



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA
CARRERA DE MECATRÓNICA

**DISEÑO DE UN ROBOT AUTÓNOMO MÓVIL PARA EL CONTROL DE
INVENTARIOS EN EMPRESAS DE PRODUCCIÓN Y SERVICIOS**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
título de Ingeniera en Mecatrónica / Ingeniero
en Mecatrónica

AUTORES: PAOLA ALEXANDRA IDROVO GUAPISACA
CHRISTIAN EDUARDO MÉNDEZ CRESPO

TUTOR: ING. MARCO ESTEBAN AMAYA PINOS, M.SC.

Cuenca – Ecuador

2023

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Paola Alexandra Idrovo Guapisaca con documento de identificación N° 0107581548 y Christian Eduardo Méndez Crespo con documento de identificación N° 0107627267; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Ciudad, 04 de agosto del 2023

Atentamente,



Paola Alexandra Idrovo Guapisaca
0107581548



Christian Eduardo Méndez Crespo
0107627267

CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Nosotros, Paola Alexandra Idrovo Guapisaca con documento de identificación N° 0107581548 y Christian Eduardo Méndez Crespo con documento de identificación N° 0107627267, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto Técnico: "Diseño de un robot autónomo móvil para el control de inventarios en empresas de producción y servicios", el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniera en Mecatrónica / Ingeniero en Mecatrónica, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Ciudad, 04 de agosto del 2023

Atentamente,



Paola Alexandra Idrovo Guapisaca
0107581548



Christian Eduardo Méndez Crespo
0107627267

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Marco Esteban Amaya Pinos con documento de identificación N° 0102263480, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DISEÑO DE UN ROBOT AUTÓNOMO MÓVIL PARA EL CONTROL DE INVENTARIOS EN EMPRESAS DE PRODUCCIÓN Y SERVICIOS, realizado por Christian Eduardo Méndez Crespo con documento de identificación N° 0107627267 y Paola Alexandra Idrovo Guapisaca con documento de identificación N° 0107581548, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Ciudad, 04 de agosto del 2023

Atentamente,



Ing. Marco Esteban Amaya Pinos, M.Sc.

0102263480

Dedicatoria

Este trabajo está dedicado a todas las personas que han confiado en mis capacidades y siempre me han apoyado en proyectos académicos como personales. En especial a mi familia. Carlos, Susana y Daniel, los cuales han sido un pilar fundamental en mi vida y sin ellos no podría ser la persona de hoy en día. A mi abuelita, Sra. María Luisa Arízaga, quien desde niño me ha inculcado el camino correcto y desde el cielo siempre me ha cuidado. De la misma manera, a mi abuelita, Sra Rosa Calle, quien a pesar de no tener la oportunidad de estar con ella, siempre me ha tenido presente en sus oraciones y nunca me ha olvidado.

Igualmente, quiero dedicar al Sr. Roman Idrovo y Sra. Patricia Guapisaca, a quienes considero como mis segundos padres. Sin su apoyo la culminación de mis estudios estuviera detenida.

Por último, quiero dedicarle este trabajo a Paola, quien ha sido una pieza clave en mi superación tanto personal como académica. Me ha demostrado que aún existen personas en quien confiar y sobretodo, siempre ha estado en los buenos y malos momentos.

Christian Méndez

Quiero dedicar a mis padres, Román Idrovo, quien ha sido mi apoyo incondicional en todos los proyectos, tanto académicos como personales, que me he planteado; y a Patricia Guapisaca, que me ha dado su amor incondicional, comprensión y sus consejos para tomar decisiones importantes en mi vida. Ambos me han demostrado y enseñado a no darme por vencida cuando la situación se pone difícil. Gracias a su ejemplo, he podido aprender que las metas con esfuerzo se cumplen.

También quiero dedicar estas palabras a mis hermanos Daniel y Gabriela, quienes me han sabido comprender y apoyar cuando lo he necesitado, y sobretodo me han demostrado su cariño en los momentos más difíciles que he pasado.

Por último, quiero dedicarle este trabajo a Christian, quien ha pesar de las adversidades ha sido mi apoyo constante en todo momento. Me ha demostrado que puedo ser mejor y me ha enseñado que siempre estará para mí. Quiero agradecerle por su esfuerzo y dedicación en cada etapa de nuestras vidas.

Paola Idrovo

Agradecimientos

Deseo expresar mi agradecimiento a nuestro director de tesis, MSc. Marco Amaya, por su tiempo y ayuda incondicional en la realización y culminación de este trabajo.

De la misma manera, agradecer a mis padres, Carlos y Susana, por brindarme su apoyo en todo momento. A mi hermano Daniel, quien a pesar de todo siempre ha estado levantandome las veces que he caído.

Agradecer a todos los docentes de la carrera de mecatrónica quienes siempre nos han apoyado; Ing. Julio Loja, quien ha sido un pilar fundamental en mi formación profesional, siempre dispuesto a brindar un consejo de la manera más objetiva y en compartir sus conocimientos fuera del aula; Ing. Paúl Chasi, quien me inculcó a nunca rendirme y ser un ejemplo a seguir. De la misma manera, a la Ing. Mónica Romero y al Ing. Eddy Ayala, quienes me han dado palabras de aliento y apoyo cuando estuvimos a punto de rendirnos. También agradecer al Ing. Eugenio Cárdenas, quien más que un profesor nos ha tratado como un amigo; gracias por su tiempo y dedicación.

También quiero agradecer al Ing. Cristian Cobos por su apoyo y su actitud siempre positiva, dispuesto a ayudar con sus conocimientos; me motivó a terminar este proyecto de la mejor forma. Sin más, agradecer a las personas que considero mis amigos, María José, David y Josue, quienes siempre han estado en los mejores y peores momentos, sin ellos mi vida universitaria no sería la misma. También agradecer a todas aquellas personas que siempre nos han tratado de hundir durante nuestra vida universitaria, sin ellos no hubiera podido pulir mi carácter, formarme como líder y sobre todo como persona.

Finalmente, doy gracias a la vida y al destino por permitirme encontrarme con personas tan maravillosas, quienes han influenciado positivamente en mí.

Christian Méndez

Al finalizar este importante proyecto, deseo expresar mi agradecimiento a todas las personas que han formado parte de este proceso y que han sido piezas fundamentales en mi vida para encontrar inspiración.

Quiero agradecer a nuestro director de tesis, MSc. Marco Amaya, por su guía durante todo este tiempo y por su dedicación y tiempo para darle forma a este trabajo.

Quiero agradecer a Román y Patricia, mis padres, por ayudarme a culminar esta etapa tan importante en mi vida, brindándome en todo momento su apoyo y amor incondicional.

Quiero agradecer al Ing. Julio Loja, quien siempre me ha brindado su apoyo y consejo cuando más lo he necesitado, además de brindarme sus conocimientos motivándome a ser mejor.

Quiero agradecer a la Ing. Mónica Romero y al Ing. Eddy Ayala, quienes me han dado palabras de aliento y apoyo en momentos difíciles, tanto en el ámbito académico como personal.

Al Ing. Cristian Cobos quien fue un gran apoyo en la culminación de este proyecto. Su generosidad al compartir sus conocimientos, siempre con paciencia y dedicación. Su actitud positiva y entusiasta nos impulsó y motivó a enfrentar los desafíos con mayor confianza.

También quiero agradecer al Ing. Eugenio Cárdenas, quien me ha podido brindar consejo como un amigo; realmente he podido sentir su aprecio y agradecerle por ayudarme a resolver y encontrar soluciones a diferentes problemas que se han presentado.

Finalmente, quiero agradecer a mis amigos Majo, Josue y David, quienes han sido un apoyo incondicional. Mi vida universitaria ha sido realmente buena gracias a ellos. Quiero agradecerles por dejarme formar parte de sus vidas y por haber logrado muchas cosas, tanto personal como académicamente, junto a ellos.

A cada uno de ustedes, les agradezco desde lo más profundo de mi corazón por su presencia en mi vida y por ser parte esencial en mi camino hacia el éxito. Sin su amor, aliento y comprensión, este logro no habría sido posible.

Paola Idrovo

Este documento fue realizado enteramente en L^AT_EX

Índice

Certificado de responsabilidad y autoría del trabajo de titulación	I
Certificado de cesión de derechos de autor del trabajo de titulación a la Universidad Politécnica Salesiana	II
Certificado de dirección del trabajo de titulación	III
Dedicatoria	IV
Agradecimientos	V
Resumen	XV
Abstract	XVI
1. Introducción	1
2. Problema	1
2.1. Antecedentes	1
2.2. Descripción del problema	2
2.3. Importancia y alcances	2
2.4. Delimitación	3
2.4.1. Espacial o geográfica	3
2.4.2. Temporal	3
2.4.3. Sectorial o institucional	4
2.5. Problema General	4
2.6. Problemas Específicos	4
3. Justificación	4
4. Objetivos	5
4.1. Objetivo General	5
4.2. Objetivos Específicos	5
5. Hipótesis	5
5.1. Hipótesis General	5

5.2. Hipótesis Específicas	5
6. Marco Teórico	6
6.1. Inventarios	6
6.1.1. Objetivos de los inventarios	6
6.1.2. Importancia de los inventarios	6
6.1.3. Tipos de inventarios	7
6.2. Robots autónomos móviles	7
6.2.1. Locomoción	8
6.2.2. Cuestiones claves para la locomoción	9
6.2.3. Cinemática	10
6.2.4. Modelos cinemáticos y restricciones	10
6.2.5. Representación de la posición del robot	11
6.3. Percepción	12
6.3.1. Sensores para robots móviles	12
6.4. Localización	12
6.5. Tipos de robots autónomos móviles para inventarios	13
6.5.1. Robots móviles para picking	13
6.5.2. Robots móviles de clasificación	14
6.6. Tipos de ruedas para robots móviles	14
6.6.1. Ruedas convencionales	14
6.6.2. Ruedas especiales	16
6.6.3. Ruedas especiales Mecanum	17
7. Marco metodológico	19
7.1. Establecimiento de los parámetros iniciales para el diseño mecánico de un robot autónomo móvil para el control de inventarios en empresas de producción y servicios	19
7.1.1. Entorno	19
7.1.2. Dimensionamiento del robot	21
7.1.3. Autonomía del robot	21
7.2. Propuestas de diseño	21
7.3. Priorización	25
7.4. Análisis estructural de un robot autónomo móvil de 3 ruedas	26
7.5. Cálculo de desplazamiento de la cámara en el tornillo sinfin	29

7.6.	Dimensionamiento de los motores de tracción	30
7.7.	Selección del motor para brindar grado de libertad a la cámara	32
7.8.	Selección de ruedas para tracción del robot	33
7.9.	Selección de materiales para un robot autónomo móvil	34
7.10.	Diseño mecánico de un robot autónomo móvil	36
7.10.1.	Diseño de base para motores	36
7.10.2.	Diseño de acople para perfiles	37
7.10.3.	Diseño de tapa inferior	38
7.10.4.	Diseño de tapa superior	39
7.10.5.	Diseño de soporte para motor a pasos	39
7.10.6.	Diseño de soporte para servo de cámara	40
7.11.	Motor Pololu 37D	41
7.12.	Servomotor MG995	41
7.13.	Selección de sensores magnéticos	42
7.14.	Encoder de Cuadratura	43
7.15.	Driver Puente H	44
7.16.	Selección de cámara para procesamiento de imágenes	45
7.17.	Selección de microcontrolador	47
7.18.	Análisis cinemático de un robot autónomo móvil de 3 ruedas omnidireccionales	48
7.19.	Diseño de un controlador para un robot omnidireccional de 3 ruedas	50
7.20.	Diseño del esquema de conexión eléctrica	52
7.21.	Consumo eléctrico	53
7.22.	Procesamiento de códigos QR para el control de inventarios mediante el lenguaje de programación Python	55
7.23.	Análisis de costos	58
8.	Resultados	60
8.1.	Establecimiento de los parámetros iniciales para el diseño de un robot autónomo móvil para mejorar el control de inventarios en empresas de producción y de servicios.	60
8.2.	Propuesta del diseño de un robot autónomo móvil para el control de inventarios en empresas de producción y de servicios	60
8.2.1.	Ensamblaje del robot	60

8.3. Verificación mediante método de elementos finitos para cálculo estático estructural de un robot autónomo móvil para el control de inventarios en empresas de producción y de servicios.	63
8.4. Simulación de seguimiento de trayectoria del Robot	67
9. Conclusiones	68
10. Recomendaciones	70
Referencias	73
ANEXOS	74
Anexo A: Matriz de Consistencia Lógica	74
Anexo B: Operacionalización de variables	76
Anexo C: Código para lector de códigos QR	77

Lista de Tablas

1.	Mecanismos de locomoción usados en el sistema biológico	9
2.	Tabla comparativa de los tipos de ruedas	19
3.	Características de diseño de la Propuesta 1	22
4.	Características de diseño de la propuesta 2	23
5.	Características de diseño de la propuesta 3	24
6.	Características de diseño de la propuesta 4	25
7.	Priorización de los diseños propuestos	26
8.	Características de los materiales	35
9.	Materiales elegidos para el diseño un robot autónomo móvil para control de inventarios	35
10.	Datos técnicos Motor Pololu 37D 131:1	41
11.	Datos técnicos sensor magnético	43
12.	Datos técnicos BTS7960	44
13.	Características cámara Intel RealSense Depth Camera D435i	46
14.	Características cámara Microsoft Azure Kinect DK	46
15.	Priorización para selección de cámara	47
16.	Selección de microcontrolador	47
17.	Priorización para selección de microcontrolador	48
18.	Variables del robot	49
19.	Consumo eléctrico de componentes del robot	53
20.	Prueba 1 del funcionamiento del algoritmo para captar los códigos QR . . .	56
22.	Prueba 3 del funcionamiento del algoritmo para captar los códigos QR . . .	56
21.	Prueba 2 del funcionamiento del algoritmo para captar los códigos QR . . .	57
23.	Prueba 4 del funcionamiento del algoritmo para captar los códigos QR . . .	58
24.	Presupuesto de recursos materiales	59
26.	Presupuesto final del sistema	59
25.	Presupuesto para mano de obra del proyecto	60
27.	Parámetros iniciales para el diseño de un robot autónomo móvil	60
28.	Tabla de esfuerzos y deformaciones	66
29.	Matriz de consistencia	75
30.	Variable dependiente	76

Lista de Figuras

1.	Ubicación Universidad Politécnica Salesiana	3
2.	Marco de referencia global y marco de referencia local del robot	11
3.	Esquema general para la localización de robots móviles	13
4.	Tipos de ruedas convencionales	15
5.	Configuración de ruedas convencionales	15
6.	Tipos de ruedas especiales	16
7.	Rueda especial	17
8.	Norma NTE INEN 2247 de accesibilidad de las personas al medio físico, edificios, corredores y pasillos.	20
9.	Tecnología AGV	20
10.	Propuesta 1	22
11.	Propuesta 2	23
12.	Propuesta 3	24
13.	Propuesta 4	25
14.	Diagrama de las fuerzas y reacciones del robot	27
15.	Sección transversal de un perfil de aluminio	28
16.	Selección de factor de seguridad	31
17.	Diagrama de cuerpo libre	32
18.	Ruedas Magliner 130502 Rotacaster doble fila Omnidireccionales	34
19.	Base para motores	36
20.	Base para perfiles	37
21.	Base para perfiles	37
22.	Tapa inferior de aluminio	38
23.	Tapa superior de aluminio	39
24.	Diseño de soporte para motor a pasos	40
25.	Soporte para servo de cámara	40
26.	Motor comercial Pololu 37D	41
27.	Servomotor MG995	42
28.	Sensor magnético	42
29.	Encoder de cuadratura	44
30.	Conexiones BTS7960	45
31.	Diagrama cinemático de un robot omnidireccional de 3 ruedas	49
32.	Esquema de control de un robot autónomo móvil de 3 ruedas	51

33.	Diagrama eléctrico	52
34.	Baterías Tattu 4300 mAh	53
35.	RDX2 1000 AC/DC Dual Port Charger	54
36.	Validación de códigos QR	57
37.	Ensamble del chasis del robot	61
38.	Ensamble del sistema de movimiento vertical para la cámara	62
39.	Ensamble final del robot	63
40.	Deformación total del sistema	64
41.	Esfuerzo total del sistema	65
42.	Porcentaje de deformación del sistema	66
43.	Simulación de una trayectoria	67
44.	Respuesta Error	68
45.	Convergencia del Error	68
46.	Código para lector de códigos QR	77

Resumen

El siguiente proyecto técnico tiene como objetivo resolver un problema específico en las empresas de producción y servicios a nivel nacional: las deficiencias en el control de inventarios que pueden generar dificultades logísticas, organizativas y financieras.

Para abordar esta situación, se propone el diseño de un robot autónomo móvil que mejore el control de inventarios y transforme la forma tradicional de llevar a cabo esta actividad. Esta solución permitirá a las empresas incrementar su productividad al evitar errores asociados con las operaciones manuales.

En primer lugar, se lleva a cabo un análisis exhaustivo de las condiciones iniciales del proceso, basado en una revisión bibliográfica y los requisitos del robot para realizar el control de inventarios. A continuación, se examinan los distintos sistemas involucrados en el robot, como su estructura mecánica, autonomía y procesamiento de códigos, con el fin de determinar la opción más adecuada.

Una vez establecidos los parámetros y las condiciones iniciales, se procede al diseño del robot. Este constará de una estructura capaz de soportar su masa, una carcasa externa, un mecanismo de desplazamiento para la cámara y una descripción del sistema de control basado en filoguiado magnético.

Posteriormente, se realizan cálculos y simulaciones para verificar que los diseños propuestos sean idóneos, asegurando que el sistema cumpla con las características de funcionamiento adecuadas.

Finalmente, se presenta un análisis de costos que muestra el desglose de los componentes, equipos y mano de obra necesarios para llevar a cabo el proyecto.

Palabras clave: Control de inventarios, Diseño, Innovación, Robot autónomo móvil Verificación, Análisis de costos.

Abstract

The following technical project aims to solve a specific problem in production and service companies at the national level: deficiencies in inventory control that can generate logistical, organizational and financial difficulties.

To address this situation, the design of a mobile autonomous robot that improves inventory control and transforms the traditional way of carrying out this activity is proposed. This solution will allow companies to increase their productivity by avoiding errors associated with manual operations.

First, an exhaustive analysis of the initial conditions of the process is carried out, based on a bibliographical review and the requirements of the robot to carry out inventory control. Next, the different systems involved in the robot are examined, such as its mechanical structure, autonomy and code processing, in order to determine the most appropriate option.

Once the parameters and initial conditions have been established, the robot is designed. This will consist of a structure capable of supporting its mass, an external casing, a movement mechanism for the camera and a description of the control system based on magnetic wire guidance.

Subsequently, calculations and simulations are performed to verify the suitability of the proposed designs, thus ensuring an optimal system with the proper operating characteristics.

Finally, a cost analysis is presented that shows the breakdown of the components, equipment and labor necessary to carry out the project.

Keywords: Inventory control, Design, Innovation, Autonomous mobile robot Verification, Cost analysis.

1. Introducción

En la actualidad el desarrollo de la tecnología ha marcado un antes y un después, la robótica y la automatización están evolucionando la forma de operar de las empresas. Un aspecto muy importante es la eficiencia y la productividad cuando se refiere al control de inventarios, ya que al tener un inventario bien ejecutado este se traduce en una mejora significativa en los tiempos de respuesta y la satisfacción de los clientes. (GSMexico, 2023)

Este documento se enfoca en el diseño de un robot autónomo móvil para control de inventarios en empresas de producción y servicios. Mediante el diseño de este robot, se presenta un gran potencial para revolucionar la gestión logística y optimizar los procesos de almacenamiento y distribución de productos en las empresas. Con la incorporación de robots autónomos en entornos industriales es posible reducir la cantidad de errores humanos, los costos operativos y mejorar la eficiencia global del proceso de inventario. (CIOMX, 2023b)

A lo largo de este trabajo, se abordará aspectos claves para el desarrollo del diseño del robot autónomo móvil para control de inventario, incluyendo los parámetros iniciales que se tomaron en consideración para crear el concepto de diseño, la selección de los componentes, el cómo se realizará el control de inventarios, además se realizará un análisis de costos, el cual es esencial para determinar la viabilidad de implementar este robot.

2. Problema

2.1. Antecedentes

En la última década, el avance tecnológico ha tenido un crecimiento exponencial, en especial cuando hablamos de robots autónomos móviles. Por ejemplo, empresas que tienen gran producción optan por androides que cuentan con inteligencia artificial que mejoran la seguridad de los empleados, optimizan el desarrollo de algunas tareas diarias y evitan problemas en los inventarios.

Un ejemplo es Amazon, este comenzó a probar a cuatro robots, Ernie, Bert, Scooter y Kermit. Ellos realizan diferentes funciones como son mover cajones, paquetes y contenedores en sus depósitos.

Ernie es el primero de los robots, su tarea principal es recoger y entregar paquetes y cajas

de unidades móviles a humanos. Es una especie de brazo robótico que succiona las cajas para agarrarlas y las mueve sobre una cinta mecánica para desplazarlas.

El segundo de los robots es Bert. Según (Rus, 2022) es uno de los primeros robots completamente autónomo que han creado. Tiene como objetivo desplazarse por los grandes almacenes para transportar cajas y otros ítems de un lugar a otro. Todo ello sin necesidad de que un humano lo supervise.

El tercer robot es Scooter, un robot utilizado en Amazon para el transporte de cargas; es como una pequeña locomotora, cargando una serie de vagonetas o remolques con paquetes. Se desplaza de forma autónoma y lleva los paquetes de un punto determinado a otro escogido. Finalmente, el cuarto robot es Kermit, un robot autónomo pensado para transportar cargas, Kermit es autónomo, pero no tanto como Bert ya que requiere de cintas magnéticas en el suelo para guiarse. (Rus, 2022)

2.2. Descripción del problema

En las empresas ecuatorianas, la gestión de inventarios presenta ciertas deficiencias que dan lugar a problemas logísticos, organizativos y financieros. Sin embargo, mediante la implementación de sistemas robóticos autónomos, es posible superar estas limitaciones y obtener una gestión más precisa de la producción y el inventario. Esto conlleva a una mejora significativa en el control de los procesos, así como a la generación de ahorros y una mejor utilización de los recursos (tiempo, economía y materiales), además de incrementar la seguridad. Estos beneficios liberarían recursos que pueden destinarse a otras actividades que no son aptas para la automatización, lo que a su vez incrementaría la productividad general de la empresa.

2.3. Importancia y alcances

Actualmente, el proceso para llevar el control de inventarios en las empresas se vuelve complicado debido a que tienen gran producción por lo que se deriva en problemas logísticos, organizacionales y financieros, es por esto que el resultado de diseño de un robot autónomo móvil ayudará en el control de inventarios en empresas de producción y servicios. Al implementar este tipo de robots se podrá innovar la forma tradicional en que se lleva a cabo el control de inventarios, a su vez este diseño podrá ser un punto de partida para futuras investigaciones a nivel de desarrollo de robots AMR que puedan brindar un soporte a estas necesidades. Permitirá a las empresas aumentar la productividad del cumplimiento de inventarios ya que el

personal de la empresa podrá concentrarse en otras actividades de la empresa, además con los robots AMR (Autonomous Mobile Robots) se puede evitar errores asociados con operaciones manuales. Otra ventaja significativa es que, mediante el uso de sensores integrados, escáneres laser e inteligencia artificial el robot puede detectar obstáculos permitiendo un entorno seguro y colaborativo entre trabajadores y AMR.

2.4. Delimitación

El problema de estudio se delimitará en las siguientes dimensiones:

2.4.1. Espacial o geográfica

Este proyecto de titulación se desarrollará en la Universidad Politécnica Salesiana en la ciudad de Cuenca-Ecuador.

Figura 1

Ubicación Universidad Politécnica Salesiana



2.4.2. Temporal

El desarrollo del proyecto de titulación se dará inicio en la asignatura de Trabajo de Titulación 1 y culminará en la asignatura de Trabajo de Titulación 2 con un total de 400

horas.

2.4.3. Sectorial o institucional

Este proyecto de titulación se desarrollara en el ambito institucional especificamente en la Universidad Politécnica Salesiana

2.5. Problema General

- ¿Es posible realizar el diseño de un robot autónomo móvil para el control de inventarios en empresas de producción y de servicios?

2.6. Problemas Específicos

- ¿Se podrá establecer los parámetros iniciales para el diseño de un robot autónomo móvil para el control de inventarios en empresas de producción y de servicios?
- ¿Es posible proponer el diseño de un robot autónomo móvil para el control de inventarios en empresas de producción y de servicios?
- ¿Es posible verificar el diseño de un robot autónomo móvil para el control de inventarios en empresas de producción y de servicios?

3. Justificación

SMS Auditores y Asesores Gerenciales en Ecuador, dice que las empresas a nivel nacional dentro de sus controles de inventarios invierten en softwares caros y sofisticados, sin embargo, cuando un auditor externo calificado realiza una prueba de inventarios se encuentran con algunas inconsistencias como: las cantidades teóricas que están registradas en los sistemas no coinciden con las físicas, existen faltantes y sobrantes, los datos de las cantidades de inventarios no son confiables etc. Es por esto, que a la larga este sistema es poco eficiente y produce inconvenientes como el retraso al momento de envíos, descontento en los clientes y problemas financieros. (Carlos, 2022)

De este modo puede generar un ahorro y aprovechamiento de recursos (tiempo, economía, materiales) y seguridad, los cuales pueden ser destinados a otros aspectos. Además, se espera que el impacto generado sea corregir las falencias en el control de inventario en empresas

de producción y servicios por lo que les permitirá conocer la fluctuación de sus productos y garantizar la minimización y prevención de errores operativos.

4. Objetivos

4.1. Objetivo General

- Diseñar un robot autónomo móvil para el control de inventarios en empresas de producción y de servicios.

4.2. Objetivos Específicos

- Establecer los parámetros iniciales para el diseño de un robot autónomo móvil para mejorar el control de inventarios en empresas de producción y de servicios.
- Proponer el diseño de un robot autónomo móvil para el control de inventarios en empresas de producción y de servicios
- Verificar mediante simulación el cálculo estático estructural de un robot autónomo móvil para el control de inventarios en empresas de producción y de servicios.

5. Hipótesis

5.1. Hipótesis General

- El diseño de un robot autónomo móvil mejorará el control de inventarios en empresas de producción y de servicios.

5.2. Hipótesis Específicas

- Se establecerán los parámetros iniciales que ayudará al diseño de un robot autónomo móvil para el control de inventarios en empresas de producción y de servicios.
- Se diseñará un robot autónomo móvil que ayudará a mejorar el control de inventarios en empresas de producción y de servicios.

- La verificación del cálculo estructural estático de un robot autónomo móvil para el control de inventarios en empresas de producción y de servicios permitirá garantizar el funcionamiento del mismo.

6. Marco Teórico

6.1. Inventarios

Los inventarios son todos los bienes tangibles que están disponibles para la venta en el curso ordinario del negocio o ya sea para el consumo en la producción de bienes o servicios para su posterior comercialización. (Gil Arianny, 2009)

Toda entidad manufacturera y de servicios cuentan con inventarios que son clasificados según su naturaleza, entre los más mencionados están los inventarios de materia prima y de productos terminados. (Quizhpi Campoverde, 2018)

6.1.1. Objetivos de los inventarios

Según (Mora, 2011), los principales objetivos de los inventarios son:

- Apoyar la rentabilidad de la compañía.
- Disminuir las ventas perdidas.
- Entregar oportunamente los productos.
- Dar un nivel adecuado de servicio con un costo de stock en equilibrio.
- Responder ante imprevistos de la demanda y la oferta.

6.1.2. Importancia de los inventarios

La necesidad de tener existencias en almacén nace o tiene su origen en la utilidad que nos reportan estos stocks. Según el autor se puede referir a:

- Cantidad: disponer del artículo en la cantidad necesaria.
- Oportunidad: tener los productos en el momento o lugar deseado.
- Calidad: garantizar una calidad conveniente del bien en el momento de ser utilizado.

- Disfrutar del artículo con los requisitos anteriores y al precio más económico.

Los inventarios actúan como reguladores entre los ritmos de salida de unas fases y los de entrada de las siguientes. Si no se tiene el artículo almacenado es muy difícil que la oportunidad, cantidad, calidad y precio coincidan simultáneamente en el momento en que arribe al lugar de utilización. (Mora, 2011)

6.1.3. Tipos de inventarios

De acuerdo a (Mora, 2011) existen diferentes tipos de clasificación de stock, entre los más importantes se encuentran:

- Inventarios de materias primas: Son aquellos que comprenden los materiales comprados por el fabricante que después son sometidos a operaciones de transformación o manufactura.
- Inventarios productos en proceso de fabricación. Comprende la producción parcialmente manufacturada.
- Productos terminados. Son todos los artículos manufacturados que están aptos y disponibles para la venta.
- Suministro de fábrica o fabricación. Se conoce también como stock de materiales; puede asociarse directamente con el bien terminado y llega a convertirse en partes de él. El suministro de materiales se realiza en cantidades suficientes para que sea práctico asignar su costo al producto. .

6.2. Robots autónomos móviles

La robótica se refiere al uso de la informática en la creación y uso de dispositivos que pueden realizar trabajos o tareas en lugar de personas, especialmente en entornos industriales. Los robots son máquinas que tienen la capacidad de llevar a cabo acciones complejas, tomar decisiones y ajustar su comportamiento en consecuencia. Además, los robots son programables y pueden ser manipulados, y están equipados con una variedad de sensores haciéndolo capaz de ejecutar diferentes tareas. (García y cols., 2017)

La creación de robots móviles surge como una respuesta a la necesidad de ampliar el ámbito de aplicación de la robótica, que inicialmente se limitaba a una estructura mecánica

fija en uno de sus extremos. Además, se busca incrementar su autonomía reduciendo al mínimo la intervención humana. (Baturone, 2005)

Las características distintivas de los robots son su aprendizaje basado en IA para su adaptabilidad y su versatilidad. La versatilidad se refiere a la capacidad de los robots de realizar diferentes tareas y ejecutar una misma tarea de formas distintas, lo que implica una estructura mecánica de geometría variable. Por otro lado, la adaptabilidad significa que un robot debe ser capaz de alcanzar su objetivo por sí solo, a pesar de las perturbaciones inesperadas en el entorno mientras realiza su tarea. Para lograr esto, el robot debe tener una conciencia del entorno que se obtiene mediante la posesión de sentidos artificiales. (Bermudez y cols., 2002)

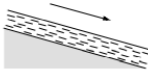
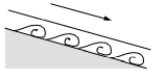



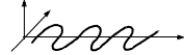






Los robots móviles son dispositivos que pueden transportar automáticamente cargas a través de un ambiente de trabajo específico, gracias a su sistema de locomoción y un nivel de autonomía que les permite moverse por sí mismos. Estos robots tienen una amplia variedad de aplicaciones, especialmente en tareas que son peligrosas o perjudiciales para la salud humana, como en la agricultura, en el transporte de cargas peligrosas, en tareas de exploración solitarias o en equipo con otros vehículos no tripulados. Algunos ejemplos comunes de su uso incluyen el traslado y acopio de materiales, las tareas de mantenimiento en reactores nucleares, la manipulación de materiales explosivos y la exploración subterránea, entre otras, etc. (Bambino, 2008)

6.2.1. Locomoción

Un robot móvil necesita contar con mecanismos de locomoción adecuados que le permitan moverse con libertad en su entorno. La forma en que los robots se mueven puede variar ampliamente, por lo que elegir el enfoque correcto de locomoción es un aspecto clave en su diseño. Existen robots de investigación que pueden caminar, saltar, deslizarse, nadar, volar y, por supuesto, rodar, entre otros métodos. Estos mecanismos de locomoción a menudo están inspirados en sistemas biológicos como se muestra en la Tabla 1, lo que les permite moverse en ambientes hostiles. (Siegwart, Nourbakhsh, y Scaramuzza, 2011)

Tabla 1

Mecanismos de locomoción usados en el sistema biológico

Type of motion	Resistance to motion	Basic kinematics of motion
Flow in a Channel 	Hydrodynamic forces	Eddies 
Crawl 	Friction forces	Longitudinal vibration 
Sliding 	Friction forces	Transverse vibration 
Running 	Loss of kinetic energy	Oscillatory movement of a multi-link pendulum 
Jumping 	Loss of kinetic energy	Oscillatory movement of a multi-link pendulum 
Walking 	Gravitational forces	Rolling of a polygon (see figure 2.2) 

Nota: En la Tabla 1 se observa los mecanismos de locomoción que se han inspirado en sus contrapartes biológicas. (Siegwart y cols., 2011)

6.2.2. Cuestiones claves para la locomoción

La locomoción y manipulación comparten problemas centrales como la estabilidad, características de contacto y el medio ambiental en donde se encuentra, a continuación, se indica algunas características a tomar en consideración:

- Estabilidad
 - Número y geometría de los puntos de contacto
 - Centro de gravedad
 - Estabilidad estática/ dinámica
 - Inclinación del terreno
- Características de contacto
 - Punto de contacto/ tamaño y forma de la ruta
 - Ángulo de contacto

- Fricción
- Tipo de entorno
 - Estructura
 - Medio

El análisis teórico de la locomoción inicia con la mecánica y la física. Desde este punto de partida, se puede definir y analizar formalmente todo tipo de sistemas de locomoción de robots móviles. Como son:

- Robots móviles con extremidades antropomórficas
- Robots móviles con ruedas

(Siegwart y cols., 2011)

6.2.3. Cinemática

La cinemática es el estudio fundamental del comportamiento de los sistemas mecánicos. En el ámbito de la robótica móvil, es esencial comprender cómo funciona mecánicamente un robot, tanto para su diseño como para desarrollar software de control para su hardware móvil. (Siegwart y cols., 2011)

Para que un robot móvil pueda llevar a cabo tareas como la generación de trayectorias, la evasión de obstáculos y el seguimiento de su ejecución, es necesario que sea capaz de determinar su posición y orientación en relación a un sistema de referencia absoluto. En general, la determinación de la posición de un robot móvil implica encontrar las componentes de traslación (t_x , t_y , t_z) y rotación (x , y , z) del sistema de coordenadas fijo al robot (que también es móvil) en relación a un sistema absoluto. (Jiménez y Baturone, 1996)

6.2.4. Modelos cinemáticos y restricciones

En la robótica móvil es particularmente importante la obtención de un modelo cinemático para describir el movimiento de todo el robot. Cada elemento de rotación, como son las ruedas, contribuye al desplazamiento del prototipo, al mismo tiempo, imponen restricciones. Las ruedas están unidas según la geometría del chasis del robot y, por lo tanto, sus restricciones se combinan para formar restricciones en el movimiento general del chasis del robot. (Siegwart y cols., 2011)

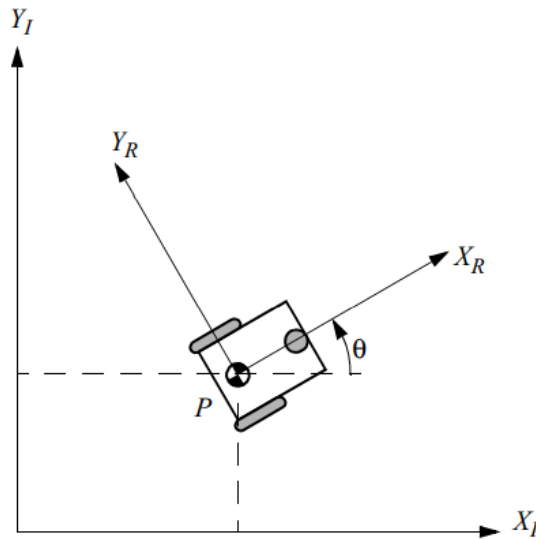
6.2.5. Representación de la posición del robot

En la mayoría de los casos donde se emplean robots móviles, se presenta un obstáculo común: conseguir que el robot se desplace hacia una posición específica o se mueva de un punto a otro, sorteando obstáculos y tomando la ruta más efectiva. El control del movimiento del robot es crucial para poder utilizarlo como una herramienta en diversas aplicaciones útiles para la sociedad. (Guzmán, Villa, y Vásquez, 2014)

Durante este análisis, se ha considerado el robot como un cuerpo rígido con ruedas que se desplaza en un plano horizontal. En términos de dimensiones, este chasis de robot tiene tres grados de libertad, dos para su posición en el plano y uno para su orientación en el eje vertical, que es perpendicular al plano. Aunque hay ejes adicionales de libertad y flexibilidad debido a las ruedas, las articulaciones de dirección y las ruedas giratorias, el término "chasis de robot" se refiere únicamente al cuerpo rígido del robot, sin tener en cuenta las articulaciones y los grados de libertad internos de las ruedas del robot, como se ilustra en la Figura 2. (Siegwart y cols., 2011)

Figura 2

Marco de referencia global y marco de referencia local del robot



Nota: Para especificar la posición del robot en el plano establecemos una relación entre el marco de referencia global del plano y el marco de referencia local del robot. (Siegwart y cols., 2011)

6.3. Percepción

La obtención de información sobre el entorno es una de las funciones cruciales de cualquier sistema autónomo, y esto se logra a través de la medición de datos mediante múltiples sensores, seguido del procesamiento de esta información para obtener conocimiento significativo. (Siegwart y cols., 2011)

6.3.1. Sensores para robots móviles

En robótica móvil existe una amplia variedad de sensores. Algunos de estos, se utilizan para medir valores simples como la temperatura interna de la electrónica o la velocidad de rotación de los motores. Otros sensores más sofisticados, como los LIDAR, son usados para adquirir información sobre el entorno. Debido a que un robot móvil se mueve, con frecuencia se encontrara con características ambientales imprevistas y, por lo tanto, dicha detección es particularmente crítica.

Los sensores se clasifican utilizando dos ejes funcionales importante:

- Propioceptivo/Exteroceptivo
- Pasivo/Activo

Según (Siegwart y cols., 2011), los sensores propioceptivos miden valores internos del sistema, mientras que los sensores exteroceptivos adquieren información del entorno del robot.

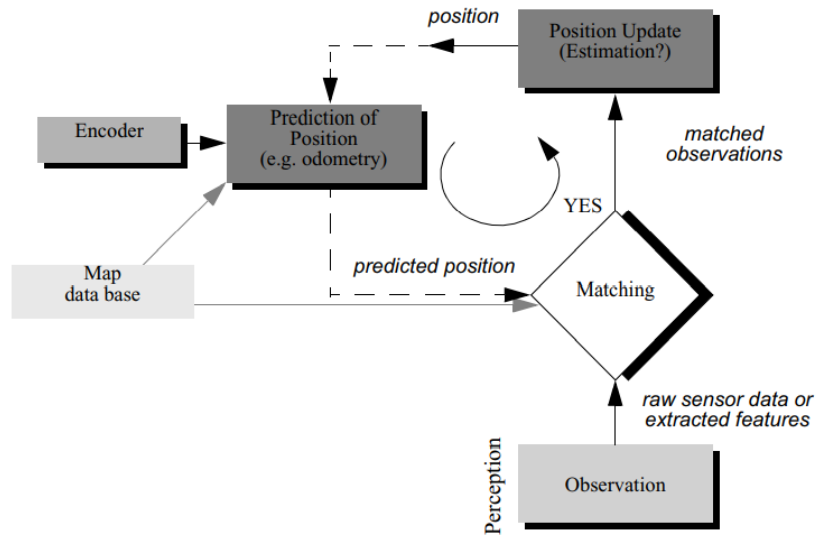
Los sensores pasivos miden la energía ambiental que ingresa al sensor, en cambio los sensores activos emiten energía al medio ambiente y luego miden la reacción ambiental. (Siegwart y cols., 2011)

6.4. Localización

El desplazamiento efectivo de un robot móvil es una habilidad crítica y requiere competencia en cuatro componentes principales: percepción, localización, cognición y control de movimiento. Para navegar con éxito, el robot debe interpretar la información de sus sensores para obtener datos relevantes, determinar su posición en el entorno Figura 3, tomar decisiones sobre cómo actuar para lograr sus objetivos y ajustar la salida de sus motores para seguir la trayectoria deseada. (Siegwart y cols., 2011)

Figura 3

Esquema general para la localización de robots móviles



Nota: De estos cuatro componentes que podemos observar en la Figura 3, la localización ha recibido la mayor atención de investigación en la última década y, como resultado, se han logrado avances significativos en este frente. (Siegwart y cols., 2011)

6.5. Tipos de robots autónomos móviles para inventarios

Los distintos tipos de robots móviles se clasifican a partir de las funciones que cumplen en el almacén:

6.5.1. Robots móviles para picking

Los AMR asistirán en unas u otras tareas dependiendo del tipo de picking que se aplique en la empresa.

- AMR para picking de hombre a producto:

El robot móvil realiza la función de carro de picking y acompaña de forma autónoma al operario. El trabajador se encarga entonces de seleccionar los productos de las estanterías y depositarlos en el robot. Una vez completado el proceso, es el propio robot móvil quien los traslada al área de consolidación y empaquetado, evitando que el operario tenga que abandonar la zona de picking. (MECALUX, 2022)

- AMR para picking de producto a hombre:

Este tipo de robot es capaz de levantar la estantería entera donde se encuentra el producto (suelen ser de pequeño o mediano tamaño) y la desplaza hasta una estación de picking. De esta forma, sitúa las estanterías en orden para que el operario pueda preparar los pedidos, sin necesidad de moverse. Una vez que el trabajador ha terminado, el robot desplaza la estantería de vuelta para cumplir con la siguiente tarea. (MECALUX, 2022)

6.5.2. Robots móviles de clasificación

Los robots móviles autónomos (AMR) utilizados para clasificar paquetes disponen de una bandeja inclinable y un lector de códigos para determinar la ubicación adecuada del paquete en la línea de envío. En la estación de recogida, un operador coloca el paquete en el robot, que escanea la etiqueta y lo transporta a la zona de envío correspondiente. También existe otro tipo de robot de clasificación que opera en un nivel superior y cuenta con canales de entrada para la mercancía, que se clasifica y se conduce hacia las rampas de salida. Los operarios colocan los paquetes en los robots y estos los recogen, los clasifican y los envían a la rampa de salida correspondiente. (MECALUX, 2022)

6.6. Tipos de ruedas para robots móviles

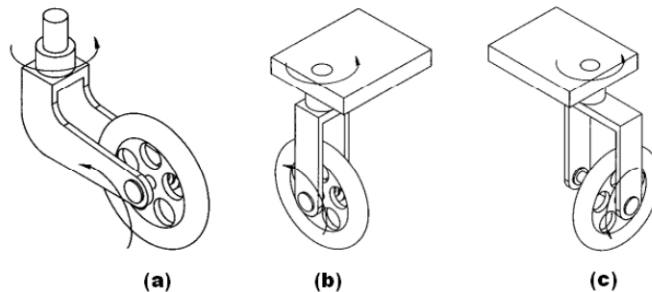
Los AMR son robots autónomos que se caracterizan por el uso de ruedas, las cuales les permiten desplazarse en cualquier dirección y realizar trayectorias complejas que involucran desplazamiento y rotación simultáneos para alcanzar el destino con un ángulo deseado. En las siguientes secciones se describirán los tipos de ruedas, que deben ser consideradas al decidir qué ruedas utilizar en la construcción del robot. (Alexander Gloge Forster, 2006)

6.6.1. Ruedas convencionales

Las ruedas convencionales permiten movimientos en cualquier dirección, siempre y cuando se tenga una configuración adecuada de posiciones en el robot. Estas ruedas se clasifican según la posición del eje de rotación con respecto a la rueda, tal como se muestra en la Figura 4.

Figura 4

Tipos de ruedas convencionales

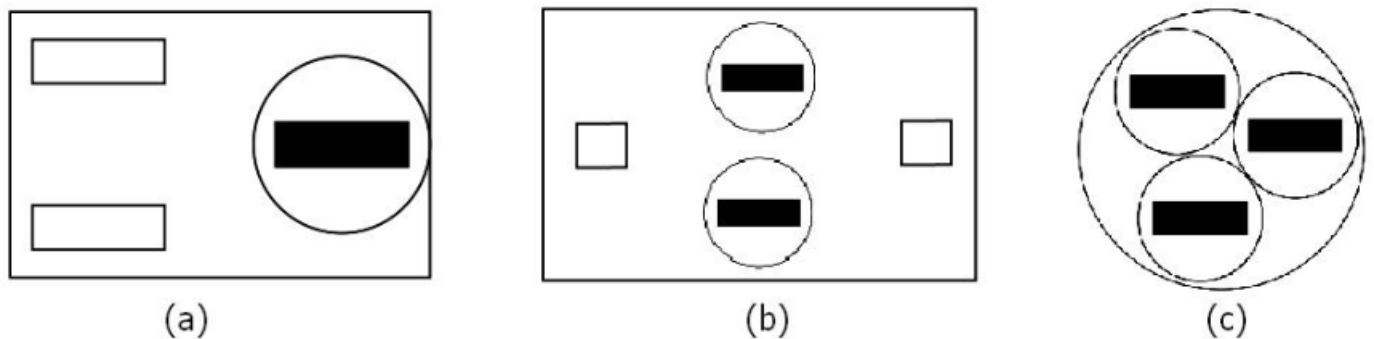


Nota: Tipos de ruedas convencionales (Figura 4). (a) Tipo Forward Offset Steered, (b) Tipo convencional simple, (c) Tipo Lateral Offset Steered. (Doroftei, Grosu, y Spinu, 2007)

Las ruedas convencionales pueden presentarse en tres configuraciones principales: la primera consiste en dos ruedas tipo automóvil con motores independientes y una tercera rueda convencional, como se muestra en la figura 5(a). La segunda configuración es de dos ruedas convencionales y uno o dos puntos de apoyo, como se muestra en la figura 5(b). La tercera configuración consiste en tres ruedas convencionales, como se ilustra en la figura 5(c).

Figura 5

Configuración de ruedas convencionales



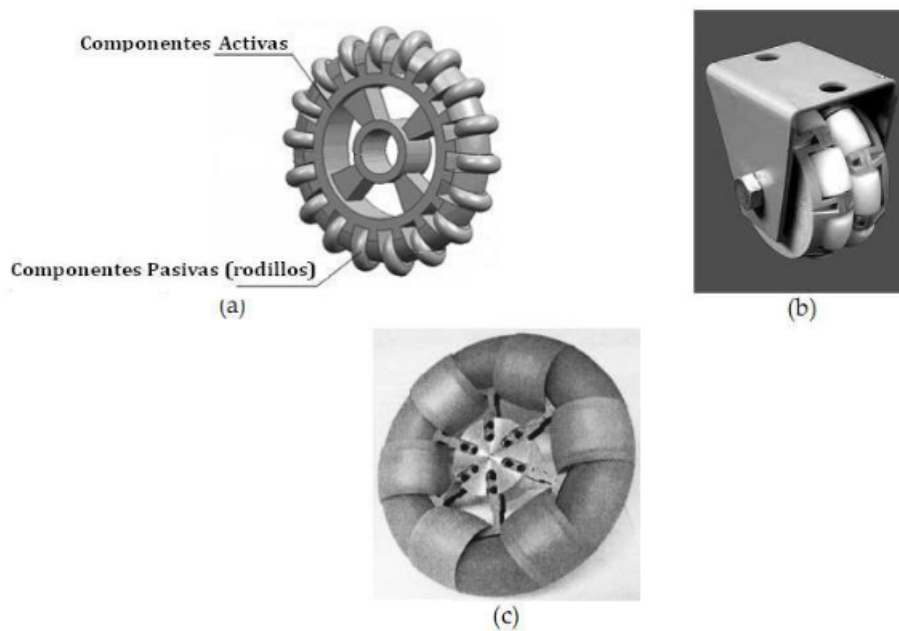
Nota: Posibles disposiciones de ruedas convencionales se ilustran en la Figura 5. La opción (a) consta de dos ruedas de tipo automóvil y una rueda convencional, mientras que la opción (b) presenta dos ruedas convencionales y dos puntos de apoyo. La opción (c) cuenta con tres ruedas convencionales. (Bräun, 2006)

6.6.2. Ruedas especiales

Las ruedas especiales se basan en la idea de tener una componente activa que provea tracción en una dirección y otra componente pasiva en otra dirección. Se han estudiado diferentes tipos de ruedas especiales, entre ellas las ruedas universales, las ruedas Mecanum y las ruedas esféricas. Las ruedas universales tienen rodillos pasivos en la periferia de la rueda principal que proporcionan una componente pasiva adicional a la componente activa que proporciona la rueda en sí misma. La Figura 6 ejemplifica estos componentes. (Doroftei y cols., 2007)

Figura 6

Tipos de ruedas especiales



Nota: Tipos de ruedas especiales (Figura 6). Ruedas universales. (a) Rueda Simple, (b) Rueda doble, (c) Rueda alternada. (Doroftei y cols., 2007)

Se pueden identificar las siguientes características en este tipo de rueda:

- La capacidad de carga está limitada por el único punto de contacto que tiene la rueda con la superficie sobre la que se desliza. Debido a la presión ejercida en ese punto, tanto la superficie como el rodillo pueden dañarse. (Spenko, 2001)
- El diseño es simple porque una configuración de al menos tres ruedas permite obtener

cualquier dirección de trayectoria de forma instantánea, lo que significa que no es necesario rotar las ruedas y se necesita un único motor por cada una. (Spenko, 2001)

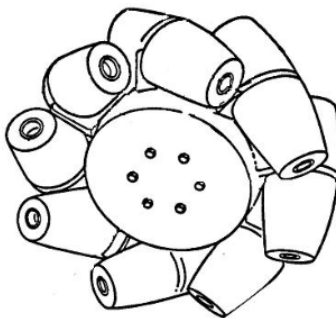
- El radio de la rueda puede ser variable y producir vibraciones no deseadas, especialmente en el caso de la rueda universal simple o cuando no hay suficientes rodillos para cubrir completamente la circunferencia de la rueda. (Spenko, 2001)
- La fricción es baja porque estas ruedas no necesitan ser rotadas para su posicionamiento, por lo que la fricción que generan es solo la del rodillo que está en contacto con la superficie. Además, los rodillos están diseñados para no ejercer una fricción considerable. (Spenko, 2001)
- Son más sensibles a la superficie en comparación con otros tipos de ruedas. Al desplazarse lateralmente y encontrar un obstáculo en la trayectoria, los rodillos se comportan como una rueda convencional, y la altura máxima del obstáculo que puede ser sorteado está limitada por el radio del rodillo, que es menor que el de las ruedas convencionales estudiadas. (Spenko, 2001)

6.6.3. Ruedas especiales Mecanum

La rueda Mecanum que se aprecian en la Figura 7. Es un tipo de rueda especial que se diferencia de las mostradas en la Figura 6 por la rotación de sus rodillos en un ángulo de alrededor de 45 grados con respecto a la circunferencia exterior de la rueda.

Figura 7

Rueda especial



Nota: Rueda omnidireccional de tipo Mecanum. (Dickerson y Lapin, 1991)

Debido a la disposición de los rodillos en la rueda principal, la fuerza que se emite sobre la rueda en la dirección de esta se descompone en dos vectores de fuerza. Uno es perpendicular al eje del rodillo y el otro es paralelo al mismo eje.(Song y Byun, 2006)

Respecto a las características de las ruedas Mecanum, se identifican las siguientes:

- Capacidad de carga reducida: La capacidad de carga de este tipo de ruedas es baja, similar a las ruedas universales, debido a las mismas razones. (Spenko, 2001)
- Diseño complejo: Aunque solamente se necesita un motor por rueda (los rodillos se encuentran libres, girados por la fuerza de fricción con la superficie como se explicó anteriormente), el diseño de la rueda es complejo debido al ángulo entre los rodillos y la rueda principal. (Wada y Mori, 1996)
- Radio de la rueda constante: La disposición de los rodillos se realiza de forma que el contacto con la superficie sea constante.
- Fricción baja: La fuerza de fricción que presenta la rueda ante la superficie es baja, al igual que las ruedas de tipo universal, considerando las mismas razones.(Dickerson y Lapin, 1991)
- Mayor sensibilidad a la superficie respecto de otros tipos: La altura máxima de los escalones posibles de subirse se encuentra limitada por el radio de los rodillos, al igual que para las ruedas de tipo universal. Debido a que los rodillos tienen un radio pequeño, menor al de las ruedas convencionales, este tipo cuenta con una mayor sensibilidad a la superficie respecto del segundo tipo. (Dickerson y Lapin, 1991)

A continuación, se presentan las características fundamentales de las ruedas anteriormente descritas en la tabla 2.

Tabla 2*Tabla comparativa de los tipos de ruedas*

Tipo de Rueda	Característica	Capacidad de carga	Diseño	Radio de la rueda	Fricción	Sensible al Suelo
<i>Rueda Universal</i>		Baja	Simple	Variable	Baja	Si
<i>Rueda Mecanum</i>		Baja	Complejo	Constante	Baja	Si
<i>Rueda Steered</i>		Alta	Complejo	Constante	Alta	No
<i>Rueda Castor</i>		Alta	Complejo	Constante	Alta	No

Nota: Características principales de los tipos de ruedas ya mencionados. (Doroftei y cols., 2007)

7. Marco metodológico

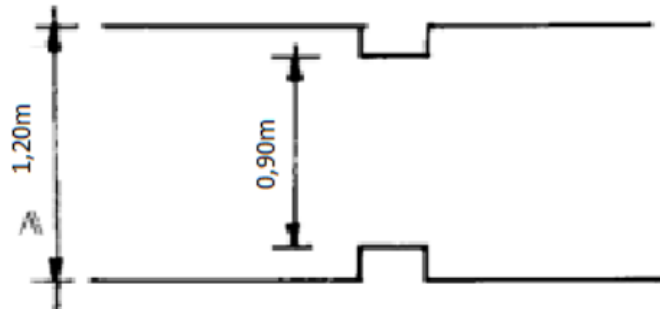
7.1. Establecimiento de los parámetros iniciales para el diseño mecánico de un robot autónomo móvil para el control de inventarios en empresas de producción y servicios

7.1.1. Entorno

Para el diseño de un robot autónomo móvil de control de inventarios en empresas de productos y servicios se ha tomado como referencia la norma NTE INEN 2 247 de ACCE-SIBILIDAD DE LAS PERSONAS AL MEDIO FÍSICO, EDIFICIOS, CORREDORES Y PASILLOS. Esta norma estipula que: los corredores y pasillos en edificios de uso público y empresas deben tener un ancho mínimo de 1,20m Figura 8. Donde se prevea la circulación frecuente en forma simultánea éstos deben tener un ancho mínimo de 1,50m. (INEN, 2015)

Figura 8

Norma NTE INEN 2247 de accesibilidad de las personas al medio físico, edificios, corredores y pasillos.



Nota: La Figura 8 se toma como referencia la Norma Inen 2 247 para corredores y pasillos en edificios de uso público y empresas (INEN, 2015).

Para una movilidad adecuada del robot se utilizará tecnología AGV (Vehículos de Guiado Automático), es totalmente flexible y fiable para su integración en diferentes layouts, se desplazan siguiendo una ruta predefinida que detectará con un sistema de filoguiado magnético Figura 9 ofreciendo un mejor aprovechamiento del espacio.

Figura 9

Tecnología AGV



Nota: Funcionamiento de la tecnología AGV (Vehículos de Guiado Automático). Imagen tomada de (Shutterstock, 2023)

7.1.2. Dimensionamiento del robot

Para las dimensiones del robot, se diseñara su estructura tomando como referencia la norma (INEN, 2015) ya que tamaño del entorno determinará la capacidad del robot para moverse y navegar de manera efectiva. Si el entorno es estrecho o tiene pasillos estrechos, el diseño del robot debe adaptarse para garantizar que pueda maniobrar sin problemas y evitar obstáculos, además tomar en cuenta el tamaño del entorno es fundamental para garantizar la seguridad del robot y de las personas que interactúan con él.

Con el objetivo de lograr una configuración compacta y funcional, se ha establecido un tamaño referencial para el robot de 0,6 metros de largo, 0,6 metros de ancho y 0,4 metros de alto sin tener en cuenta el mecanismo de la cámara.

7.1.3. Autonomía del robot

El tiempo para realizar el control de inventarios en una empresa depende de varios factores como la cantidad de productos, el tamaño de la empresa y tipo de productos. Por esta razón, el enfoque que se desea desarrollar se orienta a la implementación en medianas empresas. Por lo cual se plantea un modo de funcionamiento del robot por periodos para una jornada laboral.

En el período de operación, el robot tendrá un funcionamiento de 3 horas continuas y una para de 2 horas que servirán para recargar sus baterías. Por lo cual, el robot podrá operar en 2 ocasiones durante la jornada laboral.

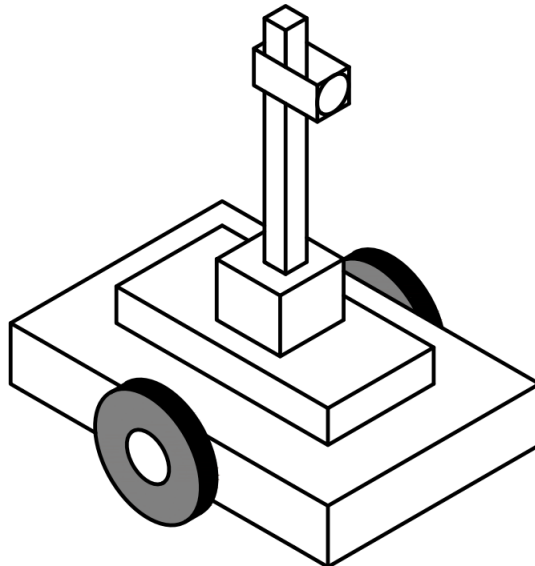
Para lograr este objetivo, es necesario realizar un análisis exhaustivo del consumo total de energía del robot con el fin de seleccionar las baterías adecuadas. Estas baterías deben cumplir con ciertos requisitos, como adaptarse al diseño en términos de tamaño y peso, además de cumplir con el tiempo de funcionamiento propuesto.

7.2. Propuestas de diseño

A continuación, se presentan las distintas propuestas de diseño Figuras 10, 11, 12, 13. Cada una de ellas cuenta con una tabla que muestra sus respectivas características, basadas en criterios de funcionalidad que guiaron su diseño.

Figura 10

Propuesta 1



Nota: En la Figura 10 se observa el primer diseño para un robot autónomo móvil con ruedas de tipo diferencial con apoyo de 2 ruedas locas.

Tabla 3

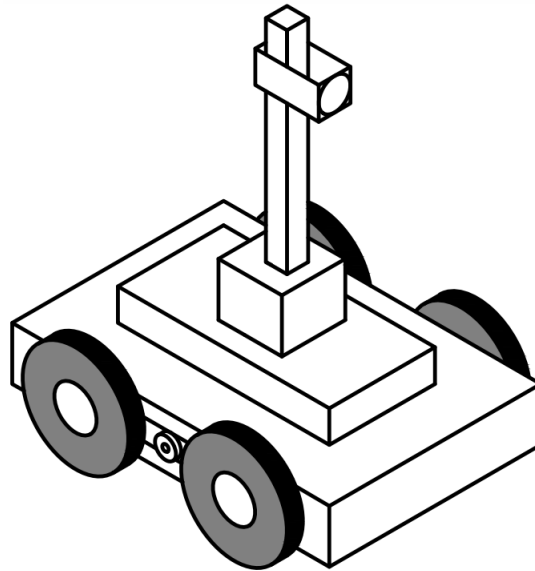
Características de diseño de la Propuesta 1

Características
Tamaño: 60 x 60cm
Sistema de transmisión de movimiento con 2 motores independientes y 2 ruedas locas de apoyo
Movimiento lineal
Mecanismo para desplazamiento lineal para cámara en el eje vertical

Nota: En la Tabla 3 se observa las características del primer diseño para un robot autónomo móvil de tipo diferencial de 2 ruedas independientes con 2 ruedas de apoyo.

Figura 11

Propuesta 2



Nota: En la Figura 11 se observa el segundo diseño para un robot autónomo móvil con 4 ruedas

Tabla 4

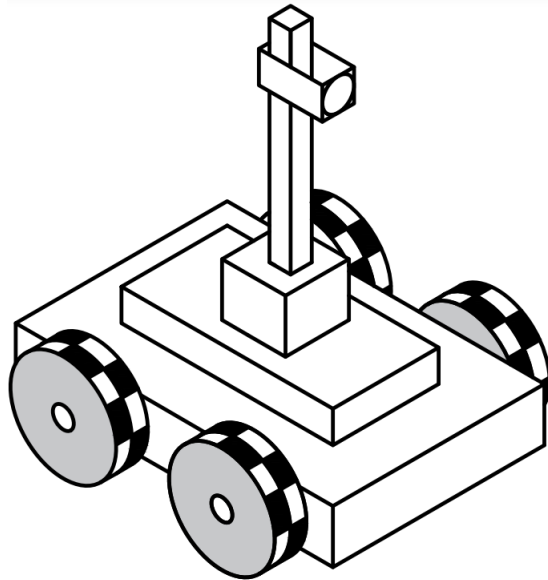
Características de diseño de la propuesta 2

Características
Movimiento lineal
Tamaño: 80 x 80cm
Sistema de transmisión de movimiento por medio de 2 motores independientes y bandas dentadas
Mecanismo para desplazamiento lineal para cámara en el eje vertical

Nota: Características del segundo diseño para un robot autónomo móvil de 2 ruedas activas con sistema de transmisión de movimiento para 4 ruedas.

Figura 12

Propuesta 3



Nota: Tercer diseño para un robot autónomo móvil omnidireccional de 4 ruedas

Tabla 5

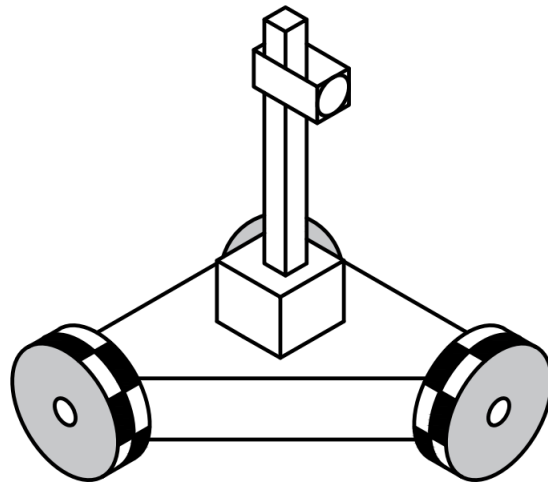
Características de diseño de la propuesta 3

Características
Tamaño: 80 x 80cm
Sistema de transmisión de movimiento por medio de 4 motores independientes con ruedas omnidireccionales
Mecanismo para desplazamiento lineal para cámara en el eje vertical

Nota: Tercer diseño para un robot autónomo móvil de 4 ruedas activas con ruedas omnidireccionales.

Figura 13

Propuesta 4



Nota: Cuarto diseño para un robot autónomo móvil omnidireccional de 3 ruedas

Tabla 6

Características de diseño de la propuesta 4

Características
Tamaño: 60 x 60cm
Sistema de transmisión de movimiento por medio de 3 motores independientes con ruedas omnidireccionales
Buena maniobrabilidad
Capacidad de moverse en espacios reducidos
Mecanismo para desplazamiento lineal para cámara en el eje vertical

Nota: Cuarto diseño para un robot autónomo móvil de 3 ruedas activas con 3 ruedas omnidireccionales.

7.3. Priorización

A continuación, en la Tabla 7 se presenta la priorización de diseños, en la cual se consideran variables de diseño para seleccionar el modelo más adecuado que se adapte a las condiciones iniciales planteadas anteriormente. Se calificarán los diferentes aspectos de 1 a 5, siendo 1 la calificación más baja y 5 la más alta. Además, se utilizará un factor de priorización que dará

peso a todos los criterios. Finalmente, el modelo que obtenga la mayor puntuación será el elegido para iniciar la propuesta estructural.

Tabla 7

Priorización de los diseños propuestos

Parámetros	Factor	Diseño 1	Diseño 2	Diseño 3	Diseño 4
Tamaño	0,7	2,8	1,4	2,1	3,15
Manufactura	0,9	4,5	1,8	3,6	4,5
Materiales	0,8	2	1	1,5	4
Sistema de control	1	3	3,5	4	4,5
Cinemática del robot	1	3,5	3	3,8	4,2
Principio de movimiento	0,9	3,5	2,8	2,45	4,1
Estetica	0,6	3,15	2,7	3,6	4,05
Seguridad	1	4	3,8	4	4,5
Costo	1	4	2,5	2	3,5
TOTAL	-	30,45/45	22,5/45	27,05/45	36,5/45

Mediante la Tabla 7 podemos visualizar el diseño que mejor responde a los parámetros descritos. Por esta razón, el Diseño 4 se adapta en un 81% a nuestras necesidades. Por lo que se selecciona para iniciar la propuesta estructural.

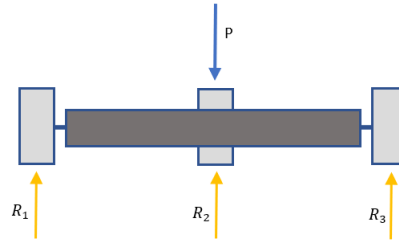
7.4. Análisis estructural de un robot autónomo móvil de 3 ruedas

Analizar el esfuerzo y deformación de los perfiles que se encuentran en la estructura del robot permite evaluar la resistencia y la capacidad de carga de las diferentes partes y componentes. Esto asegura que el robot pueda soportar las cargas a los que estará expuesto durante su funcionamiento sin sufrir deformaciones excesivas o fallas estructurales.

Primero, es necesario realizar una sumatoria de las fuerzas y reacciones presentes en el eje y.

Figura 14

Diagrama de las fuerzas y reacciones del robot



Nota: Las fuerzas y reacciones que intervienen en el robot se aprecia en la Figura 14.

$$+\uparrow \sum F_y = 0$$

$$R_1 + R_2 + R_3 = P$$

$$3R = P$$

El robot al tener una geometría simétrica R1, R2,R3 serán iguales (ecuación 1).

$$R_1, R_2, R_3 = P \quad (1)$$

Esfuerzo

P = Carga aplicada

A = Área de la sección transversal

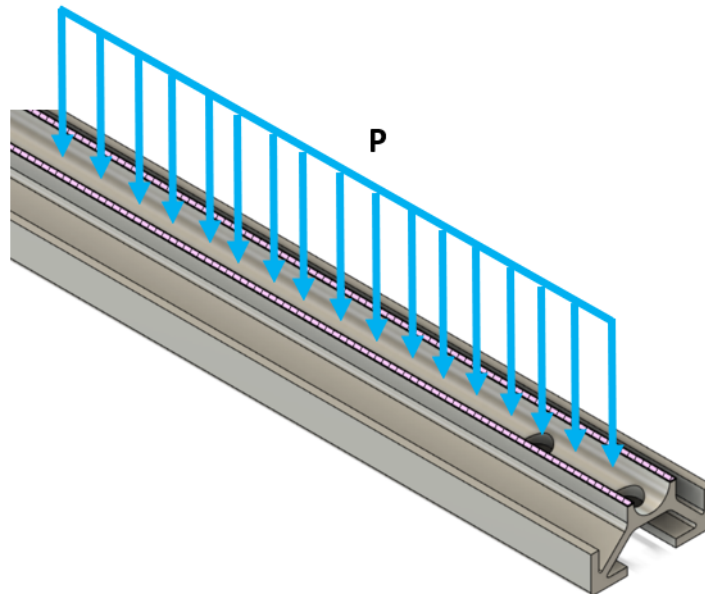
Para calcular el esfuerzo que se produce en los perfiles de aluminio es necesario aplicar la siguiente fórmula ecuación 4. (Beer y Johnston, 2009)

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (2)$$

Al ser un perfil de aluminio es necesario obtener el área de sección transversal total de la siguiente manera:

Figura 15

Sección transversal de un perfil de aluminio



Nota: Corte realizado para encontrar el área de sección transversal de un perfil de aluminio tipo V 20x20.

$A_t =$ Área total de la sección rectangular

$A_t = 2 \cdot$ Área de la sección rectangular

$$A_t = 2 \cdot (b \cdot a) \quad (3)$$

Deformación

Para calcular la deformación que produce la flexión al colocar una carga en los perfiles de aluminio es necesario aplicar la siguiente fórmula (ecuación 4). (Beer y Johnston, 2009)

P = Fuerza interna

$L =$ Longitud

$A =$ Área de la sección transversal

$E =$ Módulo de elasticidad

Antes de realizar este cálculo es importante tener en cuenta como dato el módulo de elasticidad del Aluminio 6063 que es una aleación de aluminio que se utiliza comúnmente en la fabricación de perfiles extruidos que es de 69.5 GPa. (Tecnika4, 2023)

$$\delta = \frac{P \cdot L}{A \cdot E} \quad (4)$$

7.5. Cálculo de desplazamiento de la cámara en el tornillo sinfin

Paso del tornillo sinfin

Se utilizará un tornillo sin fin de 4 entradas, con un diámetro de 8mm

$D =$ Diámetro (mm)

$N =$ Número de entradas del tornillo

$$Paso = \frac{\pi \cdot D}{N}$$

$$Paso = \frac{\pi \cdot 8mm}{4}$$

$$Paso = 6,283mm \quad (5)$$

En la ecuación 5 se muestra la distancia que la tuerca avanza por cada vuelta.

Para poder realizar el desplazamiento vertical de la cámara, se colocará un motor a pasos en la base del tornillo sin fin. Por lo tanto, es necesario conocer el algoritmo que se aplicará en la programación de este motor.

N_p = Número de pasos del motor

P_m = Número de pasos máximo por vuelta

P = Paso

D = Distancia de entrada

$$N_p = \frac{D \cdot P_m}{P} \quad (6)$$

7.6. Dimensionamiento de los motores de tracción

Uno de los componentes mas importantes dentro del diseño de un robot móvil autónomo para el control de inventarios en empresas de producción y servicios son los motores de traccion, ya que estos son los encargados de proporcionar la potencia necesaria para que el robot pueda moverse. Un dimensionamiento adecuado de los motores de tracción brindara un rendimiento óptimo en referencia de carga útil, velocidad, autonomía y seguridad.

$$Torque = (\text{Masa del robot (kg)} \cdot \text{Aceleración}(m/s^2) \cdot \text{Radio de las ruedas(m)} \cdot \text{coeficiente de fricción}) \quad (7)$$

$$Torque = 12,5kg \cdot 9,81m/s^2 \cdot 0,065m$$

$$Torque = 7,97 \quad Nm \quad (8)$$

Al ser el robot de 3 ruedas el torque obtenido en la ecuación 8 se debe dividir para el número de apoyos que tiene.

$$Torque = \frac{7,97}{3} \quad Nm$$

$$Torque = 2,65 \quad Nm \quad (9)$$

Se toma en cuenta un factor de seguridad que permite tener un margen de confianza frente a posibles fluctuaciones de carga, choques, vibraciones u otros factores imprevistos que puedan ocurrir en el funcionamiento normal o en situaciones excepcionales.

Figura 16

Selección de factor de seguridad

Factores de seguridad	
FS	Explicación
1.25 a 1.5	Para materiales excepcionalmente fiables utilizados en condiciones controlables y sujetos a cargas y tensiones que pueden determinarse con certeza. Se usa casi invariablemente cuando el bajo peso es una consideración particularmente importante.
1.5 a 2	Para materiales bien conocidos en condiciones ambientales razonablemente constantes, sujetos a cargas y tensiones que pueden determinarse fácilmente.
2 a 2.5	Para materiales medios operados en ambientes ordinarios y sometidos a cargas y tensiones que se puedan determinar.
2.5 a 3	Para materiales menos probados o quebradizos en condiciones medias de medio ambiente, carga y tensión.
3 a 4	Para materiales no probados utilizados en condiciones medias de entorno, carga y tensión.
3 a 4	También debe usarse con materiales más conocidos que se van a usar en entornos inciertos o sujetos a tensiones inciertas.

Nota: En la Figura 16 se observa el valor del FS en base a ciertas condiciones en general. Figura obtenida de (Vidosic, 1957)

En base a la información presentada en la Figura 16 se considerará un $FS = 1,5$

$$FS = 1,5$$

$$Torque = 2,65Nm \cdot 1,5$$

$$\text{Torque} = 3,98 \text{ Nm} \approx 564 \text{ oz-in} \quad (10)$$

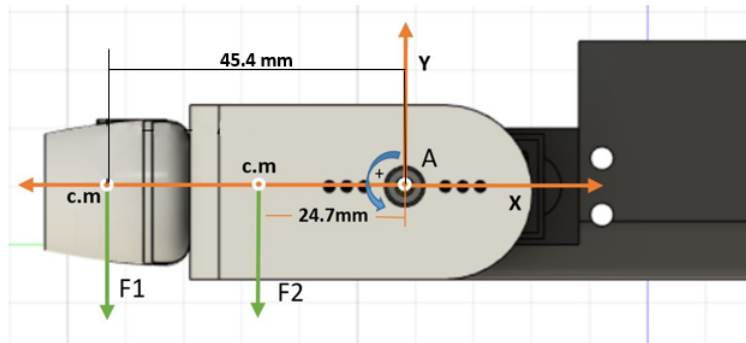
7.7. Selección del motor para brindar grado de libertad a la cámara

En la selección del motor para el sistema de transmisión vertical de la cámara encargada de leer los códigos de los productos, se ha llevado a cabo el cálculo del torque necesario para el movimiento de la cámara. Para ello, en primer lugar se ha elaborado un detallado diagrama de cuerpo libre Figura 17 que permite visualizar el centro de masa del soporte de la cámara, así como sus respectivas distancias. A continuación, se han llevado a cabo los cálculos necesarios para determinar los momentos que se producen, con el objetivo final de obtener el torque en kg-cm y poder elegir, de este modo, el motor más adecuado para el sistema.

Para llevar a cabo los cálculos, fue necesario conocer el peso de la cámara 75g, así como el del soporte de la cámara 40g. Además, las distancias involucradas en el sistema; distancia 1, 45.4mm, y distancia 2, 24.7mm. Figura 17

Figura 17

Diagrama de cuerpo libre



Nota: Diagrama de cuerpo libre para el sistema de movimiento para la cámara del robot.

La ecuación para calcular el momento (M) se expresa como la multiplicación de la fuerza aplicada (F) por la distancia perpendicular (d) desde el punto de aplicación de la fuerza hasta el eje de rotación, y se representa matemáticamente en la ecuación 11

$$M = F \cdot d \quad (11)$$

$$\cup M_1 = 0,075N \cdot 0,0454m$$

$$\cup M_1 = 0,00340Nm \quad (12)$$

$$\cup M_2 = 0,392N \cdot 0,0247m$$

$$\cup M_2 = 0,00968Nm \quad (13)$$

En la ecuación 14, se obtiene la sumatoria de los momentos 1 y 2 que actúan en la pieza. Posteriormente, en la ecuación 15, se realiza la conversión de Nm a Kgcm. Es importante destacar que este valor se debe dividir entre dos, ya que dos motores situados en los extremos proporcionarán el grado de libertad de movimiento necesario a la cámara.

$$\sum M_T = M_1 + M_2$$

$$\sum M_T = 0,00340Nm + 0,00968Nm$$

$$\sum M_T = 0,0130Nm \quad (14)$$

$$0,0130Nm = 0,132kg - cm \quad (15)$$

7.8. Selección de ruedas para tracción del robot

Se han seleccionado ruedas omnidireccionales, se muestra en la Figura 18 que están diseñadas para permitir movimientos multidireccionales, lo que facilita la maniobrabilidad en diferentes direcciones sin necesidad de girar el eje del robot. (Novatronic, 2023)

Para su selección, se tomó en cuenta el lugar por donde se movilizará el robot, peso total y la superficie en la que se desplazará. A continuación, se detallan las especificaciones:

- Corriente máxima: 175A
- Contactos de aleación de plata
- Accionado con una llave hexagonal de 5/32"

Figura 18

Ruedas Magliner 130502 Rotacaster doble fila Omnidireccionales



Nota: Ruedas omnidireccionales para tracción de un robot autónomo móvil. Figura 18
Imagen de (Ebay, 2023)

7.9. Selección de materiales para un robot autónomo móvil

La elección adecuada de los materiales para un robot autónomo móvil para control de inventarios es esencial ya que permitirá que este alcance su máximo potencial demostrando eficiencia, agilidad y confiabilidad en sus tareas. La importancia radica en varios aspectos que son cruciales para el desempeño del robot. Desde la eficiencia energética hasta la durabilidad ya que cada material elegido puede afectar de una manera significativa su funcionalidad. En la tabla 8 se muestran las características de los materiales elegidos.

Tabla 8*Características de los materiales*

Material	Características
Aluminio 6063	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Peso Ligero ▪ Resistente a la corrosión ▪ Resistencia moderada
Aluminio 7075 T6	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Alta resistencia ▪ Peso Ligero ▪ Buena resistencia a la fatiga ▪ Resistencia a la corrosión ▪ Buena maquinabilidad
ABS	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Resistencia y rigidez ▪ Resistencia al impacto ▪ Facilidad de moldeo y fabricación ▪ Amplio rango de temperaturas de uso

Nota: En la tabla 8 se muestra los materiales a utilizar en el robot con sus respectivas características

A continuación, en la tabla 9 se muestra los materiales elegidos para el diseño del robot.

Tabla 9*Materiales elegidos para el diseño un robot autónomo móvil para control de inventarios*

Aplicación	Material
Perfiles	Aluminio 6063
Base para motores	Aluminio 7075 T6
Base para perfiles	Aluminio 7075 T6
Acople para perfiles	Aluminio 7075 T6
Tapa inferior	Aluminio 7075 T6
Tapa superior	Aluminio 7075 T6
Tapa para electrónica	ABS
Soporte para motor a pasos	ABS
Soporte para cámara web	ABS
Soporte para servomotores de cámara	ABS

Nota: En la tabla 9 se muestra los diseños de las piezas con el material elegido.

7.10. Diseño mecánico de un robot autónomo móvil

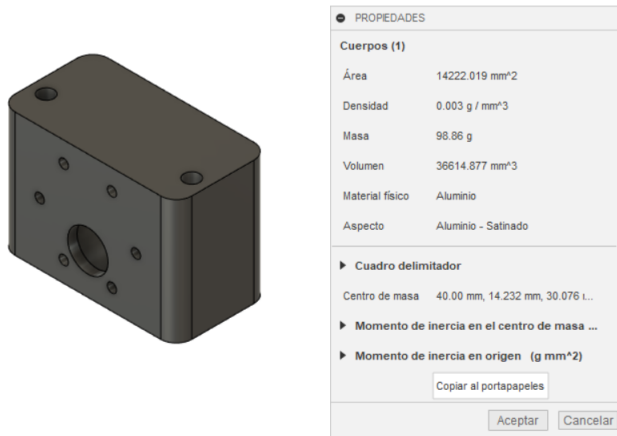
Para el diseño mecánico uno de los principales aspectos considerados fue la simplificación de las geometrías, evitando diseños complejos que puedan interferir en la manufactura del robot. Además, se tomó en cuenta la ubicación de los componentes electrónicos, motores y la disposición de las baterías, con el fin de optimizar el espacio disponible y garantizar un rendimiento óptimo. Para la ubicación de la electrónica, se buscó una disposición que permitiera el fácil acceso y mantenimiento de los componentes.

7.10.1. Diseño de base para motores

Se presenta el diseño de la base para los motores del robot en la Figura 19. Se ha procurado que el diseño sea geoméricamente simple para facilitar su mecanizado, sin comprometer su funcionalidad. Asimismo, la base ha sido diseñada para proporcionar una plataforma estable para los motores, de modo que puedan operar adecuadamente y garantizar la durabilidad de la estructura en su conjunto.

Figura 19

Base para motores



Nota: El diseño del soporte para los motores se presenta en la Figura 19, En esta figura también se pueden observar detalles importantes sobre las características del material y la masa del soporte.

Figura 20

Base para perfiles



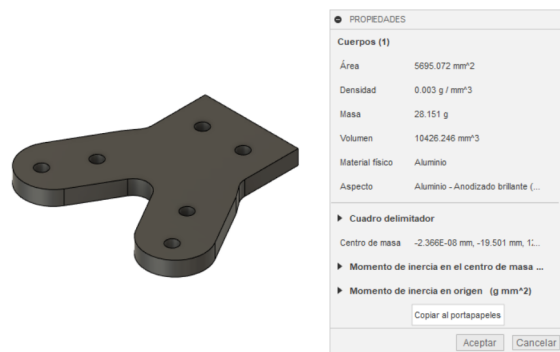
Nota: La Figura 21 ilustra el diseño de la base de los motores. En esta figura también se pueden observar detalles importantes sobre las características del material y la masa de la base.

7.10.2. Diseño de acople para perfiles

Para el diseño de los acoples de los perfiles de aluminio Figura 21, se consideró evitar geometrías complejas que pudieran obstaculizar la fabricación de las piezas. Además, se decidió utilizar aluminio para su fabricación debido a que es un metal ligero y resistente, lo que lo hace muy útil para aplicaciones que requieren alta resistencia con un peso reducido.

Figura 21

Base para perfiles



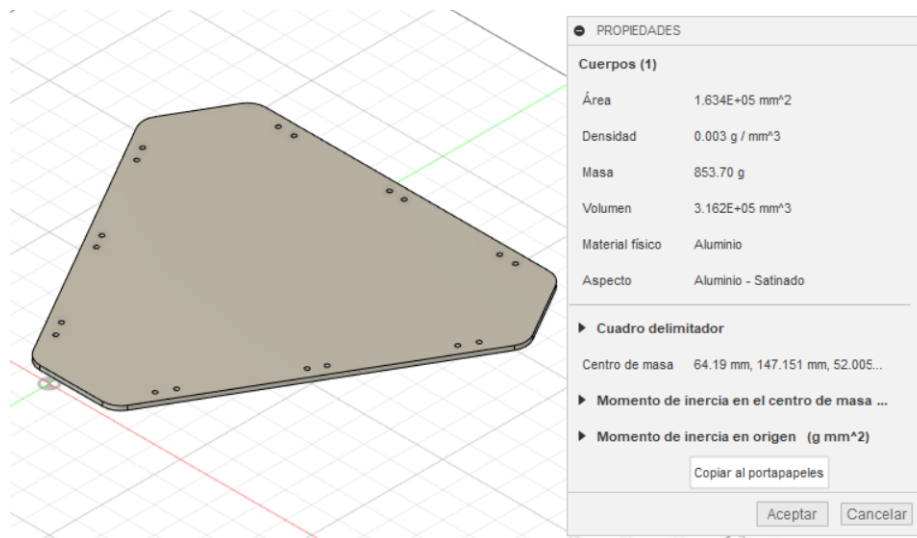
Nota: Diseño del soporte para los perfiles. En la Figura 21 también se pueden observar detalles importantes sobre las características del material y la masa del soporte.

7.10.3. Diseño de tapa inferior

Para incrementar la rigidez de la estructura, se ha tomado la decisión de utilizar una base de aluminio con un espesor de 4 mm Figura 22. De esta manera, se asegura que la estructura se mantenga estable y resistente ante posibles deformaciones o movimientos no deseados. La elección del aluminio también ofrece la ventaja de ser un material ligero y resistente a la corrosión, lo que prolonga la vida útil de la estructura.

Figura 22

Tapa inferior de aluminio

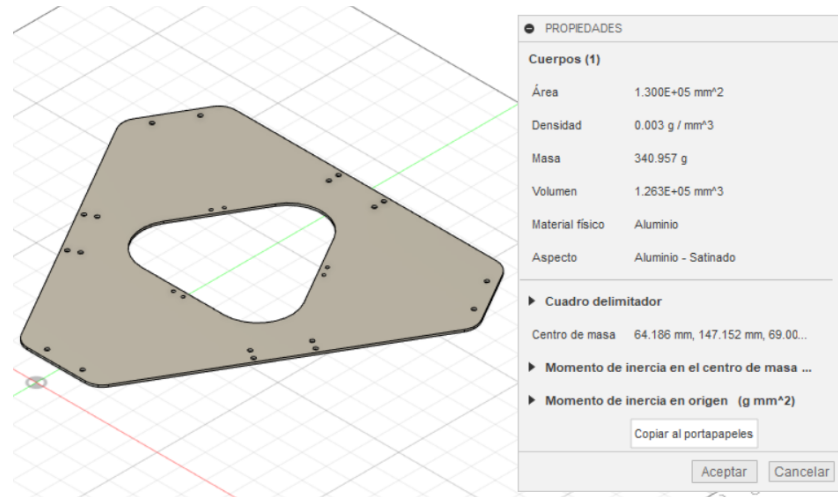


Nota: Diseño de la tapa inferior del robot Figura 22. Esta pieza es fundamental para la estructura del robot ya que soporta gran parte de su peso y debe ser lo suficientemente resistente para soportar posibles impactos y cargas externas.

7.10.4. Diseño de tapa superior

Figura 23

Tapa superior de aluminio



Nota: Diseño de la tapa superior del robot figura 23. Esta pieza es esencial para la estructura del robot ya que protege los componentes internos del mismo y debe ser lo suficientemente resistente para soportar cargas externas y posibles impactos.

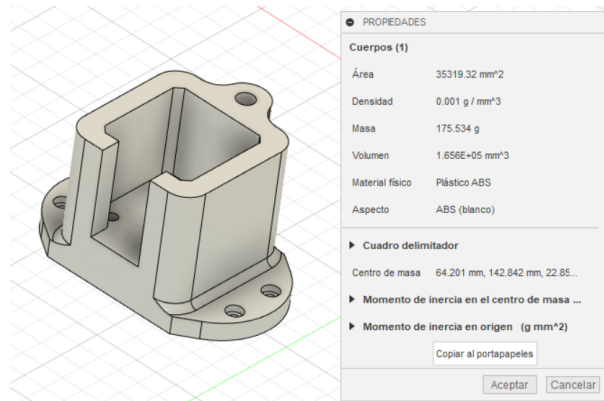
Se ha optado por utilizar una tapa superior de aluminio con un espesor de 2 mm Figura 23, ya que esta parte de la estructura solo debe soportar el peso del mecanismo de elevación de la cámara, a diferencia de la tapa inferior que soporta mayor peso y requiere mayor resistencia, por lo que se ha utilizado un espesor de 4 mm.

7.10.5. Diseño de soporte para motor a pasos

Para el diseño de la pieza que mantendrá fijo al motor a pasos se ha optado por utilizar ABS para reducir el peso del robot y considerando que esta pieza no estará sujeta a grandes esfuerzo. Esta misma servirá de apoyo para el eje liso utilizado en el desplazamiento de la cámara.

Figura 24

Diseño de soporte para motor a pasos



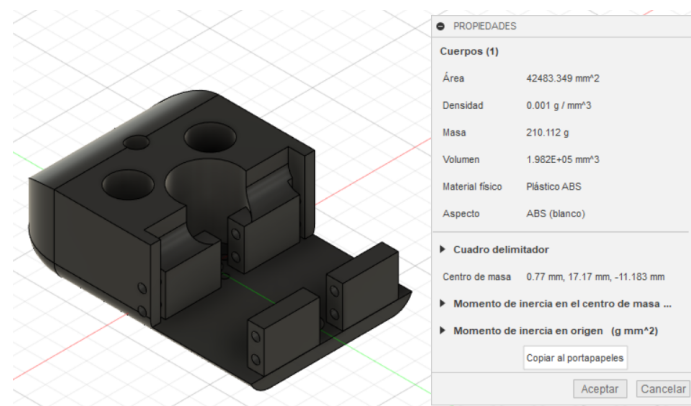
Nota: Se muestra el soporte diseñado para mantener fijo y brindar seguridad al motor a pasos en la Figura 24. Esta pieza ha sido diseñada para garantizar una sujeción segura y estable del motor a pasos.

7.10.6. Diseño de soporte para servo de cámara

Dentro de esta pieza, se encontrarán fijos los dos servos que darán movimiento a la cámara. Para el soporte, se planea fabricarla en ABS con el objetivo de reducir el peso del robot, se optó por este material debido a que la pieza no está sometida a grandes esfuerzos o impactos.

Figura 25

Soporte para servo de cámara



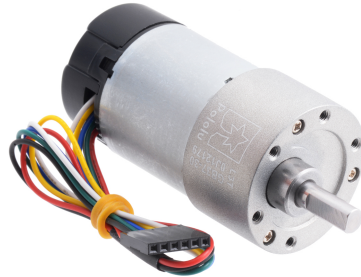
Nota: En la Figura 25 se observa el soporte para los servos de la cámara. Además, se encuentran sus características, como la masa y el material utilizado.

7.11. Motor Pololu 37D

En base a el resultado de la ecuación 10 fue posible encontrar un motor comercial con dichas características Figura 26.

Figura 26

Motor comercial Pololu 37D



Nota: El motor Pololu 37D que puede proporcionar un torque máximo de 45kg-cm por lo cual se adapta a nuestra necesidad (Figura 26). (Pololu, 2023)

Tabla 10

Datos técnicos Motor Pololu 37D 131:1

Voltage	No-load performance	Cantidad detectada
12 V	76 RPM, 200 mA	45 kg-cm (630 oz-in), 5,5 A

Nota: Los datos técnicos del motor seleccionado se los describe en la tabla 10. (Pololu, 2023)

7.12. Servomotor MG995

Con el resultado de la ecuación 15 se pudo encontrar un motor comercial que cumpla con las características deseadas. En base a esto se ha selecionado el servomotor que se muestra en la Figura 27, el mismo que nos proporciona un torque máximo de 11kgcm.

Figura 27

Servomotor MG995



Nota: Servomotor utilizado para proporcionar un grado de libertad a la cámara (Figura 27). (RoboticsEC, 2023)

7.13. Selección de sensores magnéticos

Estos sensores son elementos eléctricos que varían frente a un campo magnético. En su mayoría, están formados por un tubo de vidrio que contiene un par de láminas de hierro dulce con puntos de contacto en los extremos, curvadas y en posición abierta, que pueden ser movidas por efecto de un campo magnético. (Hyde, Cuspinera, y Regué, 1997)

Figura 28

Sensor magnético



Nota: En la Figura 28 se aprecia el sensor magnético a utilizar en el robot omnidireccional. (PEPPERL+FUCH, 2023)

Con el objetivo de obtener mayor precisión para la realimentación del controlador, se realizó un arreglo de 5 sensores magnéticos MB60-8GM50-E2-V3, los mismos entregarán una señal de control al microcontrolador. Para esto, es necesario conocer los datos generales de funcionamiento del sensor seleccionado. En la Tabla 11 se describen los datos técnicos del elemento a utilizar.

Tabla 11

Datos técnicos sensor magnético

Datos Técnicos		
Datos Generales		
Función de conmutación		Normalmente abierto (NA)
Tipo de salida V		PNP
Distancia de conmutación de medición	Sn	60mm
Instalación		Enrasado en metal no ferroso
Polaridad de salida		CC
Distancia de conmutación asegurada	Sa	10...48.6mm
Tipo de salida		3 hilos
Datos Característicos		
Tensión de trabajo	UB	3 10...30 V

Nota: En la Tabla 11 se muestra las características técnicas del sensor.

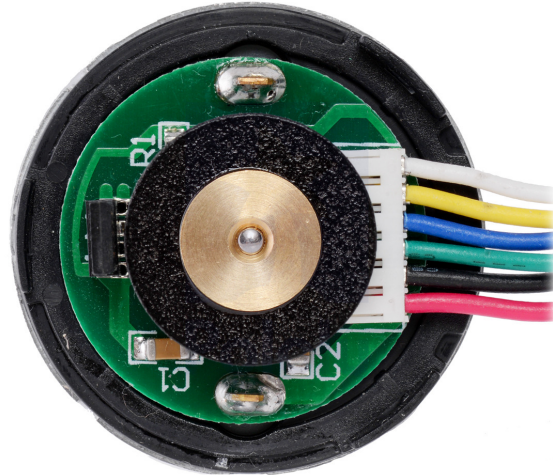
7.14. Encoder de Cuadratura

Son sensores que utilizan un codificador de efecto Hall de dos canales para detectar la rotación de un disco magnético en una protuberancia trasera del eje de un motor. (Pololu, 2023)

Este encoder, proporciona una resolución de 64 cuentas por revolución. Esto permitirá obtener un mejor control de la posición o velocidad del motor basándose en la técnica de odometría.

Figura 29

Encoder de cuadratura



www.pololu.com

Nota: En la Figura 29 se aprecia el encoder 64 CPR de la marca Pololu. (Pololu, 2023)

7.15. Driver Puente H

Para la correcta elección del puente H se debe considerar ciertos aspectos, entre ellos resalta la corriente pico, voltaje máximo y frecuencia de PWM. En la tabla 10 se observa las características del motor, de las cuales se deben partir para la selección del Driver. Para esta aplicación, el puente H que se adapta a nuestra necesidad es el BTS7960. Sus características se presentan en la Tabla 12

Tabla 12

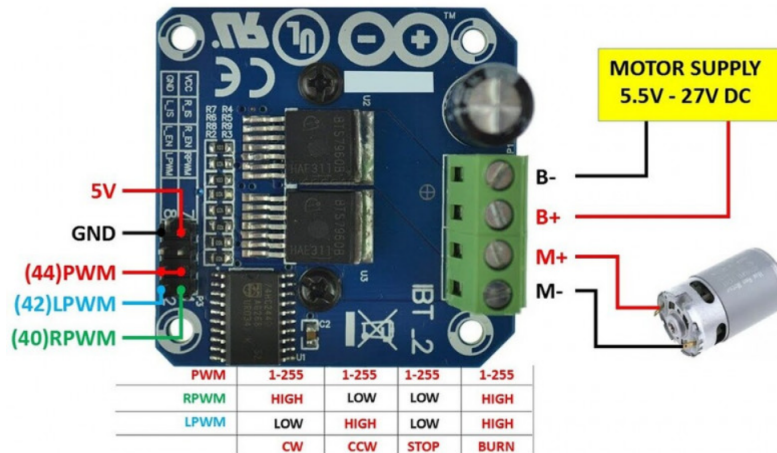
Datos técnicos BTS7960

Características técnicas	
Alimentación	5,5 a 27V
Corriente de reposo	7uA
Corriente máxima	43A
Capacidad de PWM	25kHz

Nota: Características técnicas del driver BTS7960, información obtenida de (CIOMX, 2023a)

Figura 30

Conexiones BTS7960



Nota: En la Figura 30 se describe la conexiones necesarias para el correcto funcionamiento del puente H (CIOMX, 2023a)

7.16. Selección de cámara para procesamiento de imágenes


Dentro del funcionamiento del robot la cámara es una pieza fundamental ya que está destinada al control de inventarios mediante la adquisición de las imágenes. Esta será capaz de captar los códigos QR de los productos mientras el robot se encuentra en movimiento.

Para la selección de la cámara se calificarán los diferentes parámetros de 1 a 5, siendo 1 la calificación más baja y 5 la más alta. Además, se utilizará un factor de priorización que dará peso a cada uno de los criterios.

A continuación, se muestra en la tabla 15 la selección final.

Tabla 13


Características cámara Intel RealSense Depth Camera D435i

Intel RealSense Depth Camera D435i	Características
	<ul style="list-style-type: none">▪ Resolución: 1920 x 1080 píxeles para la cámara RGB y una resolución de profundidad de hasta 1280 x 720 píxeles a 30 fps▪ Campo de Visión (FOV): La cámara RGB tiene un FOV de aproximadamente 69.4° x 42.5° x 77° (horizontal x vertical x diagonal)▪ Capaz de detectar y seguir objetos en movimiento con alta precisión▪ Tamaño: 90 mm x 25 mm x 25 mm▪ Peso: 90g

Nota: En la Tabla 13 se muestra las características principales de la cámara Intel RealSense. (Amazon, 2023b)

Tabla 14

Características cámara Microsoft Azure Kinect DK

Microsoft Azure Kinect DK	Características
	<ul style="list-style-type: none">▪ Resolución: 3840 x 2160 píxeles para la cámara RGB y una resolución de profundidad de hasta 1024 x 1024 píxeles a 30 fps▪ La cámara RGB tiene un FOV de aproximadamente 90° (horizontal).▪ capaz de detectar y seguir objetos en movimiento▪ Tamaño: 103.4 mm x 39.5 mm x 39.5 mm▪ Peso: 440 g

Nota: En la Tabla 14 se muestra las características principales de la cámara Intel RealSense. (Amazon, 2023a)

Tabla 15*Priorización para selección de cámara*

Parámetros	Factor	Intel RealSense Depth Camera D435i	Logitech C920
Captura de datos en 3D	0,8	4	3,2
Mapeo del entorno	0,9	3,6	2,7
Detección y seguimiento de objetos	0,9	4,5	2,7
Precisión y resolución	0,8	3,6	3,2
Compatibilidad de software	0,8	3,2	2,4
Tamaño	0,7	3,5	2,1
Peso	0,7	3,5	2,1
Precio	0,6	2,4	1,8
TOTAL	-	28,3/40	20,2/40

7.17. Selección de microcontrolador

A continuación, en la Tabla 16 se presentan las principales características de los microcontroladores considerados para el robot autónomo móvil. De esta manera, se podrá seleccionar el más adecuado.

Tabla 16*Selección de microcontrolador*

Microcontroladores		
Especificaciones	Arduino Mega	Núcleo F411 RE
Arquitectura	AVR de 8 bits	Cortex M4 de 32 bits
Voltaje de Alimentación	5V	3,3V
Pines E/S	54	64
Pines PWM	15	12
Pines de interrupción	6	16
Frecuencia de trabajo	16MHz	48MHz

Nota: En la Tabla 16 se muestra las características principales de los microcontroladores.

En la tabla 17 se consideran variables de diseño para seleccionar el microcontrolador más adecuado para el proyecto. Se calificará del 1 al 5, siendo 5 el valor más alto y 1 el menor. Además, se utilizará un factor de priorización, este varía de 0 a 1, siendo 0 el valor más bajo y 1 el más alto. Finalmente, el microcontrolador que obtenga la calificación mayor, será el cual se utilizará en el robot autónomo.

Tabla 17*Priorización para selección de microcontrolador*

Parámetros	Factor	Arduino Mega	Núcleo F411RE
Arquitectura	0,9	2	4,5
Memoria	1	2	4
Periféricos integrados	0,7	3	4
Consumo de energía	0,8	3	3
Disponibilidad	1	4	2
Tamaño	0,9	2	4
Costo	0,8	3	3
TOTAL	-	19/35	24,5/35

Nota: Al analizar la tabla 17 podemos concluir que la mejor opción de microcontrolador para nuestra necesidad, es el Núcleo F411RE el cual obtuvo una puntuación de 24,5/35.

7.18. Análisis cinemático de un robot autónomo móvil de 3 ruedas omnidireccionales

El análisis cinemático de un robot omnidireccional de 3 ruedas es esencial para comprender matemáticamente su comportamiento, y así poder diseñar sistemas de control eficientes, planificar trayectorias y evitar obstáculos. Por lo tanto, esto proporciona una base sólida para desarrollar y mejorar las capacidades de navegación y control del robot.

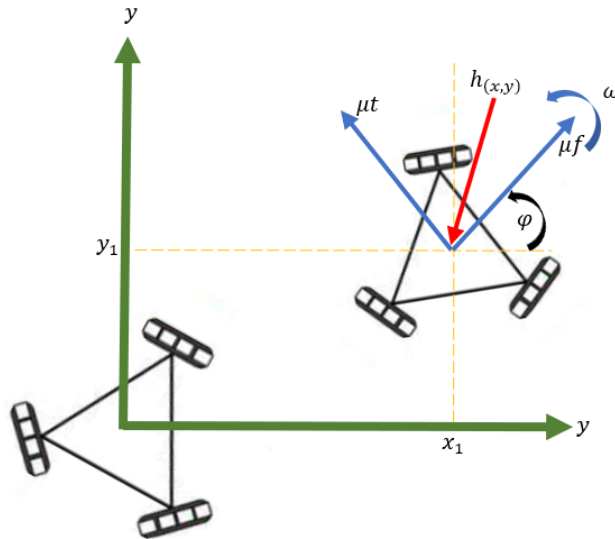
Es fundamental destacar que las ruedas deben desplazarse a velocidades específicas para llevar a cabo cada movimiento, lo cual puede implicar que tengan valores diferentes entre sí en ocasiones.

Es por esta razón que se lleva a cabo un análisis que establece la relación entre las velocidades generales del robot y sus desplazamientos lineales en el plano cartesiano, junto con las velocidades angulares independientes de cada rueda.

Como primer paso se realiza el diagrama del robot, donde se ubican los diferentes ejes de coordenadas, tomando en cuenta un sistema de coordenadas fijas y otro de coordenadas móviles, este último se lo considera en el centro de gravedad del robot.

Figura 31

Diagrama cinemático de un robot omnidireccional de 3 ruedas



Nota: El diagrama para el análisis cinemático para un robot omnidireccional de 3 ruedas se lo puede observar en la figura 31.

Tabla 18

Variables del robot

Variable	Descripción
μf	Velocidad longitudinal que permite que el robot se mueva hacia delante y hacia atrás.
μt	Velocidad lateral que permite que el robot se mueva hacia la derecha e izquierda.
ω	Velocidad angular con respecto al eje z.
φ	Angulo de rotación del robot
$h(x,y)$	Punto de control con respecto al centro del robot

Mediante el análisis geométrico que se muestra en la Figura 31, se obtiene un conjunto de ecuaciones de velocidades tanto en el eje x (ecuación 16) como en el eje y (ecuación 21) velocidad angular (ecuación 18) . Llegamos así a la siguiente solución.

$$\dot{h}x = \mu f \cdot \cos \varphi - \mu t \cdot \sin \varphi \quad (16)$$

$$\dot{h}y = \mu f \cdot \sin \varphi - \mu t \cdot \cos \varphi \quad (17)$$

$$\dot{\varphi} = \omega \quad (18)$$

Mediante la matriz jacobiana se realiza una representación de las velocidades globales y locales del robot omnidireccional. Finalmente, en la (ecuación 20) se representa el modelo matemático del robot.

$$\begin{bmatrix} \dot{hx} \\ \dot{hy} \\ \dot{\varphi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \varphi & -\sin \varphi & 0 \\ \sin \varphi & \cos \varphi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mu f \\ \mu t \\ \omega \end{bmatrix} \quad (19)$$

$$\dot{h} = J \cdot \dot{q} \quad (20)$$

7.19. Diseño de un controlador para un robot omnidireccional de 3 ruedas

Diseño de sistema de control no lineal - Método de Lyapunov

- Lyapunov es una herramienta estándar y una de las más importantes en el análisis de sistemas no lineales y que varían en el tiempo. (De Queiroz, 2000)
- El método de Lyapunov es ampliamente utilizado en el diseño y análisis de sistemas de control, ya que proporciona herramientas matemáticas para evaluar y garantizar la estabilidad de un sistema dinámico. Además, se lo utiliza para diseñar controladores que estabilicen el sistema y cumplan ciertos objetivos de rendimiento. (De Queiroz, 2000)

Con el modelo cinemático obtenido previamente (ecuación 19), se tiene la representación matemática del robot. Este modelo cinemático describe las relaciones entre las variables de entrada y salida del sistema, permitiendo analizar y predecir el comportamiento del robot en términos de su posición, velocidad y orientación en el espacio.

Control de seguimiento de trayectoria

$$\dot{q} = J^{-1}(\dot{hd} - \dot{he}) \quad (21)$$

Ley de control

Mediante Lyapunov se diseña la ley de control (ecuación 22) y se demuestra su estabilidad.

$$\dot{q}_{ref} = J^{-1}(\dot{hd} - Khe) \quad (22)$$

Estabilidad

Se toma el modelo matemático del robot que se encuentra en la ecuación 19.

$$\dot{h} = J \cdot \dot{q}$$

Esquema de control

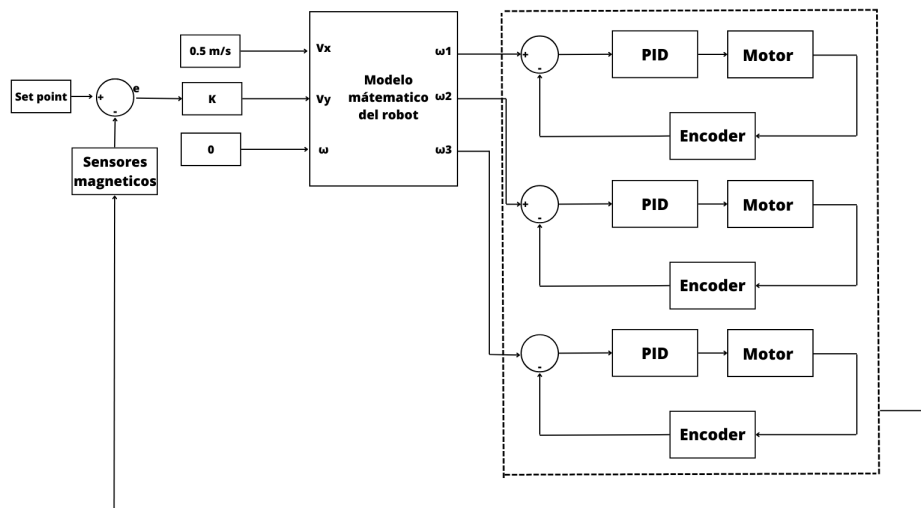
En la Figura 32 se describe el diagrama de control utilizado en el robot omnidireccional para el control de inventarios.

Se considera que el robot autónomo móvil tendrá dos niveles de control, el control de alto nivel es el encargado de la navegación del robot mediante el filoguiado magnético. Por otro lado, se tiene el control de bajo nivel el cual está encargado del control de velocidad de cada motor, su realimentación serán encoder de cuadratura.

Como entrada se define la posición del robot la cual puede ser descrita mediante un arreglo de sensores magnéticos. La salida del sistema será la velocidad de cada motor para alcanzar la referencia.

Figura 32

Esquema de control de un robot autónomo móvil de 3 ruedas



Nota: Se presenta en la figura 32 el esquema correspondiente al control del robot.

Para la obtención del Set Point se pretende realizar un arreglo de 5 sensores magnéticos para un mejor control de posición y, mediante una sumatoria ponderada de los valores entregados por estos sensores obtener un valor numérico el cual será utilizado como valor de referencia para el controlador.

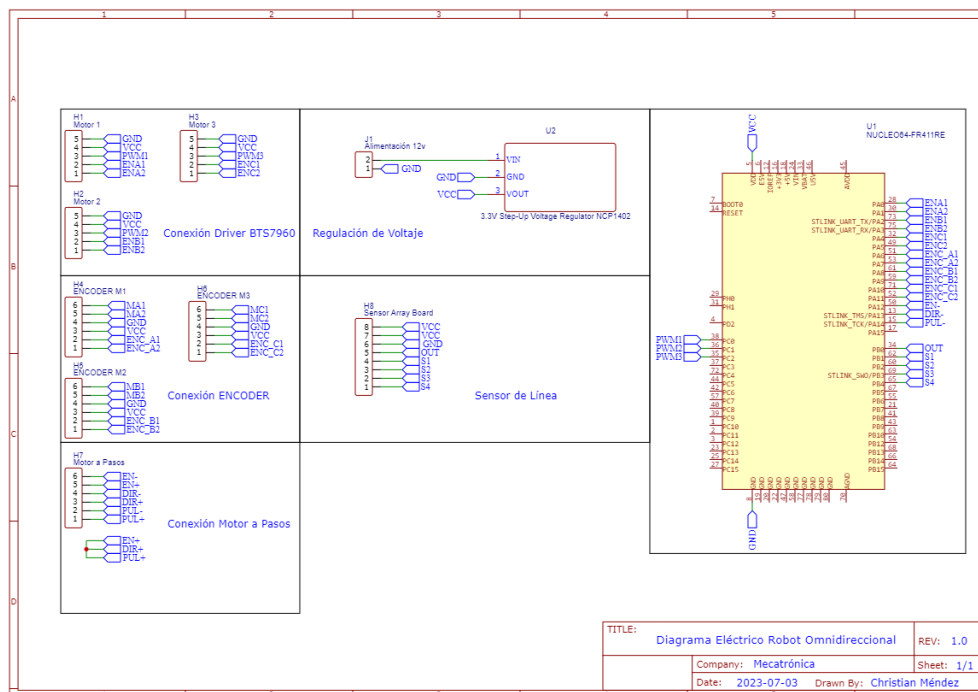
7.20. Diseño del esquema de conexión eléctrica

En la figura 33 se presentan las conexiones correspondientes tanto a la alimentación de los drives BTS7960 como a los motores utilizados para la tracción del robot. Además, se muestra la conexión del motor a pasos responsable del movimiento vertical de la cámara y el sensor de piso.

La figura 33 proporciona una representación visual detallada de las conexiones eléctricas necesarias para el correcto funcionamiento de los componentes mencionados. Estas conexiones son de vital importancia para garantizar el rendimiento y la operatividad del robot en el control de inventarios

Figura 33

Diagrama eléctrico



Nota: Esquema de conexión del sistema.

7.21. Consumo eléctrico

A través de este análisis que se encuentra en la Tabla 19, se destacará la relevancia de comprender el consumo eléctrico de un robot autónomo móvil para la selección de las baterías. Esto permitirá optimizar el desempeño del robot, garantizando una autonomía suficiente para realizar las tareas de control de inventarios de manera efectiva.

CONSUMO ELÉCTRICO				
Componente	Cantidad	Corriente (A)	Tiempo (h)	Consumo (Ah)
Motor 37D	3	0,68	1	2,04
Motor a pasos	1	1,5	1	1,5
Microcontrolador	1	0,5	1	0,5
Jetson	1	0,83	1	0,83
Driver	3	0,07	1	0,21
Servos	2	0,5	1	1
Driver Motor a pasos	1	2	1	2
CONSUMO ELÉCTRICO				8,08

Tabla 19

Consumo eléctrico de componentes del robot

Con el resultado de la tabla 19 se puede buscar una batería comercial que cumpla con las características necesarias.

LiPo 4300 3S 11.4v Battery

Figura 34

Baterías Tattu 4300 mAh



Nota: Baterías utilizadas para proporcionar energía al robot. Imagen recuperada de (Gens, 2023)

$$\text{Capacidad batería (Ah)} = C_{\text{Unitaria}} * N$$

N = Número de baterías

$$C_{\text{Unitaria}} = \text{Capacidad de cada batería (Ah)}$$

$$\text{Capacidad batería (Ah)} = 4.3 * 6$$

$$\text{Capacidad batería (Ah)} = 25,8$$

Al tener un consumo eléctrico de 8,08Ah y lo que se busca es tener una autonomía de 3h. Se utilizará un arreglo en paralelo de 6 baterías las cuales nos proporcionarán 25,8Ah. Esto permitirá el completo funcionamiento del prototipo durante el tiempo deseado.

Figura 35

RDX2 1000 AC/DC Dual Port Charger



Nota: Cargador para baterías Lipo. Imagen recuperada de (Maxamps, 2023)

En la Figura 35 se presenta un cargador para baterías de lipo, el cual puede suministrar hasta 20A por canal de carga. Con esta información podemos calcular el tiempo máximo de carga del robot.

Tiempo de carga (h) = Capacidad de batería (Ah)/ Corriente del cargador(A)

$$\text{Tiempo de carga (h)} = 25,8/20$$

$$\text{Tiempo de carga (h)} = 1,30h \quad (23)$$

Es importante mencionar que, según la ecuación 23 el tiempo de carga es de 1,30 h, es probable que la velocidad de carga sea un poco más lenta para evitar sobrecargar el cargador o la batería,

7.22. Procesamiento de códigos QR para el control de inventarios mediante el lenguaje de programación Python

Python es un lenguaje de programación, el cual es ampliamente utilizado en un sin número de aplicaciones. Es por esto que se basó en este lenguaje para la implementación de un algoritmo capaz de procesar códigos QR en tiempo real a través de una cámara que esta incorporada en el robot. Luego, utiliza la biblioteca como OpenCv, pyzbar y pandas para almacenar y actualizar los datos en un archivo de Excel, de esta forma se puede realizar un control sobre los inventarios. (Oregoom, 2023)

Para comprobar la eficacia del algoritmo se realizó las siguientes pruebas.

En la tabla 20, se puede apreciar una fiabilidad del algoritmo de 17,16%. Esto significa que no se puede implementar, ya que presenta numerosos errores y no sería capaz de realizar un control adecuado de los inventarios en las empresas.

Es por esta razón que se realizó cambios en el algoritmo para la detección de los códigos QR en python para eliminar al máximo estos errores obteniendo una fiabilidad promedio de 95,8% siendo un algoritmo confiable para el control de inventarios. Los datos recolectados se muestran en las tablas 21,22,23.

Tabla 20*Prueba 1 del funcionamiento del algoritmo para captar los códigos QR*

PRUEBA 1			
Producto	Cantidad real	Cantidad detectada	Error (%)
Café	5	10	100
Leche	3	3	0
Fideos	4	9	125
Maíz	5	11	120
Harina	3	7	133,33
Aceite	4	6	50
Cereal	5	11	120
Arroz	5	10	100
Azucar	4	4	0
Sal	5	9	80
Error Total			82,83
Fiabilidad			17,16

Tabla 22*Prueba 3 del funcionamiento del algoritmo para captar los códigos QR*

PRUEBA 3			
Producto	Cantidad real	Cantidad detectada	Error (%)
Café	4	4	0
Leche	3	3	0
Fideos	4	5	25
Maíz	5	5	0
Harina	3	3	0
Aceite	4	4	0
Cereal	5	5	0
Arroz	5	5	0
Azucar	4	5	25
Sal	5	5	0
Error Total			2,5
Fiabilidad			97,5

Se muestra en la figura 36 la implementación del código en python para verificar su

Tabla 21

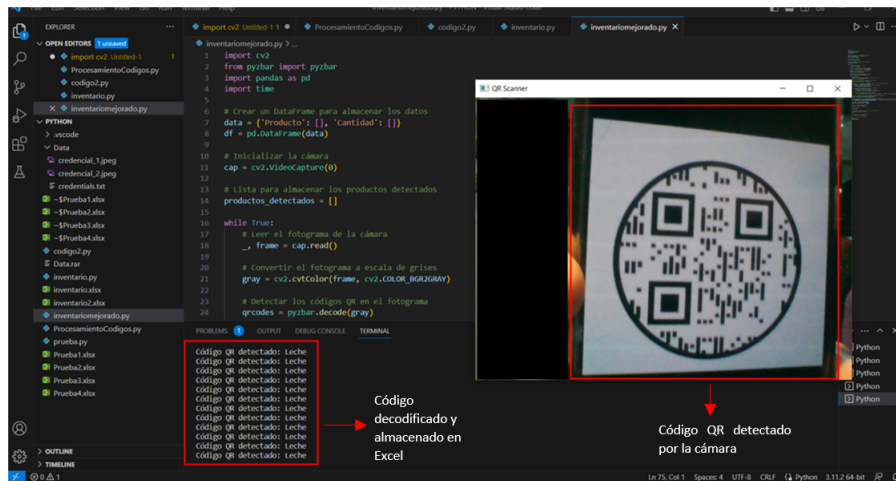
Prueba 2 del funcionamiento del algoritmo para captar los códigos QR

PRUEBA 2				
Producto	Cantidad real	Cantidad detectada	Error (%)	
Café	4	4	0	
Leche	3	3	0	
Fideos	4	5	25	
Maíz	5	5	0	
Harina	3	3	0	
Aceite	4	4	0	
Cereal	5	5	0	
Arroz	5	5	0	
Azucar	4	5	25	
Sal	5	5	0	
Error Total			5	
Fiabilidad			95	

funcionamiento en tiempo real utilizando una cámara que captura los códigos QR generados en base a los productos existentes para luego ser guardados dentro de un archivo Excel.

Figura 36

Validación de códigos QR



Nota: Se muestra la detección de códigos QR en tiempo real a través de una cámara.

Tabla 23*Prueba 4 del funcionamiento del algoritmo para captar los códigos QR*

PRUEBA 4			
Producto	Cantidad real	Cantidad detectada	Error (%)
Café	5	6	16.66
Leche	3	3	0
Fideos	4	4	0
Maíz	5	5	0
Harina	3	3	0
Aceite	4	4	0
Cereal	5	6	16,66
Arroz	5	6	16,66
Azucar	4	4	0
Sal	5	5	0
Error Total			5
Fiabilidad			95

7.23. Análisis de costos

Una vez que se ha establecido el modelo final del producto, es crucial realizar un análisis de costos para determinar el valor total del producto, teniendo en cuenta los costos de los materiales y la mano de obra involucrados. A continuación, en la tabla 24 se proporciona un desglose del presupuesto necesario para el proyecto en relación a los recursos materiales necesarios.

En la tabla 25 se presenta de manera detallada el presupuesto necesario para el proyecto en relación a la mano de obra requerida. Este análisis se basa en la consideración de las horas de programación, montaje y mecanizado necesarias para llevar a cabo el proyecto. Al desglosar los costos asociados con la mano de obra en cada una de estas áreas, se obtiene una comprensión clara de los recursos y esfuerzos humanos requeridos, lo que permite una mejor planificación y asignación de tareas.

Por último, en la tabla 26 se muestra el valor total del sistema, que engloba tanto el costo de los recursos materiales como el costo de la mano de obra. Esta evaluación integral permite tener una visión completa de los recursos financieros necesarios para la implementación exitosa del proyecto.

Tabla 24*Presupuesto de recursos materiales*

COSTO RECURSOS MATERIALES			
Nombre	Precio Unitario (\$)	Cantidad	Total (USD)
Motor Pololu	60	3	180
Motor a pasos Nema 17	15	1	15
Tornillo de avance 8mm 4 entradas- 60cm	13	1	13
Tuerca bronce sinfin 8mm	3,5	1	3,5
Acople flexible 8mm	4,5	1	4,5
Driver TB6600	17	1	17
Perfil Aluminio serie 20-1m	9	1	9
1 kg ABS	25	3	75
Drivers motores	17	3	51
Ruedas	8	3	24
Núcleo F411RE	25	1	25
Servomotores	10	2	20
Baterías LIPO 3s	50	6	300
MB60-8GM50-E2-V3	175	5	875
Tornillería	30	1	30
Jetson Nano	180	1	180
Cámara IntelSense	440	1	440
Cargador de baterías	300	1	300
PRECIO FINAL			2 562

Tabla 26*Presupuesto final del sistema*

COSTO TOTAL DEL SISTEMA		
	Nombre	Total (\$)
1	Recursos Materiales	2 262
2	Mano de Obra	1 540
	PRECIO FINAL	4 102

Tabla 25*Presupuesto para mano de obra del proyecto*

MANO DE OBRA				
Nombre	Costo Hora (\$)	Horas	Total (\$)	
Programación	20	30	600	
Montaje	5	480	2 400	
Mecanizado	20	35	700	
PRECIO FINAL			1540	

8. Resultados

8.1. Establecimiento de los parámetros iniciales para el diseño de un robot autónomo móvil para mejorar el control de inventarios en empresas de producción y de servicios.

Los parámetros obtenidos bajo los cuales se diseñó el robot autónomo móvil para el control de inventarios se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 27*Parámetros iniciales para el diseño de un robot autónomo móvil*

Entorno (m)	Dimensionamiento del robot (m)	Autonomía del robot	Altura de la cámara
1,5 m	0,6 x 0,6 m	3h	1,6m

8.2. Propuesta del diseño de un robot autónomo móvil para el control de inventarios en empresas de producción y de servicios

8.2.1. Ensamblaje del robot

El ensamblaje de un robot autonomo movil omnidireccional de 3 ruedas comienza con la construcción del chasis, que es la base del robot.

Luego que el chasis ha sido construido, se procede a la instalación de las ruedas y los motores que las impulsan. Es fundamental que las ruedas estén niveladas y bien ajustadas para garantizar un movimiento suave y sin vibraciones que asegure el correcto funcionamiento del robot. En la figura 37 se puede observar un ejemplo de cómo realizar el ensamblaje de las ruedas y los motores.

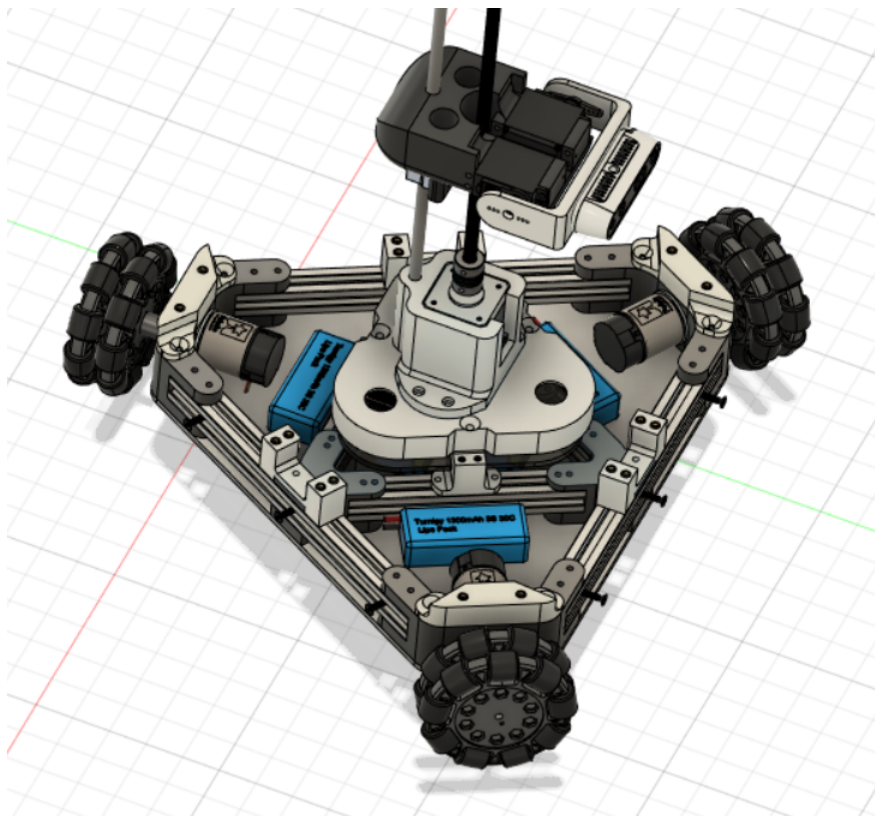
Una vez que se han instalado las ruedas y los motores, se procede a integrar y acomodar los componentes electrónicos al diseño mecánico.

Es importante prestar atención a la ubicación de cada componente. En la figura 38 se muestra el ensamble del mecanismo para el movimiento vertical de la cámara lectora de códigos, lo que permite una lectura más precisa y ágil de la información.

Finalmente, en la figura 39 se puede observar el diseño final del robot con todas sus componentes debidamente ensambladas y dispuestas para su funcionamiento óptimo.

Figura 37

Ensamble del chasis del robot



Nota: En la figura 37 se puede observar el ensamblaje de las ruedas, los motores y la estructura con los perfiles de aluminio.

Figura 38

Ensamble del sistema de movimiento vertical para la cámara



Nota: Ensamble del mecanismo para el movimiento vertical de la cámara lectora de códigos.

Figura 39

Ensamble final del robot



Nota: Diseño final del robot con todos sus componentes.

8.3. Verificación mediante método de elementos finitos para cálculo estático estructural de un robot autónomo móvil para el control de inventarios en empresas de producción y de servicios.

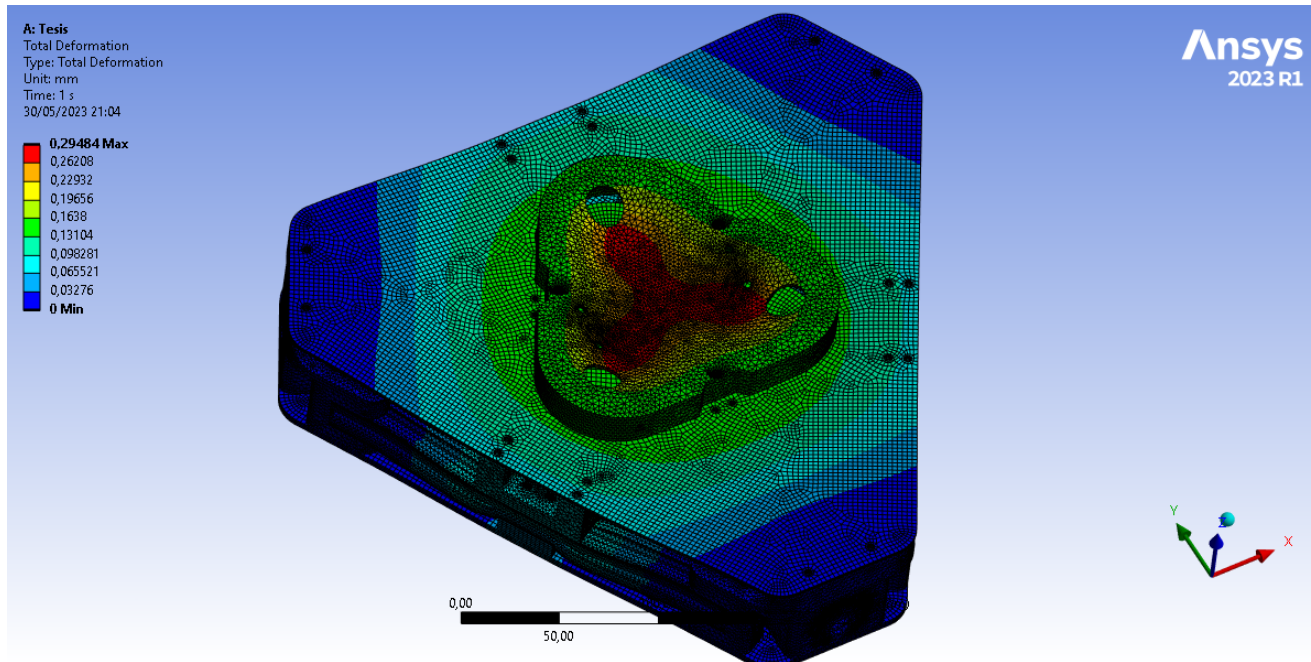
Una vez que se ha creado el modelamiento 3D del sistema, se procede a realizar un análisis utilizando el método de elementos finitos. Para este análisis, se ha planteado una malla con los siguientes parámetros: Warping factor = cercano a cero, Factor Jacobiano = 0,93417, Skewnes = 0,33904. Lo cual asegura la convergencia del método. Además, se ha considerado una fuerza de 122N para el análisis de esfuerzos y deformaciones, que representa el peso total

del robot.

En la figura 40 se puede observar que el sistema presenta una deformación total con un valor mínimo de 0 mm y un valor máximo de 0,294 mm, por lo cual estos valores no afectarán el funcionamiento del sistema.

Figura 40

Deformación total del sistema

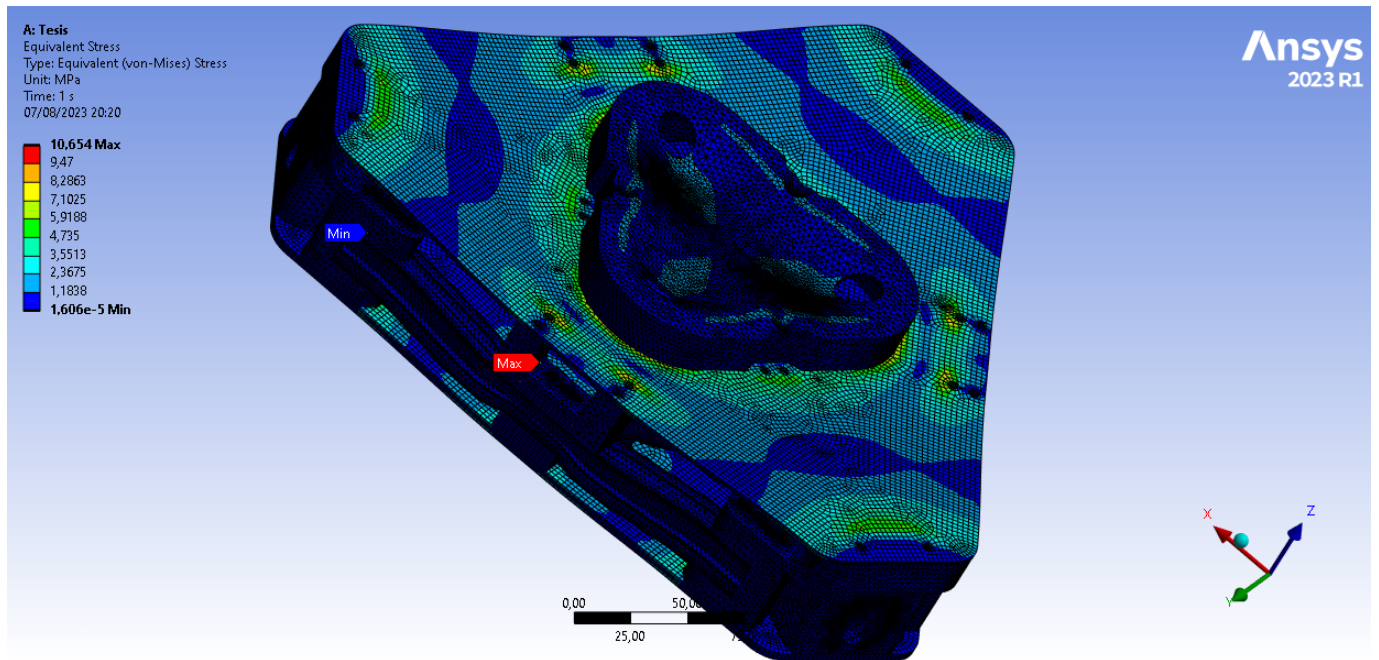


Nota: En la Figura 40 se puede observar el análisis por elementos finitos para encontrar la deformación total del sistema.

En la figura 41 se puede observar que el sistema presenta un esfuerzo total con un valor máximo de 10,654 Mpa, este valor no supone un peligro ya que se produce en una pieza cuyo material es ABS tiene un valor de 37,2 Mpa en su propiedad mecánica de resistencia a la tracción.

Figura 41

Esfuerzo total del sistema

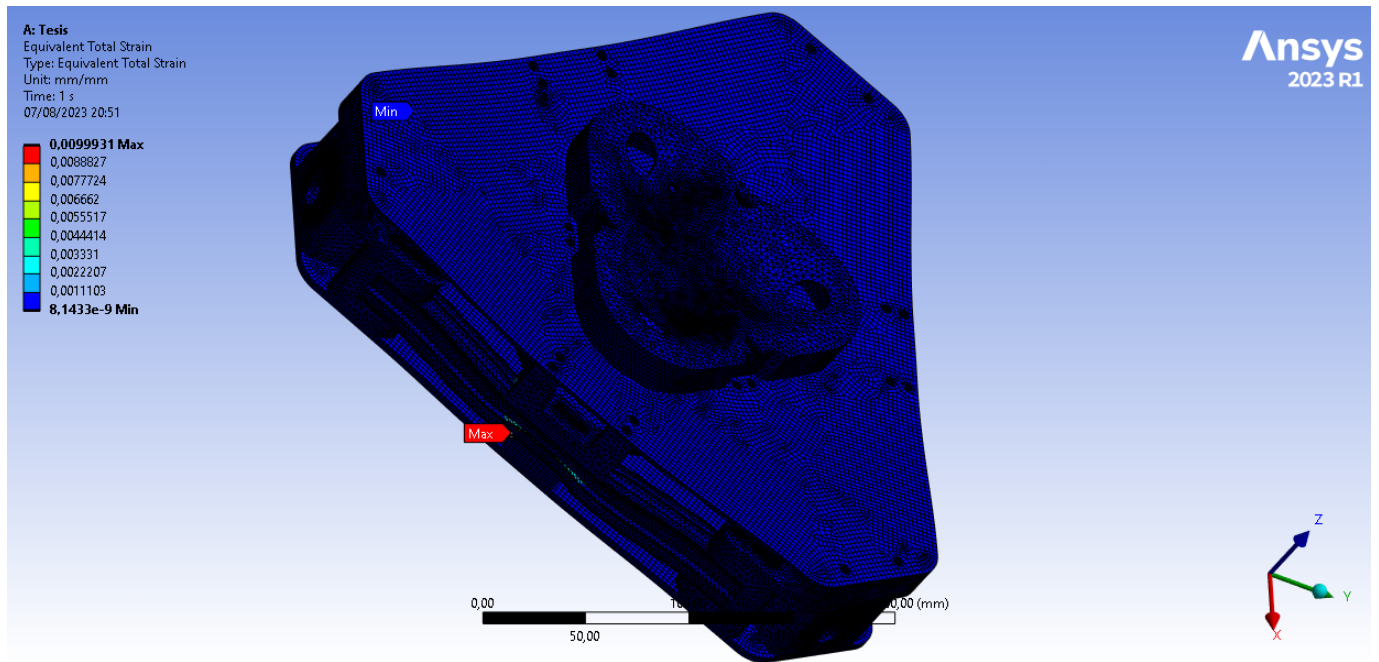


Nota: En la Figura 41 se puede observar el análisis por elementos finitos para encontrar el esfuerzo total del sistema.

En la figura 42 se puede observar que el sistema presenta un porcentaje de deformación con un valor máximo de 0,9%, el cual no afectará el funcionamiento del sistema.

Figura 42

Porcentaje de deformación del sistema



Nota: En la Figura 42 se puede observar el análisis por elementos finitos para encontrar el porcentaje de deformación total del sistema.

En la tabla 28 se puede observar los resultados que se obtuvieron para la verificación mediante métodos finitos para el cálculo estático estructural de un robot autónomo móvil para el control de inventarios en empresas de producción y servicios.

Tabla 28

Tabla de esfuerzos y deformaciones

	Estructura robot
Deformación [mm]	0,294
Esfuerzo [MPa]	10,654
% de deformación (%)	0,9

Nota: En la Tabla 28 se muestra los resultados de los esfuerzos y deformaciones que se

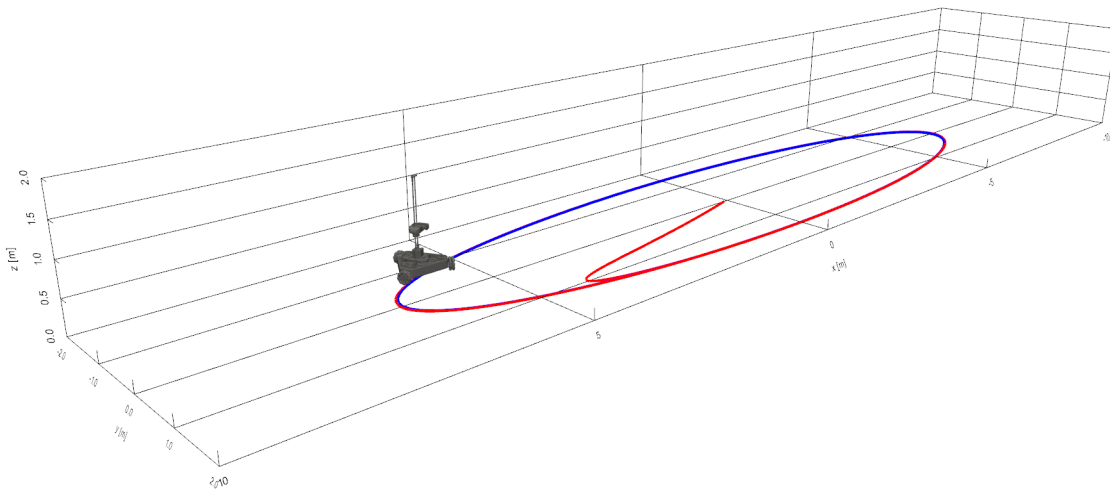
producen en el diseño de un robot autónomo móvil para el control de inventarios en empresas de producción y servicios.

8.4. Simulación de seguimiento de trayectoria del Robot

Mediante la simulación del robot autónomo móvil, se buscó obtener la respuesta del mismo a una trayectoria dada como se muestra en la Figura 43. Para este análisis, se implemento un código en Python, en el cual se ingresó una ecuacion de trayectoria y la representación matemática del robot.

Figura 43

Simulación de una trayectoria

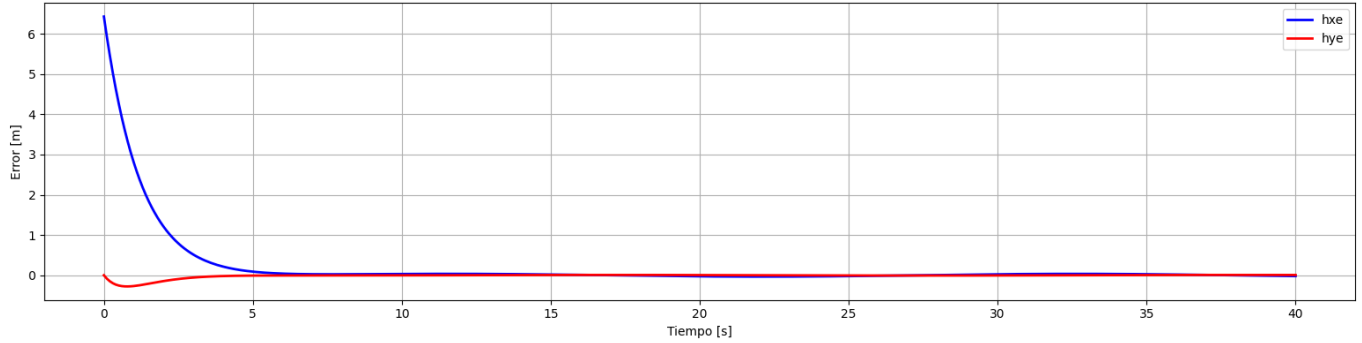


Nota: En la Figura 43 se puede observar la respuesta del robot omnidireccional a un trayectoria.

En la figura 44 y figura 45 se observa la convergencia del Error a 0, esto quiere decir que nuestro sistema cumple con la trayectoria deseada en un cierto tiempo.

Figura 44

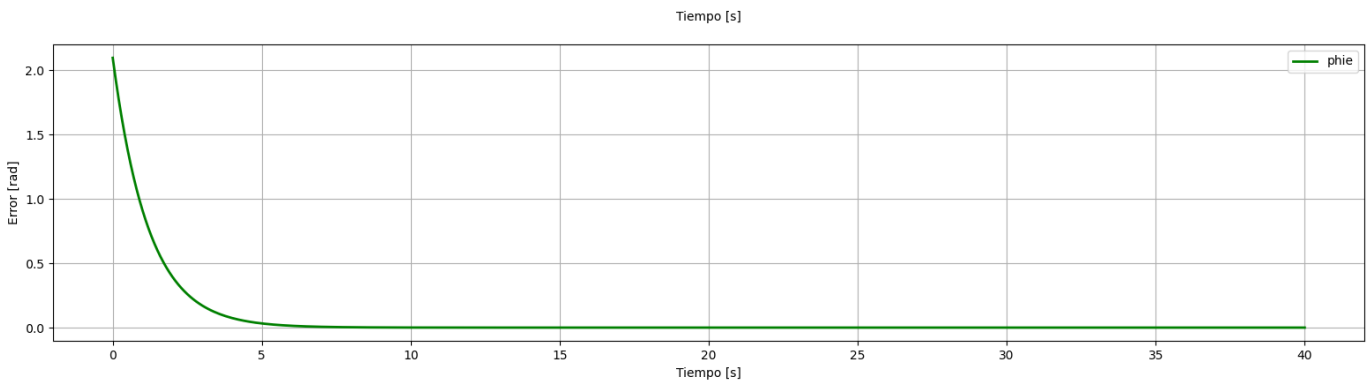
Respuesta Error



Nota: En la Figura 44 se observa el Error del sistema con respecto al tiempo, se observa las variables de posición en el Eje X y Eje Y.

Figura 45

Convergencia del Error



Nota: En la Figura 45 se observa que el error converge a 0 en 6 segundos

9. Conclusiones

Con el objetivo de satisfacer las necesidades de las medianas empresas ecuatorianas, se establecieron los parámetros iniciales para el diseño de un robot autónomo móvil encargado

de realizar el control de inventarios.

Para asegurar una correcta movilidad dentro de los pasillos de trabajo, se tomó como referencia la Norma INEN 2247, que determina el ancho máximo para corredores y pasillos en edificios de uso público y empresas. En base a esta norma, se determinaron las medidas finales para el diseño: 0,6 x 0,6 x 0,4 metros, con un mecanismo para la elevación de la cámara que captará los códigos en los estantes de hasta 1.6 metros. Este mecanismo de elevación incorpora un grado de libertad a la cámara para facilitar la captura de los códigos QR de los productos.

Una vez que se propuso el diseño, se determinó los materiales a utilizar teniendo en cuenta que el ambiente en donde realizará el control de inventarios es industrial por lo que se eligió materiales resistentes a la humedad y corrosión. Para el diseño se aseguró que no existan geometrías complejas que pueden dificultar la fabricación con manufactura convencional; se realizó algunas piezas destinadas a ser manufacturadas con impresión 3D, por lo cual, es importante asegurarse que las geometrías no posean aristas nítidas y considerar la incorporación de nervaduras para aumentar la rigidez y resistencia de dichas piezas. Todas estas consideraciones serán relevantes al momento de realizar la simulación mediante el método de elementos finitos ya que, la malla generada se adaptará a la forma de las piezas, y entre mas complejas, será deficiente generando resultados poco precisos. Al aplicar este análisis, se obtuvo una malla con los siguientes parámetros: Warping factor = cercano a cero, Factor Jacobiano = 0,93417, Skewnes = 0,33904. Al aplicar una carga de 122N que representa el peso total del robot la deformación total es de 0,294mm, por lo cual se puede determinar que la estructura del robot no se ve comprometida.

Se realizó el análisis cinemático del robot, considerando al mismo como un cuerpo rígido para lograr obtener su representación matemática. A este resultado se lo ordena de forma matricial y recibe el nombre de Jacobiana. Mediante dicha matriz, se logra diseñar un controlador basado en Lyapunov, con el cual el robot podrá moverse en una cierta trayectoria y posteriormente sintonizado con el arreglo de sensores magnéticos para el seguimiento de una trayectoria mediante filoguiado magnético.

Para el procesamiento de códigos QR, se implementó un algoritmo mediante python el cual nos permite capturar, identificar y procesar los códigos QR para posteriormente ser almacenados y mostrados en una hoja de cálculo de excel. Con dicha información se podrá trabajar y analizar la fluctuación de los productos dentro de la empresa.

El costo total del robot autónomo móvil es de \$4,102, donde se han considerado los costos directos de hardware, software, baterías y materiales para su construcción, así como la mano de obra empleada para su desarrollo. Se pudo determinar que el funcionamiento del robot

cumple con los requisitos y necesidades para llevar a cabo el control de inventarios dentro de las empresas, lo que permite concluir que el costo total del sistema es adecuado, considerando que este tipo de robot no se encuentra comúnmente en el país.

10. Recomendaciones

- La autonomía del robot actualmente es de 3 horas, por lo cual sería ideal encontrar una fuente de energía eléctrica capaz de suministrar energía al robot de al menos un ciclo de trabajo de 8 horas. Esto con el objetivo de ampliar el campo de acción del prototipo de medianas a grandes empresas.
- Actualmente el tipo de control que se utiliza para desplazar la cámara es de lazo abierto, lo que implica que no se cuenta con una referencia exacta de la altura para el nivel de la cámara. Es posible mejorar este aspecto al implementar un control en lazo cerrado para lograr obtener una mayor exactitud en el posicionamiento de la cámara.
- Al realizar el diseño de un robot autónomo móvil, se debe tener en cuenta diversos factores al momento de seleccionar los componentes y materiales que integrarán el robot. Es preferible que estos elementos se puedan conseguir a nivel nacional, lo que reducirá costos de importación y tiempo al momento de construir e implementar el robot en una empresa.
- El procesamiento de los códigos QR se basa en detectar las imágenes de los productos y que sean captados a simple vista, por lo cual, se recomienda hacer uso de aprendizaje automático basado en inteligencia artificial para realizar un mapeo en 3D del entorno y así garantizar el correcto procesamiento de los productos. A la vez, con esta integración se podrá agregar sensores lidar para detección de obstáculos y así evitar colisiones garantizando la seguridad del personal. Además, se puede optimizar las rutas de movimiento del robot dentro de las áreas de trabajo.

Referencias

- Alexander Gloge Forster, R. R. (2006). Holonomic control of a robot with an omni-directional drive. in *künstliche intelligenz. Tecnura, 20*.
- Amazon. (2023a). *Azure kinect dk - kit de desarrollo*. <https://n9.cl/sheug>.
- Amazon. (2023b). *Intel realsense d435i webcam - 2 megapíxeles - 30 fps - usb 3.1*. <https://n9.cl/3jd3yb>.
- Bambino, I. (2008). Una introducción a los robots móviles. *Recuperado http://www.aadeca.org/pdf/CP_monografias/monografia_robot_movil.pdf*.
- Baturone, A. O. (2005). *Robótica: manipuladores y robots móviles*. Marcombo.
- Beer, F., y Johnston, E. (2009). *Mecánica de materiales 5ta. edición*. MCGRAW-HILL INTERAMERICANA SA de CV.
- Bermudez, G., y cols. (2002). Robots móviles. teoría, aplicaciones y experiencias. *Tecnura, 5(10)*, 6–17.
- Bräun, T. (2006). *Embedded robotics: Mobile robot design and applications with embedded systems*. Springer.
- Carlos, D. M. (2022). *Inventarios*. [Recuperado de: <https://smsecuador.ec/control-de-inventarios/>; Accedido el: 6 de diciembre del 2022].
- CIOMX. (2023a). *Bts7960 driver motor 43a de alta potencia*. <https://tienda.bricogeek.com/controladores-motores/1560-bts7960-driver-motor-43a-de-alta-potencia.html/>.
- CIOMX. (2023b). *La implementación de robots autónomos podría generar valor principalmente reduciendo los costos operativos directos e indirectos y aumentando el potencial de ingresos*. <https://cio.com.mx/por-que-deberia-utilizar-robots-autonomos-moviles/>.
- De Queiroz, M. S. (2000). *Lyapunov-based control of mechanical systems*. Springer Science & Business Media.
- Dickerson, S. L., y Lapin, B. D. (1991). Control of an omni-directional robotic vehicle with mecanum wheels. En *Ntc'91-national telesystems conference proceedings* (pp. 323–328).
- Doroftei, I., Grosu, V., y Spinu, V. (2007). *Omnidirectional mobile robot-design and implementation*. INTECH Open Access Publisher London, UK.
- Ebay. (2023). *Magliner 130502 rotacaster double row multi-directional wheels for*. [Recuperado de: <https://www.ebay.com/p/2070099029>; Accedido el: 09 de junio del 2023].
- García, M. R. T., y cols. (2017). *Robótica móvil*.
- Gens, T. (2023). *Gens ace adventure high voltage 4300mah 3s1p 11.4v 60c lipo battery with xt60 plug*. [Recuperado de: <https://genstattu.com/gens-ace-adventure-high-voltage>

- 4300mah-3s1p-11-4v-60c-lipo-battery-with-xt60-plug/ Accedido el: 09 de junio del 2023].
- Gil Arianny, V. (2009). *Inventarios*. Argentina: El Cid Editor.
- GSMexico. (2023). *La tecnología mejora tu gestión de inventarios*. <https://blog.gslmexico.org/tecnologia-mejora-gestion-de-inventarios>.
- Guzmán, L. E. S., Villa, M. A. M., y Vásquez, E. L. R. (2014). Seguimiento de trayectorias con un robot móvil de configuración diferencial. *Ingenierías USBMed*, 5(1), 26–34.
- Hyde, J., Cuspinera, A., y Regué, J. (1997). *Control electroneumático y electrónico*. Marcombo. Descargado de <https://books.google.com.ec/books?id=N4zt-YNZD5UC>
- INEN. (2015). *Norma 2247*. [Recuperado de: <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/nte;nen2247.pdf>; Accedido el : 01 de febrer del 2023].
- Jiménez, J. G., y Baturone, A. O. (1996). Estimación de la posición de un robot móvil. *Automática*, 29, 3–18.
- Maxamps. (2023). *Rdx2 1000 ac/dc dual port charger*. <https://maxamps.com/collections/lipo-battery-charger/products/rdx2-1000-ac-dc-dual-port-charger>.
- MECALUX. (2022). *Robots móviles, aplicaciones y usos en el almacén*. [Recuperado de: <https://www.mecalux.pe/blog/robots-moviles>; Accedido el: 7 de diciembre del 2022].
- Mora, L. A. (2011). *Gestión logística en centros de distribución, bodegas y almacenes-1ra edición*. Ecoe Ediciones.
- Novatronic. (2023). *Ruedas mecanum*. <https://novatronic.com/index.php/product/ruedas-mecanum-60mm/>.
- Oregoom. (2023). *Python*. <https://oregoom.com/python>.
- PEPPERL+FUCH. (2023). *Sensor de campo magnético mb60-8gm50-e2*. https://www.pepperl-fuchs.com/global/es/classid_145.htm?view=productdetailsprodid=43647design.
- Pololu. (2023). *30:1 metal gearmotor 37dx68l mm 12v with 64 cpr encoder (helical pinion)*. Actualizado 2023. [Recuperado de: <https://www.pololu.com/product/4752>; Accedido el: 26 de abril del 2023].
- Quizhpi Campoverde, D. F. (2018). *Diseño de un sistema de control de inventario y organización de las bodegas de producto terminado de la empresa ecuaespumas-lamitexsa* (B.S. thesis).
- RoboticsEC. (2023). *Tower pro mg995 180 grados*. Actualizado 2023. [Recuperado de: <https://roboticsec.com/producto/tower-pro-mg995-180-grados>; Accedido el: 26 de abril del 2023].
- Rus, C. (2022). *Amazon tiene cuatro nuevos robots para trabajar en sus almacenes: au-*

- tónomos y repletos de ia para liberar carga de trabajo a los humanos.* [Recuperado de: <https://www.xataka.com/robotica-e-ia/amazon-tiene-cuatro-nuevos-robots-para-trabajar-sus-almacenes-autonomos-repletos-ia-para-liberar-carga-trabajo-a-humanos>; Accedido el: 6 de diciembre del 2022].
- Shutterstock. (2023). *Agv.* [Recuperado de: <https://www.shutterstock.com/es/search/agv>; Accedido el: 23 de enero del 2023].
- Siegwart, R., Nourbakhsh, I. R., y Scaramuzza, D. (2011). *Introduction to autonomous mobile robots.* MIT press.
- Song, J.-B., y Byun, K.-S. (2006). Design and control of an omnidirectional mobile robot with steerable omnidirectional wheels. En *Mobile robotics, moving intelligence.* IntechOpen.
- Spenko, M. J. (2001). *Design and analysis of the smartwalker: a mobility aid for the elderly* (Tesis Doctoral no publicada). Massachusetts Institute of Technology.
- Tecnika4. (2023). *Aluminio6063.* <https://www.teknika4.com/es/aluminio-6063> Accedido el: 09 de junio del 2023].
- Vidosic, J. (1957). *Machine design projects.* Ronald Press Company.
- Wada, M., y Mori, S. (1996). Holonomic and omnidirectional vehicle with conventional tires. En *Proceedings of iee international conference on robotics and automation* (Vol. 4, pp. 3671–3676).

ANEXOS

Anexo A: Matriz de consistencia lógica

Tabla 29

Matriz de consistencia.

MATRIZ DE CONSISTENCIA				
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLES	MARCO TEÓRICO
¿Es posible realizar el diseño de un robot autónomo móvil para el control de inventarios en empresas de producción y de servicios?	Diseñar un robot autónomo móvil para el control de inventarios en empresas de producción y de servicios.	Es posible el diseño de un robot autónomo móvil para mejorar el control de inventarios en empresas de producción y de servicios.	-VI: Control de inventarios . -VD: Diseño.	Robots Autonomos Móviles (AMR)
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	VARIABLES	MARCO TEÓRICO
¿Se podrá establecer los parámetros iniciales para el diseño de un robot autónomo móvil para el control de inventarios en empresas de producción y de servicios?	Establecer los parámetros iniciales para el diseño de un robot autónomo móvil para mejorar el control de inventarios en empresas de producción y de servicios.	El establecer los parámetros iniciales ayudará al diseño de un robot autónomo móvil para el control de inventarios en empresas de producción y de servicios.	-VI: Control de inventarios . -VD: Diseño.	Cinemática de los robots autónomos móviles
¿Es posible proponer el diseño de un robot autónomo móvil para el control de inventarios en empresas de producción y de servicios?	Diseñar un robot autónomo móvil para el control de inventarios en empresas de producción y de servicios.	El diseñar un robot autónomo móvil ayudara a mejorar el control de inventarios en empresas de producción y de servicios.	-VI: Control de inventarios . -VD: Diseño.	Robots Autonomos Moviles para inventario
¿Es posible verificar el diseño de un robot autónomo móvil para el control de inventarios en empresas de producción y de servicios?	Verificar mediante simulación el cálculo estático estructural de un robot autónomo móvil para el control de inventarios en empresas de producción y de servicios.	La verificación del cálculo estático estructural de un robot autónomo móvil para mejorar el control de inventarios en empresas de producción y de servicios permitirá garantizar el funcionamiento del mismo.	-VI: Control de inventarios . -VD: Diseño.	Simulación del cálculo estático estructural de un robot autónomo móvil para el control de inventarios en empresas de producción y de servicios mediante un software

Nota: La matriz de consistencia presentada facilita identificar la relación que existe entre las variables y los objetivos además de como se relaciona con el marco teórico referencial.

Anexo B: Operacionalización de variables

La tabla 30 presenta la operacionalización de la variable dependiente: tiempo de operación.

Tabla 30

Variable dependiente.

VARIABLE DEPENDIENTE: CONTROL DE INVENTARIOS				
Dimensiones	Definiciones	Indicador	Magnitud	Instrumento de medición o fuente
Tiempo para realizar el inventario	<p>Definición conceptual: Permite determinar la duración en ejecutar la lectura de los códigos de inventario de los diferentes productos en empresas de producción y servicios.</p> <p>Definición operacional: Es la duración en segundos que tarda el robot en ejecutar la lectura de los códigos de inventario de los diferentes productos en una empresa.</p>	Tiempo	Segundos	Cronómetro

Nota: En la tabla 30 se presenta las definiciones de las dimensiones de la variable dependiente utilizada en la investigación, aplicadas al proceso de control de inventarios, cada variable puede tener diferentes dimensiones y todas ellas deben ser medibles.

Anexo C: Código para lector de códigos QR

Figura 46

Código para lector de códigos QR

```
import cv2
from pyzbar import pyzbar
import pandas as pd
import time

# Crear un DataFrame para almacenar los datos
data = {'Producto': [], 'Cantidad': []}
df = pd.DataFrame(data)

# Inicializar la cámara
cap = cv2.VideoCapture(0)

# Lista para almacenar los productos detectados
productos_detectados = []

while True:
    # Leer el fotograma de la cámara
    _, frame = cap.read()

    # Convertir el fotograma a escala de grises
    gray = cv2.cvtColor(frame, cv2.COLOR_BGR2GRAY)

    # Detectar los códigos QR en el fotograma
    qrcodes = pyzbar.decode(gray)

    # Actualizar la lista de productos detectados
    productos_detectados_actualizados = []

    for qr in qrcodes:
        # Extraer el contenido del código QR (nombre del producto)
        producto = qr.data.decode("utf-8")

        # Imprimir el contenido del código QR en la consola
        print("Código QR detectado:", producto)

        # Verificar si el producto ya se encuentra en la lista de productos
        # detectados
        if producto not in productos_detectados:
            # Agregar el producto a la lista de productos detectados
            productos_detectados.append(producto)

            # Verificar si el producto ya está en el DataFrame
            if producto in df['Producto'].values:
                # Aumentar la cantidad del producto existente
                df.loc[df['Producto'] == producto, 'Cantidad'] += 1
            else:
                # Agregar un nuevo producto con cantidad 1
```

```

        df = pd.concat([df, pd.DataFrame({'Producto': [producto],
'Cantidad': [1]})], ignore_index=True)

    # Agregar el producto a la lista de productos detectados actualizados
    productos_detectados_actualizados.append(producto)

    # Remover los productos que ya no están presentes en el fotograma
    productos_no_detectados = list(set(productos_detectados) -
set(productos_detectados_actualizados))
    productos_detectados = productos_detectados_actualizados

    for producto in productos_no_detectados:
        print("Código QR removido:", producto)

    # Mostrar el fotograma en una ventana
    cv2.imshow("QR Scanner", frame)

    # Esperar 1 segundo
    time.sleep(0.25)

    # Esperar a que se presione la tecla 'q' para salir del bucle
    if cv2.waitKey(1) & 0xFF == ord('q'):
        break

# Guardar los datos en un archivo de Excel
df.to_excel("Prueba4.xlsx", index=False)

# Liberar la cámara y cerrar la ventana
cap.release()
cv2.destroyAllWindows()

```