



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

**SEDE QUITO**

**CARRERA DE MECATRÓNICA**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MONTACARGA ELÉCTRICO PARA  
INSTALACIONES DE ALMACENAMIENTO REDUCIDAS COMPATIBLE CON  
INSUMOS DE FERRETERÍA INDUSTRIAL DE CONSIDERABLE PESO**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del**

**Título de Ingeniero en Mecatrónica**

**AUTOR:** Kevin David Mean Cando

**TUTOR:** Fabio Eduardo Obando Herrera

**Quito – Ecuador**

**2023**

**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE  
TITULACIÓN**

Yo, Kevin David Mean Cando con documento de identificación N° 1725084345; manifiesto  
que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo 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.

Quito, 15 septiembre de 2023

Atentamente,



---

Kevin David Mean Cando

1725084345

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

Yo, Kevin David Mean Cando con documento de identificación N° 1725084345, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de ser autor del Dispositivo Tecnológico “Diseño y construcción de un montacarga eléctrico para instalaciones de almacenamiento reducidas compatible con insumos de ferretería industrial de considerable peso”, el cual ha sido desarrollado para obtener el título de: Ingeniero en Mecatrónica, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

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

Quito, 15 de septiembre del año 2023

Atentamente,



---

Kevin David Mean Cando

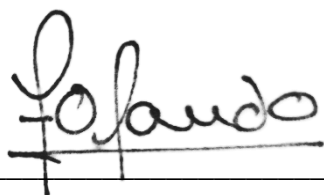
1725084345

## **CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Yo, Fabio Eduardo Obando Herrera, con documento de identificación N° 1707982169, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MONTACARGA ELÉCTRICO PARA INSTALACIONES DE ALMACENAMIENTO REDUCIDAS COMPATIBLE CON INSUMOS DE FERRETERÍA INDUSTRIAL DE CONSIDERABLE PESO, realizado por Kevin David Mean Cando con documento de identificación N° 1725084345, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción de un Dispositivo Tecnológico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 15 de septiembre del año 2023.

Atentamente,

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Fabio', written over a horizontal line.

Ing. Fabio Eduardo Obando Herrera, Mgtr

1707982169

## **DEDICATORIA**

Este trabajo de titulación va dirigido con mucho cariño a mis amados padres Patricia y Luis por su inmenso afecto y apoyo constante durante toda mi formación profesional, por su incansable sacrificio y lucha para brindarme un buen futuro, a mi querido hermano Yair por su amistad y buen humor, a mis abuelos Laura y Ángel por su constante impulso y preocupación, a mis queridos amigos Patricia y Dilan, a mi amada compañera María Paula por su apoyo incondicional y cariño sincero en los momentos más difíciles durante el desarrollo de este trabajo y para todos los amigos y personas que me acompañaron durante todo este camino.

Kevin David Mean Cando

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar, agradezco a mi amado padre por su esfuerzo y dedicación durante todo este proceso, por trasnocharse a mi lado sin importar las horas de trabajo, por sus sabios consejos y su experticia en el área mecánica, el permitió que este proyecto refleje la excelencia y atención a los detalles que lo caracterizan como persona. De igual manera, agradezco a mi tutor Ing. Fabio Obando por la confianza brindada, por su guía y por las ideas que estructuraron este trabajo, también extendiendo mi gratitud a la Ing. Alejandra Fernández e Ing. Ricardo Zapata que, sin importar el momento, supieron brindar un cálido recibimiento a mis dudas e inquietudes. Así mismo, a mis lectores Ing. Patricio Quitiaquéz e Ing. Johana Celi por su paciencia y atención brindada.

Kevin David Mean Cando

## ÍNDICE

DEDICATORIA .....	iv
AGRADECIMIENTO .....	v
RESUMEN .....	xii
ABSTRACT.....	xiii
INTRODUCCIÓN .....	xiv
OBJETIVOS .....	xv
OBJETIVO GENERAL .....	xv
OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	xv
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	xv
JUSTIFICACIÓN .....	xvii
CAPÍTULO I .....	1
MARCO TEÓRICO.....	1
GENERALIDADES .....	1
1.1 Carretilla para el transporte de mercadería o montacarga.....	1
1.2 Electrónica.....	2
1.3 Motores eléctricos .....	2
1.4 Electrónica de potencia .....	3
1.5 Teoría de control .....	3
1.6 Estática y análisis estructural .....	4
1.6.1 Estática .....	4
1.6.2 Mecánica de materiales .....	4
1.7 Selección de alternativas .....	5
1.7.1 Alternativas .....	6
1.7.2 Criterios de evaluación.....	7
1.8 Selección de elementos del prototipo.....	8
1.8.1 Estructura .....	8

1.8.2	Sistema de control .....	8
1.8.3	Actuadores.....	12
1.8.4	Sensores.....	15
1.8.5	Almacenamiento de energía.....	19
CAPÍTULO II.....		22
CÁLCULOS .....		22
GENERALIDADES .....		22
2.1	Cálculo del par de torsión del motor DC.....	22
2.2	Cálculo de esfuerzos y selección de perfiles .....	23
2.2.1	Cálculo para palas .....	23
2.2.2	Cálculo para eje de rueda motriz.....	26
2.2.3	Cálculo de juntas permanentes .....	28
2.3	Simulación fuerzas del sistema de elevación de carga.....	30
2.4	Acondicionamiento de señal PWM para el controlador de motor DC.....	32
2.5	Programación .....	33
2.6	Diagrama de conexiones electrónicas .....	36
CAPÍTULO III.....		37
IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS.....		37
GENERALIDADES .....		37
3.1	Conexión y pruebas de los dispositivos .....	37
3.2	Implementación de un tablero de control provisional.....	38
3.3	Fabricación de la estructura del montacarga .....	39
3.4	Fabricación del sistema motriz.....	41
3.4.1	Eje de transferencia de potencia.....	41
3.4.2	Sistema sujeción de la rueda motriz.....	42
3.4.3	Fabricación de la columna de dirección.....	43
3.5	Fabricación del sistema de elevación de carga.....	45



3.5.1	Fabricación del eje de transferencia de potencia.....	45
3.5.2	Fabricación y conformado del mecanismo elevador.....	47
3.5.3	Fabricación de carro transportador de carga .....	48
3.5.4	Ensamblaje de cadena y cable .....	49
3.5.5	Pruebas de funcionamiento del elevador.....	50
3.5.6	Pruebas de funcionamiento de mecanismos y maniobrabilidad.....	51
3.6	Implementación del sistema de control .....	52
3.6.1	Fabricación de compartimiento para la batería .....	52
3.6.2	Fabricación del gabinete de control .....	53
3.6.3	Conexión de dispositivos .....	54
CAPÍTULO IV .....		57
ANÁLISIS DE COSTOS.....		57
GENERALIDADES .....		57
4.1	Elementos de fabricación .....	57
4.2	Mano de obra y prestación de servicios .....	58
4.3	Costos de importación.....	59
4.4	Cálculo del VAN.....	59
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....		62
5.1	CONCLUSIONES .....	62
5.2	RECOMENDACIONES .....	63
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		64
ANEXOS .....		67

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Evolución Histórica de Accidentes de Trabajo. [1].....	xvi
Figura 2 Accidentes de Trabajo por Tipo y Actividad. [1].....	xvi
Figura 3 Diagrama de bloques de un sistema de electrónica de potencia. [8].....	3
Figura 4 Esfuerzo de un elemento sobre un área A. [12].....	5
Figura 5 Arduino UNO. El autor. ....	9
Figura 6 STM32 Nucleo F401RE. El autor. ....	10
Figura 7 PLC Siemens LOGO. El autor. ....	11
Figura 8 Motor DC 12V de imanes permanentes. El autor.....	12
Figura 9 Motor brushless con caja reductora. [20] .....	13
Figura 10 Final de carrera. El autor .....	15
Figura 11 Sensor de proximidad inductivo normalmente abierto. El autor. ....	16
Figura 12 Sensor magnético efecto Hall. El autor .....	17
Figura 13 Batería de motocicleta de 12V. El autor.....	21
Figura 14 Diagrama de cuerpo libre. El autor.....	22
Figura 15 Análisis de fuerzas cortantes y momento máximo para palas L. El autor...	24
Figura 16 Esfuerzos permisibles. [30] .....	25
Figura 17 Especificaciones generales de perfiles rectangulares de Acero negro. [31]	26
Figura 18 Modelado del mecanismo motriz del dispositivo. El autor. ....	27
Figura 19 Resultados de ensayos a la tensión de algunos metales. [30].....	28
Figura 20 Detalle de soldadura en sistema de elevación. El autor.....	29
Figura 21 Detalle de ensamblaje de pernos allen 8 x 20 mm UNC.....	30
Figura 22 Configuración de dimensiones en la herramienta de SKF. [34].....	31
Figura 23 Ensamblaje de rodamientos SKF 6003 en el mecanismo. El autor. ....	31
Figura 24 Resultado de la simulación por elementos finitos. El autor. ....	32
Figura 25 Ventana de configuración Timer 2 .....	33
Figura 26 Ventana de configuración ADC1 .....	34
Figura 27 Ventana de configuración de pines GPIO .....	34
Figura 28 Diagrama de flujo de la programación. El autor .....	35
Figura 29 Detalle de conexiones y pines correspondientes en Proteus. El autor.....	36
Figura 30 Pruebas de dispositivos. El autor.....	37
Figura 31 Tablero de control provisional. El autor.....	38
Figura 32 Módulo de borneras para STM32 Nucleo/ Arduino UNO. El autor. ....	39

Figura 33	Proceso de desbaste y pulido en las tapas de tubo rectangular. El autor. ....	40
Figura 34	Prueba de dimensiones en el área de bodega. El autor. ....	40
Figura 35	Ruedas delanteras del dispositivo. El autor. ....	41
Figura 36	Pruebas de ingreso de la parte baja la máquina en la estantería. El autor. ...	41
Figura 37	Maquinado de piezas en torno convencional. El autor. ....	42
Figura 38	Primer ensamblaje del sistema motriz del dispositivo. El autor. ....	43
Figura 39	Vista de pernos avellanados para sujeción de piezas. El autor. ....	43
Figura 40	Corte realizado en bicicleta reciclada. El autor. ....	44
Figura 41	Ensamblaje del sistema de dirección. El autor. ....	45
Figura 42	Ejes descartados por mal funcionamiento. El autor. ....	46
Figura 43	Caja de velocidades del taladro de banco. El autor. ....	46
Figura 44	Mecanismo de sujeción y transferencia de potencia. El autor. ....	47
Figura 45	Mecanismo de transferencia de potencia del elevador. El autor. ....	48
Figura 46	Mecanismo de desplazamiento del carro elevador. El autor. ....	49
Figura 47	Acoplamiento de los elementos de transferencia de potencia. El autor. ....	50
Figura 48	Romanilla manual de 50 kg. El autor. ....	50
Figura 49	Pruebas de elevador con carga de 15 kg. El autor. ....	51
Figura 50	Pruebas de maniobrabilidad. El autor. ....	52
Figura 51	Soporte para batería. El autor. ....	52
Figura 52	Sujeción post soldadura. El autor. ....	53
Figura 53	Compartimiento para dispositivos de control. El autor. ....	54
Figura 54	Manufactura de ramal principal de conexiones. El autor. ....	54
Figura 55	Botonera del panel principal. El autor. ....	55
Figura 56	Switch de llave ON/OFF/ON. El autor. ....	55
Figura 57	Gabinete de alojamiento de tarjetas de control. El autor. ....	56

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Ventajas y desventajas de alternativa a. [15].....	6
Tabla 2 Ventajas y desventajas de alternativa b. [15].....	6
Tabla 3 Ventajas y desventajas alternativa c. ....	7
Tabla 4 Matriz de alternativas.....	8
Tabla 5 Ventajas y desventajas para Arduino UNO. [16] .....	9
Tabla 6 Ventajas y desventajas para STM32 Nucleo. [17].....	10
Tabla 7 Ventajas y desventajas para PLC LOGO!. [18].....	11
Tabla 8 Matriz de alternativas para sistema de control.....	12
Tabla 9 Ventajas y desventajas para motor de imanes permanentes. [19].....	13
Tabla 10 Ventajas y desventajas para motor Brushless. [19] .....	13
Tabla 11 Ventajas y desventajas para motor de escobillas. [21] .....	14
Tabla 12 Matriz de marco lógico para actuadores .....	14
Tabla 13 Ventajas y desventajas para el interruptor límite o fin de carrera. [23].....	15
Tabla 14 Ventajas y desventajas para el sensor de proximidad. [22] .....	16
Tabla 15 Ventajas y desventajas para la fotocélula. [24].....	17
Tabla 16 Ventajas y desventajas para los sensores magnéticos. [25] .....	18
Tabla 17 Matriz de marco lógico para sensores.....	18
Tabla 18 Matriz de marco lógico para almacenamiento de energía .....	20
Tabla 19 Costo de elementos utilizados.....	57
Tabla 20 Costos por mano de obra y prestación de servicios. ....	59
Tabla 21 Tabla de costos de importación .....	59
Tabla 22 Datos de proyección.....	60
Tabla 23 Cálculo del TIR y VAN .....	60

## RESUMEN

El presente trabajo de titulación es la implementación de un dispositivo con el fin de brindar ayuda y soporte en la bodega de la empresa FARESA, en trabajos de levantamiento de cargas pesadas y traslado de cajas de pernos cuyo proceso de almacenamiento tiene una alta probabilidad de provocar lesiones a los trabajadores. Para lograr este objetivo se planifica el diseño y construcción de un dispositivo que, por medio de sensores, actuadores y un sistema de control programado, permita trasladar estas cargas de forma óptima garantizando la seguridad del usuario.

Se aborda los conceptos básicos relacionados con el funcionamiento y fabricación de sistemas del dispositivo, los cuales figuran como la base para el diseño del proyecto. Se llevaron a cabo cálculos detallados para la selección de materiales teniendo en cuenta la durabilidad, resistencia y peso óptimo requeridos, así como los cálculos para la selección de motores, el acondicionamiento de señales de control, el diagrama de bloques de la programación del microcontrolador y el esquema electrónico implementados en el prototipo.

El proceso de fabricación se llevó a cabo con un enfoque hacia el reciclaje de materiales proporcionados por la empresa. Se detallan las técnicas y procedimientos utilizados para la construcción de cada componente, desde la estructura hasta los sistemas de elevación de carga y movilidad. En este aspecto se priorizó la posibilidad de mantenimiento y recambio de repuestos, siguiendo estándares y normativas aplicables.

El resultado de la investigación y desarrollo de este trabajo de titulación es una máquina eléctrica de dimensiones reducidas diseñada específicamente para mejorar la maniobrabilidad en espacios pequeños, ofreciendo un alternativa eficiente y segura en un mercado en donde existen pocas o ninguna opción viable de compra.

**Palabras clave:** Fabricación de sistemas, durabilidad, maniobrabilidad, investigación, reciclaje.

## ABSTRACT

The present graduation project is the implementation of a device aimed at helping and support in the warehouse of FARESA company, particularly in tasks involving heavy lifting and transportation of bolt boxes. These tasks have a high potential for causing injuries to the workers. To achieve this objective, the design and construction of a device is planned, which utilizes sensors, actuators, and a programmed control system to enable optimal load transportation while ensuring user safety.

The project addresses the fundamental concepts related to the operation and manufacturing of the device's systems, which serve as the foundation for the project's design. Detailed calculations were carried out for material selection, considering durability, strength, and optimal weight requirements. Additionally, calculations were performed for motor selection, control signal conditioning, microcontroller programming block diagram, and the electronic scheme implemented in the prototype.

The manufacturing process was conducted with a focus on material recycling provided by the company. The techniques and procedures used for the construction of each component are detailed, ranging from the structure to the load lifting and mobility systems. Maintenance and spare parts replacement were prioritized in this aspect, following applicable standards and regulations.

The outcome of the research and development in this graduation project is a compact electric machine specifically designed to enhance maneuverability in small spaces. It offers an efficient and secure alternative in a market where there are few or no viable purchasing options available.

**Keywords:** Manufacturing of systems, durability, maneuverability, research, recycling.

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad de la industria y el comercio en Ecuador, la automatización de procesos y los estándares de seguridad se han convertido en aspectos fundamentales para la mejora de las técnicas productivas y la seguridad de los trabajadores. Se plantea el desafío de diseñar y construir una máquina elevadora de cargas, también conocido como montacarga, que permita una buena maniobrabilidad dentro de los espacios reducidos de la empresa FARESA y mejore las condiciones laborales para los usuarios, mermando la posibilidad de accidentes laborales.

El presente trabajo de titulación tiene como objetivo primordial dar a conocer el desarrollo y los resultados obtenidos en la fabricación de esta innovadora máquina. Para lograrlo se han realizado cálculos y análisis que respaldan el proceso de diseño y construcción, asegurando de esta manera, la eficiencia, seguridad y funcionalidad del montacargas.

En este documento se muestran los detalles que caracterizan el funcionamiento del dispositivo, tales como las capacidades de carga, el tamaño y resistencia de los componentes estructurales, así como también la selección y dimensionamiento de estos. Se describe exhaustivamente el proceso de fabricación, detallando los materiales utilizados, herramientas necesarias para la manufactura y las técnicas relevantes que fueron empleadas.

El montacarga de dimensiones reducidas desarrollada para este proyecto de titulación se presenta como una solución innovadora y adaptada a las necesidades específicas de la empresa FARESA. Se aspira que la implementación de este prototipo permita mejorar la eficacia y seguridad de las tareas de transporte y acopio de mercadería, en los espacios reducidos de bodega y taller de fabricación de resortes, brindando una mayor flexibilidad y confort a los usuarios, a su vez aumentando la productividad y reduciendo los riesgos laborales.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Diseñar y construir un montacarga eléctrico para instalaciones de almacenamiento reducidas compatible con insumos de ferretería industrial de considerable peso.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Analizar los fundamentos teóricos que describen las lesiones del área lumbar, mal uso de la fuerza al momento de levantar peso desde el piso, hasta una altura superior a la cabeza para obtener los parámetros de diseño.
- Diseñar un mecanismo automático utilizando herramientas CAD, programación de bloques y software de circuitos eléctricos para la fabricación del equipo.
- Realizar pruebas de funcionamiento que permitan generar un diseño totalmente cómodo y fácil de utilizar, evitando lesiones y percances laborales.

### **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Dentro del campo comercial de pernos e insumos de ferretería industrial de pequeña escala, existen áreas de bodega y acopio de mercadería previa distribución que, al ser un emprendimiento y al no contar con la infraestructura y la maquinaria necesaria para el traslado y almacenamiento de las cajas, resulta fatigado y poco ergonómico para el trabajador realizar tareas de abasto y venta del producto.

Producto de esto, el crecimiento de esta área laboral se ve restringido por los gastos en atención médica, gastos por sueldos en contratación de mayor cantidad de personal para una misma área, retardos en el despacho de mercadería lo cual genera una pérdida ínfima diaria, pero que a la larga limita el crecimiento de la empresa. Según el boletín estadístico del IESS , como se muestra en la Figura 1. [1]



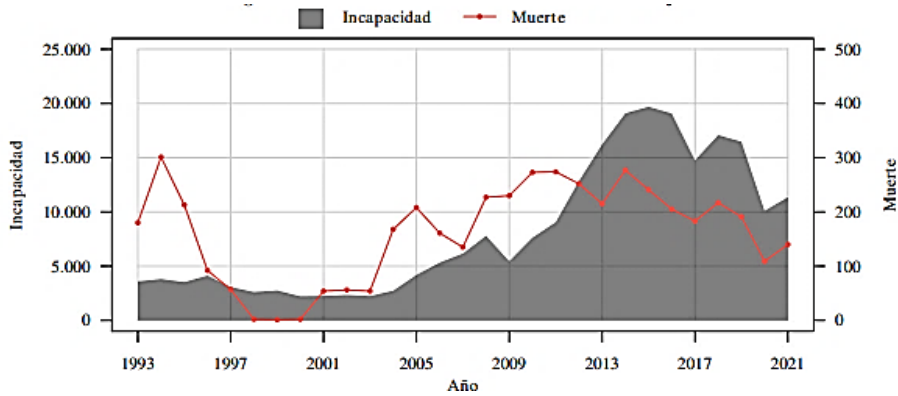


Figura 1 Evolución Histórica de Accidentes de Trabajo. [1]

Si bien es cierto durante el periodo fiscal 2020, se registró la menor cantidad de accidentes de trabajo de los últimos 5 años, en el 2021 se puede visualizar un incremento de accidentes y muertes durante la jornada laboral.

Lugar de Ocurrencia	Agricultura, Silvicultura, Caza y Pesca	Comercio al por Mayor y Menor, Restaurantes y Hoteles	Construcción	Electricidad, Gas y Agua	Establecimientos Financieros, Seguros y Bienes Inmuebles	Explotación de Minas y Canteras	Industrias Manufactureras	Servicio Comunal, Social y Personal	Transporte, Almacenamiento y Comunicación	No Definido	Total
<b>Total</b>	1.103▲	2.162▲	335▲	2.493▲	4.062▲	208▲	266▲	158▲	581▲	135▼	11.502▲
Al Ir o Volver del Trabajo (In Itinere)	177▲	538▲	40▲	455▲	976▲	28▲	34▲	34▼	227▲	26▼	2.535▲
Desplazamiento en Jornada Laboral	25▲	288▲	15▲	94▲	409▲	11▲	11▲	16▲	151▲	14▼	1.034▲
Centro o Lugar de Trabajo Habitual	859▲	1.087▲	236▲	1.707▲	2.199▼	145▼	197▲	72▼	181▲	80▼	6.763▲
Otro Centro o Lugar de Trabajo	44▼	186▲	38▲	217▲	388▲	20▲	24▲	25▼	23▲	12▲	977▲
Comisión de Servicios Desconocido	4▲	78▲	7▼	28▼	114▲	4▲	1▼	11▲	25▲	5▲	277▲

Figura 2 Accidentes de Trabajo por Tipo y Actividad. [1]

Tomando en cuenta el enfoque del proyecto, el cual está dirigido a las bodegas de establecimientos de comercio de insumos y repuestos industriales, se puede definir el área dentro del Comercio al por mayor y menor, en la Figura 2 se observa que el área de comercio, tan solo en este año, mantienen el tercer lugar con mayor número de percances laborales.

Si se tiene en cuenta el lugar de ocurrencia de los accidentes de trabajo, se observa que la mayor cantidad ocurren en la zona de trabajo, esto pudiendo inferir en establecimientos de bodega o empaque que son las áreas en donde los empleados corren mayor riesgo dentro de la jornada laboral.

La ausencia de precauciones en estas áreas de trabajo es notoria, si bien es cierto existen normativas que regulan y precautelan la integridad del trabajador, no son tan estrictas como, por ejemplo, en las industrias de manufactura. Es por eso por lo que es necesario el correcto uso y mantenimiento de las instalaciones de acopio de mercadería así también, es imprescindible el uso de maquinaria o dispositivos que ayuden al trabajador a manipular de mejor manera las cargas excesivas, por lo tanto, el montacarga electrohidráulico llega a mermar los riesgos por manipulación de carga, evitando siniestros, promoviendo la automatización y crecimiento productivo de este sector.

## **JUSTIFICACIÓN**

En el mercado ecuatoriano no existe como tal un dispositivo compatible con las necesidades específicas que se plantea suplir con este proyecto. Las limitaciones de espacio, costos y capacitación impiden el uso de montacargas convencionales en el área laboral objetivo al que se plantea introducir esta máquina.

El montacarga eléctrico, llega a suplir el esfuerzo realizado por el trabajador y asistir de modo intuitivo, de tal manera que se acortan los tiempos de operación y el riesgo de lesiones hacia el usuario.

Usualmente las lesiones lumbares no ocurren por un evento en específico durante la labor de levantar cajas, generalmente los daños son el resultado de años de malas posturas, repetitivas generando una debilitación muscular de la zona inferior de la espalda y el estómago. Estas lesiones frecuentemente son musculares sin embargo en situaciones laborales en donde se realiza un movimiento repetitivo durante un largo periodo de tiempo, puede generar daños a nivel esquelético, discos y nervios se ven comprometidos, estos daños son catalogados como serios. [2] Es factible utilizar un sistema de compresión muscular, las fajas lumbares permiten una fijación extra en el tronco inferior, lo cual es efectivo durante levantamiento de pesas sin embargo genera laceraciones si se utiliza por demasiado tiempo o con ropa gruesa. [3] Se entiende que estas condiciones se cumplen en la mayoría de los establecimientos de acopio de mercadería en donde es necesario un buen uso de la fuerza o en lo posible evitar este tipo de acciones.

# CAPÍTULO I

## MARCO TEÓRICO

### GENERALIDADES

Este capítulo contiene las definiciones empleadas para el diseño y construcción de un montacarga eléctrico o perchador eléctrico, tales como: electrónica, teoría de control, funcionamiento de motores eléctricos, electrónica de potencia y los conceptos básicos de estática y análisis estructural. Posteriormente se da a conocer el proceso de análisis de las alternativas para la selección de la opción más adecuada hacia la solución del problema planteado, tomando en cuenta factores importantes delimitados por la empresa, como la disponibilidad del mercado para repuestos y la reducción de costos, por mencionar algunos. Para finalizar se desarrolla un análisis de opciones para la selección de los elementos que, posteriormente, formarán parte de los mecanismos e implementación de circuitos electrónicos dentro del sistema de control del proyecto, utilizando herramientas esquemáticas como: cuadros de ventajas y desventajas, matrices de marco lógico y una descripción a grandes rasgos de cada elemento tomado en cuenta para esta selección.

#### 1.1 Carretilla para el transporte de mercadería o montacarga

Para comprender de mejor manera el problema se debe definir más detalladamente lo que es un montacargas contrapesado tradicional, sus características y funcionamiento, ya que estas máquinas se conciben como un medio de transporte a gran escala industrial.

La carretilla elevadora contrapesada es denominada así debido al contrapeso de hierro de gran magnitud que se encuentra integrado en su sección posterior. Se enmarca en la categoría de cargadoras de tipo voladizo, lo que implica que transportan la carga delante de su punto de pivote. Estas carretillas contrapesadas, además de presentar una alta velocidad, son óptimas para llevar a cabo labores tanto intramuros como extramuros del almacén, si bien están especialmente recomendadas para operaciones en ambientes exteriores debido a su estructura y diseño. [4]

Entonces el montacargas como tal está diseñado para su uso a gran escala y en exteriores, de tal manera que es necesario una extensión considerable de espacio para maniobrar correctamente. El uso de estos dispositivos en un almacén de un negocio o emprendimiento entonces es inconcebible, sin contar con la inversión considerable que la empresa debe realizar. Sin embargo, los nuevos avances en tecnologías de almacenamiento de

energía eléctrica en celdas de litio han permitido la implementación de nuevos sistemas para interiores.

Para mover estas máquinas existen dos tipos de energía utilizada, o en otras palabras las carretillas pueden tener dos tipos de motores:

- Pueden utilizar un motor diésel, gasolina, gas licuado (GLP), etc. con un motor térmico. en general, son carretillas para espacios abiertos y ventilados.
- Las carretillas equipadas con motores eléctricos que funcionan con baterías recargables son especialmente diseñadas para su uso en espacios interiores. [4]

Esta es una de las razones por la cual este proyecto se direccionó hacia la energía eléctrica, ya que brinda la ventaja de no emitir contaminantes volátiles dentro de un resiento cerrado que pueda provocar molestias en las personas.

## **1.2 Electrónica**

Como todo dispositivo moderno, el montacarga eléctrico será gobernado por circuitos electrónicos, que permitirán al sistema de control retroalimentado generar movimientos, así como brindar datos importantes por medio de fines de carrera y sensores.

Una comparación bastante descriptiva se puede hacer con el flujo de agua en una tubería, siempre y cuando no esté congelada. Al abrir el grifo, la presión del agua empuja el líquido para que salga de la tubería. Este mismo principio se aplica a un circuito eléctrico: al encender la luz de una lámpara, se permite que un voltaje impulse los electrones a través de un conductor, generando así la luz que ilumina. [5]

## **1.3 Motores eléctricos**

El movimiento de traslación del montacarga y la manipulación de las cajas se realizará por medio de motores eléctricos DC, que trasformarán la energía eléctrica de las baterías en movimiento mecánico, para lo cual es necesaria la selección del motor adecuado dependiendo de la función.

Es necesario mencionar que el dispositivo debe ser accionado por varios motores, en primer lugar, es necesario de un motor en la rueda que permita generar el movimiento de forma eficiente, ese motor debe ser de baja velocidad.

El motor trifásico de inducción, también conocido como motor de Jaula de ardilla, se destaca por su menor tamaño en términos dimensionales, pero exhibe un impresionante

potencial electromecánico. Su rasgo distintivo es su capacidad para regular eficientemente la velocidad en condiciones de carga variables. [6]

En el mecanismo de manipulación de carga son necesarios motores con dos características fundamentales, torque elevado y precisión de movimiento. De acuerdo con las necesidades del problema, existen dos posibilidades, motor a pasos de alto torque o motor DC estándar con caja reductora o multiplicadora de par. [7]

#### 1.4 Electrónica de potencia

Dentro del control necesario para manipular mecanismos eléctricos de alto potencial mecánico o electromotriz es necesario, generar una subred de circuitos enfocados al manejo de cargas de voltaje elevadas, que tengan el potencial electromotriz suficiente para generar movimientos en el montacarga, tomando en cuenta que se requieren fuerzas considerablemente elevadas para manipular las cajas de pernos o insumos industriales.

En líneas generales, la electrónica de potencia se enfoca en el diseño, control y manejo eficiente de dispositivos y circuitos electrónicos que convierten y regulan la energía eléctrica en distintas formas. Su objetivo es optimizar la transferencia y distribución de la potencia eléctrica en sistemas industriales, electrónicos y de energía renovable. La electrónica de potencia juega un papel crucial en la mejora de la eficiencia energética, delimitando circuitos de control de los circuitos de potencia generalmente de mayores potencias frecuencias de entre 50 Hz a 60 Hz como se observa en la Figura 3 [8]

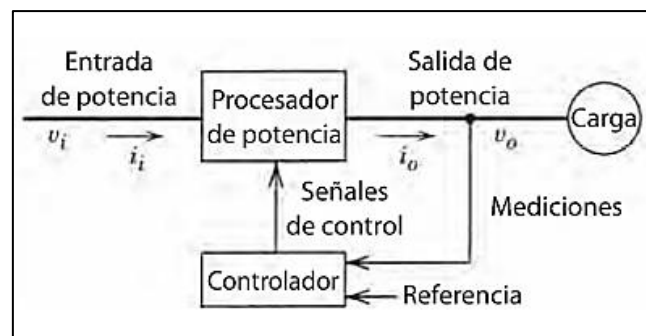


Figura 3 Diagrama de bloques de un sistema de electrónica de potencia. [8]

#### 1.5 Teoría de control

Parte importante del proyecto está en desarrollar un sistema de control que permita al usuario utilizar un mecanismo automatizado que evite errores por medio de una retroalimentación. [9]

El control realimentado, también conocido como control con retroalimentación, es una técnica operativa que, a pesar de verse afectada por perturbaciones, tiene como objetivo disminuir la disparidad entre una entrada de referencia y el resultado deseado del proceso. Esta técnica sigue actuando en función de esta discrepancia hasta lograr que el sistema se estabilice y, en el escenario óptimo, hasta que la diferencia entre la entrada de referencia y el resultado desaparezca por completo.[10]

## **1.6 Estática y análisis estructural**

### **1.6.1 Estática**

La estática se define como el análisis físico de un cuerpo en total reposo, este estudio permite obtener valores numéricos de fuerzas que puedan generar una rotura o deformación del material que constituye al cuerpo que se está poniendo a prueba. Para el diseño del montacarga es sumamente necesario realizar un cálculo de estática y esfuerzos sobre toda la estructura, para dimensionar las características de los perfiles y tipos de unión que sujetarán todas las piezas. [11]

También se busca predecir fallos y detectar posibles puntos débiles en los cuales será necesario implementar sistemas de refuerzo. [12]

### **1.6.2 Mecánica de materiales**

Al hablar de análisis estructural es necesario dirigir el estudio hacia el campo de la mecánica de materiales, ya que existe una relación estrecha con los estudios realizados en esta tesis, si se toma en cuenta los enunciados en esta área, es de suma importancia mencionar que el diseño mecánico se basa en el estudio de los materiales, de esta manera se pueden aplicar los atributos de los materiales con el fin de lograr el objetivo de maximizar la resistencia del dispositivo.

El esfuerzo, que representa la magnitud de las cargas distribuidas en una sección específica, se delimita como la fuerza multiplicada por unidad de área. En este contexto, se utiliza el símbolo griego sigma ( $\sigma$ ) para representarlo. Para una unidad con un área transversal A, sometido a una carga axial P como se muestra en la Figura 4 el esfuerzo se calcula dividiendo la magnitud de la carga P por el área A. [13]

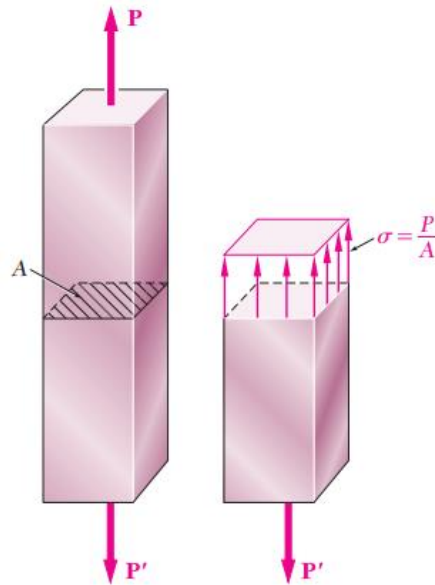


Figura 4 Esfuerzo de un elemento sobre un área A. [12]

### 1.7 Selección de alternativas

La mercadería, en este caso, cajas de perno, se encuentran almacenadas en estanterías de hasta 2 metros de alto, en sus niveles más altos. Los pasillos entre estanterías tienen una dimensión de anchura de 80 cm.

Las medidas de las cajas de perno son variables según el fabricante y tipo de perno, sin embargo, se estandarizó las dimensiones tomando en cuenta las cajas más grandes, mismas que constan de las siguientes medidas, de largo 26 cm por 26 cm de ancho y 20 cm de alto.

El peso de estas cajas puede llegar a ser importante, si se considera el tipo de acero generalmente usado en pernos ejes y tornillos, por su bajo costo y buena resistencia, es el acero semidulce con porcentaje de carbono alrededor de 0.35%, estos aceros tienen una alta densidad y esto se ve reflejado en su peso, que van desde 18 a 25 kg. [14]

Esta última característica hace que su desplazamiento se torne complicado tomando en cuenta que, la persona encargada de realizar estas labores es una persona de 50 años, estatura promedio de 1,70 m, por lo tanto, realizar actividades de inventario y acopio de estas cajas se torna complicada y hasta riesgosa.

### 1.7.1 Alternativas

#### a) Compra de un montacarga a gas

Esta alternativa en conjunto con el incremento de dimensiones de bodega, de pasillos y repisas, genera un espacio adecuado en el cual un montacarga tradicional puede maniobrar de manera correcta. Se plantea la creación de la Tabla 1 que da a notar las ventajas y desventajas que posee el montacarga propulsado por gas, y de esta manera permita focalizar el criterio con el fin de seleccionar una alternativa adecuada.

Tabla 1 Ventajas y desventajas de alternativa a. [15]

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"><li>• Alta capacidad de carga</li><li>• Combustible económico</li><li>• Mayor durabilidad</li><li>• Autonomía de funcionamiento extendida</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Inversión primaria costosa</li><li>• Elevados costos de mantenimiento</li><li>• Necesaria capacitación para el manejo del montacarga</li><li>• Requiere inversión en perchas y bodega de mayor tamaño</li></ul>

#### b) Adquisición de un apilador semi eléctrico

Esta maquinaria es intuitiva y fácil de usar, cuenta con dimensiones reducidas y una alta capacidad de carga, tomando en cuenta sus dimensiones. Aun así, es necesaria una adaptación en el espacio de bodega para su correcta articulación. De acuerdo con lo que se observa en la Tabla 2, se pueden observar las ventajas y desventajas que describen las fortalezas y carencias que tiene un apilador semiautomático.

Tabla 2 Ventajas y desventajas de alternativa b. [15]

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"><li>• Dimensiones reducidas</li><li>• No emite gases de escape</li><li>• Control intuitivo</li><li>• No emite contaminación auditiva</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Inversión costosa</li><li>• Alto costo de mantenimiento</li><li>• Baja disponibilidad de repuestos</li></ul>

#### c) Diseño e implementación de un montacarga de dimensiones reducidas.

Este dispositivo se adaptará a las dimensiones existentes de la bodega, evitando de esta manera un gasto adicional, así como la implementación de medidas de seguridad



que garanticen la integridad del operador, mermando el riesgo de lesiones, se planifica el diseño de un sistema liviano y fácil de utilizar en comparación a sus competidores sobre todo si toma en cuenta el montacarga clásico. En la Tabla 3 descrita a continuación se dan a conocer las ventajas y desventajas del diseño e implementación de un montacarga.

Tabla 3 Ventajas y desventajas alternativa c.

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inversión mínima</li> <li>• Dimensiones del dispositivo acorde con el área ya existente en bodega</li> <li>• Control intuitivo</li> <li>• No genera emisiones contaminantes</li> <li>• Disponibilidad de repuestos en el mercado</li> <li>• Diseño acorde con las necesidades requeridas</li> <li>• Costo de inversión baja</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Capacidad de carga reducida</li> </ul>

### 1.7.2 Criterios de evaluación

- **Costo:** En este apartado se busca optimizar la inversión, es decir obtener el mayor beneficio invirtiendo la menor cantidad de dinero.
- **Sistema de control intuitivo:** El control de la maquinaria no debe requerir capacitaciones o cursos adicionales necesarios para su manipulación.
- **Capacidad de carga:** Las capacidades de carga en este caso se centran en un mecanismo o maquinaria que logre mover transportar y levantar hasta los 100kg
- **Motorización:** El espacio de trabajo en donde se pretende operar esta máquina es cerrado, por lo tanto, se busca un dispositivo que funcione con electricidad para evitar gases y productos mismos de la combustión.
- **Dimensiones:** Previo a la descripción de las necesidades es claro que la solución a este problema debe tener unas dimensiones reducidas que permitan su funcionamiento en un espacio de 80 cm de ancho.

Para evaluar las alternativas se pondera un sistema de calificaciones en el cual se calificará del 1 al 5 la viabilidad de cada alternativa en función a los criterios descritos anteriormente, en donde 1 será la opción menos viable y 5 la opción más adecuada.

Tabla 4 Matriz de alternativas.

Ponderadores	0.3	0.2	0.1	0.2	0.2	Suma=1
Alternativas/Criterios	Costo	Control Intuitivo	Capacidad de carga	Motorización	Dimensiones	Puntaje de la alternativa
Montacarga a Gas	1	2	5	1	0	0.7
Apilador semi eléctrico	2	3	4	4	3	1.39
Diseño e implementación montacarga	4	4	2	5	5	2.2

Con los resultados obtenidos de la Tabla 4 se determina que la mejor opción para una correcta solución del problema expuesto es el Diseño e implementación de un montacargas eléctrico de dimensiones reducidas.

## 1.8 Selección de elementos del prototipo

### 1.8.1 Estructura

El dispositivo estará sometido a cargas considerables de peso por ende toda su estructura deberá estar manufacturada en acero estructural, en mayor parte don puntos de unión por soldadura SMAW, colocando refuerzos triangulares en los puntos de mayor esfuerzo.

### 1.8.2 Sistema de control

Para el control del mecanismo es necesario un dispositivo con entradas y salidas, programable de buena durabilidad y correcto funcionamiento en condiciones de temperatura y presión normales, al controlar de forma óptima los movimientos de traslación del dispositivo, así como la manipulación de la carga en los elevadores.

### 1.8.2.1 Alternativas

#### a) Arduino UNO

Esta tarjeta mostrada en la Figura 5 se observa la estructura del Arduino UNO replica, posee un microcontrolador ATmega328P, su programación es sencilla y cuenta con una inmensa comunidad de desarrolladores de código, por lo que es sencillo encontrar soporte para cualquier tipo de aplicación. [16]

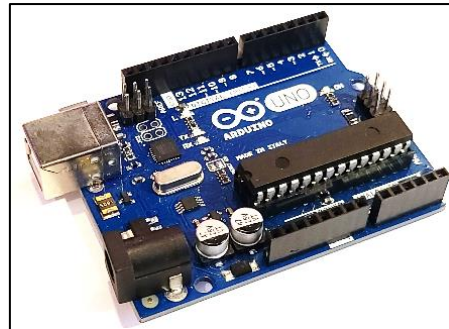


Figura 5 Arduino UNO. El autor.

La Tabla 5 muestra las ventajas y desventajas de utilizar un Arduino UNO relevantes para la implementación de este prototipo, brindando un punto de comparación para la selección definitiva.

Tabla 5 Ventajas y desventajas para Arduino UNO. [16]

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"><li>• Económico</li><li>• Fácil programación</li><li>• Disponibilidad en el mercado</li><li>• Soporte extenso de códigos por su amplia comunidad</li><li>• Basta compatibilidad con módulos y tarjetas complementarias</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Sistema electrónico frágil a sobrecargas</li><li>• Bajo poder de procesamiento</li><li>• Pocas entradas y salidas analógicas</li></ul>

#### b) STM32 Nucleo

La placa de desarrollo STM32 que se observa en la Figura 6 es una plataforma electrónica basada en microcontroladores de la serie STM32 de STMicroelectronics. Estas placas ofrecen una gran cantidad de características y capacidades para el desarrollo de proyectos de electrónica y programación avanzada Su programación está basada en lenguaje C lo que lo hace más accesible en su uso. Este dispositivo mantiene

destacables características como su poder de procesamiento memoria y variedad de sistemas integrados que facilitan su aplicación. [17]

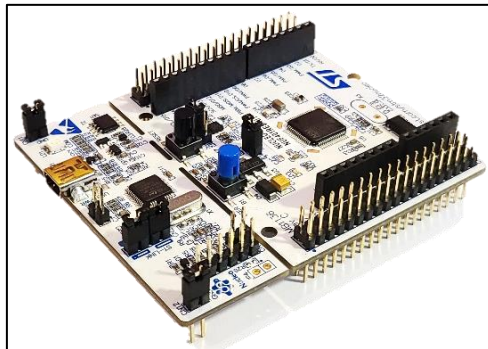


Figura 6 STM32 Nucleo F401RE. El autor.

La Tabla 6 que se muestra a continuación exhibe las ventajas y desventajas que caracterizan a esta tarjeta de desarrollo, tomando en cuenta las limitantes del trabajo de titulación.

Tabla 6 Ventajas y desventajas para STM32 Nucleo. [17]

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Económico</li> <li>• Buen rango de voltajes de funcionamiento</li> <li>• Disponibilidad en el mercado</li> <li>• Compatibilidad con terminales Arduino UNO R3, misma compatibilidad de módulos que Arduino UNO</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Requiere mayor nivel de conocimientos de programación</li> <li>• Rango de voltajes soportados por las entradas limitado</li> </ul>

### c) PLC LOGO!

Este controlador forma parte de la familia de PLC de Siemens, diseñados para brindar una solución confiable y escalable en entornos industriales exigentes. El PLC LOGO! Expuesto en la Figura 7 ofrece capacidades de programación flexibles y una amplia gama de interfaces de comunicación para interactuar con dispositivos y sistemas periféricos. Con su alta capacidad de procesamiento y robustez, este controlador permite automatizar y optimizar eficientemente diversos procesos industriales. [18]



Figura 7 PLC Siemens LOGO. El autor.

La información descrita en la Tabla 7 muestra las ventajas y desventajas que caracterizan al PLC LOGO!, cabe destacar que estos datos describen generalidades de toda la familia PLC de Siemens.

Tabla 7 Ventajas y desventajas para PLC LOGO!. [18]

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Interfaz profesional con soporte y garantía Siemens</li> <li>• Sistema electrónico robusto, diseñado para la industria</li> <li>• Gran capacidad de procesamiento</li> <li>• Incluye placa de terminales de tornillo para una mejor sujeción de cables</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sumamente costoso</li> <li>• Requiere conocimientos para su programación</li> <li>• Baja disponibilidad del mercado</li> <li>• Las prestaciones exceden el trabajo al cual va a estar sometido</li> </ul>

### 1.8.2.2 Criterios de evaluación

- **Costo:** Uno de los objetivos de esta titulación es la reducción de costos para una inversión mínima, por ende, se dará la calificación más alta al tipo de controlador más económico. Sin embargo, este es el apartado con mayor importancia dentro de los criterios de evaluación.
- **Sistema electrónico robusto:** En este apartado se le dará una ponderación de mayor rango a la alternativa con sistema electrónico más robusto y resistente a desfases, cortos o picos de tensión. Este punto es importante ya que se planifica generar un dispositivo resistente y con poco mantenimiento.
- **Disponibilidad del mercado:** En el caso de daños es necesario tomar en cuenta la disponibilidad para repuestos dentro del país.

A continuación, se presenta la Tabla 8 de alternativas, que ayudará seleccionar el controlador adecuado.

Tabla 8 Matriz de alternativas para sistema de control

Ponderadores	0.5	0.3	0.2	Suma=1
Alternativas/Criterios	Costo	Sistema electrónico robusto	Disponibilidad del mercado	Puntaje de la alternativa
Arduino	4	2	5	3.6
STM-32 Nucleo	5	2	5	4.1
PLC	1	5	3	2.6

Posterior a la ponderación de las alternativas, se concluye que, el dispositivo adecuado para la programación es el microcontrolador STM32 Nucleo, por su excelente capacidad de cálculo, mayor cantidad de puertos de entrada y salida de datos, la posibilidad de manejar un rango de voltaje conveniente y por su compatibilidad con módulos de acople de Arduino UNO.

### 1.8.3 Actuadores

Estos dispositivos se encargarán de transformar la energía almacenada, en este caso en las baterías, en energía mecánica o movimientos de traslación por lo tanto un motor de corriente continua DC. Se toma en cuenta también las cargas de peso que tienen que lograr mover estos motores, que es alrededor de 5 N-m de par nominal.

#### 1.8.3.1 Alternativas

##### a) Motor de imanes permanentes



Figura 8 Motor DC 12V de imanes permanentes. El autor.

El dispositivo mostrado en la Figura 8 es un tipo de motor eléctrico en el que se utilizan imanes permanentes para generar el campo magnético en lugar de bobinas, este campo magnético es necesario para la rotación del motor. Estos imanes permanentes son generalmente hechos de materiales magnéticos fuertes, como el neodimio o el samario-cobalto. [19]

Tabla 9 Ventajas y desventajas para motor de imanes permanentes. [19]

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Buena relación potencia peso</li> <li>• Alta eficiencia energética</li> <li>• Compacto</li> <li>• Económico</li> <li>• Alta precisión de velocidad y torque</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pueden verse afectados por altas temperaturas</li> </ul>

## b) Motor Brushless

También llamado motor sin escobillas es un tipo de motor eléctrico que utiliza imanes permanentes en el rotor y bobinas electromagnéticas en el estator para generar el movimiento. Este motor puede funcionar en un amplio rango de revoluciones siendo más utilizado para aplicaciones que requieran alta velocidad angular, dependiendo de la configuración de las bobinas estos motores también pueden tener un alto torque, utilizados también por el mismo hecho en taladros inalámbricos por su fiabilidad y versatilidad. [19] En la Figura 9 se muestra un motor brushless con caja reductora para incrementar el par de trabajo.



Figura 9 Motor brushless con caja reductora. [20]

A continuación, en la Tabla 10 se dan a conocer las ventajas y desventajas que este motor ofrece.

Tabla 10 Ventajas y desventajas para motor Brushless. [19]

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vida útil extendida</li> <li>• Alta eficiencia energética</li> <li>• Buen control de velocidad y torque</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Control electrónico más sofisticado</li> <li>• Mayor costo</li> </ul>

c) Motor de escobillas

En este motor eléctrico se utilizan escobillas de carbono para transferir la corriente eléctrica al rotor y generar el movimiento. Estas escobillas hacen contacto con un conmutador que cambia la dirección de la corriente en las bobinas electromagnéticas del rotor, lo que crea un campo magnético rotativo y produce el movimiento del motor. [21]

Tabla 11 Ventajas y desventajas para motor de escobillas. [21]

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Económico</li> <li>• Construcción simple</li> <li>• Buen control de velocidad y torque</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Requiere mantenimiento más frecuente debido al desgaste de las escobillas</li> </ul>

### 1.8.3.2 Criterios de evaluación

- **Costo:** En este apartado no solo se busca la alternativa más eficiente y económica, sino también la relación de costo y mantenimiento del motor.
- **Bajo mantenimiento:** En cumplimiento con uno de los objetivos este apartado busca minimizar los gastos de mantenimiento, por ende, este es un punto se considera de vital importancia para el desarrollo del proyecto.
- **Control electrónico simple:** Para razones de control electrónico es necesario implementar un sistema de control de motor simple y económico para facilidad de detección de errores en caso de falla.

En la siguiente Tabla 12 se muestran los resultados de la ponderación en función de los criterios antes mencionados.

Tabla 12 Matriz de marco lógico para actuadores

Ponderadores	0.4	0.3	0.3	Suma=1
Alternativas/Criterios	Costo	Bajo mantenimiento	Control electrónico simple	Puntaje de la alternativa
Motor de imanes permanentes	4	4	4	4
Motor Brushless	2	5	2	2.9
Motor de escobillas	5	2	4	3.8



De esta manera la mejor alternativa para la generación de potencia mecánica es el motor DC de imanes permanentes.

#### 1.8.4 Sensores

Para el control adecuado del dispositivo es necesario una serie de entradas lógicas que permitan comprender al microcontrolador el estado en el que se encuentra el equipo. Los sensores se encontrarán sometidos a la intemperie, polvo y virutas de metal por lo que sus características deben ser sobre todo buena resistencia. [22]

##### 1.8.4.1 Alternativas

###### a) Interruptor límite o fin de carrera

Este dispositivo es un elemento electromecánico utilizado para detectar la presencia o ausencia de objetos o para detectar los límites de movimiento en una máquina o sistema. Consiste en un interruptor, como se puede apreciar en la

Figura 10, que se activa mecánicamente cuando un objeto alcanza una posición específica o cuando se aplica una fuerza determinada. [23]



Figura 10 Final de carrera. El autor

Es importante mencionar que este tipo de sensor posee ciertas características que se toman en cuenta en la Tabla 13, mismas que han sido consideradas por su relevancia en la implementación de este prototipo.

Tabla 13 Ventajas y desventajas para el interruptor límite o fin de carrera. [23]

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"><li>• Económico</li><li>• Fácil de implementar</li><li>• Conexiones y cableado sencillo</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Cuerpo frágil a rupturas</li><li>• Al ser un interruptor de vástago expuesto, tiende a ensuciarse y causar falsos contactos o ningún contacto</li></ul>

## b) Sensor de proximidad

El sensor de proximidad, representado en la Figura 11, es un dispositivo empleado para identificar la presencia o cercanía de objetos sin requerir un contacto físico directo. Estos sensores hacen uso de distintos principios de detección, como la capacitancia, inductancia, ultrasonido o infrarrojos, para percibir variaciones en el campo eléctrico, magnético o en las ondas reflejadas. [22]



Figura 11 Sensor de proximidad inductivo normalmente abierto. El autor.

Este tipo de sensor presenta una serie de características que a primera vista posicionan este sensor como el más adecuado, sin embargo, hay que tomar en cuenta de igual manera las desventajas presentadas en la Tabla 14.

Tabla 14 Ventajas y desventajas para el sensor de proximidad. [22]

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"><li>• Sistema de sujeción fija y segura</li><li>• Cuerpo cerrado mantiene protegidos al sensor de derrames de líquidos y polvo</li><li>• No necesita contacto físico para generar el dato</li><li>• Al no tener partes móviles el sensor tiene una vida útil extendida</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Alcance de detección limitado</li><li>• Las vibraciones pueden causar interferencia en el censado</li></ul>

## c) Fococélula

Una fotocélula, es un dispositivo que utiliza la detección de luz para realizar tareas específicas. Consiste en una combinación de emisor y receptor de luz, donde el emisor emite un haz de luz y el receptor detecta los cambios en la intensidad o la

presencia de ese haz. [24] A continuación, se presenta una lista de ventajas y desventajas descritas en la Tabla 15.

Tabla 15 Ventajas y desventajas para la fotocélula. [24]

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"><li>• Detección sin contacto</li><li>• Respuesta de censado rápida</li><li>• Detección de objetos transparentes</li><li>• Detección precisa</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Sensibilidad a la luz ambiental</li><li>• Limitaciones en la detección de superficies reflejantes</li><li>• Funcionamiento inadecuado en condiciones extremas calor humedad o polvo</li></ul>

#### d) Sensores magnéticos

El sensor magnético mostrado a simple vista en la Figura 12, es un dispositivo utilizado para detectar campos magnéticos y convertirlos en señales eléctricas. Estos sensores emplean principios como la magnetorresistencia, el efecto Hall o el cambio en la inductancia para detectar la presencia, posición o movimiento de objetos magnéticos. [25]

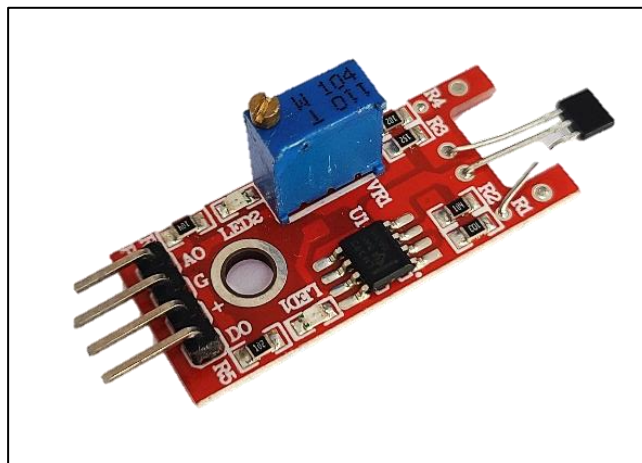


Figura 12 Sensor magnético efecto Hall. El autor

La electrónica manipulable de este sensor puede resultar ventajosa para esta selección de alternativas, no obstante, se toman en cuenta también el panorama completo por medio de la Tabla 16, en donde se describen sus ventajas y desventajas.

Tabla 16 Ventajas y desventajas para los sensores magnéticos. [25]

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Detección sin contacto</li> <li>• Respuesta de censado rápida</li> <li>• No se ven afectados por las condiciones ambientales</li> <li>• Destable uso en aplicaciones de censado de posición y velocidad</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sensibilidad a la luz ambiental</li> <li>• Limitaciones en la detección de superficies reflejantes</li> <li>• Funcionamiento inadecuado en condiciones extremas calor humedad o polvo</li> </ul>

#### 1.8.4.2 Criterios de evaluación

- **Costo:** Aunque es un punto importante estos sensores no son muy costosos por lo que se pondera este criterio como un punto de menor importancia
- **Resistencia y durabilidad:** Este criterio es el punto más importante, el elemento debe cumplir con su trabajo bajo condiciones de polvo y limallas metálicas, de esta manera evitar daños y generar un mantenimiento a largo plazo.
- **Sistema de sujeción fijo:** El sensor debe proporcionar un sistema de sujeción firme.
- **Funcionamiento simple:** Los sensores deben constar de un funcionamiento simple de un solo cuerpo, evitando así la mayor cantidad de conexiones y posibles elementos que puedan fallar.

Evaluando las alternativas disponibles en el mercado y poniendo en consideración los criterios de evaluación se tiene como resultado la Tabla 17.

Tabla 17 Matriz de marco lógico para sensores

Ponderadores	0.2	0.4	0.15	0.25	Suma=1
Alternativas/Criterios	Costo	Resistencia y durabilidad	Sistema de sujeción fijo	Funcionamiento simple	Puntaje de la alternativa
Interruptor limito o fin de carrera	5	2	4	5	3.4
Sensor de proximidad	3	5	5	4	4.35
Fotocélula	4	2	1	3	2.5
Sensores magnéticos	2	4	4	4	3.6

De este modo posterior a la ponderación de los datos se obtuvo que, la mejor alternativa para esta aplicación son los sensores de proximidad por su alta resistencia en condiciones de polvo y limallas, así como su sistema de sujeción fijo y su fácil cableado al ser solo 3 líneas.

### 1.8.5 Almacenamiento de energía

El dispositivo se moverá por las instalaciones de la bodega, por ende, es necesario una reserva de energía eléctrica ubicada dentro del mismo prototipo. De esta manera proporcionando movilidad y funcionamiento simple, sin depender de cables, por otro lado, las baterías que conformen este sistema al ser de peso considerable ayudarán a la estabilidad y equilibrio del dispositivo.

#### 1.8.5.1 Alternativas

- **Fabricación de batería con celdas 18650:** Para esta alternativa es necesario mencionar las ventajas que proporciona una batería de este tipo. Por una parte, las baterías Ion Litio tienen mayor durabilidad en función de los ciclos de carga, pueden almacenar mayor cantidad de energía en menos espacio y por ende la degradación de estas celdas es mucho menor que el de otro tipo de material. [26]

También se puede mencionar que, al fabricar una unidad de almacenamiento, se obtienen características específicas de voltaje y corriente necesarias para el funcionamiento del dispositivo. Por contraparte este tipo de celdas requieren un sistema de administración electrónico de carga mucho más complejo, esto sumado al costo elevado de las baterías resulta en una inversión elevada.

- **Batería ácido plomo automotriz:** Esta unidad de almacenamiento de energía ácido plomo cuenta con una amplia disponibilidad en el mercado, así como variedad de modelos y calidades. Si se compara el costo/beneficio que ofrecen estas baterías, resulta en una alternativa factible ya que si existe una avería o daño en la celda es mucho más económico y fácil conseguir una batería de repuesto. Si se refiere a capacidad, estos acumuladores están diseñados para suministrar valores de corriente altos continuamente sin afectar su estructura, si se cuenta con un motor DC de 12V 6A se debe tomar en cuenta que la capacidad de la misma, esta se define como Amperios/hora que es la cantidad de amperios de corriente que la batería puede suministrar durante una hora hasta agotar su capacidad [27], por ende este parámetro es de vital importancia a la hora de seleccionar uno de estos acumuladores en el

mercado. Se puede mencionar también que su sistema de recarga es mucho más económico y de fácil aplicación. Su desventaja en cuestiones de durabilidad es su baja resistencia a la degradación en ciclos de carga, este tipo de baterías requieren un pequeño mantenimiento periódico y es probable que exista filtración de ácido el cual es un agente corrosivo que puede generar daños en la estructura del dispositivo.

### 1.8.5.2 Criterios de evaluación

- **Costo:** Este es un punto clave de decisión ya que la batería puede llegar a ser uno de los elementos más costosos del proyecto, por lo tanto, se dará una ponderación de mayor importancia en comparación a los demás criterios de evaluación
- **Administración de carga simple:** El funcionamiento de este sistema debe permitir una fácil reparación en caso de daño, así como la obtención de repuestos y una forma sencilla de implementarlo al dispositivo.
- **Disponibilidad del mercado:** Este elemento estará sometido a cargas y descargas continuas a lo largo de su vida útil por ende será el componente que requiera un cambio o reparación a corto plazo, por ende, es necesario contar con un respaldo y disponibilidad de repuestos en manera fácil y rápida.

Tomado en cuenta estos criterios se genera una tabla con la cual es posible decidir de mejor manera la alternativa más factible para el desarrollo del proyecto.

Tabla 18 Matriz de marco lógico para almacenamiento de energía

Ponderadores	0.5	0.2	0.3	Suma=1
Alternativas/Criterios	Costo	Administración de carga simple	Disponibilidad del mercado	Puntaje de la alternativa
Fabricación de batería (celdas 18650)	2	2	3	2.3
Batería acido plomo automotriz	5	3	5	4.6

Cabe mencionar que el peso de las baterías es una variable despreciable en esta decisión ya que este elemento se va a ubicar en la parte baja del dispositivo para brindar mayor estabilidad y equilibrio al mismo.

De esta manera con los datos obtenidos en la Tabla 18 se decide que la mejor opción en este caso es la batería ácido plomo automotriz, por su bajo costo y amplia disponibilidad en el mercado, así como si gran variedad de tamaños, por lo que una batería de motocicleta como se observa en la Figura 13 fue la mejor opción por sus dimensiones reducidas.



Figura 13 Batería de motocicleta de 12V. El autor.

## CAPÍTULO II

### CÁLCULOS

#### GENERALIDADES

En este capítulo se exponen las ecuaciones establecidas como necesarias para el diseño de los elementos más críticos del dispositivo, como el cálculo para la obtención del dato de torque, que facilitará la selección adecuada para la adquisición de un motor DC, la adecuación de señal para control PWM, y cálculos que delimitan el diseño mecánico. A continuación, se da a conocer el proceso de programación y control de los dispositivos existentes en la máquina, así como la configuración del microcontrolador a las frecuencias adecuadas de trabajo.

Para finalizar se muestran los diagramas de conexiones electrónicas de control y los circuitos eléctricos de potencia, necesarios como un respaldo para su mantenimiento y comprensión de su funcionamiento.

#### 2.1 Cálculo del par de torsión del motor DC

Para la adquisición de un motor DC adecuado para la aplicación se toma en cuenta factores como: el voltaje de funcionamiento, RPM de trabajo y par nominal, este último se considera de vital importancia puesto que el motor debe ser capaz de trabajar con cargas establecidas de 25 kg como peso máximo. Para esto, también se toma en cuenta la distancia radial del piñón de 9 dientes de alrededor de 2 cm como se observa en la Figura 14

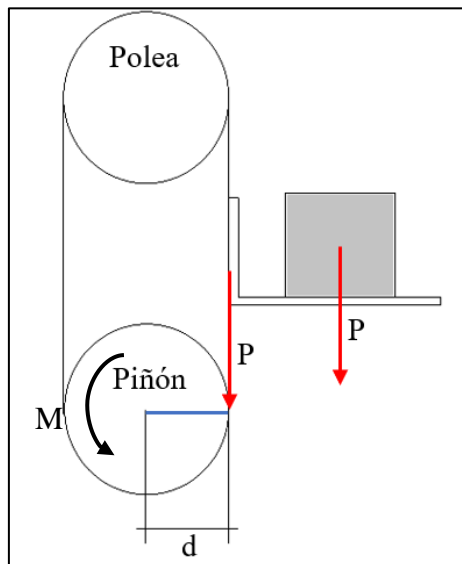


Figura 14 Diagrama de cuerpo libre. El autor



$$\Sigma M = 0$$

$$M - F \times d = 0 \quad (1)$$

$$M - (P \times g) \times d = 0 \quad (2)$$

$$M - (25[Kg] \times 9.81[m/s^2]) [N] \times 0.02 [m] = 0 \quad (3)$$

$$M = 4.905 [N.m]$$

Donde

*M*: Par de torsión

*P*: La masa de la carga

*F*: La fuerza ejercida por la carga

*d*: La longitud de palanca

*g*: La aceleración gravitacional

Por medio de un análisis estático, utilizando la ecuación ( 14 ), postulada en [12], se despeja el par de torsión que permitirá determinar el Par nominal que es el torque máximo que un motor puede generar de forma continua sin sufrir daños o sobrecalentamiento [28], de este modo, con el resultado obtenido se puede seleccionar un motor DC de 12V que cumpla con este parámetro, realizando así una compra adecuada sin riesgo a fallas de funcionamiento.

## 2.2 Cálculo de esfuerzos y selección de perfiles

Para asegurar el buen funcionamiento de la estructura y de los elementos críticos del prototipo, se emplea un análisis estático de cargas que permita predecir los esfuerzos a los que serán sometidos estas piezas durante su uso de este modo se han establecido dos componentes de suma importancia en este caso las palas y el eje en el cual estará sujeta la polea que transmitirá las tensiones generadas por el motor y el peso de la carga.

Para este análisis y por medio del software MDSolid se generó una simulación de cargas sobre los elementos mencionados anteriormente de tal modo que se puede obtener los datos necesarios para el cálculo posterior de las dimensiones mínimas de los componentes estructurales para un factor de seguridad que garantice su rigidez estructural.

### 2.2.1 Cálculo para palas

Para realizar la acción de levantar la carga se fabricarán dos palas en forma de L que servirán como base para el apoyo de las cargas, en este caso se plantea focalizar el estudio en una de las dos palas por lo que la carga se divide en dos partes iguales, este

sería el funcionamiento en un caso ideal de la máquina, entonces la carga será la mitad de su peso máximo de 25 Kg, este soporte tendrá una longitud de 30 cm tomando en cuenta las dimensiones establecidas como estándar de las cajas es de 26 cm. Por consiguiente, se realiza un análisis en simulación de estas cargas.

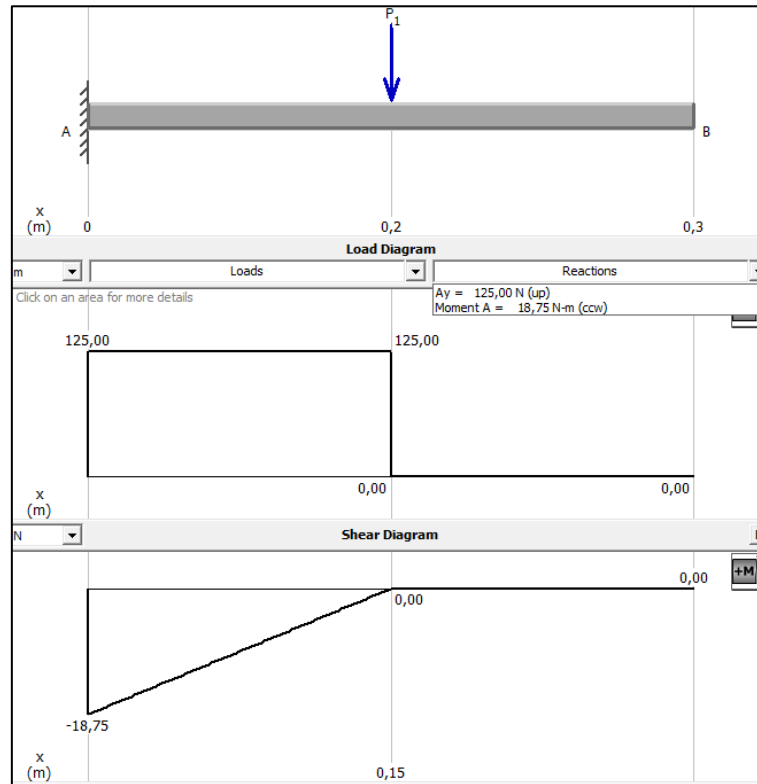


Figura 15 Análisis de fuerzas cortantes y momento máximo para palas L. El autor.

Obteniendo como resultado un momento flector máximo de 18.75 N.m, este dato permite obtener el módulo de sección, con la ecuación ( 4 ) mostrada a continuación, descrita en [29]

$$\sigma = \frac{M_{max}}{S} \quad (4)$$

Dónde

$\sigma$ : Esfuerzo en carga axial

$S$ : Módulo de sección

$M_{max}$ : Momento flector máximo

Entonces se busca encontrar el módulo de sección, si se toma en cuenta que el esfuerzo en carga axial básicamente es un esfuerzo de flexión ya que las palas estarán soldadas, entonces en la siguiente Figura 16 se observa que:

Tipo de carga	Tipo de soldadura	Esfuerzo permisible	$n^*$
Tensión	A tope	$0.60S_y$	1.67
Aplastamiento	A tope	$0.90S_y$	1.11
Flexión	A tope	$0.60-0.66S_y$	1.52-1.67
Compresión simple	A tope	$0.60S_y$	1.67
Cortante	A tope o de filete	$0.30S_{ut}^{\dagger}$	

Figura 16 Esfuerzos permisibles. [30]

De donde se puede determinar que el valor de  $\sigma = 0.6 S_y$ , sin embargo, para obtener el valor para el módulo de sección es necesario también obtener el valor de  $S_y$ , según el fabricante la calidad del acero previsto para la manufactura de los soportes en L es AISI 1018 [31], mismo material que es muy utilizado para ejes y para la fabricación de estructuras, posterior al reconocimiento del material a usar, se define las propiedades mecánicas, en este caso la resistencia a la fluencia  $S_y = 220 [Mpa]$  de esta manera entonces se puede despejar el módulo de sección mostrada en la ecuación ( 5 ):

$$S = \frac{M_{max}}{0.6S_y} \quad (5)$$

Reemplazando los datos anteriormente mencionados se tiene:

$$S = \frac{18.75 [N.m]}{0.6 \times \left( 220 \left[ \frac{N}{m^2} \right] \times 10^6 \right)} \quad (6)$$

$$S = 1.4205 \times 10^{-7} [m^3]$$

$$S = 0.14205 [cm^3]$$

Con el módulo de sección obtenido se puede utilizar para seleccionar un perfil adecuado, de esta manera se garantiza la resistencia y seguridad del mecanismo dentro de los parámetros explicados anteriormente, para contextualizar la implementación se tiene un perfil rectangular de 40 mm x 60 mm con un espesor de 2 mm. En la Figura 17 se observan los perfiles ofrecidos por la empresa DIPAC.

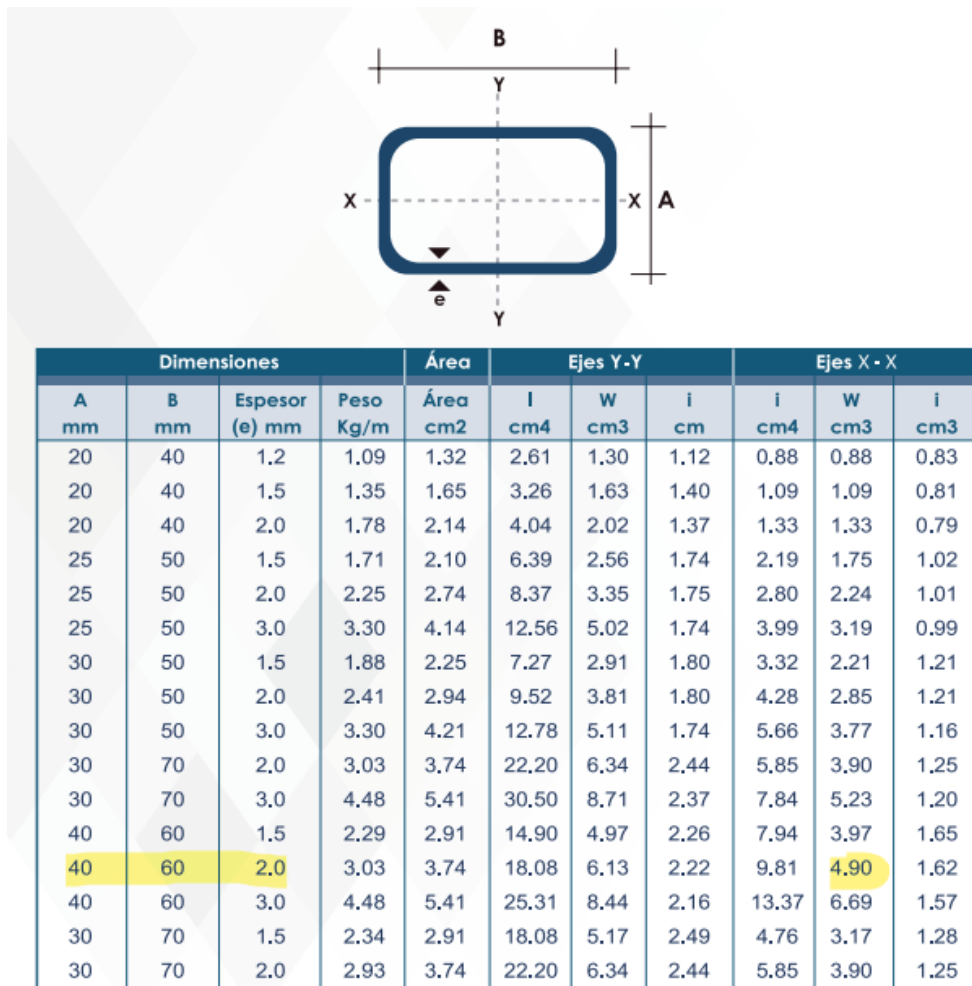


Figura 17 Especificaciones generales de perfiles rectangulares de Acero negro. [31]

Comparando el módulo de sección obtenido con el módulo de sección mostrado en el catálogo de DIPAC, se puede concluir que existen un sobredimensionamiento de este componente, es decir que soportará mucha más carga que la originalmente establecida, sin embargo, esto se justifica ya que uno de los objetivos de este proyecto es la reducción de costos, este material fue reciclado de la misma bodega.

### 2.2.2 Cálculo para eje de rueda motriz

En el mercado no se encuentran ruedas o un sistema que permita ensamblar un motor, rodamientos y acoples con las medidas requeridas para el acople perfecto de dichos mecanismos, por lo tanto, se ha optado por el torneado de un eje que transmita la potencia del motor DC hacia la rueda, a la vez, que se ajuste a las chumaceras y el ensamble con el motor como se observa en la Figura 18.

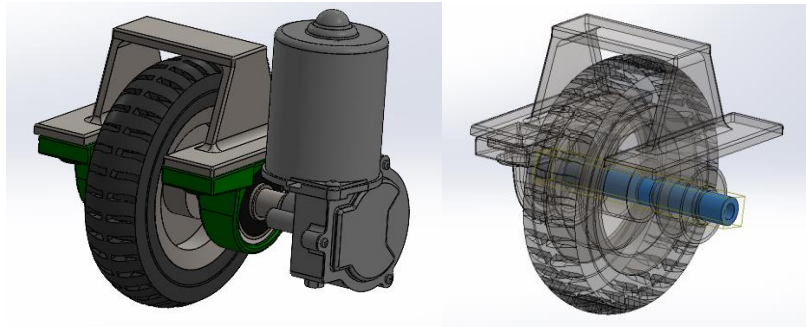


Figura 18 Modelado del mecanismo motriz del dispositivo. El autor.

Este elemento se considera como una parte crítica, puesto que estará sometida a la fuerza que ejerce el peso de la parte trasera del prototipo, así como de la fuerza ejercida por las cargas que manipulará el perchador en pleno funcionamiento.

En primer lugar, se especifica el material en el cual se va a trabajar para la fabricación del eje, según el catálogo de la distribuidora, [32] el material disponible en bodega de Faresa es acero de eje de transmisión SAE 1018 de diámetro de 5/8 de pulgada, mismo que será torneado hasta obtener  $17 \pm 0.5$  mm de diámetro esto puesto que el diámetro interno de las chumaceras lo limita, para este análisis se plantea la siguiente ecuación ( 14 ) Propuesta en [30]:

$$\sigma = \frac{P}{A} = \frac{S_y}{n} \quad (7)$$

Dónde:

$\sigma$ : esfuerzo normal

$P$ : fuerza aplicada

$A$ : área de sección

$S_y$ : resistencia a la fluencia del material

$n$ : factor de seguridad

Posteriormente al despejar el factor de seguridad tomando en cuenta que se tiene un peso de la máquina alrededor de 20 kg sumado a esto el peso de la carga de máximo 25 kg se tiene una masa total de 45 kg, el área de sección se registró al dato del diámetro  $d = 17 [mm]$ , y por último la resistencia a la fluencia  $S_y = 220 [MPa]$  obtenida de la Figura 19:

Número	Material	Condición	Resistencia (a la tensión)					Resistencia a la deformación, exponente $m$	Resistencia a la fractura $\epsilon_f$
			Fluencia $S_y$ MPa (kpsi)	Última $S_u$ MPa (kpsi)	A la fractura, $\sigma_f$ MPa (kpsi)	Coefficiente $\sigma_0$ MPa (kpsi)			
1018	Acero	Recocido	220 (32.0)	341 (49.5)	628 (91.1) <sup>†</sup>	620 (90.0)	0.25	1.05	
1144	Acero	Recocido	358 (52.0)	646 (93.7)	898 (130) <sup>†</sup>	992 (144)	0.14	0.49	
1212	Acero	HR	193 (28.0)	424 (61.5)	729 (106) <sup>†</sup>	758 (110)	0.24	0.85	
1045	Acero	TyR 600°F	1520 (220)	1580 (230)	2380 (345)	1880 (273) <sup>†</sup>	0.041	0.81	
4142	Acero	TyR 600°F	1720 (250)	1930 (210)	2340 (340)	1760 (255) <sup>†</sup>	0.048	0.43	
303	Acero inoxidable	Recocido	241 (35.0)	601 (87.3)	1520 (221) <sup>†</sup>	1410 (205)	0.51	1.16	

Figura 19 Resultados de ensayos a la tensión de algunos metales. [30]

Despejando el factor de seguridad de la ecuación ( 14 ) y colocando el área respectiva de sección de una barra, se tiene que:

$$n = \frac{S_y \cdot A}{P} \quad (8)$$

$$n = \frac{S_y \cdot \left(\frac{\pi \cdot d^2}{4}\right)}{m \cdot g} \quad (9)$$

Y reemplazando los datos obtenidos anteriormente en la ecuación ( 14 ) se obtiene el siguiente resultado:

$$n = \frac{(220 \times 10^6) \left[\frac{N}{m^2}\right] \cdot \left(\frac{\pi \cdot 0.017^2}{4}\right) [m^2]}{(45 \cdot 9.81)[N]} \quad (10)$$

$$n = 113.12$$

Lo que demuestra que el eje diseñado cumple por mucho con la expectativa de seguridad de funcionamiento, siendo que el factor de seguridad obtenido sobrepasa el valor mínimo establecido sin embargo por cuestiones de disponibilidad de materiales en el mercado su diseño se estableció de esta manera.

### 2.2.3 Cálculo de juntas permanentes

Para la fabricación del sistema de elevación de la máquina se planea utilizar electrodo rutilo E6013 en las juntas fijas, este electrodo se encuentra en stock dentro del taller de fabricación de la empresa Faresa.

Como criterio de selección es preciso conocer el factor de seguridad que la soldadura de este elemento ofrece, para lo cual, se considera que la parte de sujeción de la chumacera con

la base de fijación del sistema de elevación como la parte más crítica, esta junta se muestra detallada en la Figura 20.

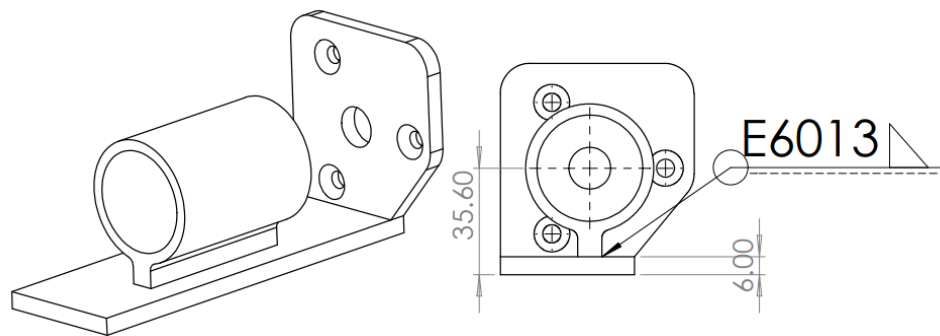


Figura 20 Detalle de soldadura en sistema de elevación. El autor.

La carga correspondiente en este sistema será la fuerza máxima ejercida por el peso considerado al inicio de este capítulo de 25 kg, lo que en términos de fuerza equivale a  $V = 245.25 \text{ N}$ , el área de la garganta se define por una soldadura de doble filete en las partes laterales de la chaveta  $A = 339.36 \text{ mm}^2$ , también se tiene que el segundo momento unitario del área en esta junta es  $I_u = 36000 \text{ mm}^3$ . La fuerza ejercida sobre la chumacera estará ubicada en el extremo exterior del tubo ya que los rodamientos transmitirán dicha fuerza, podemos calcular el momento  $M = 7357.5 \text{ N.m}$ . A simple vista se puede notar que este elemento estará sometido a flexión, permitiendo calcular el esfuerzo de uniones soldadas sujetas a flexión, [30] que ejerce la cadena mediante la ecuación ( 11 ) y el esfuerzo córtate horizontal correspondiente a la ecuación ( 12 ).

$$\tau' = \frac{V}{A} \quad (11)$$

$$\tau'' = \frac{1.414 \times M}{I_u} \quad (12)$$

Remplazando los datos sobre las ecuaciones se obtiene lo siguiente:

$$\tau' = 0.723 \text{ MPa}$$

$$\tau'' = 0.289 \text{ MPa}$$

Se combinan vectorialmente los esfuerzos obtenidos, con el fin de conseguir un solo esfuerzo utilizando la ecuación ( 13 ).

$$\tau = \sqrt{(\tau')^2 + (\tau'')^2} \quad (13)$$

$$\tau = 0.779 \text{ MPa}$$

De este modo obtenemos los valores necesarios para realizar el cálculo del factor de seguridad, por medio de la ecuación ( 14 ), en donde se describe una constante por el valor de esfuerzo a la fluencia  $S_y = 345 \text{ MPa}$  que caracteriza al electrodo E6013, sobre el esfuerzo obtenido en los cálculos previos.

$$n = \frac{0.577 \times S_y}{\tau} \quad (14)$$
$$n = 255.54$$

De esta manera se concluye que la resistencia de la junta es por mucho, adecuada para su implementación. Cabe recalcar que el sobredimensionamiento en este caso es el resultado del aprovechamiento de los materiales ya existentes en el taller de la empresa, evitando así un gasto extra.

### 2.3 Simulación fuerzas del sistema de elevación de carga

Dentro de lo comprendido como juntas no permanentes se considera la unión mecánica de perno tuerca entre la base del mecanismo elevador de carga con la estructura como se observa en la Figura 21, en esta zona los pernos avellanados allen 8 x 20 mm UNC, son los elementos críticos, según la especificación técnica del fabricante, estos pernos son de grado DIN7991, 10.9 o acero ASTM 490. [33] Este análisis estático se realiza en el software SolidWorks, con el ensamblaje y uso apropiado de las librerías proporcionadas por el programa.

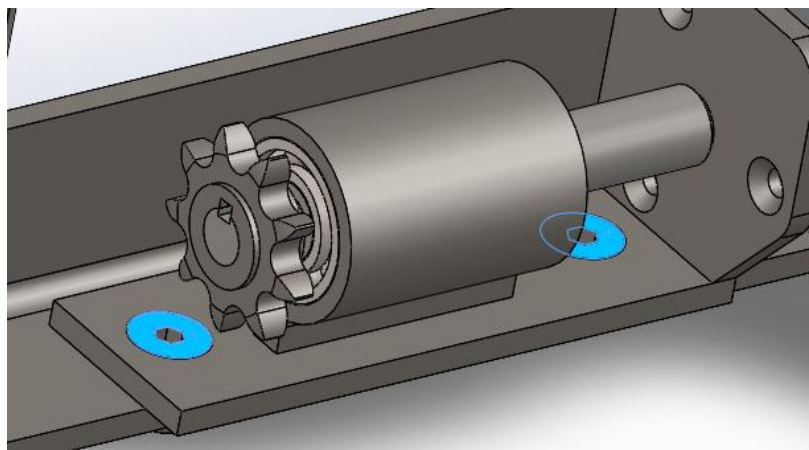


Figura 21 Detalle de ensamblaje de pernos allen 8 x 20 mm UNC

Para la correcta simulación de este mecanismo es necesario también partir con la selección de rodamientos, para lo cual por medio de la herramienta de selección de rodamientos



de SKF, se establecen las dimensiones aproximadas para la implementación como se observa en la Figura 22, tomando en cuenta las dimensiones de la base de sujeción.

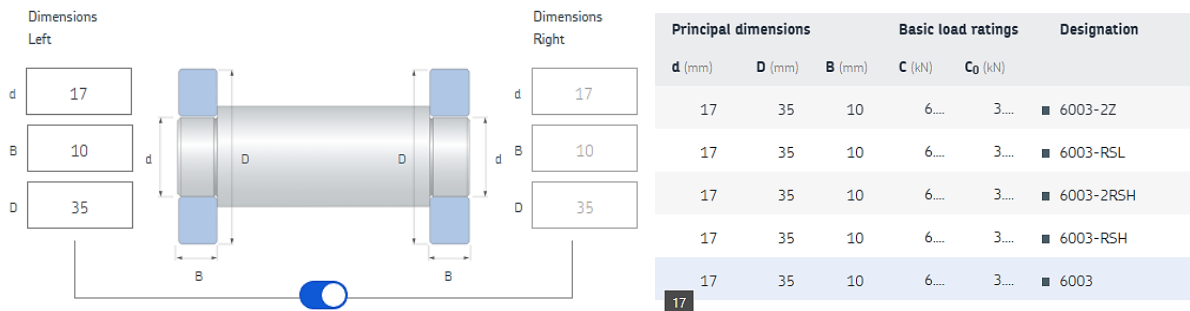


Figura 22 Configuración de dimensiones en la herramienta de SKF. [34]

La herramienta sugiere una gran cantidad de alternativas, sin embargo, de la lista mostrada en la Figura 22, el rodamiento 6003 es el que se puede encontrar fácilmente en el mercado, así también mantiene propiedades mecánicas adecuadas para su implementación.

En el software SolidWorks de la librería de SKF se importa el rodamiento rígido de bolas 6003, se generan las respectivas relaciones mecánicas, como se puede ver en la Figura 23.

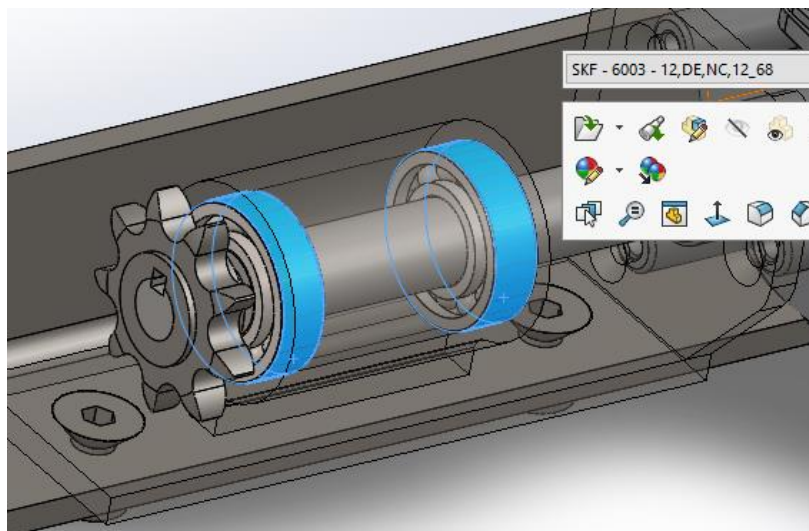


Figura 23 Ensamblaje de rodamientos SKF 6003 en el mecanismo. El autor.

Posteriormente se establecen los elementos de sujeción y cargas respectivas del sistema, se genera la malla sobre todo el mecanismo, la carga en este caso se transfiere al eje desde el piñón, esta fuerza es la misma fuerza de trabajo considerada al inicio del capítulo, finalmente, posterior a la simulación por elementos finitos, se obtiene el resultado a simple vista en la fig.

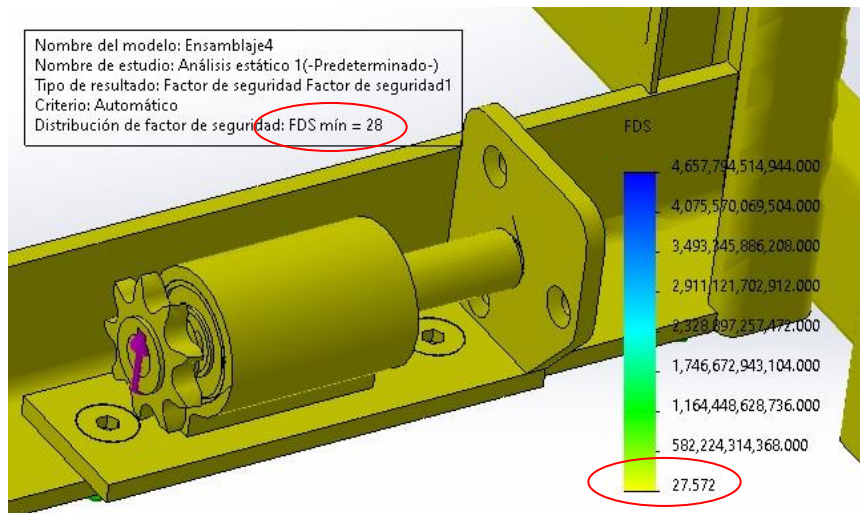


Figura 24 Resultado de la simulación por elementos finitos. El autor.

El software arroja un factor de seguridad de 28, lo cual demuestra que todo el sistema de elevación de carga, incluyendo sus elementos, cumplen satisfactoriamente con la resistencia necesaria para su implementación.

#### 2.4 Acondicionamiento de señal PMW para el controlador de motor DC

Referente a la programación, es necesario adecuar la señal que genera el temporizador del microcontrolador para el control del Driver de motor DC, según el fabricante la frecuencia de trabajo del BTS 7960 es de 25 KHz, mientras que la frecuencia del microcontrolador STM32 F401RE es de 1 MHz habiendo reducido la velocidad original de 84 MHz en la configuración de la tarjeta, de este modo se busca el dato del prescaler para la correcta manipulación de la señal PWM. A continuación, se presenta la ecuación ( 15 ) de acondicionamiento de la frecuencia de señal presentada por [35]:

$$F_t = \frac{F_c}{P + 1} \quad (15)$$

$$P = \frac{F_c}{F_t} - 1 \quad (16)$$

$$P = \frac{1 * 10^6 [Hz]}{25 * 10^3 [Hz]} - 1 \quad (17)$$

$$P = 39$$

En donde se reemplazan los datos descritos, obteniendo así que la configuración del Clockprescaler debe tener 39 divisiones, para un correcto funcionamiento sobre la señal de

salida hacia los motores, es necesario mencionar que el preescalador ADC debe estar establecido en múltiplos de 2 por lo que se opta por utilizar el inmediato superior de 40 divisiones. [36]

## 2.5 Programación

Para el adecuado funcionamiento y control de los sensores y actuadores de este dispositivo fue necesario el uso de lenguaje C y control específico de parámetros del microcontrolador en donde se empleó la configuración de Timers para el control PWM de los drivers, para lograr esta tarea se utilizó el programa STCubeIDE que proporciona el fabricante en su página oficial, en donde se aplican los datos de Prescaler y Counter Period obtenidos en la sección anterior, como se observa en la figura Figura 25, esto para crear el pulso adecuado de funcionamiento para el Driver BTS 7960.

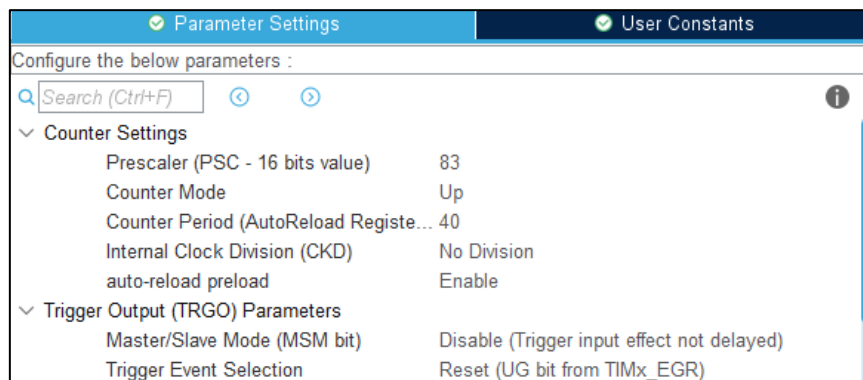


Figura 25 Ventana de configuración Timer 2

De la misma manera se generó la activación de los canales de entrada analógicos ADC que permiten obtener las señales de los potenciómetros e ingresarlos a la programación. Se crean las entradas y salidas definiendo los pines del microcontrolador a los que estarán atados, cabe mencionar que para las entradas se deben configurar en Pull down para su correcto funcionamiento como se puede notar en la Figura 26.

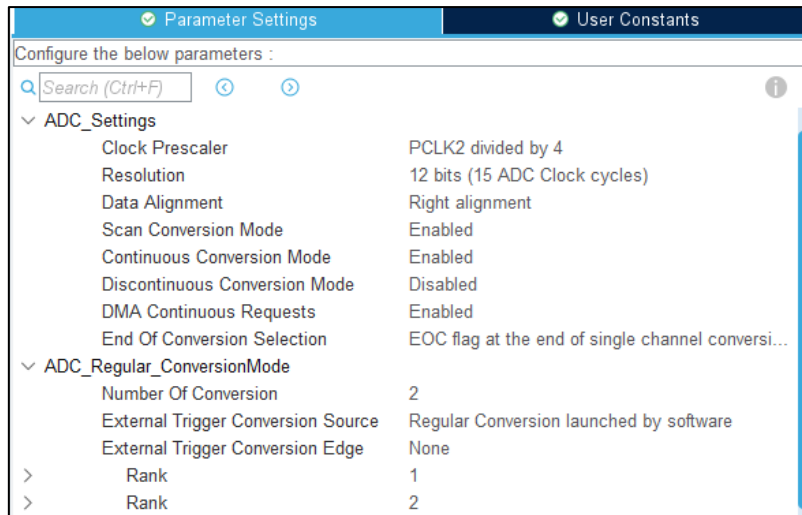


Figura 26 Ventana de configuración ADC1

Por último, se seleccionan las entradas y salidas en la de configuración GPIO, definiendo los pines del microcontrolador a los que estarán atados, cabe mencionar que para las entradas se deben configurar en Pull down de la siguiente manera, como se observa a simple vista en la Figura 27 Ventana de configuración de pines GPIO.

Pin Na...	Signal on ...	GPIO out...	GPIO mode	GPIO Pull...	Maximum...	User Label	Modified
PA4	n/a	n/a	Input mode	Pull-down	n/a		<input checked="" type="checkbox"/>
PA5	n/a	Low	Output P...	No pull-up...	Low	LD2 [Gree...	<input checked="" type="checkbox"/>
PB0	n/a	n/a	Input mode	Pull-down	n/a		<input checked="" type="checkbox"/>
PC0	n/a	n/a	Input mode	Pull-down	n/a		<input checked="" type="checkbox"/>
PC1	n/a	n/a	Input mode	Pull-down	n/a		<input checked="" type="checkbox"/>
PC13-AN...	n/a	n/a	External I...	No pull-up...	n/a	B1 [Blue ...	<input checked="" type="checkbox"/>

PA4 Configuration :

GPIO mode:

GPIO Pull-up/Pull-down:

User Label:

Figura 27 Ventana de configuración de pines GPIO

Por medio de la programación en lenguaje C se inicializan las librerías y puertos anteriormente configurados, de tal manera que permite ingresar en variables manipulables con el programa. Dentro del espacio del bucle infinito se escribe la programación en la cual se genera el control de los motores estableciendo una respuesta a las entradas y una configuración que permita mover los motores con una aceleración controlada al iniciar y un frenado suave al finalizar que evite el movimiento brusco de la máquina.

Para explicar de mejor manera este apartado se ha generado un diagrama de flujo con el detalle de la programación, de tal manera que se visualice gráficamente el ciclo en bucle que genera el microcontrolador, para efectos de una mejor visualización se ha colocado solo el control del motor 1 ya que la programación para el motor 2 es exactamente la misma, como se puede ver a simple vista en la Figura 28.

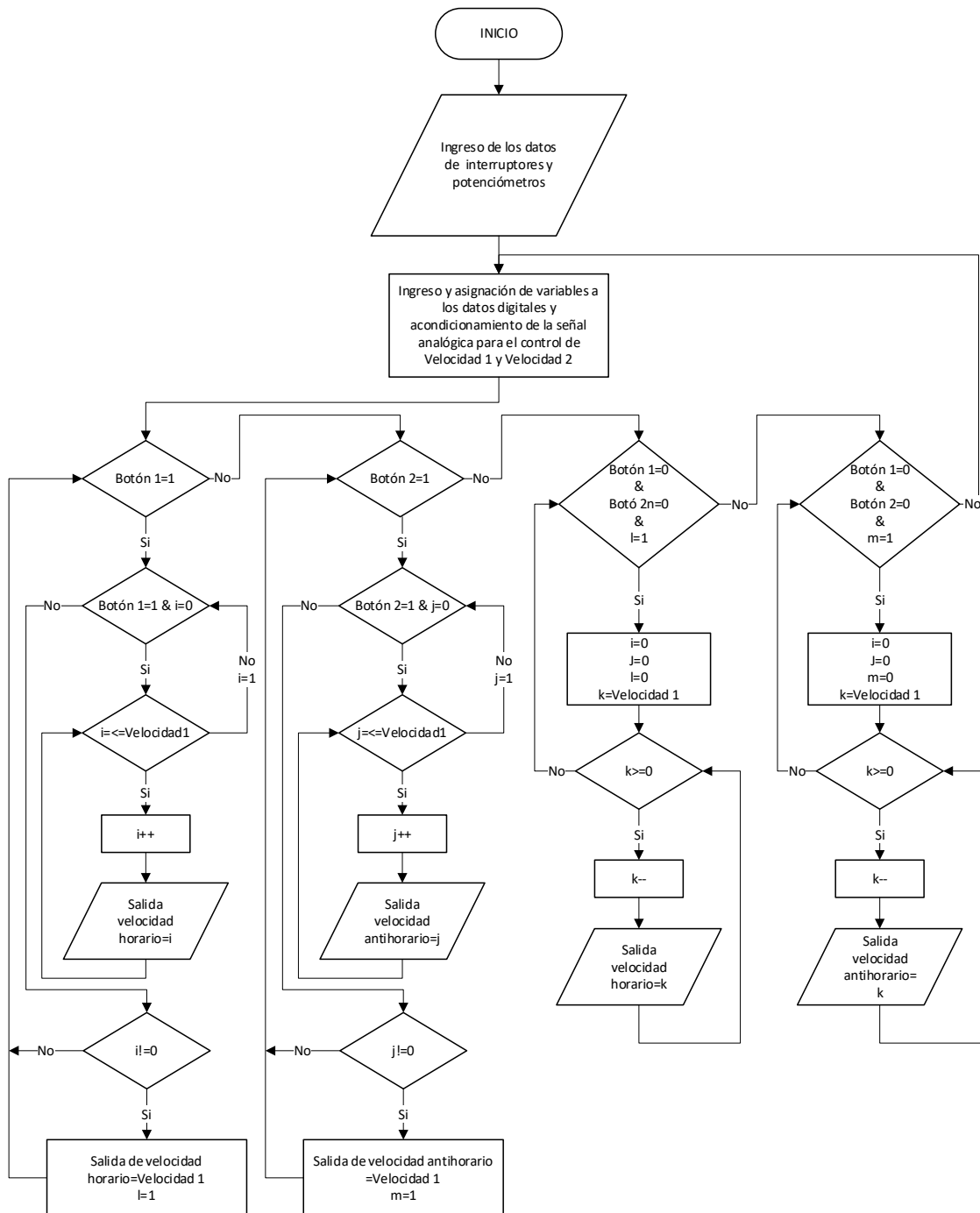


Figura 28 Diagrama de flujo de la programación. El autor

## 2.6 Diagrama de conexiones electrónicas

En la Figura 29 se observa el diagrama de conexiones en el programa Proteus de los diferentes dispositivos que constituyen la máquina hacia el microcontrolador STM32 Nucleo, se adecuó el Driver L298 de tal manera que cumpla el mismo funcionamiento de un Driver BTS7960, es en este ambiente en donde se simuló el funcionamiento de la programación realizada en el programa STM32CubeIDE, aquí se encuentran detalladas las conexiones con los sensores interruptores y drivers de la máquina que permitirá tener un respaldo para posibles trabajos de mantenimiento, modificaciones o potenciación futura del proyecto.

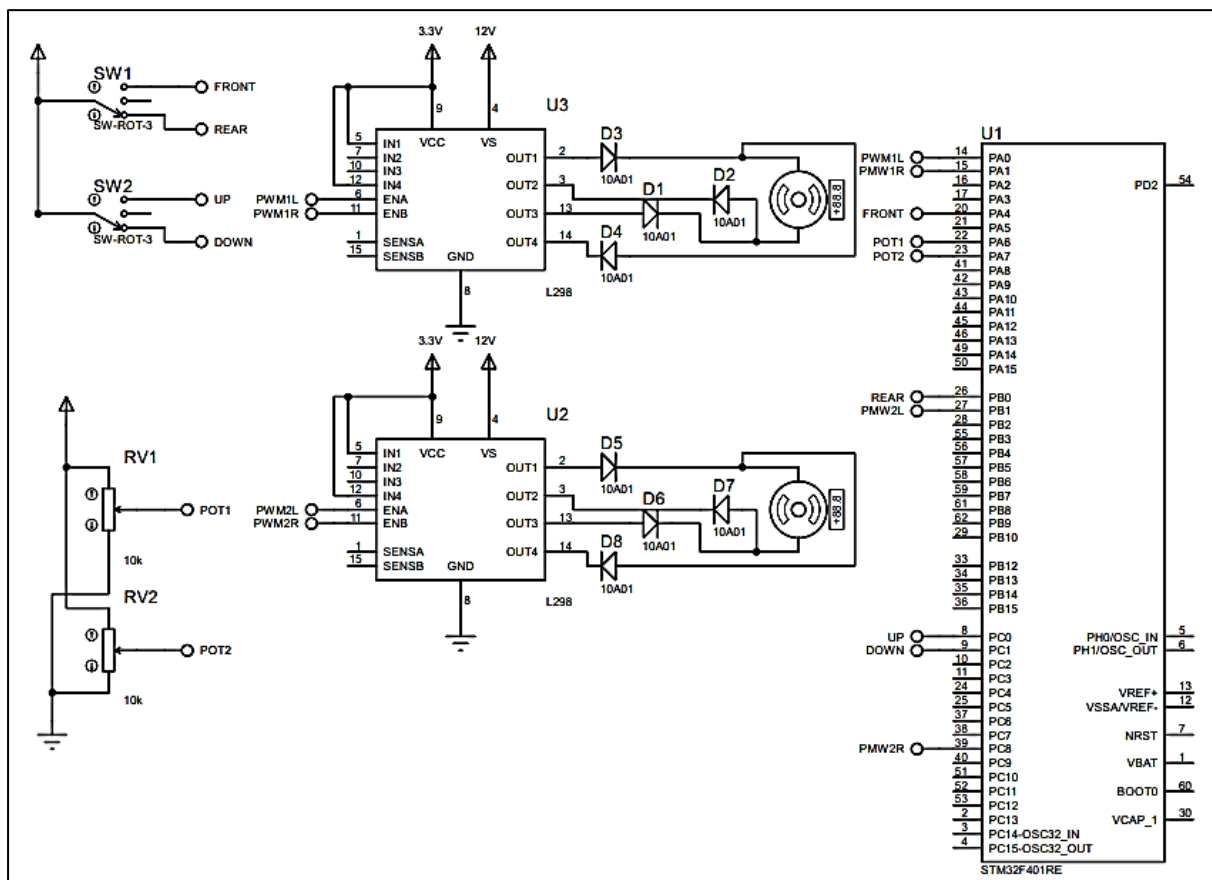


Figura 29 Detalle de conexiones y pines correspondientes en Proteus. El autor.

## CAPÍTULO III

### IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS

#### GENERALIDADES

Durante este capítulo se muestran las actividades de fabricación, ensamblaje e implementación, los cuales se muestran por fases como: conexión y pruebas del microcontrolador y dispositivos, mecanizado en torno de piezas especiales, ensamblaje y soldadura de la estructura, fabricación de mecanismos motrices implementación de dispositivos eléctricos y para finalizar, las pruebas de funcionamiento realizadas.

Se describe detalladamente los procesos técnicos de maquinado, así también las herramientas y maquinaria específica para completar cada tarea, poniendo énfasis en los acabados y la buena presentación de estos.

#### 3.1 Conexión y pruebas de los dispositivos

Una vez adquiridos los componentes electrónicos de control, sensores, actuadores y controladores, en primer lugar, se establece una programación de prueba, como se observa en la Figura 30, que permita testear el funcionamiento de los drivers, interruptores y motores, en este punto en fue necesario realizar el acondicionamiento de señal PWM, ya que existían problemas para el control de aceleración de los motores. Fue preciso el uso de herramientas electrónicas como: osciloscopio y multímetro, que permiten la visualización de valores de voltaje y variación de frecuencia que emiten el potenciómetro y la señal PWM, respectivamente, así como una fuente de voltaje que suministre corriente a los drivers que gobiernan los motores eléctricos de 12V.

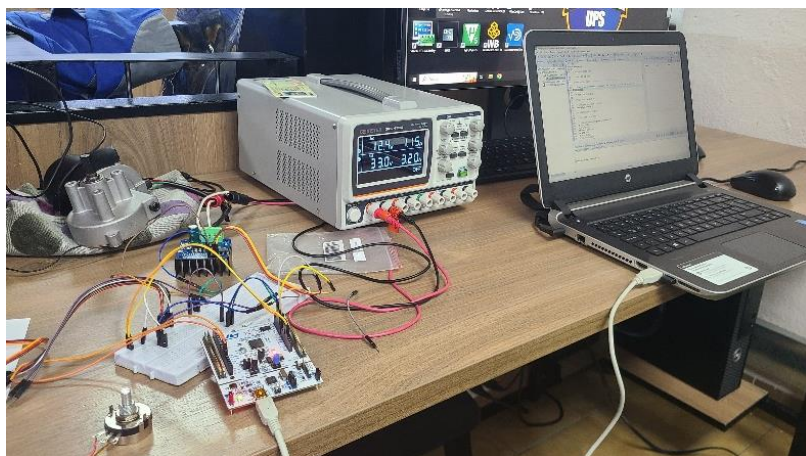


Figura 30 Pruebas de dispositivos. El autor.

### 3.2 Implementación de un tablero de control provisional

Para generar una programación precisa, utilizando todo el hardware que se implementará en la máquina, se crea un tablero de control provisional, como se puede visualizar en la Figura 31, que permita una fácil conexión y traslado, con el fin de evitar fallas por desconexiones o caídas, también se sitúa la posición probable en la que se van a encontrar ubicados estos elementos en el tablero final, es en esta etapa en donde se culminó la programación con todos los dispositivos excepto la batería de 12V y los reguladores de voltaje respectivos al circuito de control y los sensores de proximidad.

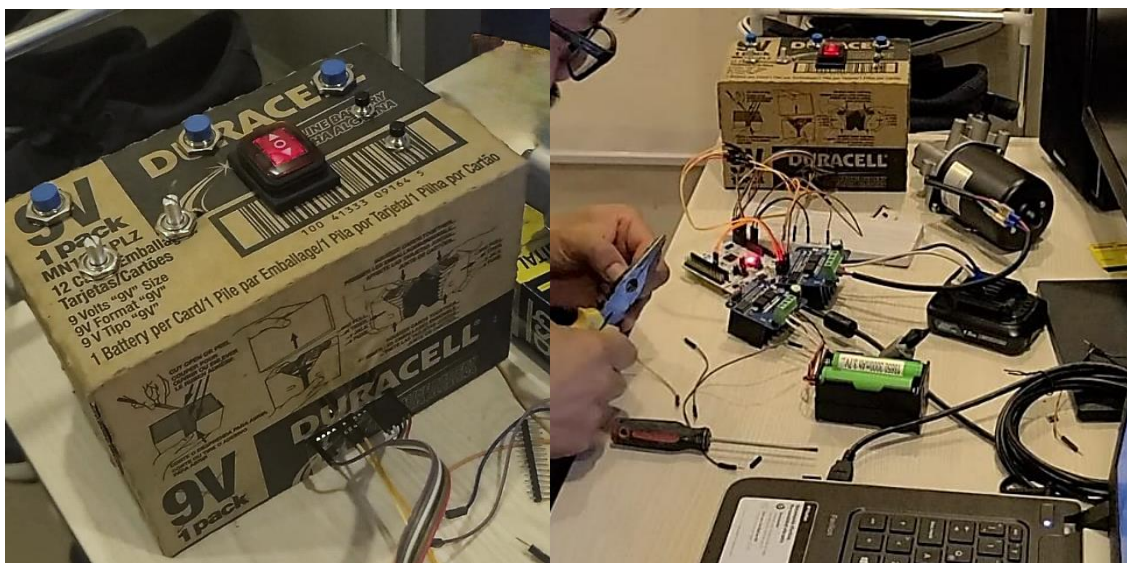


Figura 31 Tablero de control provisional. El autor.

Teniendo en cuenta que esta máquina no es fija, y estará sometida a vibraciones y golpes contundentes, puesto que el área de funcionamiento será las instalaciones de Faresa, en donde no se cuenta con suelo liso y el dispositivo está pensado para uso multifuncional dentro del área de bodega y talleres del área de fabricación de resortes, se adquiere un módulo de terminales de tornillo compatible con la tarjeta STM32 Nucleo, acoplado como se observa en la Figura 32.



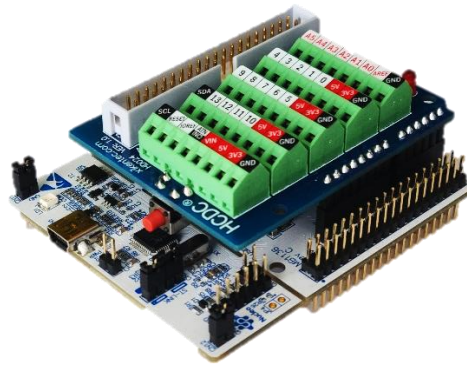


Figura 32 Módulo de borneras para STM32 Nucleo/ Arduino UNO. El autor.

De esta manera las conexiones eléctricas estarán fijas por medio de borneras, brindando un soporte fijo de los cables, así mismo facilitando la conexión de todas las líneas de comunicación con la tarjeta hacia los distintos dispositivos.

### 3.3 Fabricación de la estructura del montacarga

En primer lugar, se realiza una inspección visual de los materiales existentes en bodega de la empresa, y posteriormente se selecciona un perfil, mismo anteriormente detallado en la sección de cálculos, en donde se analizó la resistencia en carga de las piezas críticas fabricadas con este material, de este modo se inicia con el corte y preparación de las piezas para soldadura.

En esta trabajo se utilizó soldadura con arco SMAW con electrodos revestidos: 6013 acero estructural y 6011 acero dulce, ambos de 1/8 de pulgada [37] para generar una costura de soldadura más ancha, las uniones soldadas se dividen en dos, las soldadas en puntos estructurales importantes en donde se utilizó el electrodo 6013 mientras que en las áreas de unión simple se soldó con electrodo 6011 que generalmente fueron utilizados en la sujeción de los mecanismos móviles.

Posterior a la unión de los elementos de la estructura se realizó un proceso de desbaste y pulido en las áreas consideradas como puntos de mayor vista, para tener un acabado estético, esta tarea se ejecutó con la ayuda de una pulidora con disco de desbaste tipo lija número 40 como se puede ver en la Figura 33, cabe destacar que en este caso no se utilizó guarda chispa, ya que la geometría del disco no lo permite, también, por mayor comodidad de manipulación de la herramienta, sin embargo es recomendable, siempre que sea posible, el uso de este elemento para protección del usuario.



Figura 33 Proceso de desbaste y pulido en las tapas de tubo rectangular. El autor.

Al finalizar el ensamblaje de la estructura seguidamente se traslada el prototipo al área de bodega y se presenta frente a la percha, tal como se muestra en la Figura 34, para verificar que cumpla las medidas preestablecidas en el diseño, así como el rango de movimientos que el dispositivo podrá alcanzar después de la fase de implementación de mecanismos móviles.



Figura 34 Prueba de dimensiones en el área de bodega. El autor.

De dos garruchas giratorias disponibles en el inventario de la empresa, se extraen las ruedas y los ejes, para su implementación en la base de la estructura, con esto se busca ubicarlas en el tubo de tal manera que queden casi perdidas, como se observa en la Figura 35, esto se hace con el fin de mantener un centro de masas lo más bajo posible.



Figura 35 Ruedas delanteras del dispositivo. El autor.

Otra razón por la que se ha decidido ubicarlas de esta forma es la altura libre bajo las estanterías de bodega, ya que se busca manipular el perchador eléctrico de tal forma que las cajas de perno se acerquen a una mínima distancia y en lo posible dentro de las perchas para facilitar la manipulación de las cajas. Esto se logra introduciendo las dos patas de la máquina debajo de las perchas de acuerdo con lo que se observa en la Figura 36.



Figura 36 Pruebas de ingreso de la parte baja la máquina en la estantería. El autor.

### 3.4 Fabricación del sistema motriz

#### 3.4.1 Eje de transferencia de potencia

Posterior al diseño y cálculo del factor de seguridad del eje de transferencia de potencia, se procede a la fabricación de este, de un eje de acero de transmisión de  $\frac{3}{4}$ " de pulgada, material existente en el taller de fabricación de resortes de Faresa, en el torno convencional de la misma empresa, se procede a maquinar de acuerdo con las

medidas del diseño y tomando en cuenta las velocidades de corte postuladas en [38], tal como se muestra en la Figura 37.

Para lograr la elaboración de un eje funcional, fue necesario repetir el procedimiento antes mencionado, varias veces, ya que las brocas disponibles en la empresa en ese momento lucían deterioradas por el uso y al perforar generaban una diferencia de en el diámetro por lo que el eje no se acoplaba correctamente al eje del motor eléctrico.

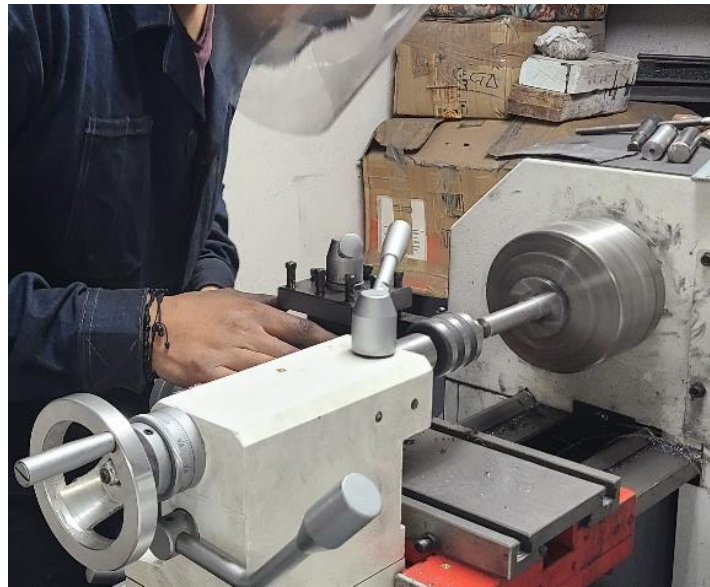


Figura 37 Maquinado de piezas en torno convencional. El autor.

### **3.4.2 Sistema sujeción de la rueda motriz**

Posteriormente con el eje obtenido se procede a soldar el mismo a la rueda previamente maquinada en el torno, para obtener un ajuste preciso entre estas dos piezas, con el fin de evitar cabeceos en el movimiento de la rueda. Para la sujeción de este sistema se utilizan dos chumaceras las mismas que serán acopladas a un soporte fabricado en planchas de acero de 6 mm de espesor tal como se muestra en la Figura 38, de tal modo que el eje transfiere la potencia generada por el motor DC mientras que a la vez brinda soporte a la estructura de la máquina.

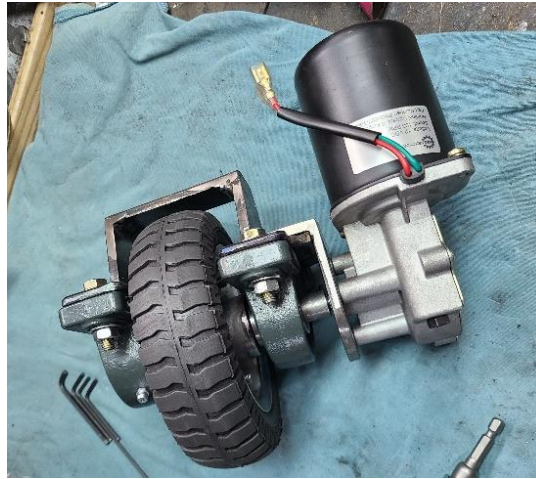


Figura 38 Primer ensamblaje del sistema motriz del dispositivo. El autor.

Cabe destacar que estos elementos fueron concebidos en cumplimiento con los objetivos postulados en las normas ISO 9000 [39], en donde se propone la realización del sistema de gestión de calidad, que permita al usuario o cliente realizar un mantenimiento y mejora continua de sus productos, por ende este mecanismo no está soldado en su totalidad, sino que se encuentra ensamblado con pernos avellanados de tal manera que exista la posibilidad de realizar un desarme total para su mantenimiento o recambio de piezas como se puede notar en la Figura 39.

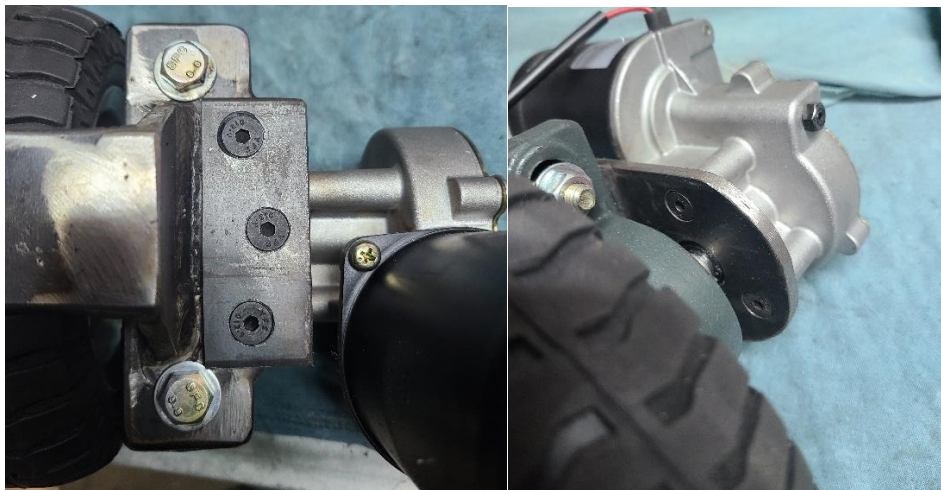


Figura 39 Vista de pernos avellanados para sujeción de piezas. El autor.

### 3.4.3 Fabricación de la columna de dirección

Para acoplar el sistema motriz a la estructura del montacarga es necesario tomar algunas consideraciones, el elemento debe ofrecer movimiento rotatorio en su propio eje, debe transferir el movimiento realizado por una manivela de forma suave a la vez

que soporta el peso de todo el dispositivo, para esto se planteó la reutilización de un mecanismo de dirección de bicicleta el cual cumple el mismo propósito.

Se recicla una bicicleta pequeña de donde se extrae el sistema de dirección cortando los puntos de apoyo con el cuadro de la bicicleta utilizando una moladora y disco de corte, como se observa en la Figura 40, es importante mantener especial cuidado con las canastillas de los rodamientos ya que, al ser elementos de dimensiones reducidas, durante el proceso de desarmado se pueden caer y extraviar.

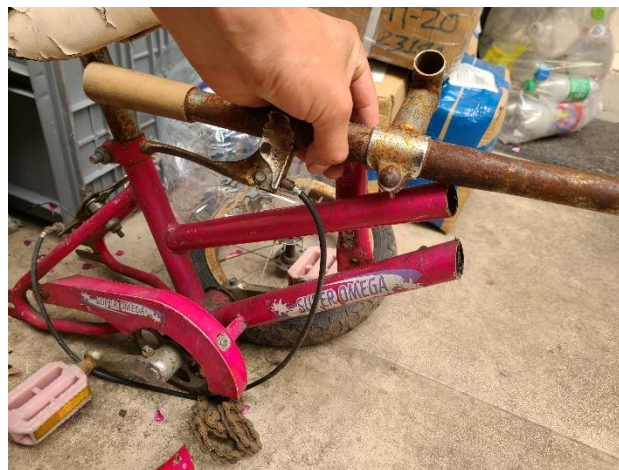


Figura 40 Corte realizado en bicicleta reciclada. El autor.

Luego de extraer el mecanismo se procede con el pulido de soldaduras y tuberías remanes del corte, así como rastros de óxido y pintura, de esta manera se prepara la superficie para facilitar el proceso de soldadura. Este elemento estará sometido a fuerzas de flexión por lo que una soldadura de acero 6013 más rígida podría ocasionar fisuras en los puntos de sujeción en consecuencia es factible el uso de electrodo 6011 para permitir que el sistema mantenga cierta elasticidad.

El rango de movimientos realizado por el eje no debe ser libre en sus 360 grados puesto que en el estarán sujetos los cables que transmiten la potencia eléctrica y de control hacia el motor, pudiendo provocar que estos se arranquen o desconecten, es por esto por lo que se fabricó dos topes en cada lado, procurando evitar que esta situación se genere.

Se acopla la base fija al cuadro de la estructura utilizando una platina de 6 mm x 80 mm realizando dos dobleces para obtener el espacio adecuado de giro de la rueda, como se observa a simple vista en la Figura 41, para la inmovilización de esta pieza hay

que tomar en cuenta también la altura, ya que la estructura tiene que estar alineada y perpendicular al piso para brindar estabilidad.

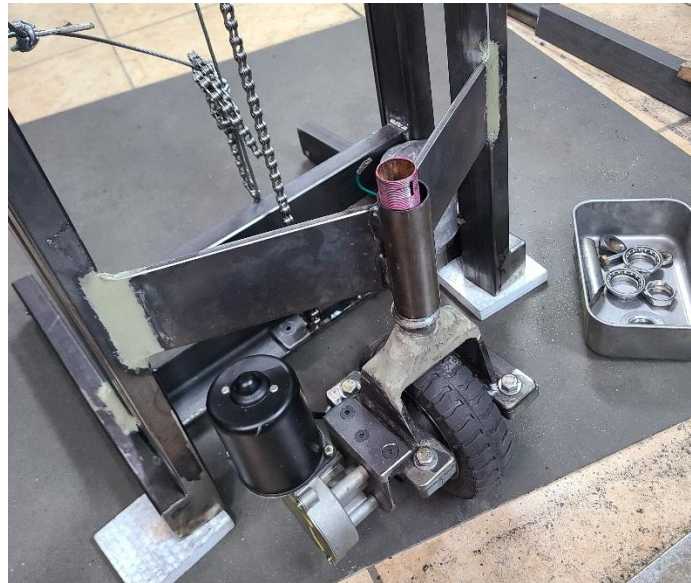


Figura 41 Ensamblaje del sistema de dirección. El autor.

En última instancia se ensambla la manivela que será el componente que transmitirá el movimiento realizado por el usuario hacia el mecanismo de la rueda dándole dirección de movimiento al prototipo.

### **3.5 Fabricación del sistema de elevación de carga**

#### **3.5.1 Fabricación del eje de transferencia de potencia**

En primer lugar, se elabora el eje que se apoyará en las chumaceras para la sujeción y estabilización del sistema, ya que este estará sometido a fuerzas de tensión, posteriormente, se adquiere un muñón de copa de racha de mando de  $\frac{1}{2}$  pulgada, este elemento estará soldado al eje y estará encargado de transferir el movimiento rotacional del motor hacia el eje y posteriormente hacia el piñón.

El componente fue construido mediante prueba y error después de varios prototipos fijos implementados sin éxito mostrados en la Figura 42, puesto que los ejes fijos se descalibraban o se torcían al momento de soldar las chumaceras a la base por efectos de la contracción de la soldadura, generando un sobre esfuerzo en el motor, es por esta razón que el muñón cumple la función de un punto de quiebre que permite el funcionamiento estable del motor y el eje sin importar la diferencia entre sus ejes.



Figura 42 Ejes descartados por mal funcionamiento. El autor.

Es necesario que este mecanismo posea un sistema de sujeción fija entre el eje y el piñón para completar la transferencia efectiva de potencia desde el motor hacia el engranaje, aprovechando el chavetero original del piñón, se realizó un maquinado de chaveta sobre el eje, para lograr esta tarea se utilizó una fresa helicoidal de 4 labios con un diámetro de 4 mm, y un taladro de banco. Es bien sabido que esta herramienta no es la adecuada para realizar este tipo de maquinado sin embargo se pueden realizar adaptaciones en la caja de velocidades expuesta en la Figura 43, en donde se configuran las bandas para lograr una velocidad de salida mayor, necesaria para el maquinado con fresa [40].



Figura 43 Caja de velocidades del taladro de banco. El autor.

Se crea un canal, en el cual se pueda insertar un seguro exterior que evite que el piñón se desacople del eje, se elige un seguro adecuado en este caso al ser un seguro exterior se toma la medida del eje que es 12 mm en donde le corresponde el seguro E12.



Por último, se ensamblan todos los elementos, como se puede ver en la Figura 44 y se preparan para la siguiente etapa.



Figura 44 Mecanismo de sujeción y transferencia de potencia. El autor.

### **3.5.2 Fabricación y conformado del mecanismo elevador**

Se fabrica la base en la que estará sujetado el motor y las chumaceras, de una lámina de acero de 6mm de espesor, para este trabajo se consideró armarlas de tal manera que sea posible su desarmado completo para su mantenimiento o futuros cambios de piezas en el caso de que alguna falle. Se puede observar en la Figura 45, que el sistema de sujeción de igual manera se lo hizo mediante pernos allen avellanados en este caso de 8 mm, con el fin de optimizar la estación y considerando a su vez el tema estético, los pernos avellanados se ven mucho más prolijos y estéticos.

Luego de haber anclado la base sobre la estructura de la máquina se procede a soldar la chumacera del eje, este punto es crítico ya que si no se lo realiza de manera adecuada se puede generar torceduras en el eje, en este caso se utiliza un electrodo 6013 que brinda un mejor control de aporte, pero, más importante aún, su uso resulta en un cordón mucho más resistente, tomando en cuenta las fuerzas a las que este mecanismo estará sometido.



Figura 45 Mecanismo de transferencia de potencia del elevador. El autor.

### 3.5.3 Fabricación de carro transportador de carga

Para la manufactura de este elemento se deben tomar ciertas consideraciones como: el componente debe ser liviano, debe contar con un sistema que se encarrile a las columnas de elevación, debe existir un mínimo juego entre el elemento y los carriles para evitar desgaste.

Se fabrica un carro tipo H el cual está conformado por tubos rectangulares y encarrilado dentro de los perfiles tipo C tal como se muestra en la Figura 46, en este caso se revisa exhaustivamente toda la superficie interna de las columnas de elevación, en busca de limalla o rebabas remanes de previos procesos de soldadura, se remueven estos elementos y se pule con un cepillo circular para taladro, sobre toda la superficie interna, esto se hace para minimizar el rozamiento entre metales, cabe recalcar que este mecanismo es un elemento al cual se le debe realizar una revisión y mantenimiento en el cual se debe limpiar y cambiar la grasa cada 12 meses de uso, para garantizar el buen funcionamiento del mismo.



Figura 46 Mecanismo de desplazamiento del carro elevador. El autor.

#### **3.5.4 Ensamblaje de cadena y cable**

En este punto se busca hermanar los mecanismos de transferencia de potencia con el sistema de elevación de la carga, para esto se utiliza dos cadenas estándar de bicicleta de una velocidad unidas entre sí, una polea y cable de acero de 1/8 de pulgada de diámetro, este procedimiento se lo hizo así, fundamentado en la reducción de ruidos generados por una polea de cadena implementado en la totalidad del recorrido, una mayor facilidad para su ensamblaje y para facilitar el mantenimiento o recambio de piezas ya que las poleas son económicas y sencillas de hallar en el mercado.

Para la sujeción de la cadena se utilizan tornillos autoperforantes que estarán acoplados en el centro de el travesaño del carro elevador de carga, posteriormente se acopla la cadena al piñón del mecanismo de generación de potencia, luego se une el extremo final de la cadena al cable de acero con amarras de aluminio, y por último el cable es acoplado a la polea superior para ser asegurado en el otro extremo de la cadena como se puede notar en la Figura 47.

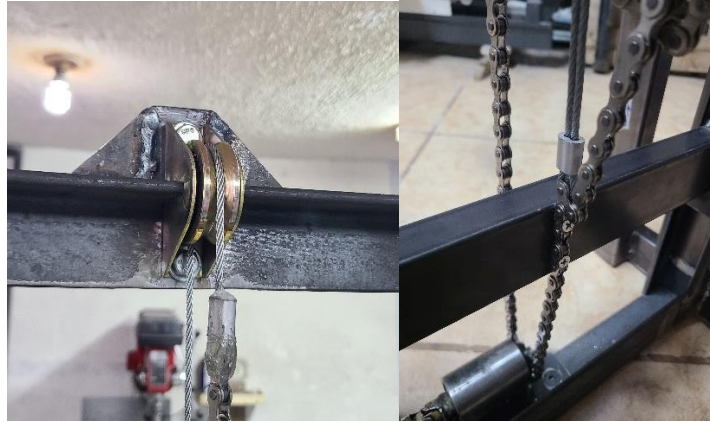


Figura 47 Acoplamiento de los elementos de transferencia de potencia. El autor.

### 3.5.5 Pruebas de funcionamiento del elevador

Para la prueba se planteó someter el elevador a carga de una caja de pernos estándar que tiene un peso aproximado de 15 kg como se puede ver en la medida de la Figura 48, se coloca la caja en una bolsa y esta se coloca en el gancho del a romanilla y esta se sostiene por medio de un alicate de presión al travesaño del carro elevador, durante este ensayo, cabe destacar que la batería se conectó directamente a los terminales del motor.

En la primera prueba se pueden distinguir unos ruidos provenientes del piñón y la cadena al momento de bajar el elevador, mirando más a detalle, se pudo divisar que la cadena estaba ligeramente desviada del engranaje, generando un desacople repetitivo, por lo que se procede a reubicar la sujeción de la cadena en el travesaño del carro elevador, esta vez la cadena queda alineada en su totalidad y se eliminan los ruidos.



Figura 48 Romanilla manual de 50 kg. El autor.

Después de levantar esta carga de prueba, hasta la altura observable en la Figura 49 se pudo comprobar que el elevador funciona de la manera esperada, el motor funciona a velocidad normal, no existe ralentización en comparación trabajo realizado sin carga, la tensión de la cadena y el cable es la adecuada, el sistema completo no genera ruidos molestos, excepto por el rozamiento del carro elevador con los pilares en C, esto debido a que el sistema aún no se encuentra engrasado.



Figura 49 Pruebas de elevador con carga de 15 kg. El autor.

### **3.5.6 Pruebas de funcionamiento de mecanismos y maniobrabilidad**

En síntesis, este elemento está estrechamente relacionado con la maniobrabilidad del proyecto, por lo que se considera realizar estas pruebas dentro de los espacios en donde estará previsto su uso en condiciones regulares. Para esto se prevé utilizarlo en el espacio de bodega más estrecho, en este caso es el callejón de tuercas y rodelas, en donde se pidió a la persona encargada que pruebe el control de dirección y su maniobrabilidad, hay que destacar que los espacios en este caso apenas son de 80 cm, en consecuencia se puede decir que esta prueba es crítica ya que de no ser el caso si la persona no puede pasar por detrás de la máquina se debería rediseñar el mecanismo, sin embargo como se observa en la Figura 50 Pruebas de maniobrabilidad, la persona tiene espacio suficiente para poder colocarse detrás de la máquina, cumpliendo satisfactoriamente la evaluación práctica.



Figura 50 Pruebas de maniobrabilidad. El autor.

### **3.6 Implementación del sistema de control**

#### **3.6.1 Fabricación de compartimiento para la batería**

Para la sujeción de la batería de ácido plomo hay que tomar ciertas precauciones, este elemento debe ser colocado lo más cerca posible al piso, ya que, al ser un elemento de un peso considerablemente elevado, si se coloca muy arriba, puede ocasionar desbalances del peso o en el peor de los casos volcaduras, puesto que el centro de masas podría situarse a mayor altura.

Se fabrica una base constituida con ángulos de acero, cortados en 45° de tal forma que, al ser unidos, los mismos formen un ángulos de 90° como se observa en la Figura 51 Soporte para batería, de esta manera sus aristas forman un contenedor.

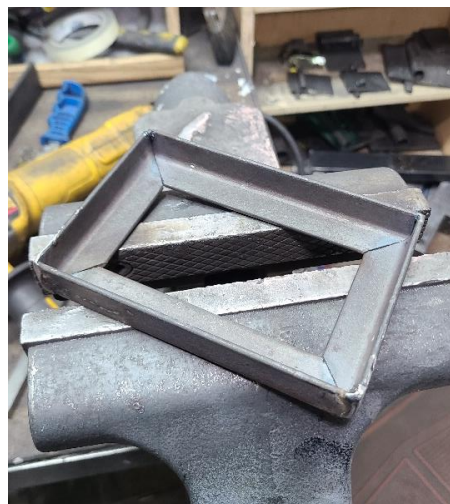


Figura 51 Soporte para batería. El autor.

Esta base se sujeta al marco de la estructura del montacarga a unos 25 cm de altura mostrado en la Figura 52 Sujeción post soldadura, puesto que el sistema de potencia del elevador se encuentra en este punto y a su vez el sistema de dirección motriz de la máquina impide que se fije más cerca del piso.



Figura 52 Sujeción post soldadura. El autor.

### **3.6.2 Fabricación del gabinete de control**

Para alojar todos los dispositivos electrónicos de control, así como reguladores de voltaje y drivers de los motores se plantea lo siguiente: es necesario contar con un compartimiento sellado que proteja estos componentes de golpes o caídas, este compartimiento debe estar situado en una posición cómoda para su implementación, así también para su mantenimiento o posteriores mejoras futuras. Tomando en cuenta estos antecedentes se genera un compartimiento soldando planchas de tol de 1.5 mm de espesor al cuadro de la estructura como se observa en la Figura 53.



Figura 53 Compartimiento para dispositivos de control. El autor.

### 3.6.3 Conexión de dispositivos

Teniendo ya el compartimiento adecuado en donde se alojará la tarjeta STM32 Núcleo, los reguladores de voltaje, drivers de los motores, sensores y los relés de activación, se aplica una capa de laca transparente, para evitar cortocircuitos por el contacto con la lata, se coloca una lámina antiestática para disminuir la probabilidad de contacto de los pines con el metal, posteriormente se fijan las tarjetas con tuercas separadoras para mantenerlas fijas ya que la maquina estará en constante movimiento, se generan conexiones, procurando agrupar los cables para obtener un área de trabajo adecuada y ordenada como se observa en la Figura 54.

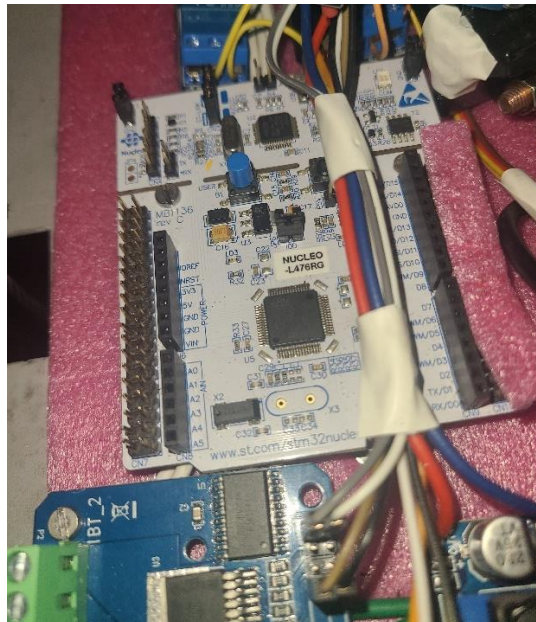


Figura 54 Manufactura de ramal principal de conexiones. El autor.



Posteriormente se procede a la colocación de los dispositivos de control, botones y potenciómetros en el panel principal, así como se observa en la Figura 55, se considera adecuada la señalización de las funciones que cumplirá cada elemento cumpliendo el propósito de un manejo intuitivo.



Figura 55 Botonera del panel principal. El autor.

Para el encendido y apagado de la máquina se considera la implementación de un switch de llave mostrado en la Figura 56, mismo que es muy utilizado en equipos dentro de la industria, de esta manera se obtiene un mecanismo seguro evitando encendidos o apagados involuntarios, también brindando a la empresa un control adecuado del uso de la máquina y un manejo sencillo por parte del operario.



Figura 56 Switch de llave ON/OFF/ON. El autor.

Finalmente se comprueba el correcto funcionamiento de los periféricos, se realizan correcciones de posiciones de los pines de los relés para cumplir la función de corte de líneas de comunicación hacia el controlador que gobierna el motor elevador, evitando así daños en el mecanismo por atascos, a continuación, en la Figura 57, se muestra el gabinete abierto con todas las conexiones realizadas.



Figura 57 Gabinete de alojamiento de tarjetas de control. El autor.

## CAPÍTULO IV

### ANÁLISIS DE COSTOS

#### GENERALIDADES

En este capítulo se presenta un análisis detallado de los costos asociados a la producción y construcción de la máquina en estudio. Se han identificado y calculado los gastos de producción, mano de obra e insumos necesarios para llevar a cabo el proyecto.

Se realiza un desglose exhaustivo de los costos de los materiales utilizados en la fabricación de la máquina, teniendo en cuenta las cantidades necesarias y los precios de adquisición. Además, se han considerado los costos asociados a los componentes electrónicos, motores, sensores y otros elementos necesarios para el funcionamiento adecuado de la máquina. Se efectúa una estimación de los costos de la mano de obra involucrada en la construcción de la máquina y por último se consideran los costos de importación y transporte de los dispositivos adquiridos en el exterior.

#### 4.1 Elementos de fabricación

En la siguiente Tabla 19 se presentan los costos de los dispositivos y materiales utilizados para la construcción de la máquina.

Tabla 19 Costo de elementos utilizados.

Descripción	Cantidad	Precio unitario	Subtotal
STM32 NUCLEO F401	1	\$23.50	\$23.50
Módulo de borneras	1	\$20.99	\$20.99
Potenciómetro lineal 10k	2	\$5.50	\$11.00
Interruptor momentáneo 3 estados	1	\$10.99	\$10.99
Botón momentáneo normalmente abierto	1	\$7.99	\$7.99
Cargador de baterías automotriz	1	\$25.85	\$25.85
Sensor de proximidad normalmente abierto	3	\$5.00	\$15.00
Driver motor DC BTS7960	2	\$7.50	\$15.00
Modulo reductor de voltaje LM2596	2	\$3.00	\$6.00
Interruptor de llave 3 posiciones	1	\$15.99	\$15.99
Motor DC 100 RPM	1	\$79.00	\$79.00
Motor DC 40 RPM	1	\$64.99	\$64.99
Piñón 9 dientes	1	\$8.00	\$8.00
Cadena de bicicleta	2	\$8.50	\$17.00
Batería acido plomo para moto	1	\$85.00	\$85.00
Perfil C 60x35x2mm	1	\$18.40	\$18.40
Perfil rectangular 55x30x2mm	1	\$15.50	\$15.50
Lamina 8.00 x 1200 x 6mm	1	\$25.75	\$25.75
Lamina ángulo 50 x 50 x 6000mm	1	\$48.00	\$48.00

Libra de electrodo 6011	5	\$3.80	\$19.00
Libra electrodo 6013	5	\$4.70	\$23.50
Cable de acero 1/8"	2	\$4.90	\$9.80
Amarras para cable de acero	6	\$3.50	\$21.00
Broca cobalto 11.5 mm	1	\$49.00	\$49.00
Broca cobalto 12 mm	1	\$54.00	\$54.00
Broca 4.2 mm	1	\$2.75	\$2.75
Fresa 4 labios 4 mm	1	\$6.90	\$6.90
Disco de corte	4	\$1.90	\$7.60
Disco flange 4 ½ "x 5/8" grano 40	1	\$12.65	\$12.65
Garrucha 2"	2	\$5.50	\$11.00
Garrucha de caucho 6"	1	\$45.00	\$45.00
Chumacera 5/8"	2	\$12.50	\$25.00
Rodamientos SKF 6003	3	\$8.50	\$25.50
Perno Allen avellanado 6x25 mm	6	\$0.32	\$1.92
Perno Allen avellanado 8x20 mm	4	\$0.43	\$1.72
Perno hexagonal tropicalizado 8x20 mm	10	\$0.38	\$3.80
Tuerca hexagonal galvanizada M8	10	\$0.12	\$1.20
Rodela plana M8	20	\$0.08	\$1.60
Tuerca hexagonal M8	3	\$0.11	\$0.33
Prisionero 5x 10 mm	1	\$0.29	\$0.29
Prisionero 6x 10 mm	3	\$0.32	\$0.96
Dirección de bicicleta	1	\$5.50	\$5.50
Cables eléctricos #16	4	\$4.00	\$16.00
Fondo de pintura 1L	1	\$16.00	\$16.00
Pintura amarilla 1L	1	\$19.00	\$19.00
Pintura negra 1L	1	\$19.00	\$19.00
Papel de lija 240	2	\$0.45	\$0.90
Papel de lija 360	2	\$0.45	\$0.90
Eje de transmisión ¾" x 1000mm	1	\$9.50	\$9.50
Polea 2"	1	\$5.80	\$5.80
Separador de tarjetas electrónicas	2	\$0.45	\$9.00
Muñón mando ½"	1	\$7.50	\$7.50
Tornillos	10	\$0.09	\$0.90
		<b>Total:</b>	<b>\$948.47</b>

#### 4.2 Mano de obra y prestación de servicios

En la Tabla 20 se detalla los costos estimados por mano de obra específica por cada tipo de trabajo realizado, y costos de servicios básicos del taller. Estos valores fueron estimados de acuerdo con los costos de prestación de servicios de personal externo a la empresa, así como los valores promedio de consumo de servicios básicos mensuales.

Tabla 20 Costos por mano de obra y prestación de servicios.

<b>Descripción</b>	<b>Horas</b>	<b>Valor por hora</b>	<b>Subtotal</b>
Uso de herramientas y maquinaria	100	\$3	\$300
Soldadura y acabados	40	\$3.5	\$140
Tornería de piezas	20	\$15	\$300
Pintura	10	\$12	\$120
Agua	5	\$0.05	\$0.25
Luz	100	\$0.14	\$14
<b>Total</b>			<b>\$874.25</b>

### 4.3 Costos de importación

Para la adquisición de ciertos ítems utilizados en este trabajo de titulación, fue requerido un servicio de importación ya que los costos de estos en el país se tornaban elevados en comparación a la importación. En esta ocasión se trabajó con la empresa Laabox de donde se establece las tarifas de fletes y manejo de mercadería [41]. En la Tabla 21 se visualiza el detalle de las 4 importaciones realizadas.

Tabla 21 Tabla de costos de importación

<b>Descripción</b>	<b>Peso Libras</b>	<b>Precio por peso</b>	<b>Subtotal</b>
Pedido N° 114-8202209-4877053	4	\$6.18	\$24.71
Pedido N° 114-1673208-3717039	1	\$11.00	\$11.00
Pedido N° 114-3873042-4865055	3	\$7.00	\$20.99
Pedido N° 114-7597855-1092222	4	\$6.18	\$24.71
<b>Total</b>			<b>\$81.41</b>

### 4.4 Cálculo del VAN

El objetivo del proyecto es tratar de apoyar a la pequeña y mediana empresa que esté relacionada con la industria de la ferretería y que a su vez por tema de infraestructura el negocio se desarrolle en espacios estrechos y de poca movilidad para un montacarga estándar, el valor que se toma en cuenta para el desarrollo de una máquina para el presente proyecto será de \$1808,47 el cual consta como el valor de producción, sin embargo, es necesario destacar que si se proyecta realizar una producción en serie, hace falta una inversión en maquinaria y

herramienta correspondiente a \$1700 dando un total de inversión inicial de \$3500, en donde se incluye los elementos a utilizar como se puede evidenciar en la Tabla 19 y la mano de obra directa para la fabricación del montacarga demostrada en la Tabla 20. El valor de la inversión se puede considerar como accesible ya que no es necesaria una asignación de fondos tan elevada.

Tomando en cuenta la complejidad del trabajo al mes se podrían fabricar 3 montacargas con un valor de \$2260.60 cada uno, de ello se obtiene una rentabilidad del 25%, si se vendieran dos montacargas mensualmente se obtendría un ingreso de \$4521.20 y anualmente un ingreso de \$54254.40. De acuerdo con la Tabla 20 y Tabla 21 se obtiene como egresos la cantidad de \$95,66 mensual y \$1147,92 anuales.

Tabla 22 Datos de proyección

<b>Datos</b>	<b>Valores</b>
#periodos	5
Tipo	anual
Tasa de descuento	8%
Inversión inicial	3500.00

Tabla 23 Cálculo del TIR y VAN

Ingresos		Egresos		Flujo neto	
<b>Año</b>	<b>Valor</b>	<b>Año</b>	<b>Valor</b>	<b>Año</b>	<b>Valor</b>
0	0	0	-3500	0	-3500
1	54,254.40	1	1147.2	1	53107.2
2	54,354.40	2	1247.2	2	53107.2
3	54,454.40	3	1347.2	3	53107.2
4	54,554.40	4	1447.2	4	53107.2
5	54,654.40	5	1547.2	5	53107.2
<b>Total</b>	<b>272,272.00</b>	<b>Total</b>	<b>3236</b>	<b>Total</b>	<b>262036</b>

<b>VAN</b>	<b>\$ 1,817.68</b>
TIR	25%

Como se puede observar en la Tabla 23 el VAN arroja un valor superior a cero lo que significa que el proyecto es viable ya que al aplicarlo se podrá obtener un beneficio de \$3,509.21 dólares y en la TIR se puede evidenciar que se obtendrá el 64% de ganancia, este es un valor superior al que se había tomado como referencia para el cálculo del VAN que corresponde al 40%, de acuerdo con lo calculado en el VAN y la TIR el proyecto es viable.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1 CONCLUSIONES

Posterior al análisis situacional de la problemática referente a las lesiones laborales por mal uso de la fuerza que se pueden ocasionar al levantar cajas de perno, se han tomado estas consideraciones como punto de partida para el diseño de un dispositivo que solvete las necesidades, con el fin de obtener una máquina de control intuitivo, como resultado se evidencia una disminución del porcentaje de 100% en lesiones lumbares.

El diseño de los diversos componentes electrónicos, eléctricos y mecánicos que conforman el montacarga de dimensiones reducidas como: la programación del microcontrolador, el mecanismo motriz, el sistema de transmisión de potencia de piñón y la fabricación de la estructura, han permitido obtener un diseño con un 90% de confiabilidad, poniendo en práctica los conocimientos adquiridos durante la carrera de ingeniería mecatrónica, poniendo énfasis en la excelencia y atención a los pequeños detalles para hacer que este trabajo se distinga y contribuya con el bienestar de la sociedad.

Durante las pruebas de funcionamiento realizadas en el prototipo, se pudo constatar el correcto funcionamiento de los sistemas en las condiciones para las que fue diseñado, levantando un máximo de carga de 35 kg, que consta casi un 30 % más del peso esperado, evitando los esfuerzos físicos en la zona lumbar de los encargados de la bodega. Se evidencia la facilidad y control intuitivo que la máquina ofrece a los usuarios generando un ambiente de trabajo óptimo que permite a la empresa acortar tiempos de entrega de pedidos si tomamos en cuenta que el tiempo estimado de acopio de mercadería manualmente usando escaleras es de entre 3 a 4 minutos, el tiempo se reduce considerablemente ya que se constató durante las pruebas que se cumple la misma tarea en cuestión de 1 a 1,5 minutos.

Las velocidad máxima alcanzada por el actuador del sistema motriz a plena carga, alcanza una magnitud ligeramente menor a la rapidez de una persona al caminar, la velocidad del mecanismo de elevación sin embargo alcanza la velocidad máxima estimada sin carga, al ejercer un peso sobre las palas la velocidad se ve levemente reducida pero constante.

La autonomía que ofrece la batería se considera como óptima, ya que durante toda la construcción se recargó una sola vez, y posteriormente a sus pruebas de autonomía la máquina funciona perfectamente durante aproximadamente 4 horas seguidas sin interrupciones, más que suficiente para el uso discontinuo durante una jornada laboral extensa.



## 5.2 RECOMENDACIONES

- Para aumentar la productividad de las tareas de acopio de las cajas de perno, se recomienda la manufactura de pallets de 28 x 28 cm de área de tal forma que los travesaños queden perpendiculares a la pared para permitir la entrada de las palas del elevador por la parte inferior del pallet permitiendo un manejo e inversión de los paquetes mucho más sencillo.
- Como programa de mantenimiento se recomienda realizar una inspección visual sobre los mecanismos de elevación y sistema de dirección del montacarga al ser puntos móviles, estas zonas podrían verse afectadas por la falta de lubricación, de este modo también cabe mencionar que los carriles del elevador deben permanecer siempre engrasados y libres de virutas metálicas para, garantizar el buen funcionamiento del prototipo.
- La zona en la que se encuentra alojado el acumulador eléctrico, debe mantenerse limpia ya que esta batería cuenta con un respiradero por donde se libera líquido ácido sumamente corrosivo que podría generar daños por oxidación en la estructura metálica.
- Se recomienda no exceder el peso máximo de elevación, esto podría repercutir en daños del sistema de transmisión de potencia hacia el piñón o peor aún una ruptura repentina del cable o cadena, que al estar en tensión pueda causar lesiones en el operario.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] R. Vega, «IESS,» 26 Agosto 2022. [En línea]. Available: [https://www.iess.gob.ec/documents/10162/8421754/09\\_BOLETIN\\_ESTADISTICO\\_26\\_2021?version=1.0](https://www.iess.gob.ec/documents/10162/8421754/09_BOLETIN_ESTADISTICO_26_2021?version=1.0). [Último acceso: Diciembre 2022].
- [2] Kansas State University, «Osha,» [En línea]. Available: <https://www.osha.gov>. [Último acceso: Diciembre 2022].
- [3] P. Á. López Miñarro, Ejercicios desaconsejados en la actividad física: detección y alternativas, INDE, 2021.
- [4] C. Arenal Laza, Manipulación de cargas con carretillas elevadoras: MF0432, San Millán: Tutor Formación , 2020.
- [5] R. Mijarez Castro, Electrónica, Mexico: Grupo Editorial Patria , 2014.
- [6] T. Kubala, Electricidad 4: motores de CA/CC, controles y mantenimiento (9a. ed.), Argentina : Cengage Learning, 2011.
- [7] J. F. Mora, Problemas de máquinas eléctricas, Madrid: McGraw-Hill España, 2011.
- [8] N. Mohan, Electrónica de potencia: convertidores, aplicaciones y diseño (3a. ed.), Mexico : McGraw-Hill España, 2009.
- [9] E. L. Arnáez Braschi, Enfoque práctico del control moderno: con aplicaciones en Matlab, Lima: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC), 2014.
- [10] G. Ávalos Arzate, Teoría de control, ajuste de controladores industriales, Mexico DF: Instituto Politécnico Nacional, 2002.
- [11] A. Pytel y J. Kiusalaas, Ingeniería mecánica estática (3a. ed.), Mexico DF: Cengage Learning, 2012.
- [12] H. Russell, Engineering Mechanics: Combined & SSP with FBD Package (11th, Prentice Hall, 2006.
- [13] B. Ferdinand y J. Russell, Mecánica de materiales, Mexico: McGraw-Hill, 2009.
- [14] Tornillos y tuercas Tepeyac, «Tornillos y tuercas,» SEO Adwebsys, 2020. [En línea]. Available: <https://tornillosytuercas.mx/>. [Último acceso: Junio 2023].
- [15] Pintulac, «Pintulac,» 2021. [En línea]. Available: <https://www.pintulac.com.ec/>. [Último acceso: Junio 2023].
- [16] Arduino.cc, «¿Que es Arduino?,» [En línea]. Available: <https://www.arduino.cc/>. [Último acceso: 2023].
- [17] STMicroelectronics, «ST: Pagina principal,» 2023. [En línea]. Available: <https://www.st.com/>. [Último acceso: 2023].

- [18] SIEMENS, «Siemens: Pagina principal,» 2023. [En línea]. Available: <https://www.siemens.com/>. [Último acceso: 2023].
- [19] J. Keljik, Electricidad 4: motores de CA/CC, controladores y mantenimiento, Buenos Aires: Cengage Learning: Division Argentina, 2011.
- [20] Amazon Inc, «Amazon,» 2023. [En línea]. Available: [https://www.amazon.com/-/es/escobillas-velocidad-reducci%C3%B3n-alimentaci%C3%B3n-el%C3%A9ctrico/dp/B0C6J7FHMC/ref=sr\\_1\\_2?\\_\\_mk\\_es\\_US=%C3%85M%C3%85%C5%BD%C3%95%C3%91&crid=1GW40WBKOYHHY&keywords=motor+brushless+reductora&qid=1687390800&prefix=motor+brushle](https://www.amazon.com/-/es/escobillas-velocidad-reducci%C3%B3n-alimentaci%C3%B3n-el%C3%A9ctrico/dp/B0C6J7FHMC/ref=sr_1_2?__mk_es_US=%C3%85M%C3%85%C5%BD%C3%95%C3%91&crid=1GW40WBKOYHHY&keywords=motor+brushless+reductora&qid=1687390800&prefix=motor+brushle). [Último acceso: Enero 2023].
- [21] J. Gonzales, Montaje y mantenimiento de maquinas electricas rotativas, Andalucia: Innovacion y Cualificacion, S. L., 2012.
- [22] I. Escalona, Transductores y sensores en la automatizacion industrial, México: El Cid Editor.
- [23] Ingenieria Mecafenix, «Que es un final de carrera y para que sirve,» 26 mayo 2021. [En línea]. Available: <https://www.ingmecafenix.com/automatizacion/sensores/final-de-carrera/>. [Último acceso: 2023].
- [24] L. Corona, G. Abarca y J. Mares, Sensores y actuadores: Aplicaciones con Arduino, México: Grupo Editorial Patria, 2014.
- [25] WEG, «Sensores Magneticos,» [En línea]. Available: [https://www.weg.net/catalog/weg/BR/es/Seguridad-de-M%C3%A1quinas%2C-Sensores-Industriales-y-Fontes-de-Alimentaci%C3%B3n/Sensores-Industriales/Sensores-Magn%C3%A9ticos/Sensores-Magn%C3%A9ticos/p/MKT\\_WDC\\_BRAZIL\\_SENSORS\\_MAGNETIC\\_SENSORS](https://www.weg.net/catalog/weg/BR/es/Seguridad-de-M%C3%A1quinas%2C-Sensores-Industriales-y-Fontes-de-Alimentaci%C3%B3n/Sensores-Industriales/Sensores-Magn%C3%A9ticos/Sensores-Magn%C3%A9ticos/p/MKT_WDC_BRAZIL_SENSORS_MAGNETIC_SENSORS). [Último acceso: Enero 2023].
- [26] Cuaderno de Cultura Cientifica, «Así funcionan las baterías de litio,» 20 febrero 2020. [En línea]. Available: <https://culturacientifica.com>. [Último acceso: 2023].
- [27] Sabelotodo.org, «Acumuladores de plomo,» [En línea]. Available: <http://www.sabelotodo.org>. [Último acceso: 2023].
- [28] The engineering toolbox, «La caja de herramientas de ingeniería,» [En línea]. Available: <https://www.engineeringtoolbox.com/>. [Último acceso: 2023].
- [29] M. Romero y P. Museros, Resistencia de materiales, Jaume: Publicacions de la Universitat Jaume, 2002.
- [30] B. Richard y K. Nisbett, DISEÑO EN INGENIERÍA MECÁNICA DE SHIGLEY, Mexico D.F: The McGraw-Hill, 2008.
- [31] DIPAC MANTA S.A, «DIPAC,» 2023. [En línea]. Available: <https://dipacmanta.com/>. [Último acceso: JUNIO 2023].

- [32] IVAN BOHMAN C.A., «Bohman,» 2022. [En línea]. Available: <https://bohman.com.ec/>. [Último acceso: Junio 2023].
- [33] PANAMA FASTENERS.INC, «Panama Fasteners,» 2023. [En línea]. Available: <https://panamafasteners.com/tor-allen-cabeza-plana-din7991-10-9-grupo-09-familia-41/>. [Último acceso: 15 Julio 2023].
- [34] SKF®, «SKF,» 2023. [En línea]. Available: <https://www.skf.com/co/support/engineering-tools/bearing-select>. [Último acceso: 15 Julio 2023].
- [35] R. Zapata, «Modelado y programación de sistemas,» Diapositivas presentadas en clases, Quito , 2021.
- [36] C. ST, «ST,» STMicroelectronics, 2023. [En línea]. Available: <https://community.st.com/t5/stm32-mcu-products/stm32-timer-calculator-tool/mp/422461>. [Último acceso: Junio 2023].
- [37] L. G. Zarate Ordoño y L. Arriaga Segundo, Procesos de soldadura, Mexico D.F.: Instituto Politécnico Nacional, 2008.
- [38] F. Chávez Aparicio, R. Mejía Corona y G. Pacheco Díaz, Procesos de maquinado en torno convencional, México D.F.: Grupo Editorial Éxodo, 2009.
- [39] Plataforma de navegación en línea (OBP), «ISO (Internacional Organization for Standardization),» 2005. [En línea]. Available: <https://www.iso.org/>. [Último acceso: 06 2023].
- [40] Tecnocorte, «TECNOCORTE,» 2023. [En línea]. Available: <https://tecnocorte.com/blog/fresadora-cnc-calcular-velocidad-de-corte-y-de-avance/>. [Último acceso: Junio 2023].
- [41] LAARCURIER, «Laarbox,» e-Comers Logistics, [En línea]. Available: <https://www.laarbox.com/tarifario>. [Último acceso: Junio 2023].

## ANEXOS