



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y
MECÁNICA**

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO MECATRÓNICO**

**TEMA: DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UNA
PLATAFORMA ROBÓTICA MOVIL TRANSPORTADORA DE VIDRIO
QUE PERMITA REDUCIR EL TIEMPO DE TRANSPORTE EN LA
EMPRESA ALUVIDGLASS CIA. LTDA**

AUTOR: LASCANO PAZMIÑO, CHRISTIAN STALIN

DIRECTOR: ING. GORDÓN GARCÉS, ANDRÉS MARCELO

LATACUNGA

2019



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, *“DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UNA PLATAFORMA ROBÓTICA MOVIL TRANSPORTADORA DE VIDRIO QUE PERMITA REDUCIR EL TIEMPO DE TRANSPORTE EN LA EMPRESA ALUVIDGLASS CIA. LTDA”* realizado por el señor **Lascano Pazmiño, Christian Stalin** el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto, cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 20 de diciembre del 2019

Atentamente,

Ing. Gordón Garcés, Andrés Marcelo
C.C.: 1803698800



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Lascano Pazmiño, Christian Stalin**, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación ***“DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UNA PLATAFORMA ROBÓTICA MOVIL TRANSPORTADORA DE VIDRIO QUE PERMITA REDUCIR EL TIEMPO DE TRANSPORTE EN LA EMPRESA ALUVIDGLASS CIA. LTDA”*** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

Latacunga, 14 de enero del 2020

Lascano Pazmiño, Christian Stalin
C.C.: 1804624805



DEPARTAMENTO CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

AUTORIZACIÓN

Yo, **Lascano Pazmiño, Christian Stalin** autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: ***“DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UNA PLATAFORMA ROBÓTICA MOVIL TRANSPORTADORA DE VIDRIO QUE PERMITA REDUCIR EL TIEMPO DE TRANSPORTE EN LA EMPRESA ALUVIDGLASS CIA. LTDA”***, en el repositorio institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi autoría y responsabilidad.

Latacunga, 14 de enero del 2020

Lascano Pazmiño, Christian Stalin
C.C.: 1804624805

DEDICATORIA

A mis padres por su amor incondicional, su esfuerzo, su paciencia, sus cuidados, su responsabilidad, su sabiduría, sus palabras de afecto en el momento indicado, sus regaños necesarios para encaminarme hacia una vida llena de prosperidad y felicidad.

A mis abuelitos por sus consejos y constante búsqueda de mi comodidad para la culminación de mi carrera.

A mi hermano Kevin que, confiando plenamente en mí, ha sabido ayudarme en todos los aspectos de mi vida.

AGRADECIMIENTO

Agradezco en primer lugar a nuestro Dios Todopoderoso por el maravilloso regalo de la vida, por guiarme y protegerme de la mejor manera en esta etapa de mi vida estudiantil.

A mi familia por el apoyo incondicional en todo momento, por invertir su tiempo para cumplir mis objetivos académicos y profesionales.

Al Ingeniero Andrés Gordón gracias por ser un excelente tutor y guía en el desarrollo de este proyecto, le deseo prosperidad en su vida personal y profesional.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARÁTULA

| | |
|---|------|
| CERTIFICACIÓN | i |
| AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD | ii |
| AUTORIZACIÓN | iii |
| DEDICATORIA | iv |
| AGRADECIMIENTO | v |
| ÍNDICE DE CONTENIDOS | vi |
| ÍNDICE DE TABLAS | x |
| ÍNDICE DE FIGURAS | xi |
| RESUMEN | xiii |
| ABSTRACT | xiv |

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

| | | |
|--------|---|---|
| 1.1. | Introducción | 1 |
| 1.2. | Antecedentes | 1 |
| 1.3. | Planteamiento del problema | 3 |
| 1.4. | Descripción resumida del proyecto | 3 |
| 1.5. | Justificación e importancia | 4 |
| 1.6. | Objetivos | 5 |
| 1.6.1. | Objetivo General | 5 |
| 1.6.2. | Objetivos específicos | 5 |
| 1.7. | Hipótesis | 6 |

CAPÍTULO II

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

| | | |
|--------|---------------------------|---|
| 2.1. | Conceptos generales | 7 |
| 2.1.1. | Robótica móvil | 7 |

| | | |
|--------|---|----|
| 2.1.2. | Morfología de robots móviles | 8 |
| 2.1.3. | Aplicaciones de robots móviles..... | 9 |
| 2.1.4. | Fabricación de vidrio templado..... | 10 |
| 2.1.5. | Morfología de robots móviles | 11 |
| 2.2. | Algoritmo de control | 16 |
| 2.2.1. | Sensores para robots móviles | 16 |
| 2.3. | Esquemas de navegación para evasión de obstáculos..... | 17 |
| 2.3.1. | Detección de bordes o esquinas | 18 |
| 2.3.2. | La grilla de certeza para la representación de obstáculos | 19 |
| 2.4. | Comparación de Rutas fijas con navegación inteligente..... | 20 |
| 2.5. | Ventajas y desventajas de los robots móviles industriales..... | 22 |
| 2.5.1. | Elevada flexibilidad en procesos de producción. | 23 |
| 2.5.2. | Disminución en los tiempos de entrega..... | 24 |
| 2.5.3. | Costos decrecientes de escalamiento..... | 24 |
| 2.5.4. | Reubicación de recursos en tareas valiosas..... | 24 |
| 2.5.5. | Seguridad para los empleados en el ambiente de trabajo..... | 24 |
| 2.6. | Transporte de vidrio | 25 |
| 2.7. | Sistemas automáticos de transporte de vidrio | 26 |
| 2.7.1. | Sistema automático de grúas pórtico (UTS-B) | 27 |
| 2.7.2. | Cargador electromecánico y neumático | 28 |
| 2.7.3. | Sistema ALD..... | 28 |
| 2.8. | Matriz de Pugh | 29 |
| 2.9. | Norma Técnica Ecuatoriana | 30 |

CAPÍTULO III

DISEÑO DE UNA PLATAFORMA ROBÓTICA MÓVIL

| | | |
|--------|--|----|
| 3.1. | Parámetros de diseño..... | 32 |
| 3.2. | Definición de necesidades..... | 33 |
| 3.3. | Diseño mecánico de la plataforma robótica móvil..... | 34 |
| 3.3.1. | Cálculos mecánicos | 35 |

| | | |
|--------|--|----|
| 3.4. | Análisis Estático de fallas | 43 |
| 3.4.1. | Deformación total de la parte superior | 43 |
| 3.4.2. | Factor de seguridad | 45 |
| 3.4.3. | Deformación total de la parte inferior | 45 |
| 3.4.4. | Factor de seguridad | 47 |
| 3.5. | Aplicación Normativa | 48 |
| 3.6. | Diseño electrónico y de sistema de control | 48 |
| 3.6.1. | Actuadores..... | 49 |
| 3.6.2. | Tarjeta de control | 49 |
| 3.6.3. | Alimentación | 50 |
| 3.7. | Selección de componentes electrónicos | 51 |
| 3.7.1. | Motor para tracción | 51 |
| 3.7.2. | Motor para dirección | 55 |
| 3.7.3. | Tarjeta de control | 58 |
| 3.7.4. | Sensores de proximidad | 63 |
| 3.7.5. | Sensor seguidor de línea..... | 66 |
| 3.8. | Diseño electrónico y del sistema de control..... | 69 |
| 3.8.1. | Diseño de la Fuente de energía | 71 |
| 3.9. | Diseño de la Interfaz de usuario..... | 72 |
| 3.10. | Programación Qt Creator..... | 76 |
| 3.11. | Programación Arduino | 78 |

CAPÍTULO IV

CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN

| | | |
|------|--|----|
| 4.1. | Construcción de la plataforma robótica móvil | 82 |
| 4.2. | Instalación de la parte electrónica | 84 |
| 4.3. | Implementación del sistema de control..... | 87 |
| 4.4. | Ensamble final de la plataforma robótica móvil | 88 |

CAPÍTULO V**PRUEBAS Y RESULTADOS**

| | | |
|------|----------------------------------|-----|
| 5.1. | Pruebas de comunicación | 92 |
| 5.2. | Pruebas de funcionamiento | 94 |
| 5.3. | Validación de la hipótesis | 100 |
| 5.4. | Análisis económico | 102 |

CAPÍTULO VI**CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

| | | |
|------|-----------------------|-----|
| 6.1. | Conclusiones | 104 |
| 6.2. | Recomendaciones | 106 |

| | |
|---|------------|
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 108 |
|---|------------|

| | |
|---------------------|------------|
| ANEXOS | 113 |
|---------------------|------------|

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|-----|
| Tabla 1. <i>Clasificación de sensores en robótica</i> | 17 |
| Tabla 2. <i>Matriz de decisiones</i> | 30 |
| Tabla 3. <i>Necesidades de la plataforma móvil autónoma para transporte de vidrio.</i> | 33 |
| Tabla 4. <i>Factores de servicio para transmisiones por cadenas</i> | 38 |
| Tabla 5. <i>Análisis de la selección del motor de tracción</i> | 55 |
| Tabla 6. <i>Análisis de la selección del motor para la dirección</i> | 58 |
| Tabla 7. <i>Análisis de la selección de la tarjeta de control</i> | 62 |
| Tabla 8. <i>Análisis de la selección del sensor de proximidad</i> | 66 |
| Tabla 9. <i>Análisis de la selección del sensor seguidor de línea</i> | 69 |
| Tabla 10. <i>Consumo de energía de los elementos que conforman la plataforma</i> | 71 |
| Tabla 11. <i>Características de la pantalla principal de la Interfaz</i> | 73 |
| Tabla 12. <i>Características específicas</i> | 90 |
| Tabla 13. <i>Tabulación de pruebas</i> | 93 |
| Tabla 14. <i>Tabulación de primera prueba</i> | 95 |
| Tabla 15. <i>Desviación de la trayectoria en giros</i> | 97 |
| Tabla 16. <i>Desviación de trayectoria en línea recta</i> | 98 |
| Tabla 17. <i>Tabulación de reconocimiento de estaciones</i> | 99 |
| Tabla 18. <i>Datos obtenidos de las pruebas</i> | 101 |
| Tabla 19. <i>Análisis económico</i> | 103 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Robot humanoide. Fuente: (Jimenez, 2018)..... | 8 |
| Figura 2. Ejemplo de vidrio templado Fuente: (Aranea, 2016) | 10 |
| Figura 3. Robots de exploración en a) interiores y b) exteriores Fuente: (Casas, 2018) | 11 |
| Figura 4. Robot hexápodo Fuente: (Peredo, 2017) | 13 |
| Figura 5. Locomoción de tracción Fuente: (Avanti, 2014)..... | 14 |
| Figura 6. Locomoción omnidireccional Fuente: (Sirpa, 2017)..... | 14 |
| Figura 7. Locomoción diferencial, a) esquema, b) ejemplo Fuente: (Sirpa, 2017)..... | 15 |
| Figura 8. Locomoción Ackerman, a) esquema, b) ejemplo Fuente: (Casas, 2018) | 15 |
| Figura 9. Modo de operación de sensor ultrasónico. Fuente: (Wong J. , 2017) | 18 |
| Figura 10. Proyección bidimensional del campo cónico de visión de un sensor ultrasónico. Fuente: (Avanti, 2014) | 19 |
| Figura 11. Vehículo de guiado tradicional. Fuente: (SMC, 2019)..... | 21 |
| Figura 12. Robot móvil autónomo. Fuente: (Robotplus, 2019)..... | 21 |
| Figura 13. Robot industrial móvil Fuente: (Aquino, Beneficios de automatizar, 2019)..... | 23 |
| Figura 14. Caballete para transporte de vidrio Fuente: (ADA, 2019)..... | 25 |
| Figura 15. Bastidor para vidrio Fuente: (Alibaba, 2019)..... | 26 |
| Figura 16. Sistema automático de grúas UTS-B Fuente: (Guschlbauer, 2017)..... | 27 |
| Figura 17. Cargador electromecánico y neumático Fuente: (Armillas, 2017)..... | 28 |
| Figura 18. Sistema ALD Fuente: (Martinez, 2018) | 29 |
| Figura 19. Necesidades del funcionamiento | 32 |
| Figura 20. Diseño CAD de la plataforma robótica | 35 |
| Figura 21. Diseño CAD de la plataforma..... | 36 |
| Figura 22. Geometría básica de transmisión por cadena Fuente: (Mott, 2009) | 43 |
| Figura 23. Fuerza aplicada a los puntos de apoyo | 44 |
| Figura 24. Análisis de deformación | 44 |
| Figura 25. Factor de seguridad de la parte superior | 45 |
| Figura 26. a) Análisis de la parte inferior b) Deformación de la parte inferior | 46 |
| Figura 27. Factor de seguridad de la parte inferior | 47 |
| Figura 28. Factor de seguridad de la parte inferior | 48 |
| Figura 29. Motor CNC Nema 34 hibrido Fuente: (JKONGMOTOR, 2019)..... | 51 |
| Figura 30. Motor KDA20-20L tipo Hacker Fuente: (Tecnocio, 2018)..... | 53 |
| Figura 31. Motor Nema 23 bipolar Fuente: (Alibaba, 2018) | 54 |
| Figura 32. Motor Pololu 131:1 Fuente: (Pololu, 2019)..... | 56 |
| Figura 33. Motor a pasos Nema 23 Fuente: (E-ika, 2019)..... | 57 |

| | |
|--|----|
| Figura 34. Arduino Mega Fuente: (Javier Aldaz, 2016) | 59 |
| Figura 35. Raspberry Pi 3 Fuente: (Campana, 2013)..... | 60 |
| Figura 36. LattePanda Fuente: (Lin, 2018) | 61 |
| Figura 37. Sensor Ultrasónico Fuente: (Autracen, 2017) | 63 |
| Figura 38. Sensor Ultrasónico sumergible Fuente: (Naylamp Mechatronics, 2018)..... | 65 |
| Figura 39. Sensor QTR-8 A Fuente: (TD-Robotica, 2017) | 67 |
| Figura 40. Sensor 5 canales Infrarrojo Fotoeléctrico Fuente: (Mercado libre Ecuador, 2019) | 68 |
| Figura 41. Diagrama de componentes electrónicos | 70 |
| Figura 42. Pantalla principal del HMI..... | 73 |
| Figura 43. Contraseña correcta | 74 |
| Figura 44. Pantalla de modo manual..... | 75 |
| Figura 48. Enfoque de cámara | 75 |
| Figura 46. Conexión con el Arduino Mega..... | 76 |
| Figura 47. Diagrama de Flujo de la programación en Qt Creator..... | 78 |
| Figura 48. Diagrama de flujo de la programación de Arduino | 81 |
| Figura 49. Construcción de la parte inferior de la plataforma | 82 |
| Figura 50. Cajas de almacenamiento de componentes electrónicos | 83 |
| Figura 51. Construcción de la parte superior de la plataforma | 84 |
| Figura 52. Impresión 3D para el sensor seguidor de línea..... | 84 |
| Figura 53. Impresión 3D de para Arduino Mega a) Parte posterior b) parte frontal..... | 85 |
| Figura 54. Instalación de componentes electrónicos..... | 85 |
| Figura 55. a) Implementación de la cámara web b) Sello de reconocimiento | 86 |
| Figura 56. Ubicación de sensores a) parte delantera b) parte posterior | 87 |
| Figura 57. a) HMI montada en plataforma b) Manipulación HMI | 87 |
| Figura 58. Baliza en funcionamiento | 88 |
| Figura 59. a) Plataforma vista lateral b) Elementos externos | 89 |
| Figura 60. Prueba de comunicación a) Botón para iniciar prueba b) caso de prueba fallida..... | 93 |
| Figura 61. Desplazamiento automático de la plataforma robótica móvil | 94 |
| Figura 62. Desplazamiento del operador con la plataforma | 95 |
| Figura 63. Comportamiento en giro a) prueba 1 b) prueba 2..... | 96 |
| Figura 64. Pruebas de desviación en línea recta | 98 |
| Figura 65. Reconocimiento de la estación a través de la cámara..... | 99 |

RESUMEN

El presente trabajo de titulación consiste en el diseño, construcción e implementación de una plataforma robótica móvil transportador de vidrio. Esta plataforma está formada por una estructura de soporte, motores, controladores, sensores que le permiten vincularse con el entorno de trabajo y cumplir el objetivo de reducir el tiempo de transporte de vidrio en la empresa ALUVIDGLASS CIA. LTDA. La plataforma ha sido diseñada siguiendo estándares de la empresa para el transporte de vidrio, además esta adecuada para trabajos futuros haciendo uso de herramientas computacionales. Además, cuenta con un diseño modular que facilita el montaje de las piezas o el reparo de posibles averías. La interfaz con los operadores es simple, son botones correspondientes a las estaciones en un HMI con un paro de emergencia ubicado de lado izquierdo por la disposición de las estaciones de trabajo e indicadores lumínicos. La bodega de la empresa ALUVIDGLASS CIA. LTDA. cuenta con llantas, componentes eléctricos y estructurales que serán usados para reducir los gastos.

PALABRAS CLAVE:

- 1. PLATAFORMA ROBÓTICA MÓVIL**
- 2. VIDRIO - TRANSPORTE**
- 3. ROBÓTICA INDUSTRIAL**

ABSTRACT

The present undergraduate project consists of the design, construction and implementation of a mobile robotic platform glass conveyer. This platform is formed by a support structure, motors, controllers, sensors that link with the work environment and meet the objective of reducing the time the transportation time of glass in the company ALUVIDGLASS CIA. LTDA. The platform has been designed according to company standards for the transport of glass, suitable for future work using computational tools. In addition, it has a modular design that facilitates the assembly of the parts or the repair of possible breakdowns. The interface with the operators is simple, they are buttons corresponding to the stations in an HMI with an emergency stop located on the left side by the layout of the workstations and light indicators. The winery of the company ALUVIDGLASS CIA. Ltda. it has tires, electrical and structural components that will be used to reduce costs.

KEYWORDS:

- 1. MOBILE ROBOTIC PLATFORM**
- 2. GLASS - TRANSPORT**
- 3. INDUSTRIAL ROBOTICS**

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1. Introducción

A nivel internacional el transporte usando robots móviles se está posicionando como una fuerte alternativa para varios fines, uno de ellos a nivel industrial, donde a diario el personal recorre kilómetros de camino empujando o cargando carros que llevan materia prima, en proceso o procesada.

Diversas industrias toman el camino de la implementación de tecnología en los procesos, uno de ellos es el transporte, ALUVIDGLASS CIA. LTDA. está siempre a la vanguardia y requiere una plataforma de transporte autónomo de la materia prima (vidrio).

Una plataforma robótica móvil es un vehículo con sensores y periféricos que transporta objetos, puede usar trayectorias definidas. El presente proyecto está desarrollado con la finalidad de reducir el tiempo de transporte en la empresa ALUVIDGLASS CIA. LTDA.

Este proyecto busca generar una plataforma robótica móvil capaz de trasportar vidrio, teniendo que detenerse ante los obstáculos, hace uso de trayectorias definidas, para un máximo de ocho estaciones.

1.2. Antecedentes

Rojas en su artículo manifiesta la primera revolución industrial adopta sistemas térmicos e hidráulicos, la segunda revolución industrial implementa líneas de producción, la tercera hace uso

de automatización y robotización, pero todas tienen como objetivo la reducción de los tiempos de producción. (Rojas, 2017)

Ordoñez en su publicación detalla los AGV (vehículos de guiado automático) o vehículos industriales inteligentes son la solución para reducir tiempo de producción, no necesitan conductor, navegan en un entorno transportando materiales y tienen retroalimentación gracias a una amplia variedad de sensores. (M. Ordoñez, 2015)

Villegas en su artículo manifiestan el enrutamiento de robots móviles permite asignar rutas a robots para evitar colisiones con obstáculos fijos, la idea central “bodegas automatizadas”; industrias como Volkswagen ya hacen uso de robots que trabajan en forma cooperativa organizando pallets. (G. Villegas, 2018)

Bermúdez en su publicación manifiesta otro ejemplo de vehículos industriales inteligentes son los robots en el almacén inteligente de Alibaba; hacen el 70% del trabajo, transportan hasta 500 kg, tienen sensores que evitan las colisiones además cuentan con una batería que los alimenta de 4 a 5 horas mejorando la eficiencia de la bodega. (Bermúdez G. , 2018)

En los primeros años de vida de la empresa ALUVIDGLASS dedicada al procesamiento y comercialización de vidrio plano templado automotriz-arquitectónico, vidrio laminado, proceso de corte y ventanas panorámicas; los vidrios eran manipulados de forma manual, cargados directamente entre dos o tres individuos, la manipulación evolucionó y se adaptaron carros con ruedas que deben ser empujados por los trabajadores dentro de la empresa.

1.3. Planteamiento del problema

La empresa ALUVIDGLASS implementa continuamente nuevas tecnologías dentro de los procesos industriales, sin embargo, no cuenta con un sistema de transporte robotizado de la materia prima (vidrio, movilizado en una plataforma con ruedas, con carga máxima de 250kg para evitar daño en las llantas, en un tramo de aproximadamente 110 metros, con 5 estaciones fundamentales) a lo largo de distintos puestos de trabajo como lo son el corte, pulido, biselado, pintado, hasta llegar al templado.

ALUVIDGLASS cuenta con amplias instalaciones que obligan a transportar el vidrio con vehículos adaptados que son empujados, para disminuir el esfuerzo físico que involucra empujar además del tiempo se presenta la necesidad de vehículos no tripulados.

Por lo tanto, el presente proyecto propone el diseño, construcción e implementación de una plataforma robótica móvil transportador de vidrio.

1.4. Descripción resumida del proyecto

El presente proyecto se realizará en base al estudio de las normativas que rige la planta de producción de ALUVID GLASS CIA. LTDA. para el correcto transporte de la materia prima (vidrio), el diseño se basa en coches existentes en la empresa que son empujados de forma manual, se recurrirá a herramientas CAD (diseño asistido por computador) para el diseño y análisis de la estructura de la plataforma transportadora y sus diferentes accesorios con los siguientes parámetros:

La plataforma robótica móvil se limita a la carga de 250 kg, la selección de materiales se realizará tomando en cuenta dicho peso (aproximadamente 5 vidrios con área máxima de 2m^2 y espesor 8 mm). El robot es del tipo landmark, sigue un camino predefinido o línea a lo largo de la

planta (El motivo es la forma de producción en cadena). Para el desplazamiento hará uso de ruedas. Se definirá la velocidad adecuada del transportador con un error de aproximadamente 15%.

Dispone de sensores que le permiten detenerse ante obstáculos mejorando la seguridad (Control de colisión). Por necesidad de la empresa el operario gestionará las órdenes a la plataforma, específicamente el operario del último puesto donde llegue la plataforma, se movilizará hacia estaciones predefinidas, no se pueden realizar llamados al transportador desde las estaciones. En la programación se incluirán los saltos entre estaciones de ser necesario. El transportador tiene como límite un máximo de 8 estaciones.

Se realizará el diseño del sistema electrónico y de control (velocidad, dirección), para lo cual se seleccionará el sistema adecuado, de acuerdo al controlador se seleccionará el software de programación para seguir con la generación del código, posteriormente se realizará la interfaz con el usuario.

Para terminar, se realizarán pruebas de funcionamiento dentro de la planta con el fin de validar la hipótesis.

1.5. Justificación e importancia

El tiempo de producción se traduce en mayores ganancias o pérdidas en la empresa, la mayor parte de empresas enfoca su esfuerzo en reducir el tiempo que lleva efectuar las actividades. Las empresas han desarrollado distintas formas de producción, porque esto les genera una ventaja competitiva.

Con la implementación de la plataforma robótica móvil se reducen considerablemente los tiempos de producción, el empleado que efectuaba dicha tarea puede dedicar su tiempo a otra

actividad, libera al ser humano de tareas repetitivas. Además, se reducen los accidentes de trabajo (la manipulación de vidrios es peligrosa, puede ocasionar cortes en los trabajadores).

Las ventajas de una máquina son claras, trabaja sin problemas de agotamiento, tiene mayor capacidad de carga que un obrero, no puede sufrir accidentes, no necesita seguro, además de reducir afecciones en los trabajadores, etc.

1.6. Objetivos

1.6.1. Objetivo General

Diseño, construcción e implementación de una plataforma robótica móvil transportadora de vidrio que permita reducir el tiempo de transporte en la empresa ALUVIDGLASS CIA. LTDA.

1.6.2. Objetivos específicos

- Investigar el estado del arte correspondiente a robots de transporte inteligente, la normativa de la empresa para manejo de vidrio.
- Definir el trazado guía que seguirá el robot en su implementación.
- Seleccionar componentes y materiales que cumplen con los requisitos para el proyecto y el peso máximo.
- Seleccionar la tarjeta para el control del movimiento, forma de mando (HMI o botones) del robot.
- Diseñar la estructura del transportador a través de software CAD simulando la estructura para evitar fallas por esfuerzos.
- Construir la estructura con materiales existentes en el mercado.
- Implementar algoritmos de programación para el software.
- Validar la hipótesis por análisis de resultados y pruebas de funcionamiento.

1.7. Hipótesis

¿La implementación de la plataforma robótica móvil en la empresa ALUVIDGLASS CIA LTDA. reducirá el tiempo de producción?

CAPÍTULO II

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1. Conceptos generales

En el presente capítulo se describe de manera general las características que tienen diferentes plataformas móviles; adicionalmente se indicarán las ventajas y desventajas que estas podrían tener para la sociedad y para el desarrollo de nuevos proyectos.

2.1.1. Robótica móvil

Un robot móvil es un conjunto de elementos y componentes capaces de locomoción. La robótica móvil se considera como un subcampo de robótica e ingeniería de la información.

Los robots móviles consiguen ser autónomos (AMR, robot móvil autónomo), estos son idóneos para desplazarse en entornos no controlados sin necesidad de contar con dispositivos de guía físicos o electromecánicos. En cambio, un vehículo guiado autónomo (AGV) son robots móviles que se manipulan con dispositivos de guía, estos dispositivos permiten que se desplacen en una ruta de navegación predestinada dentro de un espacio parcialmente controlado. (hisour, 2018)

Los robots móviles manejados en ambientes no estructurados deben enfrentarse con incertidumbres en la posición e identificación de objetos. La incertidumbre es tal que, desplazarse desde un punto A hasta un punto B es una acción audaz para un robot móvil, una actividad relativamente vana para un manipulador industrial; no se espera que un robot móvil siga trayectorias o alcance su destino final con el mismo nivel de precisión que se espera de un manipulador industrial. (Avanti, 2014)

2.1.2. Morfología de robots móviles

Gran parte de los robots móviles poseen características peculiares que le permiten realizar una determinada labor. Es esta labor la que establece en una primera etapa las peculiaridades estructurales del robot que incluyen desde el tipo de rueda, el sistema de tracción, sistema de dirección y la forma física del robot; las características sensoriales del robot se establecerá una segunda fase.

Los sistemas de tracción y dirección se dividen sobre los ejes de sus ruedas en función a los requerimientos de velocidad, maniobrabilidad y tipos de terreno. El robot móvil debe tener precisión y rapidez para alcanzar su destino, lo que implica tener un sistema de tracción confiable y un sistema de dirección que proporcione maniobrabilidad al robot. En la Figura 1 se puede visualizar tres tipos de robots, cada uno cuenta con una morfología específica para su funcionamiento.



Figura 1. Robot humanoide.
Fuente: (Jimenez, 2018)

El método de locomoción, el número y tipo de ruedas necesarias, así como también la disposición de las mismas se determina gracias a la morfología del robot móvil, con el objetivo de conseguir una distribución mecánica equilibrada. (Avanti, 2014)

2.1.3. Aplicaciones de robots móviles

El uso de robots o plataformas móviles es una forma relativamente nueva de gestionar el transporte interno en algunas empresas. El manejo de materiales y el transporte interno todavía se realiza de forma manual por sus obreros que pasan un tiempo significativo simplemente empujando contenedores de un punto hacia otro. Con los robots móviles colaborativos, estas tareas se pueden automatizar de una manera simple, eficiente y rentable. (Aquino, Canales TI, 2019)

2.1.3.1. Unidades de estantería

Las estanterías se emplean a menudo para transportar productos en etapa de elaboración o inclusive totalmente terminados estos se distribuyen entre producciones, entre la producción y el almacén y/o en la logística de almacén. Los módulos de estantería se emplean generalmente en instalaciones semiautomáticas, donde un empleado llama al robot móvil a través de un botón o una interfaz. (Fandiño, 2019)

2.1.3.2. Monta cargas automatizado

En el campo de la logística una buena solución de robótica colaborativa es que los robots móviles remolcan un pallet con una horquilla específicos para pallets. En estos casos, el robot móvil puede localizar la horquilla porta-pallets y transportarla a su destino de forma autónoma. De este modo, los empleados sólo tienen que cargar y descargar el pallet de la horquilla porta-pallets y así ahorrar un tiempo valioso, ya que evitan realizar el transporte ellos mismos. (Fandiño, 2019)

2.1.4. Fabricación de vidrio templado

ALUVID GLASS CIA LTDA utiliza el templado térmico que consiste en recalentar los vidrios ya cortados y maquinados, hasta una temperatura aproximada a los 700 °C en un horno industrial. Inmediatamente son enfriados bruscamente por medio de aire soplado, con lo que las superficies exteriores se contraen, solicitándolas a compresión. El corazón del vidrio mantiene una alta temperatura y tiende a enfriarse más lentamente. El temple consigue comprimir de forma permanente las dos caras del vidrio, a la vez que tracciona el interior. Pretensa el vidrio, de manera que se crea un sistema de tensiones que aumentan la resistencia mecánica del producto acabado. En el proceso, las tensiones de compresión de ambas caras del vidrio se compensan con las de tracción que aparecen en el interior y estas tensiones prevalecen y confieren un estado de pretensado que hace al vidrio más resistente. (ALUVID GLASS CIA. LTDA., 2017)

En la Figura 2 se observa un ejemplo de uso de vidrio templado de seguridad en la construcción.



Figura 2. Ejemplo de vidrio templado
Fuente: (Aranea, 2016)

2.1.5. Morfología de robots móviles

Los robots móviles disponen de características peculiares esto los hacen aptos para una tarea específica. Es la misma aplicación la que determina las necesidades estructurales del robot que van desde el tipo de rueda, el sistema de tracción y dirección y la forma física del robot así mismo se determinará las características sensoriales del robot.

2.1.5.1. Entornos de operación

a. Según el área de trabajo.

El entorno del robot puede ser interior o exterior. Es interior cuando el entorno está cubierto por paredes y cielorrasos, además la iluminación se presenta de manera artificial. Es exterior cuando el área de trabajo no está delimitada y la iluminación se presenta de manera natural.



a)

b)

Figura 3. Robots de exploración en a) interiores y b) exteriores

Fuente: (Casas, 2018)

En la Figura 3 se observa el desplazamiento de robots en las áreas de trabajo mencionadas, en la parte izquierda se tiene un área de trabajo interna y en la parte derecha un área externa.

b. Según los objetos presentes

Básicamente el entorno del robot se puede establecer como estructurado o no estructurado. Es estructurado cuando los objetos en el entorno permanecen estáticos, es decir, no cambian de lugar

ni de forma además tienen cualidades específicas como forma, color, o incluso forma que puede asociarse con figuras geométricas que permiten diferenciar unos objetos de otros. Como ejemplo de un entorno estructurado se tiene una biblioteca, debido a la poca afluencia movimiento por las personas y a que las estanterías permanecen en los mismos lugares.

El entorno es no estructurado cuando la agrupación entre los objetos que se encuentran en el entorno y ciertas características físicas del mismo pueden someterse a variaciones, es decir cuando el entorno cambia con el tiempo y estos cambios son impredecibles. Un ejemplo de esto es un depósito en una línea de producción, esencialmente porque el entorno cambia a medida que se recogen y despachan los pallets. (Ramirez, 2016)

2.1.5.2. Locomoción

El sistema de locomoción se basa en elementos que permiten el movimiento dado por el dispositivo dentro de un entorno. Dentro de los métodos o elementos de locomoción del robot móvil se encuentran:

a. Patas

Para el movimiento con patas en un robot móvil, se tiene en cuenta su posición y velocidad; a la vez se debe asegurar que el robot se mantenga en equilibrio y no se desplome, utilizando únicamente el movimiento en las articulaciones a través de motores como se observa en la Figura 4. Dentro de las soluciones para asegurar el equilibrio al momento de trasladarse se encuentra el aumento del número de patas, de esta manera, un robot de 6 patas logra mantenerse con gran estabilidad sobre 3 de sus patas mientras mueve las otras 3. (Peredo, 2017)



Figura 4. Robot hexápodo
Fuente: (Peredo, 2017)

b. Ruedas

Muestran gran eficiencia con relación al consumo energía, tanto en superficies lisas y firmes, no deterioran la superficie por las que se desplazan; son menos complicadas en relación con los robots de patas, lo cual proporciona facilidad en su construcción. Según (Fernandez, 2014) con relación a la configuración cinemática, los robots móviles de este tipo se pueden diseñar con diferentes tipos de ruedas que colaboran en su desplazamiento, entre las diferentes opciones de ruedas están:

- **Motrices o de tracción:** Esta compuesta de 2 ruedas con un eje en común, cada rueda es controlada de forma independiente, los movimientos que logra realizar son movimientos en línea recta, en arco y sobre su propio eje de contacto de rodamiento. Es necesario implementar una o dos ruedas adicionales para mantener el equilibrio. (Peredo, 2017)

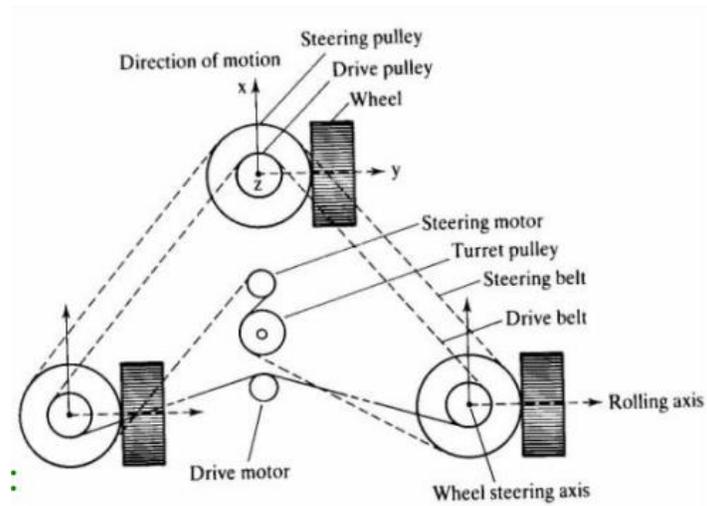


Figura 5. Locomoción de tracción
Fuente: (Avanti, 2014)

En la Figura 5 se tiene una descripción del diseño de las ruedas motrices o de tracción.

- **Omnidireccional:** Este tipo de locomoción se basa en un principio general que depende de la inclusión de rodillos alrededor de su periferia, como se ilustra en la Figura 6, esto favorece aumentando un grado de libertad, facilitando su movilidad en el eje perpendicular al sentido de rodaje que tiene una rueda común y corriente. (Avanti, 2014)



Figura 6. Locomoción omnidireccional
Fuente: (Sirpa, 2017)

- **Diferencial:** Este tipo de locomoción suministra fuerza de tracción al robot. Para este tipo de robot móvil no se emplean ruedas directrices. Para el cambio de dirección en el desplazamiento se varía la velocidad relativa de las ruedas izquierda y derecha (Bermúdez G. , 2018). En la Figura 7 se puede ver un ejemplo de locomoción diferencial.

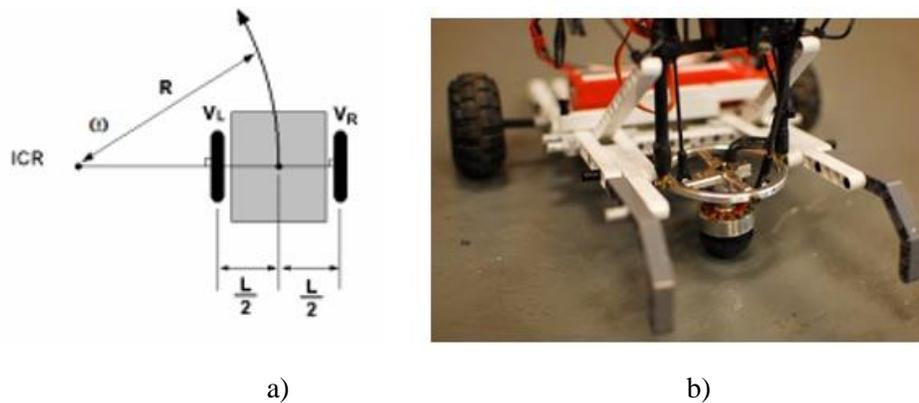


Figura 7. Locomoción diferencial, a) esquema, b) ejemplo
Fuente: (Sirpa, 2017)

- **Ackerman:** Este método emplea cuatro ruedas convencionales. El movimiento se basa en dos ruedas en la parte traseras que se instalan de manera paralela en el chasis principal del vehículo. Para el mecanismo de direccionamiento se utilizan dos ruedas delanteras que se encargan de seguir una trayectoria (Sirpa, 2017) ver Figura 8.

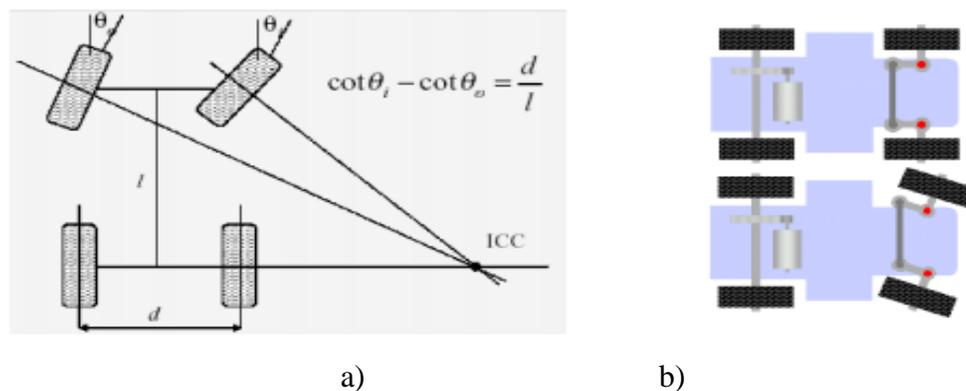


Figura 8. Locomoción Ackerman, a) esquema, b) ejemplo
Fuente: (Casas, 2018)

2.2. Algoritmo de control

Un algoritmo de control es aquel que describe formalmente la estrategia de control de la planta; en el caso más sencillo puede tener la forma de la ecuación de un controlador. De forma general, un algoritmo es el encargado de realizar procesos de cálculo en forma secuencial, de acuerdo con un esquema determinado.

2.2.1. Sensores para robots móviles

La estimación y generación de trayectorias al igual que el movimiento están basadas en la información resultante del conjunto o sistema de sensores externos, ayudando al vehículo desplazarse en el ambiente de trabajo de modo seguro, sin que existan colisiones. Esto requiere emplear sistemas de control para trayectorias (posición, dirección, velocidad), de tal modo que el procesamiento de los datos provenientes de los sensores externos garantice la mayor autonomía posible. (Platea, 2015)

Según se muestra en la Tabla 1, se describe la clasificación de los sensores que se emplean en robótica, dentro del tipo de interacción sensor-objeto, la información pueda ser conseguida de diferentes formas, como lo son por contacto directo entre el entorno u objeto y sistema sensorial del robot, o sin intervenir contacto físico alguno. Es así que los sensores pueden clasificarse en de contacto y de no contacto.

Según el tipo de información que emiten los sensores se clasifican en elementales y complejos. En donde los sensores elementales proporcionan datos digitales o analógicos de una única variable; en cambio los complejos arrojan información que puede únicamente ser representada por vectores o arreglos matriciales.

Tabla 1
Clasificación de sensores en robótica

| | | |
|---|---|--------------------|
| SENSORES EMPLEADOS EN ROBÓTICA | Según el medio relativo al robot | Propioceptivos |
| | | Exteroceptivos |
| | Según el tipo de interacción robot-objeto | Contacto |
| | | No contacto |
| | Según el tipo de información | Elementales |
| | | Complejos |
| | Según el principio de funcionamiento | Carga eléctrica |
| | | Radiación luminosa |
| | | Resistencia |
| | | Inductancia |
| | | Capacitancia |
| | | Radiación térmica |
| | | Otros |

Fuente: (Casas, 2018)

La relación que tiene el robot con el medio destaca otro tipo de clasificación. Cuando este medio es parte de la estructura mecánica del robot o parte interior del sistema, estos sensores se denominan propioceptivos emiten datos del robot como posición, sentido, dirección, velocidad; cuando la información proviene del entorno del robot pertenece a sensores denominados exteroceptivos la función de estos es establecer el estado del robot en función de la percepción del lugar del desplazamiento (Avanti, 2014)

2.3. Esquemas de navegación para evasión de obstáculos

Para lograr autonomía en robots móviles, la organización de caminos es una función esencial. El problema surge al no hallar un camino óptimo que esté libre de colisiones, entre una posición inicial y otra final en un entorno cerrado o controlado. El desconocimiento de las dimensiones de

los obstáculos, así como de su posición en el ambiente pueden ser parcial o total; la organización de rutas en ambientes desconocidos se realiza durante el movimiento del robot, y es continuamente formada por un algoritmo Mazesearch (resolución de laberintos), el cual se destina también para regiones cóncavas.

Todos los robots móviles se han diferenciado por poseer algún tipo de sistema para evadir obstáculos, desde algoritmos primitivos que descubrían un obstáculo detenían al robot a corta distancia del mismo, hasta alcanzar a los mejores algoritmos que ayudan al robot a rodear al obstáculo para llegar al punto de destino. (Preciado, 2018)

2.3.1. Detección de bordes o esquinas

La detección de bordes es un método muy usado para esquivar obstáculos con robots móviles. En este método un algoritmo intenta fijar la posición de los bordes verticales de los obstáculos y enviar al robot alrededor de uno de los bordes visibles, a partir de los datos entregados por un sensor ultrasónico el mismo que se observa en la Figura 9.

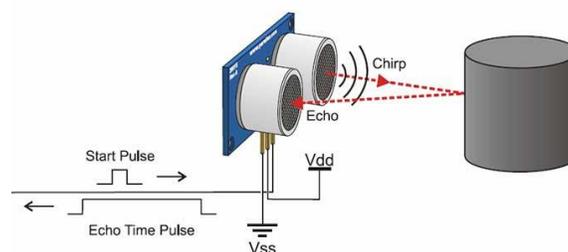


Figura 9. Modo de operación de sensor ultrasónico.

Fuente: (Wong J. , 2017)

La desventaja que posee la implementación de este método afronta el hecho de que el vehículo debe detenerse frente al obstáculo con el fin de que los sensores tomen la información. (Avanti, 2014)

2.3.2. La grilla de certeza para la representación de obstáculos

Este método es principalmente competente para el uso de sensores imprecisos como los de ultrasonido. En la grilla de certeza, el área de trabajo del robot es figurada por un arreglo bidimensional de elementos cuadrados, llamados celdas. Cada celda domina un valor de certeza (C_v) que indica la confianza de que un obstáculo exista en una celda. Con este método, los C_v son renovados por una función de probabilidad que toma en cuenta las características del sensor manejado.

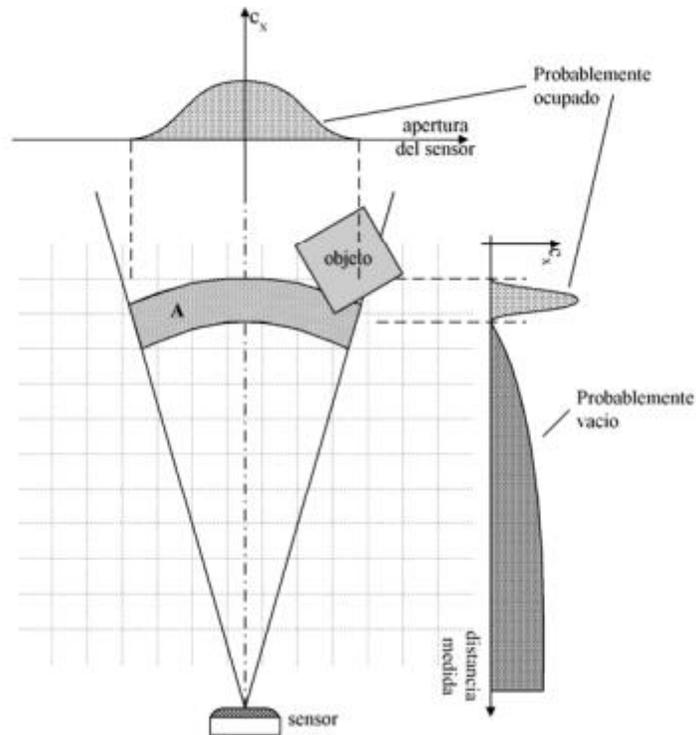


Figura 10. Proyección bidimensional del campo cónico de visión de un sensor ultrasónico.

Fuente: (Avanti, 2014)

Por lo general, los sensores ultrasónicos poseen un campo cónico de visión. Un sensor ultrasónico típico entrega una lectura radial de la distancia en la proximidad del objeto con el cono, pero no delimitada la posición angular del objeto, como se muestra en la Figura 10. Si un objeto es

descubierto por un sensor ultrasónico, es muy probable que este objeto esté más junto del eje acústico del sensor que de la periferia del campo cónico de visión. Por esta razón, la función probabilística C_x , aumenta los valores de certidumbre en las celdas cercanas al eje acústico, más que en las celdas de la periferia. Cuando este método es aplicado, el robot móvil se mantiene estacionario un lapso, tomando una imagen panorámica.

Luego, la función probabilística C_x , es aplicada a cada una de las lecturas de los sensores, actualizando la grilla de certeza. Finalmente, este se mueve a una posición nueva, se detiene e ingresa en un bucle de repetición del mismo procedimiento. El robot cruza una habitación de esta manera; como resultado se manifiesta un mapa de la habitación lo suficientemente preciso. (Avanti, 2014)

2.4. Comparación de Rutas fijas con navegación inteligente

Dentro de las características que posee un vehículo guiado tradicional (VGT) ver Figura 11, es que mantiene una inteligencia mínima incorporada y solo logra someterse a instrucciones de programación simples, además que para dirigirse de un sitio a otro debe guiarse por cables, bandas magnéticas o sensores, que por lo general necesitan la actualización de instalaciones costosas y extensas durante las cuales consigue entorpecer la producción. Por este motivo está limitado a rutas fijas que demandan un coste adicional y un obstáculo si se requieren cambios a futuro. Normalmente puede detectar obstáculos en frente de él, pero no logra navegar a su alrededor, haciendo que simplemente se detenga en seco hasta que se elimina el obstáculo.



Figura 11. Vehículo de guiado tradicional.
Fuente: (SMC, 2019)

El Robot Móvil Autónomo que se visualiza en la Figura 12 viaja mediante mapas que su software elabora en el lugar o por medio de dibujos de instalaciones precargadas. Últimamente se han perfeccionado capacidades de Inteligencia Artificial que colaboran con la robótica móvil y la llevan a un nuevo nivel mejorando la navegación y optimizando la planificación, que le ayudan a funcionar de manera enteramente autónoma. Es decir, la capacidad de diferenciar entre humanos, carretillas elevadoras y otros obstáculos y reaccionar lo hace enormemente eficiente.



Figura 12. Robot móvil autónomo.
Fuente: (Robotplus, 2019)

Con estas características de inteligencia artificial asociadas en el sofisticado software y sus cámaras estratégicamente estacionadas que trabajan como un conjunto extendido de sensores robóticos, los robots móviles autónomos mejoran la planificación de rutas y el procedimiento de conducción. Las cámaras ayudan a los robots detectar y registrar diferentes obstáculos en movimiento y reaccionar en consecuencia.

Si el robot descubre a una persona, se estacionará para posteriormente continuar con su ruta, sin embargo, si detecta un vehículo guiado autónomo tradicional le concederá el paso para que éste pueda continuar con su desplazamiento. De esta manera, el robot también puede pronosticar de antemano las zonas que se encuentre sitiadas o con demasiado tráfico y redirigir la ruta en lugar de ingresar en la zona bloqueada y desviarla y usar una ruta alternativa óptima. (Fandiño, Mobile Industrial Robots (MiR)., 2019)

2.5. Ventajas y desventajas de los robots móviles industriales

Con la llegada de la cuarta revolución industrial todo tipo de empresas busca formas de automatizar sus procesos para elevar su competitividad garantizando la seguridad de sus empleados. Entre los mayores retos que se presentan en la automatización de los procesos de manufactura es el transporte de materiales donde actualmente se hallan muchos carros o palés arrastrados por personas, montacargas y sistemas escasamente flexibles como vehículos automatizados guiados y transportadoras. Los robots móviles autónomos intentan cambiar este modelo con una plataforma de vanguardia y flexible que esté vinculada a las demandas en los procesos de manufactura con el objetivo de preservar la competitividad y disminuir los costos.



Figura 13. Robot industrial móvil
Fuente: (Aquino, Beneficios de automatizar, 2019)

Los principales beneficios del uso de AMR se describen de mejor manera a continuación.

2.5.1. Elevada flexibilidad en procesos de producción.

Los robots móviles autónomos garantizan la optimización, personalización y hacen más flexibles las demandas de producción que son desafiadas actualmente por la innovación continua que tiene como consecuencia una tendencia de promocionar productos personalizados y llevarlos al mercado en menos tiempo. Los AMR ayudan con una solución de logística por demanda, suministrando gracia y ahorros en la administración de inventarios y tiempos de producción. La flexibilidad de los AMR aprueba que sean fácilmente adaptables a cambios en entornos de producción sin altos costos en comparación con las transportadoras y AGV. (Aquino, Beneficios de automatizar, 2019)

2.5.2. Disminución en los tiempos de entrega

Los robots móviles autónomos tienen la capacidad de calcular la mejor ruta entre dos puntos en el entorno, y si hallarán un obstáculo, pueden recalcular o notificar la dificultad, certificando que las entregas de materiales se realicen a tiempo evitando los costosos paros de producción.

2.5.3. Costos decrecientes de escalamiento

Los robots móviles son una opción fácil de escalar con costos asequibles conforme se eleva el número de robots. Los AMR son fácilmente adaptables a la infraestructura y cuando ya se tienen un par de unidades instaladas, desarrollar la flota solo requiere una inversión mínima en la infraestructura amortizando la inversión inicial durante la expansión. (Aquino, Beneficios de automatizar, 2019)

2.5.4. Reubicación de recursos en tareas valiosas

Para procesos de logística interna, los robots se designan para las tareas repetitivas de la cadena de suministro, de esta manera las empresas pueden reubicar a sus recursos humanos en trabajos que creen más valor. El tiempo de trabajo de un robot autónomo está dado entre 12 y 15 horas sin descanso, elevando la productividad.

2.5.5. Seguridad para los empleados en el ambiente de trabajo

Con los AMR pueden trabajar con personas sin limitar el área por seguridad gracias a que poseen un sistema colaborativo. Los robots evadirán los obstáculos, incluyendo las personas, deteniéndose por completo en casos en que la cercanía sea demasiado notable. Compaginando a ser una alternativa a los montacargas, estibadores y camiones, reduciendo el riesgo de tener accidentes en empresas y lesiones por colisiones o descuidos. Por su interface fácil de usar y muy intuitiva, colabora con los empleados al proporcionarles una herramienta para aprender y tomar el

control del robot sin la necesidad de conocimientos especializados. (Aquino, Beneficios de automatizar, 2019)

2.6. Transporte de vidrio

El vidrio es un material frágil que requiere una serie de necesidades especiales para ser transportado pues el vidrio presenta distintas peculiaridades según la forma en la que se transporta. Los tipos de vidrio más transportados son vidrio plano, botellas y fibra de construcción.

Por dicho motivo, la industria del vidrio requiere la utilización de diferentes sistemas de transporte para cada producto y las empresas logísticas dedicadas al transporte de vidrio necesitan personal especializado. (Pitarch, 2017)

Específicamente para el transporte del vidrio plano se usa una estructura similar a la Figura 14 llamado caballete, el mismo que soporta grandes pesos además posee ruedas que permiten acceder a un fácil desplazamiento. Dentro de las funciones que cumple el caballete son el almacenamiento de vidrio monolítico, laminar, doble acristalamiento, cajas de vidrio; así como el transporte, movimiento y manufactura de hojas completas.



Figura 14. Caballete para transporte de vidrio
Fuente: (ADA, 2019)

Bandeja de carga. Es una parte del caballete la misma que cuenta con una cubierta corredera. Un aspecto importante que se ha establecido para la seguridad de este tipo de transporte es la implementación de un bastidor especial construido sobre un ángulo de 4,5 grados respecto al eje vertical como se observa en la Figura 15.



Figura 15. Bastidor para vidrio
Fuente: (Alibaba, 2019)

Además de contar con un vehículo específico para este modo de transporte, es importante la utilización de un equipo conveniente para levantar y apoyar el cristal de forma correcta para proteger el cristal. Así como, el equipo exacto con el propósito de mantener la seguridad del transportista en caso de rotura del cristal como casco, gafas y guantes de seguridad, calzado especial y chaleco de protección.

2.7.Sistemas automáticos de transporte de vidrio

En esta parte se describirá rápidamente algunos sistemas automáticos comerciales que sirven para el transporte de vidrio, esto contribuye a tener ideas más claras sobre la variedad de opciones que existen en el mercado; gracias al desarrollo de nuevas tecnologías.

Es sustancial conocer lo que se está realizando en otras partes del mundo, para a partir de estos ejemplos generar nuevos diseños que permitan seguir avanzando para simplificar e innovar los vehículos encargados de transportar vidrio.

2.7.1. Sistema automático de grúas pórtico (UTS-B)

Este sistema es desarrollado por la empresa LiSEC, es particularmente adecuado para descargar planchas de vidrio recién sellados con sistemas de distanciadores fijos o flexibles, con la peculiar ventaja para distanciadores termoplásticos. “Los elementos son transportados fuera en dirección de la línea y se giran desde el formato horizontal hasta el vertical, antes de ser colocados en el sistema de búfer móvil (MEB-B). El búfer móvil de elementos sirve para depositar, curar y transportar los elementos de vidrio aislante manual o automáticamente. Por lo tanto, no es necesario volver a clasificarlos.” (Guschlbauer, 2017)



Figura 16. Sistema automático de grúas UTS-B
Fuente: (Guschlbauer, 2017)

El UTS-B mostrado en la Figura 16, menora los gastos del transporte de los elementos de vidrio aislante pues ahorra espacio y la posible descarga manual en cualquier orden proporciona flexibilidad.

2.7.2. Cargador electromecánico y neumático

Todo el sistema está controlado por medio de un control numérico. Los ejes X y Z son dirigidos por medio de motores eléctricos con un inversor, mientras que el eje W es accionado por medio de un cilindro neumático. La operación de carga se hace sobre uno de los dos lados de la máquina como se observa en la Figura 17. (Armillas, 2017)



Figura 17. Cargador electromecánico y neumático
Fuente: (Armillas, 2017)

“Una sola pieza de grandes dimensiones o varias de pequeñas dimensiones pueden ser cargadas durante el mismo ciclo. La unidad de carga se completa con una estación de rodillos motorizados que permite la transferencia a la máquina de manufactura. La velocidad de la estación de rodillos es controlada por medio de un inversor.” (Armillas, 2017)

2.7.3. Sistema ALD

Es una estación de carga y descarga automática con estación de carga. Con la estación de carga y descarga automática (ALD), las hojas de vidrio se transportan de forma secuencial las mismas que se apoyan mediante un tabique posterior y es posible una carga doble. (Martinez, 2018)



Figura 18. Sistema ALD
Fuente: (Martinez, 2018)

“Durante la carga, se transportan las hojas de vidrio automáticamente a través de un soporte de rodillos que se encuentra por debajo. Tan pronto descende el soporte de rodillos, la hoja de vidrio se deposita sobre los rodillos de transporte de vidrios integrados. Durante la descarga automática, esto se realiza en sentido inverso, el soporte de rodillos levanta las hojas de vidrio desde los rodillos de transporte de vidrios” (Martinez, 2018)

2.8. Matriz de Pugh

Para tomar mejores decisiones al momento de la selección de componentes se va a emplear la Matriz de Pugh, es una técnica cuantitativa que utiliza regularmente en ingeniería para la toma de decisiones de diseño (Manufacturing terms, 2019). El primer paso es establecer los criterios que serán evaluados, es decir las necesidades, las mismas que se ubican como filas de la matriz. Luego se debe especificar posibles alternativas de diseño que apunten al cumplimiento de los criterios definidos las mismos que aparecerán en las columnas de la matriz; fijarse en la Tabla 2.

Tabla 2.
Matriz de decisiones

| Criterios de selección | Alternativa de diseño 1 | Alternativa de diseño 2 |
|-------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| Criterio 1 | | |
| Criterio 2 | | |
| Criterio 3 | | |
| Criterio 4 | | |
| Criterio 5 | | |
| Suma + | | |
| Suma 0 | | |
| Suma - | | |
| SUMA GENERAL | | |

Fuente: (Sejzer, 2016)

La mecánica es la siguiente: se toma la primera alternativa de diseño y se analiza criterio por criterio si su cumplimiento es superior al diseño actual, es inferior o es igual. Si es superior se coloca un signo "+", si es inferior un signo "-" y si es igual un "0". Para mayor comodidad, se suelen utilizar los números +1, -1 y 0 respectivamente ya que permiten operar en planillas de cálculo. Utilizaremos esta última nomenclatura de aquí en adelante. Una vez completada toda la tabla, se realiza la suma de cada columna. El concepto de diseño que obtenga un resultado mayor, producto del balance entre aspectos positivos y negativos, será la "mejor solución". (Sejzer, 2016)

2.9. Norma Técnica Ecuatoriana

El instituto ecuatoriano de normalización en el manual NTE INEN 1669:2011 establece condiciones para fabricación de parabrisas, lunetas, ventanas laterales fijas y móviles,

correspondientes a vidrios de seguridad desarrollados por la empresa ALUVIDGLASS CIA. LTDA. La norma dictamina el manejo adecuado de los vidrios de seguridad, para que los mismo, no sufran daños durante el almacenamiento, manipulación o transporte. (INEN, 2011)

CAPÍTULO III

DISEÑO DE UNA PLATAFORMA ROBÓTICA MÓVIL

3.1. Parámetros de diseño

El presente capítulo describe los parámetros de diseño para el proyecto con la finalidad de reducir el tiempo de carga y descarga de producción a través de la automatización de una plataforma de transporte de vidrio lo que se traducirá en mayores ganancias en la empresa.

Dentro de los parámetros a consideración se tomará en cuenta el uso de sensores y controladores que permitan la autonomía de la plataforma de transporte, así también se establecerán motores con un elevado torque para que el transporte de vidrio cubra las demandas requeridas por la empresa. Para la estructura de transporte se evaluarán las alternativas de materiales existentes dentro del mercado ecuatoriano que cumplan con parámetros que optimicen el transporte de grandes cargas de vidrio y cumplan con los estándares de la empresa.

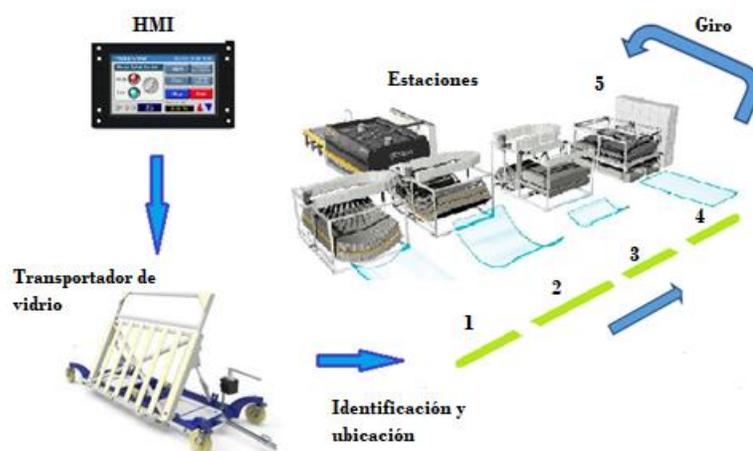


Figura 19. Necesidades del funcionamiento

En la Figura 19 se describe brevemente el funcionamiento que deberá tener la plataforma robótica móvil dentro de la empresa ALUVID GLASS CIA. LTDA, primero debe contar con una interfaz que sea amigable con el usuario, el operador será quién decida a que estación debe dirigirse la plataforma; el peso máximo de vidrios que deberá transportar es de 250 kg, lo que resultan 5 vidrios de 2 metros cuadrados y con espesor de 8 milímetros, la plataforma debe ser capaz de seguir hacia delante o retroceder a cualquiera de las cinco estaciones en cualquier momento evitando choques y golpes con objetos que se encuentren en el área de operación.

3.2. Definición de necesidades

Para el cumplimiento de los objetivos trazados en el proyecto se requiere de varias características esenciales, mismas que son definidas a través de necesidades que ayudarán con el cumplimiento de los requerimientos técnicos de la plataforma móvil.

Tabla 3.

Necesidades de la plataforma móvil autónoma para transporte de vidrio.

| N.º | Necesidades |
|-----|--|
| 1 | Diseño en función de la carga útil |
| 2 | Diseño en función de la forma y tamaño del vidrio |
| 3 | Desplazarse en base a trayectorias definidas |
| 4 | Desplazarse a velocidad idónea para transporte de vidrio |
| 5 | Autonomía de desplazamiento |
| 6 | Autonomía energética |
| 7 | Sistema Ackermann (Disposición gerente) |
| 8 | Uso de materiales estructurales presentes en la fábrica |

En la Tabla 3 se muestran las características correspondientes a las necesidades de diseño específicas del proyecto, estableciendo de esta manera los elementos y componentes más idóneos para la plataforma móvil.

3.3. Diseño mecánico de la plataforma robótica móvil

El diseño CAD (Diseño Asistido por Computador) de la estructura mecánica está basado en los caballetes de transporte de vidrio regulares esto fue un requerimiento específico de la empresa ALUVID GLASS CIA. LTDA.

Las características principales del diseño son:

- Diseño basado en los coches de la empresa, como se observa en la Figura 20, con sistema de dirección Ackerman por requerimiento del gerente de ALUVIDGLASS CIA. LTDA.
- Disponibilidad de dispositivos electrónicos en bodega de ALUVIDGLASS CIA. LTDA.: cámara, cable para conexiones.
- Uso de la mayor cantidad de materiales estructurales presentes en la bodega de ALUVID GLASS CIA. LTDA.
- La estructura superior e inferior soportan una carga específica de 250kg, las mismas que se unen mediante pernos por lo que son desarmables.



Figura 20. Diseño CAD de la plataforma robótica

3.3.1. Cálculos mecánicos

Debido a factores como el peso, la velocidad y el sistema de locomoción se requiere de una transmisión por cadena en el sistema de transporte. El uso de cadena se recomienda para grandes cargas de transporte. Esta sujeción en el caso normal está compuesta de elementos que son metálicos y sus dimensiones resisten las grandes cargas. Los eslabones de las cadenas se engranan en las catarinas, con el objetivo de formar un accionamiento mecánico positivo, adecuado a las condiciones de baja velocidad y gran par torsional. El tipo más común de cadena usado es la cadena de rodillos.

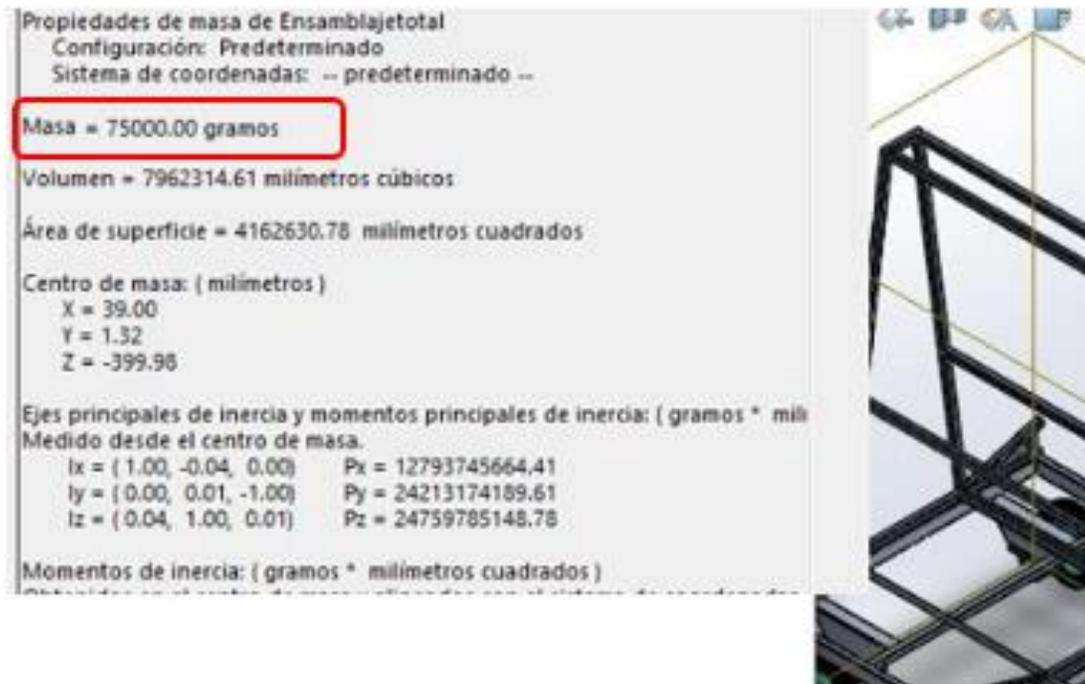


Figura 21. Diseño CAD de la plataforma

Dentro de los parámetros establecidos para la plataforma móvil se plantea que el peso sin carga es de 75 kg como se muestra en la Figura 21, este dato se obtiene a partir del software que se utilizó para el diseño CAD el mismo que permite obtener las propiedades del ensamble esta estructura.

Sumatoria del peso de la estructura con el peso máximo a soportar:

$$75kg + 250Kg \quad \text{Ec. 1}$$

$$M_{total} = 325kg$$

Para el cálculo de la potencia máxima que requiere el vehículo para moverse se tiene que:

$$P = m * g * v \quad \text{Ec. 2}$$

Donde:

m = la masa total del vehículo (kg)

g = la fuerza de gravedad (m/s^2)

v = la velocidad con la que se mueve el vehículo (m/s)

El valor de la masa total está dado por la sumatoria del peso de la plataforma sin carga y el peso máximo que esta puede transportar, mientras que la velocidad se establece en 1.38 m/s de acuerdo a las especificaciones de la empresa.

Reemplazando los valores se tiene que:

$$P = 325 \text{ kg} * 9.81 \frac{m}{s^2} * 1.38 \frac{m}{s}$$

$$P = 4399.785 \text{ watts} \text{ ó } 5.9 \text{ hp}$$

Este valor nos indica la potencia que requiere el transportador a la salida de la transmisión por cadena.

Posterior a ello se especifica un factor de servicio de 1.2 para el cálculo de la potencia máxima de diseño de acuerdo a la tabla 4.

Tabla 4
Factores de servicio para transmisiones por cadenas

| Tipo de carga | Tipo de impulsor | | |
|--|------------------|-----------------|-----------------------------|
| | Hidráulico | Motor eléctrico | Motor de combustión interna |
| Uniforme (agitadores, ventiladores, transportadores con carga ligera y uniforme) | 1.0 | 1.0 | 1.2 |
| Choque moderado (máquinas herramienta, grúas, transportadores pesados, mezcladores de alimentos y molinos) | 1.2 | 1.3 | 1.4 |
| Choque pesado (prensas de troquelado, molinos de martillo, transportadores alternos, accionamientos de molino de rodillos) | 1.4 | 1.5 | 1.7 |

Fuente: (Mott, 2009)

$$Potencia\ de\ diseño = 1.3 * 5.9\ hp \quad Ec. 3$$

$$Potencia\ de\ diseño = 7.8\ hp$$

Para cálculo del rpm con las que trabajará el sistema móvil se tiene que

$$w = \frac{v}{r} \quad Ec. 4$$

Donde:

w = es la velocidad angular del vehículo (rad)

v = es la velocidad lineal a la que se mueve el vehículo (m/s)

r = el radio de las llantas del vehículo (m)

Sustituyendo los valores previamente establecidos se tiene que:

$$w = \frac{1.38 \frac{m}{s}}{0.1 m}$$

$$w = 13.8 \text{ rad } \text{ ó } 131.78 \text{ rpm}$$

Siendo así que la relación entre la velocidad de entrada y la de salida es de:

$$\frac{200 \text{ rpm}}{131.78 \text{ rpm}} = 1.517 \frac{\text{rad}}{s}$$

Para seleccionar el paso de la cadena se consulta en la tabla del anexo 1 correspondientes a la capacidad de potencia y se elige la cadena número 80 para una sola hilera. Con un Catarina de 12 dientes a 200 rpm, la capacidad de potencia es 8.54 hp.

Para el cálculo de número de dientes de la catarina de salida se tiene que:

$$N_2 = N_1 * \text{relación}$$

Ec. 5

Donde:

N_1 = es el número de dientes de la catarina de entrada

N_2 = es el número de dientes de la catarina de salida

Con los datos previamente establecidos se tiene que:

$$N_2 = 12 * 1.517$$

$$N_2 = \mathbf{18.204 \sim 18}$$

Para el cálculo de la velocidad esperada se establece que:

$$n_2 = n_1 * \left(\frac{N_1}{N_2} \right) \quad \text{Ec. 6}$$

Donde:

n_1 = es la velocidad de entrada (rpm)

n_2 = es la velocidad de salida (rpm)

Con los datos previamente establecidos se tiene que:

$$n_2 = 200 * \left(\frac{12}{18} \right)$$

$$n_2 = \mathbf{133.33 \text{ rpm}}$$

Por lo que la cadena simple de rodillos número 80 de 0.5 pulgadas de paso seleccionada cumple con los parámetros de diseño establecidos según (Mott, 2009) y es la cadena más adecuada para la transmisión de movimiento del sistema.

Para el cálculo del diámetro de paso de las catarinas se usa la siguiente expresión:

$$D_1 = \frac{p}{\text{sen}\left(\frac{180^\circ}{N_1}\right)} \quad \text{Ec. 7}$$

$$D_2 = \frac{p}{\text{sen}\left(\frac{180^\circ}{N_2}\right)} \quad \text{Ec. 8}$$

Donde:

p = representa el paso (pulg)

D_1 y D_2 = representan el diámetro de la Catarina de entrada y salida respectivamente (pulg)

N_1 y N_2 = representan el número de dientes de la catarina de entrada y salida respectivamente
(rpm)

Entonces se tiene que:

$$D_1 = \frac{0.5}{\text{sen}\left(\frac{180^\circ}{12}\right)} \quad D_2 = \frac{0.5}{\text{sen}\left(\frac{180^\circ}{18}\right)}$$

$$D_1 = 1.93 \text{ pulg} \quad D_2 = 2.87 \text{ pulg}$$

El cálculo de la distancia nominal entre centros se usará la parte media del intervalo recomendado es decir 40 pasos y establece mediante la siguiente expresión:

$$L = 2C + \frac{N_2 + N_1}{2} + \frac{(N_2 - N_1)^2}{4\pi^2 C} \quad \text{Ec. 9}$$

$$L = 2 * 40 + \frac{18 + 12}{2} + \frac{(18 - 12)^2}{4\pi^2 * 40}$$

$$L = 95.02 \text{ pasos}$$

Con ello se procede a calcular la distancia teórica entre centros:

$$C = \frac{1}{8} \left(L - \frac{N_2 + N_1}{2} + \sqrt{\left(L - \frac{N_2 + N_1}{2} \right)^2 - \frac{8(N_2 - N_1)^2}{4\pi^2}} \right) \quad \text{Ec. 10}$$

Reemplazando datos se obtiene

$$C = \frac{1}{8} \left(95 - \frac{18 + 12}{2} + \sqrt{\left(95 - \frac{18 + 12}{2} \right)^2 - \frac{8(18 - 12)^2}{4\pi^2}} \right)$$

$$C = 10 \text{ pulg}$$

Para el ángulo de contacto de la cadena en cada catarina se plantea que el ángulo mínimo debe ser de 120° y se procede a calcular de la siguiente manera:

$$\theta_1 = 180^\circ - 2\text{sen}^{-1} \left[\frac{2.87 - 1.93}{2 * 10} \right] \quad \text{Ec. 11}$$

$$\theta_1 = 174.61$$

$$\theta_2 = 180^\circ + 2\text{sen}^{-1} \left[\frac{2.87 - 1.93}{2 * 10} \right] \quad \text{Ec. 12}$$

$$\theta_2 = 185.39$$

La Figura 22, indica la geometría básica de la transmisión por cadena para identificar la correcta instalación de dicho sistema.

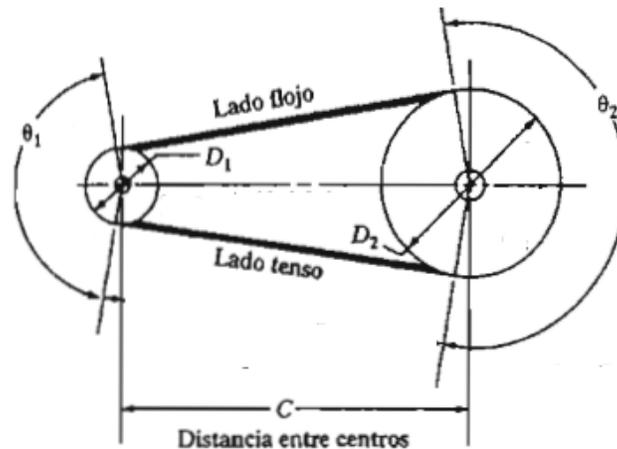


Figura 22. Geometría básica de transmisión por cadena
Fuente: (Mott, 2009)

3.4. Análisis Estático de fallas

Se realiza un análisis estático de la estructura con ayuda de un software de simulación el mismo que permite simular el desempeño de la plataforma; en primero lugar se especifica el material que se va a emplear en la construcción en este caso es acero ASTM A-36, a continuación, se colocan los puntos de apoyo y cargas correspondientes en cada lugar necesario.

3.4.1. Deformación total de la parte superior

Para el análisis en esta parte se aplicó una fuerza de 2.450 N que se ha distribuido en los seis puntos de apoyo, colocando en cada uno de ellos 408,3 N como se observa en la Figura 23.

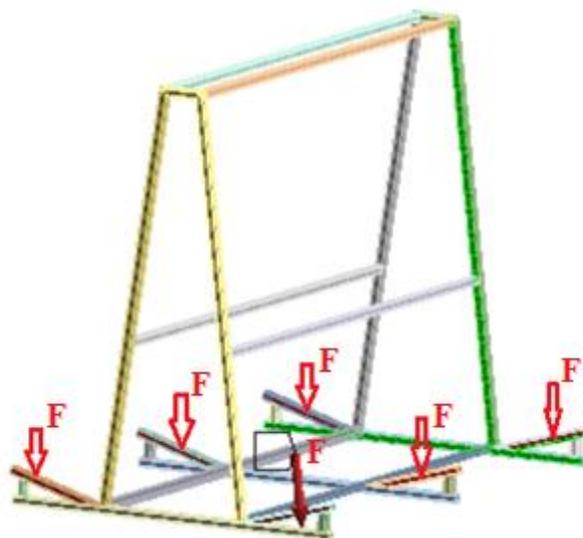


Figura 23. Fuerza aplicada a los puntos de apoyo

De acuerdo a los resultados mostrados en la Figura 24 se puede observar que la deformación máxima es de $6,51e^{-7}$ con lo cual se puede determinar que la estructura de la parte superior se encuentra bien diseñada y es óptimo para acoplarse en la parte inferior de la estructura

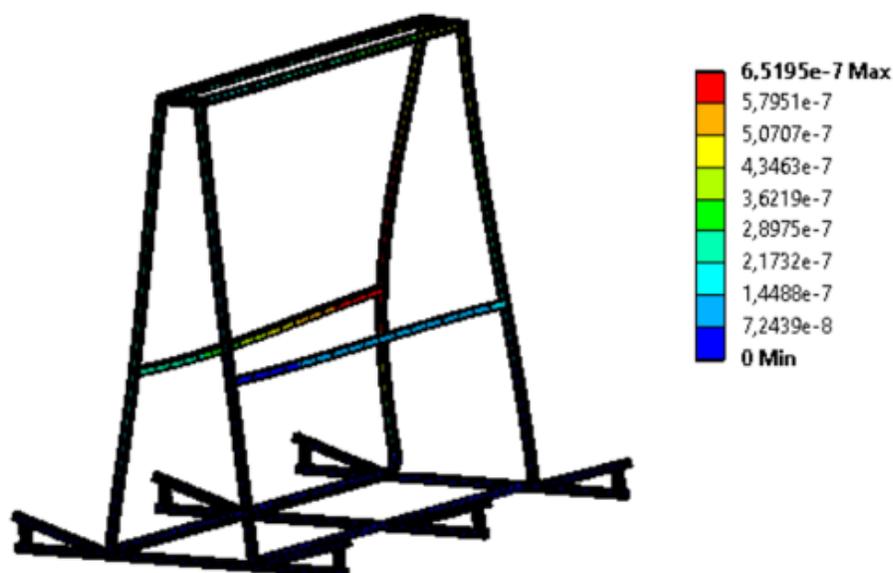


Figura 24. Análisis de deformación

3.4.2. Factor de seguridad

El factor de seguridad mínimo o crítico es de $N=4$ como se observa en la Figura 25, por consecuencia al ser mayor que el factor de seguridad mínimo que es 2 se considera un diseño seguro, por lo tanto, se puede usar los perfiles proporcionados por la empresa ALUVIDGLASS CIA. LTDA.

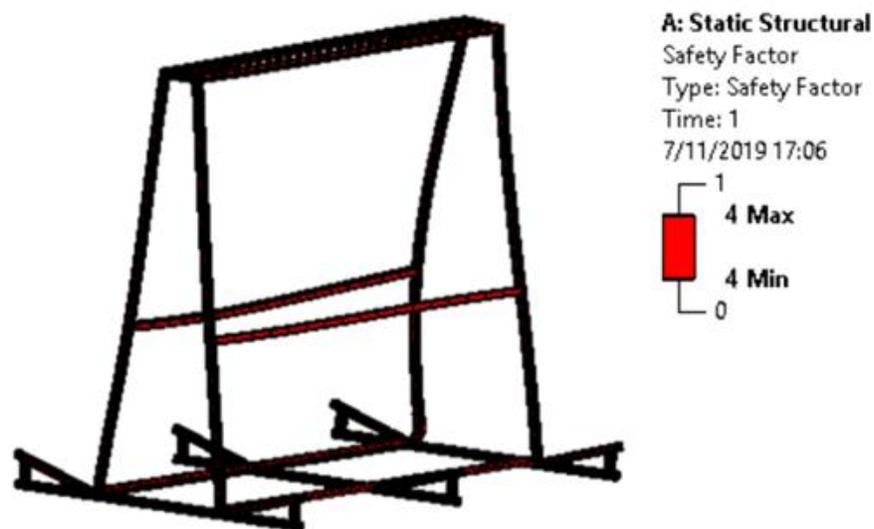
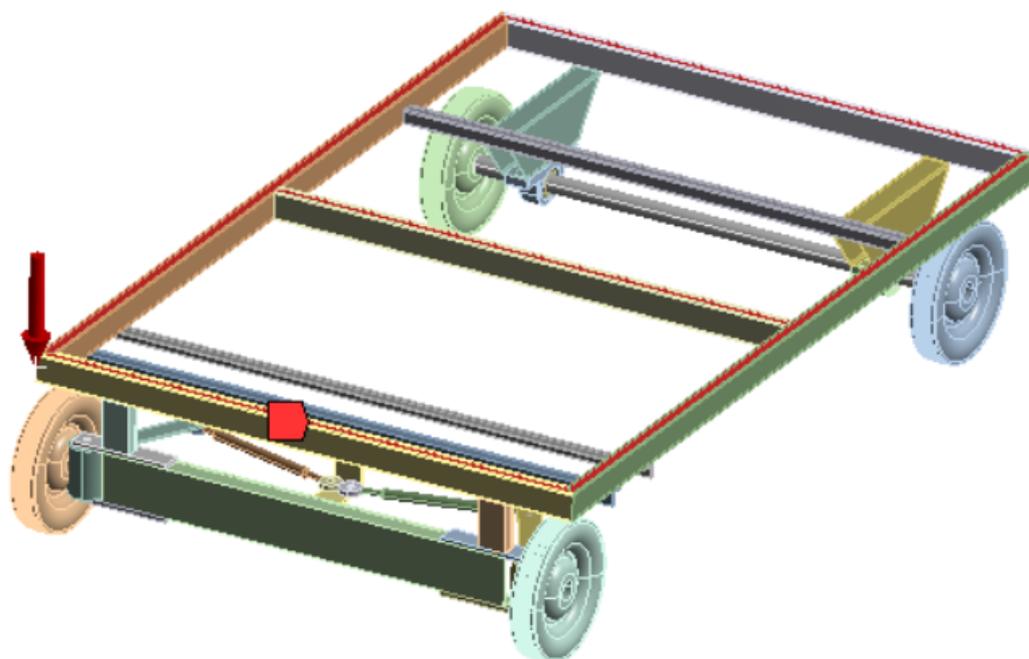


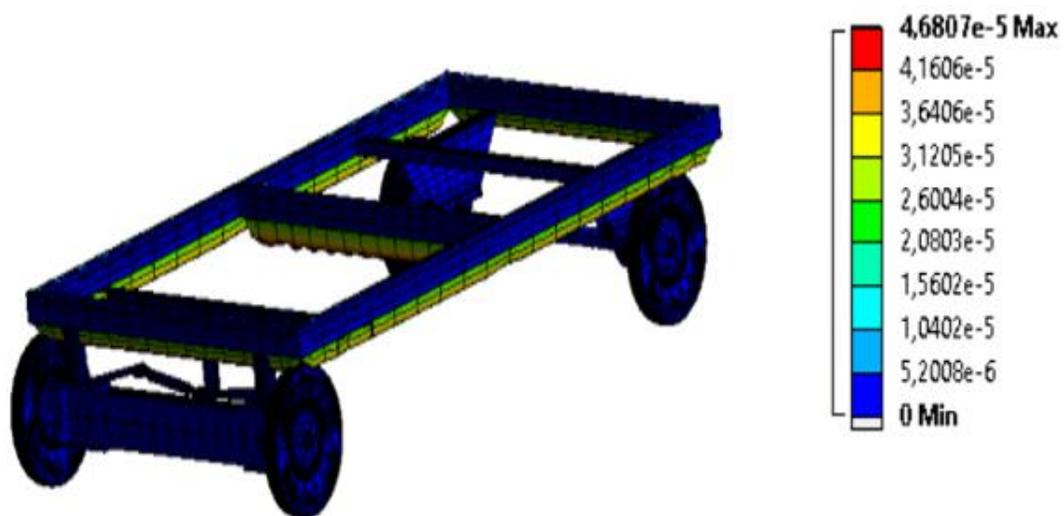
Figura 25. Factor de seguridad de la parte superior

3.4.3. Deformación total de la parte inferior

En este análisis se ha considerado una Fuerza de 3.185N que resultan de la sumatoria de la masa de los vidrios (250kg) más el peso de la estructura superior (75kg) todo esto por la gravedad.



a)



b)

Figura 26. a) Análisis de la parte inferior b) Deformación de la parte inferior

La fuerza se ha distribuido en las 5 vigas donde se apoyará la parte superior, la deformación total es de $4,680e^{-5}$ como se visualiza en la Figura 26 la deformación producida por la carga es muy baja por tal razón se le considera como despreciable.

3.4.4. Factor de seguridad

El factor de seguridad mínimo o crítico es de $N= 4$ visualizado en la Figura 27, por consecuencia al ser mayor que el factor de seguridad mínimo que es 2 se considera un diseño seguro y es viable el uso de los perfiles proporcionados por la empresa.

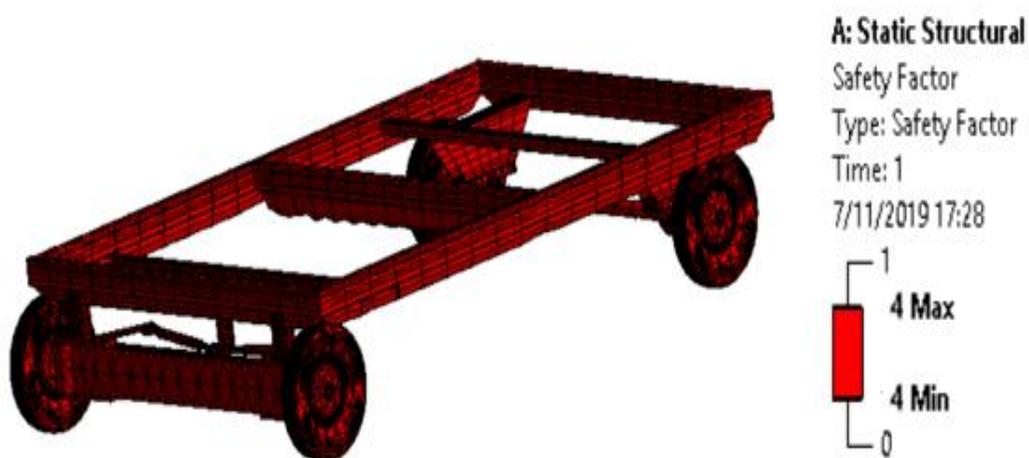


Figura 27. Factor de seguridad de la parte inferior

3.5. Aplicación Normativa

Para cumplir con la normativa NTE INEN 1669:2011 como se muestra en la Figura 28 se añadió tablas tríplex que evitan contacto directo de los vidrios con la estructura, y cauchos que disminuyen daños en los contornos.



Figura 28. Elementos de seguridad

3.6. Diseño electrónico y de sistema de control

En esta parte se describirá brevemente los requerimientos electrónicos que demanda la plataforma móvil, es indispensable precisar las funciones que tendrá la plataforma igualmente las limitaciones con las que va a contar y el medio en que se va a utilizar. Este apartado deberá satisfacer dos parámetros importantes, primero escoger de forma correcta los materiales electrónicos que van a formar parte de la plataforma robótica móvil como tal; segundo la comunicación de la plataforma con las estaciones presentes en la empresa ALUVIDGLASS CIA.LTDA.

3.6.1. Actuadores

Los actuadores son dispositivos cuya misión es generar movimiento, desplazamiento o algún tipo de acción, esta generación se ejecuta o actúa sobre otros dispositivos al recibir un impulso.

Los tipos de actuadores que existen se clasifican de la siguiente manera:

- Actuadores eléctricos
- Actuadores hidráulicos
- Actuadores neumáticos

El estudio se centrará en los actuadores eléctricos ya que se pretende hacer uso de estos en el presente proyecto debido a que son accionados por corrientes eléctricas; dentro de una amplia gama existen actuadores electrónicos que consumen una notable cantidad de energía, para poder sobrellevar eso se utilizan controladores. El actuador que se va a seleccionar debe ser seguro, robusto y deben ser capaz de otorgar la potencia necesaria para la tarea deseada.

3.6.2. Tarjeta de control

Las tarjetas de control también son llamadas tarjetas controladoras ayudan a la comunicación entre el ordenador y el sistema que se pretende controlar. Funcionan de la siguiente manera la tarjeta recibe diferentes instrucciones del ordenador en forma digital y tiene que convertir esos datos en señales, generalmente son analógicas, pues lo que se desea es que sean comprensibles para el sistema a controlar y viceversa, también tienen que administrar las señales del sistema a controlar y enviárselas al ordenador para su tratamiento.

3.6.3. Alimentación

La fuente de alimentación es el aparato que transforma la corriente alterna, en una o varias corrientes continuas o directas, estas corrientes se emplean para alimentar los diferentes componentes electrónicos. Las fuentes de alimentación se clasifican en dos grupos, lineales y conmutadas; las lineales se encuentran diseñadas de una manera sencilla, sin embargo, puede llegar a ser compleja, a medida que la corriente que suministra se incrementa, aunque su regulación de tensión no sea muy eficaz. Una fuente conmutada, se caracteriza por tener la misma fuerza que una lineal, y contar con una estructura mucho más pequeña. (Benavides, 2019)

Generalmente las fuentes más usadas son las conmutadas por sus diseños compactos y su costo accesible.

3.6.4. Control de movimiento

Los motores más utilizados en el campo industrial y embebida son los motores de DC de pasos, con y sin escobillas, pero obviamente existe una amplia gama de motores. Cada uno de estos motores necesita de señales de entrada individual para hacer girar el motor y transformar la energía eléctrica en energía mecánica; el control de movimiento ayuda a utilizar el motor que mejor cumple con las exigencias de su aplicación sin tener que tratar con todas las señales de bajo nivel necesarias para hacer girar el motor.

3.6.5. Sensores

Los sensores son objetos que capturan una magnitud del medio físico y la transforman en una señal eléctrica de baja intensidad que es procesada para que una máquina interactúe con el entorno.

3.7. Selección de componentes electrónicos

3.7.1. Motor para tracción

A. Alternativas de selección

Alternativa 1: Motor CNC Nema 34

Este motor paso a paso CNC Nema 34 es más fuerte, motor de bucle cerrado 12NM 6A híbrido de 2 fases nema 34 controlador de motor DC (40- 110 V) /CA (60-80 V); la principal característica de estos motores es que pueden moverse un paso a la vez por cada pulso que se le haya aplicado. Este paso puede variar desde 90° hasta pequeños movimientos de tan solo 1.8°, es decir que se necesitarán 4 pasos en el primer caso (90°) y 200 para el segundo caso (1.8°), para completar un giro completo de 360°. (Rambal, 2019)



Figura 29. Motor CNC Nema 34 híbrido
Fuente: (JKONGMOTOR, 2019)

- Ángulo de paso: 1.8 grados
- Par de retención: 13 Nm (1841 oz.in)
- Corriente: 6 A
- Inductancia: 5.5 Mh
- Diámetro del eje: 14 mm

- Resistencia: 0.72 ohm
- Par de torsión: 12 Nm
- Corriente de salida: 6 A 20 KHz PWM
- Frecuencia de pulso máximo: 200 K
- Valor de sobretensión: 130 V
- Dimensiones totales: 150 x 97 x 30 (mm)
- Peso: 580 g
- Voltaje de entrada: 24-70V AC o 30-100V DC
- Temperatura de operación: 70 °C

Alternativa 2: KDA20-20L tipo hacker

Estos motores son ideales para el aerodelismo ya que presentan grandes ventajas: piezas sin rozamientos, sin escobillas y por tanto sin chispas perturbadoras, volumen y peso menor con mayor aprovechamiento de la energía. Normalmente están fabricados con rodamientos, ejes gruesos y admiten un gran abanico de números de células. Eso sí, las baterías tienen que ser capaces de dar mucha intensidad pues el consumo puede ir desde los 3-4 amperios hasta 90 o más dando una potencia entre 40 y 1500 watios o más. (Tecnocio, 2018)



Figura 30. Motor KDA20-20L tipo Hacker
Fuente: (Tecnocio, 2018)

Las características de este motor según (Tecnocio, 2018) son:

- Dimensiones: 28x32 mm
- Valoración: 1053 kv
- Batería Config: 3 Las células Lipo
- Eje: 3,175 mm
- Peso: 56 gr
- Estándar actual: 6-15 A
- Corriente máxima: 19 A
- Voltaje max: 11 V
- Dimensiones: 28x32mm
- Kv: 1143rpm/V
- Rm: 0,246 ohms

Alternativa 3: Motor a pasos bipolar Nema 23

Este motor bipolar esta entre las selecciones posibles para armar una impresora RepRap, CNC y otras aplicaciones. Son una gran manera de poner a mover las cosas, especialmente cuando el posicionamiento y la repetitividad son algo a tener en cuenta. (Alibaba, 2018)



Figura 31. Motor Nema 23 bipolar

Fuente: (Alibaba, 2018)

Según (Alibaba, 2018) las características de este motor son las siguientes:

- Tamaño: 10X10X10 cm
- Peso: 0,85 kg
- Fuerza Max: 15 N
- Tipo de motor: Bipolar
- Ángulo de motor: 1.8°
- Par de retención (Holding Torque): 1.26Nm(178.5oz.in) (12.85 Kg/cm)
- Corriente nominal / fase: 2.8 A
- Resistencia de fase: 0.9ohms
- Voltaje: 2.5 V
- Inductancia: 2.5mH±20% (1KHz)

B. Criterios de selección

Tabla 5.
Análisis de la selección del motor de tracción

| Parámetros de selección | Alternativa 1 | Alternativa 2 | Alternativa 3 |
|---------------------------|---------------|-----------------------|---------------|
| | Motor Nema 34 | KDA20-20L tipo hacker | Motor Nema 23 |
| Voltaje de alimentación | + | + | + |
| Peso | + | - | + |
| Rpm | - | + | + |
| Torque | + | - | + |
| Stock en el mercado local | - | + | - |
| Tamaño | + | - | + |
| Costo | - | + | - |
| Suma + | 6 | 4 | 5 |
| Suma 0 | 0 | 0 | 0 |
| Suma - | 1 | 3 | 2 |
| TOTAL | 5 | 1 | 3 |

De acuerdo a los resultados obtenidos en la Tabla 5, la alternativa número 1, Motor nema 34 es la opción que más beneficios brinda, la fuerza del motor es el atributo que más aporta al diseño.

3.7.2. Motor para dirección

A. Alternativas de selección

Alternativa 1: Motor Pololu 131:1 (Piñón recto)

Este motorreductor es un potente motor de CC con escobillas de 12V con una caja de engranajes de metal 131.25: 1 y un codificador de cuadratura integrado que proporciona una resolución de 64 cuentas por revolución del eje del motor, que corresponde a 8400 cuentas por revolución del eje de salida de la caja de cambios. (Pololu, 2019)



Figura 32. Motor Pololu 131:1

Fuente: (Pololu, 2019)

(Pololu, 2019) indica que las especificaciones generales del motor son las siguientes:

- Voltaje: 12V
- Torque: 630 kg cm
- Corriente: 150 Ma
- RPM: 76
- Corriente de bloqueo a 12V: 5.5 A
- Peso: 210 g
- Diámetro del eje: 6mm²
- Potencia de salida con máxima eficiencia: 4.1 W

Alternativa 2: Motor a pasos Nema 23

Motor paso a paso de potencia intermedia para tus proyectos de robótica y CNC. Construcción robusta, muy utilizado en impresoras 3D, láser. (E-ika, 2019)

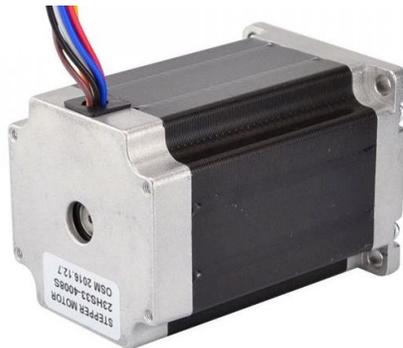


Figura 33. Motor a pasos Nema 23
Fuente: (E-ika, 2019)

Según (E-ika, 2019) las características de este motor son las siguientes:

- Tipo motor: bipolar
- Diámetro del eje: 6,35mm
- Longitud del eje: 20mm
- Longitud 74mm
- Tamaño: 74 x 56 x 56mm
- Peso aprox: 1Kg
- Par: 19 Kg.cm
- Ángulo del paso: 1, 8° (200 pasos por vuelta)
- Intensidad máxima por fase: 4A
- Voltaje por fase: 2,6V

B. Criterios de selección

Tabla 6
Análisis de la selección del motor para la dirección

| Parámetros de selección | Alternativa 1 | Alternativa 2 |
|---------------------------|--------------------|---------------|
| | Motor Pololu 131:1 | Motor Nema 23 |
| Voltaje de alimentación | + | + |
| Peso | + | - |
| Velocidad angular | - | + |
| Torque | - | + |
| Stock en el mercado local | - | + |
| Tamaño | + | - |
| Costo | - | + |
| Suma + | 3 | 5 |
| Suma 0 | 0 | 0 |
| Suma - | 4 | 3 |
| TOTAL | -1 | 2 |

Los resultados de la tabla 6 indican que la alternativa 2, motor nema23 cumple de mejor manera con los criterios establecidos para la selección del motor para que dará la dirección de la plataforma.

3.7.3. Tarjeta de control

A. Alternativas de selección

Alternativa 1: Arduino Mega

(Javier Aldaz, 2016) menciona que “Arduino Mega es una placa electrónica basada en el microcontrolador ATmega328. Cuenta con 54 pines entre entradas/salidas digitales de los cuales 15 proveen salida PWM.”

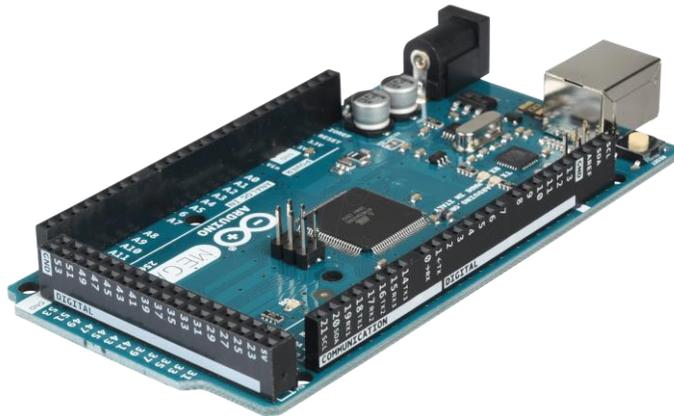


Figura 34. Arduino Mega

Fuente: (Javier Aldaz, 2016)

Las características técnicas principales que menciona (Javier Aldaz, 2016) son las que se encuentran a continuación:

- Microcontrolador: ATmega2560
- Voltaje Operativo: 5V
- Voltaje de Entrada: 7-12V
- Voltaje de Entrada(límites): 6-20V
- Pines digitales de Entrada/Salida: 54 (de los cuales 15 proveen salida PWM)
- Pines análogos de entrada: 16
- Corriente DC por cada Pin Entrada/Salida: 40 mA
- Corriente DC entregada en el Pin 3.3V: 50 mA
- Memoria Flash: 256 KB (8KB usados por el bootloader)
- SRAM: 8KB
- EEPROM: 4KB
- Clock Speed: 16 MHz

Alternativa 2: Raspberry Pi 3 b+

“Raspberry es una placa computadora de bajo coste por la Fundación Raspberry pi, con el objetivo de estimular la enseñanza de la informática en las escuelas. La placa Raspberry Pi 3 modelo B es la tercera generación de Raspberry Pi y viene con una presentación impecable; el concepto es el de un ordenador desnudo de todos los accesorios que se pueden eliminar sin que afecte al funcionamiento básico. Está formada por una placa que soporta varios componentes necesarios en un ordenador común y es capaz de comportarse como tal” (Campana, 2013)



Figura 35. Raspberry Pi 3
Fuente: (Campana, 2013)

Las especificaciones técnicas de acuerdo a (Campana, 2013):

- CPU Quad Core 1.2GHz Broadcom BCM2837 de 64 bits
- 1 GB de RAM
- BCM43438 wireless LAN y Bluetooth Low Energy (BLE)
- GPIO extendido de 40 pines
- 4 puertos USB 2
- Salida estéreo de 4 polos y puerto de vídeo compuesto
- HDMI de tamaño completo

- Puerto de cámara CSI para conectar una cámara Raspberry Pi
- Puerto de pantalla DSI para conectar una pantalla táctil Raspberry Pi
- Puerto Micro SD para cargar su sistema operativo y almacenar datos
- Fuente de alimentación Micro USB conmutada mejorada hasta 2.5 A

Alternativa 3: LattePanda Alpha 864

“LattePanda Alpha, utiliza el mismo procesador Core m3 Intel 7ma generación que la última MacBook. Es la elección perfecta para mantener bajo el consumo de energía, pero aun así ofrecer un rendimiento superior. Más importante aún, también integra un coprocesador Compatible con Arduino para admitir el acceso de miles de sensores y controladores. Integración de 40 pares de interfaces en la placa, fuerte capacidad de expansión asegura sus infinitas posibilidades.” (Lin, 2018)



Figura 36. LattePanda
Fuente: (Lin, 2018)

- Windows 10 Pro preinstalado, compatible con Linux
- CPU hasta Intel Core 7ma generación M3-7Y30, 2.6Ghz
- Hasta 8 GB de RAM de doble canal
- Compatibilidad con SSD NVMe

- Gigabit Ethernet, activación de Wake on Lan
- Intel Dual Band Wireless-AC 3165, soporte wifi 2.4G / 5G, soporte Bluetooth V4.2
- Software que incluye kits de desarrolladores de AI e IoT, lo que permite a los estudiantes explorar estas tecnologías avanzadas de una manera fácil de usar
- Hardware para respaldar creaciones que aprovechan la inteligencia artificial (AI), la realidad aumentada (AR), la realidad virtual (VR) y el aprendizaje automático (ML)
- Arduino habilitado, soporta todo el IDE de Arduino y la biblioteca de software, compatible con sensores Arduino y Actuadores.

B. Criterios de selección

Tabla 7

Análisis de la selección de la tarjeta de control

| Parámetros de selección | Alternativa 1 | Alternativa 2 | Alternativa 3 |
|---------------------------|---------------|------------------|----------------------|
| | Arduino Mega | Raspberry pi 3b+ | LattePanda Alpha 864 |
| Facilidad de programación | + | + | - |
| Número de I/O | + | + | + |
| Voltaje de alimentación | + | + | + |
| Interfaz amigable | + | - | - |
| Stock en el mercado local | + | + | - |
| Tamaño | + | + | - |
| Costo | + | - | - |
| Suma + | 7 | 5 | 2 |
| Suma 0 | 0 | 0 | 0 |
| Suma - | 0 | 2 | 3 |
| TOTAL | 7 | 3 | -1 |

Con base en los resultados obtenidos en la Tabla 7, la alternativa 1 es la más viable, por ende, la tarjeta de control que se va a utilizar es Arduino Mega; para este proyecto se va a implementar también la alternativa 2 debido a la facilidad que brinda la tarjeta de control Raspberry Pi3 en el tratamiento de imágenes.

3.7.4. Sensores de proximidad

A. Alternativas de selección

Alternativa 1: Sensores Ultrasónicos

(Autracen, 2017) señala que “Los sensores ultrasónicos dan solución a un amplio abanico de situaciones dentro de la automatización industrial. Pueden detectar una gran variedad de materiales, no se ven afectados por superficies problemáticas y presentan una gran inmunidad a factores externos en el ambiente donde se encuentren instalados. Sea cual sea la industria, desde la manipulación de materiales, equipos móviles, alimentos y bebidas, medición de nivel del llenado o detección en entradas en puertas, los sensores ultrasónicos aportan soluciones a las problemáticas más diversas”



Figura 37. Sensor Ultrasónico

Fuente: (Autracen, 2017)

Las principales características técnicas de este tipo de sensor son:

- Compatible con Arduino Bluetooth

- Microcontrolador: ATmega328P
- Voltaje de funcionamiento: 5V
- Voltaje mínimo de entrada límite: 3.3 V
- Fuente de alimentación: + 5V DC
- Corriente en reposo: < 2 mA
- Trabajo actual: 15Ma
- Ángulo Eficaz: < 15 °
- Distancia: 2 cm – 2 m
- Resolución: 0,3 cm
- Disparo por ancho de pulso de entrada: 10uS
- Dimensiones: 45mm x 20mm x 15mm

Alternativa 2: JSN-SR04T

“El sensor JSN-SR04T es un sensor de distancia que utiliza ultrasonido (sonar) para determinar la distancia de un objeto en un rango de 25 a 450 cm. Destaca por su pequeño tamaño, bajo consumo energético, buena precisión y especialmente por su resistencia al agua; el sensor trabaja con ultrasonido y contiene toda la electrónica encargada de hacer la medición. El funcionamiento del sensor es el siguiente: se emite un pulso de sonido (TRIG), se mide la anchura del pulso de retorno (ECHO), se calcula la distancia a partir de las diferencias de tiempos entre el Trig y Echo. El funcionamiento no se ve afectado por la luz solar o material negro (aunque los materiales blandos acústicamente como tela o lana pueden ser difícil de detectar).” (Naylamp Mechatronics, 2018)



Figura 38. Sensor Ultrasónico sumergible
Fuente: (Naylamp Mechatronics, 2018)

Según (Naylamp Mechatronics, 2018) las características técnicas son las siguientes:

- Voltaje operativo: DC 5V
- Corriente: 5mA
- Frecuencia de emisión acústica: 40khz
- Distancia: 4.5 m
- Blind: 25cm
- Trig (lado de control) RX
- Echo (el receptor) TX
- Resolución: alrededor: 0.5cm
- Ángulo: menos de 50 grados
- Temperatura de trabajo: -10 ~ 70 Celsius

B. Criterios de selección

Tabla 8.
Análisis de la selección del sensor de proximidad

| Parámetros de selección | Alternativa 1 | Alternativa 2 |
|---------------------------------------|-----------------------|---------------|
| | Sensores Ultrasónicos | JSN-SR04T |
| Distancia de medición | + | + |
| Ángulo de recepción | + | - |
| Voltaje de alimentación | + | + |
| Compatibilidad con tarjeta de control | + | - |
| Stock en el mercado local | + | - |
| Tamaño | + | + |
| Costo | + | - |
| Suma + | 7 | 3 |
| Suma 0 | 0 | 0 |
| Suma - | 0 | 4 |
| TOTAL | 7 | -1 |

Conforme a los resultados que se presentan en la Tabla 8, el sensor ultrasónico correspondiente a la alternativa 1, es el más idóneo ya que cumple con la mayoría de necesidades.

3.7.5. Sensor seguidor de línea

A. Alternativas de selección

Alternativa 1: Sensor QTR-8A

(TD-Robotica, 2017) indica que “El arreglo sensor de reflexión-QTR 8A está pensado como un sensor de línea, pero puede ser utilizado para identificar la proximidad o como un sensor de reflectancia. El módulo dispone de ocho emisores de infrarrojos y de 8 receptores (fototransistor). El fototransistor se conecta a una resistencia de pull-up para formar un divisor de voltaje que

produce una salida de voltaje analógica entre 0V y VIN (que suele ser de 5V) en función del IR reflejado. Bajo voltaje de salida es una indicación de una mayor reflexión.”

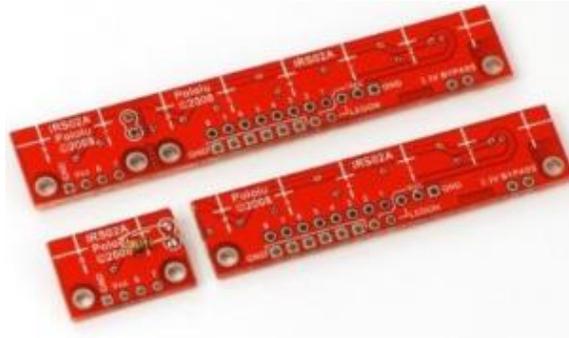


Figura 39. Sensor QTR-8 A
Fuente: (TD-Robotica, 2017)

(TD-Robotica, 2017) indica que las características técnicas principales de este sensor son las siguientes:

- Dimensiones: 75 x 13mm
- Voltaje de funcionamiento: 3.3V-5,0 V
- Consumo de corriente: 100 mA
- Formato de salida: Voltaje análogo
- Distancia óptima de detección: 3mm
- Máxima distancia de detección recomendada: 6mm

Alternativa 2: Sensor 5 canales infrarrojo fotoeléctrico

“Capaz de rastrear con precisión la línea negra compleja (línea blanca) para una línea negra simple más fácilmente, la barrera y el sensor de infrarrojos integrados se pueden ajustar mediante el reóstato deslizante, tiene un diseño especial de sensor táctil, que hace que el diseño del robot sea más simple; las señales de salida son todas señales digitales (nivel alto y bajo), conectadas fácilmente con el microcontrolador, el estado de salida tiene luces LED como indicador para una

fácil depuración. Soporta un voltaje de 3.0-5.5v, cumple con la mayoría de los requisitos del sistema” (Mercado libre Ecuador, 2019)

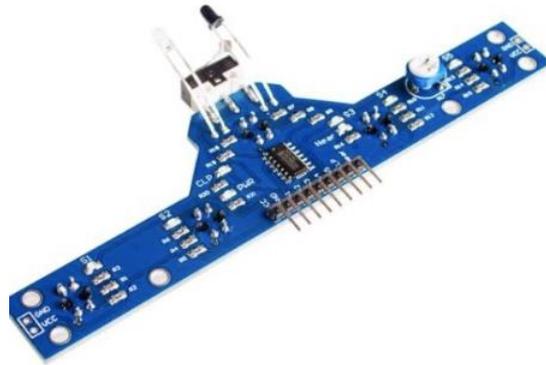


Figura 40. Sensor 5 canales Infrarrojo Fotoeléctrico
Fuente: (Mercado libre Ecuador, 2019)

(Mercado libre Ecuador, 2019) dice que las especificaciones técnicas de este sensor son:

- Tipo: Módulo de sensor óptico
- Peso neto: aprox. 12 g
- Tamaño: aprox. 127 X 56 X 11 mm / 5 X 2.2 X 0.43 in
- Voltaje de entrada: 3-5.5V
- Distancia de detección: 0-3cm (sensor de línea negra)
- Distancia de barrera de pared: 0-6 cm (distancia de detección ajustable)
- Salida: Señal de nivel (alta y baja)

Tabla 9.
Análisis de la selección del sensor seguidor de línea

| Parámetros de selección | Alternativa 1 | Alternativa 2 |
|--|---------------|---|
| | Sensor QTR-8A | sensor 5 canales infrarrojo fotoeléctrico |
| Distancia de detección | + | + |
| Voltaje de entrada | - | + |
| Compatibilidad con la tarjeta de control | + | + |
| Stock en el mercado local | + | + |
| Tamaño | + | + |
| Costo | + | + |
| Suma + | 5 | 6 |
| Suma 0 | 0 | 0 |
| Suma - | 1 | 0 |
| TOTAL | 4 | 6 |

Conforme a los resultados que se presentan en la Tabla 9, el sensor de 5 canales infrarrojo fotoeléctrico correspondiente a la alternativa 2, es el más adecuado ya que cumple con la mayoría de requerimientos.

3.8. Diseño electrónico y del sistema de control

El sistema electrónico consta de diferentes elementos, los cuales permiten a la plataforma robótica tener la habilidad de comprender su ambiente externo y evaluar su ubicación a partir de cuatro sensores ultrasónicos; de la misma forma también cuenta con dos sensores seguidores de líneas de 5 canales infrarrojos; esta plataforma también cuenta con dos actuadores (motores) que le dan al robot móvil la capacidad de moverse. Estos elementos deberán enlazarse mediante diferentes etapas hasta llegar al punto de procesamiento de las señales que generen, y a partir de las mismas poder controlar el prototipo.

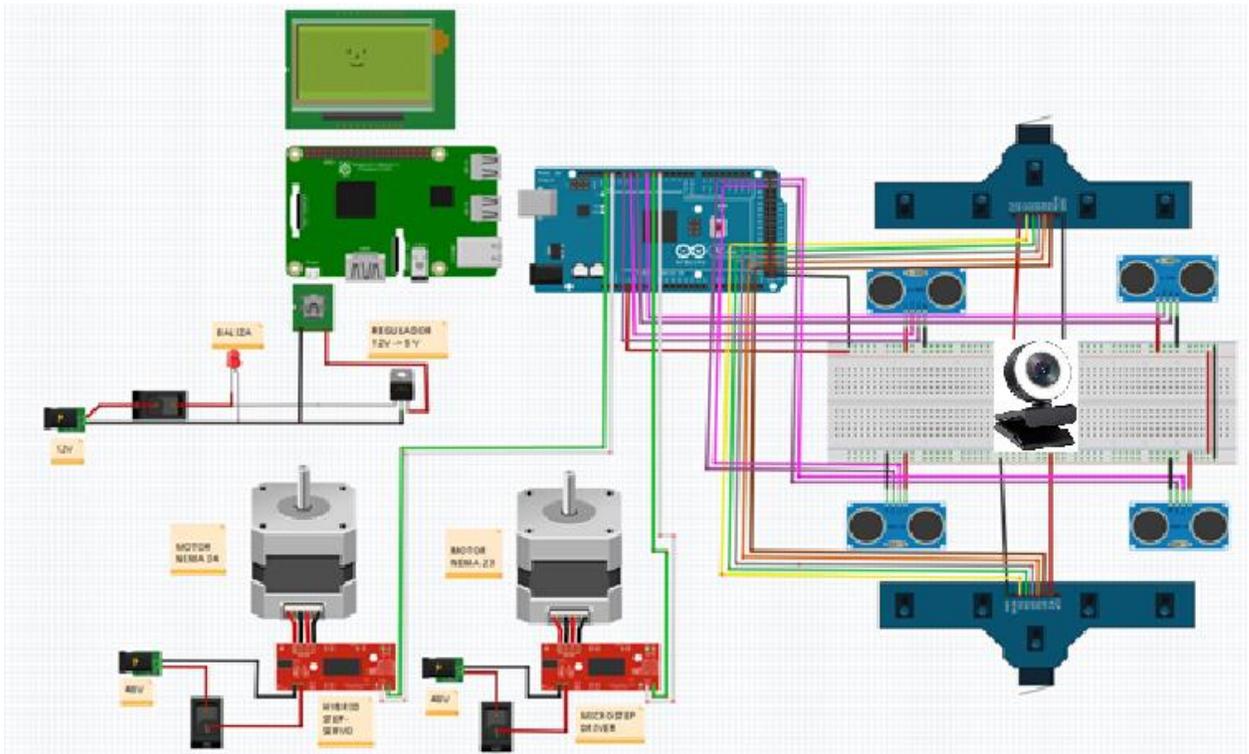


Figura 41. Diagrama de componentes electrónicos

El sistema de control de la plataforma robótica móvil debe tener la capacidad de detectar obstáculos en el transcurso de su trayectoria, además el modo de trabajo que deberá ejecutar es automático ya que se definirá la velocidad y la trayectoria a recorrer; como se indica en la Figura 43 el diseño final de la parte electrónica consta de tres baterías, cada motor paso a paso tendrá una batería de uso específico y tercera es una batería seca de 12V – 7A la misma que será la encargada de suministrar voltaje a las tarjetas de control Raspberry Pi3 y Arduino Mega.

La Raspberry soporta 5V, por aquello es necesario implementar un transformador de 12V – 5V con la capacidad de soportar hasta 10 amperios; en esta misma tarjeta se encuentra conectada la cámara, la comunicación serial con el Arduino a una velocidad de transmisión de 115200 baudios y la pantalla.

Así mismo para el control de los motores se utilizará tarjetas electrónicas, estas deben cumplir con la función de controladores para que logren convertir las acciones enviadas a la plataforma en movimiento para los motores.

Finalmente, la plataforma cuenta con una baliza la misma que será la encargada de la indicación lumínica cada vez que el interruptor de encendido sea activado.

3.8.1. Diseño de la Fuente de energía

Para el diseño de la fuente de energía es necesario conocer los parámetros de consumo tanto de corriente como voltaje de cada uno de los elementos que conforman la plataforma móvil, esta información se obtiene de las especificaciones técnicas proporcionadas por el fabricante, en la Tabla 10 se detalla el consumo de los elementos.

Tabla 10

Consumo de energía de los elementos que conforman la plataforma

| Elemento | Voltaje V | Corriente mA | Potencia w |
|----------------------------------|-------------|--------------|----------------|
| Baliza | 12 V | 800 mA | 9.6 W |
| Led indicador | 12 V | 300 mA | 3.6 W |
| Arduino Mega | 7 – 12 V | 200 mA | 2.4 W |
| Regletas de sensores infrarrojos | 5 V | 300 mA | 1.5 W |
| Sensor ultrasónico hc-sr04 | 5 V | 45 mA | 0.45 W |
| Raspberry | 5V | 2500 mA | 12.5 W |
| TOTAL | 12 V | | 30.05 W |

Al sumar todos los elementos de consumo se obtiene los valores de la fuente que alimentará al sistema del vehículo omnidireccional, la cual deberá poseer 12 Voltios y una potencia de 30.05

W, al despejar de la fórmula $P = V * I$, en donde P es la potencia, V el voltaje y I la corriente se obtiene que la corriente mínima necesaria para alimentar la plataforma móvil es de 2.50 A.

Cabe mencionar que el sistema a alimentar se comporta como un circuito en paralelo en donde el voltaje es el mismo, es decir que la fuente de alimentación en cada uno de los dispositivos y la corriente entregada por la fuente de alimentación se divide para cada dispositivo.

Los diferentes elementos funcionan a diferentes voltajes de operación, razón por la cual se hará uso de dispositivos reguladores de voltaje los cuales reciben el voltaje de la fuente de energía y entregan el voltaje requerido por el dispositivo, permitiendo así poseer una fuente de alimentación con diferentes voltajes.

Para establecer el tiempo de duración de la batería se toma en cuenta las siguientes especificaciones.

- Carga de la batería = $12V \times 4A = 48W$
- Consumo/hora = $12V * 2.5 A = 30 W$
- Duración de la batería = $\frac{48 W}{30 W} = 1 \text{ Hora}, 36 \text{ Minuto}$ aproximadamente despreciando fugas.

3.9. Diseño de la Interfaz de usuario

El diseño del Human Machine Interface (HMI) se realizó en el software QT Creator, es indispensable que la interfaz sea amigable con el usuario; la pantalla principal presenta las siguientes características detalladas en la Tabla 11.

Tabla 11
Características de la pantalla principal de la Interfaz

| Interfaz | Características |
|--------------------|-------------------------------------|
| Pantalla Principal | Información general del proyecto |
| | Acceso de contraseña |
| | Botón de ingreso al modo automático |
| | La contraseña de ingreso es TEST |

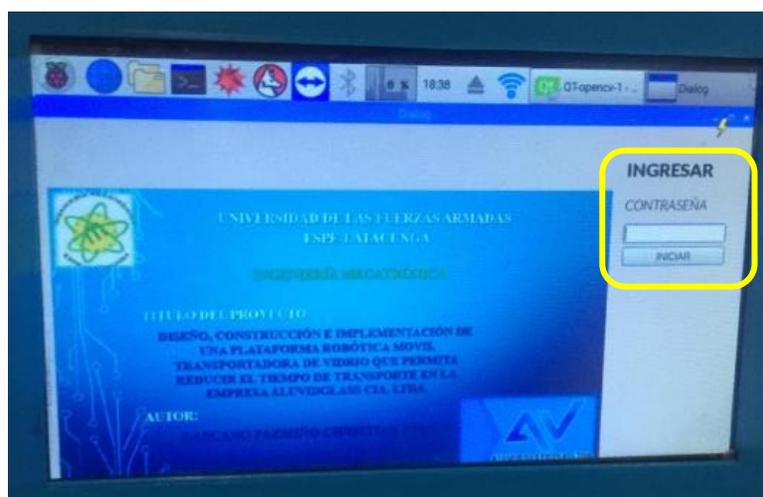
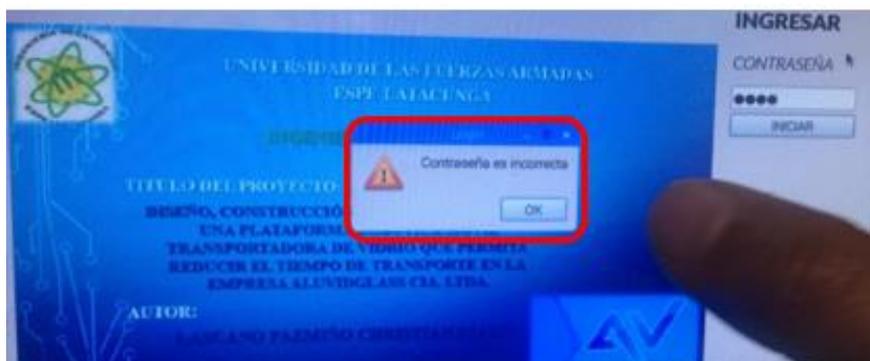
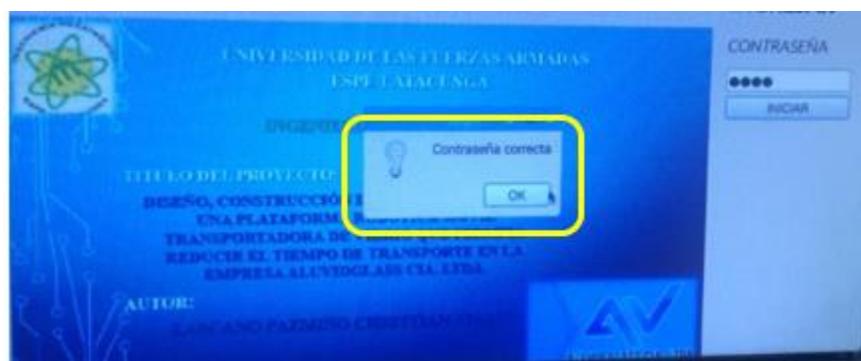


Figura 42. Pantalla principal del HMI

Una vez ingresada la clave cerrar el teclado virtual, y pulsar el botón *OK*, si la contraseña es correcta se abrirá la segunda página como se indica en la Figura 46, mientras que si es incorrecta se mantendrá en la misma página hasta que la contraseña sea correcta como se puede apreciar en la Figura 45.



a)



b)

Figura 43. Contraseña correcta

La segunda pantalla es del modo automático como se visualiza en la Figura 47, en esta se encuentran las cinco estaciones predefinidas las cuales fueron requeridas por la empresa; para el funcionamiento de la plataforma robótica móvil se deberá seleccionar dos parámetros, estos son el número de la estación actual y la estación final es decir a donde se va a dirigir, si solo se selecciona uno de los dos parámetros saldrá un mensaje de advertencia mencionando que estación falta por seleccionar.

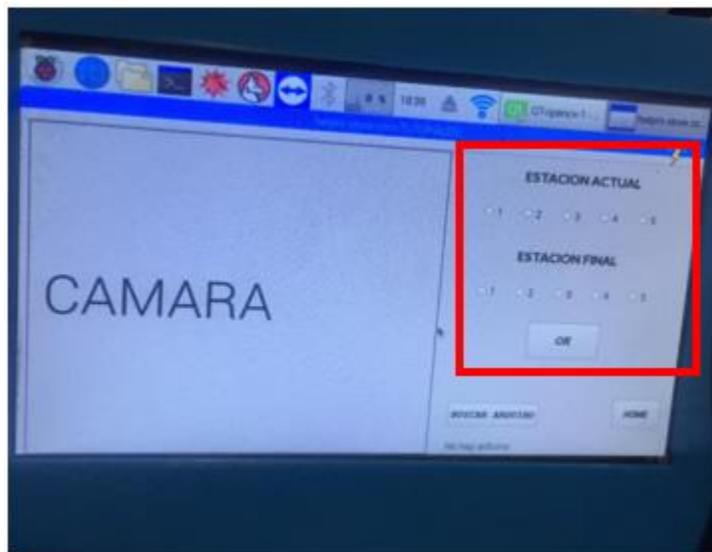


Figura 44. Pantalla de modo manual

Para ajustar la resolución de la cámara colocar tanto en la estación actual como la final con el mismo número de estación, de esa forma se activa la cámara sin necesidad que el carro se mueva. Se gira el lente de la cámara hacia la derecha o izquierda hasta lograr un enfoque claro de la imagen en la Figura 48 se ilustra lo mencionado.



Figura 45. Enfoque de cámara

Una vez ingresada a la segunda página, en la parte inferior derecha aparecerá un mensaje que indica si está conectado o no el Arduino mega, si no está conectado se debe tocar el botón “*buscar Arduino*” y se podrá visualizar el nombre del Arduino mega conectado como se ve en la Figura 49.

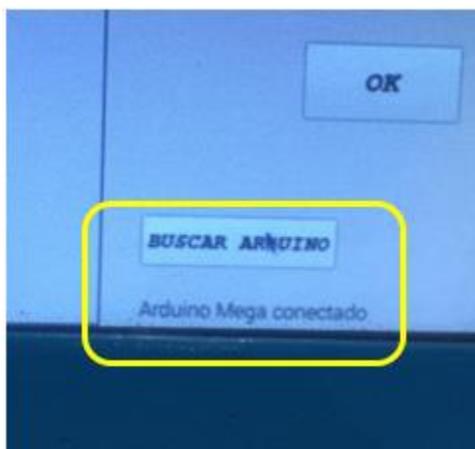


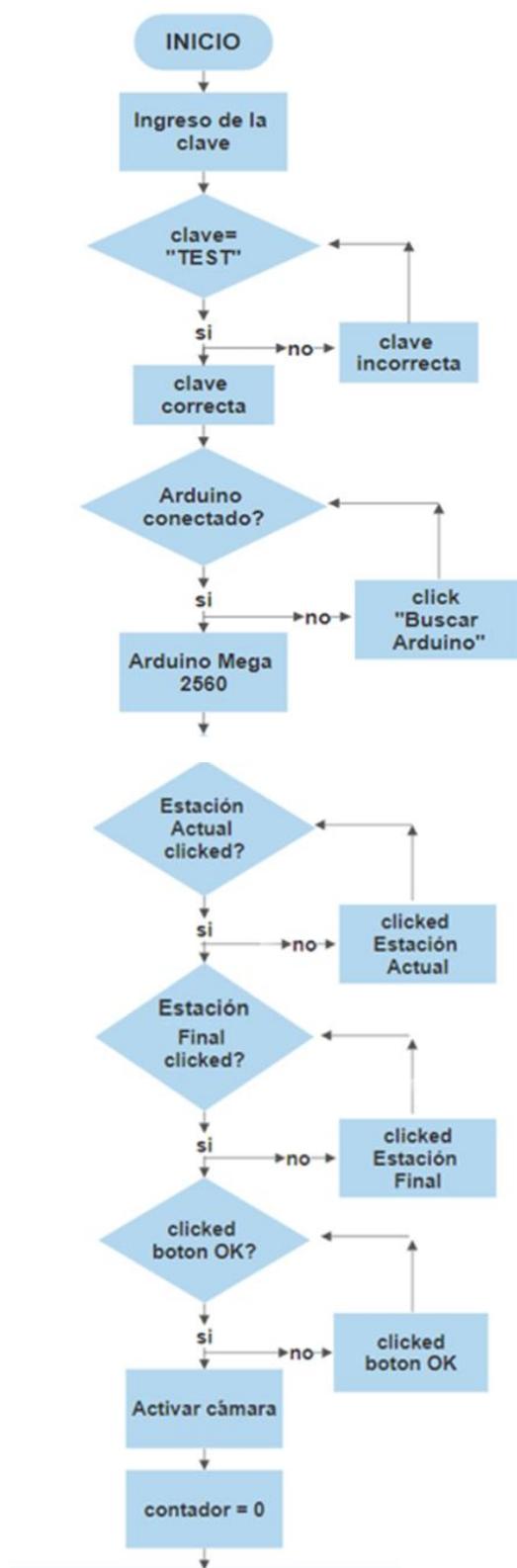
Figura 46. Conexión con el Arduino Mega

3.10. Programación Qt Creator

El software Qt Creator se ha utilizado para la programación de la Raspberry Pi3, este programa permite diseñar interfaces gráficas, el tipo de lenguaje que se utiliza es C++ muy empleado en para la creación y diseño de proyectos.

Básicamente la programación en este software consta del ingreso del usuario únicamente con una contraseña ya que por parte de ALUVID GLASS CIA.LTDA se requería de un control de seguridad; se tendrá que seleccionar el número de estación actual y así mismo el número de estación final, es decir a la estación que se va a dirigir la plataforma una vez seleccionadas estas estaciones mediante un procesamiento de datos se la plataforma se va a transportar hacia delante o hacia atrás.

Al momento de pulsar el botón *OK* se analizan los datos que se enviarán al Arduino y activar la cámara; los datos que se envían al Arduino son las opciones 1,2 o 3; finalmente se enviará un mensaje para establecer si existe o no conexión del Arduino como se puede observar en la Figura 50 lo descrito a continuación es un resumen de la lógica de programación del diagrama de flujo del Qt Creator.



CONTINÚA



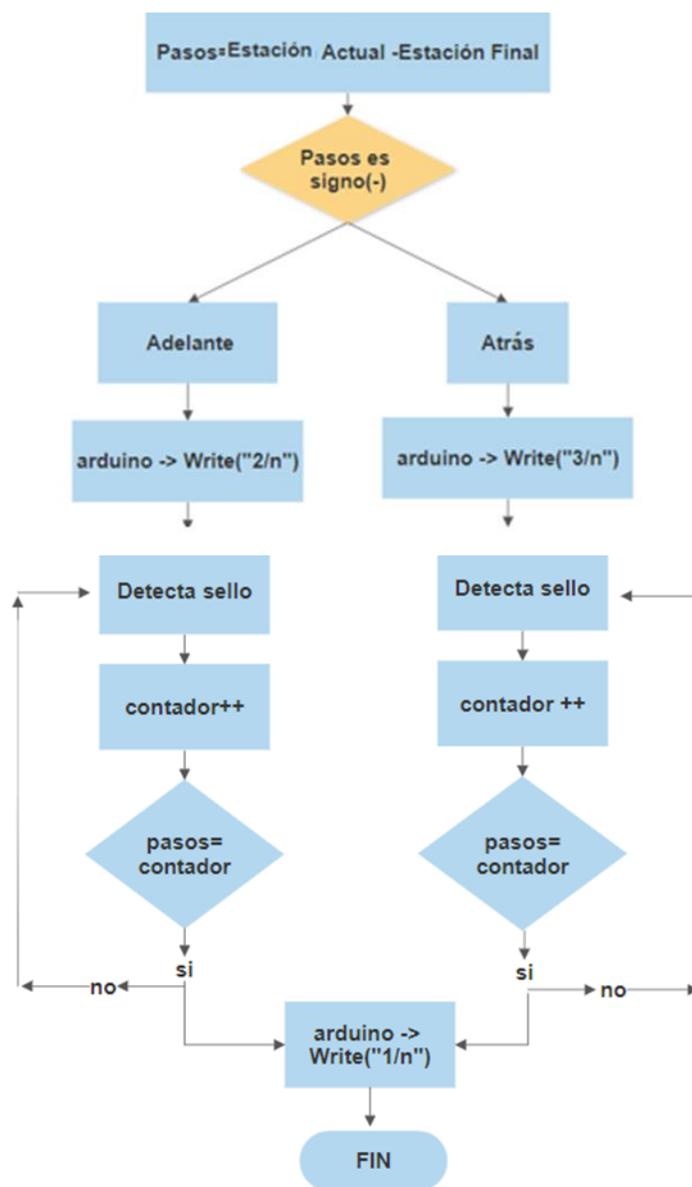


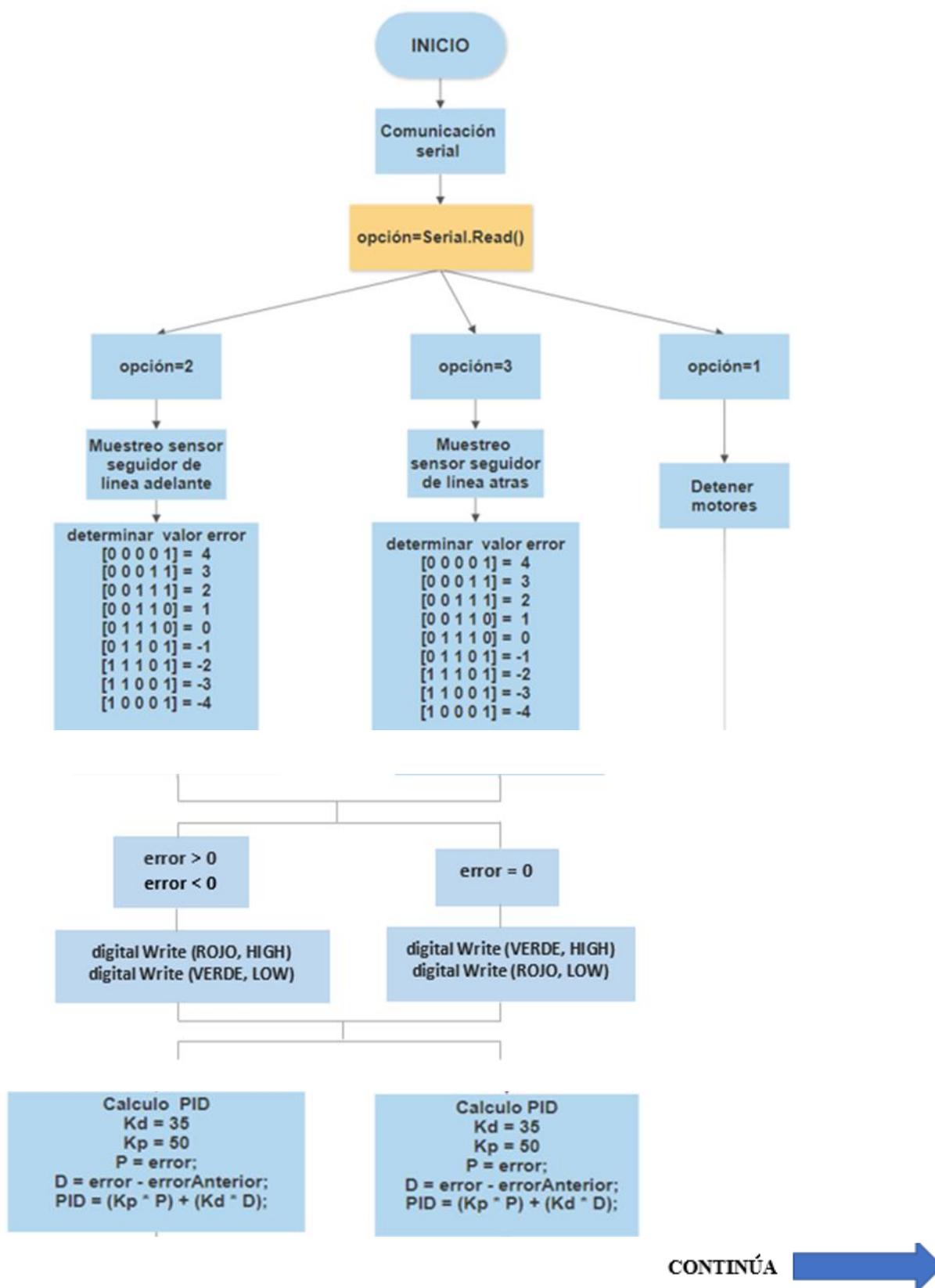
Figura 47. Diagrama de Flujo de la programación en Qt Creator

3.11.Programación Arduino

El primer software utilizado para la programación del microprocesador es Arduino, el mismo que es gratuito y a menudo usado en una gran variedad de proyectos ya que una de sus ventajas es ser un software de alto nivel de programación y además su uso no es muy complicado en comparación con otros softwares semejantes.

A continuación, se describe el diagrama de flujo de la Figura 51; en lugar se realiza una lectura de la comunicación serial, esto depende de los datos que envíe la Raspberry Pi 3 en este caso se enviarán tres datos, los cuales están dentro de las siguientes opciones cuando la plataforma vaya hacia delante, hacia atrás o se detenga.

Una vez leído cada uno de estos datos el Arduino procede a activar los dos sensores ultrasónicos además de la regleta seguidor de línea ubicados en el frente correspondiente; dentro de la regleta se encuentran nueve condiciones cada una de estas tiene un valor de error se dirige a un PID, este PID es el encargado de designar el state date que tendrá el motor, finalmente se comprueba que no exista presencia de objetos en la trayectoria con altura que va desde los 5cm hasta 100cm caso contrario se detiene hasta que sea retirado el objeto.



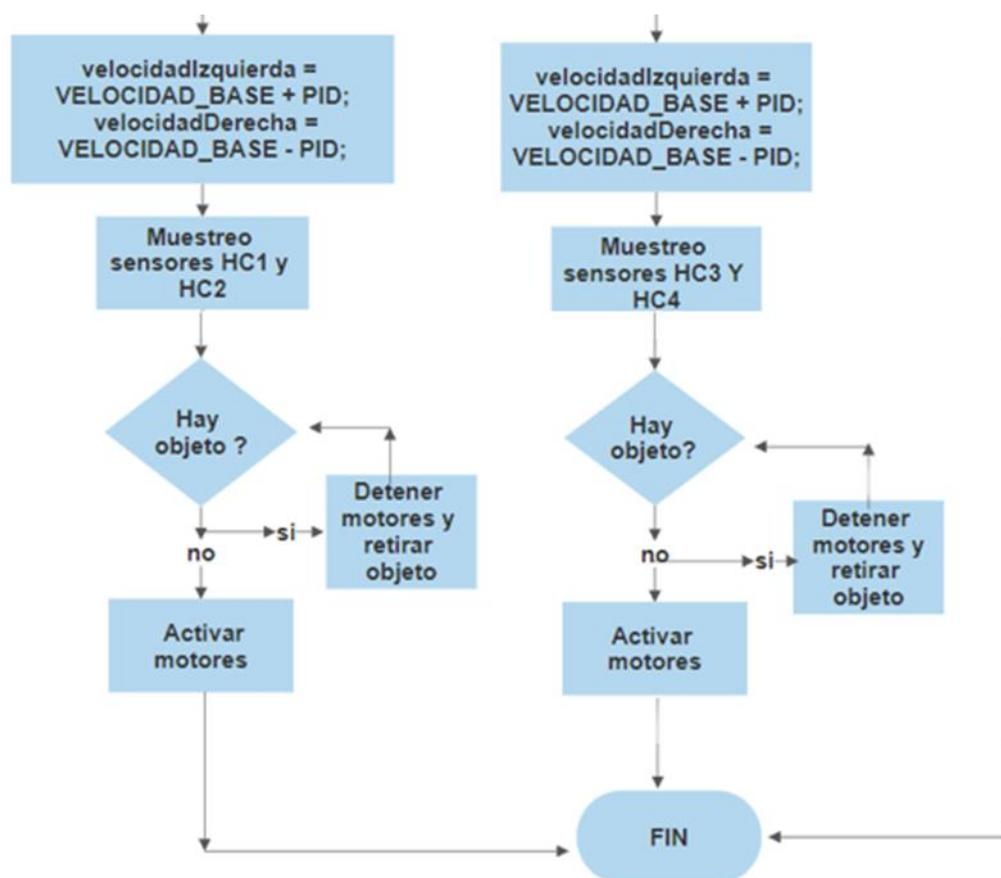


Figura 48. Diagrama de flujo de la programación de Arduino

CAPÍTULO IV

CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN

En este capítulo se sintetizan los procedimientos llevados a cabo durante la construcción de la plataforma robótica móvil; con base en el diseño previamente validado se ejecuta la fabricación de la estructura mecánica a igual que los elementos destacados de la selección de componentes se continúa a la fabricación e implementación de la estructura.

4.1. Construcción de la plataforma robótica móvil

Para la construcción de la plataforma se utilizaron perfiles de acero ASTM A-36, las medidas ya establecidas en el capítulo de diseño son implementadas en esta etapa, una vez definidas las medidas que se necesitan se cortó con ayuda de una moladora, las uniones de estas piezas se lograron mediante soldadura SMAW.



Figura 49. Construcción de la parte inferior de la plataforma

En la Figura 49 se puede visualizar el montaje del tornillo sin fin además del sistema de dirección, también se colocaron las llantas a los cuatro lados respectivamente.

En la Figura 50 se muestra la construcción de dos cajas para el almacenamiento de los motores, baterías, tarjetas electrónicas es decir todos los elementos electrónicos con la finalidad de mantenerlos estables; con ayuda de perfiles de aluminio se fijó a la estructura inferior mediante pernos y tuercas, se utilizó la misma forma de sujeción para la unión de la parte superior con la inferior dándole así una peculiaridad a la plataforma que sea desmontable.



Figura 50. Cajas de almacenamiento de componentes electrónicos

Para la parte superior Figura 51, se realiza el mismo procedimiento con los perfiles de acero ASTM A-36, además se colocan soportes de madera para el apoyo de los vidrios.

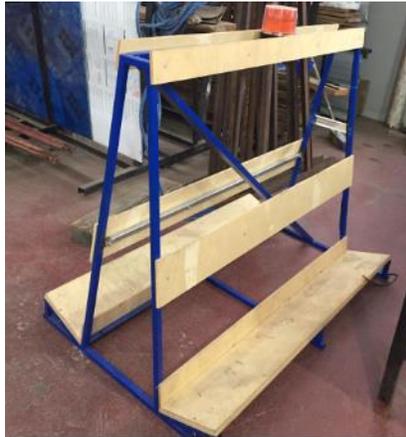


Figura 51. Construcción de la parte superior de la plataforma

Para lograr un buen acabado la estructura de acero fue recubierta con pintura al horno, la misma que se aplica como un fluido de polvo seco, este tipo de recubrimiento es más resistente que la pintura convencional.

4.2. Instalación de la parte electrónica

Para colocar los sensores ultrasónicos, regletas seguidoras de línea y tarjetas de control se realizan soportes mediante impresión 3D con filamento PLA, esto permite mantener seguro y proteger los elementos electrónicos de agentes externos.

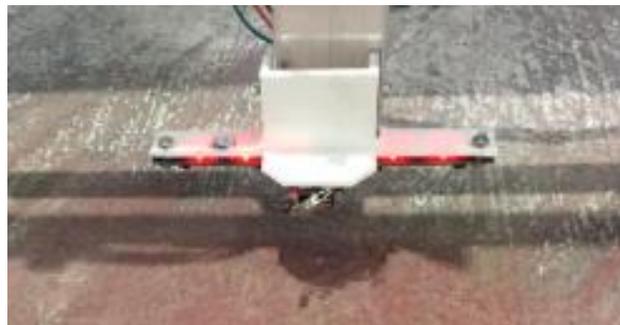


Figura 52. Impresión 3D para el sensor seguidor de línea

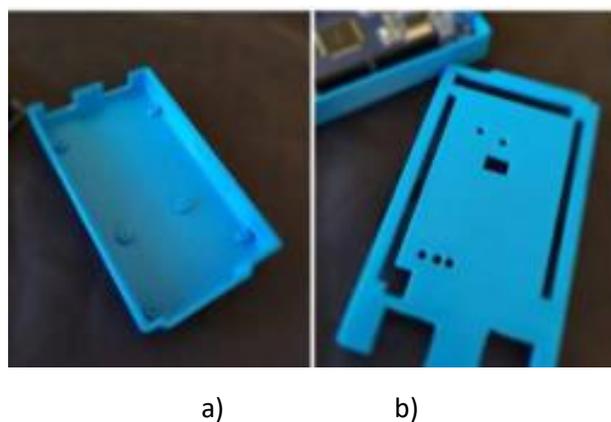


Figura 53. Impresión 3D de para Arduino Mega a) Parte posterior b) parte frontal

Se colocaron y conectaron las tarjetas de control correspondientes a cada motor, el Arduino Mega, la batería seca y el circuito encargado de distribuir el voltaje en la caja fabricada anteriormente; en la segunda caja se colocan las dos baterías correspondientes a los motores como se observa en la Figura 54.

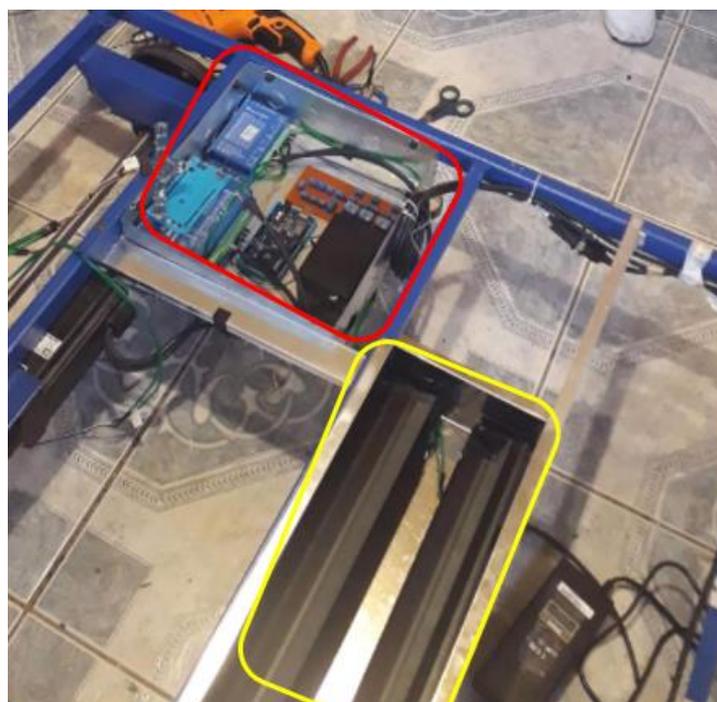
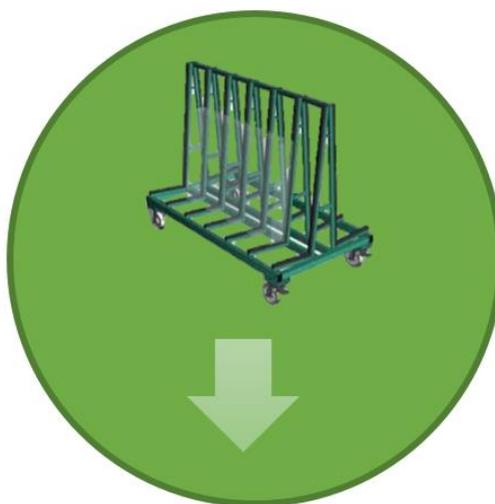


Figura 54. Instalación de componentes electrónicos

A continuación, se coloca una cámara web en el centro de la estructura inferior de la plataforma robótica móvil, esta cámara cuenta con iluminación propia para lograr una mejor adquisición de las imágenes, se ha colocado estratégicamente el dispositivo ya que se debe reconocer el sello correspondiente a cada estación.



a)



b)

Figura 55. a) Implementación de la cámara web b) Sello de reconocimiento

Finalmente, como se indica en la Figura 60 y Figura 61, se colocan los sensores en la parte posterior y delantera de la plataforma, se colocan de forma en que no exista interrupciones con la estructura misma.



b)

b)

Figura 56. Ubicación de sensores a) parte delantera b) parte posterior

4.3. Implementación del sistema de control



a)

b)

Figura 57. a) HMI montada en plataforma b) Manipulación HMI

En esta etapa también se imprimió en 3D una carcasa que fue diseñada específicamente para la pantalla correspondiente a la Raspberry Pi3, este HMI es desmontable de la plataforma.

Por último, se ha colocado un indicador lumínico en este caso una baliza, la cual ha sido requerimiento de precaución únicamente se encenderá cuando la plataforma esté en funcionamiento como se puede observar en la Figura 64.



Figura 58. Baliza en funcionamiento

4.4. Ensamble final de la plataforma robótica móvil

Una vez implementado la parte electrónica y de control a la estructura mecánica se tiene el resultado de la Figura 65.



a)



b)

Figura 59. a) Plataforma vista lateral b) Elementos externos

Las características específicas de la plataforma se encuentran en la Tabla 12.

Tabla 12
Características específicas

| Características | Especificaciones |
|--|-------------------------|
| Dirección | Sistema Ackerman |
| Tracción | Parte trasera |
| Tipo de ruedas | Convencional |
| Diámetro de la barra de dirección | 16mm |
| Material de la estructura | Acero ASTM A-36 |
| Transmisión de potencia | Cadena |
| Velocidad | 1.38 m/s |
| Voltaje | 12 V |
| Peso máximo | 325 kg |
| Carga a soportar | 250 kg |
| Duración de baterías | 5 h |
| Cargador de baterías | 110 V |
| Detección de estación | Símbolo |
| Distancia de detección de objetos | 5 – 100 cm |

4.5. Trabajos Futuros

La plataforma tuvo que adaptarse a las condiciones económicas y requerimientos de la empresa, pero terminado el proyecto se considera importante que la plataforma reconozca las estaciones de forma específica, con presión y rapidez para lo cual se implementará un lector de código de barras, compatible con Raspberry. Sumado se implementará visión artificial para el reconocimiento y evasión de obstáculos haciendo uso de Raspberry que dispone de Ubuntu y su versión para el procesamiento de imágenes QT Creator todo englobado en el uso de Software libre. Con los datos a obtener definidos se implementará el historial para reconocimiento de estación, tiempo entre estaciones, todo ello con fines de estudio estadístico.

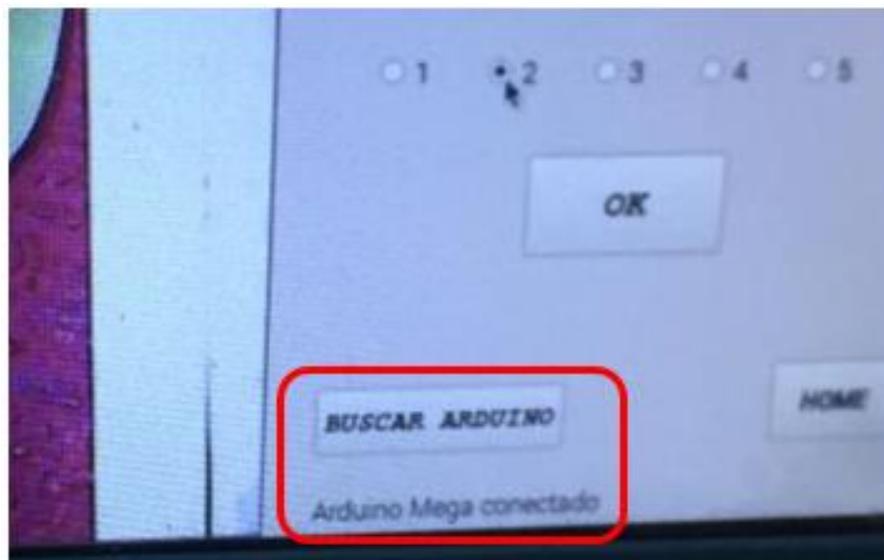
CAPÍTULO V

PRUEBAS Y RESULTADOS

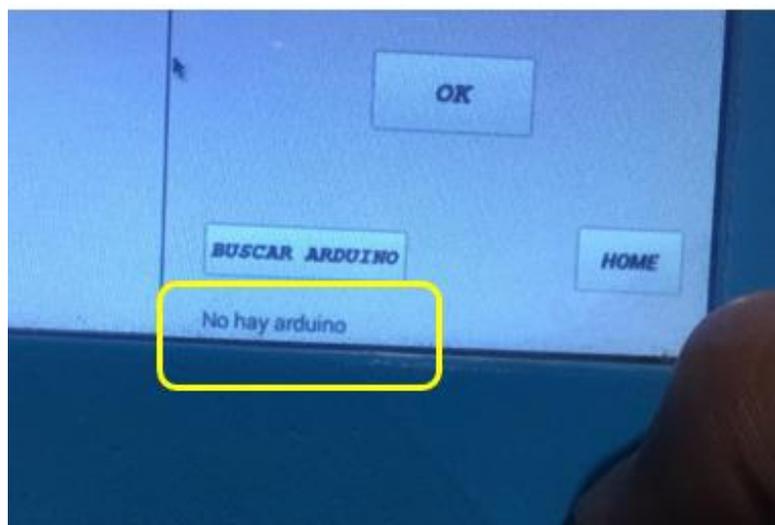
5.1. Pruebas de comunicación

Una vez que se tiene la unión del sistema mecánico, electrónico y de control se procede a realizar pruebas de comunicación de la plataforma robótica móvil.

Las pruebas se realizaron de la siguiente manera, en la segunda pantalla se presionó *BUSCAR ARDUINO*, este método se ejecuta ya que si no hay reconocimiento del Arduino Mega no existe función alguna de la plataforma, este paso es fundamental porque es el puente entre el Arduino y la Raspberry Pi3 B+; el procedimiento se lo realizó quince veces consecutivas.



a)



b)

Figura 60. Prueba de comunicación a) Botón para iniciar prueba b) caso de prueba fallida

Tabla 13

Tabulación de pruebas

| # de prueba | Correcto | Falla |
|-------------|----------|-------|
| 1 | x | |
| 2 | x | |
| 3 | x | |
| 4 | x | |
| 5 | x | |
| 6 | x | |
| 7 | x | |
| 8 | | x |
| 9 | x | |
| 10 | x | |
| 11 | x | |
| 12 | x | |
| 13 | x | |
| 14 | x | |
| 15 | x | |

5.2. Pruebas de funcionamiento

Se realizaron cuatro pruebas diferentes para comprobar el funcionamiento de la plataforma robótica móvil; en la primera se hace una comparación del tiempo que le toma a un operador de la empresa empujar la plataforma por las cinco estaciones ver Figura 61 este recorrido es de 113 metros.



Figura 61. Desplazamiento automático de la plataforma robótica móvil

Así mismo se verifica el tiempo que le toma a la plataforma robótica pasar por la misma trayectoria observar Figura 62; se hacen pruebas tanto de ida como de regreso la velocidad con las que se realizaron las pruebas fue máxima con un valor de 1,38 m/s.



Figura 62. Desplazamiento del operador con la plataforma

Tabla 14

Tabulación de primera prueba

| # de prueba | IDA | | REGRESO | |
|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | Operario | Plataforma | Operario | Plataforma |
| 1 | 1:36,03 | 1:22,09 | 1:29,07 | 1:26,08 |
| 2 | 1:36,45 | 1:21,58 | 1:30,04 | 1:27,22 |
| 3 | 1:35,37 | 1:24,47 | 1:28,53 | 1:26,49 |
| 4 | 1:34,59 | 1:23,06 | 1:31,09 | 1:27,38 |
| 5 | 1:36,26 | 1:22,36 | 1:30,35 | 1:26,51 |
| 6 | 1:37,03 | 1:22,50 | 1:29,48 | 1:26,31 |
| 7 | 1:36,14 | 1:23,48 | 1:28,57 | 1:27,29 |
| 8 | 1:35,48 | 1:21,58 | 1:30,19 | 1:28,49 |
| 9 | 1:36,48 | 1:23,09 | 1:30,37 | 1:27,20 |
| 10 | 1:37,21 | 1:23,24 | 1:31,20 | 1:26,38 |
| 11 | 1:36,32 | 1:24,08 | 1:29,15 | 1:27,41 |
| 12 | 1:36,54 | 1:24,02 | 1:32,03 | 1:26,09 |
| Promedio | 1:35,32 | 1:22,29 | 1:29,25 | 1:26,32 |

En la segunda prueba se observó el comportamiento de la plataforma al momento de realizar giros de aproximadamente 90 grados, lo que se tomó en cuenta aquí es la desviación que tiene con respecto a la línea negra se puede visualizar en las Figuras 63 literales a) y b).



a)



b)

Figura 63. Comportamiento en giro a) prueba 1 b) prueba 2

Tabla 15
Desviación de la trayectoria en giros

| # de Prueba | Desviación (mm) |
|-------------|-----------------|
| 1 | 63 |
| 2 | 57 |
| 3 | 59 |
| 4 | 64 |
| 5 | 64 |
| 6 | 51 |
| 7 | 43 |
| 8 | 37 |
| 9 | 28 |
| 10 | 45 |
| 11 | 49 |
| 12 | 51 |

Como se puede observar en la Tabla 15 los valores de máxima desviación son de 63mm esto sucedió en una curva cerrada, al contrario de la mínima desviación de 28 mm en una curva no tan prominente.

En la tercera prueba se observó el seguimiento de la trayectoria en línea recta se midió la capacidad de mantenerse en el camino planteado, es decir se midió la desviación por cada metro de recorrido visualizar la Figura 64.



Figura 64. Pruebas de desviación en línea recta

Tabla 16

Desviación de trayectoria en línea recta

| # de Prueba | Desviación (mm) |
|-----------------|-----------------|
| 1 | 30 |
| 2 | 29 |
| 3 | 28 |
| 4 | 30 |
| 5 | 29 |
| 6 | 31 |
| 7 | 28 |
| 8 | 30 |
| 9 | 32 |
| 10 | 29 |
| 11 | 28 |
| 12 | 28 |
| Promedio | 29.33 |

Los resultados de la Tabla 16 reflejan que aproximadamente por cada metro de trayectoria recta existe una desviación de 29.33 milímetros.

Y la cuarta y última prueba realizada es el correcto reconocimiento de las estaciones que son designadas por parte del usuario.

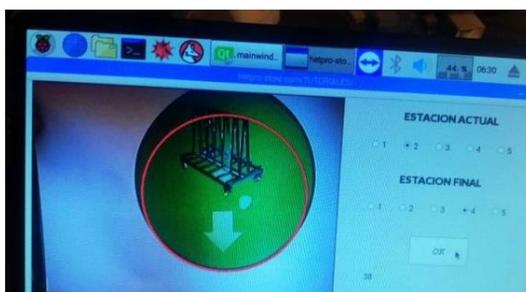


Figura 65. Reconocimiento de la estación a través de la cámara

Tabla 17

Tabulación de reconocimiento de estaciones

| # de prueba | Correcto | | Falla | |
|-------------|-----------|----------|-----------|----------|
| | E. Actual | E. Final | E. Actual | E. Final |
| 1 | 1 | 3 | | |
| 2 | 2 | 5 | | |
| 3 | | | 4 | 5 |
| 4 | 5 | 3 | | |
| 5 | 1 | 4 | | |
| 6 | 2 | 4 | | |
| 7 | 4 | 2 | | |
| 8 | 1 | 5 | | |
| 9 | 4 | 3 | | |
| 10 | 5 | 1 | | |
| 11 | 3 | 5 | | |

Según los resultados de la Tabla 17, se determina que de las diez veces que se recorrió las estaciones solo una vez falla el reconocimiento esto no da como resultado una buena respuesta ante los órdenes de los usuarios.

5.3. Validación de la hipótesis

“El método que se va a emplear para realizar la validación de la hipótesis es el Chi cuadrado, este método verifica si las frecuencias observadas en cada categoría son compatibles con la independencia entre ambas variables” (Minitab, 2018). Por ende, se plantean dos hipótesis.

La hipótesis que se planteo fue:

¿La implementación de una plataforma robótica móvil logrará reducir el tiempo de transporte en la empresa ALUVIDGLASS CIA. LTDA.?

- **Variables Independientes**

Plataforma de robótica móvil

- **Variables Dependientes**

Menor tiempo de transporte

En primer lugar, se establecen la hipótesis nula (H0) y la hipótesis alternativa (1)

- **H0:** La plataforma robótica móvil logrará reducir el tiempo de transporte en la empresa AUVIDGLASS CIA.LTDA
- **H1:** La plataforma robótica móvil no logrará reducir el tiempo de transporte en la empresa AUVIDGLASS CIA.LTDA

Para verificar que la plataforma robótica móvil logrará reducir el tiempo de transporte de vidrio en la empresa se realizaron diez pruebas en la empresa ALUVIDGLASS CIA.LTDA, las pruebas

se hicieron de la siguiente manera un usuario presionaba a la estación que quería se desplace la plataforma.

Tabla 18

Datos obtenidos de las pruebas

| Transporte | E1 - E2 | E3 - E4 | E5 - E3 | E5 - E1 | Total |
|--------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Correcto | 8 | 10 | 5 | 7 | 30 |
| Negativo | 2 | 0 | 5 | 3 | 10 |
| Total | 10 | 10 | 10 | 10 | 40 |

Para verificar el estado de la hipótesis se desarrollan los siguientes cálculos:

$$X_{calc}^2 = \sum \frac{(f_{real} - f_{teórica})^2}{f_{teórica}}$$

Cálculo de frecuencias teóricas o esperadas:

$$8 \rightarrow \frac{10 \cdot 30}{40} = 7.5 \qquad 5 \rightarrow \frac{10 \cdot 30}{40} = 7.5$$

$$2 \rightarrow \frac{10 \cdot 10}{40} = 2.5 \qquad 5 \rightarrow \frac{10 \cdot 10}{40} = 2.5$$

$$10 \rightarrow \frac{10 \cdot 30}{40} = 7.5 \qquad 7 \rightarrow \frac{10 \cdot 30}{40} = 7.5$$

$$0 \rightarrow \frac{10 \cdot 10}{40} = 2.5 \qquad 3 \rightarrow \frac{10 \cdot 10}{40} = 2.5$$

Cálculo de X_{calc}^2

$$X_{calc}^2 = \frac{(8 - 7.5)^2}{7.5} + \frac{(2 - 2.5)^2}{2.5} + \frac{(10 - 7.5)^2}{7.5} + \frac{(0 - 2.5)^2}{2.5} + \frac{(5 - 7.5)^2}{7.5} + \frac{(5 - 2.5)^2}{2.5} \\ + \frac{(7 - 7.5)^2}{7.5} + \frac{(3 - 2.5)^2}{2.5}$$

$$X_{calc}^2 = 6.94$$

El valor calculado se compara con el valor de la tabla para aceptar o rechazar la hipótesis, para ello se obtiene los grados de libertad:

$$n = (f - 1)(c - 1)$$

$$n = (2 - 1)(4 - 1)$$

$$n = (1)(3)$$

$$\mathbf{n = 3}$$

Se obtienen tres grados de libertad y para un nivel de confiabilidad del 90% el valor de la tabla para valores críticos chi-cuadrado, corresponde a:

$$\mathbf{X^2_{tabla} = 6.251}$$

$$\mathbf{X^2_{calc} > X^2_{tabla}}$$

$$\mathbf{6.94 > 6.25}$$

Se cumple que el valor calculado es mayor al obtenido de la tabla, por lo tanto, **H1** es la hipótesis que se acepta, validando que la plataforma robótica móvil si reduce el tiempo de transporte de vidrio en la empresa ALUVIDGLASS CIA.LTDA.

5.4. Análisis económico

En la Tabla 19, se muestra los gastos que se han generado durante el desarrollo del proyecto de titulación, se ha originado un gasto de \$1.164,50; se determina que la ejecución económica de la plataforma robótica es viable ya que en comparación con plataformas automáticas comerciales que en el mercado mundial se encuentran entre \$9.000 a \$38.000 (**Wong J. , 2019**) el precio es

bastante bajo, además este proyecto se ha elaborado con materiales que se encuentran de venta en el mercado local.

Tabla 19
Análisis económico

| Cantidad | Detalle | Valor Unitario \$ | Valor Total \$ |
|----------|---------------------------------|-------------------|-----------------|
| 4 | Perfiles de acero ASTM A-36 | 10 | 40 |
| 8 | Rodamientos | 2,50 | 20 |
| 2 | Chumaceras | 5 | 10 |
| 1 | Regulador de voltaje | 14,50 | 14,50 |
| 1 | Cadena | 10 | 10 |
| 2 | Catarina | 5 | 10 |
| 1 | Motor Grande más caja reductora | 300 | 300 |
| 1 | Motor Pequeño | 120 | 120 |
| 2 | Guías para movimiento del motor | 5 | 10 |
| 1 | Tornillo de bola | 145 | 145 |
| 2 | Caja | 10 | 20 |
| 1 | Perfiles de aluminio | 5 | 5 |
| 1 | Caballete | 50 | 50 |
| | Pintura al horno | 10 | 10 |
| 1 | Cámara | 15 | 15 |
| 1 | Raspberry pi3b+ | 70 | 70 |
| 1 | Disipadores de calor | 3 | 3 |
| 2 | Cargador de baterías | 40 | 80 |
| 2 | Batería de motor | 250 | 500 |
| 1 | Batería seca | 25 | 24 |
| 1 | Baliza | 18 | 18 |
| | Varios | 100 | 440 |
| | | Subtotal | 1.914,50 |

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

- El estado de arte verifica la viabilidad del proyecto en el ámbito económico, comparando el precio de transportadores en el mercado que van desde 9000 a 38000 dólares, mientras la desarrollada tiene un valor de 1914.50 dólares. La norma que sigue la empresa para la manipulación de vidrio es la NTE INEN 1669:2011.
- La velocidad de comunicación serial entre la Raspberry Pi3 y el Arduino Mega es de 115200 baudios, que es la máxima velocidad que se puede utilizar para el envío de datos, con ello se mejoró la respuesta del vehículo al momento de encontrarse en el aérea de trabajo, sin tener errores que pueden ser perjudiciales.
- El diseño del entorno gráfico es amigable con los usuarios ya que es fácil de usar, además es eficiente, los usuarios no necesitan tener conocimientos técnicos previos para poder manipular el vehículo.
- EL sistema de visión artificial implementado específicamente para la detección del sello en cada una de las estaciones, garantiza un sistema confiable. La cámara utilizada es de alta definición y contiene luces led en su alrededor que ayuda a controlar el entorno de luz.

- El uso del PID mejora el control de la dirección del vehículo, logrando seguir la línea de manera correcta, contiene 9 condiciones por medio de las cuales se consiguió tener un control más estable y por tanto puede responder en condiciones extremas.
- Para la detección de la línea negra se utilizó sensores BFD-1000 debido a su versatilidad, este sensor posee un reóstato que permite tener un acondicionamiento dependiendo la luz que se encuentre en ese momento, evitando tener falsos positivos y que el vehículo falle al momento de seguir la línea negra.
- Por razón de contar con dos motores paso a paso de diferentes Nm, se debe tener un punto en común de rpm, para que el vehículo se mueva de manera correcta sin tener diferencia entre el movimiento de dirección y el movimiento de avance. Si no se logra una sincronización entre los dos motores el vehículo procederá a moverse de manera equivocada.
- Al utilizar las interrupciones incorporadas en la tarjeta Arduino Mega se reduce el consumo del procesador y de energía, en caso de no usar estas interrupciones se corre el riesgo de esperar que el programa llegue a la línea de código donde se coloca la lectura del paro de emergencia por la disposición del estacionamiento de la plataforma en la empresa y puede ser inaceptable si se va a sufrir una colisión.
- Los sensores HC04 permiten detectar la presencia de objetos dentro del camino del vehículo hasta una distancia máxima de 100 cm y una mínima de 5 cm, estos sensores

tienen un ángulo de apertura que ayuda a mejorar la detección de los objetos ya que brinda más área de detección.

- El vehículo está diseñado mediante perfiles de acero ASTM A-36, los cuales soportan cargas elevadas, esto es importante ya que se transporta un peso de 250 Kg. Se realizó un análisis estático de la estructura, dando un factor de diseño de 1, este resultado nos garantiza que la estructura no sufra daños ni deformaciones.
- Para la fabricación de la carcasa del HMI, se utilizó una impresora 3D lo cual facilita tener un diseño propio y adecuado para el uso en el vehículo, la impresora se configuró con parámetros que brindan mayor resistencia a entornos industriales.
- Realizando una comparación con plataformas automatizadas que se encuentran de venta en el mercado se observa que es más conveniente adquirir la construida en este proyecto, pues el costo es muy alto además de que se necesita implementar en un espacio bastante amplio.

6.2. Recomendaciones

- Teniendo en cuenta que el tipo de locomoción para la dirección es Ackerman es recomendable trabajar sobre un piso que en lo posible sea de rozamiento regular esto es para que se evite el deslizamiento de las llantas, previniendo así el deslizamiento de la plataforma al momento de detectar la estación a la cual se dirige.
- Se recomienda usar motores iguales tanto para la parte delantera como la posterior, esto porque debe existir sincronización del movimiento al momento de dirigirse en curvas.

- Se deberá acondicionar la iluminación del entorno donde se prender desplazar la plataforma, ya que el funcionamiento de la cámara es imprescindible para el reconocimiento correcto de las estaciones.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADA. (2019). *Soluciones técnicas de vidriería*. Recuperado el 31 de julio de 2019, de ada-distribuciones.com: <https://ada-distribuciones.com/productos/caballetes-transportar-almacenar-vidrio/431-caballote-para-vidrio-mod-pv.html>

Alibaba. (septiembre de 2018). Recuperado el 10 de Enero de 2019, de https://www.alibaba.com/product-detail/Nema-23-1-56A-12kg-cm_62030760314.html?spm=a2700.7735675.normalList.4.17136aedX2JcWf&s=p

Alibaba. (2019). *Bastidor de vidrio*. Recuperado el 31 de julio de 2019, de alibaba.com: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/new-type-for-glass-storage-transportation-racks-for-sales-60687916040.html>

ALUVID GLASS CIA. LTDA. (2017). Recuperado el 25 de Enero de 2019, de <https://www.aluvidglass.com/prod.html>

Amazon. (2017). *Placas de sujeción*. Recuperado el 31 de julio de 2019, de amazon.es: <https://www.amazon.es/Xpert-succi%C3%B3n-para-sujeci%C3%B3n-cristales-ventosa/dp/B072JFJPJH>

Aquino, O. (2019). *Beneficios de automatizar*. Recuperado el 30 de julio de 2019, de usecim.net: <http://usecim.net/2019/04/23/los-beneficios-de-automatizar-tu-logistica-interna-con-un-robot-autonomo-movil/>

Aquino, O. (19 de febrero de 2019). *Canales TI*. Recuperado el 21 de Enero de 2019, de <https://itcomunicacion.com.mx/5-aplicaciones-de-robots-moviles-para-la-industria/>

Aranea, L. (7 de junio de 2016). Recuperado el 14 de Marzo de 2019, de <https://www.slideshare.net/leonorkatiaeacercado/vidrio-templado>

Armillas, M. (12 de febrero de 2017). *Interempresas*. Recuperado el 28 de Enero de 2019, de <https://www.interempresas.net/Vidrio-plano/FeriaVirtual/Producto-Robots-para-carga-y-descarga-automaticos-de-vidrios-Lovati-CAL-M-Series-147926.html>

Autracen. (3 de agosto de 2017). Recuperado el Enero de 16 de 2019, de <http://www.autracen.com/sensores-ultrasonicos-industriales/>

Avanti. (2014). *Introducción a los robots móviles*. Recuperado el 25 de julio de 2019, de aadeca.org: http://www.aadeca.org/pdf/CP_monografias/monografia_robot_movil.pdf

Ávila, D. (2016). *Suspensiones*. Recuperado el 31 de julio de 2019, de circulaseguro.com: <http://www.circulaseguro.com/suspension-en-fisica-y-4/>

Benavides, A. (julio de 2019). Recuperado el 15 de Marzo de 2019, de <https://conceptodefinicion.de/fuente-de-alimentacion/>

Bermúdez, G. (2018). *Robots móviles. Teoría aplicaciones y experiencias*. Bogotá.

- Bermúdez, G. (2018). *Robots móviles. Teoría aplicaciones y experiencias*. Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Campana, E. (2013). *Historia de la informática*. Recuperado el Febrero de 19 de 2019, de <https://histinf.blogs.upv.es/2013/12/18/raspberry-pi/>
- Casas. (2018). *Robot para la exploración*. Recuperado el 25 de julio de 2019, de [elespectador.com: https://www.elespectador.com/noticias/educacion/un-robot-para-la-exploracion-espacial-articulo-806521](https://www.elespectador.com/noticias/educacion/un-robot-para-la-exploracion-espacial-articulo-806521)
- CPI. (2015). *Productos robot móvil*. Recuperado el 25 de julio de 2019, de [cpi.com.ar: https://cpi.com.ar/productos/robot-movil-ld-series-omron-adept/](https://cpi.com.ar/productos/robot-movil-ld-series-omron-adept/)
- E-ika. (2019). Recuperado el 13 de Enero de 2019, de <https://www.e-ika.com/motor-paso-a-paso-nema-23-4a-19kgcm>
- Fandiño, F. (18 de abril de 2019). Recuperado el 24 de Enero de 2019, de <https://www.interempresas.net/Robotica/Articulos/243310-Cinco-aplicaciones-colaborativas-de-robotica-movil.html>
- Fandiño, F. (2019). *Mobile Industrial Robots (MiR)*. Recuperado el 30 de julio de 2019, de [tecnoalimen.com: https://www.tecnoalimen.com/articulos/20190423/diferencias-entre-robot-movil-autonomo-vehiculo-guiado-tradicional#.XUDzEugzBIU](https://www.tecnoalimen.com/articulos/20190423/diferencias-entre-robot-movil-autonomo-vehiculo-guiado-tradicional#.XUDzEugzBIU)
- Fernandez. (2014). *Métodos de locomoción terrestre*. Recuperado el 25 de julio de 2019, de [uvpr-robotica.blogspot.com: http://uvpr-robotica.blogspot.com/2013/10/metodos-de-locomocion-terrestres.html](http://uvpr-robotica.blogspot.com/2013/10/metodos-de-locomocion-terrestres.html)
- G. Villegas, G. F. (2018). Diseño y simulación de un sistema de enrutamiento de robots móviles terrestres para la distribución de materiales en un ambiente industrial. *Escuela Politecnica Nacional*.
- Gray, R. (2018). *Envases*. Recuperado el 31 de julio de 2019, de [bbc.com: https://www.bbc.com/mundo/vert-cap-44881388](https://www.bbc.com/mundo/vert-cap-44881388)
- Guano, M., & Sevilla, W. (2015). *Diseño y construcción de una plataforma robótica para exteriores teleoperada, para el laboratorio de manufactura*. Quito: Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.
- Guschlbauer, C. (13 de noviembre de 2017). *LiSEC*. Recuperado el 4 de Marzo de 2019, de <https://www.lisec.com/es/noticias/noticias/detail/lisec-revoluciona-el-sistema-de-manipulacion-de-elementos-de-vidrio-aislante-gracias-a-una-nueva-sol/>
- Gutiérrez, O. (23 de 04 de 2018). *robots inteligentes*. Recuperado el 2019 de enero de 24, de [cnet.com: https://www.cnet.com/es/noticias/amazon-robots-hogar-inteligente-bloomberg/](https://www.cnet.com/es/noticias/amazon-robots-hogar-inteligente-bloomberg/)

hisour. (2018). *Robótica móvil*. Recuperado el 25 de Julio de 2019, de hisour.com: <https://www.hisour.com/es/mobile-robot-42899/>

INEN. (2011). *NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 1669:2011*. Quito: INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN.

Interempresas. (2018). *Robotica*. Recuperado el 25 de julio de 2019, de interempresas.net: <https://www.interempresas.net/Robotica/Articulos/219889-MiR-lanza-un-nuevo-robot-movil-mas-grande-potente-y-rapido.html>

Javier Aldaz. (2016). Recuperado el 15 de Marzo de 2019, de <http://www.iescamp.es/miarduino/2016/01/21/placa-arduino-uno/>

Jimenez, A. (2018). *Morfología de robots*. Recuperado el 30 de julio de 2019, de slideshare.net: <https://es.slideshare.net/aljimene/morfologia-del-robot-presentation>

JKONGMOTOR. (febrero de 2019). Recuperado el 17 de Enero de 2019, de https://www.alibaba.com/product-detail/Closed-Loop-Stepper-Motor-Nema-34_62113104744.html?spm=a2700.7735675.normalList.2.65a0714bjH424Y&s=p

Lin, C. (2018). Recuperado el 5 de Febrero de 2019, de <http://rogerbit.com/wprb/2017/12/lattepanda-alpha-el-dispositivo-hackeable-mas-potente-del-mundo-para-maker-y-desarrolladores-que-ademas-es-compatible-con-arduino/>

M. Ordeñez, M. O. (2015). *Robótica: Análisis, modelado, control e implementación*. *Omnia Science*. Recuperado el Febrero de 2019

Manufacturng terms. (agosto de 2019). Recuperado el 19 de Marzo de 2019, de <https://www.manufacturingterms.com/Spanish/Pugh-Matrix-Definition.html>

Martinez, C. (3 de diciembre de 2018). Recuperado el 03 de Mayo de 2019, de <https://www.schmalz.com/es/equipos-de-elevacion-y-sistemas-de-grua/bancos-de-trabajo/carro-para-el-transporte-de-placas/carro-para-el-transporte-de-placas-pts-250>

Mercado libre Ecuador. (octubre de 2019). Recuperado el 23 de Enero de 2019, de https://articulo.mercadolibre.com.ec/MEC-422412071-sensor-seguidor-de-linea-5-canales-infrarojo-fotoelectronico-_JM?quantity=1#position=2&type=item&tracking_id=1e572823-b548-4698-87f0-d19e0a668ca2

Minitab. (2018). Recuperado el 11 de Mayo de 2019, de <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/statistics/tables/supporting-topics/chi-square/what-is-a-chi-square-test/>

Mott, R. (2009). *Resistencia de materiales*. México, D.F.: Pearson.

Naylamp Mechatronics. (septiembre de 2018). Recuperado el 14 de Marzo de 2020, de <https://naylampmechatronics.com/sensores-proximidad/326-sensor-ultrasonido-jsn-sr04t.html>

Ordeñez, M., Ortiz, M., Calles, C., & Rodríguez, J. (2015). *Robótica: Análisis, modelado, control e implementación*. México, D.F.: Omnia Science.

Peredo, E. S. (10 de abril de 2017). *Medium corporation*. Recuperado el 8 de Abril de 2019, de <https://medium.com/@ericksirpa/robots-m%C3%A9todos-de-locomoci%C3%B3n-terrestre-2964c68a9523>

Pitarch. (2017). *Transporte terrestre*. Recuperado el 31 de julio de 2019, de [pitarchlogistica.com: http://www.pitarchlogistica.com/es/noticias/transporte-vidrio](http://www.pitarchlogistica.com/es/noticias/transporte-vidrio)

Platea. (2015). *Robots móviles*. Recuperado el 25 de julio de 2019, de Platea: http://platea.pntic.mec.es/vgonzale/cyr_0204/cyr_01/robotica/movil.htm

Pololu. (2019). Recuperado el 7 de Abril de 2019, de <https://www.pololu.com/product/2827>

Preciado, J. (2018). *Trayectorias de robots móviles*. Recuperado el 26 de julio de 2019, de repository.unimilitar.edu.co: <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/18006/PreciadoAguilarJuanDavid2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Rambal. (2019). Recuperado el 4 de Marzo de 2019, de <https://rambal.com/stepper-paso-a-paso/1024-stepper-motor-nema-34-86-kg-cm.html>

Ramirez. (2016). *Trayectorias para robots móviles*. Recuperado el 25 de julio de 2019, de [webpersonal.uma.es: http://webpersonal.uma.es/~VFMM/PDF/cap2.pdf](http://webpersonal.uma.es/~VFMM/PDF/cap2.pdf)

Robotplus. (2019). *Robots industriales móviles*. Recuperado el 30 de julio de 2019, de [robotplus.es: https://robotplus.es/robotica-colaborativa/mir/](https://robotplus.es/robotica-colaborativa/mir/)

Rojas, J. C. (2017). La Cuarta Revolución Industrial o Industria 4.0 y su impacto en la educación superior en ingeniería en Latinoamérica y el Caribe. *Springer*, 1-5.

Sejzer, R. (octubre de 2016). Recuperado el 26 de Junio de 2019, de <http://ctcalidad.blogspot.com/2016/10/la-matriz-de-pugh-para-la-toma-de.html>

Sirpa, E. (2017). *Métodos de locomoción terrestre*. Recuperado el 25 de Julio de 2019, de [medium.com: https://medium.com/@ericksirpa/robots-m%C3%A9todos-de-locomoci%C3%B3n-terrestre-2964c68a9523](https://medium.com/@ericksirpa/robots-m%C3%A9todos-de-locomoci%C3%B3n-terrestre-2964c68a9523)

SMC. (2019). *Vehículos de guiado*. Recuperado el 30 de julio de 2019, de [directindustry.es: http://www.directindustry.es/prod/shin-heung-machine-company-smc/product-66634-530443.html](http://www.directindustry.es/prod/shin-heung-machine-company-smc/product-66634-530443.html)

TD-Robotica. (enero de 2017). Recuperado el 6 de Junio de 2019, de <http://tdrobotica.co/sensor-de-linea-qtr-8a-analogo-arreglo-de-8/173.html>

Tecnocio. (septiembre de 2018). Recuperado el 16 de Julio de 2019, de <https://tecnocio.com/blog/guia-motores-brushless-que-son-como-funcionan-caracteristicas-precios/>

Ulrich, K., & Eppinger, S. (2012). *Diseño y desarrollo de productos*. México, D.F.: Mc Graw Hill Education.

Wong, J. (2017). *Funcionamiento de sensores ultrasónicos*. Recuperado el 30 de julio de 2019, de [bjultrasonic.com: https://www.bjultrasonic.com/es/how-do-ultrasonic-sensors-work/](https://www.bjultrasonic.com/es/how-do-ultrasonic-sensors-work/)

Wong, J. (Febrero de 2019). *Alibaba*. Recuperado el 19 de Marzo de 2019, de <https://spanish.alibaba.com/product-detail/best-selling-unmanned-narrow-aisle-electric-stacker-agv-forklift-1500kg-truck-autonomous-price-for-factory-use-62190070392.html?spm=a2700.7724838.2017115.19.8c53a923UlmIvn>

ANEXOS



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE MECATRÓNICA

CERTIFICACIÓN

Se certifica que el trabajo de titulación fue desarrollado por el señor, **Lascano Pazmiño Stalin, Christian Stalin** en la ciudad de Latacunga a los 13 días del mes de enero de 2020.

Aprobado por:

