *RESERCHGATE*, 12.  
Obtenido de  
[https://www.researchgate.net/publication/294721439\\_Capitulo\\_1\\_Introduccion\\_a\\_los\\_Sistemas\\_de\\_Control](https://www.researchgate.net/publication/294721439_Capitulo_1_Introduccion_a_los_Sistemas_de_Control)
- Goris , K. (2005). Autonomous Mobile Robot. *Autonomous Robots*, 98. Obtenido de  
[http://mech.vub.ac.be/multibody/final\\_works/ThesisKristofGoris.pdf](http://mech.vub.ac.be/multibody/final_works/ThesisKristofGoris.pdf)
- Hachour , O. (2008). Path planning of Autonomous Mobile robot. *INTERNATIONAL JOURNAL OF SYSTEMS APPLICATIONS, ENGINEERING & DEVELOPMENT*, 2(4), 13. Obtenido de <http://www.universitypress.org.uk/journals/saed/saed-45.pdf>
- Kaper, J., Nataro , J., & Mobley, H. (2004). Escherichia coli patógena. *Naturaleza revisa microbiología*, 2(13), 12. Obtenido de  
[https://www.nature.com/articles/nrmicro818?type=access\\_denied](https://www.nature.com/articles/nrmicro818?type=access_denied)
- Köseoğlu, M., & Pektaş, Ö. (2015). Design of an Autonomous Mobile Robot Based on ROS. *Havelsan Hava Elektronik Sanay*. Obtenido de  
<https://ieeexplore.ieee.org/document/8090199>
- Magill, S., Edwards, J., Bamberg, W., Beldavs, Z., Dumyati, G., Kainer, M., & Lynfield, R. (2014). Multistate point-prevalence survey of health care–associated infections. *The New England Journal of Medicine*, 2(11), 10.  
<https://doi.org/10.1056/NEJMoa1306801>
- Martínez, Y., & Falcon, R. (2013). Métodos de búsqueda para la configuración de redes neuronales asociativas. *Revista Cubana de Ciencias Informáticas*, 7(4), 16.  
Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=378334197006>

- McBride, S., Fischetti, V., LeBlanc, D., Moellering, R., & Gilmore, M. (2007). Genetic Diversity among *Enterococcus faecalis*. *PLOS ONE*, 2(56).  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1371/journal.pone.0000582>
- McManamon, P. (2019). LiDAR Technologies and Systems. *PIE digital*, 9(8), 13. Obtenido de <https://www.spiedigitallibrary.org/ebooks/PM/LiDAR-Technologies-and-Systems/eISBN-9781510625402/10.1117/3.2518254?SSO=1>
- MicroJPM. (2019). Fotek SSR-25 DA Relay Estado Solido 25A @ 380V (3 - 32VDC). *Crea lo extraordinario*. Obtenido de <https://www.microjpm.com/products/fotek-ssr-25-da-relay-estado-solido-25a-380v/#:~:text=Descripci%C3%B3n%3A,ventajas%20sobre%20los%20rel%C3%A9s%20mec%C3%A1nicos>.
- Moran , M. (2021). Navegación reactiva del robot móvil Andábata en entornos naturales. *UMA*, 13. Obtenido de <https://riuma.uma.es/xmlui/handle/10630/23187>
- Naudé, W. (2020). Artificial intelligence vs COVID-19: limitations, constraints and pitfalls. *Curmudgeon Corner*, 35(7), 14. Obtenido de <https://link.springer.com/article/10.1007/s00146-020-00978-0>
- Nourbakhsh, I., Crowley, K., Bhave, A., Hamner, E., Hsiu, T., Bergquist, A., & Richards, S. (2005). The Robotic Autonomy Mobile Robotics Course: Robot Design, Curriculum Design and Educational Assessment. *Autonomous Robots*, 18. Obtenido de <https://link.springer.com/article/10.1023/B:AURO.0000047303.20624.02>
- NVIDIA. (2021). Jetson Xavier NX Developer Kit. *NVIDIA DEVELOPER*, 2. Obtenido de <https://developer.nvidia.com/embedded/jetson-xavier-nx-devkit>



- NVIDIA. (2019). Hello AI World NVIDIA Jetson. *SegNet*. Obtenido de <https://github.com/dusty-nv/jetson-inference/blob/master/docs/detectnet-example-2.md>
- Peréz, C. (2016). ESTERILIZACIÓN Y DESINFECCIÓN. *Actualidad y salud*, 11. Obtenido de <https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/57249700/esterilizacion-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1656482550&Signature=H4ihes5ohDGhJvQwvKV3a0CpxhYzJgQ-f83FbdoJ3OhTEC4rh9IBpwLg06l1WmBka3ridyMnPx9HPp3gOzkuzSju1uhskJQQtUlB4tG~LMd6xvtisZbcfcOK5bYSxzP~ovLmpRQUzLkG>
- PHILIPS. (2020). TUV T8 - Guaranteed lifetime simplifying planned maintenance in professional applications. *BulbAmerica*, 2-3. Obtenido de <https://drive.google.com/drive/folders/1q5ijSgig-VKyaeiYOco4bUz04gcSUSzg>
- PiHut. (2020). Raspberry Pi Camera Module 2. *Raspberry Pi Industry*, 2. Obtenido de <https://www.raspberrypi.com/products/camera-module-v2/>
- Pololu. (2019). Pololu 5V, 15A Step-Down Voltage Regulator D24V150F5. *Robotics y Electronics*, 1. Obtenido de <https://www.pololu.com/product/2881>
- ROBERTSON. (2020). PSP2GPH40HOVDW. *Innovative Lighting Solutions*, 5. Obtenido de <https://www.robertsonlighting.com/psp2gph40hoivdw.html>
- Rodríguez, M., Rodríguez, G., Serodes, J., & Sadiq, R. (2007). SUBPRODUCTOS DE LA DESINFECCIÓN DEL AGUA POTABLE: FORMACIÓN, ASPECTOS SANITARIOS Y REGLAMENTACIÓN. *Interciencia*, 32(11), 8. Obtenido de [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0378-18442007001100007](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442007001100007)
- Rosetto, M. (1995). Principios generales de la desinfección. *Internacional artificial*, 14(5), 15. Obtenido de

[https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/32204108/desinfeccion\\_y\\_limpieza-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1656482548&Signature=aINWaTTz3nHCvhfrMHUTj16P-QEnL0I~veIVw7bjyqGa4P8ygH5t6YXe9Hrebd~U~TMVRvKxW4MmxDdxgUkSIL8OC9R0J6zM55LstKFUbnJc15VKc733cuibF8zAg9f47SR](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/32204108/desinfeccion_y_limpieza-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1656482548&Signature=aINWaTTz3nHCvhfrMHUTj16P-QEnL0I~veIVw7bjyqGa4P8ygH5t6YXe9Hrebd~U~TMVRvKxW4MmxDdxgUkSIL8OC9R0J6zM55LstKFUbnJc15VKc733cuibF8zAg9f47SR)

RUBÆK, T., CIKOTIC, M., & FALDEN, S. (2016). Evaluation of the UV-Disinfection Robot. *WHITEPAPER*, 9. Obtenido de [file:///C:/Users/chico/Desktop/Tesis%20Carlos%20Silva/Informacion%20adicional/PAPERS\\_ROBOTS%20UVC/UVDR-Whitepaper.pdf](file:///C:/Users/chico/Desktop/Tesis%20Carlos%20Silva/Informacion%20adicional/PAPERS_ROBOTS%20UVC/UVDR-Whitepaper.pdf)

Ruiz, J., Galindo, J., & Gonzalez, L. (2011). Navegación Reactiva de un Robot Móvil usando Kinect. *Málaga*, 8. Obtenido de <http://ingmec.ual.es/~jlblanco/papers/robot2011ruiz-sarmiento.pdf>

Russell, S., & Norving, P. (2004). *Inteligencia artificial un enfoque moderno*. Modern approach. Obtenido de <https://luismejias21.files.wordpress.com/2017/09/inteligencia-artificial-un-enfoque-moderno-stuart-j-russell.pdf>

Saenz, A., Bugarin, E., & Santibanez, V. (2016). Modelado Cinematico y Dinamico de un Robot. *Dinamica de actuadores*, 13. Obtenido de [https://www.researchgate.net/profile/Jose-Saenz-9/publication/283018129\\_Modelado\\_Cinematico\\_y\\_Dinamico\\_de\\_un\\_Robot\\_Movil\\_Omnidireccional\\_de\\_4\\_Ruedas\\_Considerando\\_Dinamica\\_de\\_Actuadores/links/5830032f08ae102f072fcdf3/Modelado-Cinematico-y-Dinamico-de-un-Ro](https://www.researchgate.net/profile/Jose-Saenz-9/publication/283018129_Modelado_Cinematico_y_Dinamico_de_un_Robot_Movil_Omnidireccional_de_4_Ruedas_Considerando_Dinamica_de_Actuadores/links/5830032f08ae102f072fcdf3/Modelado-Cinematico-y-Dinamico-de-un-Ro)

- Serkonten. (2018). Desinfección hospitalaria. *Bienestar sostenible en entornos profesionales*, 5. Obtenido de [https://phsserkonten.com/3-tecnicas-desinfeccion-hospitalaria/#Que\\_es\\_la\\_desinfeccion\\_hospitalaria](https://phsserkonten.com/3-tecnicas-desinfeccion-hospitalaria/#Que_es_la_desinfeccion_hospitalaria)
- Sieglwart, R., Nourbakhsh, L., & Scaramuzza, D. (2004). Introduction to Autonomous Mobile Robots. *Semantic Scholar*, 5(10), 11. <https://doi.org/10.5860/choice.49-1492>
- Silva, S. (2021). Diseño e Implementación de Robot Móvil Autónomo de desinfección para navegación social en entornos cerrados y dinámicos. *ESPOL*, 4. Obtenido de <https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/52776>
- Silvera, W. (2021). Diseño de un robot móvil con direccionamiento diferencial usando lógica difusa y escaneo LiDAR para desinfección por radiación UV-C de espacios cerrados. *Universidad Ricardo Palma*, 71-77. Obtenido de [http://repositorio.urp.edu.pe/bitstream/handle/URP/4850/MEC-T030\\_48191555\\_T%20%20%20MEZA%20SILVERA%20WALDIR%20RONALD.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.urp.edu.pe/bitstream/handle/URP/4850/MEC-T030_48191555_T%20%20%20MEZA%20SILVERA%20WALDIR%20RONALD.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Singhal, A., Pallav, P., Kejriwal, N., Choudhury, S., & Kum, S. (2017). Gestión de una flota de robots móviles autónomos (AMR) utilizando una plataforma de robótica en la nube. *Conferencia Europea de Robots Móviles (ECMR) 2017*, 2(9), 12. <https://doi.org/10.1109/ECMR.2017.8098721>
- STOPBOTTON. (2021). Mxuteuk 22mm Metal Cierre Botón Interruptor de parada de emergencia. *Catálogo IATC*. Obtenido de <https://www.ebay.com/itm/374136068846?hash=item571c3f5aee:g:nJwAAOSwHm9iVFix>

TurtleBot3. (2020). Run SLAM Node. Obtenido de

<https://emanual.robotis.com/docs/en/platform/turtlebot3/slam/#run-slam-node>

Vijayakumaran, V., Kuhn, D., & Hummel, V. (2019). Development of an easy teaching and simulation solution for an autonomous mobile robot system. *Procedia Manufacturing*, 13(9), 8.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.03.043>

Wang, J., Wei, B.-y., Zhang, Y., & Chen, H. (2009). Design of an autonomous mobile robot for hospital. *IEEE International Symposium on Information (IT) in Medicine and Education, ITME*, 14(16), 23. <https://doi.org/10.1109/ITIME.2009.5236275>

Yingfeng, C., Feng, W., & Wei, S. (2017). Robots serve humans in public places—KeJia robot as a shopping assistant. *International Journal of Advanced Robotic Systems*, 5(7), 6. Obtenido de

<https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/1729881417703569>

## Anexos