



DESARROLLO DE UN SISTEMA DE MOVIMIENTO AUTÓNOMO PARA EL DISPOSITIVO DE ESTERILIZACIÓN DE ESPACIOS POR RADIACIÓN UVC

OSWALD EDUARDO ARIAS CRUZ
JAVIER ALONSO PANCHÁ RUBIANO

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA
VILLA DEL ROSARIO
2022



DESARROLLO DE UN SISTEMA DE MOVIMIENTO AUTÓNOMO PARA EL DISPOSITIVO DE ESTERILIZACIÓN DE ESPACIOS POR RADIACIÓN UVC

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIEROS EN MECATRÓNICA

Director:

MSc. Ing. OSCAR MANUEL DUQUE SUAREZ
Ingeniero en mecatrónica
Magister en controles industriales

Co-director:

MSc. Ing. JORGE LEONARDO FUENTES FUENTES
Ingeniero eléctrico
Magíster en control industrial

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA
VILLA DEL ROSARIO
2022



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



Nota de aceptación

Presidente del jurado

Jurado 1

Jurado 2

Jurado 3

Ciudad y Fecha (día, mes, año) (Fecha de entrega)



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



DEDICATORIA

Queremos dedicar este proyecto principalmente a Dios por darnos la fuerza y la sabiduría para culminar uno de los anhelos más deseados, también dedicamos este trabajo a nuestros padres que de no ser por el amor y apoyo que nos dieron a lo largo de la carrera no estaríamos aquí.



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



AGRADECIMIENTOS

Agradecemos primeramente a Dios, por brindarnos salud, entendimiento y sabiduría durante el transcurso de nuestra carrera, a nuestras familias por el apoyo incondicional en nuestro recorrido y a todas las personas que estuvieron presentes, por brindar una parte de sí en nuestras vidas.



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
 Pamplona - Norte de Santander - Colombia
 Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



RESUMEN

En el presente proyecto se busca otorgarle características de RMA (Robot Móvil Autónomo) a un sistema de esterilización UV-C, desarrollando el prototipo mecánico de locomoción y un sistema autónomo de movilidad con el fin de brindar cierto grado de autonomía dentro de un entorno estático cerrado no estructurado. Con la finalidad de lograr este objetivo, se implementa el SLAM, el cual es una técnica usada para brindar autonomía a los vehículos a través de la construcción de un mapa de un entorno desconocido a la vez que se desplaza por el mismo.

Para ello primeramente se iniciará con el estudio del estado del arte de las técnicas de SLAM a nivel de localización y modelado simultáneo, continuado a ello se establecerán los requerimientos de diseño y de selección de los actuadores a controlar, dispositivos de control, entre otros, realizando a partir de esto el diseño del sistema mecánico y electrónico de movilidad autónoma para el sistema de esterilización UV-C y la posterior construcción del mismo, a ello se unirá el diseño del sistema SLAM, seguido a ello se implementará dicho sistema de localización y mapeado simultáneo y finalmente se realizará la validación del sistema de funcionamiento a nivel de movilidad autónoma.



ABSTRACT

This project seeks to grant RMA (Autonomous Mobile Robot) characteristics to a UV-C sterilization system, developing the mechanical locomotion prototype and an autonomous mobility system in order to provide a certain degree of autonomy within a static environment. closed unstructured. In order to achieve this objective, SLAM is implemented, which is a technique used to provide autonomy to vehicles through the construction of a map of an unknown environment while moving through it.

To do this, it will first begin with the study of the state of the art of SLAM techniques at the level of location and simultaneous modeling, followed by the design requirements and selection of the actuators to be controlled, control devices, among others, Carrying out from this the design of the mechanical and electronic system of autonomous mobility for the UV-C sterilization system and its subsequent construction, to this the design of the SLAM system will be added, followed by said location system and simultaneous mapping and finally the validation of the operating system at the level of autonomous mobility will be carried out.



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



CONTENIDO

DEDICATORIA	4
AGRADECIMIENTOS.....	5
RESUMEN.....	6
ABSTRACT	7
LISTA DE FIGURAS	12
LISTA DE TABLAS	18
LISTA DE ECUACIONES	20
INTRODUCCIÓN.....	21
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	22
JUSTIFICACIÓN.....	23
DELIMITACIÓN	24
1.1 OBJETIVO GENERAL.....	24
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	24
1.3 ACOTACIONES	25
2. MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE.....	26
2.1 MARCO TEÓRICO	26
2.1.1 Robótica móvil	26
2.1.2 SLAM	27
2.1.3 HECTOR SLAM.....	29
2.1.4 RTAB-MAP (REAL-TIME APPEARANCE BASED MAPPING)	30
2.1.5 ORB-SLAM.....	31
2.1.6 LSD-SLAM (LARGE SCALE DIRECT MONOCULAR SLAM)	31
2.1.7 RGB-D SLAM	32
2.1.8 Sistema de localización en interiores.....	33
2.1.9 Infrarrojos	34
2.1.10 Ultrasónicos.....	34



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



2.1.11	RFID	35
2.1.12	Bluetooth	35
2.1.13	UWB (Ultra Wideband)	36
2.2	ESTADO DEL ARTE	37
2.2.1	DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE ROBOT MÓVIL AUTÓNOMO DE DESINFECCIÓN PARA NAVEGACIÓN SOCIAL EN ENTORNOS CERRADOS Y DINÁMICOS	37
2.2.2	NAVEGACIÓN AUTÓNOMA DE UN ROBOT MÓVIL OMNIDIRECCIONAL EN TRAYECTORIAS PREDETERMINADAS CON EVITACIÓN DE OBSTÁCULOS	37
2.2.3	DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE ROBOT FRIEGASUELOS AUTOMÁTICO (CLEANERBOT)	38
2.2.4	DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE VISIÓN ARTIFICIAL USANDO UNA TÉCNICA DE MAPEO Y LOCALIZACIÓN SIMULTANEA (SLAM) SOBRE UNA PLATAFORMA ROBÓTICA MÓVIL	39
2.2.5	Trilateration-Based Localization in Known Environments with Object Detection	39
2.2.6	DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE TRIANGULACIÓN POR RADIO FRECUENCIA (RF) EN ESPACIOS CERRADO PARA EL MONITOREO Y ALERTA DE ADULTOS MAYORES A TRAVÉZ DE UNA RED DE SENSORES INALÁMBRICOS	40
2.2.7	Estudio del módulo DWM1001 de Decawave para la medida de rangos en UWB	40
2.2.8	UTVECKLING AV KOMBINERAD DATAKOMMUNIKATION OCH TWO WAY RANGING FÖR IEEE 802.15.4 ULTRAWIDEBANDSYSTEM	41
3.	ESTABLECER LOS REQUERIMIENTOS DE DISEÑO Y SELECCIÓN DE: SENSORES, ACTUADORES A CONTROLAR Y DISPOSITIVO CONTROLADOR	42
3.1	ESTABLECIMIENTO DE LOS CRITERIOS MECÁNICOS Y ELECTRÓNICOS DE LOS SENSORES, ACTUADORES Y DISPOSITIVO CONTROLADOR	42
3.1.1	Parámetros de diseño del robot	42
3.2	SELECCIÓN DE LOS SENSORES, ACTUADORES Y DISPOSITIVO CONTROLADOR	49
3.2.1	Selección del sensor de posición	51
3.2.2	Selección del módulo Rf	54



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



3.2.3	Selección de la batería	57
3.2.4	Selección de las lámparas UV-C	61
3.2.5	Selección dispositivos controladores del SLAM	65
3.2.6	Selección Dispositivo controlador de los sensores	69
3.2.7	Selección de la pantalla.....	73
3.2.8	Selección de los motores.....	75
3.2.9	Selección del inversor.....	78
4.	DISEÑAR EL SISTEMA MECÁNICO Y ELECTRÓNICO DE MOVILIDAD AUTÓNOMA PARA EL SISTEMA DE ESTERILIZACIÓN UV-C.	81
4.1	DISEÑO DEL MODELO MECÁNICO PARA LA MOVILIDAD DEL ROBOT	81
4.1.1	Diseño del chasis del robot.....	81
4.1.2	Diseño de la carrocería del robot.....	84
4.2	SELECCIÓN DE MATERIALES	86
4.2.1	Selección del material para el chasis.....	86
4.2.2	Selección del material para la carrocería	89
4.3	DISEÑO DEL SISTEMA ELECTRÓNICO DEL ROBOT	91
4.3.1	Circuito electrónico para la movilidad	91
4.3.2	Circuito electrónico para la ubicación	92
4.3.3	Diagrama de bloques de conexión general.....	94
5.	CONSTRUIR EL SISTEMA MECÁNICO Y ELECTRÓNICO DE MOVILIDAD AUTÓNOMA PARA EL SISTEMA DE ESTERILIZACIÓN UV-C.	96
5.1	CONSTRUCCIÓN DEL MODELO MECÁNICO DISEÑADO	96
5.1.1	Construcción del chasis del robot.....	96
5.1.2	Construcción de la carrocería del robot	99
5.2	Construcción del sistema electrónico diseñado	100
6.	DISEÑAR EL SISTEMA DE SLAM PARA LA NAVEGACIÓN DEL SISTEMA DE ESTERILIZACIÓN UV-C.....	103
6.1	SELECCIÓN DEL TIPO DE SLAM	103
6.1.1	GPS-SLAM.....	103
6.1.2	Hector SLAM	103



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



6.2	ADAPTAR EL MÉTODO DE PERCEPCIÓN PARA EL RANGO DE TRABAJO	106
6.3	REALIZAR LA PROGRAMACIÓN DEL SLAM.....	107
6.4	REALIZACIÓN DE LAS PRUEBAS PRELIMINARES DE LA PERCEPCIÓN SLAM	118
7.	IMPLEMENTAR EL SISTEMA DE SLAM PARA LA NAVEGACIÓN DEL SISTEMA DE ESTERILIZACIÓN UV-C.....	121
7.1	EJECUCIÓN DEL ALGORITMO SLAM Y SOMETIMIENTO A PRUEBAS	121
7.2	REFINAMIENTO DEL ALGORITMO SLAM	124
8.	VALIDAR EL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE MOVILIDAD AUTÓNOMA PARA EL SISTEMA DE ESTERILIZACIÓN UV-C	129
8.1	PRUEBAS DE DESINFECCIÓN.....	129
8.2	VERIFICACIÓN DE LOS RESULTADOS DEL MAPEO.....	135
8.3	ETAPAS FUTURAS.....	137
8.4	ANÁLISIS DE COSTOS	140
9.	CONCLUSIONES	145
10.	RECOMENDACIONES	148
10.1	RECOMENDACIONES DE USO	148
10.2	RECOMENDACIONES PARA TRABAJOS FUTUROS	148
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	149
	ANEXOS	159



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Clasificación de los robots móviles según su locomoción	27
Figura 2. Esquema del algoritmo SLAM.....	29
Figura 3. Nube de puntos generada por el Kinect en barrido láser	30
Figura 4. Posibles salidas de RTAB-Map.....	30
Figura 5. Módulos del algoritmo ORB-SLAM	31
Figura 6. Algoritmo LSD-SLAM.....	32
Figura 7. Esquema del algoritmo RGB-D SLAM	33
Figura 8. Infrarrojo	34
Figura 9. Funcionamiento del sensor ultrasónico	35
Figura 10. Sistema RFID	35
Figura 11. Comunicación Bluetooth	36
Figura 12. Usos de UWB	36
Figura 13. Configuraciones de los RMR	44
Figura 14. Sensor Sharp.....	50
Figura 15. DW1000.....	52
Figura 16. ESP32 UWB	53
Figura 17. Módulo RF YK04	55
Figura 18. Módulo CC1101.....	55
Figura 19. Batería recargable Netion 12V 18AH/20HR	59
Figura 20. Especificaciones de la batería recargable Netion 12V 18AH/20HR.....	59
Figura 21. Batería recargable Netion 12V 9AH/20HR	60
Figura 22. Especificaciones de la batería recargable Netion 12V 9AH/20HR.....	60
Figura 23. Lámpara TUV 15W SLV/25.....	62
Figura 24. Datos de la lámpara TUV 15W SLV/25	62
Figura 25. Dimensiones de la lámpara TUV 15W SLV/25.....	63
Figura 26. Lámpara TUV 75W HO 1SL/6.....	63
Figura 27. Datos de la lámpara TUV 75W HO 1SL/6	64
Figura 28. Dimensiones de la lámpara TUV 75W HO 1SL/6.....	64



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



Figura 29. Raspberry pi 4	66
Figura 30. Arduino Mega	67
Figura 31. Arduino uno	69
Figura 32. Arduino Nano.....	71
Figura 33. Display 3.5" Raspberry	73
Figura 34. Display 7" Raspberry	74
Figura 35. Motor paso a paso nema 23 - 2.8Nm.....	76
Figura 36. Motor nema 23 - 3.5Nm	76
Figura 37. Inversor 300W	78
Figura 38. Inversor 500W	79
Figura 39. Modelado de la base del robot (autor).....	81
Figura 40. Modelado del soporte de batería (autor)	82
Figura 41. Modelado del soporte del motor (autor)	82
Figura 42. Modelado de la jaula (autor)	83
Figura 43. Modelado del soporte de la jaula (autor)	83
Figura 44. Modelado del ensamblaje del chasis (autor)	84
Figura 45. Modelado de la carrocería del robot con vista trasera (autor)	85
Figura 46. Modelado de la carrocería del robot con vista frontal (autor).....	85
Figura 47. Propiedades físicas de algunos materiales de ingeniería.....	88
Figura 48. Circuito electrónico para la movilidad (autor)	92
Figura 49. Circuito de conexión entre Arduino UNO y el DW1000	93
Figura 50. Circuito electrónico para la posición (autor)	94
Figura 51. Esquema de conexión general (autor)	95
Figura 52. Construcción de la base (autor)	96
Figura 53. Construcción del soporte de la jaula (autor)	97
Figura 54. Construcción del soporte de la batería (autor)	97
Figura 55. Construcción del chasis del robot vista lateral (autor)	97
Figura 56. Construcción del chasis del robot vista superior (autor)	97
Figura 57. Ensamblaje del chasis del robot vista lateral (autor)	98



Figura 58. Ensamblaje del chasis del robot vista frontal (autor)	98
Figura 59. Montaje de motores y ruedas al chasis del robot (autor)	98
Figura 60. Etapa de pintura del chasis del robot (autor)	98
Figura 61. Corte de la carrocería en laser (autor)	99
Figura 62. Ensamblaje de la carrocería (autor)	99
Figura 63. Ensamblaje de la carrocería con el chasis (autor)	100
Figura 64. Construcción del circuito para la posición (autor)	100
Figura 65. Circuito para la posición (autor)	101
Figura 66. Montaje del circuito para la movilidad (autor)	101
Figura 67. Montaje del circuito para las lámparas	102
Figura 68. Ensamblaje de carrocería y sensores	102
Figura 69. Representación de las tres referencias y un objeto para la trilateración	107
Figura 70. Sensores DW1000 (autor)	108
Figura 71. Diagramas de flujo de la programación del tag y las antenas o anclas (autor)	108
Figura 72. Parte del código del tag, inclusión de la librería y configuración de pines y del sensor. (Autor)	109
Figura 73. Parte del Código del tag, configuración adicional de el sensor. (Autor)	109
Figura 74. Parte del Código del tag, enviar, recibir datos e imprimir posiciones. (Autor)	110
Figura 75. Parte del Código del ancla, inclusión de librerías declaración de variables y posiciones de las otras anclas (autor)	110
Figura 76. Parte del Código del ancla, configuración de la antena (autor)	111
Figura 77. Parte del Código del ancla, funciones para el cálculo de posición y transmisión de datos (autor)	111
Figura 78. Parte de Código del ancla, condicionales para saber si llega la señal de las otras anclas y envío de posición al tag (autor)	112
Figura 79. Código en Raspberry comunicación serial con Arduino y crear archivos con la información del tag (autor)	113
Figura 80. Captura del archivo de texto creado por la Raspberry (autor)	113
Figura 81. Diagrama de flujo de la programación de movilidad y sensores de obstáculos (autor)	114



Figura 82. Parte de Código de movilidad, declaración de pines (autor)	115
Figura 83. Parte de Código de movilidad, configuración de los pines declarados (autor).....	115
Figura 84. Parte del código de movilidad, lectura del dato y sensores (autor).....	116
Figura 85. Parte del código de movilidad, orden de mover el motor y numero aleatorios (autor).....	116
Figura 86. Parte de código de movilidad, funciones para girar a la izquierda o a la derecha (autor).....	117
Figura 87. Parte de código de movilidad, funciones para dar media vuelta y media vuelta a izquierda (autor)	117
Figura 88. Tag a la hora de hacer la prueba del código (autor).....	118
Figura 89. Ancla sostenida a cierta distancia (autor).....	118
Figura 90. Posiciones guardas en un archivo de texto para posteriormente graficarlas (autor)	119
Figura 91. Robot en sus primeras pruebas a la detección de un obstáculo (la pared) (autor)	119
Figura 92. Otra prueba de movilidad con un obstáculo puesto (autor)	120
Figura 93. Tag ubicado en el robot (autor).....	121
Figura 94. Ancla principal (autor)	122
Figura 95. Ancla secundaria (autor).....	122
Figura 96. Tercera ancla (autor)	123
Figura 97. Robot en la habitación para la prueba (autor)	123
Figura 98. Mapa obtenido del desplazamiento del robot (autor).....	124
Figura 99. Diagrama de flujo de la interfaz gráfica (autor).....	125
Figura 100. Código de la interfaz gráfica (autor)	125
Figura 101. código de la interfaz gráfica, función de la ventana principal (autor)	126
Figura 102. código de la interfaz gráfica, lectura del puerto serial (autor)	126
Figura 103. código de la interfaz gráfica, agregando datos al documento de texto (autor)	127
Figura 104. Menú principal de la interfaz gráfica (autor)	127
Figura 105. Mapa realizado después de los datos guardados con botón de volver al menú (autor).....	128



Figura 106. Muestra de control bacteria E. coli (autor).....	129
Figura 107. Muestra de control bacteria Staphylococcus aureus (autor).....	129
Figura 108. Muestras a las que se le realizo la prueba (autor).....	130
Figura 109. Bacterias ubicadas a dos distancias para la prueba de 5 minutos (autor) ...	130
Figura 110. Bacterias posicionadas a dos distancias para la prueba de 15 minutos (autor)	131
Figura 111. Lámparas encendidas para la prueba de 5 minutos (autor)	131
Figura 112. Lámparas encendidas para la prueba de 15 minutos (autor)	132
Figura 113. Muestra control vs Muestras sometidas a la prueba de 15 minutos bacteria E. coli (autor).....	132
Figura 114. Muestra control vs Muestras sometidas a la prueba de 5 minutos bacteria E. coli (autor).....	133
Figura 115. Muestra control vs Muestras sometidas a la prueba de 5 minutos bacteria Staphylococcus aureus (autor)	133
Figura 116. Muestra control vs Muestras sometidas a la prueba de 15 minutos bacteria Staphylococcus aureus (autor)	134
Figura 117. Robot sometido a pruebas en un entorno cerrado (autor)	135
Figura 118. Robot una vez puesto en marcha (autor)	136
Figura 119. Mapa comparativo realizado por algoritmo SLAM vs planos del entorno (autor)	136
Figura 120. Camino resultante del algoritmo A*	137
Figura 121. Resultado de un camino obtenido con el algoritmo APF	138
Figura 122. Representación de un camino encontrado con el método RRT.....	138
Figura 123. Planeación inicial de trayectoria.....	139
Figura 124. Tabla de inversión inicial (autor)	140
Figura 125. Datos iniciales para el cálculo de VAN y TIR	140
Figura 126. Tablas según proyecciones de la empresa (autor).....	141
Figura 127. Flujo efectivo neto por periodo	141
Figura 128. Cálculo del VAN hecho en Excel (autor)	142
Figura 129. Cálculo del TIR hecho en Excel (autor).....	142
Figura 130. Tablas según proyecciones de la empresa (autor).....	143



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”
 Universidad de Pamplona
 Pamplona - Norte de Santander - Colombia
 Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
 www.unipamplona.edu.co



Figura 131. Flujo efectivo neto por periodo (autor).....	143
Figura 132. Cálculo del VAN hecho en Excel (autor)	143
Figura 133. Cálculo del TIR hecho en Excel (autor)	144



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Criterios de selección según la configuración de locomoción (autor)	43
Tabla 2. Distribución de puntos de los criterios de selección según la configuración de locomoción (autor)	43
Tabla 3. Matriz de selección de la configuración de locomoción (autor).....	43
Tabla 4. Criterios de selección según la configuración cinemática (autor)	44
Tabla 5. Distribución de puntos de los criterios de selección según la configuración cinemática (autor)	45
Tabla 6. Matriz de selección de la configuración cinemática (autor).....	45
Tabla 7. Normograma de referencia (autor)	48
Tabla 8. Criterios de selección de los sensores (autor).....	49
Tabla 9. Distribución de puntos para los criterios de selección (autor).....	49
Tabla 10. Matriz de selección del sensor (autor).....	51
Tabla 11. Criterios para la selección de los sensores de posición (autor)	51
Tabla 12. Distribución de puntos para los criterios de selección (autor).....	52
Tabla 13. Matriz de selección del sensor de posición (autor).....	53
Tabla 14. Criterios de selección para Módulo RF (autor)	54
Tabla 15. Distribución de puntos para criterios de los módulos de RF (autor).....	56
Tabla 16. Selección de Módulo RF (autor).....	57
Tabla 17. Criterios de selección para la batería (autor).....	57
Tabla 18. Distribución de puntos para criterios de selección de la batería (autor).....	58
Tabla 19. Selección de la batería (autor)	60
Tabla 20. Criterios de selección para las lámparas (autor)	61
Tabla 21. Distribución de puntos para criterios de selección de las lámparas (autor)	61
Tabla 22. Selección de las lámparas (autor)	65
Tabla 23. Criterios de selección Dispositivo Maestro (autor).....	65
Tabla 24. Distribución de puntos para el dispositivo maestro (autor)	68
Tabla 25. Selección del dispositivo maestro (autor)	68
Tabla 26. Criterios de selección Dispositivo para controlar los sensores (autor).....	68



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



Tabla 27. Distribución de puntos de los dispositivos controladores de sensores (autor) ..	70
Tabla 28. Selección de dispositivo controlador de sensores	70
Tabla 29. Criterios de selección para el dispositivo que controla los sensores de posición (autor).....	71
Tabla 30. Distribución de puntos para la selección del dispositivo controlador (autor)	72
Tabla 31. Selección del dispositivo controlador para la posición (autor)	72
Tabla 32. Criterios para la selección de la pantalla (autor).....	73
Tabla 33. Distribución de puntos para los criterios de las pantallas (autor)	74
Tabla 34. Selección de la pantalla (autor)	75
Tabla 35. Criterios de selección para los motores (autor)	75
Tabla 36. Distribución de puntos para la selección del motor (autor)	77
Tabla 37. Selección del motor (autor)	77
Tabla 38. Criterios de selección para los inversores (autor).....	78
Tabla 39. Distribución de puntos para la selección del inversor (autor).....	79
Tabla 40. Selección del inversor (autor).....	80
Tabla 41. Características para la selección del material del chasis (autor)	86
Tabla 42. Criterios de selección para el material del chasis (autor)	87
Tabla 43. Distribución de puntos para la selección del material del chasis (autor)	87
Tabla 44. Selección del material para el chasis (autor)	88
Tabla 45. Características para la selección del material de la carrocería (autor)	89
Tabla 46. Criterios de selección para el material de la carrocería (autor).....	89
Tabla 47. Distribución de puntos para la selección del material de la carrocería (autor) ..	90
Tabla 48. Distribución de puntos para la selección del material de la carrocería (autor) ..	91
Tabla 49. Criterios de selección para el método de SLAM (autor)	104
Tabla 50. Distribución de puntos para los criterios de selección del método de SLAM (autor)	105
Tabla 51. Selección del método SLAM (autor)	105
Tabla 52. Resultados de las pruebas a las bacterias (autor).....	134



LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1. Ecuación base para la trilateración.....	106
Ecuación 2. Fórmula para calcular el VAN.....	141



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
 Pamplona - Norte de Santander - Colombia
 Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



INTRODUCCIÓN

El aumento en la demanda de la robótica móvil para fines comerciales ha ido en aumento en los últimos años, en áreas como transporte de cargas, búsqueda y rescate, aplicaciones militares, entre muchas otras. En todas estas aplicaciones resalta la dificultad o imposibilidad de intervención humana, por lo cual es cada vez más necesario alcanzar nuevos niveles de autonomía en los vehículos, donde los robots puedan ubicarse dentro del entorno en el que se encuentran y tomar acción frente a ello. El SLAM se considera una de las mayores soluciones frente a alcanzar la verdadera autonomía en robots móviles, ya que este aborda la obtención de un mapa espacial del entorno a la vez que localiza al robot en relación con dicho mapa.



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente el sistema de esterilización UV-C es un dispositivo estático el cuál realiza la desinfección en una habitación a través de luz ultravioleta, este dispositivo presenta la limitante de no poder realizar una desinfección más completa y óptima debido a que no puede llegar a irradiar la mayoría de las superficies presentes en la habitación, esto a causa de que al ser un dispositivo estático la zona de irradiación se encuentra limitada, en cuanto a distancia como al área a cubrir. A pesar de que el método de esterilización con lámparas UV-C es efectivo, este no debe ser usado por personas, ya que provoca efectos dañinos como quemaduras en la piel, por lo tanto, es necesario que la desinfección por lámparas UV-C se realice de forma autónoma, con seguridad y sin la intervención humana.

El presente proyecto supone la primera etapa de un dispositivo totalmente autónomo con capacidad de mapear y generar trayectorias óptimas para la desinfección de un ambiente. En esta primera etapa del proyecto se abordará la etapa de SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) que implica la realización de un mapa a partir de la elaboración de un sistema de movilidad autónomo en el robot, sin la realización de un análisis de dicho mapa para trazar rutas a seguir ya que esto sería la segunda etapa de este.



JUSTIFICACIÓN

El dispositivo de esterilización UV-C cumple la función de esterilización para espacios cerrados libres de personas y animales, abordando un método de desinfección por luz ultravioleta, donde se ha comprobado que la luz UV-C es capaz de realizar una desinfección del 99% del COVID-19 con una correcta exposición, de una forma eficiente y abarcando mayor área a diferencia de una desinfección manual con productos químicos¹. Para ello, es necesario que el dispositivo cuente con un sistema de movilidad autónoma embebido con el que pueda brindar una mejor exposición a la superficie de los objetos presentes en una habitación realizando un recorrido por la misma sin la intervención humana.

¹ Otálora, D. (2020). *Desarrollo de un Sistema de Monitoreo y Planificación de Procesos de Desinfección para Ambientes COVID-19* Estudiante David Camilo Otálora Riaño Trabajo Dirigido Tutor Prof. Dr. Carlos Andrés Cifuentes García Cotutor Prof. Dra. Marcela Cristina Múnera. https://repository.urosario.edu.co/bitstream/handle/10336/30709/TD_Trabajo_OtaloraDavid_Final.pdf?sequence=1&isAllowed=y



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



DELIMITACIÓN

1.1 OBJETIVO GENERAL

- Desarrollar un sistema de navegación autónoma para el dispositivo de esterilización de espacios por radiación UV-C.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar un estudio del estado del arte de las técnicas de SLAM (localización y modelado simultáneos) y dispositivos autónomos.
- Establecer los requerimientos de diseño y selección de: sensores, actuadores a controlar y dispositivo controlador.
- Diseñar el sistema mecánico y electrónico de movilidad autónoma para el sistema de esterilización UV-C.
- Construir el sistema mecánico y electrónico de movilidad autónoma para el sistema de esterilización UV-C.
- Diseñar el sistema de SLAM para la navegación del sistema de esterilización UV-C.
- Implementar el sistema de SLAM para la navegación del sistema de esterilización UV-C.
- Validar el funcionamiento del sistema de movilidad autónoma para el sistema de esterilización UV-C.



1.3 ACOTACIONES

- Los sensores, actuadores y dispositivo controlador a emplear se encuentran condicionados a la disponibilidad de estos en Tecno parque Nodo Cúcuta.
- El sistema de movimiento autónomo se desarrollará para espacios estáticos cerrados.
- El sistema de movimiento autónomo contará con una trayectoria preestablecida a ejecutar y usará el SLAM para la realización del mapeado.
- No se analizará el mapa obtenido para generar la trazabilidad de trayectorias.



2. MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE

2.1 MARCO TEÓRICO

2.1.1 Robótica móvil

Los robots móviles se han desarrollado gracias a la necesidad que se ha presentado de contar con vehículos capaces de trabajar en diferentes ambientes. Con lo que estos dispositivos sean capaces de realizar movimientos precisos de acuerdo a la información que va extrayendo del exterior mediante su sensórica que va mostrando en tiempo real el estado del robot. Un robot móvil puede ser definido como una entidad computacional con la capacidad de realizar movimientos, que contiene sensores que le permiten obtener el estado de su entorno y actuadores que trabajan en función de la información de la sensórica².

Las aplicaciones de los robots móviles cubren una amplia variedad de campos como los trabajos subterráneos (minería, construcción de túneles), tareas submarinas (inspección de oleoductos, mediciones), trabajos espaciales, aplicaciones militares, y en todas estas aplicaciones la justificación de la problemática es la dificultad o la imposibilidad de la intervención humana³.

² Guarnizo, J., Bautista, D., & Sierra, S. (2021). Una Revisión Sobre la Evolución de la Robótica Móvil. *Universidad Santo Tomás*, 1–8. <https://doi.org/10.15332/dt.inv.2021.02848>

³ Calderón, S., & López, J. (2018). Robotica móvil. *Jóvenes En La Ciencia*, 4(1), 1–5. <https://www.jovenesenlaciencia.ugto.mx/index.php/jovenesenlaciencia/article/view/2837/2090>

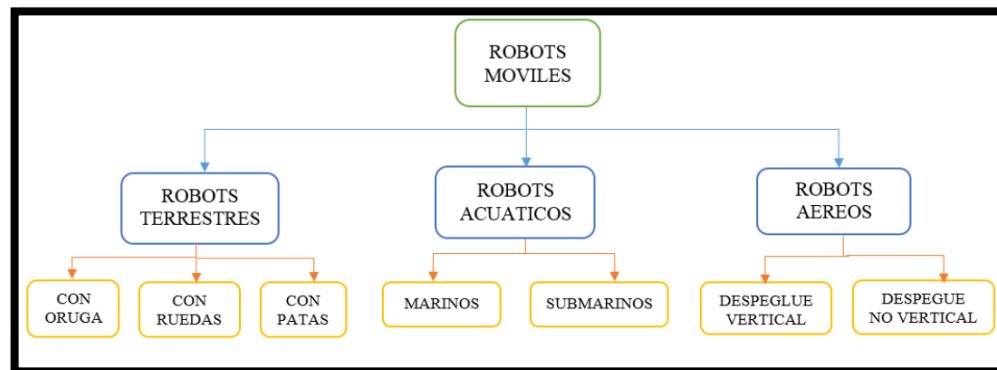


Figura 1. Clasificación de los robots móviles según su locomoción⁴

Otro enfoque sobre la clasificación de los robots móviles se da sobre la forma en la que estos se guían sobre el ambiente, abarcando así los robots guiados y no guiados. Estos primeros cuentan con una programación que los hace seguir una ruta establecida, como ejemplo de ello algunos se guían por marcaciones en el suelo como ruta trazada que determina el camino en el cual se desplazará el robot. Por otro lado, los no guiados son aquellos que no siguen una ruta preestablecida de movimiento y su desplazamiento lo realizan a partir de la información que captan de su entorno⁵.

2.1.2 SLAM

El SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) proporciona una función para muchas aplicaciones que necesitan un sistema de navegación autónomo en tiempo real, como robótica, vehículos aéreos no tripulados, conducción autónoma. En los últimos años la técnica SLAM ha ido desarrollándose rápidamente y se ha propuesto una gran variedad de sistemas SLAM de los que hablaremos más adelante.

Las técnicas de SLAM construyen un mapa del entorno desconocido en el que se

⁴ Forero, L., & Garzón, L. (2018). *Diseño e implementación de un sistema de visión artificial usando una técnica de mapeo y localización simultánea (SLAM) sobre una plataforma robótica móvil*. Universidad de Pamplona. Disponible en Internet: <<https://www.fesc.edu.co/Revistas/OJS/index.php/mundofesc/article/view/288>>.

⁵ GIL PÉREZ, Angel Eduardo. Robótica móvil: Qué es y sus aplicaciones. openwebinars [página web]. (6, julio, 2022). [Consultado el 17, octubre, 2022]. Disponible en Internet: <<https://openwebinars.net/blog/robotica-movil-que-es-y-sus-aplicaciones/>>.



encuentra operando⁶.

El SLAM es significativamente más difícil que todos los problemas de robótica discutidos hasta ahora, es más difícil la localización cuando el mapa es desconocido y tiene que ir siendo estimado a lo largo del camino.

Hay dos formas principales del problema SLAM viéndolo desde una perspectiva probabilística una de ellas es conocida como SLAM en línea, pero la principal problemática de esta es que implica que hay que estimar la postura anterior con la momentánea junto con la del mapa, es decir que solo implica la estimación que persiste en ese instante de tiempo; y el segundo problema se le denomina SLAM completo esta lo que implica es calcular una posición posterior sobre todo el camino junto con el mapa en lugar que solo la posición actual⁷.

De las primeras soluciones que aparecieron para la problemática SLAM fue EKF-SLAM (Extended Kalman Filter-SLAM) que esta solución está basada en el uso de filtros de Kalman extendidos para poder estimar los landmarks y la posición de robot, esta técnica de SLAM utiliza modelos lineales para poder definir movimientos no lineales⁸.

En la figura 2 se observa el esquemático general del funcionamiento del algoritmo SLAM.

⁶ Zhao, Y., Xu, S., Bu, S., Hongkai, J., & Pengcheng, H. (2019). GSLAM: A General SLAM Framework and Benchmark. *IEEE/CVF International Conference on Computer Vision (ICCV)*, 1110–1120. <https://doi.org/10.1109/ICCV.2019.00120>

⁷ Thrun, S. (2002). Probabilistic robotics. *Communications of the ACM*, 45(3), 52–57. <https://doi.org/10.1145/504729.504754>

⁸ Romero, M., & Cazorla, M. (2009). COMPARATIVA DE DETECTORES DE CARACTERÍSTICAS VISUALES Y SU APLICACIÓN AL SLAM. *Workshop de Agentes Físicos*, 55–62. https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/23389/1/2009_Romero_Cazorla_Workshop_Agentes_Fisicos_Caceres.pdf

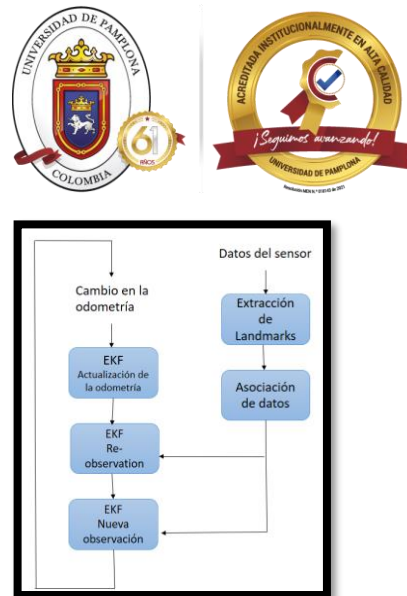


Figura 2. Esquema del algoritmo SLAM⁹

Veremos las diferentes técnicas de SLAM con los dos tipos de mapeo, RTAB-Map y RGB-D SLAM en donde se emplean mapas densos¹⁰.

2.1.3 HECTOR SLAM

Tiene una implementación open source de la técnica SLAM 2D y se suele usar como base para la mayoría de los algoritmos de SLAM 3D.

El sensor que se usa para esta técnica es uno láser, aunque se puede usar el Kinect ya que como este genera una nube de puntos se puede obtener datos muy similares a los que adquiridos por un sensor láser.

Para el tratamiento de la nube de puntos se puede hacer a través de librerías de ROS¹¹.

⁹ Lopez Torres, P. (2016). *Análisis De Algoritmos Para Localización Y Mapeado Simultáneo De Objetos* [Universidad de Sevilla]. <https://idus.us.es/xmlui/handle/11441/54393>

¹⁰ Ibíd., p.17.

¹¹ Ibíd., p.18.



Figura 3. Nube de puntos generada por el Kinect en barrido láser¹²

2.1.4 RTAB-MAP (REAL-TIME APPEARANCE BASED MAPPING)

Esta técnica lo que pretende es ser capaz de poder realizar SLAM en tiempo real, aunque el recorrido del robot móvil sea demasiado extenso. Esta técnica tiene la capacidad de detectar bucles cerrados en la navegación del robot a partir de la información que le proporciona las imágenes de la cámara que compone su visión artificial.

Las posibles salidas que proporciona son un mapa de cuadrículas en 2D, un mapa de cuadrícula en 3D o una nube de puntos en 3D¹³.

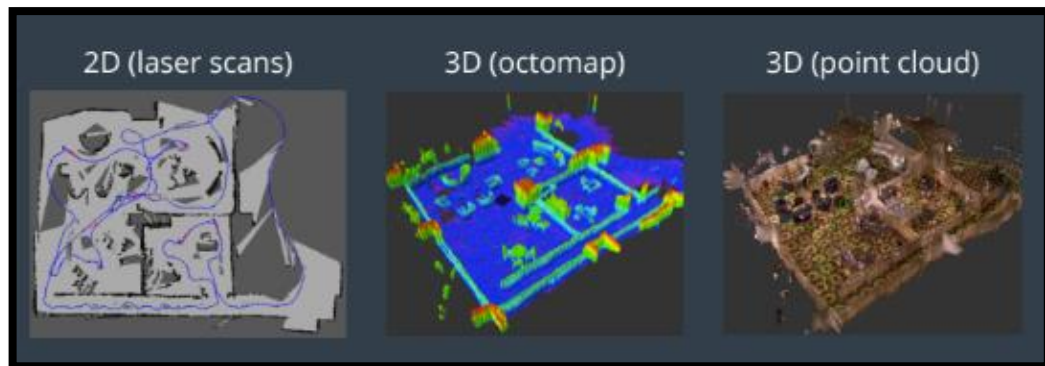


Figura 4. Posibles salidas de RTAB-Map¹⁴

¹² Ibíd., p.18.

¹³ Ibíd., p.20.

¹⁴ Chandrachary, S. (2021). *Introduction to 3D SLAM with RTAB-Map*. Shivachandrachary.Medium.Com. <https://shivachandrachary.medium.com/introduction-to-3d-slam-with-rtab-map-8df39da2d293>



2.1.5 ORB-SLAM

Esta técnica trata de un algoritmo de SLAM monocular basado en reconocimiento de características, con la capacidad de poder operar en tiempo real tanto como exteriores como en interiores sin importar el tamaño del entorno. Esta técnica tiene como idea principal para la generación de mapas empleando las mismas características para todas las tareas del SLAM: seguimiento, creación del mapa, localización y detección de bucles cerrados.

El ORB se usa para optimizar los mapas y las trayectorias que se calculan cuando se detecta un bucle cerrado, actualmente se puede conseguir muy buenos resultados sin que gastar tantos recursos computacionales¹⁵.

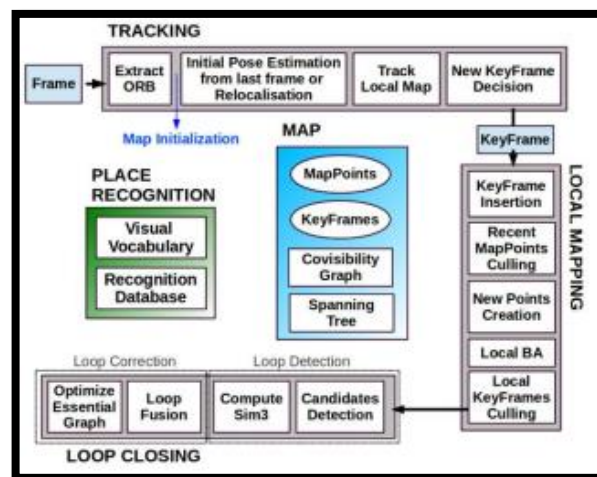


Figura 5. Módulos del algoritmo ORB-SLAM¹⁶

2.1.6 LSD-SLAM (LARGE SCALE DIRECT MONOCULAR SLAM)

Esta técnica permite la construcción de mapas a una gran escala, esta no utiliza features opera sobre los contrastes de las imágenes tanto para la localización como para el mapeo. Para la geometría de los mapas se emplean filtros en las imágenes que se adquieren en una escala de grises.

¹⁵ Lopez Torres, op. cit, p.28.

¹⁶ Ibíd., p.19.

El algoritmo esta dividido en 3 grades bloques: Tracking (seguimiento), Depth map estimation (mapa de estimacion de intensidad) y Map Optimization (optimizacion del mapa)¹⁷.

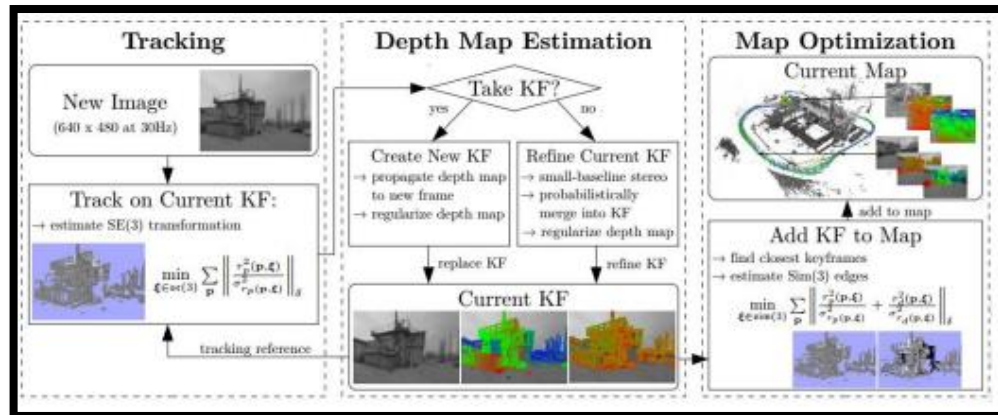


Figura 6. Algoritmo LSD-SLAM¹⁸

2.1.7 RGB-D SLAM

Se emplean las imágenes en color y de profundidad de las camaras RGB-D, es uno de los algoritmos mas fiables.

Algoritmo se desarrolla en 4 fases:

- Obtencion de los features y landmarks de la información que proporciona la camara RGB-D.
- Comparación de los features con el algoritmo RANSAC para estimación de la transformación relativa.
- Optimización del grafo global.

En la figura 7 observamos que el algoritmo divide la estimación de la trayectoria en “front-end” y “back-end”, el primero de lo que se encarga es e extraer la información de las imágenes y establecer las correspondencia y la segunda se encarga de la formación del grafo de posición y optimizarlo¹⁹.

¹⁷ Ibid., p.35.

¹⁸ Ibid., p.36.

¹⁹ Ibid., p.39.

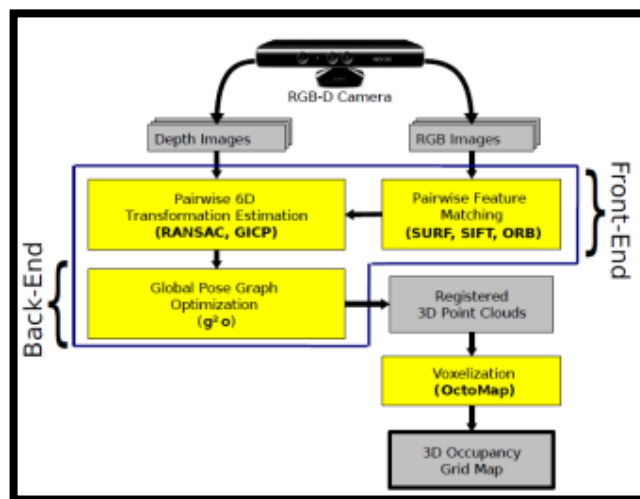


Figura 7. Esquema del algoritmo RGB-D SLAM²⁰

2.1.8 Sistema de localización en interiores

Con un sistema de localización en interiores se busca conocer la ubicación de un dispositivo dentro de un espacio cerrado, para estas ocasiones un dispositivo GPS no funcionaría debido a que bien diseñado tendría una precisión horizontal de 3m y vertical de 5m en un 95% del tiempo²¹.

Jorge Vinicio Guevara en el trabajo de grado agrega esta información “En espacios cerrados se considera que la comunicación tendrá algunas modificaciones, ya que las señales serán modificadas o interrumpidas por distintos objetos como paredes, puertas, ventanas etc., también pueden afectar otras redes que trabajen a la misma frecuencia que pueden afectar la función de localización.”²² Entre los sistemas de localización en interiores encontramos:

²⁰ Ibíd., p.40.

²¹ GABRI. La precisión del GPS ¿cómo funciona y cuáles son sus errores? ArcGeek [página web]. (18, mayo, 2018). [Consultado el 14, octubre, 2022]. Disponible en Internet: <<https://acolita.com/la-precision-del-gps-como-functiona-y-que-son-sus-errores/#:~:text=Un%20receptor%20GPS%20bien%20dise%F0%20mejor%20el%2095%20del%20tiempo.>>>.

²² GUEVARA, Jorge Vinicio. “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE TRIANGULACIÓN POR RADIO FRECUENCIA (RF) EN ESPACIOS CERRADO PARA EL MONITOREO Y ALERTA DE ADULTOS MAYORES A TRAVÉZ



2.1.9 Infrarrojos

Son sensores compuestos por un emisor y un receptor de infrarrojo, calcula la distancia conociendo la velocidad a la que viaja la luz y el tiempo que tarda en llegar la señal una vez enviada, la limitación de estos sensores va ligada a que no pueden atravesar objetos como podemos observar en la Figura 8

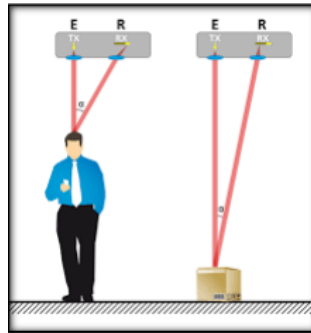


Figura 8. Infrarrojo²³

2.1.10 Ultrasónicos

Los ultrasónicos son sensores que miden la distancia con el principio de rebote de ondas ultrasónicas las cuales son enviadas por un emisor que una vez rebota con una superficie retorna al receptor y miden la distancia que hay con la superficie contando con el tiempo que tardo entre emisión y recepción como se muestra en la figura 9.

DE UNA RED DE SENSORES INALÁMBRICOS [en línea]. Trabajo de Graduación. Riobamba: UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO, 2018 [consultado el 14, octubre, 2022]. 95 p. Disponible en Internet: <<http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/4587/1/UNACH-EC-ING-ELE-TEL-2018-0002.pdf>>.

²³ GUEVARA, Jorge Vinicio. “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE TRIANGULACIÓN POR RADIO FRECUENCIA (RF) EN ESPACIOS CERRADO PARA EL MONITOREO Y ALERTA DE ADULTOS MAYORES A TRAVÉZ DE UNA RED DE SENSORES INALÁMBRICOS [en línea]. Trabajo de Graduación. Riobamba: UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO, 2018 [consultado el 14, octubre, 2022]. 95 p. Disponible en Internet: <<http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/4587/1/UNACH-EC-ING-ELE-TEL-2018-0002.pdf>>.



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co

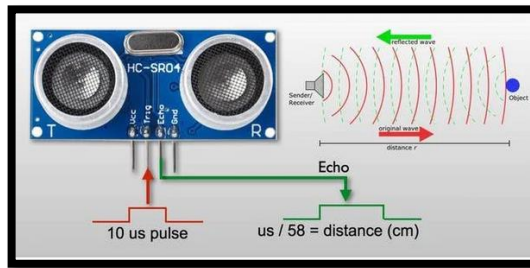


Figura 9. Funcionamiento del sensor ultrasónico²⁴

2.1.11 RFID

Un sistema RFID (identificación por radio frecuencia) esta basado en un lector y en un tag, que mediante datos transmitidos por el tag y recibidos por el lector pueden usarse para dar información como la localización del tag.

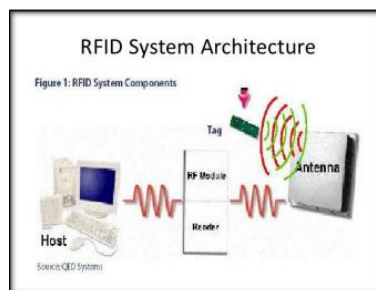


Figura 10. Sistema RFID²⁵

2.1.12 Bluetooth

Es una comunicación inalámbrica la cual tiene la limitación de potencia y tamaño, aunque tiene una ventaja y es que varios dispositivos ya vienen incorporados con esta tecnología y pueden ser conectados entre sí.

²⁴ EMPEZANDO CON Arduino - 3C: Sensor Ultrasónico HC-SR04 [Anónimo]. techmake [página web]. (12, mayo, 2020). [Consultado el 14, octubre, 2022]. Disponible en Internet: <<https://techmake.com/blogs/tutoriales/empezando-con-arduino-3c-sensor-ultrasonico-hc-sr04>>.

²⁵ GUEVARA, Jorge Vinicio. "DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE TRIANGULACIÓN POR RADIO FRECUENCIA (RF) EN ESPACIOS CERRADO PARA EL MONITOREO Y ALERTA DE ADULTOS MAYORES A TRAVÉZ DE UNA RED DE SENSORES INALÁMBRICOS [en línea]. Trabajo de Graduación. Riobamba: UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO, 2018 [consultado el 14, octubre, 2022]. 95 p. Disponible en Internet: <<http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/4587/1/UNACH-EC-ING-ELE-TEL-2018-0002.pdf>>.



Figura 11. Comunicación Bluetooth²⁶

2.1.13 UWB (Ultra Wideband)

Es una tecnología de comunicación entre dispositivos que tiene una funcionalidad muy similar a la del wifi o bluetooth, ha sido usado hace décadas para ciertos ámbitos profesionales e industriales ya que permite una localización espacial precisa permitiendo así conocer la distancia que hay entre estos dispositivos²⁷.

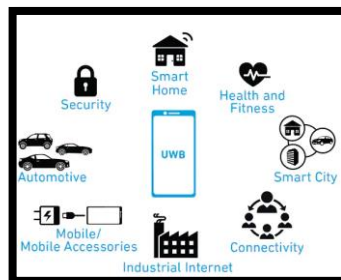


Figura 12. Usos de UWB²⁸

²⁶ FERNÁNDEZ, Yúbal. Bluetooth: diferencias y características de sus clases y versiones. Xataka - Tecnología y gadgets, móviles, informática, electrónica [página web]. (21, abril, 2020). [Consultado el 15, octubre, 2022]. Disponible en Internet: <<https://www.xataka.com/basics/bluetooth-diferencias-caracteristicas-sus-clases-versiones>>.

²⁷ ULTRA WIDEBAND: la nueva tecnología por la que apuestan Apple y Samsung [Anónimo]. Blogthinkbig.com [página web]. [Consultado el 15, octubre, 2022]. Disponible en Internet: <<https://blogthinkbig.com/ultra-wideband>>.

²⁸ QORVO ULTRA-WIDEBAND (UWB) Technology [Anónimo]. Mouser Electronics [página web]. (13, agosto, 2020). [Consultado el 15, octubre, 2022]. Disponible en Internet: <<https://co.mouser.com/new/qorvo/qorvo-uwband-technology/>>.



2.2 ESTADO DEL ARTE

2.2.1 DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE ROBOT MÓVIL AUTÓNOMO DE DESINFECCIÓN PARA NAVEGACIÓN SOCIAL EN ENTORNOS CERRADOS Y DINÁMICOS

Autor: Steven Alexander Silva Mendoza.

Año de publicación: 2021.

Se aborda un método de desinfección a partir de la implementación de un robot autónomo móvil de desinfección por luz UV-C, a partir del uso de sensores como lidar y cámara de profundidad empleándolos para la captación del espacio desarrollando acciones de SLAM, además del uso de distintos algoritmos de navegación con el fin de brindar de autonomía al robot, logrando de esta manera una desinfección de espacios sin supervisión humana²⁹.

2.2.2 NAVEGACIÓN AUTÓNOMA DE UN ROBOT MÓVIL OMNIDIRECCIONAL EN TRAYECTORIAS PREDETERMINADAS CON EVITACIÓN DE OBSTÁCULOS

Autor: Santiago Álvarez T.

Año de publicación: 2019.

En la presente tesis de maestría se desarrolló un robot tipo omnidireccional con control autónomo, a partir de un estudio mecánico el cual permitió definir el diseño del mismo y un control interno como compensación a la dinámica del sistema y un control basado en el modelo cinemático para alcanzar la autonomía del robot y el desplazamiento por un perfil predefinido. Seleccionando como sensor para eludir obstáculos un dispositivo laser el cual permite la obtención de la información

²⁹ Silva, S. (2021). DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE ROBOT MÓVIL AUTÓNOMO DE DESINFECCIÓN PARA NAVEGACIÓN SOCIAL EN ENTORNOS CERRADOS Y DINÁMICOS. ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL.



necesaria del entorno en el que se encuentra el robot. Validando el modelo cinemático de este a partir de la observación del comportamiento del robot y la tendencia a cero de los errores³⁰.

2.2.3 DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE ROBOT FRIEGASUELOS AUTOMÁTICO (CLEANERBOT)

Autor: Jorge Otal Fernández.

Año de publicación: 2015.

El objetivo de la presente tesis es el diseño de un robot de limpieza automático con capacidad de aspirar y fregar el suelo siguiendo una metodología de diseño en V. Primeramente desarrollando una investigación sobre trabajos relacionados con el proyecto a realizar y seleccionando el mejor método para llevar a cabo la limpieza del suelo, así como la tracción del mismo y los diagramas de alto y bajo nivel junto con el diagrama de actividad el cuál aporta una estructura a seguir para la programación del robot, seguidamente de los cálculos respectivos para la movilidad del mismo así como para la correcta ejecución del proceso de limpieza y por último el proceso de ensamblaje y la realización de pruebas para determinar el nivel de cumplimiento del objetivo propuesto³¹.

³⁰ Álvarez, S. (2019). Navegación Autónoma De Un Robot Móvil Omnidireccional En Trayectorias Predeterminadas Con Evitación De Obstáculos.

³¹ OTAL FERNÁNDEZ, Jorge. DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE ROBOT FRIEGASUELOS AUTOMÁTICO (CLEANERBOT) [en línea]. ZARAGOZA: ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA DE LA ALMUNIA DE DOÑA GODINA (ZARAGOZA), 2015 [consultado el 23, septiembre, 2022]. 162 p. Disponible en Internet: <<https://core.ac.uk/download/pdf/289980762.pdf>>.



2.2.4 DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE VISIÓN ARTIFICIAL USANDO UNA TÉCNICA DE MAPEO Y LOCALIZACIÓN SIMULTÁNEA (SLAM) SOBRE UNA PLATAFORMA ROBÓTICA MÓVIL

Autor: Luis Alberto Forero Rincón, Luz Karime Garzon Obregón.

Año de publicación: 2018.

El objetivo de esta tesis es la aplicación de la técnica LSD-SLAM sobre una plataforma robótica móvil, a partir del uso de una cámara como sensor usado para la obtención de un mapa 3D del entorno se elabora un sistema de visión artificial que permite el desarrollo de una técnica avanzada de mapping con base a la percepción recibida por la visión artificial³².

2.2.5 Trilateration-Based Localization in Known Environments with Object Detection

Autor: Valeria M. Salas Pacheco

Año de publicación: 2021

En la tesis se presenta una combinación entre algunas técnicas de localización basadas en imágenes con una cámara y el principio de la trilateración para conocer la posición en un entorno cerrado conocido, la cámara se encarga de detectar objetos previamente ubicados de los cuales se conoce su tamaño y coordenadas en el ambiente, así como también se conoce las coordenadas de todo el ambiente estos parámetros son calculados con un algoritmo de detección de distancia que previamente calibran³³.

³² Forero, L., & Garzon, L. (2018). Diseño e implementación de un sistema de visión artificial usando una técnica de mapeo y localización simultánea (SLAM) sobre una plataforma robótica móvil. Universidad de Pamplona.

³³ SALAS PACHECO, Valeria M. Trilateration-Based Localization in Known Environments with Object Detection. Tesis de maestría. Florida: University of South Florida, 2021. 47 p.



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



2.2.6 DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE TRIANGULACIÓN POR RADIO FRECUENCIA (RF) EN ESPACIOS CERRADO PARA EL MONITOREO Y ALERTA DE ADULTOS MAYORES A TRAVÉZ DE UNA RED DE SENSORES INALÁMBRICOS

Autor: Jorge Vinicio Guevara Chariguamán

Año: 2018

El objetivo de esta tesis es realizar un sistema de localización mediante módulos Radino de radio frecuencia a los cuales les aplicaran el método de triangulación con la ayuda de tres módulos fijos llamados anclas y un módulo móvil llamado tag que permitirán conocer la posición con una diferencia de distancias $\pm 10\text{cm}$ del punto real, esto será procesado con ayuda del software Matlab y este mostrara la posición en una interfaz gráfica³⁴.

2.2.7 Estudio del módulo DWM1001 de Decawave para la medida de rangos en UWB

Autor: Pablo Amores Cuenca

Año: 2021

En la presente tesis se expone un nuevo dispositivo para el posicionamiento en tiempo real para interiores, el DWM1001, donde se analizará su funcionamiento y pondrán a prueba sus diversas características con el fin de conocer su fiabilidad en aplicaciones en Sistemas de Localización en Tiempo Real (RTLS)³⁵.

³⁴ GUEVARA, Jorge Vinicio. "DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE TRIANGULACIÓN POR RADIO FRECUENCIA (RF) EN ESPACIOS CERRADO PARA EL MONITOREO Y ALERTA DE ADULTOS MAYORES A TRAVÉZ DE UNA RED DE SENSORES INALÁMBRICOS [en línea]. Trabajo de Graduación. Riobamba: UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO, 2018 [consultado el 14, octubre, 2022]. 95 p. Disponible en Internet: <<http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/4587/1/UNACH-EC-ING-ELE-TEL-2018-0002.pdf>>.

³⁵ AMORES CUENCA, Pablo. Estudio del módulo DWM1001 de Decawave para la medida de rangos en UWB [en línea]. Trabajo Fin de Grado. [s.l.]: Universidad de Alcalá Escuela Politécnica Superior, 2021 [consultado el 5, octubre, 2022]. 217 p. Disponible en Internet: <https://ebuah.uah.es/dspace/bitstream/handle/10017/49069/TFG_%20Amores_Cuenca_2021.pdf>.



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



2.2.8 UTVECKLING AV KOMBINERAD DATAKOMMUNIKATION OCH TWO WAY RANGING FÖR IEEE 802.15.4 ULTRAWIDEBANDSYSTEM

En el proyecto de grado presente se tiene como objetivo conocer el rendimiento en el que se puede llevar a cabo la localización y el posicionamiento en conjunto con la comunicación de datos inalámbrica entre dos nodos, a través del uso de UWB y un proceso iterativo para la construcción de un sistema que permita resolver el posicionamiento combinado con la comunicación de datos³⁶.

³⁶ Westermarck, A. y Pantzar, D. (2019). UTVECKLING AV KOMBINERAD DATAKOMMUNIKATION OCH TWO WAY RANGING FÖR IEEE 802.15.4 ULTRAWIDEBANDSYSTEM [Student thesis, Mälardalens högskola, Akademin för innovation, design och teknik]. <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:mdh:diva-44035>



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



3. ESTABLECER LOS REQUERIMIENTOS DE DISEÑO Y SELECCIÓN DE: SENSORES, ACTUADORES A CONTROLAR Y DISPOSITIVO CONTROLADOR

En el siguiente objetivo se dan a conocer los requerimientos de diseño y de selección para la realización del proyecto teniendo en cuenta la condición de la disponibilidad ofrecida por Tecnoparque Nodo Cúcuta.

3.1 ESTABLECIMIENTO DE LOS CRITERIOS MECÁNICOS Y ELECTRÓNICOS DE LOS SENSORES, ACTUADORES Y DISPOSITIVO CONTROLADOR

3.1.1 Parámetros de diseño del robot

Partimos en el análisis de diseño según los robots móviles terrestres los cuales se clasifican en 3 tipos:

Robots móviles con ruedas: Las ruedas han sido usadas por vehículos para el desplazamiento desde la antigüedad, son sencillas de emplear y controlar, sin embargo, a pesar de que permite el desplazamiento sobre diferentes superficies presenta una gran dificultad en los terrenos irregulares.

Robots móviles con orugas: Este mecanismo de desplazamiento proporciona una mayor tracción frente a las ruedas tradicionales, no obstante, presenta mayores dificultades en cuando al control y velocidad.

Robots móviles con extremidades (patas): La robótica estudia los sistemas biológicos con el fin de hallar en este campo mecanismos para solucionar problemas de ingeniería, en este caso, la locomoción a partir de extremidades, permitiendo de esta forma lograr un desplazamiento en superficies donde no es posible con ruedas u orugas, aunque este tipo de configuraciones presentan una alta complejidad en el diseño y control.



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



N° Criterio	Criterio
1	Dificultad de desplazamiento en una habitación
2	Complejidad en el diseño
3	Complejidad del control

Tabla 1. Criterios de selección según la configuración de locomoción (autor)

Dificultad de desplazamiento en una habitación				
1	2	3	4	5
Muy alta	Alta	Media	Baja	Muy baja
Complejidad en el diseño				
1	2	3	4	5
Muy alta	Alta	Media	Baja	Muy baja
Complejidad del control				
1	2	3	4	5
Muy alta	Alta	Media	Baja	Muy baja

Tabla 2. Distribución de puntos de los criterios de selección según la configuración de locomoción (autor)

Diseño Criterio	Ruedas	Orugas	Extremidades
Dificultad de desplazamiento en una habitación	5 pts.	5 pts.	2 pts.
Complejidad en el diseño	5 pts.	3 pts.	1 pts.
Complejidad del control	5 pts.	4 pts.	1 pts.
Puntaje total	15 pts.	12 pts.	4 pts.

Tabla 3. Matriz de selección de la configuración de locomoción (autor)

A partir de los resultados presentados en la matriz de selección anterior, seleccionamos como configuración de locomoción el robot móvil con ruedas, por sobre las orugas y las extremidades, ya que estas presentan un diseño más simple y permite un desplazamiento adecuado sobre la superficie requerida.

Los robots móviles con ruedas (RMR) se clasifican según la configuración cinemática, la cual se escoge según la aplicación que se requiera. Dichas configuraciones son: Ackerman, triciclo clásico, tracción diferencial, skid steer, tracción síncrona y tracción omnidireccional³⁷.

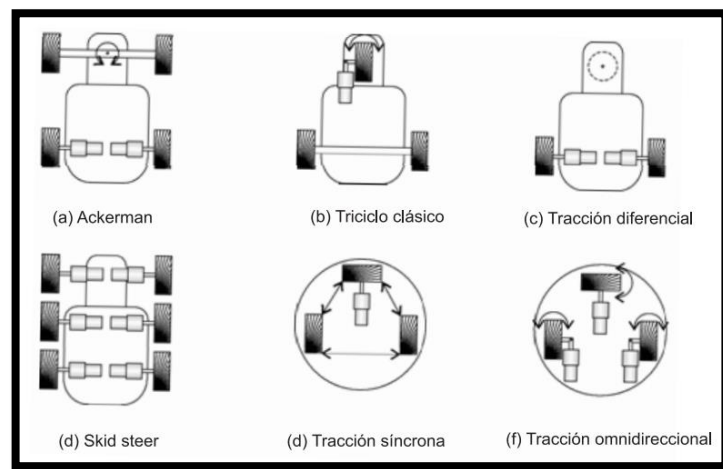


Figura 13. Configuraciones de los RMR³⁸

N° Criterio	Criterio
1	Cantidad de actuadores
2	Complejidad en el diseño
3	Complejidad del control

Tabla 4. Criterios de selección según la configuración cinemática (autor)

³⁷ BARRIENTOS SOTELO, Víctor Ricardo; GARCÍA SÁNCHEZ, José Rafael y SILVA ORTIGOZA, Ramón. Robots Móviles: Evolución y Estado del Arte. En: Polibits [en línea]. 2017. no. 35 [consultado el 3, octubre, 2022], p. 12-17. Disponible en Internet: <<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=402640448003>>. ISSN 1870-9044.

³⁸ Ibíd., p.14.



Cantidad de actuadores				
1	2	3	4	5
Muy alta	Alta	Media	Baja	Muy baja
Complejidad en el diseño				
1	2	3	4	5
Muy alta	Alta	Media	Baja	Muy baja
Complejidad del control				
1	2	3	4	5
Muy alta	Alta	Media	Baja	Muy baja

Tabla 5. Distribución de puntos de los criterios de selección según la configuración cinemática (autor)

Diseño Criterio	Ackerman	Triciclo clásico	Tracción diferencial	Skid steer	Tracción síncrona	tracción omnidireccional
Cantidad de actuadores	4 pts.	5 pts.	5 pts.	1 pts.	5 pts.	3 pts.
Complejidad en el diseño	3 pts.	4 pts.	5 pts.	4 pts.	2 pts.	3 pts.
Complejidad del control	3 pts.	4 pts.	5 pts.	4 pts.	2 pts.	1 pts.
Puntaje total	10 pts.	13 pts.	15 pts.	9 pts.	9 pts.	7 pts.

Tabla 6. Matriz de selección de la configuración cinemática (autor)

Para el establecimiento de criterios de diseño se tienen en cuenta las normativas presentadas a continuación.



NORMA	FECHA	OBJETO	DESCRIPCIÓN
ISO 3691-4	2020	La finalidad de esta norma es la de otorgar medidas que incrementen el nivel de seguridad en vehículos autónomos.	En esta norma se detallan tanto los requerimientos de seguridad como los medios para la comprobación de la misma en lo relacionado a carretillas industriales sin conductor y sus sistemas ³⁹ .
2014/35/UE	2014	Esta directiva de bajo voltaje (LVD) tiene como objetivo regir la seguridad de los productos eléctricos/electrónicos que se encuentren dentro de cierto límite de voltaje.	Se describen ciertos requisitos de seguridad que deben cumplir los equipos eléctricos de uso doméstico y profesional que cuenten una tensión de funcionamiento entre 50 V y 100 V para corriente alterna o 75 V y 1500 V para corriente continua ⁴⁰ .

³⁹ ISO 3691-4:2020(EN) Industrial trucks — Safety requirements and verification — Part 4: Driverless industrial trucks and their systems [Anónimo]. ISO [página web]. (2020). [Consultado el 2, octubre, 2022]. Disponible en Internet: <<https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:3691:-4:ed-1:v1:en>>.

⁴⁰ Low voltage directive (LVD) [Anónimo]. European Commission [página web]. [Consultado el 2, octubre, 2022]. Disponible en Internet: <https://single-market-economy.ec.europa.eu/sectors/electrical-and-electronic-engineering-industries-eei/low-voltage-directive-lvd_en>.



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



2011/65/UE	2011	Prevenir la utilización de algunas sustancias en aparatos eléctricos y electrónicos.	Establece normas en cuanto a restricciones en la utilización de ciertas sustancias peligrosas en aparatos eléctricos y electrónicos, con el fin de reducir la contaminación causada por dichos materiales y, a su vez, reducir los riesgos a la salud que puede provocar la exposición a los mismos ⁴¹ .
NTC 1836:1983	1983	Tiene por objetivo la protección de los ojos en ámbitos de exposición donde se requieran gafas de seguridad con filtros.	Se establecen las características a asignar en los filtros protectores de ojos para la protección en trabajos de soldadura u otros con riesgos similares ⁴² .

⁴¹ DIRECTIVA 2011/65/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 8 de junio de 2011, sobre restricciones a la utilización de determinadas sustancias peligrosas en aparatos eléctricos y electrónicos (versión refundida) Texto pertinente a efectos del EEE [Anónimo]. EUR-Lex Access to European Union law [página web]. (2011). [Consultado el 2, octubre, 2022]. Disponible en Internet: <<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=celex:32011L0065>>.

⁴² HIGIENE Y SEGURIDAD. PROTECTORES INDIVIDUALES DE OJOS PARA SOLDAR. UTILIZACIÓN Y REQUISITOS DE TRANSMITANCIA. [Anónimo]. ICONTEC [página web]. [Consultado el 2, octubre, 2022]. Disponible en Internet: <<https://tienda.icontec.org/gp-higiene-y-seguridad-protectores-individuales-de-ojos-para-soldar-utilizacion-y-requisitos-de-transmitancia-ntc1836-1983.html#:~:text=ESTABLECE%20LA%20DESIGNACION%20Y%20LOS,INDUSTRIALES%20QUE%20PRESENTEN%20RIESGOS%20SIMILARES.>>>.



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



2006/25/CE	2006	La finalidad de la presente directiva es la de establecer normas de seguridad para la protección de los trabajadores por radiaciones ópticas artificiales.	Se establecen disposiciones de protección mínimas para los trabajadores en lo referente posibles riesgos para la salud en ojos y piel derivados de la exposición a radiaciones ópticas artificiales ⁴³ .
------------	------	--	---

Tabla 7. Normograma de referencia (autor)

⁴³ CONSOLIDATED TEXT: Directiva 2006/25/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 5 de abril de 2006 sobre las disposiciones mínimas de seguridad y de salud relativas a la exposición de los trabajadores a riesgos derivados de los agentes físicos (radiaciones ópticas artificiales) (decimonovena Directiva específica con arreglo al artículo 16, apartado 1, de la Directiva 89/391/CEE) [Anónimo]. EUR-Lex Access to European Union law [página web]. (2006). [Consultado el 2, octubre, 2022]. Disponible en Internet: <<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/es/TXT/?uri=CELEX:02006L0025-20140101>>.



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



3.2 SELECCIÓN DE LOS SENSORES, ACTUADORES Y DISPOSITIVO CONTROLADOR

Para la selección de sensores se tuvieron en cuenta los siguientes criterios.

Nº Criterio	Criterio
1	Disponibilidad
2	Costo
3	Precisión frente objetos
4	Rango de medición

Tabla 8. Criterios de selección de los sensores (autor)

La puntuación de los criterios es de acuerdo con la tabla anterior.

Disponibilidad				
1	2	3	4	5
Muy baja	Baja	Media	Alta	Muy alta
Costo				
1	2	3	4	5
Muy Alto	Alto	Medio	Bajo	Muy Bajo
Precisión frente objetos				
1	2	3	4	5
Muy baja	Bajo	Media	Alta	Muy alta
Rango de medición				
1	2	3	4	5
Muy bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy alto

Tabla 9. Distribución de puntos para los criterios de selección (autor)

Los sensores que tendrían la aplicación de medir la distancia entre el robot móvil y los objetos en la habitación para evitar cualquier tipo de colisión a los cuales se les hizo comparativa son.



Sensor ultrasonido (HC-SR04)

Es un sensor compuesto por un emisor y un receptor de como su nombre lo indica ultrasonidos, calcula la distancia enviando un pulso y midiendo el tiempo que tarda en volver dicho pulso⁴⁴.

Sensor Sharp (GP2Y0A21)

Es un sensor óptico que mide la distancia que existe entre él y un objeto, se apoya en un emisor un receptor de infrarrojo que miden la distancia usando triangulación⁴⁵.

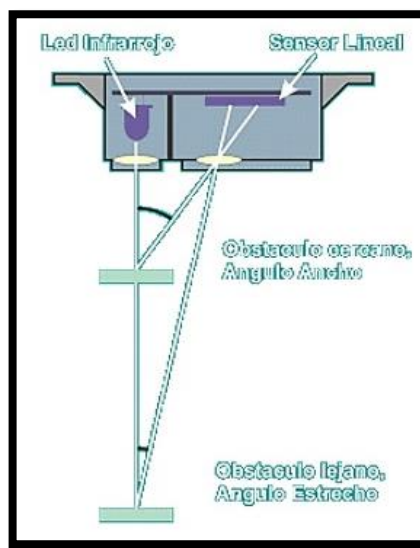


Figura 14. Sensor Sharp⁴⁶

⁴⁴ Tienda | Leantec.ES [página web]. [Consultado el 18, octubre, 2022]. Disponible en Internet: <<https://leantec.es/wp-content/uploads/2019/06/Leantec.ES-HC-SR04.pdf>>.

⁴⁵ TUTORIAL SENSOR de Distancia SHARP [Anónimo]. Naylamp Mechatronics - Perú [página web]. [Consultado el 19, octubre, 2022]. Disponible en Internet: <https://naylampmechatronics.com/blog/55_tutorial-sensor-de-distancia-sharp.html#:~:text=Un%20sensor%20SHARP%20es%20un,miden%20la%20distancia%20usando%20triangulación.>>.

⁴⁶ Ibíd



Seleccionamos el sensor mediante la matriz de la siguiente tabla.

Sensor Criterio	Sensor Ultrasonido	Sensor Sharp
Disponibilidad	5 pts.	4 pts.
Costo	4 pts.	2 pts.
Precisión Frente a objetos	4 pts.	4 pts.
Rango de medición	4 pts.	3 pts.
Total	17 pts.	13 pts.

Tabla 10. Matriz de selección del sensor (autor)

Según los resultados obtenidos por la matriz anterior, se seleccionó como sensor para distancia de los objetos el sensor ultrasonido, debido a presentar mayor rango de medición a un menor costo.

3.2.1 Selección del sensor de posición

Ahora se presentan los criterios de selección para el sensor que ayudara a conocer la posición del robot en el entorno en la tabla siguiente.

Nº Criterio	Criterio
1	Disponibilidad
2	Costo
3	Precisión en la posición
4	Alcance

Tabla 11. Criterios para la selección de los sensores de posición (autor)



La puntuación de los criterios se observa en la siguiente tabla

Disponibilidad				
1	2	3	4	5
Muy baja	Baja	Media	Alta	Muy alta
Costo				
1	2	3	4	5
Muy Alto	Alto	Medio	Bajo	Muy Bajo
Precisión en la posición				
1	2	3	4	5
Muy baja	Bajo	Media	Alta	Muy alta
Alcance				
1	2	3	4	5
Muy bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy alto

Tabla 12. Distribución de puntos para los criterios de selección (autor)

Los sensores para la posición que serán evaluados con los criterios previamente seleccionados son los siguientes

DW1000

Se basa en un transceptor de ultra banda ancha, el cual integra una antena, toda la parte de circuito tanto de RF como la gestión de energía y su circuito de reloj, tiene una precisión de 10cm y admite velocidad de datos de 6,8 Mbps⁴⁷.



Figura 15. DW1000⁴⁸

⁴⁷ DW1000 [Anónimo]. Mouser Electronics [página web]. [Consultado el 19, octubre, 2022]. Disponible en Internet: <<https://co.mouser.com/ProductDetail/Qorvo/DWM1000?qs=TiOZkKH1s2R6b5D6df63Pg==>>.

⁴⁸ Ibíd.



ESP32 UWB

Este módulo está basado en DW1000 actuando como un radar de escaneo continuo, el cual se fija a otro llamado ancla comunicándose entre sí para así calcular su propia ubicación⁴⁹.

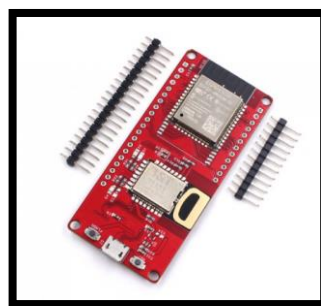


Figura 16. ESP32 UWB⁵⁰

Sensor Criterio	DW1000	ESP32 UWB
Disponibilidad	5 pts.	4 pts.
Costo	4 pts.	2 pts.
Precisión en la posición	4 pts.	4 pts.
Alcance	3 pts.	5 pts.
Total	16 pts.	15 pts.

Tabla 13. Matriz de selección del sensor de posición (autor)

De acuerdo con la tabla anterior el sensor de posición seleccionado ha sido DW1000 que, a pesar de tener menor alcance, es suficiente para los ambientes en los que

⁴⁹ ESP32 UWB(ULTRA Wideband) [Anónimo]. Makerfabs [página web]. [Consultado el 19, octubre, 2022]. Disponible en Internet: <<https://www.makerfabs.com/esp32-uwband-ultra-wideband.html>>.

⁵⁰ Ibíd.



se va a usar haciendo que un menor costo y una disponibilidad ligeramente mayor sean las decisivas para optar por él.

3.2.2 Selección del módulo Rf

Ahora se hará la selección del módulo de Rf para desactivar el robot a distancia con los criterios de la siguiente tabla

N° Criterio	Criterio
1	Disponibilidad
2	Costo
3	Alcance
4	Comportamiento frente a obstáculos
5	Conexión

Tabla 14. Criterios de selección para Módulo RF (autor)

Módulo RF YK04

El módulo RF YK04 es un circuito formado por un circuito integrado decodificador, su funcionamiento consiste en recibir señales desde un control remoto que se puede colocar hasta una distancia de 60 metros (eso dependerá de la antena que se utilice). Una vez se realice todas las conexiones referentes las salidas del receptor YK04 va a estar en un nivel bajo y al presionar cualquier botón en el emisor el nivel se colocará en alto el pin VT que quiere decir transmisión valida el pin corresponde a la letra presionada. Entonces seria D0 para A, D1 para B, D2 Para C y D3 para D. La salida permanecerá en alto mientras se tenga presionado alguno de los botones, mientras no se mantenga presionado ninguno de los botones el nivel será bajo⁵¹.

⁵¹ MÓDULO RF 315MHz receptor YK04 y emisor [Anónimo]. Arca Electrónica [página web]. [Consultado el 19, octubre, 2022]. Disponible en Internet: <<https://www.arcaelectronica.com/blogs/tutoriales/modulo-rf-315mhz-receptor-yk04-y-emisor#:~:text=El%20módulo%20RF%20YK04%20es,dependiendo%20la%20antena%20que%20utilicemos>>.

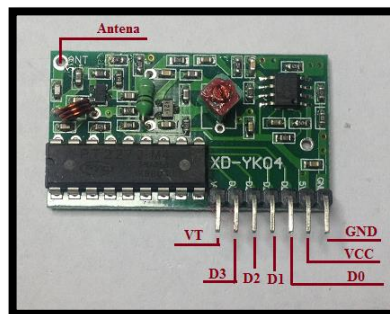


Figura 17. Módulo RF YK04⁵²

Módulo C1101

Este módulo es un transceptor de RF que trabaja en frecuencias menores a 1Ghz, se puede usar junto con Arduino para recibir o enviar datos. El CC1101 trabaja en cualquier frecuencia que estén entre 300 a 348Mhz, 387 a 464Mhz y 779 a 28Mhz.

La potencia de salida para todas las frecuencias puede llegar hasta +10 dBm, su alcance es de 100 a 150 metros según la frecuencia⁵³.

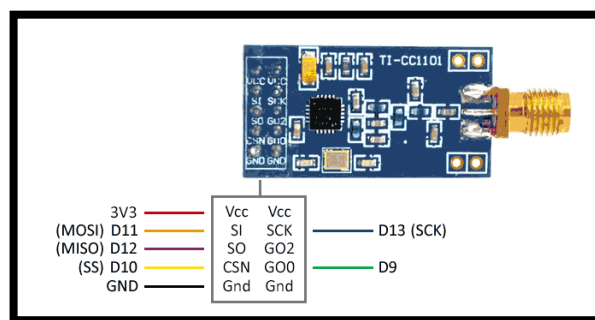


Figura 18. Módulo CC1101⁵⁴

⁵² RADIO_F YK04 [Anónimo]. ROBÓTICA CON ARDUINO [página web]. [Consultado el 19, octubre, 2022]. Disponible en Internet: <<http://arduino123.blogspot.com/p/radiof.html>>.

⁵³ COMUNICACIÓN RF 385, 433 y 815Mhz con Arduino y CC1101 [Anónimo]. Luis Llamas [página web]. [Consultado el 19, octubre, 2022]. Disponible en Internet: <<https://www.luisllamas.es/comunicacion-rf-385-433-y-815mhz-con-arduino-y-cc1101/>>.

⁵⁴ Ibíd.



Disponibilidad				
1	2	3	4	5
Muy baja	Baja	Media	Alta	Muy alta
Costo				
1	2	3	4	5
Muy Alto	Alto	Medio	Bajo	Muy Bajo
Alcance				
1	2	3	4	5
Muy baja	Bajo	Media	Alta	Muy alta
Comportamiento frente a obstáculos				
1	2	3	4	5
Muy bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy alto
Conexión				
1	2	3	4	5
Muy complicada	Complicada	Media	Sencilla	Muy sencilla

Tabla 15. Distribución de puntos para criterios de los módulos de RF (autor)



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



Sensor Criterio	Módulo RF YK04	Módulo CC1101
Disponibilidad	5 pts.	4 pts.
Costo	4 pts.	3 pts.
Alcance	4 pts.	4 pts.
Comportamiento frente a obstáculos	4 pts.	4 pts.
Conexión	4 pts.	3 pts.
Total	21 pts.	18 pts.

Tabla 16. Selección de Módulo RF (autor)

De acuerdo a la tabla anterior se seleccionó el módulo RF YK 04 debido a su simplicidad en la conexión, su disponibilidad en el momento y la diferencia de precios en los que se encontraron.

3.2.3 Selección de la batería

En la siguiente tabla se dan a conocer los criterios de selección para la batería que alimentará al robot

N° Criterio	Criterio
1	Tamaño
2	Peso
3	Vida útil
4	Capacidad de carga
5	Precio

Tabla 17. Criterios de selección para la batería (autor)



La distribución de los puntos para los criterios de selección de la batería se da en la siguiente tabla

Tamaño				
1	2	3	4	5
Muy bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy alto
Peso				
1	2	3	4	5
Muy Alto	Alto	Medio	Bajo	Muy bajo
Vida útil				
1	2	3	4	5
Muy baja	Baja	Media	Alta	Muy alta
Capacidad de carga				
1	2	3	4	5
Muy baja	Baja	Media	Alta	Muy alta
Precio				
1	2	3	4	5
Muy alto	Alto	Medio	Bajo	Muy bajo

Tabla 18. Distribución de puntos para criterios de selección de la batería (autor)

Las baterías que serán evaluadas con los criterios previamente descritos son las siguientes



Batería recargable Netion 12V 18AH/20HR



Figura 19. Batería recargable Netion 12V 18AH/20HR⁵⁵

● Especificaciones		
Voltaje Nominal		12 V
Capacidad Nominal (índice de 10)		18Ah
Dimensiones	Largo	181 ±2mm
	Ancho	77 ±2mm
	Altura	167 ±2mm
	Altura Total	167 ±2mm
Peso Aproximado		5.2kg(11.5lbs)±3%

Figura 20. Especificaciones de la batería recargable Netion 12V 18AH/20HR⁵⁶

⁵⁵ BATERÍA SELLADA 12V 18 AH Netion [Anónimo]. La Red Electrónica – Tiendas Tecnológicas [página web]. [Consultado el 13, octubre, 2022]. Disponible en Internet: <<https://laredelectronica.com/producto/bateria-12v-18-amp/>>.

⁵⁶ Ibíd.



Batería recargable Netion 12V 9AH/20HR



Figura 21. Batería recargable Netion 12V 9AH/20HR

• Especificaciones		
Voltaje Nominal		12 V
Capacidad Nominal (índice de 10)		9Ah
Dimensiones	Largo	151 ±2mm
	Ancho	65 ±2mm
	Altura	94 ±2mm
	Altura Total	100±2mm
Peso Aproximado		2.65kg(5.84lbs)±3%

Figura 22. Especificaciones de la batería recargable Netion 12V 9AH/20HR

Batería	Netion 12V 9AH/20HR	Netion 12V 18AH/20HR
Criterio		
Tamaño	5 pts.	4 pts.
Peso	5 pts.	4 pts.
Vida útil	4 pts.	4 pts.
Capacidad de carga	1 pts.	5 pts.
Precio	5 pts.	4 pts.
Puntaje total	20 pts.	21 pts.

Tabla 19. Selección de la batería (autor)



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



A partir de la tabla anterior seleccionamos la batería Netion 12V 18AH/20HR, la cual nos brindará un mayor tiempo de autonomía para el robot

3.2.4 Selección de las lámparas UV-C

Realizaremos a continuación la selección de las lámparas UV-C para la desinfección, cuyos criterios se pueden apreciar en la siguiente tabla

N° Criterio	Criterio
1	Precio
2	Vida útil
3	Tamaño
4	Radiación UV-C

Tabla 20. Criterios de selección para las lámparas (autor)

La distribución de los puntos para los criterios de selección de las lámparas se da en la siguiente tabla

Precio				
1	2	3	4	5
Muy bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy alto
Vida útil				
1	2	3	4	5
Muy bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy alto
Tamaño				
1	2	3	4	5
Muy bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy alto
Radiación UV-C				
1	2	3	4	5
Muy bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy alto

Tabla 21. Distribución de puntos para criterios de selección de las lámparas (autor)



Las lámparas que serán evaluadas con los criterios previamente descritos son las siguientes

TUV 15W SLV/25



Figura 23. Lámpara TUV 15W SLV/25⁵⁷

Datos del producto			
Funcionamiento de emergencia		Voltaje (nominal)	
Tapa y base	G13 [Medium Bi-Pin Fluorescent]	55 V	
Aplicación principal	Desinfección	Datos técnicos de la luz	
Vida útil (nominal)	9000 h	Información de tapa y base	2 clavijas
Rendimiento inicial (conforme con IEC)		Forma del foco	T26 [T 26 mm]
Código de color	TUV	Aprobación y aplicación	
Designación de color	- [Sin especificar]	Contenido de mercurio (Hg) (nominal)	2.0 mg
Devaluación en la vida útil	12 %	UV	
Mecánicos y de carcasa		UV-C Radiation	4.9 W
Potencia (nominal)	15.5 W		
Corriente de la lámpara (nominal)	0.335 A		

Figura 24. Datos de la lámpara TUV 15W SLV/25⁵⁸

⁵⁷ TUV 15W SLV/25 [Anónimo] [en línea]. TUV_15W_SLV-25. 7, agosto, 2022 [consultado el 15, octubre, 2022]. Disponible en Internet: <https://www.lighting.philips.com.mx/api/assets/v1/file/PhilipsLighting/content/fp928039004005-pss-es_mx/928039004005_NA.es_MX.PROF.FP.pdf>.

⁵⁸ Ibíd., p.1.

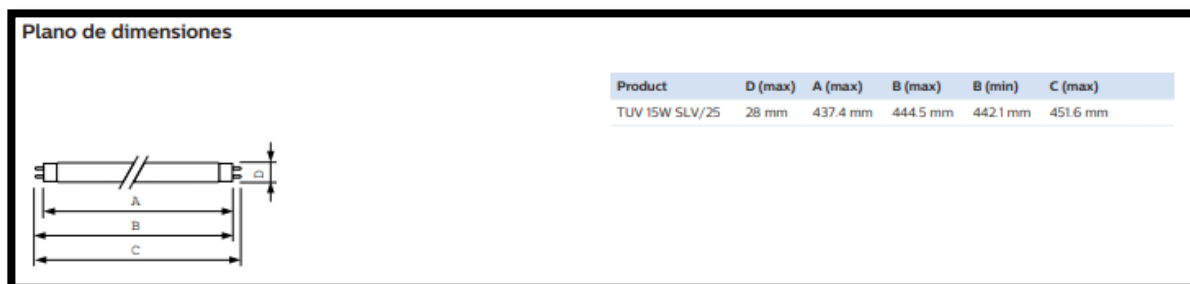


Figura 25. Dimensiones de la lámpara TUV 15W SLV/25⁵⁹

TUV 75W HO 1SL/6



Figura 26. Lámpara TUV 75W HO 1SL/6⁶⁰

⁵⁹ Ibíd., p.2.

⁶⁰ TUV 75W HO 1SL/6 [Anónimo] [en línea]. TUV_75W_HO_1SL-6. 7, agosto, 2022 [consultado el 15, octubre, 2022]. Disponible en Internet: <https://www.lighting.philips.com.mx/api/assets/v1/file/PhilipsLighting/content/fp928049404003-pss-es_mx/928049404003_NA.es_MX.PROF.FP.pdf>.



Datos del producto	
Funcionamiento de emergencia	
Tapa y base	G13 [Medium Bi-Pin Fluorescent]
Aplicación principal	Desinfección
Vida útil (nominal)	9000 h
Rendimiento inicial (conforme con IEC)	
Código de color	TUV
Designación de color	- [Sin especificar]
Devaluación en la vida útil	12 %
Mecánicos y de carcasa	
Potencia (nominal)	75 W
Corriente de la lámpara (nominal)	0.835 A
Datos técnicos de la luz	
Información de tapa y base	2 clavijas
Forma del foco	T26 [T 26 mm]
Aprobación y aplicación	
Contenido de mercurio (Hg) (nominal)	2.0 mg
UV	
UV-C Radiation	25.5 W

Figura 27. Datos de la lámpara TUV 75W HO 1SL/6⁶¹

Plano de dimensiones

Technical drawing of a TUV 75W HO 1SL/6 lamp. The drawing shows the lamp's profile with a break in the middle. Dimension A is the length of the lamp body. Dimension B is the total length including the base. Dimension C is the total length including the base and the mounting bracket. A small detail view of the base is shown on the right, indicating a mounting hole.

Product	D (max)	A (max)	B (max)	B (min)	C (max)
TUV 75W HO 1SL/6	28 mm	1199.4 mm	1206.5 mm	1204.1 mm	1213.6 mm

Figura 28. Dimensiones de la lámpara TUV 75W HO 1SL/6⁶²

⁶¹ Ibíd., p.1.

⁶² Ibíd., p.2.



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



Lámpara \ Criterio	TUV 15W SLV/25	TUV 75W HO 1SL/6
Precio	5 pts.	3 pts.
Vida útil	5 pts.	5 pts.
Tamaño	3 pts.	5 pts.
Radiación UV-C	2 pts.	4 pts.
Puntaje total	15 pts.	17 pts.

Tabla 22. Selección de las lámparas (autor)

3.2.5 Selección dispositivos controladores del SLAM

A continuación, se hará la selección de los dispositivos controladores los cuales están en tres partes: Dispositivo que almacena información será el dispositivo maestro, dispositivo que recopila la información de los sensores y controla los motores en base a ella será un esclavo, dispositivo que se encargará de controlar los sensores de la posición el cual también se encarga de enviar la información de la ubicación del robot al maestro para que sea posible el mapeo.

Criterios de selección del dispositivo maestro en la siguiente tabla.

N° Criterio	Criterio
1	Tamaño
2	Capacidad de procesamiento
3	Conectividad
4	Memoria
5	Puertos

Tabla 23. Criterios de selección Dispositivo Maestro (autor)



Raspberry pi 4

La Raspberry pi es un computador de un tamaño muy reducido el cual soporta distintos componentes tanto de un computador como lo son pantalla, teclado, ratón entre otros y también soporta componentes electrónicos, con un procesador de hasta 1500MHzm, un chip gráfico y una memoria RAM de hasta 8GB. Entre otras muchas funciones también permite conexión por puerto ethernet, wifi y bluetooth⁶³.

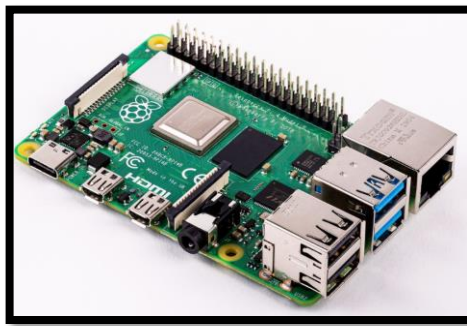


Figura 29. Raspberry pi 4⁶⁴

Arduino Mega

Arduino principalmente es una marca de microcontroladores de tipo open source que tienen una amplia gama de dispositivos con el controlador AtMega, el Arduino mega es uno de los microcontroladores más capaces de esta familia con una velocidad de reloj de 16MHz, una memoria SRAM de 8KB, cuenta con una gran

⁶³ ¿QUÉ ES una Raspberry PI y para qué sirve? - Blog [Anónimo]. Blog [página web]. [Consultado el 20, octubre, 2022]. Disponible en Internet: <<https://es.godaddy.com/blog/que-es-raspberry-pi/#:~:text=Una%20Raspberry%20PI%20es%20un,RAM%20de%20hasta%208%20GB.>>>.

⁶⁴ RUS, Cristian. Raspberry Pi 4 es oficial: una completa actualización con procesador Cortex-A72, hasta 4 GB de RAM y desde 35 dólares. Xataka - Tecnología y gadgets, móviles, informática, electrónica [página web]. (24, junio, 2019). [Consultado el 20, octubre, 2022]. Disponible en Internet: <<https://www.xataka.com/ordenadores/raspberry-pi-4-caracteristicas-precio-ficha-tecnica>>.



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co

cantidad de pines digitales, aunque carece de tener conexiones como wifi o bluetooth se le puede agregar con ciertas shields hechas para ella⁶⁵.

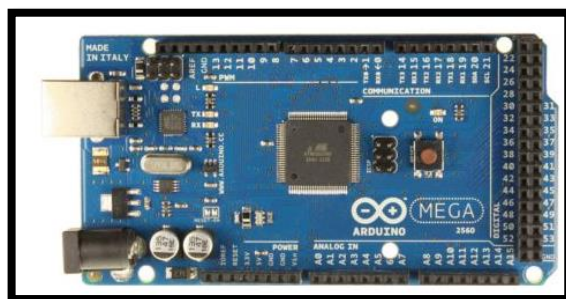


Figura 30. Arduino Mega⁶⁶

La tabla de distribución de puntos es la siguiente.

Tamaño				
1	2	3	4	5
Muy grande	grande	Medio	pequeño	Muy pequeño
Capacidad de procesamiento				
1	2	3	4	5
Muy baja	baja	Media	Alta	Muy alta
Conectividad				
1	2	3	4	5
Muy baja	Baja	Media	Alta	Muy alta
Memoria				
1	2	3	4	5
Muy baja	Baja	Media	Alta	Muy alta
Puertos				

⁶⁵ ARDUINO MEGA: Características, Capacidades y donde conseguirlo en Panamá [Anónimo]. Panama Hitek [página web]. [Consultado el 20, octubre, 2022]. Disponible en Internet: <<https://panamahitek.com/arduino-mega-caracteristicas-capacidades-y-donde-conseguirlo-en-panama/>>.

⁶⁶ Ibíd.



1	2	3	4	5
Muy alto	Alto	Medio	Bajo	Muy bajo

Tabla 24. Distribución de puntos para el dispositivo maestro (autor)

Dispositivo Criterio	Raspberry pi 4	Arduino Mega
Tamaño	4 pts.	3 pts.
Capacidad de procesamiento	5 pts.	3 pts.
Conectividad	5 pts.	3 pts.
Memoria	4 pts.	2 pts.
Puertos	4 pts.	2 pts.
Puntaje total	22 pts.	13 pts.

Tabla 25. Selección del dispositivo maestro (autor)

De acuerdo con la tabla anterior el dispositivo que se encargará de almacenar los datos y realizar el mapa del recorrido será la Raspberry pi.

En la siguiente tabla se presentará los criterios de selección para los dispositivos que van a controlar tanto motores como sensores.

N° Criterio	Criterio
1	Tamaño
2	Capacidad de procesamiento
3	Memoria
4	Cantidad de pines

Tabla 26. Criterios de selección Dispositivo para controlar los sensores (autor)



3.2.6 Selección Dispositivo controlador de los sensores

Arduino Uno

Es una placa basada en el microcontrolador Atmega328P. Tiene 14 pines de entrada y salida digitales los cuales 6 pueden ser usados como PWM, también cuenta con 6 entradas analógicas y un cristal de 16Mhz al igual que el Arduino mega⁶⁷.



Figura 31. Arduino uno⁶⁸

La distribución de los puntos para cada criterio se encuentra en la siguiente tabla

⁶⁷ ARDUINO UNO | Arduino.cl - Compra tu Arduino en Línea [Anónimo]. Arduino.cl - Compra tu Arduino en Línea [página web]. [Consultado el 20, octubre, 2022]. Disponible en Internet: <<https://arduino.cl/arduino-uno/>>.

⁶⁸ Ibíd.



Tamaño				
1	2	3	4	5
Muy grande	grande	Medio	pequeño	Muy pequeño
Capacidad de procesamiento				
1	2	3	4	5
Muy baja	baja	Media	Alta	Muy alta
Memoria				
1	2	3	4	5
Muy baja	Baja	Media	Alta	Muy alta
Cantidad de pines				
1	2	3	4	5
Muy baja	Baja	Media	Alta	Muy alta

Tabla 27. Distribución de puntos de los dispositivos controladores de sensores (autor)

Dispositivo Criterio	Arduino uno	Arduino Mega
Tamaño	4 pts.	3 pts.
Capacidad de procesamiento	3 pts.	4 pts.
Memoria	2 pts.	4 pts.
Cantidad de pines	2 pts.	4 pts.
Puntaje total	11 pts.	15 pts.

Tabla 28. Selección de dispositivo controlador de sensores

Debido a la posible cantidad de sensores y también los pines encargados de controlar los motores se eligió el Arduino mega.

Finalmente haremos la selección del dispositivo encargado de controlar los sensores que enviarán la posición, los criterios se ven en la siguiente tabla



N° Criterio	Criterio
1	Disponibilidad
2	Capacidad de procesamiento
3	Memoria
4	Cantidad de pines

Tabla 29. Criterios de selección para el dispositivo que controla los sensores de posición (autor)

Arduino nano

Este dispositivo posee el microcontrolador ATmega328 que es el mismo que posee el Arduino uno, pero al ser diferentes tipos de encapsulado existen algunas diferencias en la configuración de los pines⁶⁹.

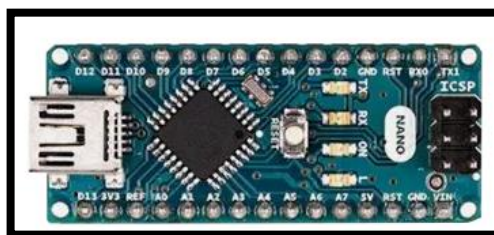


Figura 32. Arduino Nano⁷⁰

⁶⁹ COMPARACIÓN ARDUINO Uno – Arduino Nano | Robots Didácticos [Anónimo]. Robots Argentina - Robótica - Principal [página web]. [Consultado el 20, octubre, 2022]. Disponible en Internet: <<https://robots-argentina.com.ar/didactica/comparacion-arduino-uno-arduino-nano/>>.

⁷⁰ ARDUINO NANO | Arduino.cl - Compra tu Arduino en Línea [Anónimo]. Arduino.cl - Compra tu Arduino en Línea [página web]. [Consultado el 20, octubre, 2022]. Disponible en Internet: <<https://arduino.cl/arduino-nano/>>.



Disponibilidad				
1	2	3	4	5
Muy grande	grande	Medio	pequeño	Muy pequeño
Capacidad de procesamiento				
1	2	3	4	5
Muy baja	baja	Media	Alta	Muy alta
Memoria				
1	2	3	4	5
Muy baja	Baja	Media	Alta	Muy alta
Cantidad de pines				
1	2	3	4	5
Muy baja	Baja	Media	Alta	Muy alta

Tabla 30. Distribución de puntos para la selección del dispositivo controlador (autor)

Dispositivo Criterio	Arduino uno	Arduino Nano
Disponibilidad	5 pts.	3 pts.
Capacidad de procesamiento	4 pts.	4 pts.
Memoria	4 pts.	4 pts.
Cantidad de pines	3 pts.	4 pts.
Puntaje total	16 pts.	15 pts.

Tabla 31. Selección del dispositivo controlador para la posición (autor)

A la hora de realizar la selección entre estos dos dispositivos controladores nos dimos cuenta de que ambos realmente eran muy similares a tal punto que lo que definió la inclinación por el Arduino uno fue la disponibilidad en el momento debido a que era un dispositivo con el que contábamos a diferencia del Arduino nano el cual debíamos comprar.



3.2.7 Selección de la pantalla

En este apartado haremos la selección de la pantalla táctil donde se mostrará la interfaz del programa y el mapa que se realice, para la selección de la pantalla tenderemos los criterios de la siguiente tabla

N° Criterio	Criterio
1	Disponibilidad
2	Tamaño
3	Costo

Tabla 32. Criterios para la selección de la pantalla (autor)

Pantalla LCD 3.5" Touch



Figura 33. Display 3.5" Raspberry⁷¹

⁷¹ Pantalla táctil 3.5 pulgadas - SignalGen. (s. f.). SignalGen. https://www.signalgen.com/boards/rpi/pantalla-tactil3_5/

Pantalla LCD 7" Touch



Figura 34. Display 7" Raspberry⁷²

Disponibilidad				
1	2	3	4	5
Muy baja	Baja	Media	Alta	Muy Alta
Tamaño				
1	2	3	4	5
Muy grande	Grande	Muy pequeña	Pequeña	Mediana
Costo				
1	2	3	4	5
Muy alto	Alto	Medio	Bajo	Muy bajo

Tabla 33. Distribución de puntos para los criterios de las pantallas (autor)

⁷² Display LCD 7" capacitivo para Raspberry - Oficial. (s. f.). Didácticas Electrónicas. <https://www.didacticaselectronicas.com/index.php/optoelectronica/displays-lcd/shields-1/raspberry-1/display-lcd-7-capacitivo-para-raspberry-displays-pantallas-lcd-tactil-touch-tactiles-touch-screen-capacitivos-capacitivas-graficas-para-raspberry-pi-sparkfun-detail>



Pantalla Criterio	LCD 3.5"	LCD 7"
Disponibilidad	5 pts.	3 pts.
Tamaño	4 pts.	2 pts.
Costo	4 pts.	2 pts.
Puntaje total	13 pts.	7 pts.

Tabla 34. Selección de la pantalla (autor)

De acuerdo con la tabla anterior escogemos la pantalla LCD de 3.5"

3.2.8 Selección de los motores

A continuación, se presentarán en la siguiente tabla los criterios en los cuales nos basamos para la selección de los motores

N° Criterio	Criterio
1	Disponibilidad
2	Tamaño
3	Costo
4	Torque

Tabla 35. Criterios de selección para los motores (autor)



Motor nema 23-2.8Nm



Figura 35. Motor paso a paso nema 23 - 2.8Nm⁷³

Motor Nema 23-3.5Nm



Figura 36. Motor nema 23 - 3.5Nm⁷⁴

⁷³ Motor paso a paso nema 23 Ficha técnica. (s. f.). Inno Industrial – Inno industrial. https://innoindustrial.com.mx/wp-content/uploads/2022/05/Inno-Nema-23.-Fichas-Tecnicas-1_compressed.pdf

⁷⁴ Motor paso a paso nema 23 Ficha técnica. (s. f.). Inno Industrial – Inno industrial. https://innoindustrial.com.mx/wp-content/uploads/2022/05/Inno-Nema-23.-Fichas-Tecnicas-1_compressed.pdf



SC-CER96940





Disponibilidad				
1	2	3	4	5
Muy baja	Baja	Media	Alta	Muy Alta
Tamaño				
1	2	3	4	5
Muy grande	Grande	Medio	Pequeño	Muy pequeño
Costo				
1	2	3	4	5
Muy alto	Alto	Medio	Bajo	Muy bajo
Torque				
1	2	3	4	5
Muy bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy alto

Tabla 36. Distribución de puntos para la selección del motor (autor)

Pantalla Criterio	Nema 23 – 2.8Nm	Nema 23 – 3.5Nm
Disponibilidad	5 pts.	3 pts.
Tamaño	3 pts.	3 pts.
Costo	3 pts.	2 pts.
Torque	3 pts.	3 pts.
Puntaje total	14 pts.	11 pts.

Tabla 37. Selección del motor (autor)

De acuerdo con la tabla anterior se eligió el motor paso a paso nema 23 – 2.8Nm



3.2.9 Selección del inversor

Los criterios de selección para los inversores fueron de acuerdo con la siguiente tabla

N° Criterio	Criterio
1	Disponibilidad
2	Costo
3	Vataje

Tabla 38. Criterios de selección para los inversores (autor)

Los inversores a los cuales se les aplico los criterios de selección fueron los siguientes

Inversor de 300W



Figura 37. Inversor 300W⁷⁵

⁷⁵ Inversor De 300W 12 Vdc a 110 Vac INV300WP. (s.f.). Suconel | Tienda electrónica | Colombia. <https://suconel.com/product/inversor-dc-ac-de-300w/>



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



Inversor de 500W



Figura 38. Inversor 500W⁷⁶

Disponibilidad				
1	2	3	4	5
Muy baja	Baja	Media	Alta	Muy Alta
Costo				
1	2	3	4	5
Muy alto	Alto	Medio	Bajo	Muy bajo
Vataje				
1	2	3	4	5
Muy bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy alto

Tabla 39. Distribución de puntos para la selección del inversor (autor)

⁷⁶ Inversor Corriente 500w Energia Solar, Vehiculos 12v Paco. (s. f.). Anuncios Clasificados gratis para comprar y vender en Colombia | CLASF. <https://www.clasf.co/inversor-corriente-500w-energia-solar-vehiculos-12v-paco-en-pereira-5667674/>



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



Inversor Criterio	300W	500W
Disponibilidad	4 pts.	4 pts.
Costo	3 pts.	2 pts.
Vataje	2 pts.	4 pts.
Puntaje total	9 pts.	10 pts.

Tabla 40. Selección del inversor (autor)

A pesar de que el inversor de 300W era más económico el criterio del vataje tuvo más importancia debido a que con los 300W quedaba justo a las lámparas por eso finalmente nos inclinamos por el de más vataje a pesar de ser un poco más costoso.



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



4. DISEÑAR EL SISTEMA MECÁNICO Y ELECTRÓNICO DE MOVILIDAD AUTÓNOMA PARA EL SISTEMA DE ESTERILIZACIÓN UV-C.

4.1 DISEÑO DEL MODELO MECÁNICO PARA LA MOVILIDAD DEL ROBOT

4.1.1 Diseño del chasis del robot

En base a los parámetros de diseño previamente planteados se realiza un diseño asistido por computador del chasis del robot, con la característica de que la tracción diferencial contará con dos ruedas caster para brindar un mejor soporte a la estructura. El diseño CAD se observa en las siguientes figuras.

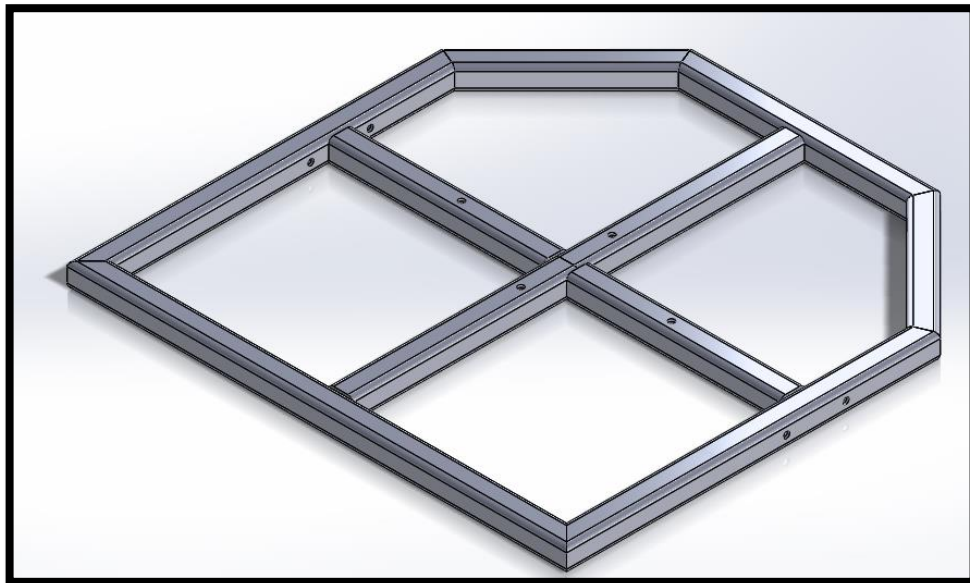


Figura 39. Modelado de la base del robot (autor)

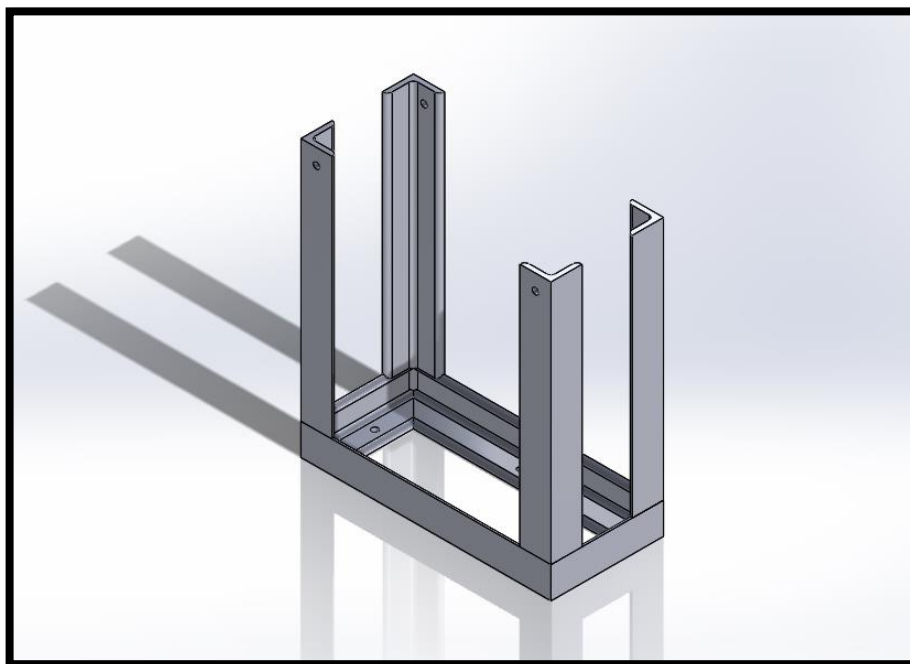


Figura 40. Modelado del soporte de batería (autor)

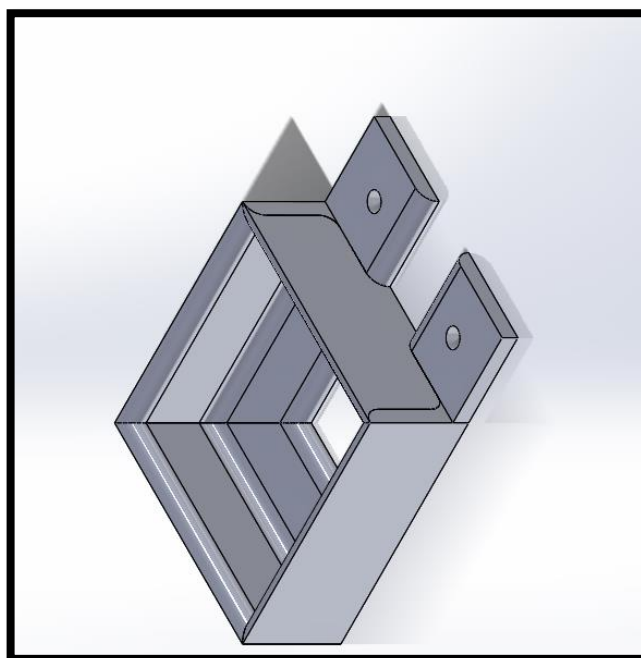


Figura 41. Modelado del soporte del motor (autor)

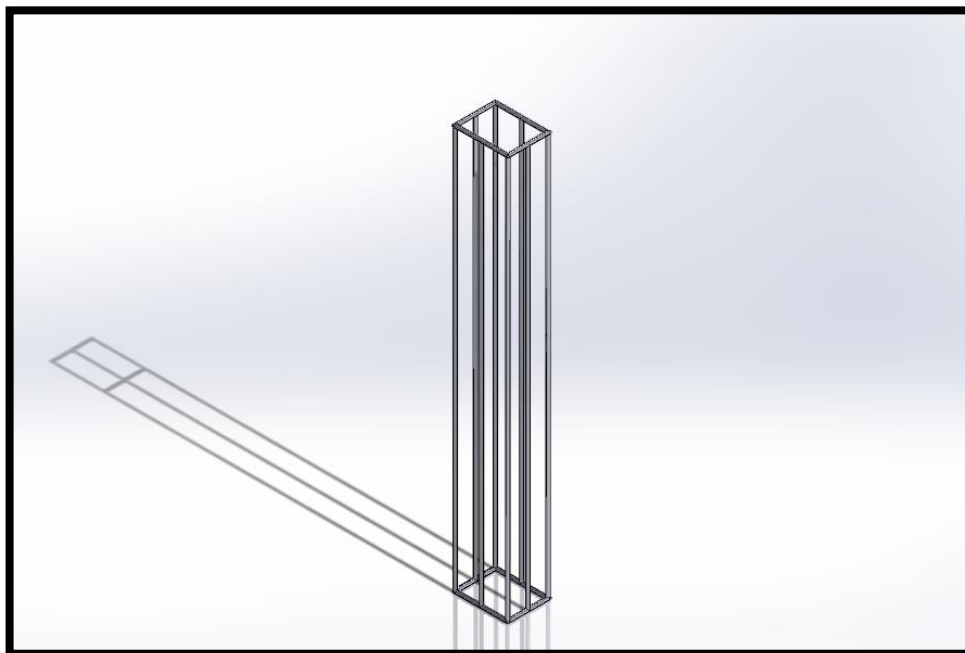


Figura 42. Modelado de la jaula (autor)

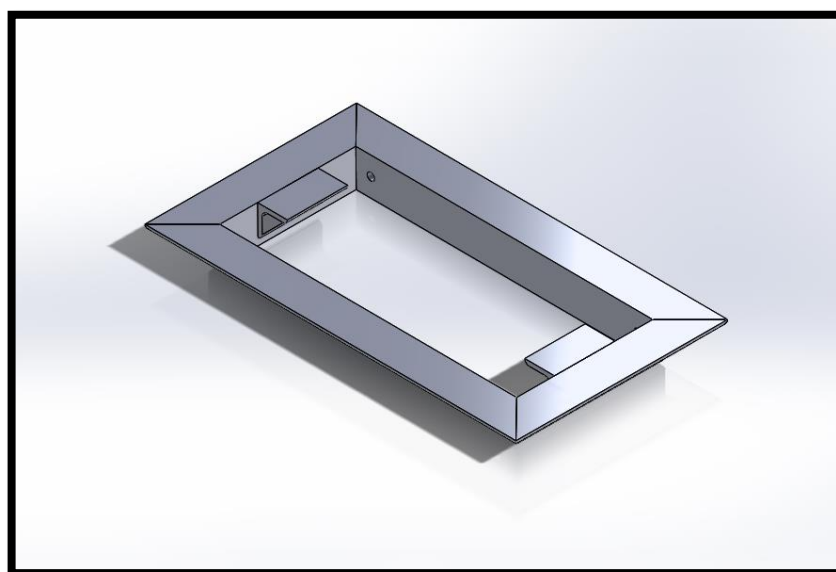


Figura 43. Modelado del soporte de la jaula (autor)



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co

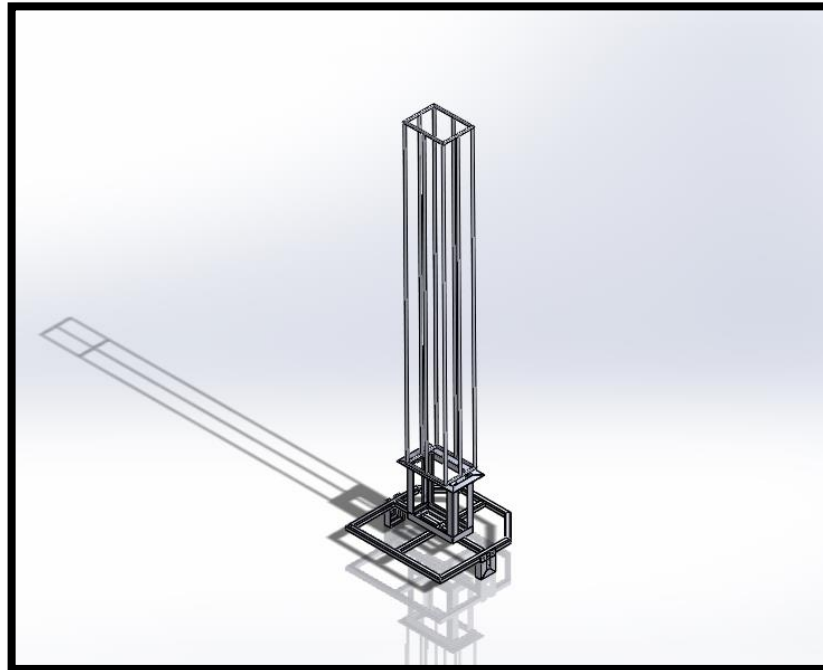


Figura 44. Modelado del ensamblaje del chasis (autor)

4.1.2 Diseño de la carrocería del robot

El diseño de la carrocería está basado en el soporte de los sensores y el acople del mismo al chasis, teniendo como objetivo una estructura minimalista. El diseño CAD se observa en las siguientes figuras.



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co

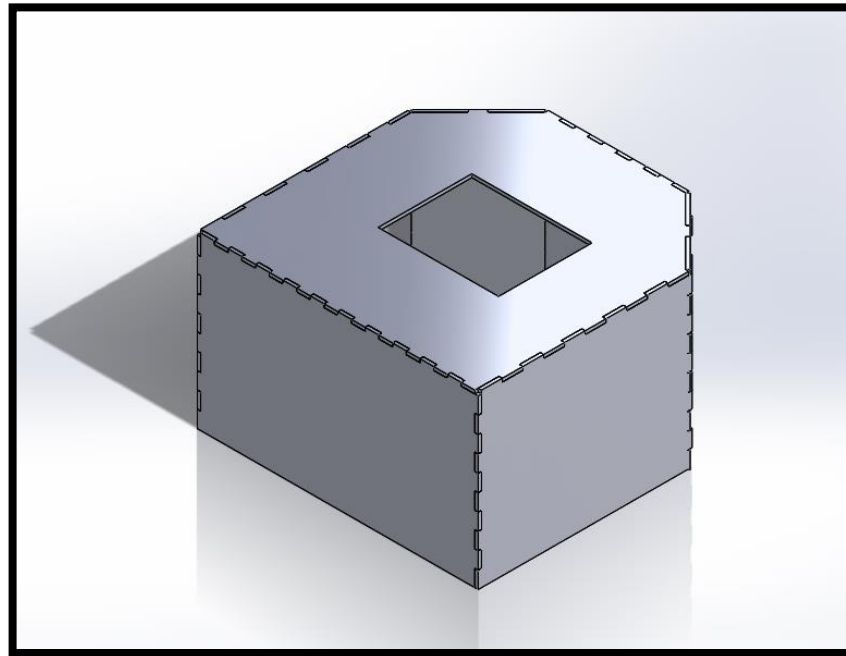


Figura 45. Modelado de la carrocería del robot con vista trasera (autor)

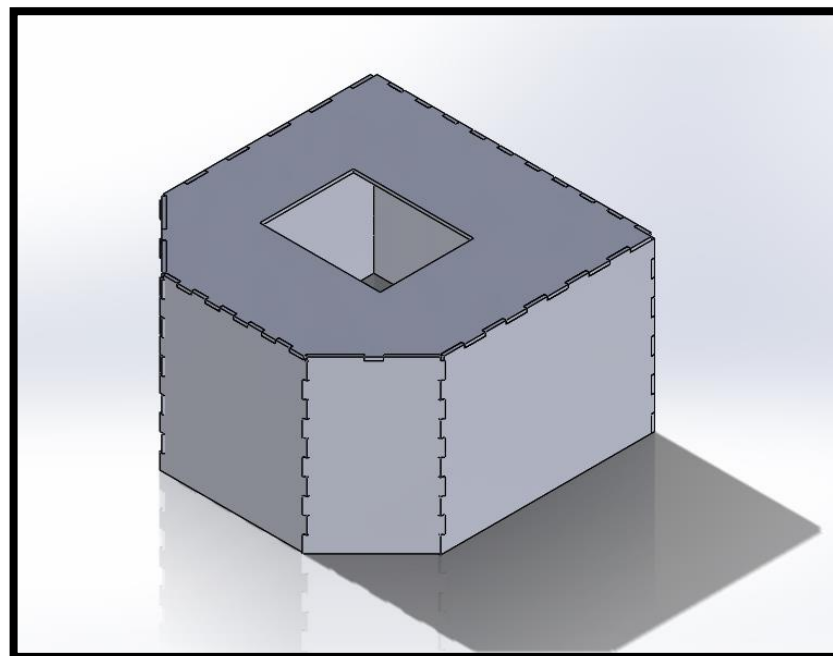


Figura 46. Modelado de la carrocería del robot con vista frontal (autor)



4.2 SELECCIÓN DE MATERIALES

4.2.1 Selección del material para el chasis

Dados los parámetros de diseño del modelo del robot, los requerimientos funcionales y condiciones de operación debido a su aplicación se establecen a continuación los criterios asociados al proceso de selección de material para el chasis del robot:

Función	Soportar cargas de compresión, flexionantes y tangenciales
Restricciones	Relaciones dimensionales Resistencia al impacto
Objetivo y criterios	Resistencia a la compresión Resistencia a la flexión Resistencia al esfuerzo cortante Módulo de elasticidad alto Costo Densidad baja (ligero) Disponibilidad
Variables libres	Dilatación térmica Coeficiente de fricción Conductividad térmica Conductividad eléctrica

Tabla 41. Características para la selección del material del chasis (autor)



N° Criterio	Criterio
1	Costo
2	Resistencia
3	Densidad
4	Disponibilidad

Tabla 42. Criterios de selección para el material del chasis (autor)

Costo				
1	2	3	4	5
Muy alto	Alto	Medio	bajo	Muy bajo
Resistencia				
1	2	3	4	5
Muy baja	Baja	Media	Alta	Muy alta
Densidad				
1	2	3	4	5
Muy baja	Baja	Media	Alta	Muy alta
Disponibilidad				
1	2	3	4	5
Muy baja	Baja	Media	Alta	Muy alta

Tabla 43. Distribución de puntos para la selección del material del chasis (autor)

Realizamos una preselección con los materiales con mayor disponibilidad y menor costo en nuestra área que nos permitan desarrollar el chasis del robot, por ende, los materiales a comparar son:

- Acero
- Aluminio
- Hierro



TABLA 1 Propiedades físicas de algunos materiales de ingeniería
 Datos provenientes de varias fuentes. * Estas propiedades son esencialmente similares para todas las aleaciones del material específico

Material	Módulo de elasticidad E		Módulo de rigidez G		Razón de Poisson ν	Peso específico γ lb/in ³	Densidad de masa ρ Mg/m ³	Gravedad específica
	Mpsi	GPa	Mpsi	GPa				
Aleación de aluminio	10.4	71.7	3.9	26.8	0.34	0.10	2.8	2.8
Cobre al berilio	18.5	127.6	7.2	49.4	0.29	0.30	8.3	8.3
Latón, bronce	16.0	110.3	6.0	41.5	0.33	0.31	8.6	8.6
Cobre	17.5	120.7	6.5	44.7	0.35	0.32	8.9	8.9
Hierro fundido gris	15.0	103.4	5.9	40.4	0.28	0.26	7.2	7.2
Hierro fundido dúctil	24.5	168.9	9.4	65.0	0.30	0.25	6.9	6.9
Hierro fundido maleable	25.0	172.4	9.6	66.3	0.30	0.26	7.3	7.3
Aleaciones de magnesio	6.5	44.8	2.4	16.8	0.33	0.07	1.8	1.8
Aleaciones de níquel	30.0	206.8	11.5	79.6	0.30	0.30	8.3	8.3
Acero al carbono	30.0	206.8	11.7	80.8	0.28	0.28	7.8	7.8
Aleaciones de acero	30.0	206.8	11.7	80.8	0.28	0.28	7.8	7.8
Acero inoxidable	27.5	189.6	10.7	74.1	0.28	0.28	7.8	7.8
Aleaciones de titanio	16.5	113.8	6.2	42.4	0.34	0.16	4.4	4.4
Aleaciones de zinc	12.0	82.7	4.5	31.1	0.33	0.24	6.6	6.6

* Properties of Some Metals and Alloys, International Nickel Co., N.Y., Metals Handbook, American Society for Metals, Materials Park, Ohio.

Figura 47. Propiedades físicas de algunos materiales de ingeniería⁷⁷

Material \ Criterio	Acero	Aluminio	Hierro
Costo	3 pts.	5 pts.	4 pts.
Resistencia	5 pts.	2 pts.	4 pts.
Densidad	3 pts.	5 pts.	4 pts.
Disponibilidad	3 pts.	4 pts.	5 pts.
Puntaje total	14 pts.	16 pts.	17 pts.

Tabla 44. Selección del material para el chasis (autor)

⁷⁷ RODRÍGUEZ GALBARRO, Hermenegildo. Propiedades de los Materiales. ingemecánica [página web]. [Consultado el 21, octubre, 2022]. Disponible en Internet: <<https://ingemecanica.com/tutoriales/materiales.html>>.





A partir de la tabla anterior seleccionamos como material para la construcción del chasis el hierro

4.2.2 Selección del material para la carrocería

Función	Protección para componentes internos y soporte de sensores
Restricciones	Relaciones dimensionales Resistencia al impacto Tenacidad a la fractura Conductividad eléctrica baja
Objetivo y criterios	Módulo de elasticidad alto Costo Densidad baja (ligero) Disponibilidad Maquinabilidad
Variables libres	Coeficiente de fricción Conductividad térmica

Tabla 45. Características para la selección del material de la carrocería (autor)

Nº Criterio	Criterio
1	Costo
2	Resistencia
3	Densidad
4	Conductividad eléctrica
5	Disponibilidad

Tabla 46. Criterios de selección para el material de la carrocería (autor)



Costo				
1	2	3	4	5
Muy alto	Alto	Medio	bajo	Muy bajo
Resistencia				
1	2	3	4	5
Muy baja	Baja	Media	Alta	Muy alta
Densidad				
1	2	3	4	5
Muy baja	Baja	Media	Alta	Muy alta
Conductividad eléctrica				
1	2	3	4	5
Muy alto	Alto	Medio	bajo	Muy bajo
Disponibilidad				
1	2	3	4	5
Muy baja	Baja	Media	Alta	Muy alta

Tabla 47. Distribución de puntos para la selección del material de la carrocería (autor)

Realizamos una preselección con los materiales con mayor disponibilidad y menor costo en nuestra área que nos permitan desarrollar la carrocería del robot, por ende, los materiales a comparar son:

- Madera
- Acrílico
- PLA



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



Material Criterio	Madera	Acrílico	PLA
Costo	3 pts.	3 pts.	1 pts.
Resistencia	5 pts.	4 pts.	3 pts.
Densidad	5 pts.	4 pts.	3 pts.
Disponibilidad	2 pts.	5 pts.	1 pts.
Puntaje total	15 pts.	16 pts.	8 pts.

Tabla 48. Distribución de puntos para la selección del material de la carrocería (autor)

A partir de la tabla anterior seleccionamos como material para la construcción de la carrocería el acrílico

4.3 DISEÑO DEL SISTEMA ELECTRÓNICO DEL ROBOT

En el presente apartado se realizarán los modelos de los circuitos electrónicos presentes en el robot, a partir de los requerimientos en cuanto al propósito del mismo, de tal manera que satisfaga el cumplimiento de movilidad autónoma en conjunto con el código desarrollado para ello.

4.3.1 Circuito electrónico para la movilidad

Este circuito cuenta con 6 sensores de ultrasonido HC-SR04, los cuales se encontrarán dispuestos en la carrocería del robot con la finalidad de medir distancias frente a los obstáculos dentro del entorno en el que se encuentre el robot, dichos datos medidos se enviarán al Arduino mega presente en el circuito, el cuál a partir de los datos recopilados accionará o detendrá los motores a través del controlador TB6600, permitiendo de esta manera el desplazamiento del robot.

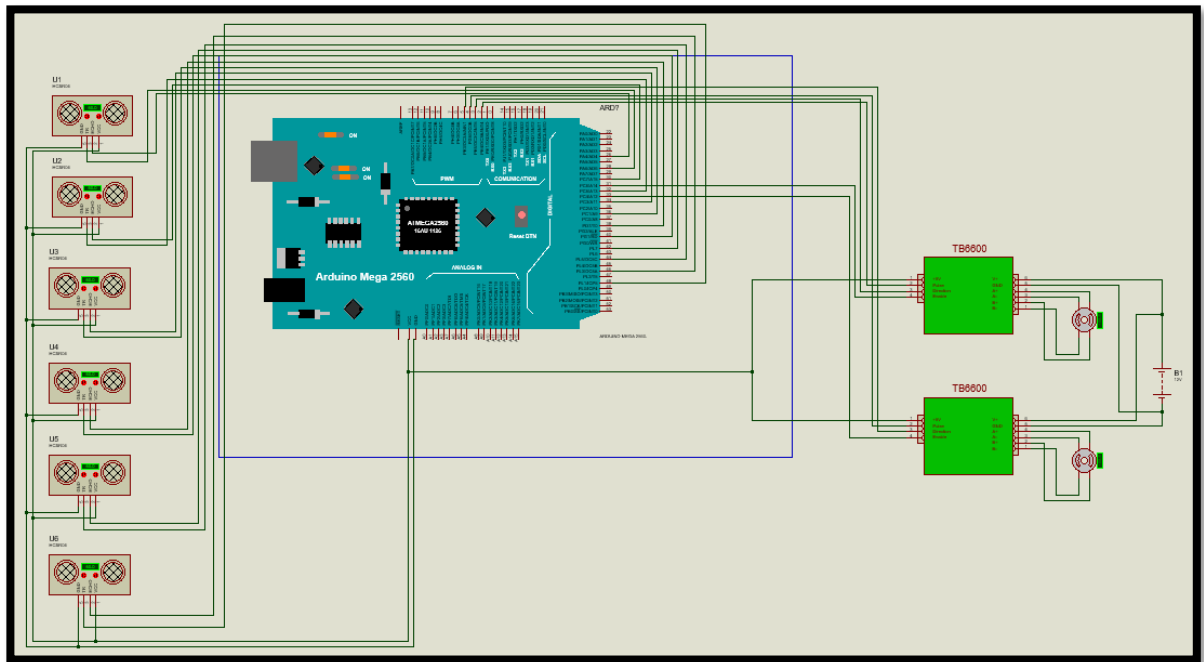


Figura 48. Circuito electrónico para la movilidad (autor)

4.3.2 Circuito electrónico para la ubicación

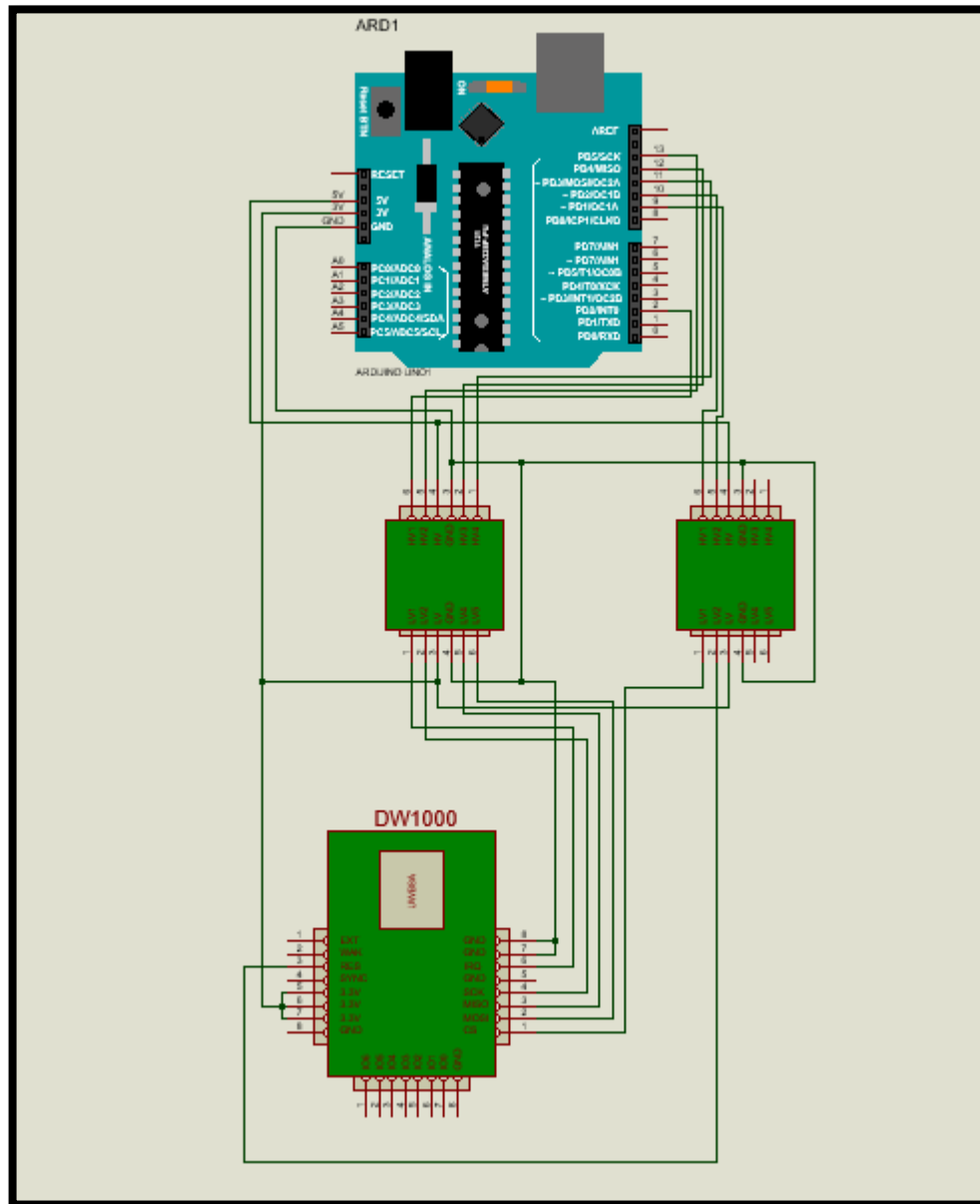
El presente circuito cuenta con un sensor DW1000, que trabajando en conjunto con el Arduino UNO se encarga de medir distancias respecto a otros circuitos iguales, y a su vez establecer una transferencia de datos entre ellos, permitiendo así una comunicación entre estos circuitos. Uno de estos circuitos servirá como tag y otros 3 como anclas, sin embargo, en su esquema electrónico no difieren entre sí, sólo en la programación.

La siguiente figura nos brinda un apoyo para el diseño de nuestro circuito, ya que esta conexión se centra en las funcionalidades del sensor de las que vamos a hacer uso.



A continuación, se puede apreciar el circuito final a utilizar desarrollado con el propósito de establecer la medición de distancias y la comunicación de datos entre los circuitos.

⁷⁸ DAMIRCHI, Mohammad. Interfacing DWM1000 Positioning Module with Arduino. Electropeak [página web]. [Consultado el 1, octubre, 2022]. Disponible en Internet: <<https://electropeak.com/learn/interfacing-dwm1000-positioning-module-with-arduino/>>.



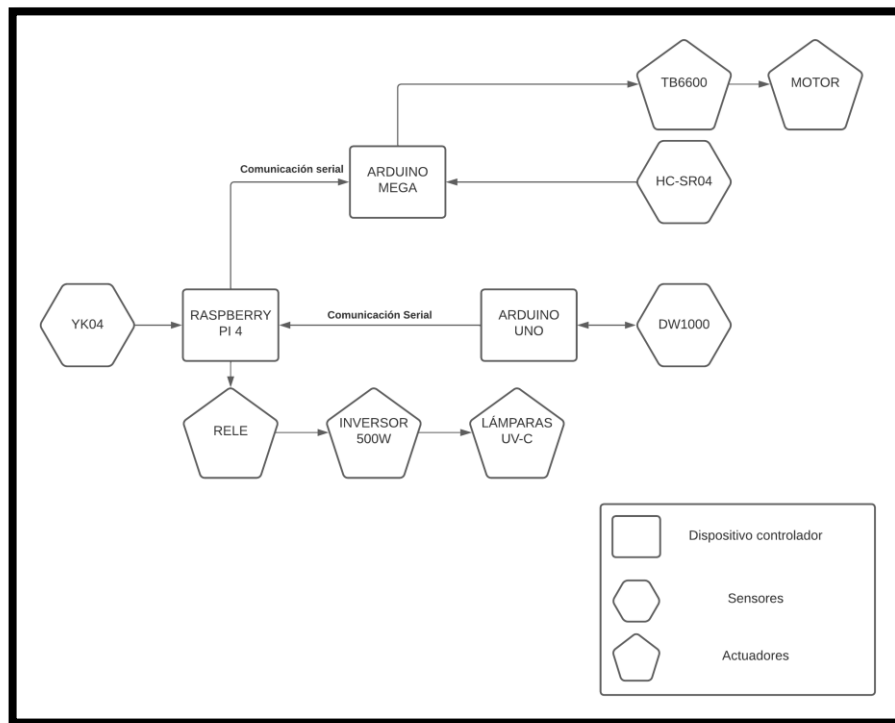


Figura 51. Esquema de conexión general (autor)

La Raspberry Pi 4 es la encargada de almacenar la información y generar el mapa de la zona, esto lo hace a partir de los datos de la ubicación del dispositivo enviados a través de comunicación serial entre el Arduino UNO y la Raspberry (la Raspberry sólo recibirá los datos, no enviará al Arduino UNO). A su vez, es la encargada de activar el sistema de esterilización UV-C con el accionamiento de un relé que permitirá el flujo de corriente al inversor encendiendo de esta forma las lámparas. Dicha Raspberry a partir de comunicación serial enviará un comando de accionamiento al Arduino Mega, el cuál es el encargado de la lectura de los sensores de ultrasonido para medir distancia (HC-SR04) y el desplazamiento del robot a partir del control del driver TB6600 el cual controla el motor. Por otra parte, el robot se detendrá a distancia con el accionar de un pulso RF que será detectado por el módulo receptor YK04 el cuál indicará a la Raspberry a partir de un pulso que detenga el desplazamiento del robot, así como también desactivar el sistema de esterilización.



5. CONSTRUIR EL SISTEMA MECÁNICO Y ELECTRÓNICO DE MOVILIDAD AUTÓNOMA PARA EL SISTEMA DE ESTERILIZACIÓN UV-C.

5.1 CONSTRUCCIÓN DEL MODELO MECÁNICO DISEÑADO

5.1.1 Construcción del chasis del robot



Figura 52. Construcción de la base (autor)

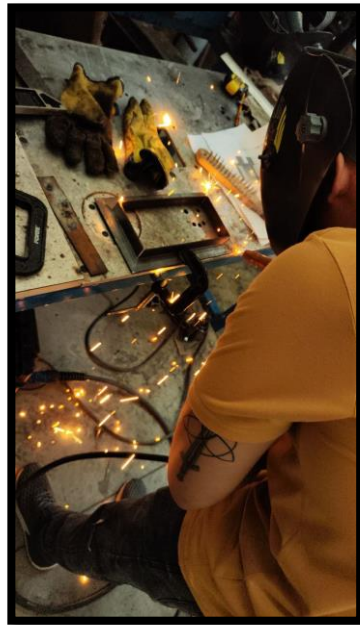


Figura 53. Construcción del soporte de la jaula (autor)

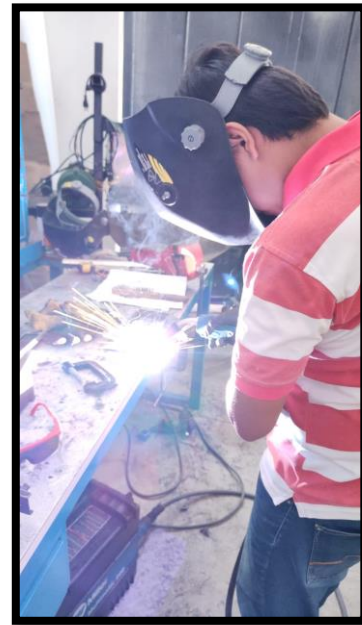


Figura 54. Construcción del soporte de la batería (autor)



Figura 55. Construcción del chasis del robot vista lateral (autor)



Figura 56. Construcción del chasis del robot vista superior (autor)



Figura 57. Ensamblaje del chasis del robot vista lateral (autor)



Figura 58. Ensamblaje del chasis del robot vista frontal (autor)



Figura 59. Montaje de motores y ruedas al chasis del robot (autor)



Figura 60. Etapa de pintura del chasis del robot (autor)



5.1.2 Construcción de la carrocería del robot



Figura 61. Corte de la carrocería en laser (autor)

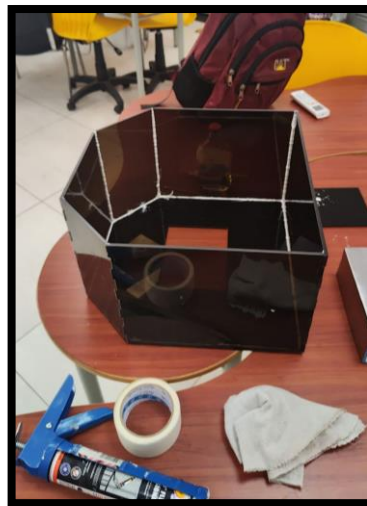


Figura 62. Ensamblaje de la carrocería (autor)



Figura 63. Ensamblaje de la carrocería con el chasis (autor)

5.2 Construcción del sistema electrónico diseñado

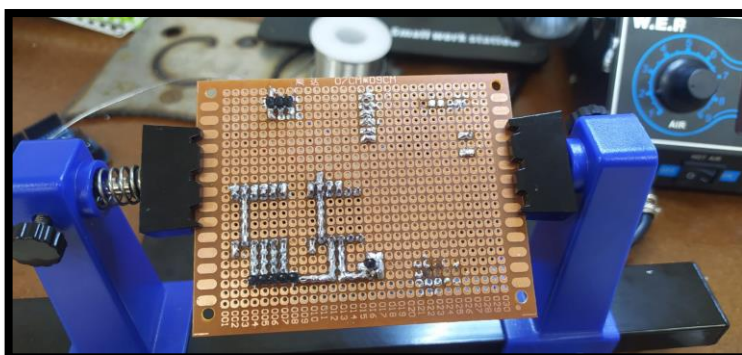


Figura 64. Construcción del circuito para la posición (autor)

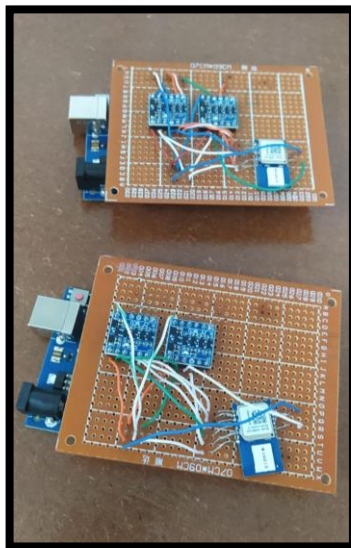


Figura 65. Circuito para la posición (autor)

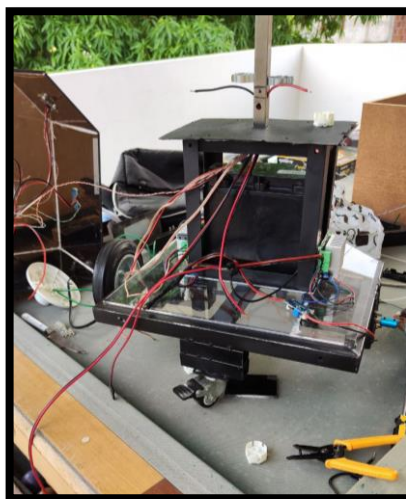


Figura 66. Montaje del circuito para la movilidad (autor)

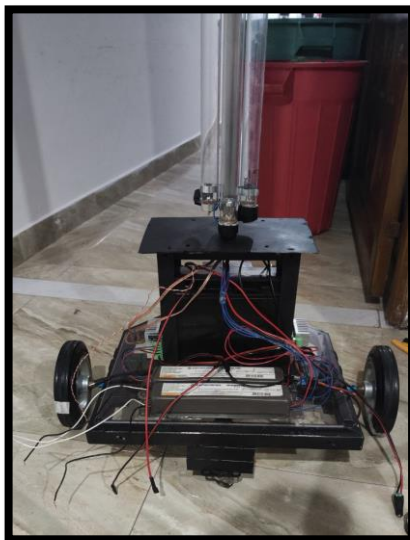


Figura 67. Montaje del circuito para las lámparas



Figura 68. Ensamblaje de carrocería y sensores



6. DISEÑAR EL SISTEMA DE SLAM PARA LA NAVEGACIÓN DEL SISTEMA DE ESTERILIZACIÓN UV-C

6.1 SELECCIÓN DEL TIPO DE SLAM

Para esta selección tuvimos en cuenta dos tipos de SLAM consultados que podían satisfacer todas nuestras demandas y cumplir adecuadamente con los sensores y controladores previamente seleccionados

6.1.1 GPS-SLAM

Este tipo de SLAM también conocido como Global Positioning System-Simultaneous Localization and Mapping, funciona mediante tres satélites los cuales calculan la ubicación del robot por el método de triangulación de esta manera van mapeando las ubicaciones por donde el robot se va desplazando. Pero para este tipo de SLAM le resulta difícil cuando se trata de bosques ya que las copas de los árboles bloquean la línea de visión hacia el cielo y algunos edificios también pueden llegar a bloquear las señales⁷⁹.

En el artículo “GPS-SLAM: An Augmentation of the ORB-SLAM Algorithm” hablan que tanto los datos tomados por el SLAM como los tomados por GPS tienen ciertas imperfecciones, por lo que la unión de estos dos que crean el GPS-SLAM el cual tiene como objetivo aprovechar los beneficios y ventajas de ambos sistemas obteniendo un resultado de mejor calidad combinándolos⁸⁰.

6.1.2 Hector SLAM

Tiene una implementación open source de la técnica SLAM 2D y se suele usar como base para la mayoría de los algoritmos de SLAM 3D.

El sensor que se usa para esta técnica es uno láser, aunque se puede usar el Kinect ya que como este genera una nube de puntos se puede obtener datos muy similares a los que adquiridos por un sensor láser.

⁷⁹ What is SLAM? Simultaneous Localization and Mapping. (s. f.). GeoSLAM. <https://geoslam.com/what-is-slam/>

⁸⁰ Kiss-Illés, D., Barrado, C. y Salamí, E. (2019). GPS-SLAM: An Augmentation of the ORB-SLAM Algorithm. *Sensors*, 19(22), 4973. <https://doi.org/10.3390/s19224973>



SC-CER96940





Para el tratamiento de la nube de puntos se puede hacer a través de librerías de ROS⁸¹.

En el trabajo presentado en la conferencia “International Conference on Power, Energy, Control and Transmission Systems (ICPECTS)”, titulado “2D Hector SLAM of Indoor Mobile Robot using 2D Lidar” se evalúa un algoritmo 2D-SLAM basado en un sensor lidar en el cual reflejan la capacidad de la construcción de mapas mediante el uso del algoritmo Hector SLAM, se realizaron pruebas en un entorno en forma de L, en el cual el mapa se crea en tiempo real y también se observa la trayectoria que sigue el robot durante el proceso. Este mapa se guarda para utilizarse posteriormente en diversas aplicaciones⁸².

A continuación, se realizará la matriz de selección teniendo en cuenta los criterios de la siguiente tabla

N° Criterio	Criterio
1	Similitud de acuerdo con los sensores seleccionados
2	Complejidad de software
3	Adaptabilidad a diferentes ambientes
4	Robustez de acuerdo con la documentación

Tabla 49. Criterios de selección para el método de SLAM (autor)

⁸¹ Lopez Torres, P. (2016). *Análisis De Algoritmos Para Localización Y Mapeado Simultáneo De Objetos* [Universidad de Sevilla]. <https://idus.us.es/xmlui/handle/11441/54393>

⁸² S. Nagla, "2D Hector SLAM of Indoor Mobile Robot using 2D Lidar," *2020 International Conference on Power, Energy, Control and Transmission Systems (ICPECTS)*, 2020, pp. 1-4, doi: 10.1109/ICPECTS49113.2020.9336995.



Similitud de acuerdo con los sensores seleccionados				
1	2	3	4	5
Muy baja	Baja	Media	Alta	Muy alta
Complejidad de software				
1	2	3	4	5
Muy Alta	Alta	Media	Baja	Muy baja
Adaptabilidad a diferentes ambientes				
1	2	3	4	5
Muy baja	Baja	Media	Alta	Muy alta
Robustez de acuerdo con la documentación				
1	2	3	4	5
Muy baja	Baja	Media	Alta	Muy alta

Tabla 50. Distribución de puntos para los criterios de selección del método de SLAM (autor)

Inversor Criterio	GPS-SLAM	Hector-SLAM
Similitud de acuerdo con los sensores seleccionados	4 pts.	3 pts.
Complejidad de software	3 pts.	2 pts.
Adaptabilidad a diferentes ambientes	4 pts.	4 pts.
Robustez de acuerdo con la documentación	4 pts.	3 pts.
Puntaje total	15 pts.	12 pts.

Tabla 51. Selección del método SLAM (autor)



6.2 ADAPTAR EL MÉTODO DE PERCEPCIÓN PARA EL RANGO DE TRABAJO

Con un sistema de localización en interiores se busca conocer la ubicación de un dispositivo dentro de un espacio cerrado, para estas ocasiones un dispositivo GPS no funcionaría debido a que bien diseñado tendría una precisión horizontal de 3m y vertical de 5m en un 95% del tiempo⁸³.

Por ese motivo se debe hacer una modificación al método GPS-SLAM, en nuestro caso adaptaremos las antenas UWB seleccionadas en el objetivo anterior las cuales cumplirán el propósito de los satélites GPS, pero con una precisión adecuada para espacios cerrados. Al cual se le aplicara la matemática de trilateración para conocer la ubicación dentro del entorno cerrado.

Trilateración

La trilateración es el posicionamiento de un objeto que se basa en la medición de distancias que hay entre el objeto y múltiples referencias que vienen siendo posiciones conocidas, para conocer la ubicación del objeto se resuelve un sistema de ecuaciones el cual es de la forma⁸⁴

$$(pdx - prx)^2 + (pdy - pry)^2 = dor^2$$

Ecuación 1. Ecuación base para la trilateración

En donde:

Pdx: posición desconocida del objeto en x

Prx: posición de la referencia en x

Pdy: posición desconocida del objeto en y

⁸³ GABRI. La precisión del GPS ¿cómo funciona y cuáles son sus errores? ArcGeek [página web]. (18, mayo, 2018). [Consultado el 14, octubre, 2022]. Disponible en Internet: <[>.](https://acolita.com/la-precision-del-gps-como-funciona-y-cuales-son-sus-errores/#:~:text=Un%20receptor%20GPS%20bien%20dise%C3%B1ado,mejor%20el%2095%%20del%20tiempo.>)

⁸⁴ Salas Pacheco, V. M. (2021). *Trilateration-Based Localization in Known Environments with Object Detection* [Graduate Theses and Dissertations, University of South Florida]. <https://digitalcommons.usf.edu/etd/9224>



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



Pry: posición de la referencia en y

Dor: distancia medida entre el objeto y la referencia

Con esta ecuación y posicionando las referencias de la siguiente manera

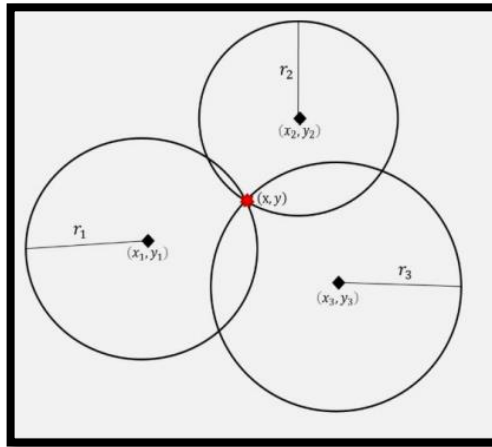
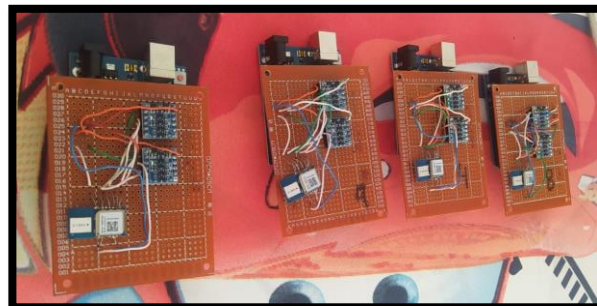


Figura 69. Representación de las tres referencias y un objeto para la trilateración⁸⁵

6.3 REALIZAR LA PROGRAMACIÓN DEL SLAM

Una vez ensamblado el circuito y teniendo los cuatro sensores DW1000 pudimos proceder a la realización de la programación para el SLAM, primero se programaron los sensores estableciendo el tag el cual estaría adentro del robot y programando las antenas o anclas las cuáles serán las ubicadas alrededor del espacio cerrado de tal forma que se realice la trilateración para calcular la posición del tag.



⁸⁵ Ibíd., p.40.



Figura 70. Sensores DW1000 (autor)

En los siguientes diagramas de flujo se puede comprender como se realiza la comunicación entre el tag y las antenas o anclas, diagramas de flujo realizados por los propios autores basado en la tesis referenciada debajo de él, por lo que lo realizamos en base a su análisis⁸⁶.

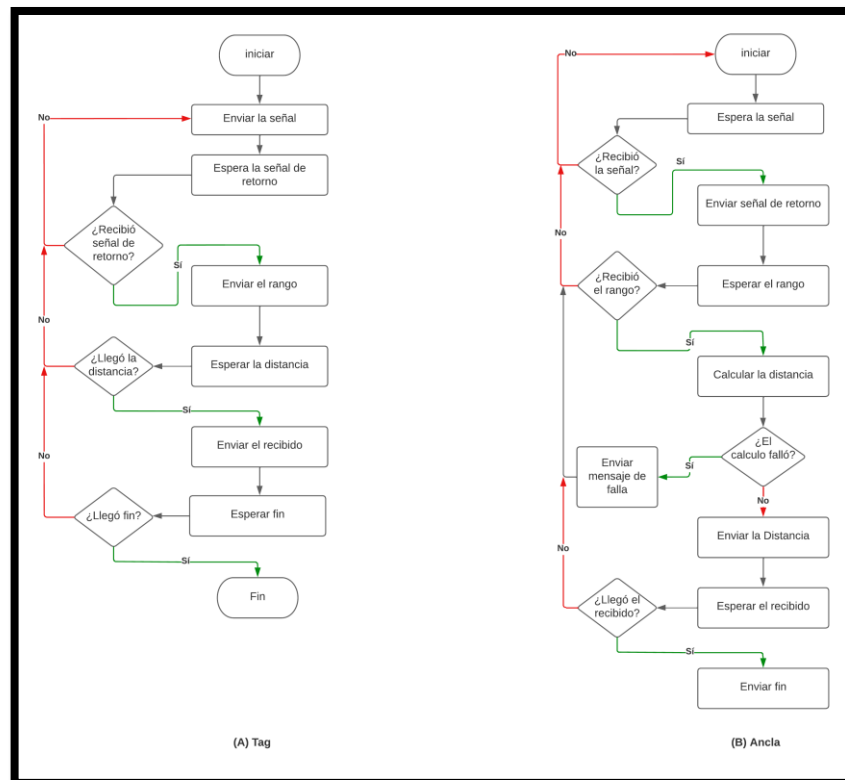


Figura 71. Diagramas de flujo de la programación del tag y las antenas o anclas (autor)

A continuación, se anexan las líneas de código para el tag y para las anclas, las cuales se tomó como base los ejemplos de la librería “Arduino-DW1000-ng”.

⁸⁶ Westermarck, A. y Pantzar, D. op. cit, p.20.



```
#include <DW1000Ng.hpp>
#include <DW1000NgUtils.hpp>
#include <DW1000NgTime.hpp>
#include <DW1000NgConstants.hpp>
#include <DW1000NgRanging.hpp>
#include <DW1000NgRTLS.hpp>

// connection pins
#if defined(ESP8266)
const uint8_t PIN_SS = 15;
#else
const uint8_t PIN_SS = SS; // spi select pin
const uint8_t PIN_RST = 9;
#endif

// Extended Unique Identifier register. 64-bit device identifier. Register file: 0x01
char EUI[] = "AA:BB:CC:DD:EE:FF:00:05";

double range_A;
double range_B;
double range_C;

boolean received_B = false;
boolean received_A = false;
byte anchor_a[] = {0x01, 0x00};
byte anchor_b[] = {0x02, 0x00};
byte anchor_c[] = {0x03, 0x00};

byte tag_shortAddress[] = {0x05, 0x00};

volatile uint32_t blink_rate = 200;
```

Figura 72. Parte del código del tag, inclusión de la librería y configuración de pines y del sensor. (Autor)

```
void setup() {
    // DEBUG monitoring
    Serial.begin(115200);
    //Serial.println(F("### DW1000Ng-arduino-ranging-tag ###"));
    // initialize the driver
    #if defined(ESP8266)
    DW1000Ng::initializeNoInterrupt(PIN_SS);
    #else
    DW1000Ng::initializeNoInterrupt(PIN_SS, PIN_RST);
    #endif
    //Serial.println("DW1000Ng initialized ...");
    // general configuration
    DW1000Ng::applyConfiguration(DEFAULT_CONFIG);
    DW1000Ng::enableFrameFiltering(TAG_FRAME_FILTER_CONFIG);

    DW1000Ng::setEUI(EUI);

    DW1000Ng::setNetworkId(RTLS_APP_ID);
    DW1000Ng::setDeviceAddress(5);

    DW1000Ng::setAntennaDelay(16436);

    DW1000Ng::applySleepConfiguration(SLEEP_CONFIG);

    DW1000Ng::setPreambleDetectionTimeout(15);
    DW1000Ng::setSfdDetectionTimeout(273);
    DW1000Ng::setReceiveFrameWaitTimeoutPeriod(2000);

    //Serial.println(F("Committed configuration ..."));
    // DEBUG chip info and registers pretty printed
    char msg[128];
    DW1000Ng::getPrintableDeviceIdentifier(msg);
    //Serial.print("Device ID: "); Serial.println(msg);
    DW1000Ng::getPrintableExtendedUniqueIdentifier(msg);
    //Serial.print("Unique ID: "); Serial.println(msg);
    DW1000Ng::getPrintableNetworkIdAndShortAddress(msg);
    //Serial.print("Network ID & Device Address: "); Serial.println(msg);
    DW1000Ng::getPrintableDeviceMode(msg);
    //Serial.print("Device mode: "); Serial.println(msg);
}
```

Figura 73. Parte del Código del tag, configuración adicional de el sensor. (Autor)



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



```
String message;
void loop() {
  //DW1000Ng::deepSleep();
  delay(blink_rate);
  //DW1000Ng::spiWakeup();
  //DW1000Ng::setEUI(EUI);

  RangeInfrastructureResult res = DW1000NgRTLS::tagTwrLocalize(1500);
  if(res.success)
    blink_rate = res.new_blink_rate;

  delay(3); //definitivo
  if(DW1000NgRTLS::receiveFrame()){
    DW1000Ng::getReceivedData(message);
    //Serial.println(message);
    size_t recv_len = DW1000Ng::getReceivedDataLength();
    byte recv_data[recv_len];
    DW1000Ng::getReceivedData(recv_data, recv_len);

    // Serial.println(String(recv_len));
    // Serial.println(recv_len);
    // Serial.println(recv_data[10]);

    double range = static_cast<double>(DW1000NgUtils::bytesAsValue(&recv_data[10],2) / 1000.0);
    double range2 = static_cast<double>(DW1000NgUtils::bytesAsValue(&recv_data[13],2) / 1000.0);
    // String rangeReportString = "Range fromx: "; rangeReportString += recv_data[7];
    // String rangeReportString2 = "Range fromy: "; rangeReportString2 += recv_data[7];
    // rangeReportString += " = "; rangeReportString += range;
    // rangeReportString2 += " = "; rangeReportString2 += range2;
    // Serial.println(rangeReportString);
    // Serial.println(rangeReportString2);
    Serial.print(range);
    Serial.print(",");
    Serial.println(range2);
  }
```

Figura 74. Parte del Código del tag, enviar, recibir datos e imprimir posiciones. (Autor)

A continuación, se presenta el código para las antenas

```
#include <DW1000Ng.hpp>
#include <DW1000NgUtils.hpp>
#include <DW1000NgRanging.hpp>
#include <DW1000NgRTLS.hpp>

typedef struct Position {
  double x;
  double y;
} Position;

// connection pins
#if defined(ESP8266)
const uint8_t PIN_SS = 15;
#else
const uint8_t PIN_RST = 9;
const uint8_t PIN_SS = SS; // spi select pin
#endif

// Extended Unique Identifier register. 64-bit device identifier. Register file: 0x01
char EUI[] = "AA:BB:CC:DD:EE:FF:00:01";

Position position_self = {1.5,0};
Position position_B = {4.4,1.7};
Position position_C = {2.4,4.8};

uint16_t blink_rate = 200;

double range_self;
double range_x;
double range_y;
double range_B;
double range_C;
```

Figura 75. Parte del Código del ancla, inclusión de librerías declaración de variables y posiciones de las otras anclas (autor)



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



```
void setup() {
  // DEBUG monitoring
  Serial.begin(115200);
  Serial.println(F("### DW1000Ng-arduino-ranging-anchorMain ###"));
  // initialize the driver
  // initialize the driver
  #if defined(ESP8266)
    DW1000Ng::initializeNoInterrupt(PIN_SS);
  #else
    DW1000Ng::initializeNoInterrupt(PIN_SS, PIN_RST);
  #endif
  Serial.println(F("DW1000Ng initialized ..."));
  // general configuration
  DW1000Ng::applyConfiguration(DEFAULT_CONFIG);
  DW1000Ng::enableFrameFiltering(ANCHOR_FRAME_FILTER_CONFIG);

  DW1000Ng::setEUI(EUI);

  DW1000Ng::setPreambleDetectionTimeout(64);
  DW1000Ng::setSfdDetectionTimeout(273);
  DW1000Ng::setReceiveFrameWaitTimeoutPeriod(5000);

  DW1000Ng::setNetworkId(RTLS_APP_ID);
  DW1000Ng::setDeviceAddress(1);

  DW1000Ng::setAntennaDelay(16436);

  Serial.println(F("Committed configuration ..."));
  // DEBUG chip info and registers pretty printed
  char msg[128];
  DW1000Ng::getPrintableDeviceIdentifier(msg);
  Serial.print("Device ID: "); Serial.println(msg);
  DW1000Ng::getPrintableExtendedUniqueIdentifier(msg);
  Serial.print("Unique ID: "); Serial.println(msg);
  DW1000Ng::getPrintableNetworkIdAndShortAddress(msg);
  Serial.print("Network ID & Device Address: "); Serial.println(msg);
  DW1000Ng::getPrintableDeviceMode(msg);
  Serial.print("Device mode: "); Serial.println(msg);
}
```

Figura 76. Parte del Código del ancla, configuración de la antena (autor)

```
void calculatePosition(double sx, double sy) {
  /* This gives for granted that the x plane is the same for anchor and tags */
  double A = ( (-2*position_self.x) + (2*position_B.x) );
  double B = ( (-2*position_self.y) + (2*position_B.y) );
  double C = (range_self*range_self) - (range_B*range_B) - (position_self.x*position_self.x) + (position_B.x*position_B.x) - (position_self.y*position_self.y) + (position_B.y*position_B.y);
  double D = ( (-2*position_B.x) + (2*position_C.x) );
  double E = ( (-2*position_B.y) + (2*position_C.y) );
  double F = (range_B*range_B) - (range_C*range_C) - (position_B.x*position_B.x) + (position_C.x*position_C.x) - (position_B.y*position_B.y) + (position_C.y*position_C.y);

  x = (C*E-F*B) / (E*A-B*D);
  y = (C*D-A*F) / (B*D-A*E);
}

void transmitRangeReport() {
  byte rangingReport[] = {DATA, SHORT_SRC_AND_DEST, DW1000Ng::increaseSequenceNumber(), 0,0, 0,0, 0,0, 0x60, 0,0,0,0,0,0,0 };
  DW1000Ng::getNetworkId(rangingReport[3]);
  memcpy(rangingReport[5], tag_address, 2);
  DW1000Ng::getDeviceAddress(rangingReport[7]);
  DW1000Ng::writeValueToBytes(rangingReport[10], static_cast<uint16_t>((range_x*1000)), 2);
  DW1000Ng::writeValueToBytes(rangingReport[13], static_cast<uint16_t>((range_y*1000)), 2);
  DW1000Ng::setTransmitData(rangingReport, sizeof(rangingReport));
  //delay(10);
  DW1000Ng::startTransmit();

  while(!DW1000Ng::isTransmitDone()) {
    #if defined(ESP8266)
      yield();
    #endif
  }
  DW1000Ng::clearTransmitStatus();
}
```

Figura 77. Parte del Código del ancla, funciones para el cálculo de posición y transmisión de datos (autor)



```
range_self = result.range;

String rangeString = "Range: "; rangeString += range_self; rangeString += " m";
rangeString += "\t RX power: "; rangeString += DW1000Ng::getReceivePower(); rangeString += " dBm";
Serial.println(rangeString);

//range_x=1.2;
//range_y=1.56;

//delay(5); //definitivo

//transmitRangeReport(); // definitivo

} else if(recv_data[9] == 0x60) {
double range = static_cast<double>(DW1000NgUtils::bytesAsValue(&recv_data[10],2) / 1000.0);
String rangeReportString = "Range from: "; rangeReportString += recv_data[7];
rangeReportString += " "; rangeReportString += range;
Serial.println(rangeReportString);
if(received_B == false && recv_data[7] == anchor_b[0] && recv_data[8] == anchor_b[1]) {
    range_B = range;
    received_B = true;
} else if(received_B == true && recv_data[7] == anchor_c[0] && recv_data[8] == anchor_c[1]) {
    range_C = range;
    double x,y;
    calculatePosition(x,y);
    String positioning = "Found position - x: ";
    positioning += x; positioning += " y: ";
    positioning += y;
    Serial.println(positioning);

    range_x=x;
    range_y=abs(y);

    //delay(5);
    //transmitRangeReport();
    received_B = false;
} else {
    received_B = false;
}
}
```

Figura 78. Parte de Código del ancla, condicionales para saber si llega la señal de las otras anclas y envío de posición al tag (autor)

Una vez se tenía al Arduino con el tag imprimiendo la posición en el monitor serie se procede a conectar el Arduino a la Raspberry por el puerto serial para empezar a enviar los datos del monitor serie a la Raspberry y que esta creara un archivo para almacenar esas posiciones para posteriormente graficarlas.

```
1 import serial
2 import time
3
4
5 arduino = serial.Serial("/dev/ttyACM0", baudrate=9600, timeout=3.0)
6
7 archivo = open("prueba_SLAM.txt", "w")
8 archivo.close()
9 while True:
10     archivo = open("Prueba_SLAM.txt", "a")
11     val = arduino.readline()
12     print(val)
13
14     x = str(val)
15     archivo.write("\n")
16     archivo.write(x)
17
18     archivo.close()
19 arduino.close()
```



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



Figura 79. Código en Raspberry comunicación serial con Arduino y crear archivos con la información del tag (autor)

El resultado del Código anterior.

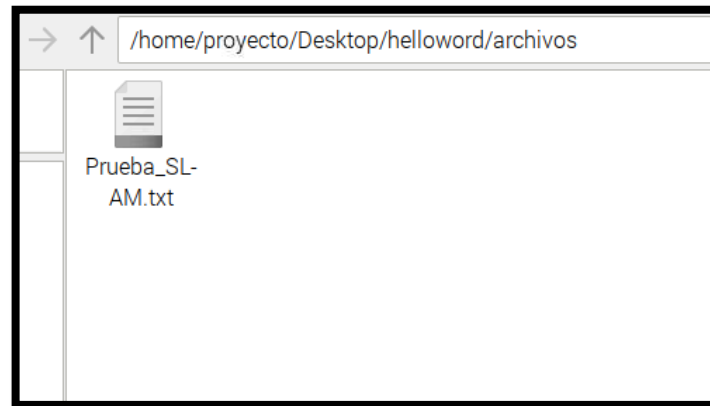


Figura 80. Captura del archivo de texto creado por la Raspberry (autor)

Ahora se presentará el diagrama de flujo realizado para el Código de movilidad donde controlamos los sensores ultrasonidos para evitar la colisión del robot y también los controladores para los motores.

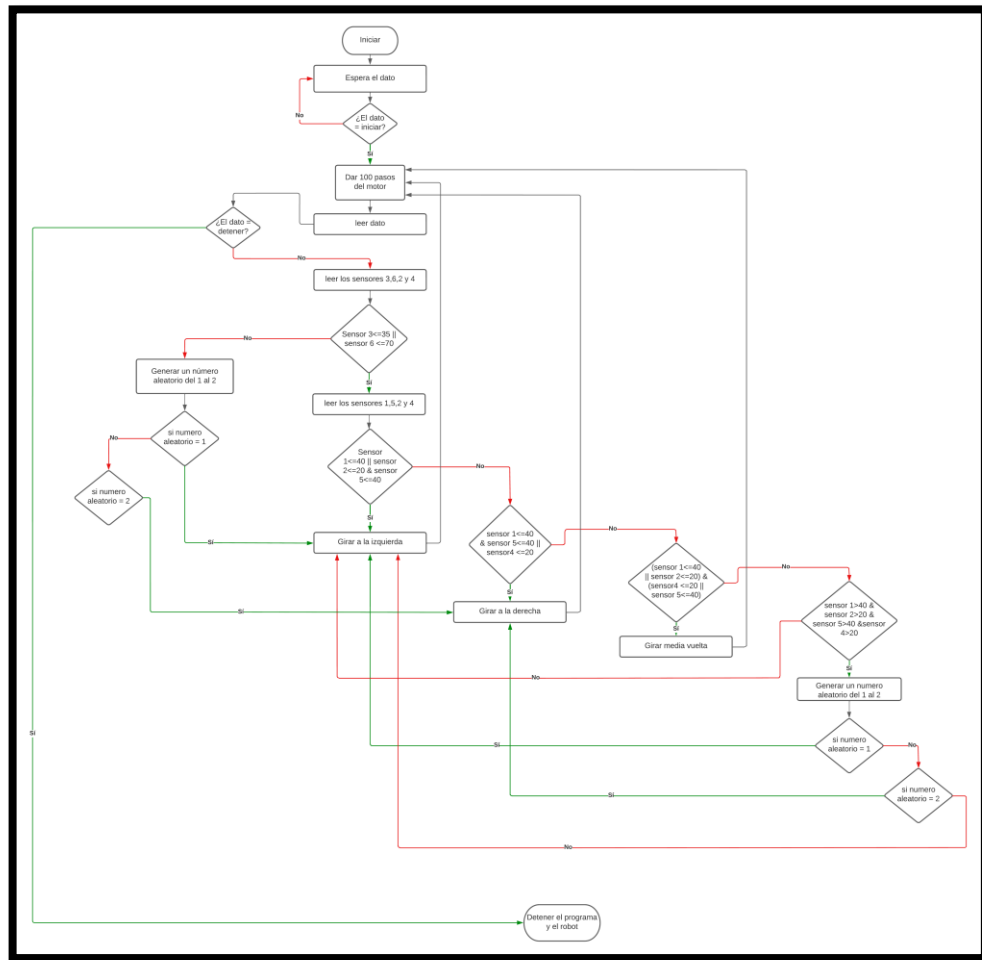


Figura 81. Diagrama de flujo de la programación de movilidad y sensores de obstáculos (autor)

A continuación, se mostrarán capturas del código de movilidad al cual se le realizó el diagrama de flujo anterior.



```
byte directionPin = 3; // va al cw
byte stepPin = 2; // va al clk
byte enablePin = 31; // va al en

byte directionPin2 = 5; // va al cw
byte stepPin2 = 4; // va al clk
byte enablePin2 = 33; // va al en

int numeroPasos=100;
int mili=7;

//sensor 1
const int EchoPin1 = 26;
const int TriggerPin1 = 28;

//sensor 2
const int EchoPin2 = 30;
const int TriggerPin2 = 32;

//sensor 3
const int EchoPin3 = 34;
const int TriggerPin3 = 36;

//sensor 4
const int EchoPin4 = 38;
const int TriggerPin4 = 40;

//sensor 5
const int EchoPin5 = 42;
const int TriggerPin5 = 44;

//sensor 6
const int EchoPin6 = 46;
const int TriggerPin6 = 48;

int inicio = 0;
```

Figura 82. Parte de Código de movilidad, declaración de pines (autor)

```
void setup() {

  Serial.begin(9600);

  pinMode(TriggerPin1, OUTPUT);
  pinMode(EchoPin1, INPUT);

  pinMode(TriggerPin2, OUTPUT);
  pinMode(EchoPin2, INPUT);

  pinMode(TriggerPin3, OUTPUT);
  pinMode(EchoPin3, INPUT);

  pinMode(TriggerPin4, OUTPUT);
  pinMode(EchoPin4, INPUT);

  pinMode(TriggerPin5, OUTPUT);
  pinMode(EchoPin5, INPUT);

  pinMode(TriggerPin6, OUTPUT);
  pinMode(EchoPin6, INPUT);

  pinMode(directionPin, OUTPUT);
  pinMode(stepPin, OUTPUT);
  pinMode(enablePin, OUTPUT);
  digitalWrite(enablePin, LOW);

  pinMode(directionPin2, OUTPUT);
  pinMode(stepPin2, OUTPUT);
  pinMode(enablePin2, OUTPUT);
  digitalWrite(enablePin2, LOW);

}
```

Figura 83. Parte de Código de movilidad, configuración de los pines declarados (autor)



```
void loop() {  
  
  if (Serial.available()>0){  
    String dato = Serial.readStringUntil('\n');  
    if (dato == "iniciar"){  
      inicio = 1;  
    }  
    else if (dato == "detener"){  
      inicio = 2;  
    }  
  }  
  
  while (inicio == 1){  
  
    int cm3 = ping(TriigerPin3, EchoPin3);  
    int cm6 = ping(TriigerPin6, EchoPin6);  
    int cm2 = ping(TriigerPin2, EchoPin2);  
    int cm4 = ping(TriigerPin4, EchoPin4);  
    //Serial.print("Distancia: ");  
    //Serial.println(cm3);  
    //delay(100);  
  
    if (cm3<=35 || cm6<=35){  
  
      int cm1 = ping(TriigerPin1, EchoPin1);  
      int cm5 = ping(TriigerPin5, EchoPin5);  
      int cm2 = ping(TriigerPin2, EchoPin2);  
      int cm4 = ping(TriigerPin4, EchoPin4);  
  
      if ((cm1<=40 || cm2<=20) && cm5>40){  
        giriz();  
      }  
      else if (cm1>40 && (cm5<=40 || cm4<=20)){  
        girder();  
      }  
      else if ((cm1<=40 || cm2<=20) && (cm5<=40 || cm4<=20)){  
        girmed();  
      }  
    }  
  }  
}
```

Figura 84. Parte del código de movilidad, lectura del dato y sensores (autor)

```
else if (cm4<=25 && cm3>35 && cm6>70){  
  girmedder();  
}  
  
else {  
  digitalWrite(enablePin,HIGH);  
  digitalWrite(directionPin,LOW);  
  
  digitalWrite(enablePin2,HIGH);  
  digitalWrite(directionPin2,HIGH);  
  
  for(int n =0; n<numeroPasos; n++){  
    digitalWrite(stepPin,HIGH);  
    digitalWrite(stepPin2,HIGH);  
    digitalWrite(stepPin,LOW);  
    digitalWrite(stepPin2,LOW);  
    delay(milli);  
  }  
  
  digitalWrite(enablePin,LOW);  
  digitalWrite(enablePin2,LOW);  
  
  randomSeed(analogRead(A2));  
  long randomNumber2 = random(1,21);  
  if (randomNumber2 == 1){  
    giriz();  
  }  
  if (randomNumber2 == 2){  
    girder();  
  }  
  else{  
  }  
}
```

Figura 85. Parte del código de movilidad, orden de mover el motor y numero aleatorios (autor)



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



```
void giriz () {  
  
    digitalWrite (enablePin, HIGH);  
    digitalWrite (directionPin, LOW);  
    digitalWrite (enablePin2, HIGH);  
    digitalWrite (directionPin2, LOW);  
  
    for (int n = 0; n < 664; n++) {  
        digitalWrite (stepPin, HIGH);  
        digitalWrite (stepPin2, HIGH);  
        digitalWrite (stepPin, LOW);  
        digitalWrite (stepPin2, LOW);  
        delay (milli);  
    }  
  
    digitalWrite (enablePin, LOW);  
    digitalWrite (enablePin2, LOW);  
}  
  
void girder () {  
  
    digitalWrite (enablePin, HIGH);  
    digitalWrite (directionPin, HIGH);  
    digitalWrite (enablePin2, HIGH);  
    digitalWrite (directionPin2, HIGH);  
  
    for (int n = 0; n < 664; n++) {  
        digitalWrite (stepPin, HIGH);  
        digitalWrite (stepPin2, HIGH);  
        digitalWrite (stepPin, LOW);  
        digitalWrite (stepPin2, LOW);  
        delay (milli);  
    }  
  
    digitalWrite (enablePin, LOW);  
    digitalWrite (enablePin2, LOW);  
}
```

Figura 86. Parte de código de movilidad, funciones para girar a la izquierda o a la derecha (autor)

```
void girmed () {  
  
    digitalWrite (enablePin, HIGH);  
    digitalWrite (directionPin, HIGH);  
    digitalWrite (enablePin2, HIGH);  
    digitalWrite (directionPin2, HIGH);  
  
    for (int n = 0; n < 1330; n++) {  
        digitalWrite (stepPin, HIGH);  
        digitalWrite (stepPin2, HIGH);  
        digitalWrite (stepPin, LOW);  
        digitalWrite (stepPin2, LOW);  
        delay (milli);  
    }  
  
    digitalWrite (enablePin, LOW);  
    digitalWrite (enablePin2, LOW);  
}  
  
void girmediz () {  
  
    digitalWrite (enablePin, HIGH);  
    digitalWrite (directionPin, LOW);  
    digitalWrite (enablePin2, HIGH);  
    digitalWrite (directionPin2, LOW);  
  
    for (int n = 0; n < 332; n++) {  
        digitalWrite (stepPin, HIGH);  
        digitalWrite (stepPin2, HIGH);  
        digitalWrite (stepPin, LOW);  
        digitalWrite (stepPin2, LOW);  
        delay (milli);  
    }  
  
    digitalWrite (enablePin, LOW);  
    digitalWrite (enablePin2, LOW);  
}
```

Figura 87. Parte de código de movilidad, funciones para dar media vuelta y media vuelta a izquierda (autor)



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



6.4 REALIZACIÓN DE LAS PRUEBAS PRELIMINARES DE LA PERCEPCIÓN SLAM

En este apartado se mostrará la ejecución de los códigos para ver sus resultados, se comenzará mostrando el archivo de texto que se crea con las posiciones ya calculadas del tag.

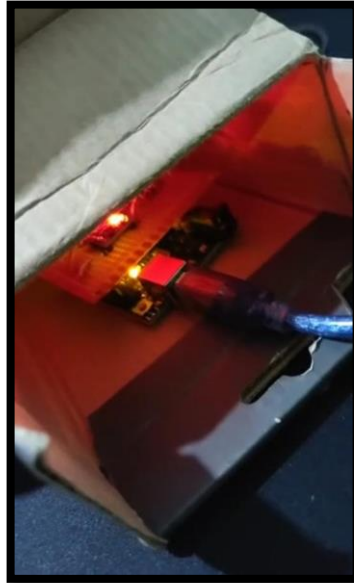


Figura 88. Tag a la hora de hacer la prueba del código (autor)



Figura 89. Ancla sostenida a cierta distancia (autor)



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



Prueba_SLAM.txt	
1	0.20, 0.10
2	0.20, 0.12
3	0.20, 0.15
4	0.20, 0.18
5	0.15, 0.22
6	0.20, 0.25
7	0.23, 0.30
8	0.30, 0.35
9	0.30, 0.50
10	0.40, 0.55
11	0.55, 0.70
12	0.65, 0.72
13	0.80, 0.70
14	0.90, 0.75
15	1.05
16	1.2, 0.85
17	1.39, 0.32
18	1.42, 0.27
19	1.39, 0.29
20	1.44, 0.29
21	1.44, 0.29

Figura 90. Posiciones guardadas en un archivo de texto para posteriormente graficarlas (autor)
 Ahora se mostrarán unas imágenes de las pruebas de movilidad y con los sensores y motores



Figura 91. Robot en sus primeras pruebas a la detección de un obstáculo (la pared) (autor)



Figura 92. Otra prueba de movilidad con un obstáculo puesto (autor)

Con las imágenes presentadas anteriormente se da por concluido el objetivo 5 el cual constaba de las programaciones para el SLAM y como fueron sus primeras pruebas.



7. IMPLEMENTAR EL SISTEMA DE SLAM PARA LA NAVEGACIÓN DEL SISTEMA DE ESTERILIZACIÓN UV-C

7.1 EJECUCIÓN DEL ALGORITMO SLAM Y SOMETIMIENTO A PRUEBAS

las imágenes que se verán a continuación fueron los resultados durante la prueba del algoritmo SLAM que se realizaron en una habitación con un espacio muy limitado.

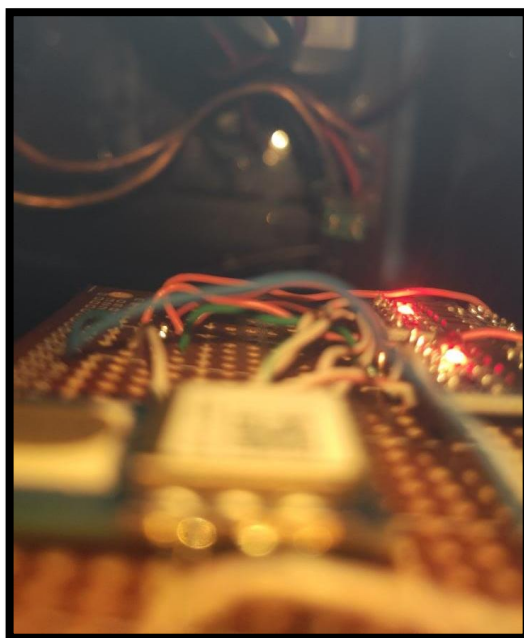


Figura 93. Tag ubicado en el robot (autor)

El tag ya ubicado en el interior del robot no nos presentó ningún tipo de interferencia, ahora veremos las ubicaciones de las antenas o anclas puestas en el alrededor de la habitación.



Figura 94. Ancla principal (autor)



Figura 95. Ancla secundaria (autor)

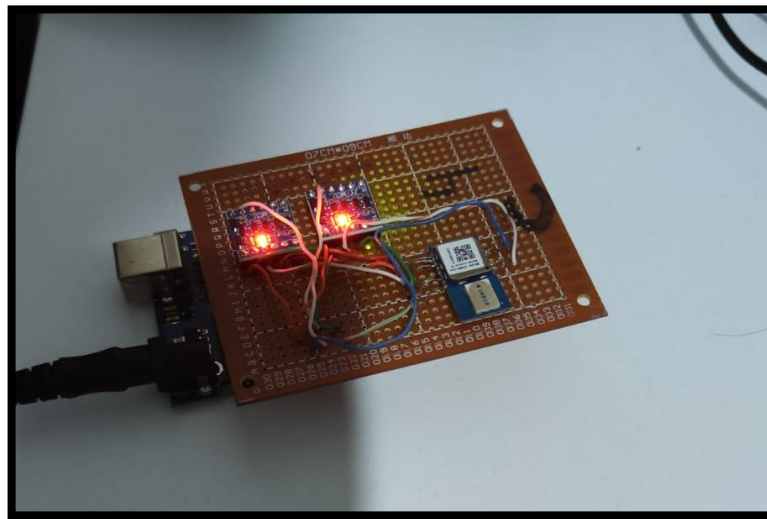


Figura 96. Tercera ancla (autor)



Figura 97. Robot en la habitación para la prueba (autor)

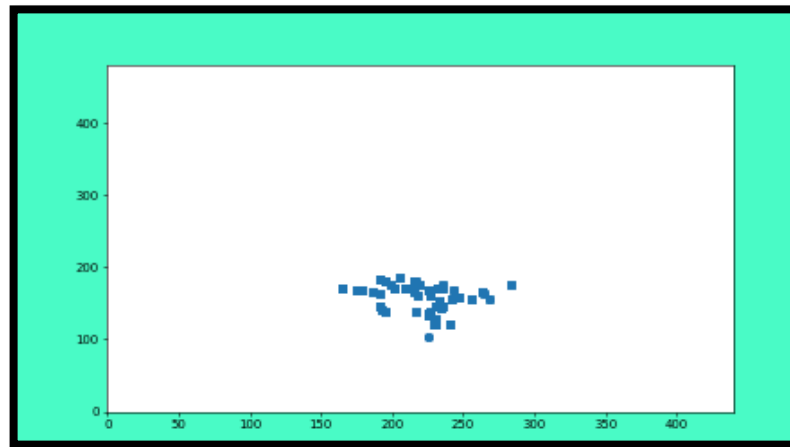


Figura 98. Mapa obtenido del desplazamiento del robot (autor)

El mapa es resultado del poco espacio que tenía el robot en el momento de la prueba por eso se ve una ligera línea horizontal de puntos más adelante veremos la validación del mapa en un ambiente más amplio.

7.2 REFINAMIENTO DEL ALGORITMO SLAM

En este apartado observamos que el algoritmo estaba funcionando de manera adecuada así que se le hicieron unos pequeños ajustes en cuanto a la interfaz gráfica del menú, la cual veremos desglosada en el siguiente diagrama de flujo.

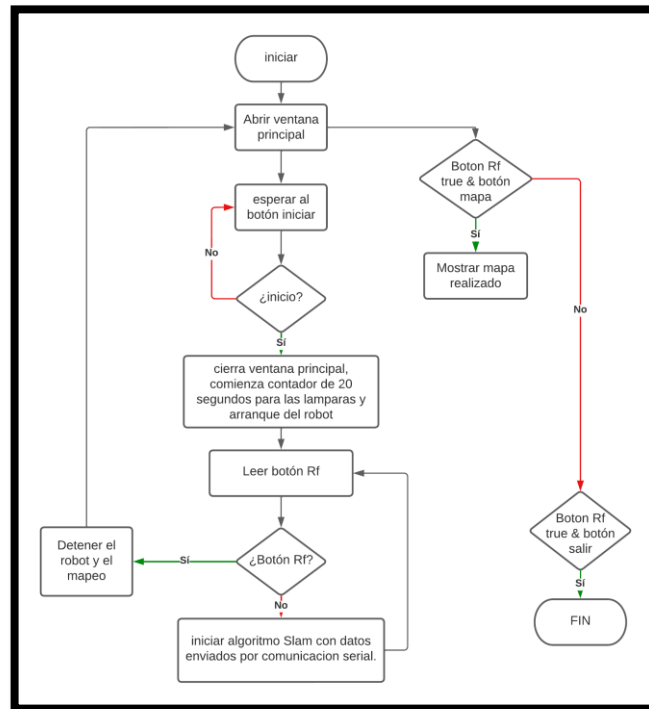


Figura 99. Diagrama de flujo de la interfaz gráfica (autor)

Ahora se anexan las capturas de pantalla del código de la interfaz gráfica hecho en la Raspberry pi 4 para la pantalla LCD 3.5”.

```

1  ##Interfaz Definitiva
2  import RPi.GPIO as GPIO
3  import time
4  import tkinter
5  from tkinter import *
6  import matplotlib.pyplot as plt
7  import numpy as np
8  from statistics import mode
9  import serial
10 from matplotlib.backends.backend_tkagg import FigureCanvasTkAgg
11
12 GPIO.setmode(GPIO.BOARD)
13 GPIO.setup(33,GPIO.IN)
14 # #relay 1
15 GPIO.setup(31,GPIO.OUT)
16 GPIO.output(31,GPIO.HIGH)
17 # #relay 2
18 # GPIO.setup(26,GPIO.OUT)
19
20

```

Figura 100. Código de la interfaz gráfica (autor)



```
listax = []
listay = []
global ventanaPrincipal
ventanaPrincipal = Tk()
ventanaPrincipal.geometry("480x320")
ventanaPrincipal.configure(bg='white')
ventanaPrincipal.title("UVC")

def iniciar():
    arduinomeg = serial.Serial("/dev/ttyUSB0", baudrate=9600)
    arduinomeg.flushInput()
    GPIO.setmode(GPIO.BOARD)
    GPIO.setup(31,GPIO.OUT)
    GPIO.setup(33,GPIO.IN)
    time.sleep(10)
    GPIO.output(31,GPIO.LOW)
    time.sleep(10)
    dato= "iniciar"
    mensaje= dato.encode('latin-1').strip()
```

Figura 101. código de la interfaz gráfica, función de la ventana principal (autor)

```
dato= iniciar
mensaje= dato.encode('latin-1').strip()
arduinomeg.write(mensaje)

arduino = serial.Serial("/dev/ttyACM0", baudrate=115200)
arduino.flushInput()

global ventanaMapa

ventanaMapa = Toplevel(ventanaPrincipal)
ventanaMapa.geometry("480x320")
ventanaMapa.configure(bg='white')
ventanaMapa.title("Mapa")
```

Figura 102. código de la interfaz gráfica, lectura del puerto serial (autor)



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



```

valor = arduino.readline()
valor = valor.decode('utf-8').strip()
file = open("MAPA.txt", "a")
file.write(valor)
file.write("\n")
print(valor)

file = open("MAPA.txt", "r")
valor = file.readlines()
rang = len(valor)
for i in range(rang):
    separador = valor[i].find(",")
    x= float(valor[i][0:separador])*100
    y=(float(valor[i][separador + 1:]))*100
    listax.append(x)
    listay.append(y)

plt.scatter(listax,listay,color='black')

```

Figura 103. código de la interfaz gráfica, agregando datos al documento de texto (autor)

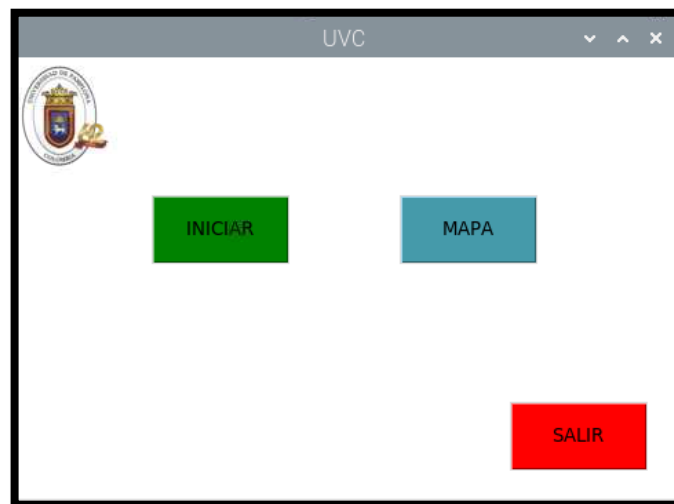


Figura 104. Menú principal de la interfaz gráfica (autor)



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co

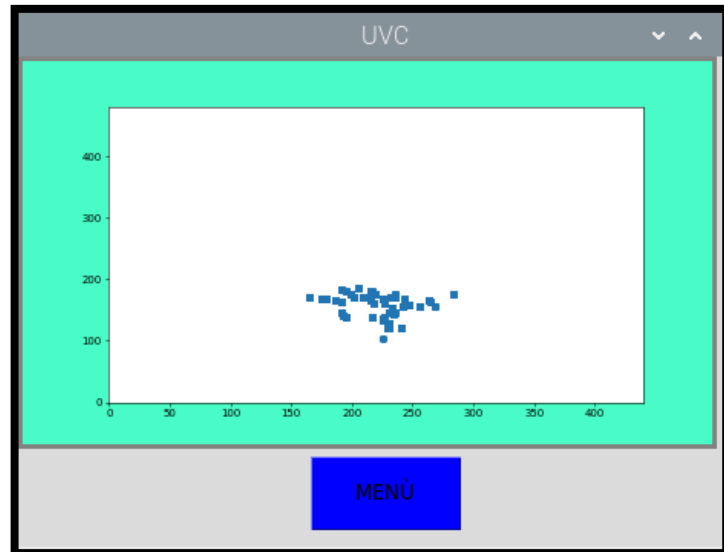


Figura 105. Mapa realizado después de los datos guardados con botón de volver al menú (autor)

Con esta última imagen finalizamos el objetivo número 6 donde hicimos la prueba del algoritmo en el robot en un ambiente cerrado y donde mejoramos el algoritmo haciendo arreglos y mejoras en la interfaz gráfica.



8. VALIDAR EL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE MOVILIDAD AUTÓNOMA PARA EL SISTEMA DE ESTERILIZACIÓN UV-C

8.1 PRUEBAS DE DESINFECCIÓN

En este objetivo se realizaron pruebas a las lámparas UV-C para determinar qué porcentaje de efectividad presentaba frente a unas bacterias tomadas, estas pruebas fueron hechas en el espacio controlado de Biotecnología en las instalaciones de Tecnoparque-SENA. La prueba fue realizada como se describe a continuación.

Se tomaron varias muestras de la bacteria *Staphylococcus aureus* y de la *E. coli*, en total fueron cinco muestras de cada bacteria una de muestra del *Staphylococcus aureus* fue tomada como control y lo mismo se hizo con una muestra de la *E. coli*.



Figura 106. Muestra de control bacteria *E. coli* (autor)

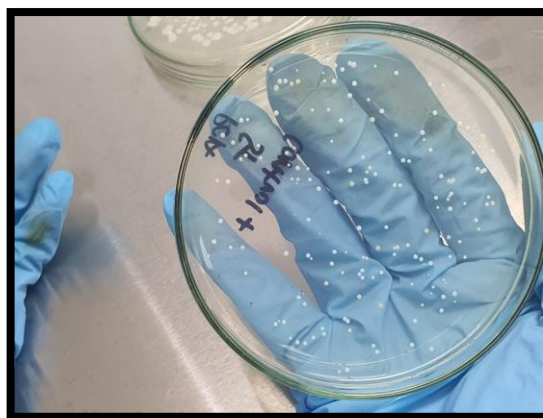


Figura 107. Muestra de control bacteria *Staphylococcus aureus* (autor)



Estas muestras se dejaron cultivando por algunos días para que hubiese colonias suficientes en cada muestra para realizar las pruebas con las lámparas UV-C.

A continuación, las pruebas se realizaron en dos tomas una que duró 5 minutos y la otra con una duración de 15 minutos, en ambas tomas se ponen las bacterias a dos distancias una a 50cm y otra a 100cm.

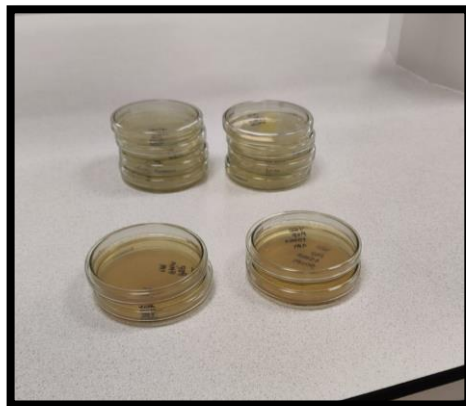


Figura 108. Muestras a las que se le realizó la prueba (autor)



Figura 109. Bacterias ubicadas a dos distancias para la prueba de 5 minutos (autor)



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



Figura 110. Bacterias posicionadas a dos distancias para la prueba de 15 minutos (autor)

Una vez ubicada las bacterias en las posiciones adecuadas se procede a encender las lámparas UV-C.



Figura 111. Lámparas encendidas para la prueba de 5 minutos (autor)



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



Figura 112. Lámparas encendidas para la prueba de 15 minutos (autor)

Una vez realizadas las dos pruebas con ambas bacterias se esperó dos días para realizar el conteo de las colonias que pudieron crecer nuevamente y hacer la comparación con la muestra control que no fue sometida a pruebas.

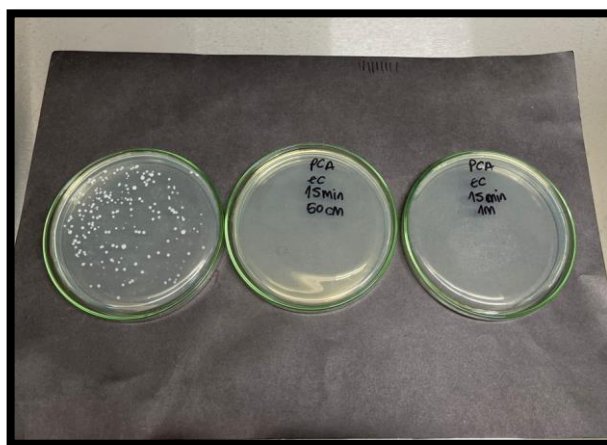


Figura 113. Muestra control vs Muestras sometidas a la prueba de 15 minutos bacteria E. coli (autor)



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co

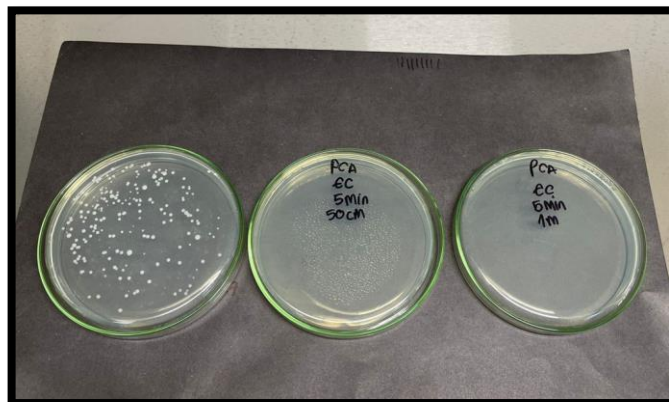


Figura 114. Muestra control vs Muestras sometidas a la prueba de 5 minutos bacteria E. coli (autor)

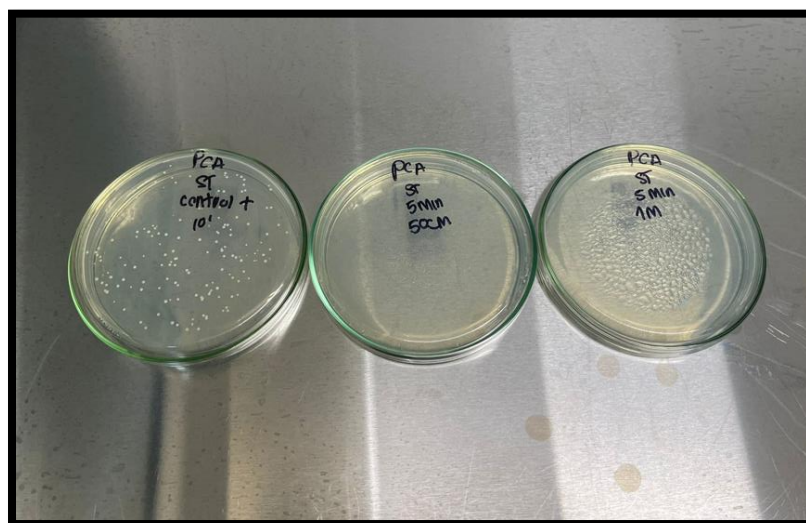


Figura 115. Muestra control vs Muestras sometidas a la prueba de 5 minutos bacteria Staphylococcus aureus (autor)

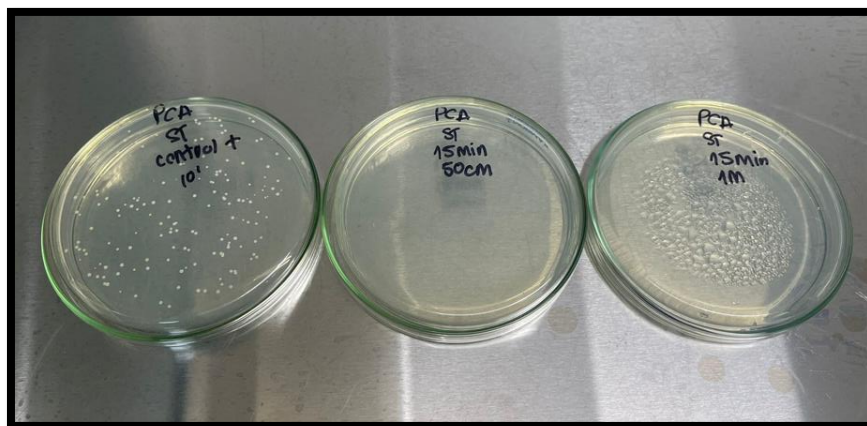


Figura 116. Muestra control vs Muestras sometidas a la prueba de 15 minutos bacteria Staphylococcus aureus (autor)

Los resultados obtenidos se presentan en la siguiente tabla.

	Tiempo 5 minutos		Tiempo 15 minutos	
Distancia Bacteria	50cm	100cm	50cm	100cm
E. coli	99.9% de eliminación	99.9% de eliminación	99.9% de eliminación	99.9% de eliminación
Staphylococcus aureus	99.9% de eliminación	99.9% de eliminación	99.9% de eliminación	99.9% de eliminación

Tabla 52. Resultados de las pruebas a las bacterias (autor)



8.2 VERIFICACIÓN DE LOS RESULTADOS DEL MAPEO

En este apartado observaremos las pruebas que se le hicieron al robot en un entorno cerrado para comparar el mapa creado por el algoritmo SLAM con el plano del entorno y así corroborar el correcto funcionamiento de la movilidad y del algoritmo SLAM.



Figura 117. Robot sometido a pruebas en un entorno cerrado (autor)

En la figura anterior podemos observar donde se ubica el robot con una de las antenas ubicadas a la izquierda del entorno preparado para comenzar.



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



Figura 118. Robot una vez puesto en marcha (autor)

En la figura anterior podemos ver al robot una vez inicio su movimiento y se observa la ubicación de las otras dos antenas.

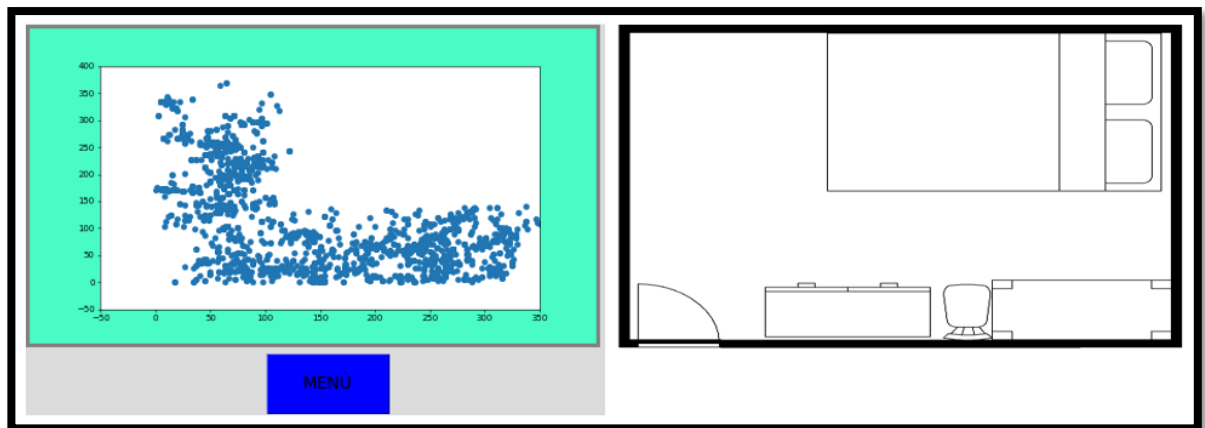


Figura 119. Mapa comparativo realizado por algoritmo SLAM vs planos del entorno (autor)

En la figura anterior se puede observar el resultado del mapa de puntos hecho por el algoritmo SLAM del robot, mostrando así las posiciones por las cuales se desplazó en la habitación después de un tiempo puesto en marcha comparado a la derecha con el plano del entorno para así validar el correcto funcionamiento del sistema de movilidad autónoma y del mapeo.



8.3 ETAPAS FUTURAS

En el presente proyecto se tuvo como objetivo brindar de autonomía al sistema de desinfección por radiación UV-C a partir de la construcción del robot, así como el desarrollo de un mapa de la zona a desinfectar a partir del uso del SLAM. Se plantea que partir de esta primera etapa se desarrolle como segunda etapa un análisis al mapa obtenido con la finalidad de generar trayectorias óptimas a seguir para la desinfección, disminuyendo la energía requerida para ello. Se plantean a continuación algunos ejemplos de tesis que han desarrollado dicho enfoque para el análisis de trayectorias en mapas establecidos.

Algoritmos de evitación de obstáculos usando el robot móvil ROSBOT 2.0

Autor: David Pérez Peralta.

Año de publicación: 2021.

En la presente tesis se aborda el desarrollo de un sistema de evasión de obstáculos para un robot ya construido, a partir de la comparativa de diversos algoritmos de este tipo, permitiendo que el robot se desplace de un punto a otro en el entorno sin colisionar⁸⁷.

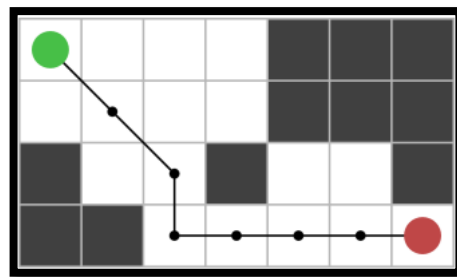


Figura 120. Camino resultante del algoritmo A*⁸⁸

⁸⁷ PÉREZ PERALTA, David. Algoritmos de evitación de obstáculos usando el robot móvil ROSBOT 2.0 [en línea]. Proyecto fin de carrera. Sevilla: Escuela Técnica Superior de Ingeniería Universidad de Sevilla, 2021 [consultado el 22, octubre, 2022]. 163 p. Disponible en Internet: <<https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/126506/TFG-3614-PEREZ%20PERALTA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>.

⁸⁸ Ibíd., p.24.

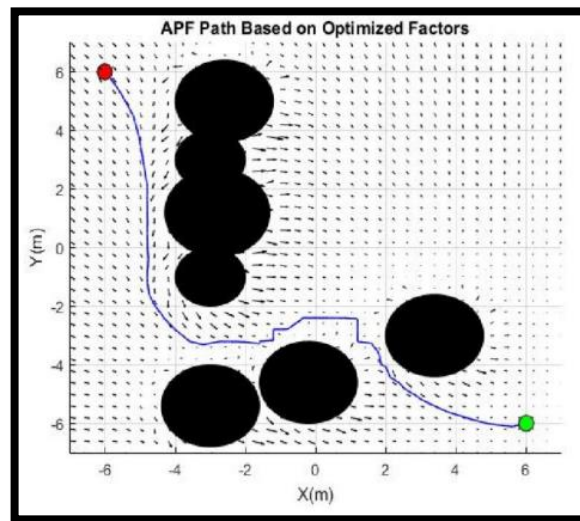


Figura 121. Resultado de un camino obtenido con el algoritmo APF⁸⁹

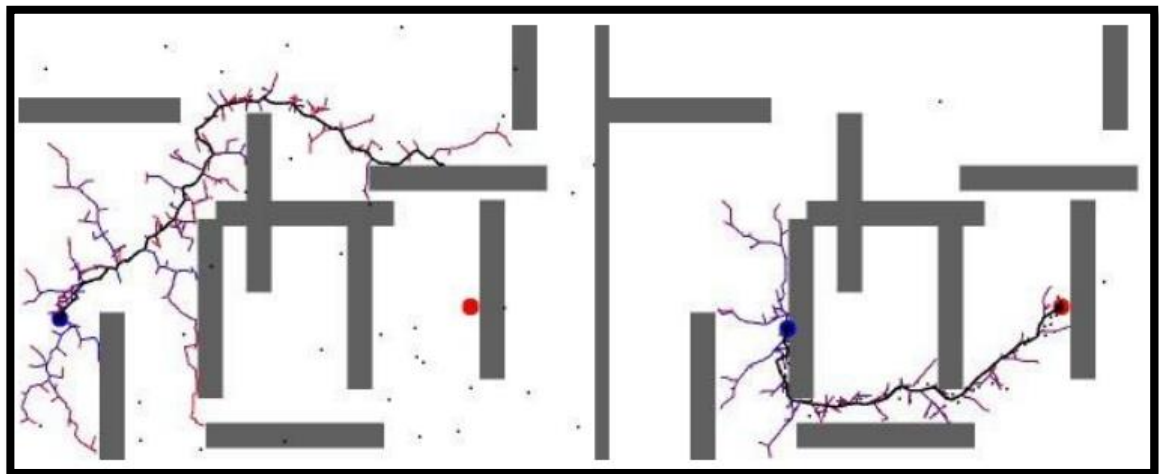


Figura 122. Representación de un camino encontrado con el método RRT⁹⁰

⁸⁹ Ibíd., p.25.

⁹⁰ Ibíd., p.26.



Desarrollo de un algoritmo para la evasión de obstáculos dinámicos con un robot móvil con técnica de aprendizaje por refuerzo

Autor: Lucas Gándara Vega.

Año de publicación: 2022.

El objetivo de la presente tesis es la implementación de un algoritmo de planeación de trayectorias a un robot móvil con la finalidad de brindar una ruta a seguir en un entorno establecido, para posteriormente realizar una adaptación a obstáculos dinámicos⁹¹.

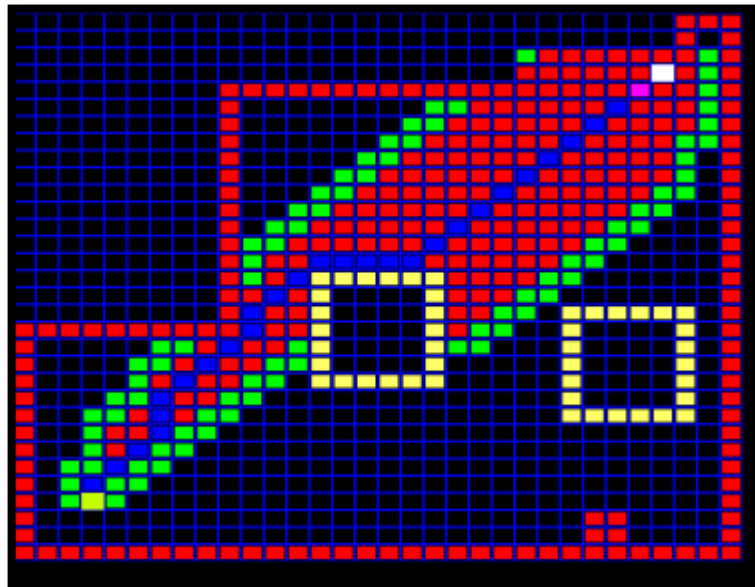


Figura 123. Planeación inicial de trayectoria⁹²

⁹¹ GÁNDARA VEGA, Lucas. Desarrollo de un algoritmo para la evasión de obstáculos dinámicos con un robot móvil con técnica de aprendizaje por refuerzo [en línea]. Trabajo de grado. BOGOTÁ: UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA, 2020 [consultado el 22, octubre, 2022]. 77 p. Disponible en Internet: <<https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/37992/GandaraVegaLucas2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>.

⁹² Ibíd., p.65.



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



8.4 ANÁLISIS DE COSTOS

Se procede a realizar VAN y TIR, de acuerdo con los costos que la empresa estableció

Inversión inicial	
Materiales	precio
Inversor	256000
raspberry	1200000
arduino uno	160000
arduino mega	143000
motores	684000
ultrasonidos	30000
DW1000	600000
acrílico	200000
ruedas	50000
lamparas	800000
chasis	120000
LCD	97000
bateria	175000
TOTAL	4515000

Figura 124. Tabla de inversión inicial (autor)

Datos	Valores
Numero de periodos	10
Tipo de periodo	Anual
Tasa de descuento	10%

Figura 125. Datos iniciales para el cálculo de VAN y TIR



Teniendo como proyección 2 horas al día los 4 días de la semana, 60000 por hora							
Ingresos			Egresos			Flujo efectivo neto	
1	24960000		1	865000		1	24095000
2	24960000		2	880000		2	24080000
3	24960000		3	1055000		3	23905000
4	24960000		4	890000		4	24070000
5	24960000		5	1700000		5	23260000
6	24960000		6	1100000		6	23860000
7	24960000		7	900000		7	24060000
8	24960000		8	900000		8	24060000
9	24960000		9	1100000		9	23860000
10	24960000		10	1800000		10	23160000

Figura 126. Tablas según proyecciones de la empresa (autor)

Detalle	PERIODO										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Flujo neto efectivo	-4515000	24095000	24080000	23905000	24070000	23260000	23860000	24060000	24060000	23860000	23160000

Figura 127. Flujo efectivo neto por periodo

La ecuación para calcular el VAN

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{Ft}{(1+k)^t} - I_0$$

Ecuación 2. Fórmula para calcular el VAN⁹³

Donde Ft es el flujo efectivo neto, t es el número de periodo, k es la tasa de descuento y lo es la inversión inicial.

⁹³ Cómo calcular la viabilidad económica de una inversión. (s. f.). Hablemos de empresas. <https://hablemosdeempresas.com/empresa/calculo-van-excel/>



Nro	Ft	$(1+k)^n$	$FNE/(1+k)^n$
0	-4515000		-4515000
1	24095000	1,10	21904545,45
2	24080000	1,21	19900826,45
3	23905000	1,33	17960180,32
4	24070000	1,46	16440133,87
5	23260000	1,61	14442629,97
6	23860000	1,77	13468347,97
7	24060000	1,95	12346584,32
8	24060000	2,14	11224167,57
9	23860000	2,36	10118969,17
10	23160000	2,59	8929182,583
VAN			\$ 142.220.568

Figura 128. Cálculo del VAN hecho en Excel (autor)

Tasa interna de retorno	
Tasa de descuento	VAN
0%	\$ 233.895.000,00
5%	\$ 179.738.240,79
10%	\$ 142.220.567,68
15%	\$ 115.422.407,69
20%	\$ 95.741.459,37
25%	\$ 80.918.791,58
30%	\$ 69.498.105,51
35%	\$ 60.516.201,83
40%	\$ 53.320.733,65
45%	\$ 47.460.066,07
50%	\$ 42.615.079,26
55%	\$ 38.555.977,68
60%	\$ 35.114.353,50
TIR	534%

Figura 129. Cálculo del TIR hecho en Excel (autor)



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



El VAN y el TIR también se calcularon teniendo otro tipo de proyección teniendo en cuenta los mismos datos en cuanto al número de periodos, como se presenta a continuación

Teniendo como proyección 2 horas al día los 2 días de la semana, 60000 por hora							
Ingresos			Egresos			Flujo efectivo neto	
1	12480000		1	865000		1	11615000
2	12480000		2	880000		2	11600000
3	12480000		3	1055000		3	11425000
4	12480000		4	890000		4	11590000
5	12480000		5	1700000		5	10780000
6	12480000		6	1100000		6	11380000
7	12480000		7	900000		7	11580000
8	12480000		8	900000		8	11580000
9	12480000		9	1100000		9	11380000
10	12480000		10	1800000		10	10680000

Figura 130. Tablas según proyecciones de la empresa (autor)

Detalle	PERIODO										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Flujo neto efectivo	-4515000	11615000	11600000	11425000	11590000	10780000	11380000	11580000	11580000	11380000	10680000

Figura 131. Flujo efectivo neto por periodo (autor)

Nro	Ft	(1+k)^	FNE/(1+k)^
0	-4515000		-4515000
1	11615000	1,10	10559090,91
2	11600000	1,21	9586776,86
3	11425000	1,33	8583771,6
4	11590000	1,46	7916125,948
5	10780000	1,61	6693531,863
6	11380000	1,77	6423713,324
7	11580000	1,95	5942371,009
8	11580000	2,14	5402155,463
9	11380000	2,36	4826230,897
10	10680000	2,59	4117602,331
VAN			\$ 65.536.370

Figura 132. Cálculo del VAN hecho en Excel (autor)



Tasa interna de retorno	
Tasa de descuento	VAN
0%	\$ 109.095.000,00
5%	\$ 83.370.988,88
10%	\$ 65.536.370,20
15%	\$ 52.788.175,23
20%	\$ 43.419.407,75
25%	\$ 36.358.910,76
30%	\$ 30.915.692,57
35%	\$ 26.632.467,76
40%	\$ 23.199.367,98
45%	\$ 20.401.761,14
50%	\$ 18.087.923,84
55%	\$ 16.148.556,74
60%	\$ 14.503.528,39
TIR	257%

Figura 133. Cálculo del TIR hecho en Excel (autor)



9. CONCLUSIONES

- A partir del estudio de los tipos de SLAM se concluye que el algoritmo SLAM que se elige puede ser adaptado a las necesidades del proyecto haciendo cambios en los sensores o incluso en el mismo algoritmo, influyendo así directamente en la autonomía del robot.
- Las diversas propuestas de diseño de robots móviles ([figura 1](#)) permiten una gran adaptabilidad frente a diversos entornos, sin embargo, los criterios de diseño establecidos para la configuración de locomoción en el entorno objetivo ([tabla 1](#)) tienen como finalidad un diseño minimalista y económico que cumpla plenamente con un correcto desplazamiento en el entorno designado, por ende, se establece a partir de la [tabla 3](#) el uso de ruedas frente a otros sistemas de locomoción, y a partir de las posibles configuraciones de las mismas ([figura 13](#)) se denota que la que mejor cumple con los criterios de movilidad según la configuración cinemática ([tabla 4](#)) es la de tracción diferencial ([tabla 6](#)), determinando así un diseño simple y confiable que cumpla a cabalidad el desplazamiento del robot en el entorno destinado.
- En la realización del diseño del chasis del robot a partir de la configuración cinemática seleccionada ([figura 39](#)) se establece que el robot contará con dos ruedas caster para brindar un mejor soporte a la estructura, así como con una jaula para las lámparas ([figura 42](#)), salvaguardando de esta forma la integridad de las mismas frente a golpes. De esta forma, se obtiene un diseño confiable ([figura 44](#)) tanto en la ejecución del desplazamiento como de seguridad, ya que las lámparas contienen mercurio.
- En la realización del diseño electrónico para la posición ([figura 50](#)) difiere con respecto al diseño guía ([figura 49](#)) en que no se usa un regulador de 5V a 3V, esto debido a que se realiza un aprovechamiento de la salida de 3V presente en el Arduino UNO seleccionado previamente ([tabla 31](#)), cumpliendo de esta manera el objetivo de realizar un diseño electrónico que permita el uso del sensor DW1000 para determinar la posición del robot a su vez que se disminuyen costos en el mismo.



- En el ensamblaje del chasis con la carrocería y los circuitos electrónicos ([figura 68](#)) se valida que la selección del material en la [tabla 44](#) a partir de los requerimientos de la [tabla 42](#) fue adecuado, ya que cumple el objetivo a cabalidad, manteniendo una estructura firme y que soporta la carga de los componentes.
- La selección del algoritmo SLAM en [la tabla 51](#) permite comparar dos métodos posibles de hacer gracias a los sensores seleccionados en la [tabla 10](#) y [tabla 13](#), una vez seleccionado el algoritmo se re afirma la idea de que el algoritmo SLAM se puede modificar para adecuarlo según las necesidades, es por eso como se aprecia que la idea base del algoritmo GPS-SLAM se re plantea con unos módulos capaces de realizar la función de un GPS en escalas mucho más pequeñas y adecuadas para cumplir con las condiciones que se solicitan en el proyecto.
- Al observar los resultados obtenidos en la [figura 105](#) se concluye que la implementación del algoritmo SLAM junto a su modificación fueron las adecuadas para la resolución del objetivo principal del proyecto, gracias al correcto funcionamiento de los sensores de posición los cuales reemplazaron los sensores GPS de la idea principal del GPS-SLAM, todo apoyado en los sensores que evitan las colisiones con objetos.
- Los resultados de las pruebas realizadas al sistema de desinfección ([figura 112](#)) para la verificación de la validez del mismo se observan en la [tabla 52](#), en esta se puede apreciar que tanto para las bacterias de E. coli como para las de Staphylococcus aureus el resultado es el mismo independientemente de la distancia y el tiempo de exposición, bien sea a 50 centímetros a 5 minutos, 50 centímetros a 15 minutos, 1 metro a 5 minutos o 1 metro a 15 minutos, alcanza un 99.9% de eliminación de este tipo de bacterias, por lo que se concluye que el sistema de desinfección cumple a cabalidad con su propósito.
- En el apartado de verificación de resultados del mapeo se somete al robot a una prueba de mapeo en una habitación ([figura 117](#)), donde se debe mover de manera autónoma ([figura 118](#)) y realizar el mapa de la zona por donde transitó, el cual se aprecia en la [figura 119](#) junto con un croquis de la habitación. Se puede evidenciar el trazado de puntos por donde el robot



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



puede transitar, siendo así las zonas libres de puntos los obstáculos presentes dentro del entorno.

- Según los resultados observados en [figura128](#) - [figura129](#) los cuales demuestran la rentabilidad el proyecto a largo plazo con una proyección ideal y a su vez los resultados observados en [figura132](#) - [figura133](#) que demuestran la rentabilidad el proyecto con una proyección menos favorable, se concluye la alta rentabilidad que se puede llegar a obtener incluso llegando a tener margen para mejorar así el costo de la inversión inicial se incrementa.



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



10. RECOMENDACIONES

10.1 RECOMENDACIONES DE USO

- El robot una vez pulsado el botón de inicio en la pantalla táctil encenderá las lámparas UV-C transcurridos 10 segundos, por lo que el usuario debe de salir de la habitación en ese lapso de tiempo con el fin de evitar la exposición.
- Antes de la inicialización del robot, cerciorarse de que no haya personas, animales o plantas en la habitación a desinfectar.
- Para el apagado del robot evitar ingresar al área de desinfección mientras las lámparas estén encendidas y apagarlo manualmente, con el uso del control de RF se apagarán las lámparas UV-C y se detendrá el robot, permitiendo el ingreso a la habitación sin exponerse.
- El robot se encuentra desarrollado para transitar por entorno estático cerrado sin desniveles en el suelo.
- Se debe de cerrar la puerta de la habitación en la que se realizará la desinfección ya que el robot puede salir.

10.2 RECOMENDACIONES PARA TRABAJOS FUTUROS

- El robot cuenta con una sensórica que le permite el desplazamiento y la evasión de obstáculos dentro del entorno, sin embargo, se pueden aumentar la red de sensores para una mayor fiabilidad.
- Se deja abierto a criterio el tipo de análisis a implementar al mapa desarrollado en este trabajo para la obtención de trayectorias óptimas en el entorno mapeado.
- Motores que permitan un desplazamiento más rápido del robot.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Álvarez, S. (2019). Navegación Autónoma De Un Robot Móvil Omnidireccional En Trayectorias Predeterminadas Con Evitación De Obstáculos.

AMORES CUENCA, Pablo. Estudio del módulo DWM1001 de Decawave para la medida de rangos en UWB [en línea]. Trabajo Fin de Grado. [s.l.]: Universidad de Alcalá Escuela Politécnica Superior, 2021 [consultado el 5, octubre, 2022]. 217 p. Disponible en Internet: <https://ebuah.uah.es/dspace/bitstream/handle/10017/49069/TFG_%20Amores_Cuenca_2021.pdf>.

ARDUINO MEGA: Características, Capacidades y donde conseguirlo en Panamá [Anónimo]. Panama Hitek [página web]. [Consultado el 20, octubre, 2022]. Disponible en Internet: <<https://panamahitek.com/arduino-mega-caracteristicas-capacidades-y-donde-conseguirlo-en-panama/>>.

ARDUINO NANO | Arduino.cl - Compra tu Arduino en Línea [Anónimo]. Arduino.cl - Compra tu Arduino en Línea [página web]. [Consultado el 20, octubre, 2022]. Disponible en Internet: <<https://arduino.cl/arduino-nano/>>.

ARDUINO UNO | Arduino.cl - Compra tu Arduino en Línea [Anónimo]. Arduino.cl - Compra tu Arduino en Línea [página web]. [Consultado el 20, octubre, 2022]. Disponible en Internet: <<https://arduino.cl/arduino-uno/>>.

BARRIENTOS SOTELO, Víctor Ricardo; GARCÍA SÁNCHEZ, José Rafael y SILVA ORTIGOZA, Ramón. Robots Móviles: Evolución y Estado del Arte. En: Polibits [en línea]. 2017. no. 35 [consultado el 3, octubre, 2022], p. 12-17. Disponible en Internet: <<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=402640448003>>. ISSN 1870-9044.



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



BATERÍA SELLADA 12V 18 AH Netion [Anónimo]. La Red Electrónica – Tiendas Tecnológicas [página web]. [Consultado el 13, octubre, 2022]. Disponible en Internet: <<https://laredelectronica.com/producto/bateria-12v-18-amp/>>.

Calderón, S., & López, J. (2018). Robotica móvil. Jóvenes En La Ciencia, 4(1), 1–5. <https://www.jovenesenlaciencia.ugto.mx/index.php/jovenesenlaciencia/article/view/2837/2090>

Chandrachary, S. (2021). Introduction to 3D SLAM with RTAB-Map. Shivachandrachary.Medium.Com. <https://shivachandrachary.medium.com/introduction-to-3d-slam-with-rtab-map-8df39da2d293>

Cómo calcular la viabilidad económica de una inversión. (s. f.). Hablemos de empresas. <https://hablemosdeempresas.com/empresa/calculo-van-excel/>

COMPARACIÓN ARDUINO Uno – Arduino Nano | Robots Didácticos [Anónimo]. Robots Argentina - Robótica - Principal [página web]. [Consultado el 20, octubre, 2022]. Disponible en Internet: <<https://robots-argentina.com.ar/didactica/comparacion-arduino-uno-arduino-nano/>>.

COMUNICACIÓN RF 385, 433 y 815Mhz con Arduino y CC1101 [Anónimo]. Luis Llamas [página web]. [Consultado el 19, octubre, 2022]. Disponible en Internet: <<https://www.luisllamas.es/comunicacion-rf-385-433-y-815mhz-con-arduino-y-cc1101/>>.

CONSOLIDATED TEXT: Directiva 2006/25/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 5 de abril de 2006 sobre las disposiciones mínimas de seguridad y de salud relativas a la exposición de los trabajadores a riesgos derivados de los agentes físicos (radiaciones ópticas artificiales) (decimonovena Directiva específica con arreglo al artículo 16, apartado 1, de la Directiva 89/391/CEE) [Anónimo]. EUR-Lex Access to European Union law [página web]. (2006).



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



[Consultado el 2, octubre, 2022]. Disponible en Internet: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/es/TXT/?uri=CELEX:02006L0025-20140101>.

DAMIRCHI, Mohammad. Interfacing DWM1000 Positioning Module with Arduino. Electropeak [página web]. [Consultado el 1, octubre, 2022]. Disponible en Internet: <https://electropeak.com/learn/interfacing-dwm1000-positioning-module-with-arduino/>.

DIRECTIVA 2011/65/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 8 de junio de 2011 , sobre restricciones a la utilización de determinadas sustancias peligrosas en aparatos eléctricos y electrónicos (versión refundida) Texto pertinente a efectos del EEE [Anónimo]. EUR-Lex Access to European Union law [página web]. (2011). [Consultado el 2, octubre, 2022]. Disponible en Internet: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=celex:32011L0065>.

Display LCD 7" capacitivo para Raspberry - Oficial. (s. f.). Didácticas Electrónicas. <https://www.didacticaselectronicas.com/index.php/optoelectronica/displays-lcd/shields-1/raspberry-1/display-lcd-7-capacitivo-para-raspberry-displays-pantallas-lcd-tactil-touch-tactiles-touch-screen-capacitivos-capacitivas-graficas-para-raspberry-pi-sparkfun-detail>

DW1000 [Anónimo]. Mouser Electronics [página web]. [Consultado el 19, octubre, 2022]. Disponible en Internet: <https://co.mouser.com/ProductDetail/Qorvo/DWM1000?qs=TiOZkKH1s2R6b5D6df63Pg==>.

EMPEZANDO CON Arduino - 3C: Sensor Ultrasónico HC-SR04 [Anónimo]. techmake [página web]. (12, mayo, 2020). [Consultado el 14, octubre, 2022]. Disponible en Internet: <https://techmake.com/blogs/tutoriales/empezando-con-arduino-3c-sensor-ultrasonico-hc-sr04>.



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



ESP32 UWB (ULTRA Wideband) [Anónimo]. Makerfabs [página web]. [Consultado el 19, octubre, 2022]. Disponible en Internet: <https://www.makerfabs.com/esp32-uwband-ultra-wideband.html>.

FERNÁNDEZ, Yúbal. Bluetooth: diferencias y características de sus clases y versiones. Xataka - Tecnología y gadgets, móviles, informática, electrónica [página web]. (21, abril, 2020). [Consultado el 15, octubre, 2022]. Disponible en Internet: <https://www.xataka.com/basics/bluetooth-diferencias-caracteristicas-sus-clases-versiones>.

Forero, L., & Garzón, L. (2018). Diseño e implementación de un sistema de visión artificial usando una técnica de mapeo y localización simultánea (SLAM) sobre una plataforma robótica móvil. Universidad de Pamplona. Disponible en Internet: <https://www.fesc.edu.co/Revistas/OJS/index.php/mundofesc/article/view/288>.

GABRI. La precisión del GPS ¿cómo funciona y cuáles son sus errores? ArcGeek [página web]. (18, mayo, 2018). [Consultado el 14, octubre, 2022]. Disponible en Internet: <https://acolita.com/la-precision-del-gps-como funciona-y-cuales-son-sus-errores/#:~:text=Un%20receptor%20GPS%20bien%20diseñado,mejor%20el%2095%%20del%20tiempo.>>.

GÁNDARA VEGA, Lucas. Desarrollo de un algoritmo para la evasión de obstáculos dinámicos con un robot móvil con técnica de aprendizaje por refuerzo [en línea]. Trabajo de grado. BOGOTÁ: UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA, 2020 [consultado el 22, octubre, 2022]. 77 p. Disponible en Internet: <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/37992/GandaraVegaLucas2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



GIL PÉREZ, Angel Eduardo. Robótica móvil: Qué es y sus aplicaciones. openwebinars [página web]. (6, julio, 2022). [Consultado el 17, octubre, 2022]. Disponible en Internet: <<https://openwebinars.net/blog/robotica-movil-que-es-y-sus-aplicaciones/>>.

Guarnizo, J., Bautista, D., & Sierra, S. (2021). Una Revisión Sobre la Evolución de la Robótica Móvil. Universidad Santo Tomás, 1–8. <https://doi.org/10.15332/dt.inv.2021.02848>

GUEVARA, Jorge Vinicio. “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE TRIANGULACIÓN POR RADIO FRECUENCIA (RF) EN ESPACIOS CERRADO PARA EL MONITOREO Y ALERTA DE ADULTOS MAYORES A TRAVÉZ DE UNA RED DE SENSORES INALÁMBRICOS [en línea]. Trabajo de Graduación. Riobamba: UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO, 2018 [consultado el 14, octubre, 2022]. 95 p. Disponible en Internet: <<http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/4587/1/UNACH-EC-ING-ELE-TEL-2018-0002.pdf>>.

HIGIENE Y SEGURIDAD. PROTECTORES INDIVIDUALES DE OJOS PARA SOLDAR. UTILIZACIÓN Y REQUISITOS DE TRANSMITANCIA. [Anónimo]. ICONTEC [página web]. [Consultado el 2, octubre, 2022]. Disponible en Internet: <<https://tienda.icontec.org/gp-higiene-y-seguridad-protectores-individuales-de-ojos-para-soldar-utilizacion-y-requisitos-de-transmitancia-ntc1836-1983.html#:~:text=ESTABLECE%20LA%20DESIGNACION%20Y%20LOS,INDUSTRIALES%20QUE%20PRESENTEN%20RIESGOS%20SIMILARES.>>>.

Inversor Corriente 500w Energia Solar, Vehiculos 12v Paco. (s. f.). Anuncios Clasificados gratis para comprar y vender en Colombia | CLASF. <https://www.clasf.co/inversor-corriente-500w-energia-solar-vehiculos-12v-paco-en-pereira-5667674/>



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



Inversor De 300W 12 Vdc a 110 Vac INV300WP. (s. f.). Suconel | Tienda electrónica | Colombia. <https://suconel.com/product/inversor-dc-ac-de-300w/>

ISO 3691-4:2020(EN) Industrial trucks — Safety requirements and verification — Part 4: Driverless industrial trucks and their systems [Anónimo]. ISO [página web]. (2020). [Consultado el 2, octubre, 2022]. Disponible en Internet: <<https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:3691:-4:ed-1:v1:en>>.

Kiss-Illés, D., Barrado, C. y Salamí, E. (2019). GPS-SLAM: An Augmentation of the ORB-SLAM Algorithm. Sensors, 19(22), 4973. <https://doi.org/10.3390/s19224973>

Lopez Torres, P. (2016). Análisis De Algoritmos Para Localización Y Mapeado Simultáneo De Objetos [Universidad de Sevilla]. <https://idus.us.es/xmlui/handle/11441/54393>

Lopez Torres, P. (2016). Análisis De Algoritmos Para Localización Y Mapeado Simultáneo De Objetos [Universidad de Sevilla]. <https://idus.us.es/xmlui/handle/11441/54393>

Low voltage directive (LVD) [Anónimo]. European Commission [página web]. [Consultado el 2, octubre, 2022]. Disponible en Internet: <https://single-market-economy.ec.europa.eu/sectors/electrical-and-electronic-engineering-industries-eei/low-voltage-directive-lvd_en>.

MÓDULO RF 315MHz receptor YK04 y emisor [Anónimo]. Arca Electrónica [página web]. [Consultado el 19, octubre, 2022]. Disponible en Internet: <<https://www.arcaelectronica.com/blogs/tutoriales/modulo-rf-315mhz-receptor-yk04-y-emisor#:~:text=El%20módulo%20RF%20YK04%20es,dependiendo%20la%20antena%20que%20utilicemos>>.



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



Motor paso a paso nema 23 Ficha técnica. (s.f.). Inno Industrial – Inno industrial. https://innoindustrial.com.mx/wp-content/uploads/2022/05/Inno-Nema-23.-Fichas-Tecnicas-1_compressed.pdf

OTAL FERNÁNDEZ, Jorge. DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE ROBOT FRIEGASUELOS AUTOMÁTICO (CLEANERBOT) [en línea]. ZARAGOZA: ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA DE LA ALMUNIA DE DOÑA GODINA (ZARAGOZA), 2015 [consultado el 23, septiembre, 2022]. 162 p. Disponible en Internet: <<https://core.ac.uk/download/pdf/289980762.pdf>>.

Otálora, D. (2020). Desarrollo de un Sistema de Monitoreo y Planificación de Procesos de Desinfección para Ambientes COVID-19 Estudiante David Camilo Otálora Riaño Trabajo Dirigido Tutor Prof . Dr . Carlos Andrés Cifuentes García Cotutor Prof . Dra . Márcela Cristina Múnera. https://repository.urosario.edu.co/bitstream/handle/10336/30709/TD_Trabajo_OtaloraDavid_Final.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Pantalla táctil 3.5 pulgadas - SignalGen. (s.f.). SignalGen. https://www.signalgen.com/boards/rpi/pantalla-tactil3_5/

PÉREZ PERALTA, David. Algoritmos de evitación de obstáculos usando el robot móvil ROSBOT 2.0 [en línea]. Proyecto fin de carrera. Sevilla: Escuela Técnica Superior de Ingeniería Universidad de Sevilla, 2021 [consultado el 22, octubre, 2022]. 163 p. Disponible en Internet: <<https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/126506/TFG-3614-PEREZ%20PERALTA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>.

QORVO ULTRA-WIDEBAND (UWB) Technology [Anónimo]. Mouser Electronics [página web]. (13, agosto, 2020). [Consultado el 15, octubre, 2022]. Disponible en Internet: <<https://co.mouser.com/new/qorvo/qorvo-uwband-technology/>>.



¿QUÉ ES una Raspberry PI y para qué sirve? - Blog [Anónimo]. Blog [página web]. [Consultado el 20, octubre, 2022]. Disponible en Internet: [<https://es.godaddy.com/blog/que-es-raspberry-pi/#:~:text=Una%20Raspberry%20PI%20es%20un,RAM%20de%20hasta%2008%20GB.>](https://es.godaddy.com/blog/que-es-raspberry-pi/#:~:text=Una%20Raspberry%20PI%20es%20un,RAM%20de%20hasta%2008%20GB.>).

RADIO_F YK04 [Anónimo]. ROBÓTICA CON ARDUINO [página web]. [Consultado el 19, octubre, 2022]. Disponible en Internet: [<http://arduino123.blogspot.com/p/radiof.html>](http://arduino123.blogspot.com/p/radiof.html).

RODRÍGUEZ GALBARRO, Hermenegildo. Propiedades de los Materiales. ingemecánica [página web]. [Consultado el 21, octubre, 2022]. Disponible en Internet: [<https://ingemecanica.com/tutoriales](https://ingemecanica.com/tutoriales)

Romero, M., & Cazorla, M. (2009). COMPARATIVA DE DETECTORES DE CARACTERÍSTICAS VISUALES Y SU APLICACIÓN AL SLAM. Workshop de Agentes Físicos, 55–62. https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/23389/1/2009_Romero_Cazorla_Workshop_Agentes_Fisicos_Caceres.pdf

RUS, Cristian. Raspberry Pi 4 es oficial: una completa actualización con procesador Cortex-A72, hasta 4 GB de RAM y desde 35 dólares. Xataka - Tecnología y gadgets, móviles, informática, electrónica [página web]. (24, junio, 2019). [Consultado el 20, octubre, 2022]. Disponible en Internet: [<https://www.xataka.com/ordenadores/raspberry-pi-4-caracteristicas-precio-ficha-tecnica>](https://www.xataka.com/ordenadores/raspberry-pi-4-caracteristicas-precio-ficha-tecnica).

S. Nagla, "2D Hector SLAM of Indoor Mobile Robot using 2D Lidar," 2020 International Conference on Power, Energy, Control and Transmission Systems (ICPECTS), 2020, pp. 1-4, doi: 10.1109/ICPECTS49113.2020.9336995.



SC-CER96940



"Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz"

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



Salas Pacheco, V. M. (2021). Trilateration-Based Localization in Known Environments with Object Detection [Graduate Theses and Dissertations, University of South Florida]. <https://digitalcommons.usf.edu/etd/9224>

SALAS PACHECO, Valeria M. Trilateration-Based Localization in Known Environments with Object Detection. Tesis de maestría. Florida: University of South Florida, 2021. 47 p.

Silva, S. (2021). DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE ROBOT MÓVIL AUTÓNOMO DE DESINFECCIÓN PARA NAVEGACIÓN SOCIAL EN ENTORNOS CERRADOS Y DINÁMICOS. ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL.

Thrun, S. (2002). Probabilistic robotics. Communications of the ACM, 45(3), 52–57. <https://doi.org/10.1145/504729.504754>

Tienda | Leantec.ES [página web]. [Consultado el 18, octubre, 2022]. Disponible en Internet: <https://leantec.es/wp-content/uploads/2019/06/Leantec.ES-HC-SR04.pdf>.

TUTORIAL SENSOR de Distancia SHARP [Anónimo]. Naylamp Mechatronics - Perú [página web]. [Consultado el 19, octubre, 2022]. Disponible en Internet: https://naylampmechatronics.com/blog/55_tutorial-sensor-de-distancia-sharp.html#:~:text=Un%20sensor%20SHARP%20es%20un,miden%20la%20distancia%20usando%20triangulación.>.

TUV 15W SLV/25 [Anónimo] [en línea]. TUV_15W_SLV-25. 7, agosto, 2022 [consultado el 15, octubre, 2022]. Disponible en Internet: https://www.lighting.philips.com.mx/api/assets/v1/file/PhilipsLighting/content/fp928039004005-pss-es_mx/928039004005_NA.es_MX.PROF.FP.pdf.



TUV 75W HO 1SL/6 [Anónimo] [en línea]. TUV_75W_HO_1SL-6. 7, agosto, 2022 [consultado el 15, octubre, 2022]. Disponible en Internet: <https://www.lighting.philips.com.mx/api/assets/v1/file/PhilipsLighting/content/fp928049404003-pss-es_mx/928049404003_NA.es_MX.PROF.FP.pdf>.

ULTRA WIDEBAND: la nueva tecnología por la que apuestan Apple y Samsung [Anónimo]. Blogthinkbig.com [página web]. [Consultado el 15, octubre, 2022]. Disponible en Internet: <<https://blogthinkbig.com/ultra-wideband>>.

Westermarck, A. y Pantzar, D. (2019). UTVECKLING AV KOMBINERAD DATAKOMMUNIKATION OCH TWO WAY RANGING FÖR IEEE 802.15.4 ULTRAWIDEBANDSYSTEM [Student thesis, Mälardalens högskola, Akademin för innovation, design och teknik]. <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:mdh:diva-44035>

What is SLAM? Simultaneous Localization and Mapping. (s. f.). GeoSLAM. <https://geoslam.com/what-is-slam/>

Zhao, Y., Xu, S., Bu, S., Hongkai, J., & Pengcneng, H. (2019). GSLAM: A General SLAM Framework and Benchmark. IEEE/CVF International Conference on Computer Vision (ICCV), 1110–1120. <https://doi.org/10.1109/ICCV.2019.00120>



SC-CER96940



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

Universidad de Pamplona
Pamplona - Norte de Santander - Colombia
Tels: (7) 5685303 - 5685304 - 5685305 - Fax: 5682750
www.unipamplona.edu.co



ANEXOS

- Diagramas
- Diseños
- Fichas técnicas
- Análisis económico