



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**  
**SEDE CUENCA**  
**CARRERA DE MECATRÓNICA**

**DISEÑO DE UN ELEVADOR MÓVIL AUTOMÁTICO PARA LA  
MANIPULACIÓN Y TRANSPORTE DE SUMINISTROS EN LA  
EMPRESA FEDOCOM CIA. LTDA.**

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

**AUTORES: MARÍA JOSÉ DOMÍNGUEZ OCHOA**  
**STUART ADRIÁN MARTÍNEZ VERA**

**TUTOR: ING. ANGEL EUGENIO CÁRDENAS CADME, M.SC.**

Cuenca – Ecuador

2023

# CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, María Jose Domínguez Ochoa con documento de identificación N° 0105750228 y Stuart Adrián Martínez Vera con documento de identificación N° 0106043854; manifestamos que:

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

Ciudad, 21 de julio del 2023

Atentamente,



---

María José Domínguez Ochoa  
0105750228



---

Stuart Adrián Martínez Vera  
0106043854

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

Nosotros, María Jose Domínguez Ochoa con documento de identificación N° 0105750228 y Stuart Adrián Martínez Vera con documento de identificación N° 0106043854, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto Técnico: "Diseño de un elevador móvil automático para la manipulación y transporte de suministros en la empresa FEDOCOM CIA. LTDA.", el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniera en Mecatrónica / Ingeniero en Mecatrónica, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

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

Ciudad, 21 de julio del 2023

Atentamente,



---

María José Domínguez Ochoa  
0105750228



---

Stuart Adrián Martínez Vera  
0106043854

# CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Angel Eugenio Cárdenas Cadme con documento de identificación N° 0301631966, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DISEÑO DE UN ELEVADOR MÓVIL AUTOMÁTICO PARA LA MANIPULACIÓN Y TRANSPORTE DE SUMINISTROS EN LA EMPRESA FEDOCOM CIA. LTDA., realizado por María José Domínguez Ochoa con documento de identificación N° 0105750228 y Stuart Adrián Martínez Vera con documento de identificación N° 0106043854, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Ciudad, 21 de julio del 2023

Atentamente,



---

Ing. Angel Eugenio Cárdenas Cadme, M.Sc.  
0301631966

# Dedicatoria

## *María José*

El presente proyecto de titulación lo dedico especialmente a mi padres y hermanos quienes han sido mi motivación y apoyo incondicional en a lo largo de mi vida personal y académica.

A mis amigos, con quienes he podido compartir experiencias y lograr éxitos, convirtiéndose en un apoyo en esta etapa de aprendizaje y crecimiento personal.

## *Stuart Adrián*

El presente proyecto de titulación está dedicado:

A Dios y a la Virgen, por haber permitido culminar mi carrera y brindarme la fuerza, actitud y compromiso para estar hoy aquí presente.

A mis padres Javier y Lourdes, quienes han sido un pilar fundamental en mi vida, brindándome su apoyo incondicional en cada paso que he dado a lo largo de mi carrera.

A mi hermano Jeremy, quien me enseñó que con la unión, compromiso y fe podemos superar cualquier obstáculo que se presente en la vida y seguir hacia adelante con la frente en alto.

A mi familia quien supo apoyarme desde el inicio acompañándome en todos los malos y buenos momentos.

# Agradecimientos

## *María José*

Agradezco a mis padres Marcia Ochoa y Fernando Domínguez, que han sido mi guía en mi crecimiento personal, brindándome su ayuda y apoyo en cada momento de mi vida. Quienes siempre me han impulsado a conseguir mis metas personales.

A mis hermanos Juan y Mateo, quienes siempre han estado presentes en cada paso de mi vida, brindándome su ayuda incondicional y siendo mi motivación para seguir adelante.

A mis amigos, con los cuales he compartido a lo largo de esta etapa universitaria, especialmente a Paola, Christian, Josué y David, por su apoyo y ayuda incondicional, con quienes he podido compartir grandes experiencias y hemos alcanzado grandes logros en el ámbito personales y académico.

Agradezco a mi tutor Ing. Eugenio Cárdenas por su acompañamiento y su aporte de conocimientos para el desarrollo del presente trabajo; por su esfuerzo y el tiempo dedicado para culminar este proceso.

Finalmente agradezco a los docentes que estuvieron presente en este proceso de aprendizaje brindándome su apoyo y conocimientos para solucionar cualquier duda presentada.

## *Stuart Adrián*

Agradezco a mi Tutor de Proyecto de Titulación Ing. Eugenio Cárdenas, quien supo ser una guía a lo largo del trayecto, ofreciéndonos sus conocimientos y brindándonos su tiempo y paciencia para culminar el presente proyecto.

Agradezco a mis padres y a mi hermano por haberme permitido culminar mi carrera, por el apoyo incondicional que siempre tuve de su parte y por su confianza depositada en mí.

Agradezco a mis amigos quienes me han apoyado incondicionalmente, por sus consejos y

por cada momentos divertido que presenciamos.

Finalmente, agradezco a cada una de las personas que estuvo presente a lo largo de mi carrera, tanto profesores como familiares quienes han sido parte de la formación universitaria y personal.

Este documento fue realizado enteramente en L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X



# Índice

<b>Certificado de responsabilidad y autoría del trabajo de titulación</b>	<b>I</b>
<b>Certificado de cesión de derechos de autor del trabajo de titulación a la Universidad Politécnica Salesiana</b>	<b>II</b>
<b>Certificado de dirección del trabajo de titulación</b>	<b>III</b>
<b>Dedicatoria</b>	<b>IV</b>
<b>Agradecimientos</b>	<b>V</b>
<b>Resumen</b>	<b>XVII</b>
<b>Abstract</b>	<b>XVIII</b>
<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
<b>2. Problema</b>	<b>1</b>
2.1. Antecedentes . . . . .	1
2.2. Descripción del problema . . . . .	2
2.3. Importancia y alcances . . . . .	2
2.4. Delimitación . . . . .	3
2.4.1. Espacial o geográfica . . . . .	3
2.4.2. Temporal . . . . .	4
2.5. Problema General . . . . .	4
2.6. Problemas Específicos . . . . .	4
<b>3. Objetivos</b>	<b>4</b>
3.1. Objetivo General . . . . .	4
3.2. Objetivos Específicos . . . . .	4
<b>4. Hipótesis</b>	<b>5</b>
4.1. Hipótesis General . . . . .	5
4.2. Hipótesis Específicas . . . . .	5

<b>5. Marco Teórico</b>	<b>5</b>
5.1. Introducción a la empresa FEDOCOM CIA. LTDA. . . . .	5
5.1.1. Diagrama de operaciones . . . . .	6
5.2. Sistemas de elevación y transporte . . . . .	7
5.2.1. Montacargas . . . . .	7
5.2.2. Robot AGV . . . . .	8
5.2.3. Apiladores . . . . .	10
5.2.4. Grúas hidráulicas . . . . .	13
5.2.5. Elevador tipo tijera . . . . .	14
5.2.6. Manipuladores de vacío . . . . .	15
5.3. Opciones de actuadores . . . . .	16
5.3.1. Tipos de motores eléctricos . . . . .	16
5.3.2. Actuadores neumáticos . . . . .	17
5.3.3. Actuadores hidráulicos . . . . .	19
5.4. Elementos de transmisión . . . . .	19
5.5. Sistemas de control . . . . .	22
5.5.1. Configuración del sistema de control . . . . .	23
<b>6. Marco metodológico</b>	<b>24</b>
6.1. Establecimiento de los parámetros iniciales para el diseño del sistema de manipulación y transporte de carga . . . . .	24
6.1.1. Dimensionamiento espacio físico . . . . .	24
6.1.2. Dimensionamiento de la carga a transportar . . . . .	27
6.1.3. Medidas antropométricas del operario . . . . .	29
6.2. Selección de los subsistemas para la elevación y transporte de suministros .	30
6.3. Propuestas de diseño para un elevador móvil automático . . . . .	31
6.3.1. Diseño del concepto . . . . .	31
6.3.2. Determinación de la carga máxima admisible . . . . .	38
6.3.3. Cálculo y selección de materiales estructurales . . . . .	40
6.3.4. Selección de rodamientos . . . . .	56
6.3.5. Selección polea . . . . .	59
6.3.6. Selección de ruedas de apoyo . . . . .	61
6.3.7. Selección del motor para el sistema de elevación . . . . .	62
6.3.8. Dimensionamiento y selección del motor para el sistema de desplazamiento	63
6.3.9. Selección sensor de navegación . . . . .	67

6.3.10. Selección de controladores . . . . .	69
6.3.11. Selección del mando para la manipulación del equipo . . . . .	71
6.3.12. Dimensionamiento y selección de la batería . . . . .	72
6.3.13. Diseño estructural del sistema . . . . .	77
6.3.14. Uniones por soldadura . . . . .	86
6.4. Diseño sistema de desplazamiento automático . . . . .	89
6.4.1. Trayectoria de desplazamiento . . . . .	89
6.4.2. Interfaz de comunicación . . . . .	94
6.5. Diseño electrónico . . . . .	95
6.6. Modelo elevador móvil automático . . . . .	101
6.7. Diseño de control . . . . .	104
6.8. Análisis de costos . . . . .	114
<b>7. Resultados</b>	<b>120</b>
7.1. Parámetros de diseño mecánico para el elevador móvil automático . . . . .	120
7.2. Diseño mecánico para el elevador móvil automático . . . . .	122
7.2.1. Diseño de control para el elevador móvil automático . . . . .	127
7.3. Resultados del análisis de costos . . . . .	131
<b>8. Conclusiones</b>	<b>131</b>
<b>9. Recomendaciones</b>	<b>133</b>
<b>Referencias</b>	<b>138</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>139</b>

## Lista de Tablas

1.	Montacarga de combustión interna . . . . .	8
2.	Montacarga eléctrico . . . . .	8
3.	AGV ZOOMLION . . . . .	9
4.	AGV FORKLIFT . . . . .	10
5.	Apilador manual 1T . . . . .	10
6.	Apilador rotador de bidones . . . . .	11
7.	Apilador semi eléctrico . . . . .	11
8.	Apilador manual de bidones . . . . .	12
9.	Apilador eléctrico . . . . .	12
10.	Pluma hidráulica plegable . . . . .	13
11.	Planta hidráulica plegable . . . . .	13
12.	Elevador de tijera manual . . . . .	14
13.	Transpaleta manual de tijera . . . . .	15
14.	Manipulador neumático . . . . .	16
15.	Altura a la superficie de carga de los vehículos . . . . .	27
16.	Dimensionamiento del espacio físico . . . . .	27
17.	Dimensionamiento de la carga . . . . .	29
18.	Dimensiones del equipo . . . . .	32
19.	Manipulación manual de la carga . . . . .	38
20.	Cantidad de productos a transportar . . . . .	39
21.	Factores de seguridad recomendados . . . . .	41
22.	Especificaciones motor tracción . . . . .	69
23.	Especificaciones motor dirección . . . . .	70
24.	Consumo total del sistema . . . . .	74
25.	Parámetros del motor DC de tracción . . . . .	106
26.	Parámetros del PI para el motor de tracción . . . . .	109
27.	Parámetros del motor DC de elevación . . . . .	111
28.	Parámetros del PI para el motor de elevación . . . . .	113
29.	Costos directos de equipos y herramientas. . . . .	115
30.	Costos directos de materiales. . . . .	116
31.	Costos directos de mano de obra. . . . .	118
32.	Costos directos totales. . . . .	118
33.	Costos indirectos totales. . . . .	119

34.	Costos total. . . . .	119
35.	Dimensiones máximas y reales del elevador móvil automático. . . . .	121
36.	Carga máxima del elevador móvil automático. . . . .	121
37.	Antropometría del operador. . . . .	122
38.	Velocidades máximas del los sistemas de elevación y tracción. . . . .	127
39.	Comparación de parámetros del sistema de tracción. . . . .	128
40.	Comparación de parámetros del sistema de elevación. . . . .	130
41.	Matriz de consistencia . . . . .	140
42.	Variable dependiente . . . . .	141

## Lista de Figuras

1.	Ubicación de la empresa FEDOCOM CIA. LTDA. . . . .	3
2.	FEDOCOM CIA. LTDA . . . . .	6
3.	Diagrama de operaciones de FEDOCOM CIA. LTDA. . . . .	6
4.	Montacarga . . . . .	7
5.	Robot AGV . . . . .	9
6.	Elevador tipo tijera . . . . .	14
7.	Manipulador de vacío . . . . .	15
8.	Motor DC . . . . .	16
9.	Motor AC . . . . .	17
10.	Cilindro de simple efecto . . . . .	18
11.	Cilindro de doble efecto . . . . .	18
12.	Cilindros hidráulicos . . . . .	19
13.	Elementos de transmisión . . . . .	20
14.	Cadena de transmisión . . . . .	20
15.	Sistema de poleas y correas . . . . .	21
16.	Sistema de engranajes . . . . .	21
17.	Sistema de levas . . . . .	22
18.	Subsistema . . . . .	22
19.	Características de la respuesta de un sistema. . . . .	23
20.	Configuración en lazo abierto . . . . .	23
21.	Configuración en lazo cerrado . . . . .	24
22.	Área de almacenamiento de insumos en la empresa FEDOCOM CIA. LTDA. . . . .	25
23.	Área de carga de la empresa FEDOCOM CIA. LTDA. . . . .	25
24.	Plano de la empresa . . . . .	26
25.	Caja de galones de aceite industrial . . . . .	28
26.	Balde de aceite industrial . . . . .	28
27.	Tanque de aceite industrial . . . . .	29
28.	Dimensiones físicas humanas SAE J833 . . . . .	30
29.	Dimensiones de un equipo elevador de carga . . . . .	32
30.	Esquema elevador . . . . .	33
31.	Partes principales del elevador . . . . .	34
32.	Fuerza de carga actuante en el elevador . . . . .	35
33.	Sujeción y traslación de las horquillas de elevación (Opción 1) . . . . .	36

34.	Sujeción y traslación de las horquillas de elevación (Opción 2) . . . . .	36
35.	Anclaje de las horquillas de elevación (Opción 1) . . . . .	37
36.	Anclaje de las horquillas de elevación (Opción 2) . . . . .	37
37.	Transporte de cajas y baldes . . . . .	38
38.	Distribución de tanques, baldes y cajas . . . . .	39
39.	ACERO ASTM A36 - SAE J 403 1008 . . . . .	40
40.	Diagrama de viga en voladizo . . . . .	42
41.	Análisis horquillas carga crítica . . . . .	44
42.	Diagrama de viga en voladizo carga distribuida . . . . .	44
43.	Análisis horquillas carga distribuida . . . . .	45
44.	Diagrama de viga con doble apoyo (Perfil superior) . . . . .	46
45.	Análisis perfil superior carga crítica . . . . .	48
46.	Análisis perfil superior carga distribuida . . . . .	49
47.	Diagrama columna con extremos fijos . . . . .	50
48.	Análisis columnas . . . . .	52
49.	Diagrama de viga con doble apoyo (base) . . . . .	53
50.	Análisis perfil de base carga crítica . . . . .	55
51.	Análisis perfil de base carga distribuida . . . . .	55
52.	Rodamiento 6012-2RS1/C3 . . . . .	56
53.	Esquema disposición rodamientos . . . . .	57
54.	Tolerancias generales dimensionales . . . . .	58
55.	Ensamble de rodamientos . . . . .	58
56.	Polea de acero inoxidable . . . . .	59
57.	Análisis soporte polea . . . . .	60
58.	Modelado polea . . . . .	60
59.	Rueda de poliuretano 19YU76 . . . . .	61
60.	Tecele Eléctrico Century PA1000 500 kg . . . . .	62
61.	RUGCEL Winch 2000 lb . . . . .	63
62.	Inclinación de rampas . . . . .	64
63.	Coefficiente estático de rozamiento . . . . .	65
64.	Ruedas motrices eléctricas horizontales multidireccionales . . . . .	66
65.	Sensor magnético MGS1600 . . . . .	67
66.	Posicionamiento del sensor magnético . . . . .	68
67.	Interfaz entre sensor y controlador . . . . .	68
68.	GBLG2660T . . . . .	70

69.	MDC1460 . . . . .	71
70.	Mando para montacargas TZ-H1 . . . . .	72
71.	Tiempo de manipulación y transporte manual . . . . .	73
72.	Características de recarga de las baterías . . . . .	75
73.	Batería Li-Ion 12-125-13) . . . . .	76
74.	Convertidor 24VDC-12VDC 120A . . . . .	76
75.	24 V lithium ion Battery Charger 60 A) . . . . .	77
76.	Modelado estructural . . . . .	78
77.	Detalle del mallado . . . . .	79
78.	Mallado . . . . .	80
79.	Análisis estructural carga crítica . . . . .	81
80.	Análisis estructural carga distribuida . . . . .	82
81.	Modelo accesorio base de carga . . . . .	83
82.	Análisis base de carga . . . . .	83
83.	Base de carga . . . . .	84
84.	Modelo accesorio manipulación tanques . . . . .	84
85.	Análisis accesorio manipulación tanques . . . . .	85
86.	Accesorio manipulación tanques . . . . .	85
87.	Tamaños mínimos para las soldaduras de filete . . . . .	86
88.	Distribución de las áreas de almacenamiento . . . . .	90
89.	Trayectoria de la pista magnética . . . . .	91
90.	Diagrama de la trayectoria . . . . .	92
91.	Configuración y programación de la simulación . . . . .	93
92.	Simulación del equipo en AGV Simulator . . . . .	93
93.	Protocolo MQTT . . . . .	94
94.	Portafusibles en línea ANL 12-24VDC 0-300A . . . . .	95
95.	Paro de emergencia 48 VDC 250 A . . . . .	96
96.	Interruptor de batería ON/OFF . . . . .	96
97.	Medidor de voltaje de capacidad de batería . . . . .	97
98.	Selector de modo de funcionamiento . . . . .	97
99.	Esquema . . . . .	98
100.	Valores normalizados cables A.W.G . . . . .	99
101.	Diagrama de flujo del elevador móvil automático . . . . .	100
102.	Carcasa del elevador móvil automático . . . . .	101
103.	Modelo elevador móvil automático . . . . .	102



104.	Ensamble del accesorio de la base de carga con el modelo . . . . .	103
105.	Ensamble del accesorio de manipulación de tanques con el modelo . . . . .	104
106.	Circuito eléctrico del motor . . . . .	105
107.	Diagrama de bloques del modelo matemático de un motor CC . . . . .	106
108.	Diagrama de bloques del motor de tracción . . . . .	107
109.	Respuesta del motor de tracción sin control . . . . .	108
110.	Diagrama de bloques del motor incorporado el control PI . . . . .	109
111.	Respuesta del motor de tracción con control . . . . .	110
112.	Diagrama de bloques del motor de elevación . . . . .	111
113.	Respuesta del motor de elevación sin control . . . . .	112
114.	Diagrama de bloques del motor de elevación incorporado el control PI . . . . .	113
115.	Respuesta del motor de elevación con control. . . . .	114
116.	Ahorro anual . . . . .	120
117.	Resultado del análisis estructural con carga crítica . . . . .	123
118.	Factor de seguridad estructural . . . . .	124
119.	Ensamblaje de los componentes electrónicos y mecánicos . . . . .	125
120.	Interacción del sistema con el operario . . . . .	126
121.	Simulación de la respuesta del motor de tracción. . . . .	128
122.	Simulación de la respuesta del motor de elevación. . . . .	130

## Resumen

**E**l presente proyecto técnico se desarrolló para suplir la necesidad de la empresa FEDO-COM CIA. LTDA. en los procesos de manipulación y transporte de insumos automotrices en el área de bodega y despachos, mediante el diseño de un elevador móvil automático en base a los parámetros especificados por la empresa.

El proyecto inicia con un estudio sobre los diferentes equipos que se encuentran en el mercado, y el reconocimiento de los procesos para la manipulación y transporte que la empresa desarrolla actualmente, con el fin de establecer los parámetros de diseño. Tras la selección de componentes y materiales se realiza el diseño analítico y el análisis de elementos finitos para garantizar el diseño estructural del sistema.

A continuación, se realiza el diseño de control para el sistema de tracción y elevación con el fin de cumplir con los parámetros de funcionamiento de acuerdo a la velocidad máxima de operación permitida para los dispositivos de manipulación de carga. Para el desplazamiento automático del elevador se implementará un sistema basado en el seguimiento de trayectorias definido por una cinta magnética, para garantizar el funcionamiento se realizan las simulaciones mediante software.

El accionamiento del sistema esta condicionado por la selección del modo de funcionamiento a través del panel de control. El desplazamiento del sistema puede estar dado mediante el uso de un control manual o por medio de una interfaz generada en Node-RED con conexión inalámbrica mediante el protocolo de comunicación MQTT.

El diseño del sistema tiene una capacidad de carga máxima de 315 kg, una altura de elevación de 1,6 m y dimensiones del equipo que permita movilizarse dentro de las condiciones de espacio. Integrado con un sistema de elevación eléctrico con velocidad de operación máxima de 0,36 km/h, y un sistema de desplazamiento integrado por una rueda motriz multidireccional y un sensor de línea magnético para trasladarse por trayectorias definidas de manera automática con una velocidad máxima de 5 km/h. Finalmente, se presenta el análisis de costos en el cual se incluyen las herramientas, equipos, materiales y mano de obra que se requiere para el desarrollo del proyecto.

**Palabras clave:** Elevador móvil automático, Diseño estructural, Sistema de elevación, Sistema motriz, Manipulación de carga.

## Abstract

The present technical project was developed to supplement the needs of the company FEDOCOM CIA. LTDA. in the processes of handling and transportation of automobile supplies in the cellar and office area by designing an automatic mobile elevator based on the parameters specified by the company.

The project begins with a study of the different equipment available on the market and the recognition of the processes for handling and transport that the company currently develops in order to establish the design parameters. After the selection of components and materials, analytical design and finite elements analysis are carried out to ensure the structural design of the system.

The control design for the traction and lifting systems is then carried out in order to comply with the operating parameters according to the maximum operating speed permitted for load handling devices. For the automatic displacement of the elevator, a system based on trajectory tracking defined by a magnetic tape will be implemented to ensure the operation simulations are carried out by software.

The drive of the system is conditioned by the selection of the mode of operation through the control panel. System displacement can be done by using a manual control or through an interface generated in Node-RED with a wireless connection using the MQTT communication protocol.

The design of the system has a maximum load capacity of 315 kg, a lifting height of 1.6 m, and equipment dimensions that allow mobilization within space conditions. Integrated with an electric lifting system with a maximum operating speed of 0.36 km/h and a displacement system integrated with a multi-directional drive wheel and a magnetic line sensor to move automatically across defined trajectories at a maximum speed of 5 km/h. Finally, the cost analysis is presented, in which the tools, equipment, materials, and labor required for the development of the project are included.

**Keywords:** Automatic mobile elevator, Structural design, Lifting system, Drive system, Load handling.

# 1. Introducción

**E**n la actualidad en las pequeñas y medianas empresas cuentan con una área destinada para la recepción y envío de suministros, donde se ve necesario implementar una maquinaria para facilitar el traslado, con lo cual se llega a reducir los impactos en la salud del operario al manipular cargas fuera del peso recomendado. En consideración a los procesos utilizados y a la infraestructura interna de la empresa es posible determinar los requerimientos de funcionamiento con los cuales el equipo debe cumplir.

El desarrollo y fabricación de equipos que ayudan en la movilidad de cargas ha evolucionado a lo largo del tiempo, presentando distintos tipos de maquinarias como montacargas, apiladores eléctricos, grúas hidráulicas, elevadores tipo tijera y manipuladores al vacío. En el ámbito de la robótica móvil se han desarrollado robots AGV (Automated Guided Vehicles), los cuales están diseñados para transportar y manipular cargas dentro de entornos industriales sin la necesidad de contar una guía física para su desplazamiento.

La empresa ecuatoriana FEDOCOM CIA. LTDA. se dedica a la distribución de insumos automotrices e industriales, con lo cual tiene la necesidad de manipular mercadería pesada que actualmente lo realizan de manera manual. Dada la necesidad de la empresa de implementar un dispositivo que cumpla las especificaciones de funcionamiento de acuerdo a las condiciones dadas por las dimensiones internas del área de almacenamiento de la bodega, y de la carga a manipular en base al peso de los productos más significativos como cajas, baldes y tanques, se diseña un elevador móvil automático con dimensiones adaptadas al ancho de los pasillos, con una capacidad de carga máxima de 315 kg y una altura de elevación de 1,6 m.

## 2. Problema

### 2.1. Antecedentes

En el ámbito laboral se presentan distintas tareas a desarrollar que pueden exigir esfuerzos físicos para ejecutarlas, para lo cual se requiere la aplicación directa de fuerzas dinámicas y estáticas, posturas forzadas y repetitividad en acciones operativas. Hoy en día, las empresas e industrias en su mayoría cuentan en su estructura organizacional con áreas destinadas para el envío y recepción de materiales o insumos que son requeridos para los procesos de producción.

Una de las tareas más comunes dentro de los sectores de actividad es la manipulación manual de cargas, que puede generar la aparición de fatiga física o en ciertos casos lesiones, debido a una acumulación de pequeños traumatismos o de manera repentina (Ruiz, 2011).

Se puede definir a la manipulación manual de carga a la acción de transportar o mantener la carga levantada, considerando la sujeción que se puede realizar mediante las manos y por otras partes de cuerpo como la espalda, para la manipulación se requiere del esfuerzo del ser humano de manera directa para la colocación y levantamiento, y de manera indirecta para el desplazamiento y tracción. Un objeto es considerado una carga cuando su masa supera los 3 kg, se recomienda que una persona no sobrepase una carga de 25 kg en condiciones ideales de manipulación, sin embargo, para una mayor protección se recomienda no sobrepasar los 15 kg (Ruiz, 2011).

Por el desarrollo de las industrias y los requerimientos que se presentan en los procesos productivos que involucran la manipulación de carga pesada se han diseñado distintos tipos de elevadores, destinados al transporte y a la manipulación, integrados con sencillos sistemas de funcionamiento para subir, bajar o desplazar, permitiendo trasladar de manera segura mejorando tiempos y disminuyendo esfuerzos excesivos que afecte directamente al trabajador. Dentro de los sistemas de elevación se presentan distintos tipos de acuerdo a su principio de funcionamiento, entre ellos, mecánicos, hidráulicos y eléctricos. Para una correcta selección del diseño de elevador se debe tomar en cuenta las condiciones físicas y las funcionalidades que requiere la empresa en la cual se va a implementar (Chasi Cajas, 2014).

## **2.2. Descripción del problema**

La empresa ecuatoriana FEDOCOM CIA. LTDA. ubicada en la ciudad de Cuenca desde el año 2001 dedicada a la distribución de insumos automotrices e industriales con cobertura en el austro ecuatoriano, diariamente tiene la necesidad de manipular mercadería pesada para el transporte a nivel cantonal e interprovincial. Actualmente, la compañía cuenta con una persona encargada del área de despachos, debido al peso que tiene que manipular surge la necesidad de contar con un asistente adicional, retrasando los tiempos para los despachos y sin tener en cuenta las afectaciones a la salud que se pueden generar. En consideración a los datos entregados por el gerente de la compañía la carga máxima que requieren trasladar corresponde a tanques de grasa industrial con una masa de 182 kg.

## **2.3. Importancia y alcances**

La empresa FEDOCOM CIA. LTDA. requiere la manipulación de mercadería de insumos automotrices, entre los cuales se puede identificar elementos de un peso considerable para el manejo de forma manual, entre ellos cajas (21 kg), baldes (17 kg) y tanques (182 kg), lo



### **2.4.2. Temporal**

El desarrollo del trabajo de titulación se llevara a cabo durante la asignatura de Titulación 1 y Titulación 2 con un total de 400 horas.

## **2.5. Problema General**

- ¿Cuál es el diseño adecuado de un elevador móvil automático para la manipulación y transporte de suministros en la empresa FEDOCOM CIA. LTDA.?

## **2.6. Problemas Específicos**

- ¿Se podrá establecer los parámetros de diseño de un elevador móvil automático para la manipulación y transporte de suministros en la empresa FEDOCOM CIA. LTDA.?
- ¿Es posible diseñar un elevador móvil automático para la manipulación y transporte de suministros en la empresa FEDOCOM CIA. LTDA.?
- ¿Es posible analizar los costos para implementación de un elevador móvil automático para la manipulación y transporte de suministros en la empresa FEDOCOM CIA. LTDA.?

# **3. Objetivos**

## **3.1. Objetivo General**

- Diseñar un elevador móvil automático para la manipulación y transporte de suministros en la empresa FEDOCOM CIA. LTDA.

## **3.2. Objetivos Específicos**

- Establecer los parámetros de diseño de un elevador móvil automático para la manipulación y transporte de suministros en la empresa FEDOCOM CIA. LTDA.
- Diseñar un elevador móvil automático para la manipulación y transporte de suministros en la empresa FEDOCOM CIA. LTDA.
- Analizar los costos de implementación de un elevador móvil automático para la manipulación y transporte de suministros en la empresa FEDOCOM CIA. LTDA.

## **4. Hipótesis**

### **4.1. Hipótesis General**

- El diseño de un elevador móvil automático para la manipulación y transporte de suministros, mejorará la manipulación de suministros y evitará exigencias físicas en el personal del área de despachos en la empresa FEDOCOM CIA. LTDA.

### **4.2. Hipótesis Específicas**

- Los parámetros de diseño de un elevador móvil automático para la manipulación y transporte de suministros permitirá establecer el diseño de un elevador para la empresa FEDOCOM CIA. LTDA.
- El diseño de un elevador móvil automático para la manipulación y transporte de suministros evitará exigencias físicas del trabajador en la empresa FEDOCOM CIA. LTDA.
- El análisis de los costos de la implementación de un elevador móvil automático para la manipulación y transporte de suministros permitirá la implementación del diseño para la empresa FEDOCOM CIA. LTDA.

## **5. Marco Teórico**

### **5.1. Introducción a la empresa FEDOCOM CIA. LTDA.**

Empresa cuencana dedicada a la distribución de lubricantes, filtros, repuestos con una amplia gama de insumos automotrices e industriales, con cobertura en el austro ecuatoriano (Figura 2). Además de brindar asesoría y soluciones los últimos 19 años para el cuidado y mantenimiento industrial y automotriz (Fedocom, 2022).



**Figura 2**

*FEDOCOM CIA. LTDA*



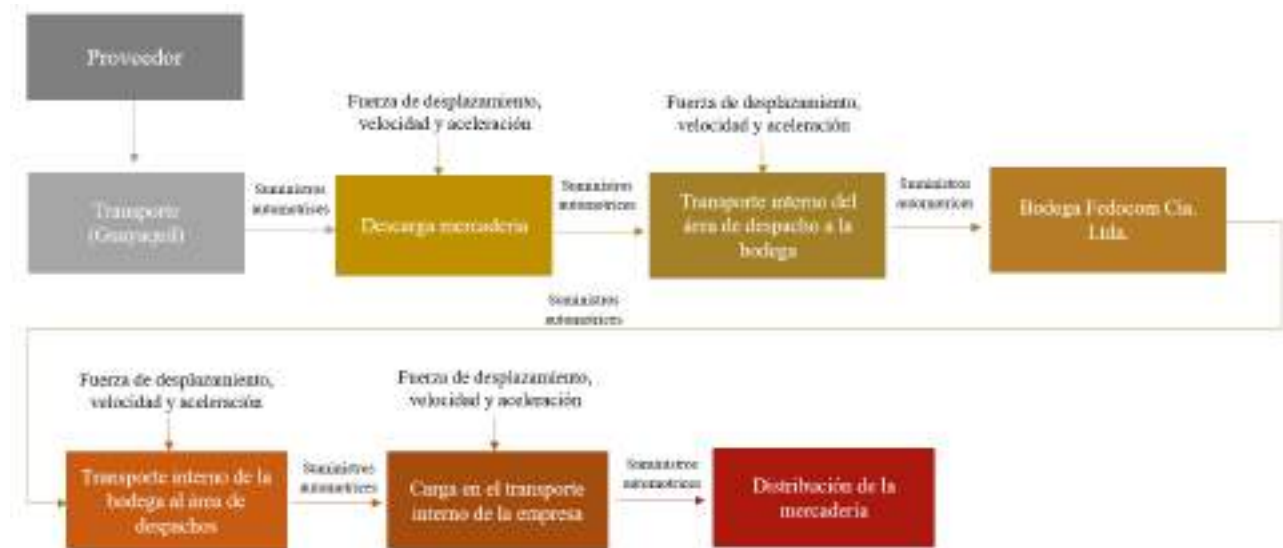
**Nota:** Logo de la empresa.

### 5.1.1. Diagrama de operaciones

En la figura 3 se presenta el diagrama de operaciones de la empresa FEDOCOM CIA. LTDA. para la manipulación y transporte de la mercadería.

**Figura 3**

*Diagrama de operaciones de FEDOCOM CIA. LTDA.*



**Nota:** Diagrama de operaciones de la manipulación y transporte de la mercadería en la empresa.

## 5.2. Sistemas de elevación y transporte

Los sistemas comúnmente utilizados en la industria se basan de acuerdo a varios principios de funcionamiento que les permita mejorar su producción. Los sistemas de elevación más utilizados son:

### 5.2.1. Montacargas

El montacarga (Figura 4) es una herramienta utilizada en el campo industrial, el cual cumple con la función principal de levantar, bajar y transportar cargas pesadas con una intervención mínima del esfuerzo del operario. Integrados por distintos sistemas que permiten la manipulación de altas cargas mediante guías o plataformas para la adaptación de los objetos a manipular (Flexible, 2019).

#### Figura 4

*Montacarga*



**Nota:** Montacarga. Figura tomada de (JUNGHEINRICH, 2022a).

A continuación, en la tabla 1 y tabla 2 se muestran distintos tipos de montacargas, los cuales difieren en su capacidad de carga, altura de elevación y tipo de alimentación.

**Tabla 1**

*Montacarga de combustión interna*

Montacarga de 1.8 T Dual Muth		
	Modelo	CPQD18
	Combustible	Gasolina / LPG
	Carga máxima	1750kg
	Altura máxima de elevación	4.8m
	Dimensiones	3.21x1.07x2.19m
	Radio de giro	1.985m
	Velocidad máxima	13.5 km/h
	Costo	\$ 23.800

**Nota:** En la tabla se puede observar las características de un montacarga de combustión interna. Tomado de (PINTULAC, 2021a).

**Tabla 2**

*Montacarga eléctrico*

Montacargas eléctrico para pasillo 2T		
	Modelo	CQD20
	Alimentación	Eléctrico
	Carga máxima	2000kg
	Altura máxima de elevación	4.6m
	Dimensiones	1.94x1.27x2.31m
	Radio de giro	1.75m
	Velocidad máxima	12 km/h
	Batería	48V 560Ah
	Costo	\$ 47.600

**Nota:** En la tabla se puede observar las características de un montacarga eléctrico para 2000kg. Tomado de (PINTULAC, 2021b).

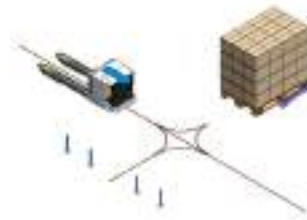
### 5.2.2. Robot AGV

Los robots AGV (Vehículo de Guiado Automático) figura 5, son una herramienta diseñada especialmente para mejorar los procesos generando un desplazamiento automático, debido

a la implementación de una cinta que se adhiere al suelo generando una trayectoria con el objetivo de reducir la siniestralidad y fatiga en el operario, siendo un vehículo automático perfecto para el transporte interno de suministros en una empresa.

**Figura 5**

*Robot AGV*



**Nota:** Robot AGV guiado por una trayectoria trazada para desplazarse. Figura tomada de (Atlas Robots, 2023).

En la tabla 3 y tabla 4, se presentan distintos tipos de robots AGV presentes en la industria.

**Tabla 3**

*AGV ZOOMLION*

Robot AGV ZOOMLION		
	Modelo	ADB10J
	Sistema	Eléctrico
	Tipo de conducción	Automática
	Carga nominal	1000kg
	Velocidad de conducción	1.5m/s
	Velocidad de elevación	150mm/s
	Velocidad de descenso	100mm/s
	Batería	24V / 140Ah
	Autonomía de la batería	6h
	Costo	8 32000

**Nota:** En la tabla se puede observar las características de un Robot AGV ZOOMLION. Tomado de (ZOOMLION, 2023).

**Tabla 4**

*AGV FORKLIFT*

Robot AGV FORKLIFT		
	Modelo	HAS16
	Sistema	Eléctrico
	Tipo de conducción	Automática
	Carga nominal	1600kg
	Velocidad de conducción	3Km/h
	Velocidad de elevación	90mm/s
	Altura de elevación	3000mm
	Batería	48V / 240Ah
	Costo	\$ 45000


**Nota:** En la tabla se puede observar las características de una carretilla elevadora móvil guiada automática. Tomado de (HICTRL, 2023).

### 5.2.3. Apiladores

Los apiladores son herramientas utilizadas para el transporte de carga en lugares donde no existe suficiente espacio principalmente en almacenes pequeños. Incorporados por un mástil el cual permite elevar la carga y realizar trabajos de apilado. La parte inferior permanece en contacto constante con el suelo siendo el apoyo del apilado (Escudero Serrano, 2011). Según el sistema de funcionamiento se pueden encontrar distintos tipos como se puede observar en la tabla 5, tabla 6, tabla 7, tabla 8 y tabla 9.

**Tabla 5**

*Apilador manual 1T*

Apilador Manual 1000kg a 3000mm		
	Modelo	M202020029
	Sistema	Hidráulico
	Carga máxima	1000kg
	Altura máxima de elevación	3m
	Dimensiones	1,74x0,85x2,06m
	Elevación por bombeo	17mm
	Costo	\$ 2.228,10

**Nota:** En la tabla se puede observar las características de un apilador hidráulico. Tomado de (TYMBIA, 2023a).

**Tabla 6**

*Apilador rotador de bidones*

Apilador manual rotador de bidones 350kg		
	Modelo	M102040007
	Sistema	Hidráulico
	Carga máxima	350kg
	Altura máxima de elevación	1.44m
	Dimensiones	1.38x0.96x2.04m
	Elevación por bombeo	16mm
	Radio de giro	1.87m
	Costo	\$ 1.932,65

**Nota:** En la tabla se puede observar las características de un apilador rotador hidráulico para bidones. Tomado de (TYMBIA, 2023b).

**Tabla 7**


*Apilador semi eléctrico*

Apilador semi eléctrico 2T		
	Modelo	CBS20J
	Sistema	Semi eléctrico
	Carga máxima	2000kg
	Altura máxima de elevación	2m
	Dimensiones	2.25x0.76x2m
	Radio de giro	1.35m
	Elevación por bombeo	16mm
	Velocidad de elevación	76mm/s
	Velocidad de descenso	112mm/s
	Batería	12v / 120Ah
	Motor elevación	1.5kW
	Costo	\$ 2.600

**Nota:** En la tabla se puede observar las características de un apilador semi eléctrico. Tomado de (PINTULAC, 2023).

**Tabla 8**

*Apilador manual de bidones*

Apilador manual de bidones de 400Kg a 1.350mm		
	Modelo	M102040003
	Sistema	Hidráulico
	Carga máxima	400kg
	Altura máxima de elevación	1.35m
	Dimensiones	0.806 x 1.325 x 1.950m
	Costo	\$ 1.669,63

**Nota:** En la tabla se puede observar las características de un apilador hidráulico para bidones. Tomado de (AbonirGrupo, 2023).

**Tabla 9**

*Apilador eléctrico*

Apilador eléctrico EXV 12		
	Modelo	EXV 12
	Sistema	Eléctrico
	Carga máxima	1200kg
	Altura máxima de elevación	4.3m
	Dimensiones	1.788x0.8x2.01m
	Radio de giro	1.418m
	Batería	24/150 V/Ah
	Motor elevación	3,2 kW
	Motor impulsor	1,2 kW
	Velocidad de elevación	0,3 m/s
	Velocidad de conducción	6 km/h
	Costo	\$ 12.132


**Nota:** En la tabla se puede observar las características de un apilador eléctrico. Tomado de (STILL, 2023).

#### 5.2.4. Grúas hidráulicas

Las grúas hidráulicas plegables permiten la elevación, posicionamiento y transporte de carga, gracias a su tamaño son utilizadas en áreas de trabajo estrechas. Están implementadas con una bomba hidráulica que mediante su accionamiento se produce la elevación, el brazo elevador es ajustable a la longitud requerida (Odiseo, 2023). En la tabla 10 y tabla 11 se pueden observar distintos tipos de grúas plegables.

**Tabla 10**


*Pluma hidráulica plegable*

Pluma hidráulica plegable de 2.0 T		
	Modelo	Gutstark
	Sistema	Hidráulico
	Dimensiones	1,63 x 1,04 x 2,40m
	Carga máxima	2000 kg
	Altura máxima de elevación	2,40m
	Peso	65 kg
	Costo	\$ 6.399

**Nota:** En la tabla se puede observar las características de una pluma hidráulica plegable. Tomado de (Gutstark, 2022).

**Tabla 11**

*Planta hidráulica plegable*

Planta hidráulica plegable 1T		
	Modelo	EPFC-25
	Sistema	Hidráulico
	Dimensiones	0,762 x 2,032 x 1,00m
	Capacidad máxima	1000 kg
	Altura máxima de elevación	3,31m
	Peso	500 kg
	Costo	\$ 4.500

**Nota:** En la tabla se puede observar las características de una planta hidráulica plegable. Tomado de (Technology, 2022).



### 5.2.5. Elevador tipo tijera

La característica principal del elevador con un sistema de tipo tijera (Figura 6) es su plataforma, puesto que para el movimiento vertical que nos ofrece dicho sistema depende de una estabilidad para ejercer seguridad a los elementos que se trasladen desde su respectivo despacho hacia la bodega evitando caídas por balanceo (Palou de Comasema, 2014).

**Figura 6**

*Elevador tipo tijera*




**Nota:** Partes de un elevador tipo tijera. Figura tomada de (Maquiltus, 2022).

A continuación, en la tabla 12 y tabla 13 se muestran las características principales de distintos tipos de elevadores de tijera.

**Tabla 12**


*Elevador de tijera manual*

Elevador de tijera manual 680kg		
	Modelo	42D01
	Sistema	Hidráulica
	Carga máxima	680kg
	Altura máxima de elevación	0.5m
	Dimensiones	1.27x0.6x0.45m
	Dimensiones de la plataforma	1.2x0.6m
	Costo	\$ 1.600

**Nota:** En la tabla se puede observar las características de un elevador manual tipo tijera. Tomado de (GRAINGER, 2023a).

**Tabla 13**

*Transpaleta manual de tijera*

Transpaleta manual de 1.0 T		
	Modelo	AMX 10e
	Sistema	Electro hidráulica
	Carga máxima	1000kg
	Altura máxima de elevación	714mm
	Batería	70 Ah / 230V
	Potencia del motor	0.5 kW

**Nota:** En la tabla se puede observar las características de una transpaleta tipo tijera. Tomado de (JUNGHEINRICH, 2022b).

#### 5.2.6. Manipuladores de vacío

Los manipuladores de vacío cuentan con la función de agarrar y levantar varios tipos de carga, gracias a sus cabezales de sujeción adaptados para diferentes elementos (Figura 7). Cuentan con un sistema de bomba de vacío acoplada a una manguera de aire que se conecta con el cabezal y sujetar las cargas con las diferentes ventosas creando un sello hermético al levantar el material dando seguridad en el traslado del mismo (TAWI, 2021). En la tabla 14 se puede observar las características de funcionamiento de un manipulador neumático.

**Figura 7**


*Manipulador de vacío*



**Nota:** Manipulador de vacío. Figura tomada de (HERSEN, 2015).

**Tabla 14**

*Manipulador neumático*

Manipulador neumático		
	Modelo	PARTNER - PS
	Sistema	Neumático
	Capacidad máxima	250 kg
	Radio de acción	2.9 m
	Carrera vertical	1.9 m
	Velocidad máx de elevación	0.5 m/s
	Presión	7 a 8 bar

**Nota:** En la tabla se puede observar las características de un manipulador neumático. Tomado de (Dalmech, 2022).

### 5.3. Opciones de actuadores

#### 5.3.1. Tipos de motores eléctricos

- Motores CC

Los motores de corriente continua son una de las máquinas más versátiles que existen hoy en día en la industria (Figura 8). Los motores de C.C. tienen varias ventajas lo que le ha convertido en una de las mejores opciones para procesos industriales y automatización de procesos, teniendo como ventaja principal su característica de torque-velocidad variable, sus inversiones rápidas de giro y teniendo un par de arranque elevado (Pernia, 2011).

**Figura 8**

*Motor DC*



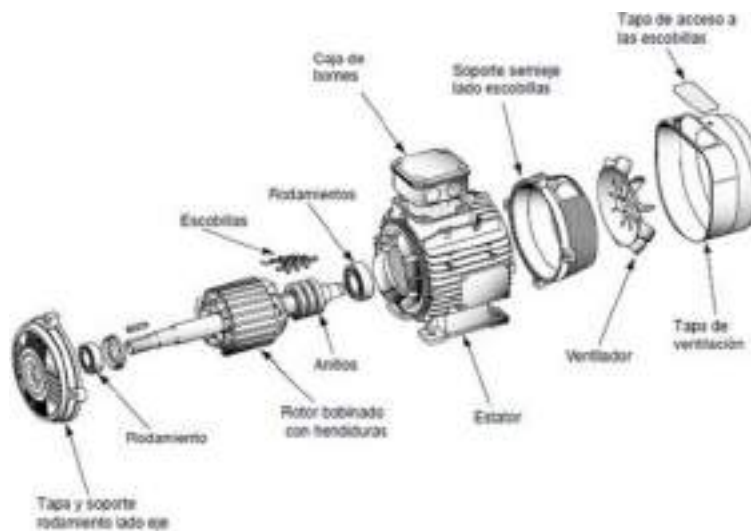
**Nota:** Partes principales de un motor DC. Figura tomada de (SAPIENSMAN, 2021).

- Motores AC

Los motores de corriente alterna se los clasifica en relación al número de fases de alimentación, en el que se encuentran fases monofásicas, bifásicas, y trifásicas (Figura 9). De igual manera, por el tipo de rotor dependiendo de la aplicación en la que se piense implementar ya sea de tipo: motores con anillos rozantes, con jaula de ardilla o con colector (Becerra, 2017).

### Figura 9

*Motor AC*



**Nota:** Despiece de un motor AC. Figura tomada de (Fleridamotores, 2014).

### 5.3.2. Actuadores neumáticos

Los actuadores neumáticos pueden realizar trabajo de forma lineal o rotativo. El movimiento lineal se puede obtener mediante el uso de cilindros de émbolo o pistones, los cuales son los más comunes utilizados en los circuitos neumáticos, se dividen en dos tipos de acuerdo a su construcción, en cilindros de simple efecto y doble efecto (Tornero y Fernández, 2016).

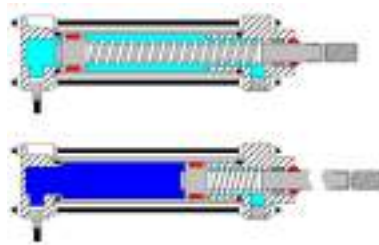
- Cilindro de simple efecto

Un cilindro de simple efecto como se puede observar en la figura 10 se caracteriza por realizar trabajo en un solo sentido, es decir, el desplazamiento generado por la presión del aire

comprimido es en una sola dirección y su retroceso a la posición inicial se da mediante un muelle o la intervención de fuerzas externas (Solé, 2012).

### Figura 10

*Cilindro de simple efecto*



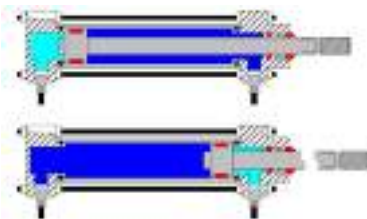
**Nota:** Estructura de un cilindro de simple efecto. Figura tomada de (Tornero y Fernández, 2016).

#### ■ Cilindro de doble efecto

El cilindro de doble efecto como se puede observar en la figura 11 permite controlar su movimiento de salida como entrada mediante la presión generada por el aire comprimido, es decir, que ejerce acción en las dos cámaras del cilindro. Cuando se aplica presión en la cámara posterior y se comunica la cámara anterior a través de una válvula a la atmósfera el pistón genera su desplazamiento de avance, y en caso de suministrar la presión en la cámara anterior y se comunica la cámara posterior con la atmósfera mediante una válvula se genera su desplazamiento de retroceso (Solé, 2012).

### Figura 11

*Cilindro de doble efecto*



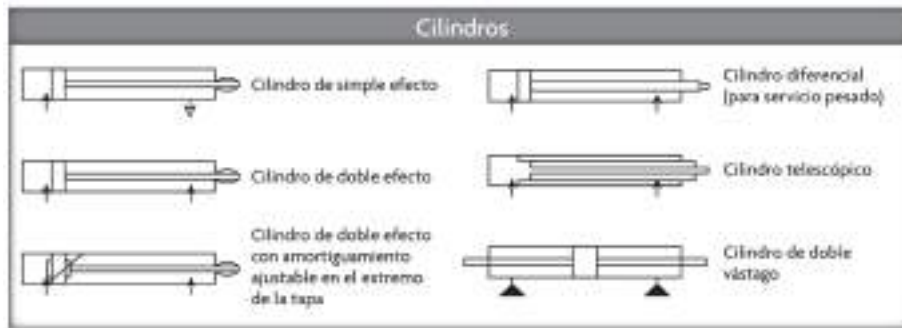
**Nota:** Estructura de un cilindro de doble efecto. Figura tomada de (Tornero y Fernández, 2016).

### 5.3.3. Actuadores hidráulicos

Los cilindros hidráulicos son actuadores que convierten la energía que se encuentra almacenada en un fluido que está sometido a presión, en trabajo de movimiento lineal. El fluido utilizado comúnmente es el aceite mineral, el cual proporciona ciertas características fundamentales en el funcionamiento, como un bajo valor de compresibilidad en la fuerza de desplazamiento generado, proporcionando una mayor estabilidad ante fuerzas estáticas (Ramírez, Jiménez, y Carreño, 2014). En la figura 12, se presentan los tipos de cilindros hidráulicos que existen.

**Figura 12**

*Cilindros hidráulicos*



**Nota:** Simbología de la clasificación de los cilindros hidráulicos. Figura tomada de (Ramírez y cols., 2014).

### 5.4. Elementos de transmisión

Se denomina elemento de transmisión a todo mecanismo que ayude a transmitir la energía mecánica que se da por un actuador, por ejemplo, un motor hacia los diferentes órganos que se implementen para ejercer un movimiento definido en el sistema (Figura 13). A continuación, se presentan varios tipos de transmisiones mecánicas.

### **Figura 13**

*Elementos de transmisión*



**Nota:** Sistema de transmisión por correas y poleas. Figura tomada de (FUSO, 2021).

- Cadenas de transmisión

La transmisión por cadenas (Figura 14) son elementos de máquinas que tienen como finalidad transmitir potencia por medio de fuerzas de tracción entre ruedas dentadas, siendo útiles al permitir trabajar con menores distancias entre centros de poleas, sin embargo, para una correcta selección de la cadena se debe tener en cuenta el espacio donde se localizara y las respectivas cargas y ambientes a los que se someterá (IndustryStore, 2021).

### **Figura 14**

*Cadena de transmisión*



**Nota:** Cadena de transmisión. Figura tomada de (IndustryStore, 2021).

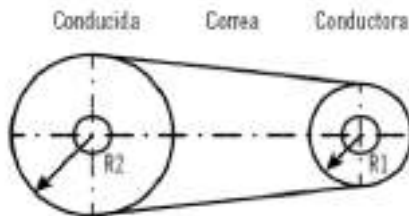
- Poleas

Este mecanismo consta de una transmisión basada por rozamiento entre la correa y la polea, es decir, la correa debe estar totalmente tensa para que funcione correctamente. Dicho sistema

(Figura 15) se compone de dos poleas unidas por medio de una correa con el fin de transmitir fuerzas y velocidades angulares entre dos ejes paralelos alejados entre sí, mientras que los diámetros de las poleas pueden variar para aumentar o disminuir el tiempo de accionar un mecanismo a lo largo de un eje de movimiento de rotación (AyJ, 2022).

### Figura 15

*Sistema de poleas y correas*



**Nota:** Sistema de poleas y correas. Figura tomada de (Padilla, 2022).

- Motores Reductores

Dicho mecanismo (Figura 16) es conformado por varios engranajes que son acoplamientos entre ruedas dentadas que permite transmitir un movimiento giratorio entre dos ejes. Las principales ventajas del uso de los sistemas de engranaje es la relación de transmisión constante generando una mayor eficiencia al igual que su facilidad de conexión con ejes que crucen por medio de un tornillo sin fin.

### Figura 16

*Sistema de engranajes*



**Nota:** Sistema de engranajes. Figura tomada de (Parker, 2021).



- Árbol de Levas

El sistema de levas (Figura 17) permite obtener un movimiento rectilíneo alternativo desde uno giratorio dependiendo de las geometrías de la leva, es decir, es un mecanismo que genera una trayectoria deseada en un seguidor mediante el contacto directo.

**Figura 17**

*Sistema de levas*



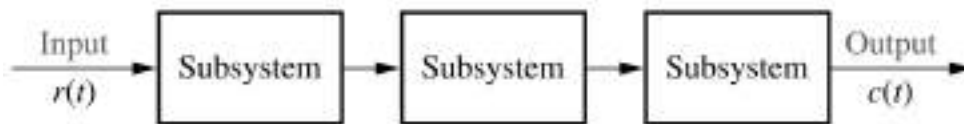
**Nota:** Árbol de levas. Figura tomada de (Alcazaba, 2021).

## 5.5. Sistemas de control

Un sistema de control se compone de varios subsistemas que se encuentran interrelacionados entre sí (Figura 18), con el objetivo de obtener su salida con el valor deseado, dadas unas características de desempeño ante una entrada específica.

**Figura 18**

*Subsistema*



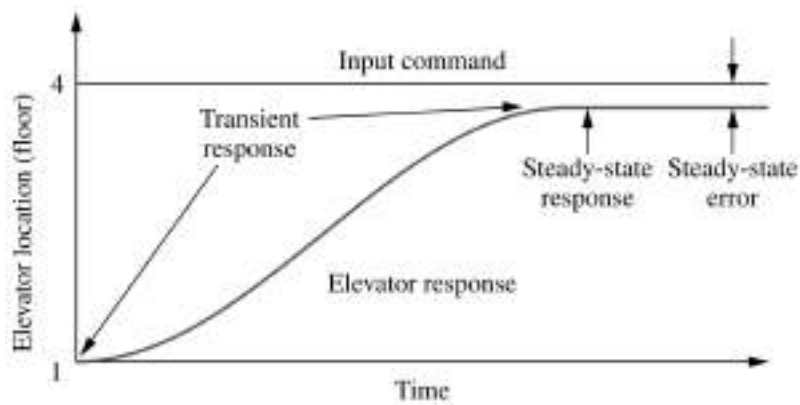
**Nota:** Interconexión de subsistemas. Figura tomada de (Nise, 2020).

Dada la respuesta del sistema se realiza un análisis de rendimiento basándose en la respuesta transitoria, observando el tiempo de respuesta que presenta el sistema, de igual manera se analiza la respuesta en estado estacionario siendo una especificación de rendimiento importante, dado que debe existir un error nulo en estado estable, sin embargo si no se cumple

con estas especificaciones, se agregan componentes para cumplir con las especificaciones (Nise, 2020).

### Figura 19

*Características de la respuesta de un sistema.*



**Nota:** Respuesta de la posición de un elevador. Figura tomada de (Nise, 2020).

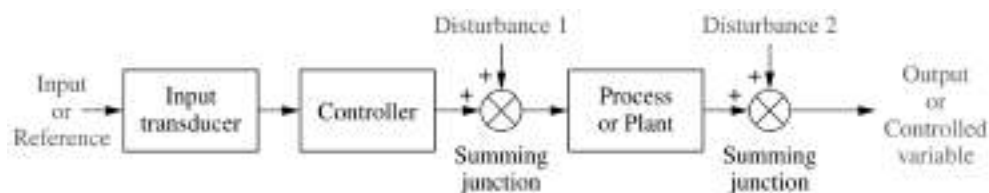
#### 5.5.1. Configuración del sistema de control

- Lazo Abierto.

Los sistema de control en lazo abierto se caracterizan por que la salida no tenga ningún efecto sobre el control, es decir, la salida no se mide ni se realimenta para compararla con su señal de referencia, siendo que la precisión del sistema dependerá de su calibración (Ogata, 2003).

### Figura 20

*Configuración en lazo abierto*



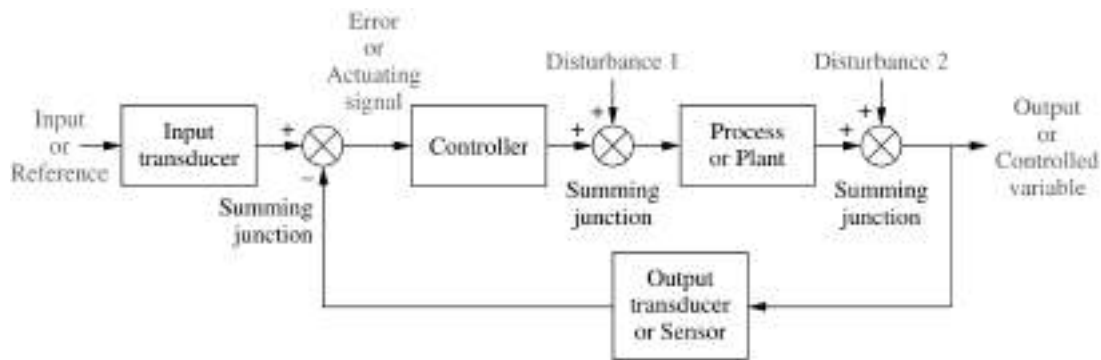
**Nota:** Sistema de lazo abierto de control. Figura tomada de (Nise, 2020).

- Lazo Cerrado.

Se denomina un sistema de control en lazo cerrado cuando se mantiene una relación determinada entre la salida del sistema y su entrada comparándolas y usando su diferencia como medio de control, la cual alimenta al controlador que tiene como fin reducir el error y llevar la salida del sistema al valor de referencia (Ogata, 2003).

**Figura 21**

*Configuración en lazo cerrado*



**Nota:** Sistema de lazo cerrado de control. Figura tomada de (Nise, 2020).

## 6. Marco metodológico

### 6.1. Establecimiento de los parámetros iniciales para el diseño del sistema de manipulación y transporte de carga

#### 6.1.1. Dimensionamiento espacio físico

Se identifica el área de la bodega en la cual el sistema de manipulación de carga se va a movilizar. La empresa cuenta con una sección de almacenamiento de los productos (Figura 22), y la sección de despachos en donde los insumos son cargados a los vehículos de distribución (Figura 23).

**Figura 22**

*Área de almacenamiento de insumos en la empresa FEDOCOM CIA. LTDA.*



**Nota:** Área de la empresa en la cual se encuentran ordenados y almacenados los insumos.

**Figura 23**

*Área de carga de la empresa FEDOCOM CIA. LTDA.*

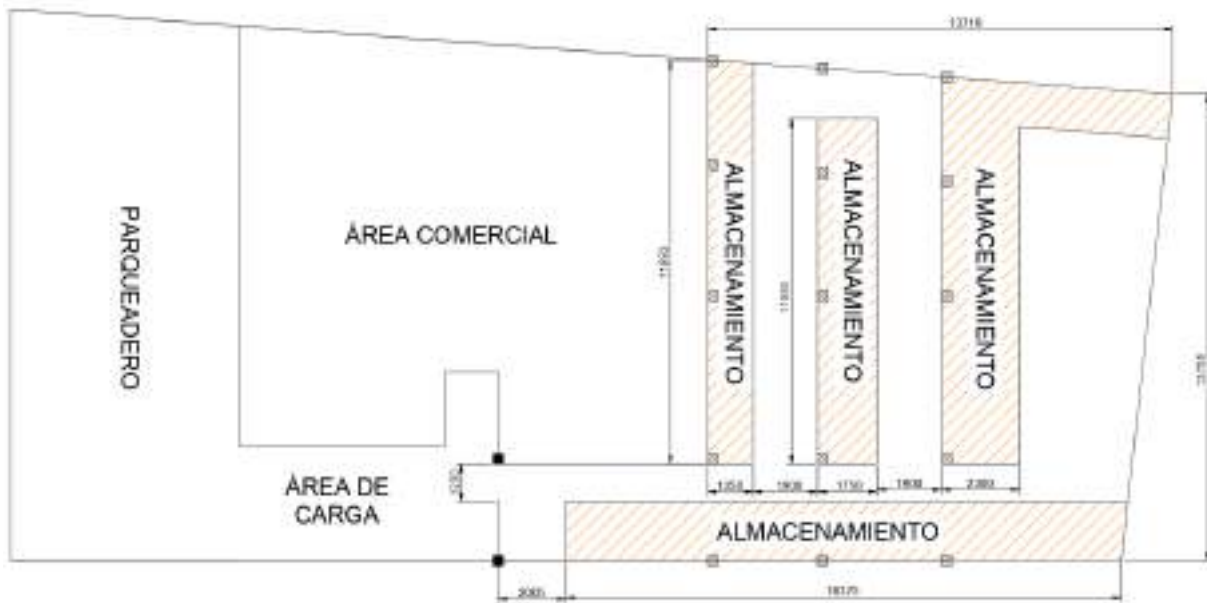


**Nota:** Área de la empresa en la cual los insumos son cargados en los vehículos de distribución de carga.

La sección en donde se movilizará el elevador cuenta con una dimensión máxima de 2,8 m en el pasillo principal de la bodega, considerando el área utilizada con el almacenamiento de la carga y la distancia de separación a cada lado para evitar obstrucciones con los productos, se establece una longitud útil de 1,20 m. En los pasillos secundarios cuentan con una longitud total de 3,33 m, considerando el área ocupada por los productos se tiene una longitud útil de 1,9 m como se muestra en la figura 24.

**Figura 24**

*Plano de la empresa*



**Nota:** Distribución de la área comercial, parqueadero, área de carga y la bodega interna de la empresa.

Para determinar la elevación necesaria se tomó en cuenta la altura de los vehículos de transporte de la carga de acuerdo a los distintos tipos que se pueden encontrar como se observa en la tabla 15. A partir de lo cual se establece una altura de elevación de 1,6 m, sin embargo, la empresa hace uso de vehículos hasta 1,1 m con mayor frecuencia. En la tabla 16 se puede observar las condiciones del dimensionamiento del espacio físico.

**Tabla 15***Altura a la superficie de carga de los vehículos*

Tipo de vehículo de carga	Altura de la superficie de carga
Transporte voluminoso	0,650/0,800 hasta 1 m
Furgonetas	0,650/0,800 hasta 1 m
Transportes normales	1,1 m hasta 1,3 m
Transportes frigoríficos	1,3 m hasta 1,5 m
Transportes de contenedores	1,4 m hasta 1,6 m

**Nota:** Dimensiones de los distintos tipos de vehículos de carga, considerando la altura hasta la superficie de la carga. Figura tomada de (INSHT, 2016).

**Tabla 16***Dimensionamiento del espacio físico*

Dimensión	Magnitud
Ancho pasillo principal	1,20 m
Ancho pasillos secundarios	1,9 m
Altura	3 m

**Nota:** En la tabla se puede observar las dimensiones del espacio físico de la bodega y área de despachos de la empresa, lugar donde se va a implementar el elevador.

### 6.1.2. Dimensionamiento de la carga a transportar

Los insumos que la empresa manipula de manera manual son cajas (Figura 25), baldes (Figura 26) y tanques de lubricantes industriales (Figura 27). Las dimensiones y pesos obtenidos de cada producto se pueden observar en la tabla 17.

**Figura 25**

*Caja de galones de aceite industrial*



**Nota:** Caja que contiene 6 envases de 1gal de aceite industrial.

**Figura 26**

*Balde de aceite industrial*



**Nota:** Presentación de 5gal de aceite industrial.

## Figura 27

*Tanque de aceite industrial*



**Nota:** Presentación de 55gal de aceite industrial.

## Tabla 17

*Dimensionamiento de la carga*

Presentación producto	Dimensiones	Peso
Cajas	44 x 36 x 31 cm	21 kg
Baldes	Ø 32 x 37 cm	17 kg
Tanques	Ø 58 x 92 cm	182 kg

**Nota:** En la tabla se puede observar las dimensiones y peso de cada una de las presentaciones de los insumos que la empresa FEDOCOM CIA. LTDA. manipula.

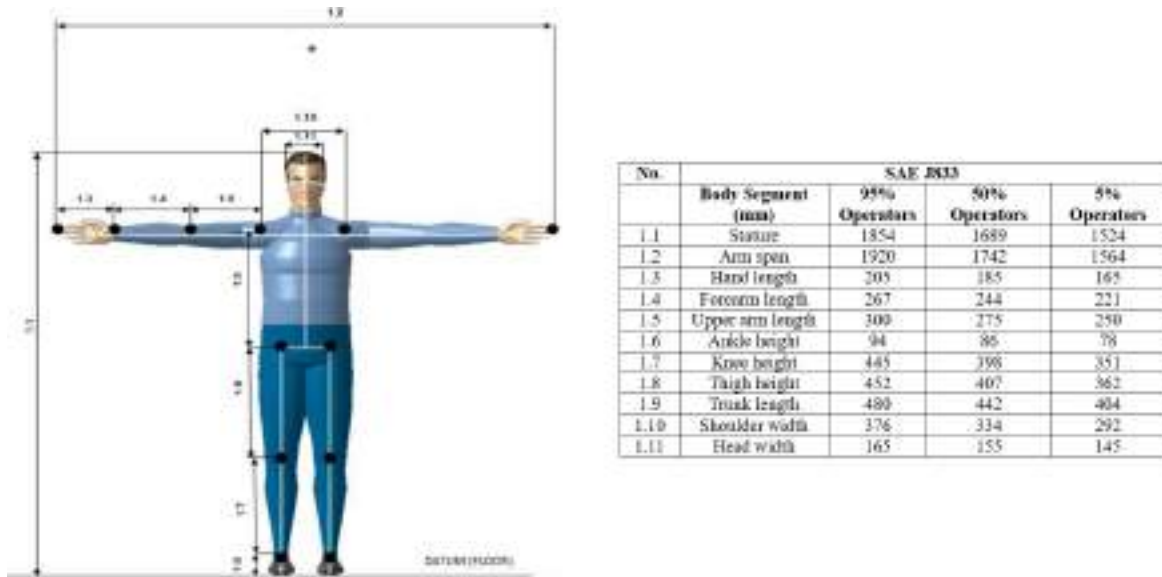
### 6.1.3. Medidas antropométricas del operario

La norma SAE J833 define las dimensiones físicas humanas alrededor del mundo, las cuales son utilizadas en las categorías de maquinaria industrial de uso general (Figura 28)(Rashid, Abu Bakar, y Raja Ghazilla, 2013).



**Figura 28**

*Dimensiones físicas humanas SAE J833*

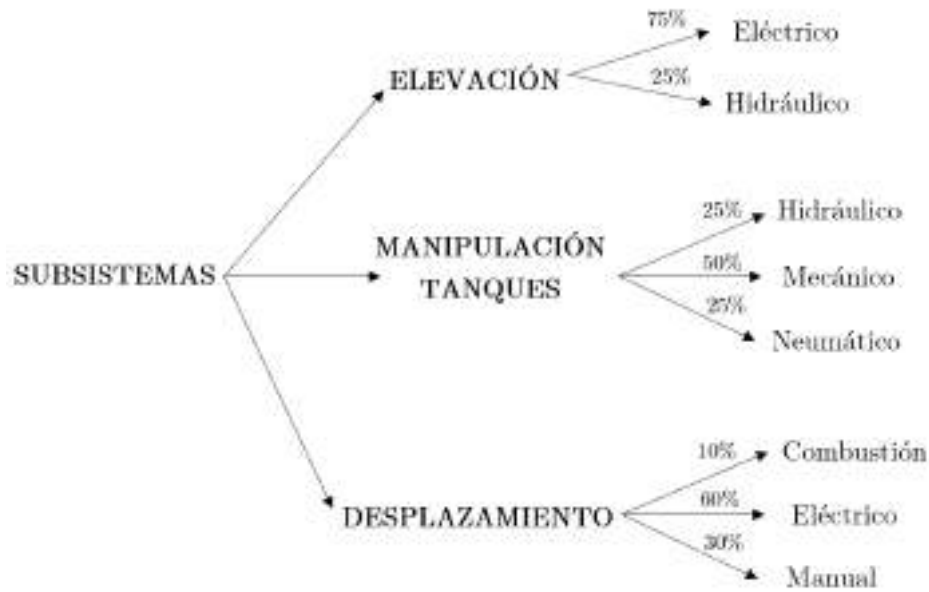


**Nota:** De acuerdo a la norma SAE J833 se muestran las condiciones antropométricas de los operarios de maquinaria industrial. Figura tomada de (Rashid y cols., 2013).

Para determinar las condiciones antropométricas del operario se conoce que la estatura promedio es de 1,67 m y un peso de 74,2 kg (MUNDIAL, 2020). De acuerdo a la norma SAE J833 y la estatura promedio establecida (1,66 m) se tienen que las dimensiones a considerar en el diseño pertenecen al 50% de operadores de la figura 28.

## **6.2. Selección de los subsistemas para la elevación y transporte de suministros**

En base a la revisión de los distintos tipos de elevadores existentes en el mercado actualmente y las necesidades que presenta la empresa para la elevación y transporte de los suministros automotrices, se establecen los subsistemas presentes para el diseño del elevador móvil automático a partir de la elaboración de un árbol de decisiones.



Para la elevación de la carga se propone la opción de un sistema hidráulico con el cual para alcanzar la altura de 1,8 m requerida para la carga en los camiones de transporte tomaría aproximadamente 50-60 s considerando que la elevación por bombeo es de 17 mm. Por otro lado, con la implementación de un sistema eléctrico para alcanzar la misma altura tomaría aproximadamente 20 s, siendo este el sistema más adecuado a implementar en el diseño del elevador. Debido a la geometría y peso del tanque se requiere de un mecanismo para la manipulación, para lo cual se ha seleccionado un sistema mecánico, ya que la empresa no cuenta con las prestaciones para la implementación de un mecanismo neumático, y un mecanismo hidráulico tiene un mayor tiempo de accionamiento. Finalmente, para el sistema de desplazamiento del elevador se opta por un mecanismo eléctrico, ya que la implementación de un sistema de combustión no es apto para las instalaciones de la empresa y de manera manual generaría fatiga en el operario al manipular carga con peso mayor al recomendado, y a su vez automatizar el desplazamiento condicionado por paradas estratégicas dentro de la empresa.

### 6.3. Propuestas de diseño para un elevador móvil automático

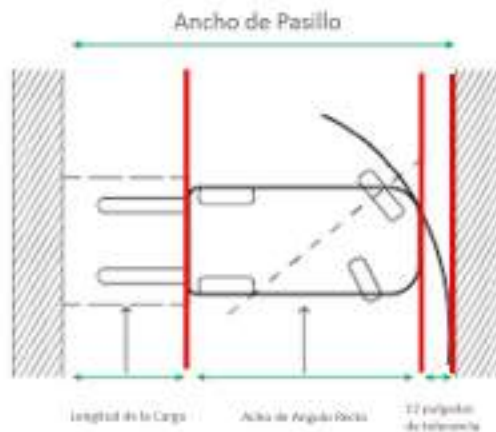
#### 6.3.1. Diseño del concepto

En base a las condiciones del espacio físico de la empresa se establecen las dimensiones generales del equipo. Para determinar la longitud máxima se debe tomar en consideración las dimensiones de la carga a transportar, el ancho de ángulo recto el cual se refiere al espacio

para que el equipo pueda realizar giros e ingresar a los pasillos, y una tolerancia de 12 pulgadas para que sea posible fijar el radio de giro como se muestra en la figura 29.

**Figura 29**

*Dimensiones de un equipo elevador de carga*



**Nota:** Las dimensiones a considerar en un equipo para elevación de carga es la longitud de carga, ancho de ángulo recto y una dimensión de tolerancia para realizar los giros. Figura tomada de (Forklifts, 2022).

En la tabla 35 se presentan las dimensiones máximas que va a tener el elevador de acuerdo a las condiciones del espacio físico.

**Tabla 18**

*Dimensiones del equipo*

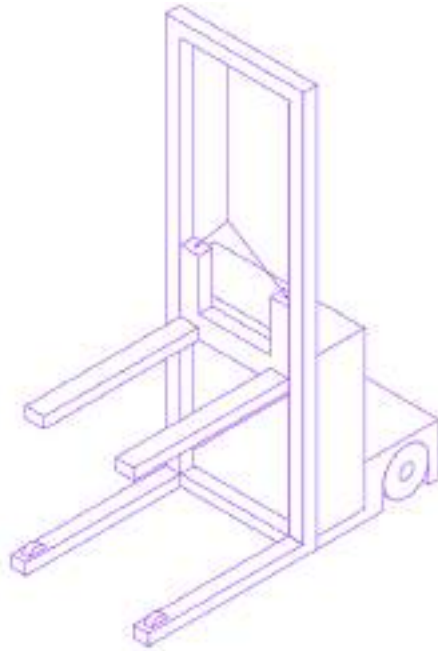
Dimensión	Magnitud (m)
Ancho	0,855
Largo	1,595
Alto	2,15

**Nota:** En la tabla se pueden observar las dimensiones máximas que va a tener el elevador móvil automático.

Con el fin de que el sistema cumpla con los requerimientos y condiciones presentados por la empresa se plantea un esquema inicial como se muestra en la figura 30, con el fin de seleccionar los mecanismos necesarios para el correcto funcionamiento.

**Figura 30**

*Esquema elevador*

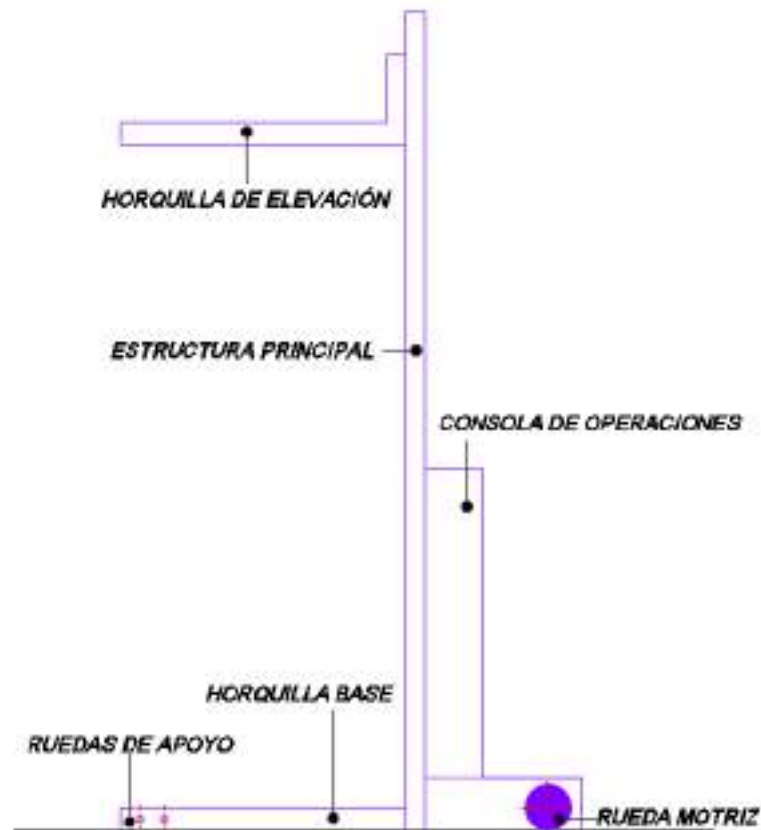


**Nota:** Se presenta un esquema inicial del elevador para la posterior selección de los mecanismos para cada subsistema.

En la figura 31, se presentan las partes fundamentales que conforman el elevador. El equipo cuenta con una estructura principal en la cual se desplazan las horquillas móviles y da soporte a todo el sistema mediante el apoyo de las ruedas delanteras. En la parte posterior del equipo se encuentra la consola de operaciones donde se colocará los componentes del sistema electrónico y, a su vez, el área donde el operario se encontrará ubicado para la manipulación del desplazamiento del elevador, movimiento que estará controlado mediante la rueda motriz.

### Figura 31

#### *Partes principales del elevador*

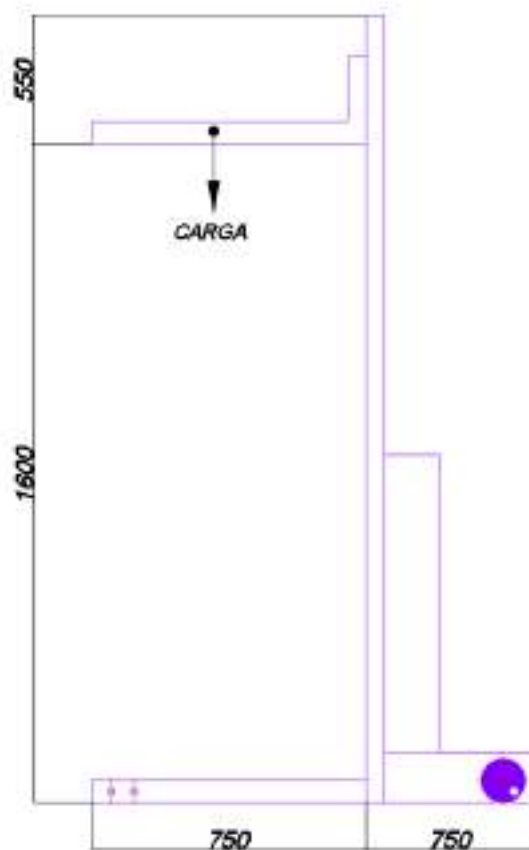


**Nota:** Se presentan las partes y elementos principales que conforman el elevador.

El equipo tiene la capacidad de elevar y transportar los insumos que la empresa maneja en la presentación de tanques, baldes y cajas con una carga máxima de 315 kg, la misma que actúa directamente en las horquillas de elevación generando una fuerza de carga (Figura 32). Dado que el equipo cuenta con las ruedas de apoyo en la parte delantera se debe asegurar que la carga que sea colocada se encuentre dentro del área de las horquillas móviles para asegurar la estabilidad del equipo.

### Figura 32

*Fuerza de carga actuante en el elevador*



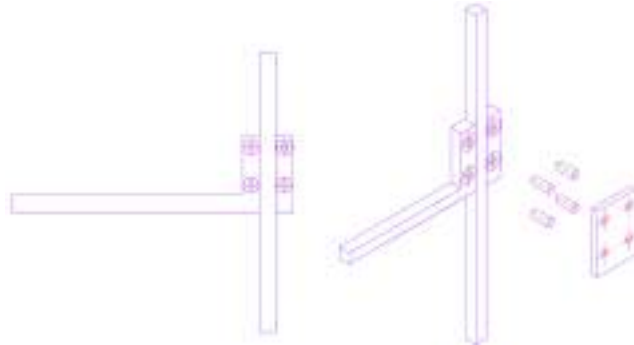
**Nota:** Se presenta las dimensiones totales de elevador y la fuerza que corresponde a la carga máxima que actúa directamente en las horquillas móviles.

#### ■ Sujeción de las horquillas móviles

Para la sujeción y desplazamiento de las horquillas de elevación en la estructura principal se presenta la primera opción como se puede observar en la figura 33, en donde la traslación de las horquillas está generada por cuatro rodamientos de bolas rígidas con sellado integral, sujetados mediante dos placas las cuales contienen los ejes para centrar los rodamientos.

### Figura 33

*Sujeción y traslación de las horquillas de elevación (Opción 1)*

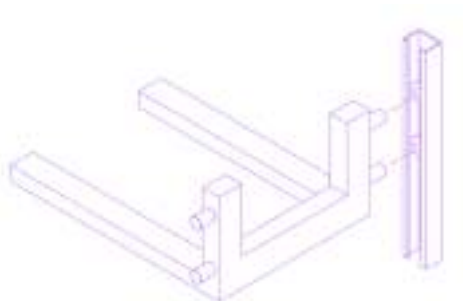


**Nota:** Uso de rodamientos de bolas rígidas con sellado integral sujetos mediante dos placas a la estructura principal.

Como segunda opción para las columnas de la estructura principal se presenta el uso de un perfil tipo "G", en las cuales se generará la traslación de las horquillas de elevación mediante el uso de rodamientos de bolas rígidas con sellado integral los cuales estarán ubicados al interior del perfil sujetos a la estructura de las horquillas como se presenta en la figura 34.

### Figura 34

*Sujeción y traslación de las horquillas de elevación (Opción 2)*



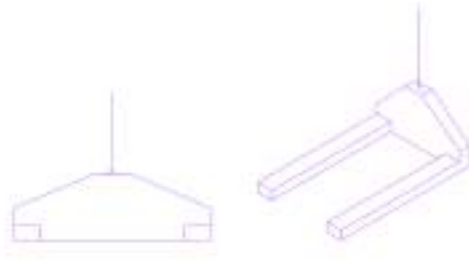
**Nota:** Uso de rodamientos de bolas rígidas con sellado integral al interior del perfil tipo "G", para generar el desplazamiento de las horquillas móviles.

- **Anclaje de las horquillas de elevación**

En la figura 35, se puede observar como primera opción realizar el anclaje de las horquillas móviles al sistema eléctrico de elevación mediante una estructura sólida, la misma que estará sujeta en la parte media por la línea del actuador de elevación, con el fin de distribuir la carga a los dos extremos de las horquillas.

**Figura 35**

*Anclaje de las horquillas de elevación (Opción 1)*

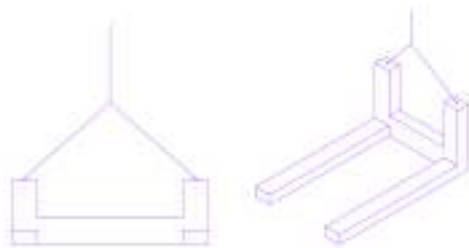


**Nota:** Estructura sólida para distribuir las cargas generadas en las horquillas al tener la sujeción en la parte media.

Como segunda opción se presenta un anclaje al sistema eléctrico de elevación mediante el uso de cadenas o estrobos de acero en los extremos de la estructura de las horquillas como se puede observar en la figura 36, para distribuir la carga a los dos extremos de las horquillas.

**Figura 36**

*Anclaje de las horquillas de elevación (Opción 2)*



**Nota:** Anclaje a los extremos de la estructura de las horquillas mediante cadena o estrobos de acero.



### 6.3.2. Determinación de la carga máxima admisible

De acuerdo a los insumos que manipula la empresa especificados en la tabla 17, se establece que la carga máxima es de 182 kg correspondiente al tanque. Sin embargo, con el objetivo de transportar un mayor número de cajas y baldes a lo que actualmente la empresa manipula en un carro de carga manual (tabla 19), con una distribución como se puede observar en la figura 37, se establece una base de 0,85x0,75 m considerando el área útil de los pasillos de la bodega de la empresa, al igual que la geometría de los productos a manipular con el fin de optimizar el área de base establecida como se puede observar en la figura 38, donde pueden colocarse 1 tanque, 4 baldes o 3 cajas.

**Tabla 19**

*Manipulación manual de la carga*

Presentación producto	Cantidad	Peso
Cajas	4	84kg
Baldes	3	51kg
Tanques	1	182kg

**Nota:** En la tabla se puede observar la cantidad de cajas, baldes y tanques que manipulan actualmente la empresa FEDOCOM CIA. LTDA. con un carro de carga.

**Figura 37**

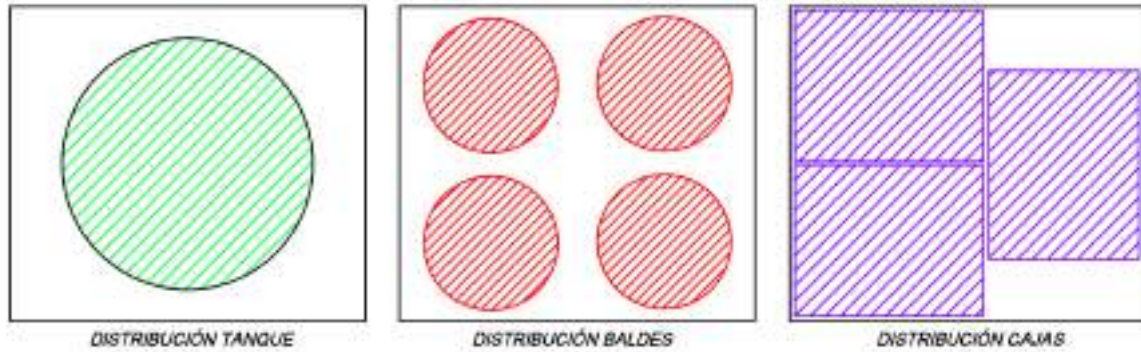
*Transporte de cajas y baldes*



**Nota:** Uso de un carro de carga manual para transportar cajas y baldes

### Figura 38

*Distribución de tanques, baldes y cajas*



**Nota:** En el área establecida como base de 0,85x0,75 m se puede colocar 1 tanque, 4 baldes o 3 cajas.

Para determinar el número de cajas y baldes a transportar en el elevador se establece que la altura máxima de la carga es de 1,6 m debido a que el camión utilizado dentro de la empresa tiene una altura de 1,75 m.

Considerando el área útil para la carga como un prisma cuadrangular de 0,85x0,75x1,75 m se determina el número admisible de tanques, cajas y baldes, al igual que el peso total como se muestra en la tabla 20. Por lo tanto, la carga máxima a soportar por el elevador es de 315 kg.

**Tabla 20**

*Cantidad de productos a transportar*

Presentación producto	Cantidad	Peso
Cajas	15	315 kg
Baldes	16	272 kg
Tanques	1	182 kg

**Nota:** En la tabla se puede observar la cantidad de cajas, baldes y tanques que se podrán transportar en el elevador.

### 6.3.3. Cálculo y selección de materiales estructurales

En base al esquema preliminar del elevador se realiza los cálculos para determinar los perfiles estructurales para la estructura principal. El material seleccionado para los perfiles estructurales para el equipo es el ACERO ASTM A36 - SAE J 403 1008. En la figura 39 se presentan las propiedades del material.

**Figura 39**

*ACERO ASTM A36 - SAE J 403 1008*

Physical Properties	Metric	English
Density	7.80 g/cc	0.282 lb/in <sup>3</sup>
Mechanical Properties	Metric	English
Tensile Strength, Ultimate	400 - 500 MPa	58000 - 79000 psi
Tensile Strength, Yield	250 MPa	36000 psi
Elongation at Break	20 %	20 %
	23 %	23 %
Modulus of Elasticity	200 GPa	29000 ksi
Bulk Modulus	160 GPa	23200 ksi
Poissons Ratio	0.28	0.28
Shear Modulus	78.3 GPa	11500 ksi
Component Elements Properties	Metric	English
Carbon, C	0.25 - 0.29 %	0.25 - 0.29 %
Copper, Cu	0.20 %	0.20 %
Iron, Fe	98 %	98 %
Manganese, Mn	1.03 %	1.03 %
Phosphorus, P	<= 0.040 %	<= 0.040 %
Silicon, Si	0.28 %	0.28 %
Sulfur, S	<= 0.050 %	<= 0.050 %

**Nota:** Ficha técnica del Acero ASTM A36, material ha utilizar en la estructura del equipo. Figura tomada de (MatWeb, 2023).

Los datos del módulo de elasticidad y del esfuerzo permisible a tomar en cuenta del material para el análisis estático son:

$$E = 200GPa$$

$$\sigma_y = 250MPa$$

Para el diseño del sistema se considera un factor de seguridad en el rango de 1,5 a 2, dado que se conoce el material se encuentra en un medioambiente razonable y esta sujeto a cargas y esfuerzos que puedan determinarse con facilidad como se puede observar en la tabla 21.

**Tabla 21***Factores de seguridad recomendados*

<b>Factores de seguridad</b>	
F.S.	Explicación
1.25 a 1.5	Para aplicaciones donde se utilizan materiales altamente confiables en situaciones controladas, sometidos a cargas y tensiones que pueden ser precisamente determinadas. Utilizado cuando una consideración significativa hacia su bajo peso.
1.5 a 2	Para materiales ampliamente reconocidos en entornos con condiciones ambientales relativamente estables, los cuales están expuestos a cargas y tensiones que pueden ser fácilmente calculadas.
2 a 2.5	Para materiales de nivel intermedio utilizados en condiciones comunes y expuestos a cargas y tensiones que son medibles y predecibles.
2.5 a 3	Para materiales con menor grado de experimentación o más susceptibles a fracturarse en condiciones ambientales, de carga y tensión moderadas.
3 a 4	Para materiales que no han sido probados y utilizados en condiciones medias de entorno, carga y tensión.
3 a 4	También debe aplicarse con materiales más conocidos que se van a usar en entornos inciertos o sujetos a tensiones inciertas.

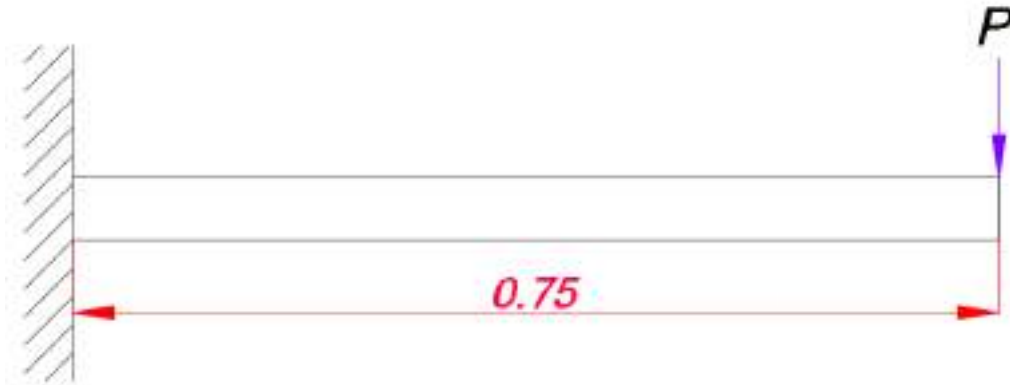
**Nota:** Selección del factor de seguridad en base a situaciones particulares. Figura tomada de (Vidosic, 1957).

#### ■ Horquillas

Para el análisis de las horquillas en las cuales va a estar apoyada la carga a manipular, se considera como una viga en voladizo con la carga ubicada en el extremo considerando como el momento más crítico (Figura 40).

**Figura 40**

*Diagrama de viga en voladizo*



**Nota:** En el diagrama se presenta la longitud de la viga en voladizo con la magnitud de la carga a manipular situada al extremo.

Para las horquillas se seleccionó un perfil tipo G, en base al catálogo de productos de DIPAC (Anexo D), se realizaron los cálculos respectivos de esfuerzo y flexión de la viga. Como resultado de las iteraciones realizadas de los cálculos finalmente se definió un perfil de **125x50x15x5 mm** con las siguientes características:

$$I = 3,041e - 7m^4$$

$$C = 0,0178565m$$

$$\sigma_{max} = \frac{M \cdot c}{I} \quad (1)$$

Se obtiene el momento generado en la viga mediante la ecuación 2, en donde se considera el peso de la carga máxima (315kg) y la distancia total de la viga (0.75m).

$$M = F \cdot D \quad (2)$$

$$M = 315kg \cdot 9,81m/s^2 \cdot 0,75m = 2,3176kNm$$

Mediante la ecuación 1 se determina el esfuerzo máximo producido en la viga.

$$\sigma_{max} = \frac{2,3176kNm \cdot 0,0178565m}{3,041e - 7m^4} = 136,09MPa$$

Al comprobar que:

$$\sigma_{perm} < \sigma_{max}$$

Se determina el factor de seguridad mediante la ecuación 3.

$$FS = \frac{\sigma_{max}}{\sigma_{perm}} \quad (3)$$

$$FS = \frac{250MPa}{136,09MPa} = 1,8$$

Dado el resultado del factor de seguridad con el perfil de **125x50x15x5 mm** se comprueba que cumple con las condiciones establecidas. Se determina la flexión máxima que va a sufrir la viga al estar sometida a la carga (Ecuación 4).

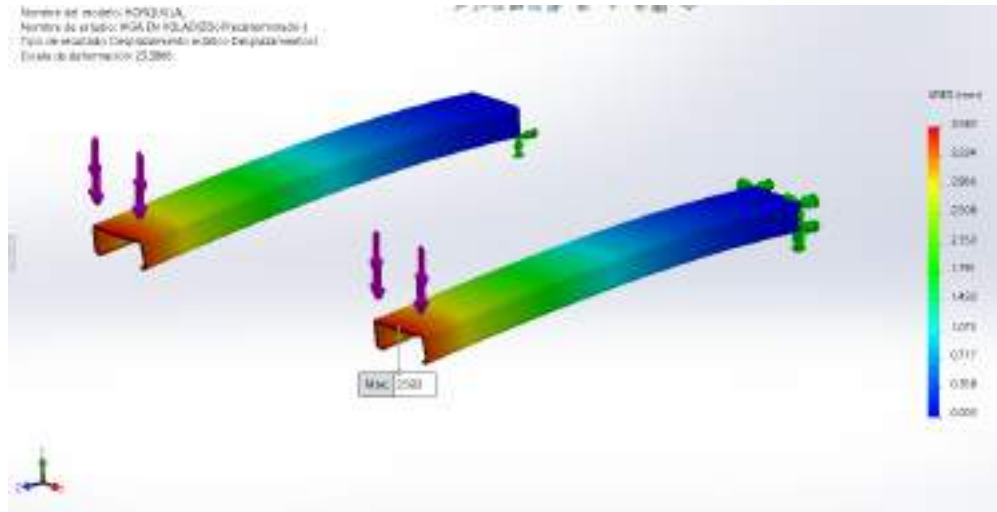
$$y_{max} = \frac{WL^3}{3EI} \quad (4)$$

$$y_{max} = \frac{315kg \cdot 9,81m/s^2 \cdot 0,75m^3}{3 \cdot 200GPa \cdot (2 \cdot 3,041e - 7m^4)} = 0,0036m = 3,6mm$$

En la figura 41 se corrobora el desplazamiento máximo de las horquillas mediante el análisis de elementos finitos.

**Figura 41**

*Análisis horquillas carga crítica*

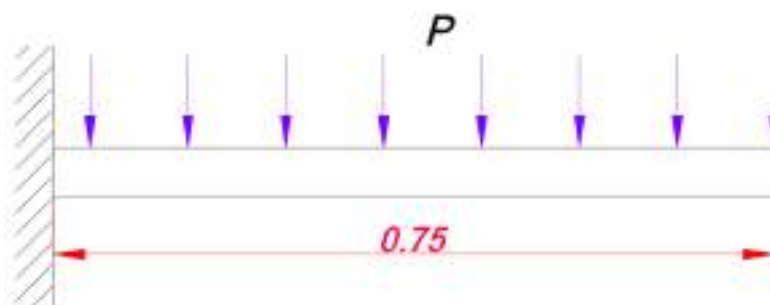


**Nota:** Tras el análisis de elementos finitos en las horquillas del sistema se obtiene un desplazamiento máximo de 3,583 mm al estar sometidas con la carga en el punto crítico.

Se realiza el análisis de las horquillas considerando que la carga se encuentra distribuida en toda la longitud de la viga como se muestra en la figura 42.

**Figura 42**

*Diagrama de viga en voladizo carga distribuida*



**Nota:** En el diagrama se presenta la longitud de la viga en voladizo con la magnitud de la carga distribuida en la longitud máxima.

Se determina la carga que actúa por cada metro de la longitud:

$$\frac{W}{m} = \frac{315kg \cdot 9,81m/s^2}{0,0750m} = 4,1202kN$$

Mediante la ecuación 5, se obtiene la flexión máxima de las horquillas al situar la carga máxima de manera distribuida.

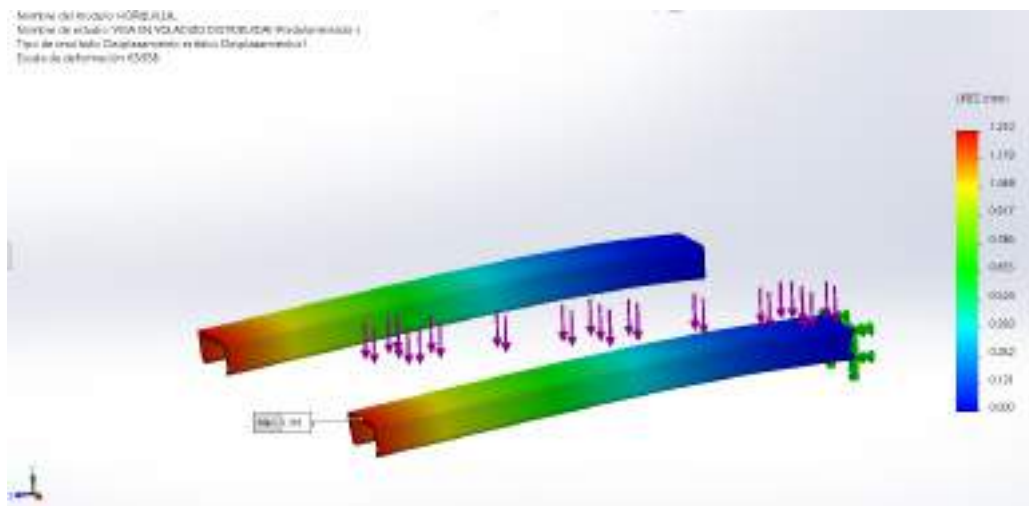
$$y_{max} = \frac{WL^4}{8EI} \quad (5)$$

$$y_{max} = \frac{315kg \cdot 9,81m/s^2 \cdot (0,75m)^4}{8 \cdot 200GPa \cdot (2 \cdot 3,041e - 7m^4)} = 0,0013m = 1,3mm$$

En la figura 43, se corrobora el desplazamiento máximo de las horquillas con carga distribuida mediante el análisis de elementos finitos.

### Figura 43

#### *Análisis horquillas carga distribuida*



**Nota:** Tras el análisis de elementos finitos en las horquillas considerando la carga distribuida se obtiene un desplazamiento máximo de 1,31 mm.

#### ■ Perfil superior

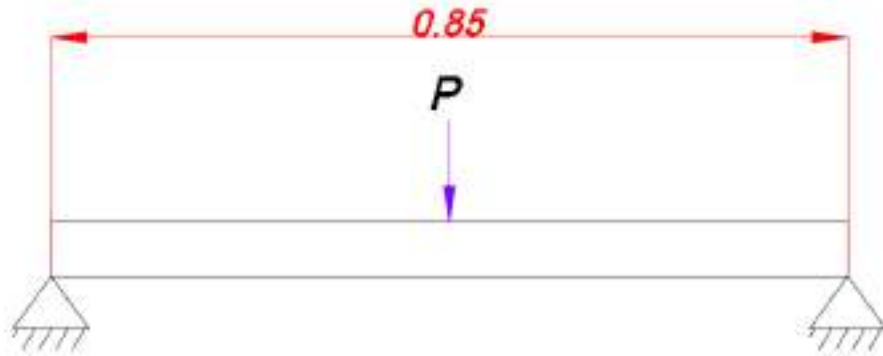
Para el análisis de la estructura superior en donde se va a sujetar la polea para el apoyo del sistema de elevación, se considera como una viga con doble apoyo y la carga situada



en la mitad considerando como el momento más crítico (Figura 44).

**Figura 44**

*Diagrama de viga con doble apoyo (Perfil superior)*



**Nota:** En el diagrama se presenta la longitud de la viga apoyada en dos puntos fijos con la magnitud de la carga situada en el punto medio de la misma.

Para el perfil superior de la estructura principal se seleccionó un perfil de tipo rectangular, en base al catálogo de productos de DIPAC (Anexo D), se realizaron los cálculos respectivos de esfuerzo y flexión de la viga. Como resultado de las iteraciones realizadas de los cálculos finalmente se definió un perfil de **100x50x2 mm** con las siguientes características:

$$I = 2,565e - 7m^4$$

$$C = 0,025m$$

Se obtiene el momento generado en la viga mediante la ecuación 2. Para lo cual se considera la distancia total de la viga (0,85 m), el peso de la carga máxima (315 kg) y el peso de la estructura de las horquillas basándose en el dato entregado por el proveedor:

$$P = 315kg + (9,53kg \cdot 0,75 \cdot 2) = 329,2950kg$$

$$M = 329,2950kg \cdot 9,81m/s^2 \cdot 0,4250m = 2,3729kNm$$

Mediante la ecuación 1 se determina el esfuerzo máximo producido en la viga.

$$\sigma_{max} = \frac{2,3729kNm \cdot 0,0025m}{2,565e-7m^4} = 133,81MPa$$

Al comprobar que:

$$\sigma_{max} < \sigma_{perm}$$

Se determina el factor de seguridad mediante la ecuación 3.

$$FS = \frac{250MPa}{133,81MPa} = 1,86$$

Dado el resultado del factor de seguridad con el perfil de **100x50x2 mm** se comprueba que cumple con las condiciones establecidas. Se determina la flexión máxima que va a sufrir la viga al estar sometida a la carga (Ecuación 6).

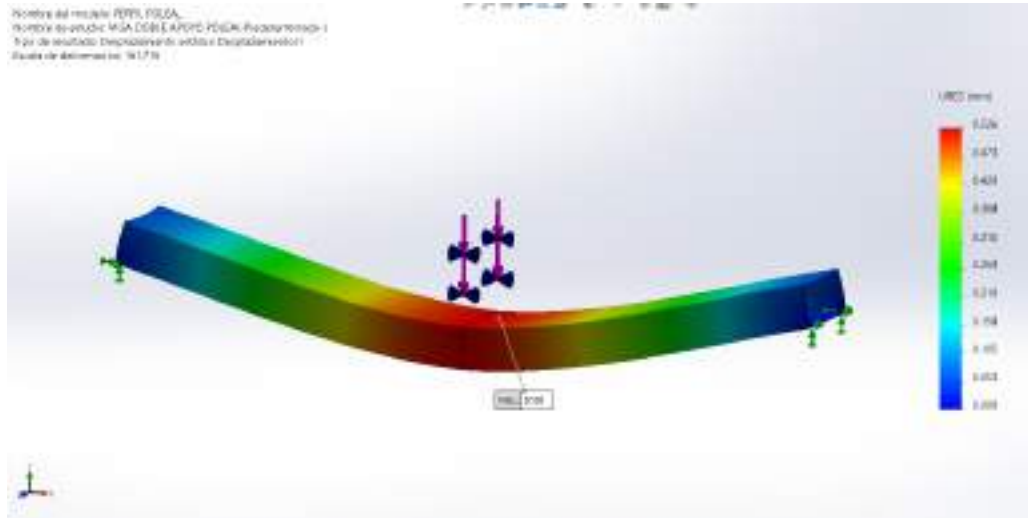
$$y_{max} = \frac{WL^3}{48EI} \quad (6)$$

$$y_{max} = \frac{329,2950kg \cdot 9,81m/s^2 \cdot (0,85m)^3}{48 \cdot 200GPa \cdot (2 \cdot 2,565e-7m^4)} = 0,000805m = 0,8mm$$

En las figuras 45 y 46 se muestra el desplazamiento máximo del perfil superior considerando la carga en su punto crítico y como carga distribuida.

## Figura 45

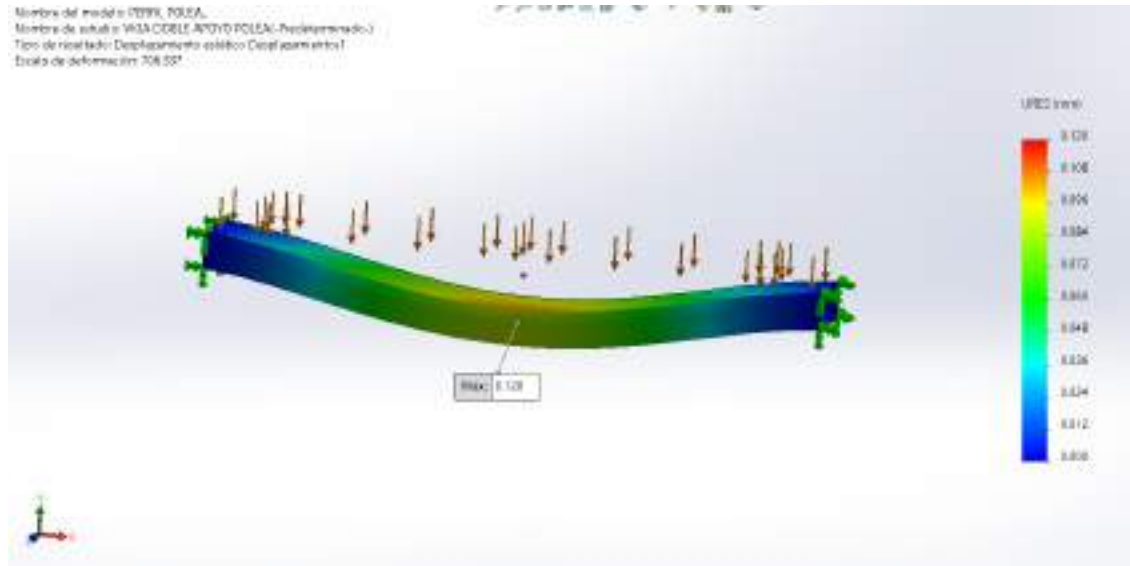
### *Análisis perfil superior carga crítica*



**Nota:** Tras el análisis de elementos finitos en el perfil superior con la carga situada en el punto crítico se obtiene un desplazamiento máximo de 0,526mm.

## Figura 46

### *Análisis perfil superior carga distribuida*



**Nota:** Tras el análisis de elementos finitos en el perfil superior con la carga distribuida se obtiene un desplazamiento máximo de 0,12 mm.

- **Columnas** Para el análisis de las columnas laterales del sistema en donde se van a trasladar las horquillas, se considera una columna con dos apoyos fijos y carga axial (Figura 47).

**Figura 47**

*Diagrama columna con extremos fijos*



**Nota:** En el diagrama se presenta la longitud total de la columna la cual tiene ambos puntos fijos y la carga se sitúa de manera axial.

La carga que va a actuar en las columnas corresponde a la carga máxima (315 kg) y de las estructuras de las horquillas y del perfil superior basándose en los datos entregados por el proveedor:

$$P = 315kg + 9,53kg/m \cdot (0,75m \cdot 2) + (9,17kg/m \cdot 0,85) = 337,0895kg$$

Para el perfil de las columnas de la estructura principal se seleccionó un perfil de tipo G, en base al catálogo de productos de DIPAC (Anexo D), se realizaron los cálculos respectivos de la carga crítica sobre la columna. Como resultado de las iteraciones realizadas de los cálculos finalmente se definió un perfil de **100x50x15x2 mm** con las siguientes características:

$$A = 0,434e - 3m^2$$

$$I = 1,498e - 7m^4$$

Dado que la columna tiene fijación en ambos extremos el factor de fijación es de:

$$k = 0,5$$

Mediante la ecuación 7 se determina la longitud efectiva de la columna.

$$Le = L \cdot k \tag{7}$$

$$Le = 2,15m \cdot 0,5 = 1,0750m$$

A partir de la ecuación 8 se determina el radio de giro la columna.

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}} \tag{8}$$

$$r = \sqrt{\frac{1,498e - 7m^4}{0,434e - 3m^2}} = 0,0263m$$

Se determina la relación de esbeltez con la ecuación 9

$$Sr = \frac{Le}{r} \tag{9}$$

$$Sr = \frac{1,0750m}{0,0263m} = 40,9150$$

Mediante la ecuación 10 relación de esbeltez de transición.

$$Cc = \sqrt{\frac{2\pi^2 \cdot E}{\sigma_{perm}}} \tag{10}$$

$$Cc = \sqrt{\frac{2\pi^2 \cdot 200GPa}{250MPa}} = 125,6637$$

Al comprobar que:

$$Sr < Cc \tag{11}$$

Se define que la columna se categoriza de tipo corta. Mediante la ecuación 12, se determina la carga crítica que soporta la columna.

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{Le^2} \quad (12)$$

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot 200GPa \cdot 2 \cdot 1,498e - 7m^4}{2,1m^2} = 511,5kN$$

Tomando en cuenta el factor de seguridad establecido se obtiene el valor de la carga máxima que se puede aplicar a la columna (Ecuación 13).

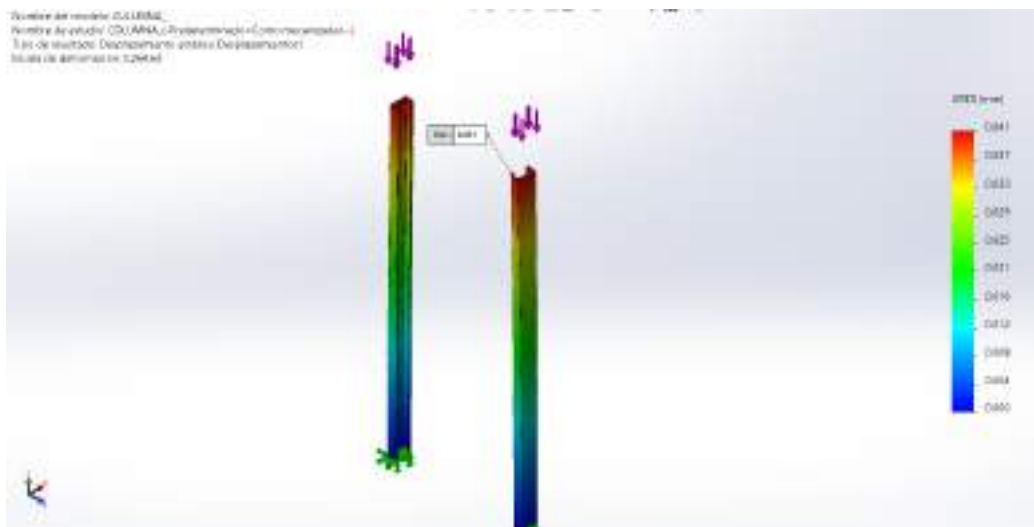
$$P_m = \frac{P_{cr}}{F_s} \quad (13)$$

$$P_m = \frac{0,51175MN}{2} = 255,87kN$$

En la figura 48 se observa el desplazamiento máximo que van a sufrir las columnas al estar sometidas a la carga máxima.

**Figura 48**

*Análisis columnas*



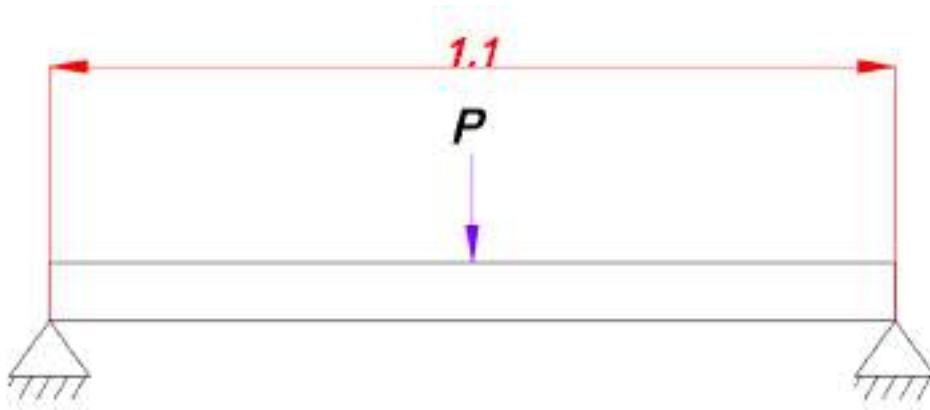
**Nota:** Tras el análisis de elementos finitos de las columnas sometidas a la carga máxima se obtiene un desplazamiento máximo de 0,041 mm.

- **Base**

Para el análisis de la estructura base del sistema, se considera como una viga con doble apoyo y la carga situada en la mitad considerando como el momento más crítico (Figura 49).

**Figura 49**

*Diagrama de viga con doble apoyo (base)*



**Nota:** En el diagrama se presenta la longitud de la viga para la base del sistema apoyada en dos puntos fijos con la magnitud de la carga situada en el punto medio de la misma.

Para el perfil de la base del sistema se seleccionó un perfil de tipo rectangular, en base al catálogo de productos de DIPAC (Anexo D) se realizaron los cálculos respectivos de esfuerzo y flexión de la viga. Como resultado de las iteraciones realizadas de los cálculos finalmente se definió un perfil de **40x80x3 mm** con las siguientes características:

$$I = 1,749e - 7m^4$$

$$C = 0,020m$$

Se obtiene el momento generado en la viga mediante la ecuación 2. Para lo cual se considera la distancia total de la viga (1,1 m), el peso de la carga máxima (315 kg), el peso de las estructuras de las horquillas, las columnas y el perfil superior basándose en los datos entregados por el proveedor. Además, se considera los pesos estimados de



los componentes eléctricos principalmente del motor de elevación (8 kg) y la fuente de energía (120 kg):

$$P = 315kg + 36,62kg + 8kg + 120kg = 479,62kg$$

$$M = 479,62kg \cdot 9,81m/s^2 \cdot 0,55m = 2,587kNm$$

Mediante la ecuación 1 se determina el esfuerzo máximo producido en la viga.

$$\sigma_{max} = \frac{2,587kNm \cdot 0,020m}{1,749e - 7m^4} = 147,87MPa$$

Al comprobar que:

$$\sigma_{max} < \sigma_{perm}$$

Se determina el factor de seguridad mediante la ecuación 3.

$$FS = \frac{250MPa}{147,87MPa} = 1,69$$

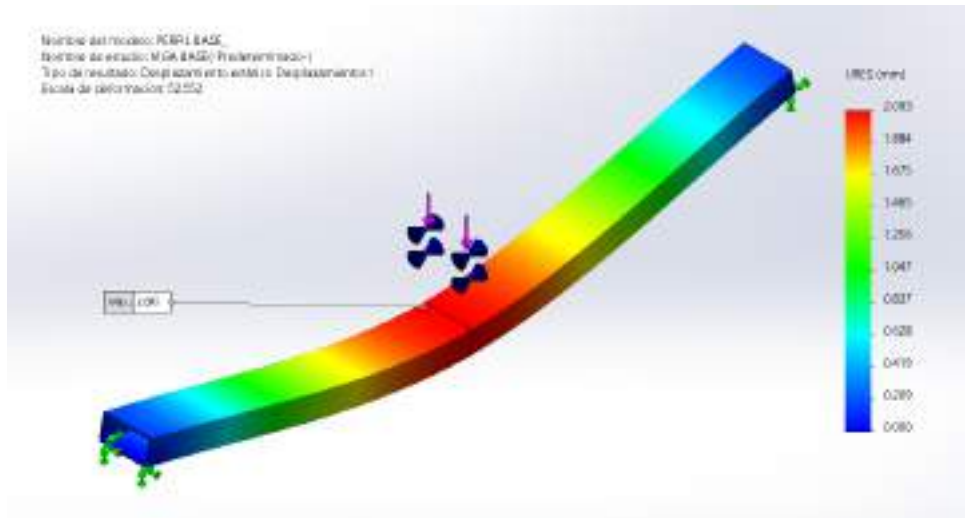
Dado el resultado del factor de seguridad con el perfil de **40x80x3 mm** se comprueba que cumple con las condiciones establecidas. Se determina la flexión máxima que va a sufrir la viga al estar sometida a la carga (Ecuación 6).

$$y_{max} = \frac{479,62kg \cdot 9,81m/s^2 \cdot (1,1m)^3}{48 \cdot 200GPa \cdot (2 \cdot 1,749e - 7m^4)} = 0,0019m = 1,9mm$$

En las figuras 50 y 51 se comprueba el desplazamiento máximo del perfil de la base del equipo considerando la carga en su punto crítico y como carga distribuida.

**Figura 50**

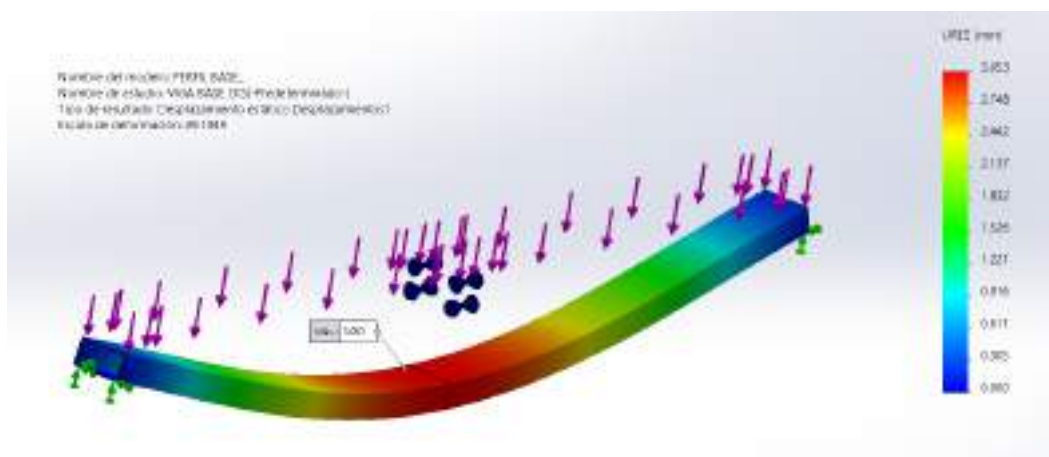
*Análisis perfil de base carga crítica*



**Nota:** Tras el análisis de elementos finitos en el perfil de la base del sistema con la carga situada en el punto crítico se obtiene un desplazamiento máximo de 2,09 mm.

**Figura 51**

*Análisis perfil de base carga distribuida*



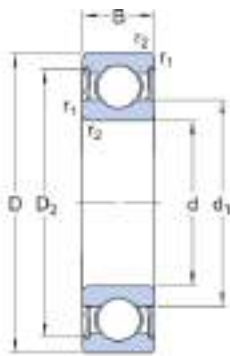
**Nota:** Tras el análisis de elementos finitos en el perfil de la base del sistema con la carga distribuida se obtiene un desplazamiento máximo de 1,232 mm.

### 6.3.4. Selección de rodamientos

Para el sistema de elevación de las horquillas móviles se selecciono la disposición de los rodamientos como se presenta en la figura 34 empleando un perfil tipo "G", en el cual se van a desplazar los rodamientos sujetos a la estructura de las horquillas. En base al catálogo del proveedor y las dimensiones del perfil analizado se seleccionó el rodamiento rígido de bolas 6012-2RS1/C3 con sellos o placas de protección para evitar la acumulación de impurezas en los elementos (Figura 52).

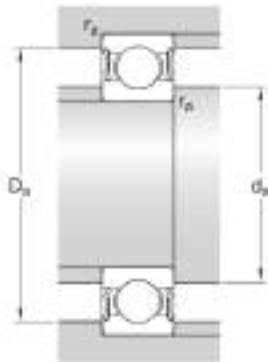
**Figura 52**

*Rodamiento 6012-2RS1/C3*



Dimensiones

d	60 mm	Diámetro interno
D	95 mm	Diámetro exterior
B	38 mm	Ancho
d <sub>1</sub>	= 71.3 mm	Diámetro del resalte
D <sub>2</sub>	= 86.5 mm	Diámetro del rebaje
r <sub>1,2</sub>	min. 1.1 mm	Dimensión del chafán



Dimensiones de los resaltes

d <sub>3</sub>	min. 66 mm	Diámetro del resalte del eje
d <sub>3</sub>	max. 71.2 mm	Diámetro del resalte del eje
D <sub>3</sub>	max. 89 mm	Diámetro del resalte del soporte
r <sub>4</sub>	max. 1 mm	Radio del eje o acuerdo del soporte

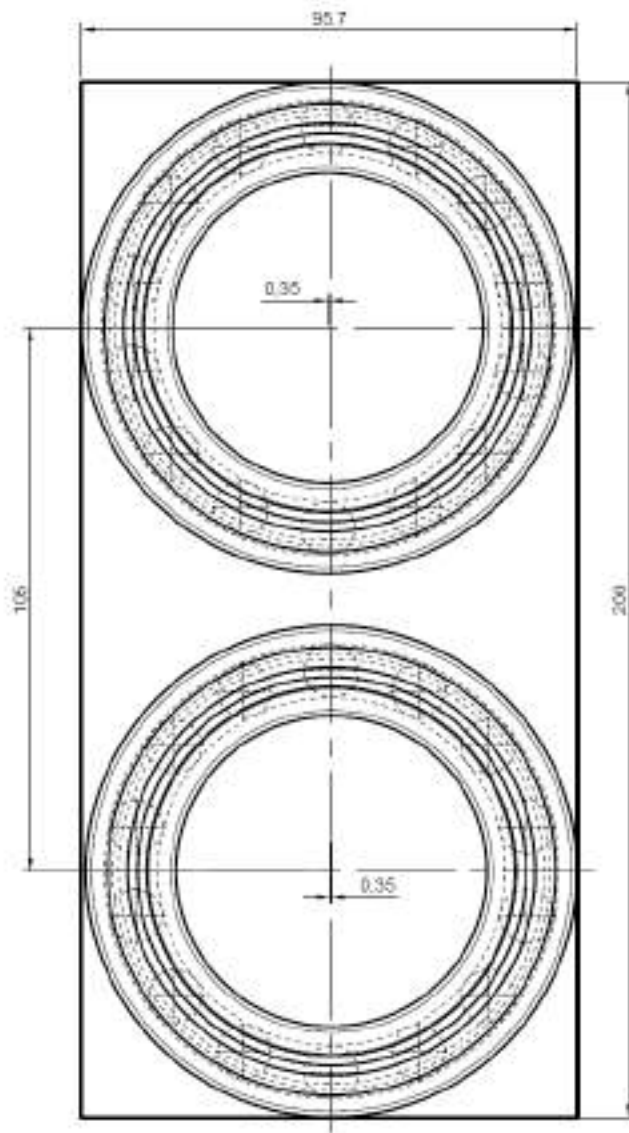
**Nota:** Rodamiento 6012-2RS1/C3 rígido de bolas con sellos o placas de protección. Figura tomada de (SKF, 2023).

Con el fin de asegurar la alineación de las horquillas móviles en el desplazamiento los rodamientos son posicionados de manera que cada uno de ellos se encuentre en contacto

con una superficie interna del perfil G, como se muestra en la figura 53. Se considera una tolerancia de tipo media para dimensiones de más de 30 hasta 120 para asegurar el correcto desplazamiento de los rodamientos dentro del perfil (Figura 54).

**Figura 53**

*Esquema disposición rodamientos*



**Nota:** En el esquema se presenta la disposición de los rodamientos para el sistema de desplazamiento de las horquillas móviles.

## Figura 54

### *Tolerancias generales dimensionales*

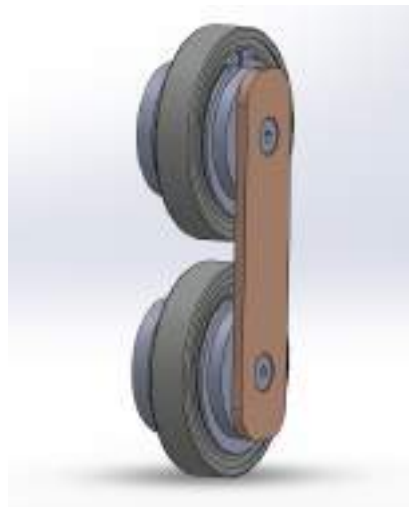
Clase de tolerancia		Desviaciones admisibles respecto al nominal (en mm)							
Designación	Descripción	Más de 0,57	Más de 1	Más de 6	Más de 30	Más de 120	Más de 400	Más de 1.000	Más de 2.000
		Hasta 7	Hasta 15	Hasta 30	Hasta 120	Hasta 400	Hasta 1.000	Hasta 2.000	Hasta 4.000
f	Flujo	±0,08	±0,05	±0,1	±0,15	±0,2	±0,3	±0,5	
m	Medida	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2	±2
g	Geometría	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2	±2	±3	±4
v	Más gruesa		±0,3	±1	±1,5	±2,5	±4	±6	±8

**Nota:** Tolerancias generales para medidas lineales. Figura tomada de (Jesus Felez, 2008).

En la figura 55, se observa el ensamble de los rodamientos en la estructura de las horquillas móviles. Se implementa una platina de bronce SAE 40 para la sujeción de los rodamientos para garantizar la alineación y desplazamiento de la estructura de las horquillas móviles. Dada la resistencia al desgaste del material permite mantener en contacto la superficie interna del perfil con la platina.

## Figura 55

### *Ensamble de rodamientos*



**Nota:** Se presenta la distribución de los rodamientos para asegurar la alineación y desplazamiento de las horquillas móviles.

### 6.3.5. Selección polea

Para el sistema de elevación se implementa una polea para reducir el esfuerzo del desplazamiento de las horquillas móviles, por la cual va a atravesar el cable del motor de elevación, la misma que estará sujeta al perfil superior de la estructura principal. En base a la disponibilidad en el mercado se ha seleccionado una polea de acero inoxidable con una capacidad de carga de 800 kg (Figura 56).

**Figura 56**

*Polea de acero inoxidable*



Sold By	Joyoya
Brand Name	VUYBVY
Caster Type	Rigid
Color	U
Load Capacity	800 kg
Material	Stainless Steel
Mounting Type	Plate Mount

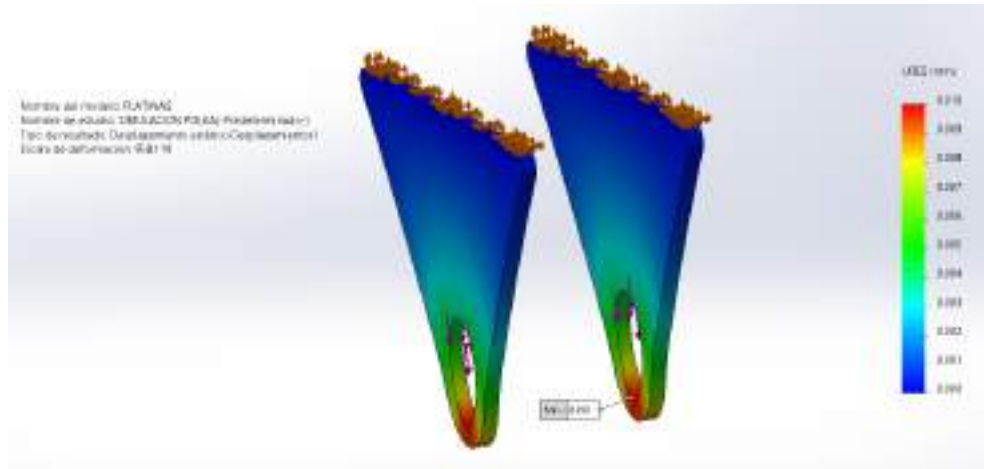
**Nota:** La polea de acero inoxidable tiene una capacidad máxima de 800 kg. Figura tomada de (AMAZON, 2023).

Debido a que la polea seleccionada es de acero inoxidable se opta por diseñar unas platinas de acero ASTM A36 como soporte para una mejor sujeción a la estructura garantizando la soldadura entre ambos elementos. En la figura 57, se observa el análisis de elementos finitos del elemento teniendo un desplazamiento máximo de 0,01 mm al aplicar la fuerza de la carga máxima. La implementación de los soportes se puede observar en el modelado de la polea en

la figura 58.

### Figura 57

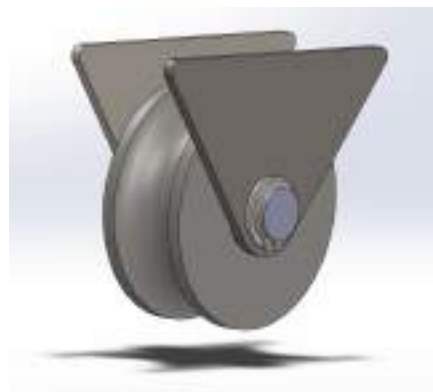
*Análisis soporte polea*



**Nota:** Se produce un desplazamiento máximo de 0,01 mm en las platinas de sujeción de la polea al aplicar la fuerza generada por la carga máxima a manipular.

### Figura 58

*Modelado polea*



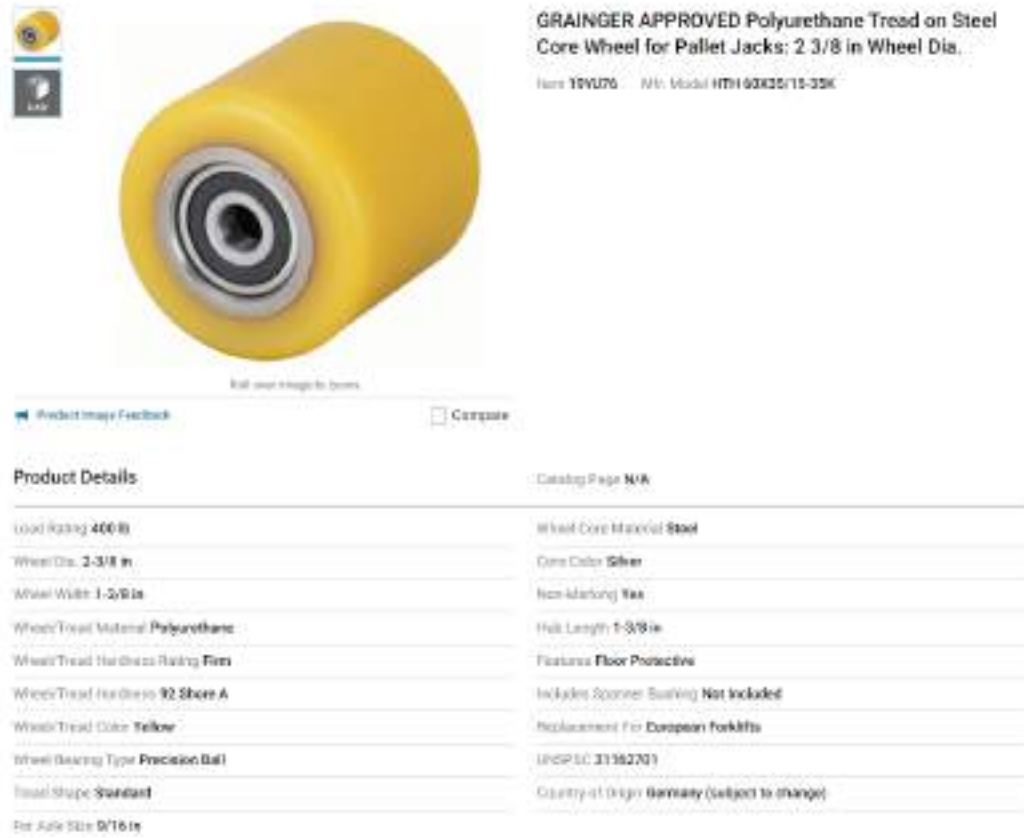
**Nota:** Se obtiene el modelado de la polea con la integración de los soportes para la sujeción en acero ASTM A36.

### 6.3.6. Selección de ruedas de apoyo

Para la selección de las ruedas de apoyo a utilizar se tomo en consideración que estas deben ser adecuadas para soportar cargas elevadas las cuales están fabricadas con elastómero de poliuretano, dado que entre las principales características del material es la alta resistencia al desgaste y abrasión, gran capacidad de amortiguamiento y resistencia a grasa o aceite. En base a las opciones disponibles en el mercado se seleccionó una rueda de poliuretano de dureza 92 Shore A sobre acero, en la figura 59 se detallan las especificaciones.

**Figura 59**

*Rueda de poliuretano 19YU75*



**Nota:** Se presenta el modelo de la rueda 19YU76 de poliuretano de dureza 92 Shore A con una capacidad de carga de 400 lb. Figura tomada de (GRAINGER, 2023b).



### 6.3.7. Selección del motor para el sistema de elevación

En referencia a la carga máxima de 315 kg que el elevador va a manipular, se realiza la selección del motor a utilizarse en el subsistema de elevación como primera opción se tiene un teclé eléctrico con capacidad de 500 kg y una alimentación de 220 V (Figura 60). Por otro lado, se presenta un teclé eléctrico de 907,1847 kg y 12 VDC (Figura 61). En base a las opciones encontradas en el mercado se selecciona como actuador para el sistema de elevación la segunda opción presentada, ya que tiene una alimentación de corriente continua lo que facilitará el diseño del sistema eléctrico para un dispositivo móvil automático, y que su costo es menor en relación a la otra propuesta.

**Figura 60**

*Teclé Eléctrico Century PA1000 500 kg*



**Nota:** El teclé eléctrico PA1000 tiene una capacidad de carga de 500 kg con una velocidad de 8 m/min. Figura tomada de (GANAGRO.ec, 2023).

**Figura 61**

*RUGCEL WINCH 2000 lb*



**Nota:** La wincha eléctrica tiene una capacidad de carga de 2000 lb y una alimentación de 12 VDC. Figura tomada de (RUGCEL, 2023).

### 6.3.8. Dimensionamiento y selección del motor para el sistema de desplazamiento

Para el dimensionamiento del motor del sistema de desplazamiento se selecciono una rueda de elastómero de poliuretano de dureza 92 Shore A, y diámetro de 0,3 m. Mediante la ecuación 14 se obtiene la velocidad de rotación de la rueda de tracción.

$$N_T = \frac{60 \cdot V_n}{\pi \cdot D_w} \quad (14)$$

Se considera que la velocidad nominal del elevador es de 5 km/h la cual está establecida como velocidad permitida dentro de las instalaciones de bodegas (Sanchez, 2021).

$$V_n = 1,38m/s$$

$$D_w = 0,3m$$

$$N_T = \frac{60 \cdot 1,38m/s}{\pi \cdot 0,3m} = 87,853rpm$$

Mediante la ecuación 15 se determina la fuerza de empuje, tomando en cuenta el peso de la estructura y de los componentes electrónicos (720,6580 kg), la carga máxima a elevar (315

kg) y la fuerza de rozamiento generada por la rueda de poliuretano.

$$F_T = k(g \cdot (m_e + m_c) + F_r) \quad (15)$$

$$m_e = 720,6580kg$$

$$m_c = 315kg$$

Se considera que el equipo debe operar en una superficie inclinada, para lo cual la constante k corresponde al porcentaje de inclinación de una rampa (10%) de acuerdo a la figura 62.

### Figura 62

*Inclinación de rampas*

Medios de transporte	Pendiente máxima (recomendación)
Contenedor sobre ruedas de accionamiento manual	3 %
Transpaleta manual	3 %
Transpaleta motorizada	7 %
Carretilla elevadora con motor eléctrico	10 %
Carretilla elevadora con motor de gasolina o gas	12,5 %

**Nota:** El porcentaje de inclinación de una rampa corresponde al 10% para un elevador con motor eléctrico. Figura tomada de (INSHT, 2016).

Mediante la ecuación 16 se determina el ángulo de la rampa.

$$\text{Ángulo} = \arctan(0,1) = 5,71^\circ \quad (16)$$

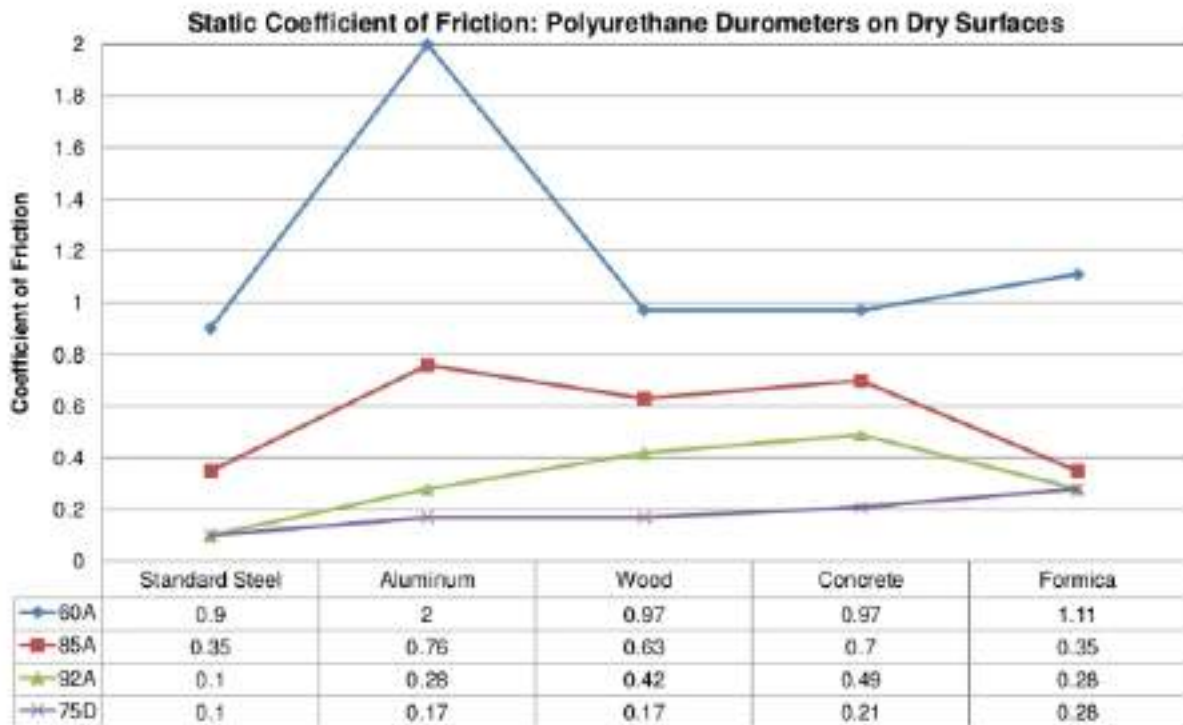
A partir de la ecuación 17 se determina la fuerza de rozamiento.

$$F_r = N \cdot \mu \quad (17)$$

El coeficiente estático de fricción del poliuretano en contacto con concreto considerando la superficie seca es de 0,49, tomando en cuenta la dureza del elastómero de 93A (Figura 63).

**Figura 63**

*Coefficiente estático de rozamiento*



**Nota:** Coeficiente estático de rozamiento del poliuretano. Figura tomada de (SUNRAYINC., 2023).

$$N = (m_e + m_c) \cdot g = 10,16kN$$

$$F_r = 10,16kN \cdot 0,49 = 4,97kN$$

Se determina la fuerza de empuje:

$$F_T = 0,1(9,81m/s^2 \cdot (720,6580kg + 315kg) + 4,97kN) = 1,51kN$$

Se determina la potencia necesaria de los motores mediante la ecuación 18, considerando los valores antes calculados.

$$P_u = F_T \cdot V_n \quad (18)$$

$$P_u = 1,51kN \cdot 1,38m/s = 2,08kW$$

Calculado el valor de la potencia para ambos motores, se tiene una potencia de 467,81 W por motor de tracción.

Mediante la ecuación 19, obtenemos el par de motor requerido para cada uno de los motores de tracción, donde considera el diámetro de la rueda y la fuerza de empuje.

$$T = \frac{1}{2} \cdot \frac{D_w}{2} \cdot F_T \quad (19)$$

$$T = \frac{1}{2} \cdot \frac{0,3m}{2} \cdot 1,51kN = 112,5Nm$$

En base al torque necesario para el desplazamiento del equipo se selecciona un motor de ruedas motrices eléctricas horizontales multidireccionales de modelo MRT33 como se puede observar en la figura 64. Al utilizar este modelo de rueda es posible generar el desplazamiento y dirección del equipo mediante el control de los dos motores DC.

**Figura 64**

*Ruedas motrices eléctricas horizontales multidireccionales*



MULTI-DIRECTIONAL HORIZONTAL ELECTRIC DRIVE WHEELS  
**MRT33**

Wheel Diameter : 300 mm  
Nominal Power : 1000-2500 W  
Max Radial Load : 1800 Kg  
Max Wheel Torque : 600 Nm  
Battery : 24-144 Vdc  
Max Driving Speed : 7,2 Km/h

**Nota:** Ruedas motrices eléctricas horizontales multidireccionales para generar el desplazamiento y dirección del equipo. Figura tomada de (CFR, 2023).

### 6.3.9. Selección sensor de navegación

Para que el equipo pueda realizar su desplazamiento de manera automática a las zonas del área de la bodega de la empresa especificadas por el operario se ha seleccionado un sensor de línea magnética MGS1600 que se muestra en la figura 65. Este sensor está enfocado para aplicaciones robóticas de seguimiento de línea, el cual requiere de una cinta magnética que defina la ruta por la cual se va a desplazar el equipo de manera automática. El procesamiento de señal que realiza el sensor permite medir con precisión su distancia lateral desde el centro de la pista definida con una resolución milimétrica. La información de posición de la cinta se puede emitir en formato numérico en los puertos RS232 o USB del sensor y a su vez por una salida de voltaje de 0 a 3 V y una salida PWM variable.

**Figura 65**

*Sensor magnético MGS1600*



Sensor	
Sensing Width	100
Sensing Height	1000mm
Communication	
RS232	Yes
USB	Yes
GPIOs	Yes
Input/Outputs	
Analog Out	Yes
PWM Out	Yes
Pin Selection ID	Yes
Connector	
Connector Type	06Pin
Number of pins	10
Cable Length	3m Cable
Mechanical	
Enclosure	ABS Plastic
Dimensions	(140mm x 20mm x 25mm)
Weight	25g

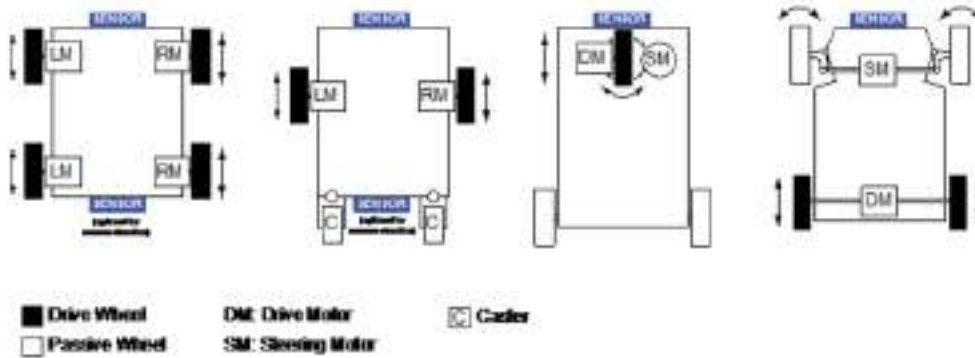
**Nota:** Datos técnicos del sensor magnético seguidor de línea (RoboteQ, 2023d).

En base a la información presentada por el fabricante para la disposición del sensor en el equipo se puede realizar de diferentes maneras de acuerdo al diseño del chasis del equipo como se muestra en la figura 66. En base a la distribución establecida del sistema, el sensor debe colocarse en la parte posterior para asegurar el funcionamiento de desplazamiento y

dirección de acuerdo a las rutas definidas en ambas direcciones. Tiene una altura operativa de 10mm a 60mm, sin embargo, para conseguir mejores resultados se debe colocar a 30mm por encima del suelo, se debe asegurar que la altura fluctúe en un máximo de +/-10mm.

**Figura 66**

*Posicionamiento del sensor magnético*

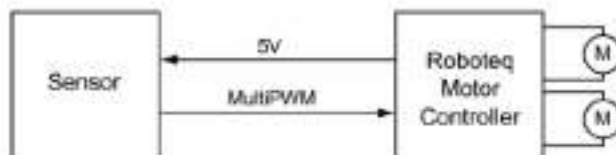


**Nota:** Formas de distribución básicas para proporcionar tracción y dirección al sistema. (RoboteQ, 2023a).

El MGS1600 es compatible con los controladores del mismo fabricante el cual es alimentado desde la salida de 5 V del controlador, y la información de la detección de la cinta es enviada desde el sensor por medio de la salida PWM conectada a una entrada de tipo pulso del controlador configurada previamente. En la figura 67, se presenta el esquema de la interfaz de conexión entre el sensor y el controlador de los motores sin escobillas.

**Figura 67**

*Interfaz entre sensor y controlador*



**Nota:** Esquema de la conexión entre el sensor MGS1600 y el controlador para los motores DC. (RoboteQ, 2023d).

### 6.3.10. Selección de controladores

Los controladores seleccionados para cada uno de los actuadores de los subsistemas del equipo pueden llegar a ser comandados por señales seriales, USB, señales analógicas o de pulso. Dada la tecnología de los controladores ofrece un control preciso de movimiento y velocidad. El funcionamiento del controlador puede ser personalizado con programación de lenguaje básico mediante el software del fabricante.

#### Sistema de desplazamiento

El subsistema de desplazamiento del equipo se conforma por la rueda motriz horizontal multidireccional, la cual está integrada por dos motores brushless DC, uno para la tracción y otro para generar el giro del equipo. Para la selección del controlador se toma en consideración las condiciones de funcionamiento de cada elemento. La rueda horizontal multidireccional tiene una alimentación de 24 VDC y 107 A de corriente pico como se detalla en la (Tabla 22). En base a la ficha técnica del motor de dirección se establece la alimentación de 24 VDC y 24 A de corriente pico (Tabla 23). Dados los requisitos de funcionamiento de los actuadores se selecciona el controlador GBLG2660T de dos canales para motores sin escobillas (Figura 68), diseñado para alta corriente, compatible con una amplia gama de tipos de sensores de posición para generar una rotación suave y continua.

**Tabla 22**

*Especificaciones motor tracción*

Parámetro	Valor	Unidad
Potencia	1800	W
Voltaje del motor	24	V
Velocidad del motor	2800	RPM
Corriente	107	A
Torque del motor	6.1	Nm
Enclosure	20	IP

**Nota:** Se presentan las especificaciones técnicas del motor utilizado para generar la tracción de la rueda horizontal multidireccional. Figura tomada de (CFR, 2023).



**Tabla 23**

*Especificaciones motor dirección*

Parámetro	Valor	Unidad
Potencia	400	W
Voltaje del motor	24	V
Velocidad del motor	2800	RPM
Corriente	24	A
Torque del motor	1.4	Nm
Relación de transmisión	1:46	i
Eficiencia	0.75	$\eta$

**Nota:** Se presentan las especificaciones técnicas del motor utilizado para dar la dirección de la rueda horizontal multidireccional. Figura tomada de (CFR, 2023).

**Figura 68**

*GBLG2660T*

### GBLG2660T

Gen 4 Brushless DC Motor Controller, Dual Channel, 2 x 180A, 90% Hall sensor's input, Encoder input, USB, CAN, No Ethernet, 5V1.5 Plus, I2C, SPI (Pending)



Family	
Motor Type	Brushless DC
Power	
Max Voltage	90
Design Generation	Gen4
Number of Channels	2
Max Amps per Channel	180
Continuous Amps per Channel	120
Power Connectors	Power Terminals
Field Oriented Control (FOC)	Yes
Input/Outputs	
Max Analog Inputs	8
Max Digital Inputs	10
Max Digital Outputs	8
Max Pulse Inputs	8

**Nota:** Controlador de alta corriente de dos canales para motores de DC sin escobillas. Figura tomada de (RoboteQ, 2023b).

## Motor elevación

El motor DC seleccionado para el subsistema de elevación de las horquillas móviles es alimentado por 12 VDC y tiene una corriente máxima de 110 A (Figura 61). Se selecciona el controlador MDC1460 el cual cuenta con un solo canal para un motor DC con una capacidad máxima de 120 A y 60 V, como se puede observar en la figura 69.

**Figura 69**

*MDC1460*



**Nota:** Controlador motor DC con canal único de 120 A y 60 V. Figura tomada de (RoboteQ, 2023c).

### 6.3.11. Selección del mando para la manipulación del equipo

Para controlar el elevador móvil automático se ha seleccionando un mando manual utilizado para apiladores eléctricos, el cual tiene un diseño robusto y ergonómico que permite modular las distintas operaciones del equipo. Cuenta con distintos interruptores para el control de elevación, avance y retroceso, alarma, giro y un interruptor de emergencia. El modelo seleccionado es el TZ-H1 (Figura 70), el mismo que puede ser alimentado con un voltaje máximo de 48 VDC.

**Figura 70**

*Mando para montacargas TZ-H1*



Product Specification		
Item	Motor Data	
Model	TZ-H1	
Pin Description		
Four holes plug-in connect controller	White	Backward
	Brown	Forward
	Green	Emergency reverse
	Blue	Speed 0-5V
Three holes plug-in connect hydraulic valve	Blue	Down
	Green	Up
	Black	Power supply
Four holes plug-in connect drive wheel	Red	Brake
	Black	Brake
Four core plug-in connect controller	Red	Power supply+
	Orange	Circuit+
	Circuit+	Horn
	Black	Power supply
Single hole plug-in connect controller	White	White

**Nota:** Mando manual TZ-H1 para el control de dispositivos eléctricos integrado con interruptores para múltiples funciones. Figura tomada de (TZBOT, 2023).

### 6.3.12. Dimensionamiento y selección de la batería

Para determinar el tiempo de funcionamiento del equipo se realizó un levantamiento de datos de la empresa con el fin de determinar el tiempo que se requiere para la manipulación de la carga. Se tomaron los datos de los envíos realizados por la empresa de tres semanas en el mes de mayo del 2023. Se determinó que el tiempo empleado para la manipulación y transporte de la carga que le toma al personal al hacer uso del carro de carga manual que actualmente manejan, en donde, se requiere de 5 min para 3 cajas, 5 min para 3 baldes y 10 min para 1 tanque. A continuación, en la figura 71 se muestra la cantidad de insumos transportados y el tiempo total empleado al final de la jornada.

**Figura 71**

*Tiempo de manipulación y transporte manual*

DESPACHOS DE LA EMPRESA 08-13 Mayo				
FECHA	CAJAS	BALDES	TANQUES	TIEMPO DE MANIPULACIÓN CARGA (min)
08/05/2023	62	9	4	158
09/05/2023	29	7	1	70
10/05/2023	37	21	2	117
11/05/2023	20	44	6	167
12/05/2023	98	5	3	202
13/05/2023	3	1	0	7
<b>TOTAL</b>	<b>249</b>	<b>87</b>	<b>16</b>	<b>720</b>

DESPACHOS DE LA EMPRESA 15-20 Mayo				
FECHA	CAJAS	BALDES	TANQUES	TIEMPO DE MANIPULACIÓN CARGA (min)
15/05/2023	39	17	2	113
16/05/2023	67	13	0	133
17/05/2023	52	21	0	122
18/05/2023	40	26	1	120
19/05/2023	35	14	1	92
20/05/2023	4	2	1	20
<b>TOTAL</b>	<b>237</b>	<b>93</b>	<b>5</b>	<b>600</b>

DESPACHOS DE LA EMPRESA 22-27 Mayo				
FECHA	CAJAS	BALDES	TANQUES	TIEMPO DE MANIPULACIÓN CARGA (min)
22/05/2023	100	22	2	223
23/05/2023	30	15	2	95
24/05/2023	80	4	0	140
25/05/2023	53	13	2	130
26/05/2023	1	12	0	22
27/05/2023	0	0	0	0
<b>TOTAL</b>	<b>264</b>	<b>66</b>	<b>6</b>	<b>610</b>

**Nota:** Se registran los datos de la cantidad de insumos manipulados durante tres semanas del mes de mayo, identificando el mayor tiempo empleado en cada semana.

Para establecer el tiempo de autonomía del equipo que se requiere se tomaron los tiempos de mayor manipulación de las tres semanas, teniendo como resultado un tiempo de funcionamiento promedio de 186 min (3,1 h). Para el dimensionamiento de la batería se tomará este valor para el tiempo de funcionamiento, sabiendo que el equipo tiene una capacidad mayor para llevar más insumos en cada transporte, por lo cual, el tiempo que se requerirá para el transporte será menor.

$$t = 3,1h$$

Se considera como situación crítica de consumo de energía del sistema en el desplazamiento del equipo, por lo cual, para determinar el consumo total se considera la potencia máxima del motor de tracción y dirección como se puede observar en la tabla 24.

**Tabla 24***Consumo total del sistema*

Dispositivo	Potencia
Motor tracción	1800 W
Motor dirección	400 W
Total consumo	2200 W

**Nota:** En la tabla se presenta el consumo máximo de los motores que corresponden a la tracción y dirección.

El tipo de batería a utilizar es de iones de litio (Li-Ion) dado a su mayor capacidad energética y la resistencia a la descarga. Mediante la ecuación 20 se obtiene la capacidad de la batería necesaria para suministrar la energía al sistema.

$$B_{Li} = \frac{100 \cdot I_L \cdot t}{100 - Q} \quad (20)$$

Donde:

$I_L$ : Corriente de carga

$t$ : Tiempo de funcionamiento

$Q$ : Porcentaje de carga que debe quedar después de usar la batería

Se obtiene la corriente de carga:

$$I_L = \frac{P}{V}$$

$$I_L = \frac{2200W}{24V} = 91,66A$$

El porcentaje de la profundidad de descarga (DoD) de una batería de Li-Ion es del 80%, por lo cual el porcentaje de descarga después de utilizar la batería o el estado de carga (SoC)

es del 20% como se puede observar en la figura 72.

## Figura 72

### Características de recarga de las baterías

TABLE 4.1 Battery Characteristics Pertinent to Recharging\*

Battery Type	Nominal Cell Voltage (V)	Nominal Charge Voltage (V)	Deeply Discharged State (V)	Depth of Discharge (%)	Life Cycles	Storage Capacity Loss
Lead-acid	2	2.4	1.5	20	1500	0.27%/day <sup>b</sup>
				80	80	0.174%/day <sup>c</sup> 0.035%/day <sup>d</sup>
NiCd	1.2	1.4	0.8	20	500	1.56%/day <sup>e</sup>
				20	16500 <sup>b</sup>	
				80	625 <sup>b</sup>	
NiMH	1.2	1.4	0.8	20	500	1.56%/day <sup>e</sup>
				80	6000 <sup>b</sup>	
Lithium	3.4 <sup>f</sup>	4.2	2.5–2.7	20	1000	0.33%/day <sup>f</sup>
Zinc-air	1.2	Not applicable	0 <sup>g</sup>	Na	200	Na

\*J. S. Enoch and his colleagues reported achieving over 2000 charge-discharge cycles with 80% depth of discharge with lead-calcium-tin grids. (From J. S. Enoch, Nonantimonial Lead-Acid Batteries for Cycling Applications, Proceedings of the 19th Intersociety Energy Conversion Engineering Conference, ANS, 1984, pp. 850–856.)

<sup>b</sup>Standard grid.

<sup>c</sup>Low antimony grid.

<sup>d</sup>Calcium lead grid.

<sup>e</sup>Self-discharge is highest within first 24 h, 6% for NiCd and 9% NiMH.

<sup>f</sup>Includes 0.1%/day for self-protection circuits.

<sup>g</sup>At 50% of capacity, 3.0 V at 20% of capacity.

<sup>h</sup>Space application NiCd batteries.

<sup>i</sup>When zinc is consumed, there is no voltage.

**Nota:** Características de los tipos de baterías correspondiente a la recarga. Figura tomada de (Morchin y Oman, 2006).

Aplicando la ecuación 20 y los datos establecidos se tiene que la capacidad necesaria de la batería es de:

$$B_{Li} = \frac{100 \cdot 91,66A \cdot 3,1h}{100 - 20}$$

$$B_{Li} = 355,18Ah$$

En base a la capacidad necesaria para la autonomía del sistema se selecciona una batería de iones de litio de 24 V y 378 Ah de Blue Line como se puede observar en la figura 73, las cuales están diseñadas para optimizar el rendimiento en cualquier estilo de equipo de elevadores de clase III o clase II.

### Figura 73

Batería Li-Ion 12-125-13



**Nota:** Características de la batería de ion de litio, 24V con una capacidad de 378Ah. Figura tomada de (BLUELINE, 2023).

Debido a que el motor seleccionado para el sistema de elevación de las horquillas móviles tiene una alimentación máxima de 12 VDC es necesario implementar un convertidor de voltaje. Para lo cual se toma en consideración la corriente de carga del sistema que es de 110 A, en base a estos datos se ha elegido un convertidor 24 VDC-12 VDC 120 A, como se puede observar en la figura 74.

### Figura 74

Convertidor 24VDC-12VDC 120A



**Nota:** Convertidor de 24 VDC como alimentación de entrada a 12 VDC como carga de salida, corriente máxima 120 A. Figura tomada de (Cllea, 2023).

Para la recarga de la batería de acuerdo al fabricante la corriente máxima de carga es 330 A con una duración de 1 h hasta completar la carga. Sin embargo, los cargadores que se encuentran en el mercado tienen una menor corriente de carga lo que aumenta el tiempo de carga. En la figura 75, se muestra el cargador seleccionado para baterías de ion de litio, dado que su corriente de carga es de 60 A se realiza la relación con el valor presentado por el fabricante, obteniendo como tiempo de carga con el equipo elegido de 5 horas.

### **Figura 75**

*24 V lithium ion Battery Charger 60 A*



**Nota:** Cargador de batería de iones de litio 24 V, 60 A. Figura tomada de (Amazon, 2023).

#### **6.3.13. Diseño estructural del sistema**

Tras realizar la selección de los perfiles a utilizar en la estructura del equipo y de los elementos a implementar se realiza el modelado del sistema como se puede observar en la figura 76. Para la sujeción de los distintos componentes se añadieron distintas geometrías haciendo uso de los perfiles previamente analizados, con el fin de dar un mayor soporte y disminuir el desplazamiento total de la estructura manteniendo las condiciones de diseño.



## Figura 76

*Modelado estructural*

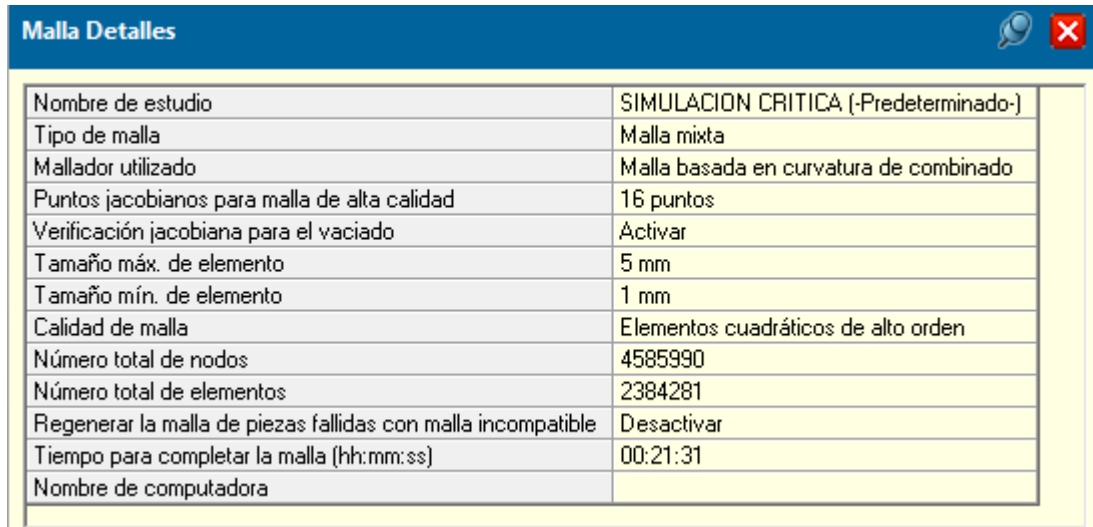


**Nota:** Diseño estructural del sistema en base a los perfiles y componentes seleccionados.

Mediante el análisis de elementos finitos se pretende evaluar el comportamiento de la estructura del sistema frente a diferentes cargas y condiciones de carga a las cuales esta sometido. Para el análisis estructural se ha generado una malla de tipo mixta basada en la curvatura de combinado con una calidad de elementos cuadráticos de alto orden, en la figura 77 se detallan los parámetros de la malla generada para la estructura.

**Figura 77**

*Detalle del mallado*



Malla Detalles	
Nombre de estudio	SIMULACION CRITICA (-Predeterminado-)
Tipo de malla	Malla mixta
Mallador utilizado	Malla basada en curvatura de combinado
Puntos jacobianos para malla de alta calidad	16 puntos
Verificación jacobiana para el vaciado	Activar
Tamaño máx. de elemento	5 mm
Tamaño mín. de elemento	1 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden
Número total de nodos	4585990
Número total de elementos	2384281
Regenerar la malla de piezas fallidas con malla incompatible	Desactivar
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss)	00:21:31
Nombre de computadora	

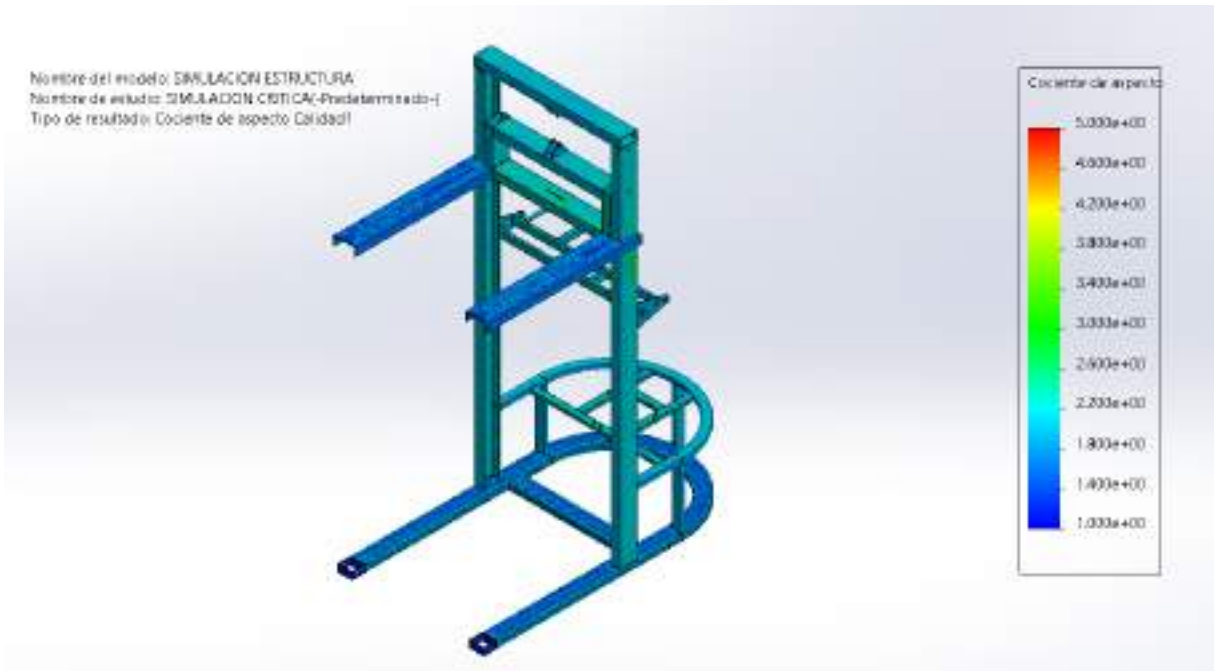
**Nota:** Se presentan los parámetros del mallado utilizado para realizar el análisis de elementos finitos de la estructura.

La malla generada se muestra en la figura 78. Para asegurar una malla sólida se logra cuando se tienen elementos tetraédricos uniformes cuyos bordes tienen la misma longitud. Cuando se presentan bordes pequeños, geometrías curvas o esquinas afiladas, ciertos elementos generados pueden llegar a tener bordes más largos que otros, y al momento que los bordes de un elemento difieren en su longitud los resultados son menos precisos.

Por definición, la relación de aspecto de un elemento tetraédrico perfecto es 1,0. Sin embargo, una malla considerada de buena calidad tiene una relación de aspecto inferior a 5 para la mayoría de sus elementos. Mediante el análisis de la relación de aspecto (Aspect Ratio Check) generado por el software se verifica la calidad de la malla, con el fin de asegurar el análisis estructural (SOLIDWORKS, 2023). En la figura 78 se muestra que la malla generada es sólida.

**Figura 78**

*Mallado*

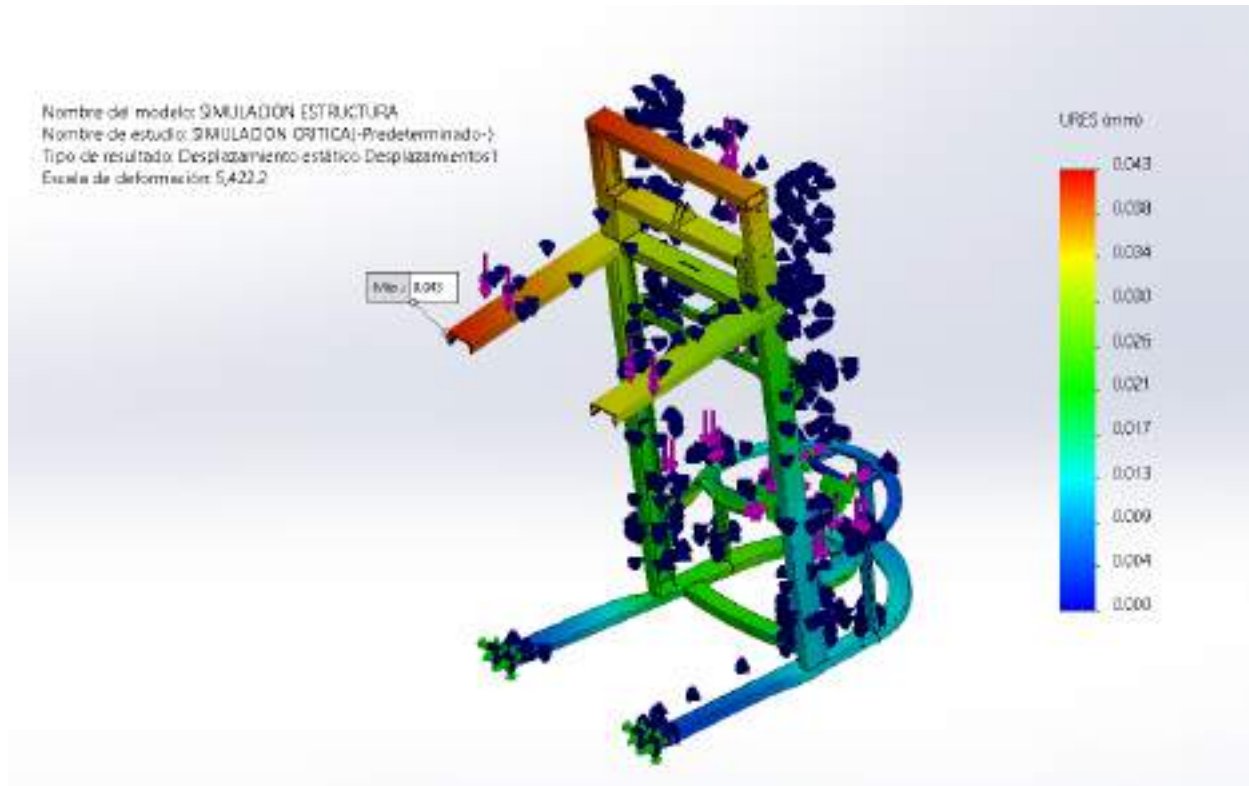


**Nota:** Tras el análisis de la relación de aspecto se corrobora que la mallada genera es sólida ya que la realidad de aspecto es inferior a 5.

En la figura 79 se observa el análisis de elementos finitos de la estructura del equipo, para lo cual se estableció como puntos de apoyo las caras de los agujeros que corresponden a las ruedas delanteras, y de la misma manera las caras de sujeción de la rueda motriz. Las fuerzas que se aplicaron para el análisis corresponde a la carga máxima situada en el extremo de las horquillas considerando la condición crítica del sistema, la tensión generada al momento de elevar la carga en el perfil superior de la polea, en la estructura de las horquillas móviles y en las caras de sujeción del motor de elevación. Además, se considero la fuerza generada por los componentes electrónicos en la parte posterior y la fuerza de empuje generada en la superficie de sujeción de la rueda motriz. Como resultado del análisis en la condición crítica se tiene un desplazamiento máximo de la estructura de 0,043 mm.

**Figura 79**

*Análisis estructural carga crítica*

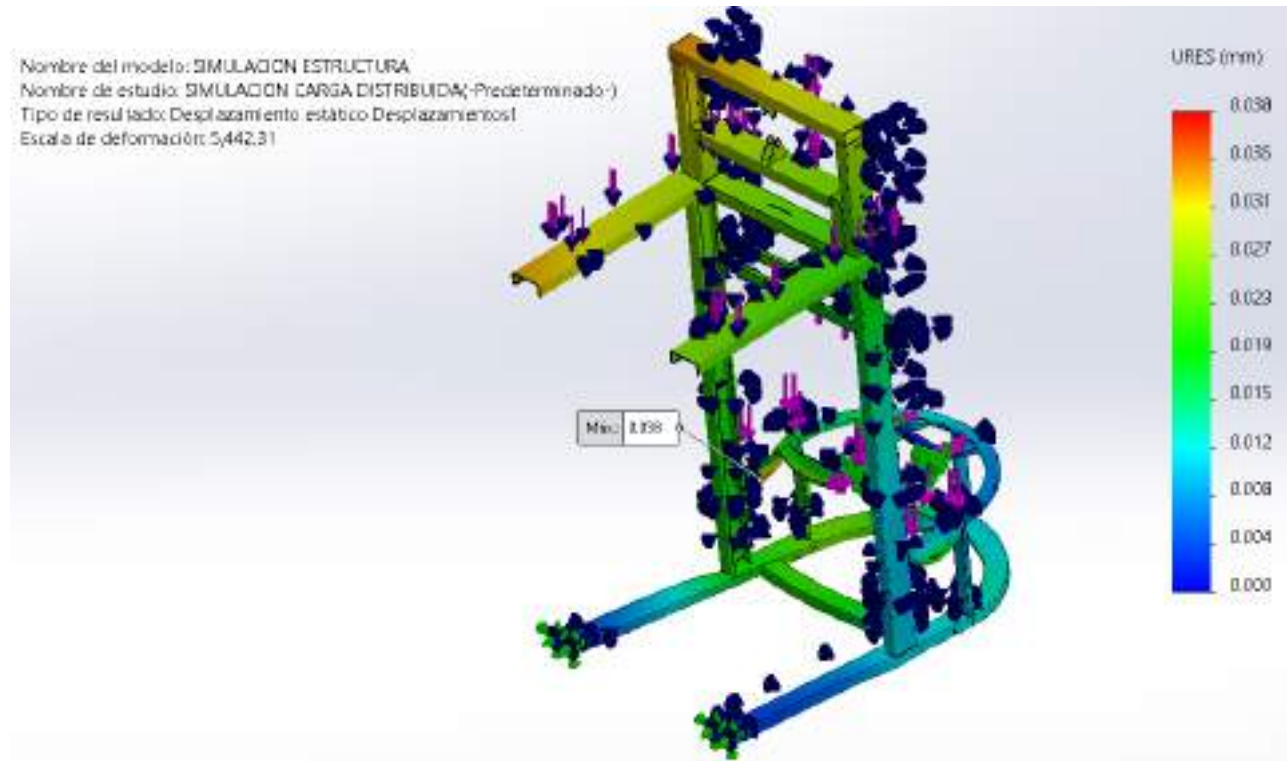


**Nota:** En el análisis de elementos finitos de la estructura del sistema considerando las distintas cargas actuantes se obtiene un desplazamiento máximo de 0,043 mm.

Por otro lado, en la figura 80 se muestra el análisis de la estructura con la carga distribuida a lo largo de las horquillas móviles manteniendo la configuración de fuerzas aplicadas en el análisis de la estructura con la carga crítica. Como resultado se tiene un desplazamiento máximo de 0,038 mm.

**Figura 80**

*Análisis estructural carga distribuida*

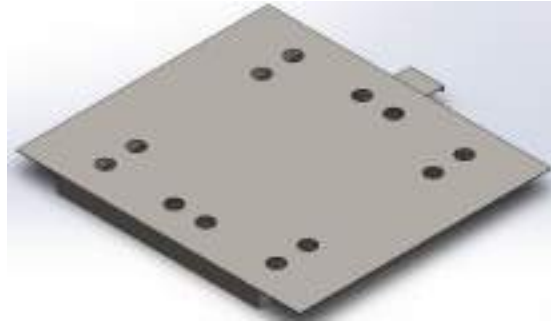


**Nota:** En el análisis de elementos finitos de la estructura del sistema con la carga distribuida se obtiene un desplazamiento máximo de 0,038 mm.

- **Accesorio base para carga** En base a las dimensiones establecidas del área de carga para el transporte de los insumos detallados en la tabla 20 se realizó el modelo de un accesorio el cual se acopla a la estructura de las horquillas móviles como se muestra en la figura 81.

**Figura 81**

*Modelo accesorio base de carga*

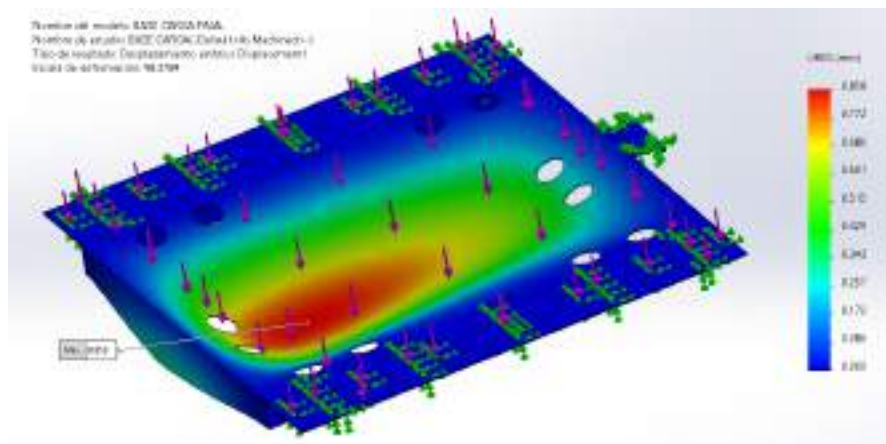


**Nota:** La base de carga mantiene las dimensiones de 0.85x0.75 m con el fin de transportar los distintos insumos de la empresa.

Para realizar el análisis de elementos finitos de la base para carga se estableció como puntos de apoyo las superficies que se encuentran en contacto con la estructura de las horquillas móviles, la fuerza aplicada corresponde a la carga máxima y se encuentra distribuida en todo el área de la base (Figura 82).

**Figura 82**

*Análisis base de carga*

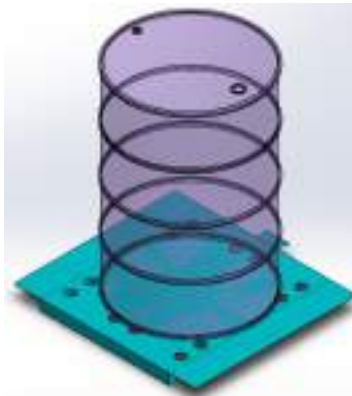


**Nota:** En el análisis de elementos finitos de la base para la carga considerando la fuerza distribuida se obtiene un desplazamiento máximo de 0,858 mm.

En la figura 83, se presenta la distribución de un tanque sobre la base de carga para la manipulación y transporte.

**Figura 83**

*Base de carga*



**Nota:** Distribución de un tanque sobre la base de carga.

▪ **Accesorio manipulación tanques**

Para realizar la manipulación y transporte de los tanques que corresponde a la carga mayor entre los insumos que manipula la empresa se realiza el modelado de un accesorio que se acople a la estructura de las horquillas móviles como se observa en la figura 84.

**Figura 84**

*Modelo accesorio manipulación tanques*

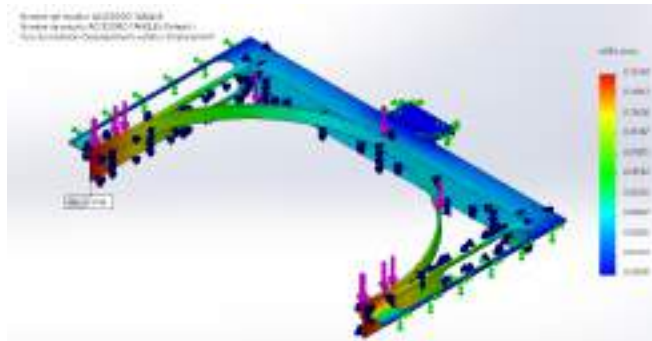


**Nota:** El accesorio para la manipulación de tanques se acopla a las horquillas móviles sujetando al tanque en los nervios del envase.

La fuerza que actúa para el análisis de elementos finitos corresponde a la carga máxima a manipular distribuida por toda el área de la circunferencia donde se apoya el nervio del tanque. Tras realizar el análisis se tiene como resultado un desplazamiento máximo de 0,13124 mm (Figura 85).

**Figura 85**

*Análisis accesorio manipulación tanques*

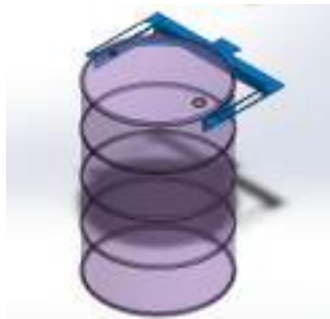


**Nota:** En el análisis de elementos finitos del accesorio para la manipulación de tanques se obtiene un desplazamiento máximo de 0,13124 mm.

En la figura 86 se muestra la sujeción del tanque en el nervio de la parte superior haciendo uso del accesorio para la manipulación de tanques.

**Figura 86**

*Accesorio manipulación tanques*



**Nota:** La sujeción del tanque con accesorio se realiza en los nervios que presenta el envase del producto.



### 6.3.14. Uniones por soldadura

Para las uniones con soldadura se ocupará el electrodo 6011, implementando una soldadura de tipo filete que cuente con las siguientes consideraciones que presenta la (Figura 87).

**Figura 87**

*Tamaños mínimos para las soldaduras de filete*

Espesor del material de la parte unida más delgada, plg (mm)	Tamaño mínimo de las soldaduras de filete, <sup>[a]</sup> plg (mm)
Hasta $\frac{1}{4}$ (6) inclusive	$\frac{1}{8}$ (3)
Mayor de $\frac{1}{4}$ (6) hasta $\frac{1}{2}$ (13)	$\frac{3}{16}$ (5)
Mayor de $\frac{1}{2}$ (13) hasta $\frac{3}{4}$ (19)	$\frac{1}{4}$ (6)
Mayor de $\frac{3}{4}$ (19)	$\frac{5}{16}$ (8)

**Nota:** Tamaños mínimos para las soldaduras de filete. Figura tomada de (SUNRAYINC., 2023).

#### ■ Unión Base - Columnas

Mediante la ecuación 21, se determina la longitud de la garganta, tomando de referencia la (Figura 87), que para espesores de hasta (6,35 mm), el tamaño mínimo de la soldadura es de (3,175 mm).

$$L_{garganta} = \frac{3,175mm}{\tan(45)} \quad (21)$$

$$L_{garganta} = 3,175mm$$

El cordón de soldadura, se realizara por partes alrededor de la columna para ambos lados. Obteniendo una longitud del cordón de 90 mm por columna.

$$Area = 2 \cdot (L_{garganta} \cdot L_{cordon}) \quad (22)$$

$$Area = 2 \cdot (3,175mm \cdot 90mm) = 571,5mm^2$$

Mediante la ecuación 23, se calcula el esfuerzo permisible de la soldadura, empleando

una carga máxima en su estado crítico, considerando el peso de la carga y de los perfiles que actúan en la unión.

$$\tau = \frac{F}{Area} \quad (23)$$

$$\tau = \frac{448,8255kg \cdot 9,81m/s^2}{0,0005715m^2} = 7,704MPa$$

Según la AISC el esfuerzo permisible en soldadura tipo filete sometida a cortante debe cumplir la condición que se presenta en la ecuación 24.

$$\tau < 0,3 \cdot (S_y)_{Electrodo} \quad (24)$$

$$7,704MPa < 0,3 \cdot 344,737MPa$$

$$7,704MPa < 103,4211MPa$$

#### ■ Unión Horquillas

En base al análisis presentado en la ecuación 21, se obtiene la siguiente longitud.

$$L_{garganta} = 3,175mm$$

El cordón de la soldadura para el perfil de las horquillas se realizara en la parte exterior e interior, con una longitud de cordón de 50 mm, mediante la ecuación 22 se calcular su área.

$$Area = 2 \cdot (3,175mm \cdot 50mm) = 317,5mm^2$$

Mediante la ecuación 23, se considera solamente la carga máxima a soportar las horquillas siendo el punto crítico al que estará sometida la soldadura.

$$\tau = \frac{315kg \cdot 9,81m/s^2}{0,0003175m^2} = 9,732MPa$$

Según la AISC el esfuerzo permisible en soldadura tipo filete sometida a cortante debe

cumplir la condición que se presenta en la ecuación 24.

$$9,732MPa < 103,4211MPa$$

#### ■ Unión Platinas de la Polea

Debido a que el espesor de las platinas de acero que conformaran los soportes de la polea son de 2 mm y el del perfil superior es menor a 6 mm, por lo tanto, en base a la figura 87 el tamaño mínimo de soldaduras de filete es de 3,175 mm, obteniendo una longitud de la garganta de la suelda de.

$$L_{garganta} = 3,175mm$$

El cordón de la soldadura se aplicara en la zona externa e interna de las platinas, obteniendo una longitud de cordón de 129,32 mm, donde el área se obtiene mediante la ecuación 22.

$$Area = 2 \cdot (3,175mm \cdot 129,32mm) = 821,182mm^2$$

En base a la ecuación 23, la fuerza a ser aplicada en este punto sera la carga máxima a elevar siendo su punto crítico a soportar.

$$\tau = \frac{315kg \cdot 9,81m/s^2}{0,000821182m^2} = 3,763MPa$$

Dada la condición de la ecuación 24, se concluye que la soldadura resistirá los esfuerzos presentes.

$$3,763MPa < 103,4211MPa$$

#### ■ Unión del soporte de la batería

A partir de que los perfiles a soldar tienen un espesor menor a 6 mm, el tamaño mínimo a implementar en la soldadura de tipo filete es de (3,175 mm).

$$L_{garganta} = 3,175mm$$

Aplicando un cordón de soldadura en la cara superior e inferior del perfil que soportara la batería en su punto crítico, se obtiene una longitud de 56 mm, mediante la ecuación 22 su área es de:

$$Area = 2 \cdot (3,175mm \cdot 56mm) = 355,6mm^2$$

En referencia a la ecuación 23, la fuerza a ser aplicada en la área previamente calculada conformara el peso de la batería siendo de 638,658 Kg.

$$\tau = \frac{638,658kg \cdot 9,81m/s^2}{0,0003556m^2} = 17,61MPa$$

Debido a la condición presentada en la ecuación 24, la soldadura resistirá el esfuerzo presente.

$$7,704MPa < 103,4211MPa$$

## 6.4. Diseño sistema de desplazamiento automático

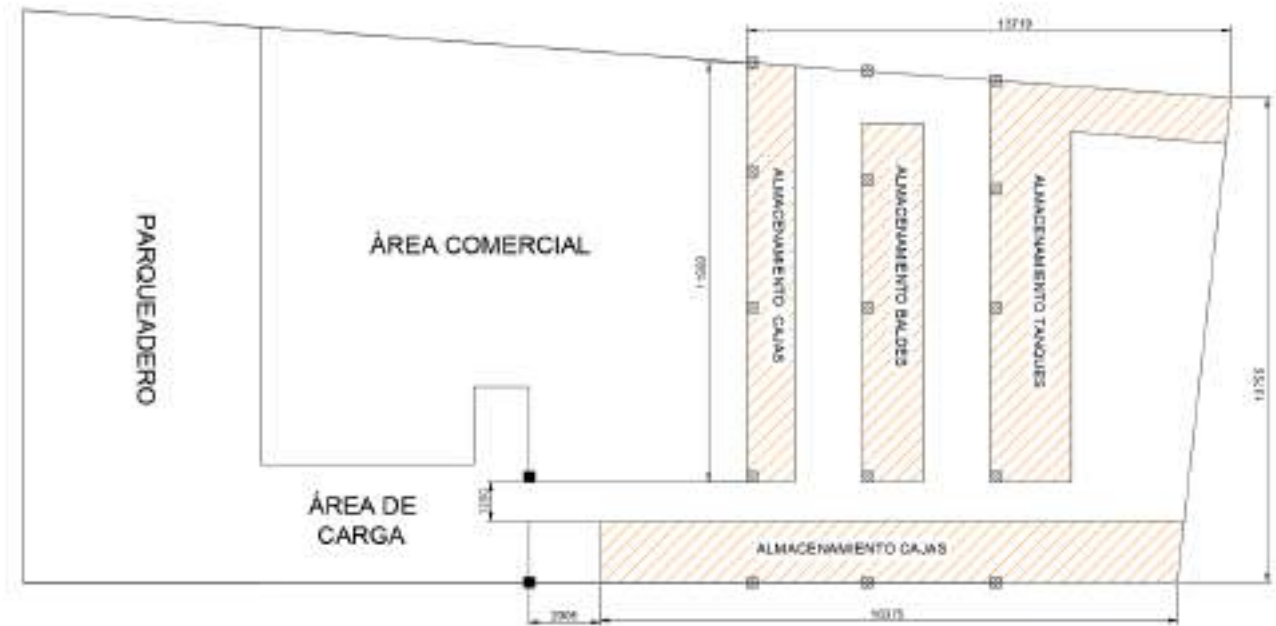
El sistema automático de desplazamiento del equipo se realiza mediante la implementación de un sensor magnético seguidor de línea ubicado en la parte posterior del elevador, para lo cual es necesario definir las trayectorias dentro de la bodega con cintas magnéticas. El sensor determina la distancia del equipo en relación al centro de la cinta y proporciona la información al controlador de los actuadores para ajustar la dirección para que se mantenga al centro de la pista. Además, mediante el uso de marcas magnéticas que son secciones de cinta magnética de polaridad opuesta ubicadas a la izquierda y/o derecha de la pista central, con lo cual es posible identificar ubicaciones específicas a lo largo de la trayectoria.

### 6.4.1. Trayectoria de desplazamiento

Dada la distribución de la bodega interna de la empresa se establecen las trayectorias en el pasillo principal y en los pasillos secundarios. En los cuales es necesario definir áreas específicas que correspondan al almacenamiento de los diferentes insumos que se manejan. Actualmente, la empresa maneja una distribución en base al tipo del producto y no en base a la geometría de los elementos. En la figura 88 se muestra la propuesta de distribución de las áreas de almacenamiento de acuerdo a cada tipo de productos (cajas, baldes y tanques).

**Figura 88**

*Distribución de las áreas de almacenamiento*

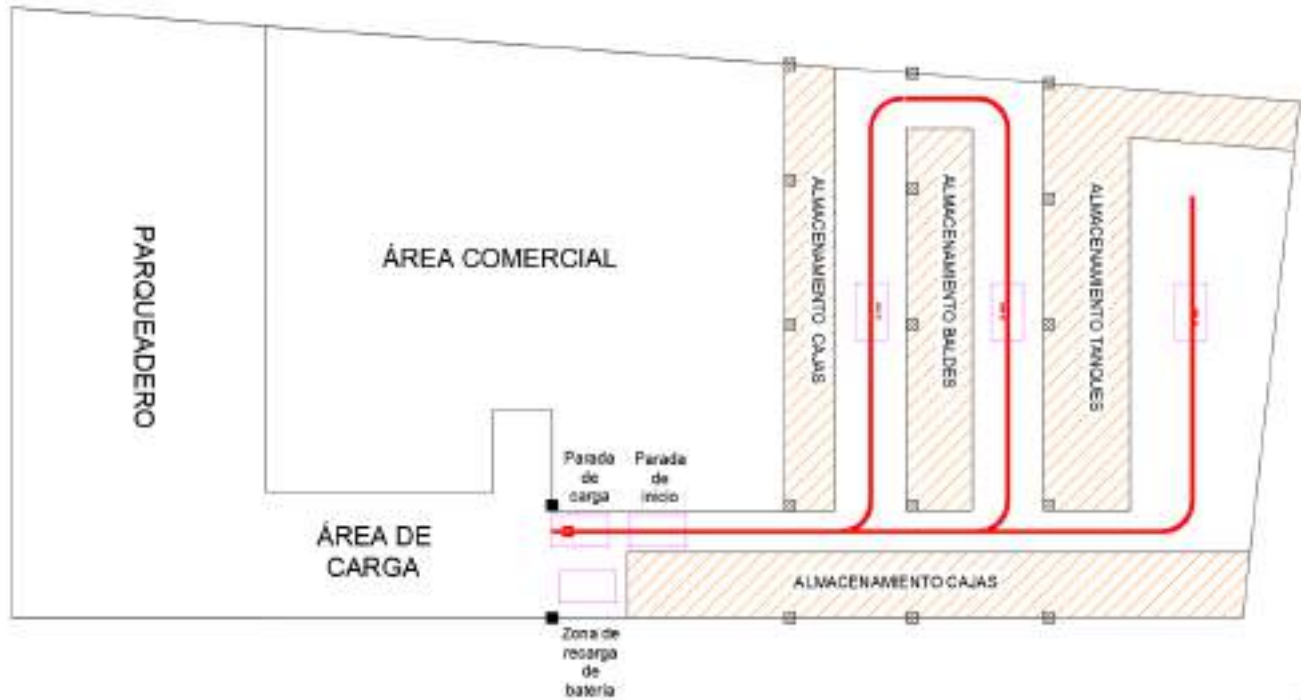


**Nota:** El área de almacenamiento de la bodega de la empresa se ha establecido la distribución de los productos.

Para el desplazamiento automático el elevador se debe encontrar en el punto de partida hasta recibir la instrucción por parte del operario desde una interfaz inalámbrica para desplazarse hasta la parada especificada, en dado punto el equipo se mantiene parado hasta recibir la instrucción de regreso hacia la zona de carga, en donde el operario realizará el cambio del modo de manejo del elevador a manual para la elevación y manipulación de la mercadería hacia los vehículos de carga. En la figura 89 se muestra la pista trazada por la cinta magnética y las marcas en cada una de las paradas para el control de las ubicaciones a lo largo de la trayectoria.

**Figura 89**

*Trayectoria de la pista magnética*

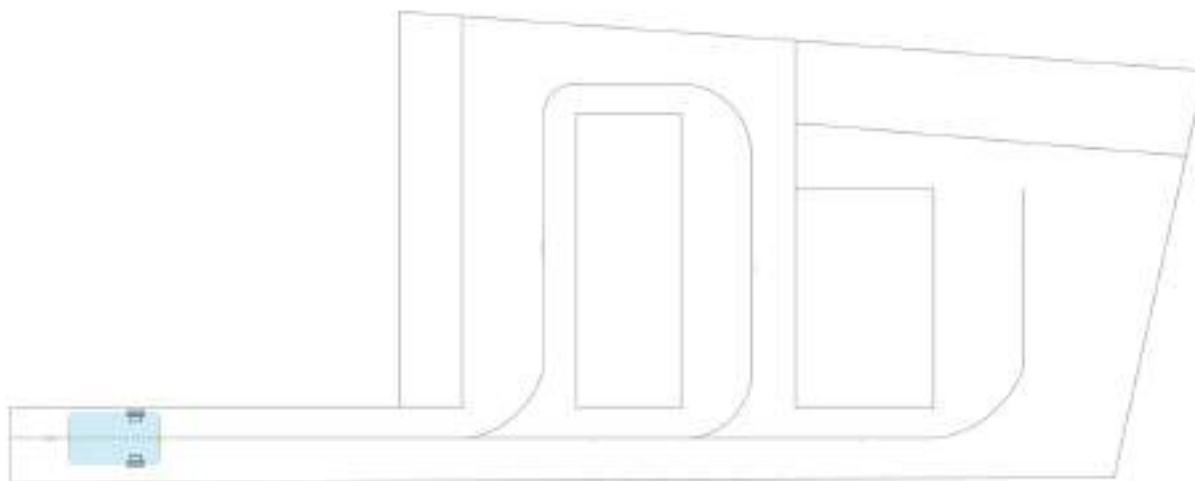


**Nota:** Se muestra la trayectoria de la cinta magnética y las marcas ubicadas en las paradas de carga.

Mediante el uso del software AGV SIMULATOR proporcionado por el fabricante del sensor y del controlador implementados en el modelo del elevador se realizó el diseño esquemático de las trayectorias del pasillo principal y secundarios de la bodega, estableciendo zonas de parada como se puede observar en la figura 90.

## Figura 90

*Diagrama de la trayectoria*



**Nota:** Se presenta el esquema de la trayectoria de la cinta magnética con marcas para las paradas de carga.

Para la simulación del sistema a través de las trayectorias establecidas se requiere configurar las condiciones de diseño del equipo y el código para el control de los datos entregados por el sensor y entradas digitales para la selección de la rutina (Figura 91). Además, al momento de ejecutar la simulación en el cuadro de información es posible observar los valores obtenidos del sensor a lo largo de su movimiento por las trayectorias como se muestra en la figura 92.



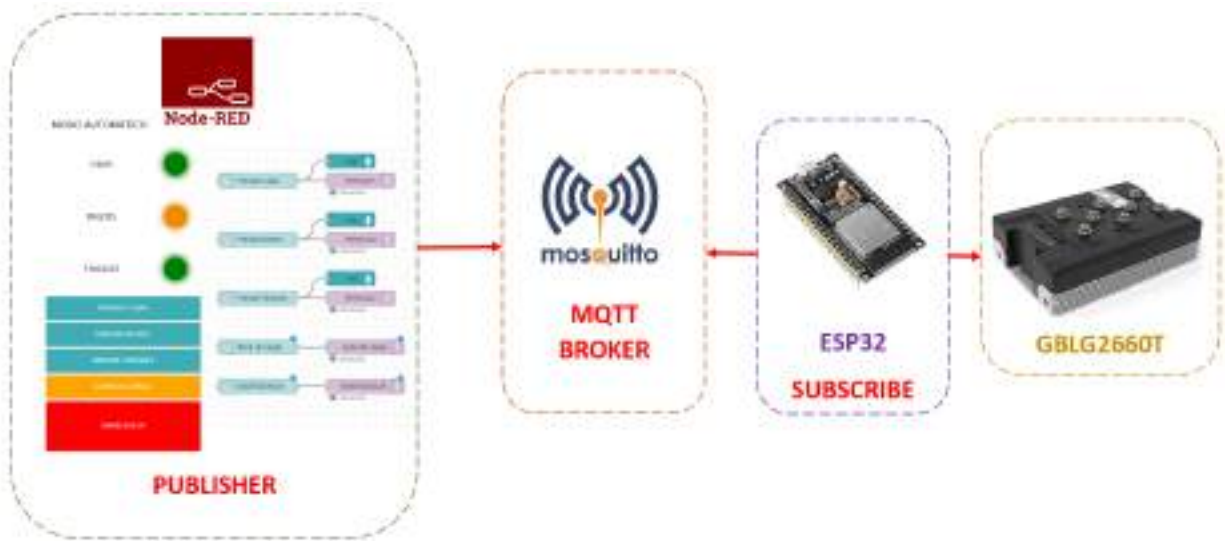


### 6.4.2. Interfaz de comunicación

Se establece una comunicación inalámbrica entre la interfaz gráfica de control y el elevador, con el fin de enviar los datos al equipo para que realice el desplazamiento de manera automática a las paradas establecidas. Para esto se utilizará el protocolo de comunicación MQTT (Message Queue Telemetry Transport), su funcionamiento se basa en el modelo de comunicación de publicación/suscripción, lo que significa que los dispositivos se comunican enviando mensajes a través de un intermediario llamado broker, el cual es responsable de recibir los mensajes publicados y entregarlos a los dispositivos suscritos. En la figura 93 se muestra el diagrama que representa la comunicación entre la interfaz generada en Node Red (publicación), y el modulo ESP32 (suscripción) para la recepción y envío de datos al controlador del sistema de desplazamiento del elevador, como broker se ha implementado el servidor Mosquitto, para la gestión y comunicación entre los dispositivos que publican y suscriben dentro de la red MQTT.

**Figura 93**

*Protocolo MQTT*



**Nota:** Para la comunicación desde la interfaz gráfica al controlador del sistema de tracción del elevador se hace uso del protocolo de comunicación MQTT.

La interfaz desarrollada en Node-RED esta diseñada con cinco pulsantes, tres de ellos corresponden para dar inicio al desplazamiento del equipo a través de las trayectorias definidas

para la parada en la zona de almacenamiento de cajas, baldes y tanques. Un botón para dar la orden que el elevador retorne al área de carga y el botón de paro de emergencia. Además, cuenta con tres indicadores que corresponde a cada una de las paradas, cuando se encuentra en color verde indica que la parada esta libre, su color cambia a naranja cuando el dispositivo se encuentra desplazando hacia dicha etapa y en caso de activar el paro de emergencia todos los indicadores estarán de color rojo.

## 6.5. Diseño electrónico

Para realizar el diseño del esquema electrónico es necesario contar con los elementos de protección para el sistema, para lo cual se implementará un fusible de 12-24 VDC y 0-300 A (Figura 94), y un interruptor de parada de emergencia 48 VDC y 250 A (Figura 95 ). Para el control un interruptor de batería ON/OFF 300 A (Figura 96), una pantalla para la visualización del nivel de carga de la batería (Figura 97), y un selector para el modo de operación (Figura 98). Los componentes seleccionados son:

### Figura 94

*Portafusibles en línea ANL 12-24VDC 0-300A*



**Nota:** El fusible de 12-24 VDC 0-300 A evita el exceso de corriente y protege el sistema electrónico, tiene dos modos, desconexión por sobrecarga de corriente. Figura tomada de (SYSTEMS, 2023).

**Figura 95**

*Paro de emergencia 48 VDC 250 A*



**Nota:** El botón de parada de emergencia proporciona control del equipo para cumplir con las medidas de protección. Figura tomada de (ARC-COMPONENTS, 2023).

**Figura 96**

*Interruptor de batería ON/OFF*



**Nota:** Interruptor de desconexión de batería 12-48 VDC 300 A. Figura tomada de (Jtron, 2023).

### Figura 97

*Medidor de voltaje de capacidad de batería*



**Nota:** Permite visualizar la capacidad de la batería, el voltaje y la temperatura. Figura tomada de (CPTDCL, 2023).

### Figura 98

*Selector de modo de funcionamiento*



**Nota:** Interruptor selector de 22 mm, 2 posiciones y voltaje máximo 24 VCA/VCC. Figura tomada de (AutomationDirect, 2023).



**Figura 100**

*Valores normalizados cables A.W.G*

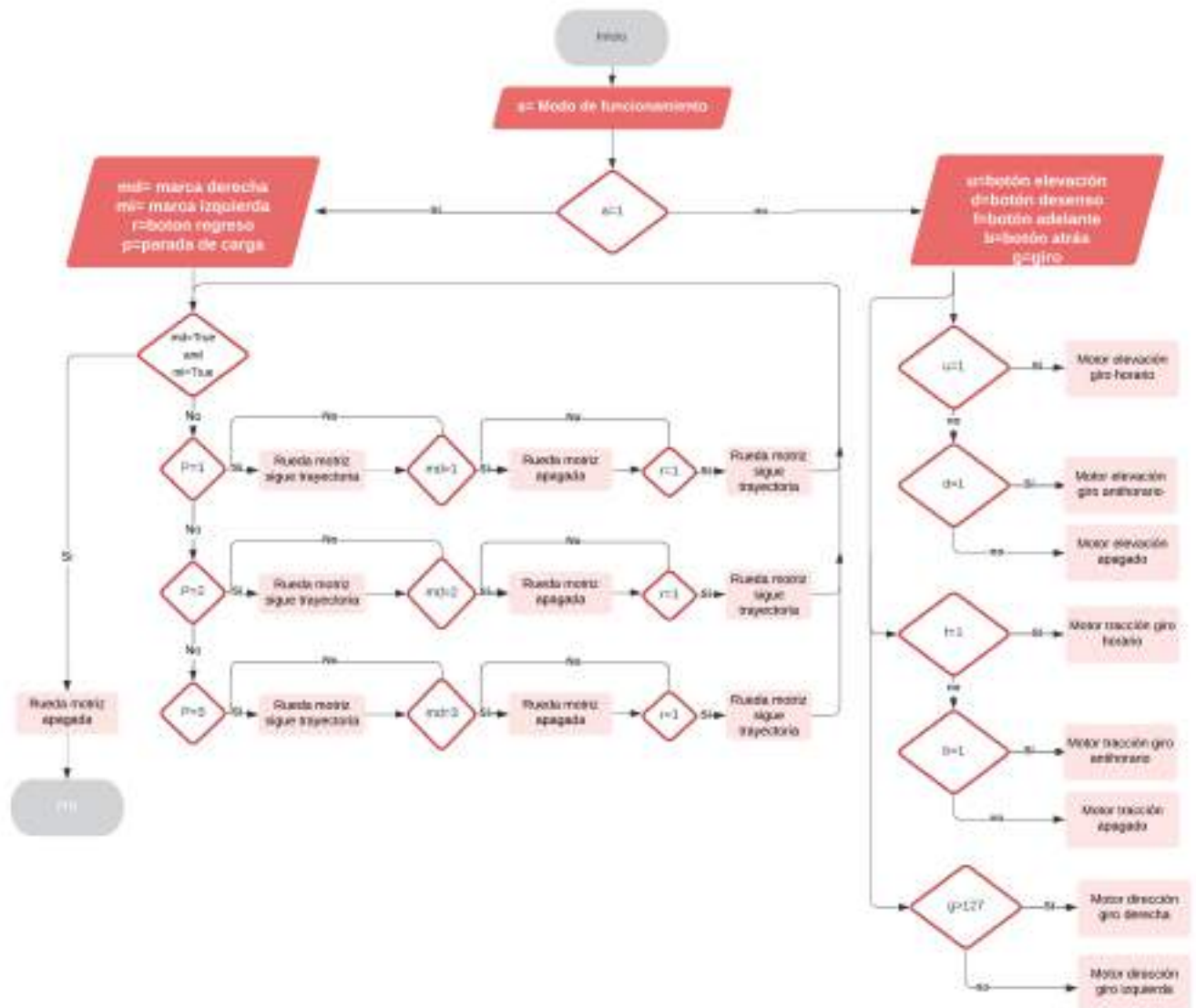
Número AWG	Diámetro (mm)	Sección (mm <sup>2</sup> )	Número espiras por cm.	Kg. por Km.	Resistencia (Ohm/Km.)	Capacidad (A)
0000	11.66	107.2			8.158	119
000	10.40	85.3			8.197	140
00	9.226	67.43			8.251	190
0	8.252	53.48			8.317	130
1	7.548	42.41		375	1.40	120
2	6.944	33.62		295	1.30	98
3	6.427	26.07		237	1.60	78
4	5.989	21.12		188	8.80	58
5	5.623	16.77		149	1.64	48
6	5.115	13.30		118	1.27	38
7	4.685	10.53		94	1.70	30
8	4.264	8.36		74	2.60	24
9	3.966	6.62		58.9	2.56	19
10	3.688	5.26		46.8	2.23	15
11	3.438	4.17		37.1	4.07	12
12	3.203	3.21		29.4	5.13	9.5
13	2.988	2.53		23.3	6.49	7.5
14	2.795	2.08	5.8	18.3	8.17	6.0
15	2.616	1.65	6.4	14.7	10.3	4.8
16	2.451	1.21	7.2	11.6	12.9	3.7
17	2.299	0.94	8.4	9.26	16.34	2.9
18	2.161	0.72	9.2	7.3	20.71	2.3
19	2.036	0.55	10.2	5.79	26.13	1.8
20	1.923	0.42	11.6	4.61	32.69	1.4
21	1.823	0.31	12.8	3.64	41.46	1.1
22	1.734	0.23	14.4	2.89	51.5	0.82
23	1.656	0.18	16.0	2.29	66.4	0.63
24	1.588	0.13	18.0	1.82	85.0	0.48
25	1.531	0.10	20.0	1.44	106.2	0.36
26	1.484	0.08	22.8	1.14	136.7	0.27
27	1.446	0.06	25.6	0.91	170.0	0.20
28	1.416	0.05	28.4	0.72	212.5	0.15
29	1.393	0.04	32.4	0.57	265.6	0.11
30	1.376	0.03	36.6	0.45	331.3	0.08

**Nota:** Tabla de los valores normalizados de los cables AWG. Figura tomada de (Cañizares Sinaulin y Bedoya Paez, 2016).

Con el fin de representar las instrucciones y acciones que va a ejecutar el equipo se ha establecido el diagrama de flujo para la programación de funciones como se muestra en la figura 101. Si el selector de modo se encuentra en la posición de desplazamiento automático se leen los datos de las variables de entrada del controlador que corresponden a las marcas de cinta magnética ubicadas en las paradas, datos del módulo ESP32 para establecer hasta que parada se va a trasladar el dispositivo y finalmente la entrada que corresponde al botón de regreso a la zona de carga. Por otro lado, en el modo manual se leen los datos de entrada que corresponde al control manual y de acuerdo al pulsante activado los subsistemas de elevación y desplazamiento se ejecutan de acuerdo al criterio del operador.

**Figura 101**

*Diagrama de flujo del elevador móvil automático*



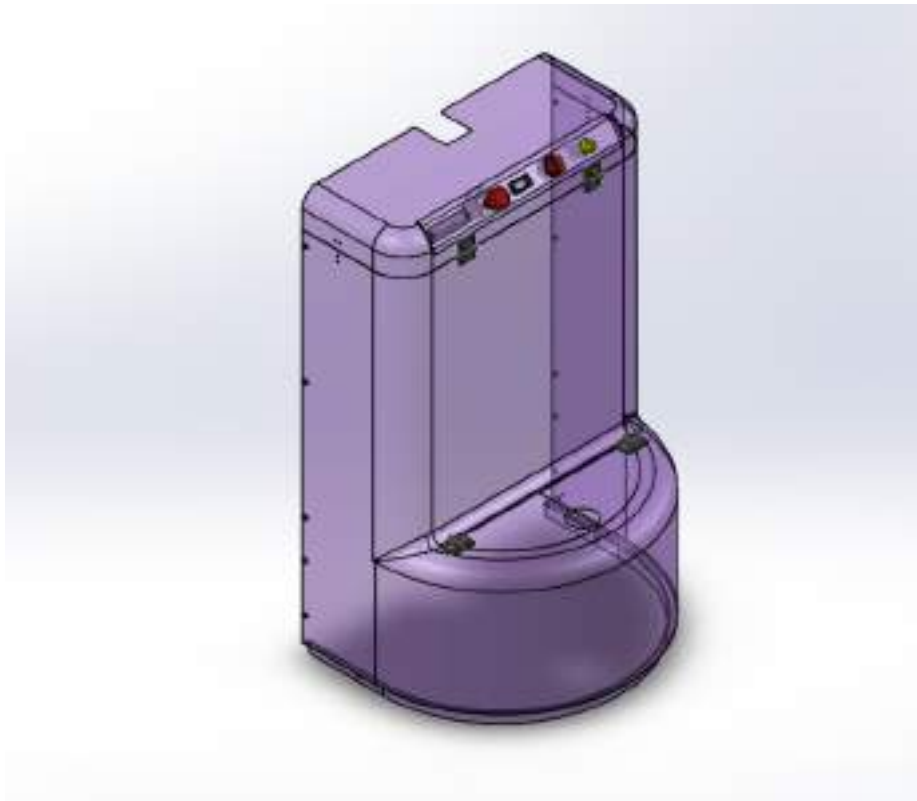
**Nota:** Se describen la secuencia lógica de los procesos para que el dispositivo pueda cumplir con las tareas de transporte y manipulación de insumos automotrices.

## 6.6. Modelo elevador móvil automático

Se complementó el modelo con una carcasa exterior para la protección de los componentes que se encuentran al interior, y como soporte para el panel de control donde se encuentran ubicados los selectores, el botón de paro de emergencia y la pantalla para visualizar el porcentaje de carga de la batería se diseñó una carcasa en fibra de vidrio como se puede observar en la figura 102. Por la parte superior se tiene acceso a las conexiones de todo el sistema y por la parte interior acceso a las conexiones que corresponden al control manual y al sistema motriz.

**Figura 102**

*Carcasa del elevador móvil automático*



**Nota:** Modelado de la carcasa exterior del equipo ensamblado con los elementos del panel de control.

Tras el análisis de elementos finitos de la estructura del elevador se realiza el ensamble de todos los componentes seleccionados para cada subsistema detallado obteniendo el modelo del sistema como se puede observar en la figura 103.



### **Figura 103**

*Modelo elevador móvil automático*



**Nota:** Ensamblaje de los componentes mecánicos y electrónicos para el modelo del elevador móvil automático.

En la figura 104, se muestra el uso del accesorio de la base de carga para la manipulación y transporte de cajas, el mismo que se acopla en la estructura de las horquillas móviles. El accesorio de la base de carga está diseñado para transportar 1 tanque, 16 baldes o 15 cajas, para lograr la estabilidad del accesorio se garantiza un ajuste con las caras internas de las horquillas y por la parte posterior encaja en el perfil de la estructura de las horquillas, lo que evitar que se desplace.

## Figura 104

*Ensamble del accesorio de la base de carga con el modelo*



**Nota:** Ensamble del accesorio de la base al modelo del elevador móvil automático.

Para una mejor manipulación de los tanques se implementa el accesorio mostrado en la figura 105, con el cual se puede sujetar el envase al nivel de los nervios que resaltan de la superficie del tanque. De acuerdo a la altura del vehículo de carga al cual se va a transportar se puede seleccionar el nervio a utilizar, tomando en consideración que la altura máxima de elevación es de 1,6 m.

**Figura 105**

*Ensamble del accesorio de manipulación de tanques con el modelo*



**Nota:** Ensamble del accesorio de manipulación de tanques al modelo del elevador móvil automático.

## **6.7. Diseño de control**

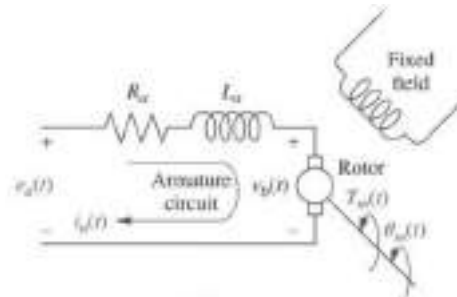
Los sistemas de control permiten regular el comportamiento del sistema deseado a partir de condiciones iniciales, estas pueden ser reducir el tiempo de asentamiento o el sobrepaso que llegaría a tener dicho sistema, con el fin de obtener mejores resultados en su respuesta. Para llegar a implementar un control de velocidad de un motor CC es importante realizar el modelado del motor.

A continuación, se presenta el modelado matemático de un motor CC tomando como referencia

que la salida sera la velocidad de rotación y de entrada el voltaje.

**Figura 106**

*Circuito eléctrico del motor*



**Nota:** Diagrama esquemático del Motor CC. Figura tomada de (Nise, 2020).

En base a la Figura 106, se derivan las siguientes ecuaciones de gobierno basadas en la ley de voltaje de Kirchhoff y la segunda ley de Newton, obteniendo las siguientes ecuaciones.

$$J\ddot{\theta} + b\dot{\theta} = Ki \tag{25}$$

$$J\frac{di}{dt} + Ri = V - K\dot{\theta} \tag{26}$$

Aplicando la transformada de Laplace a las ecuaciones 25, 26, se presentan en términos de s.

$$s(Js + b)\theta(s) = KI(s) \tag{27}$$

$$(Ls + R)I(s) = V(s) - Ks\theta(s) \tag{28}$$

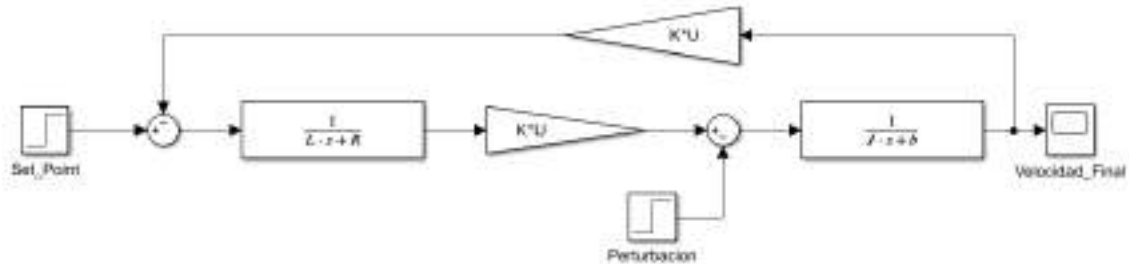
Planteadas las ecuaciones 27, 28, se presenta la siguiente función de transferencia donde la salida será la velocidad de rotación y el voltaje representado como entrada.

$$\frac{\dot{\theta}(s)}{V(s)} = \frac{K}{(J \cdot s + b) \cdot (L \cdot s + R) + K^2} \tag{29}$$

Según las unidades SI, la constante de par motor (Km) y la constante de la fuerza contraelectromotriz (Kb) son iguales, es decir, Km = Kb la cual se denota como la variable K.

**Figura 107**

*Diagrama de bloques del modelo matemático de un motor CC*



**Nota:** Se presenta el diagrama de bloques del modelado matemático de un motor CC.

■ **Sistema de control del motor de tracción**

En la tabla 25, se presentan los parámetros del motor de tracción (Figura 64), obtenidos mediante su ficha técnica.

**Tabla 25**

*Parámetros del motor DC de tracción*

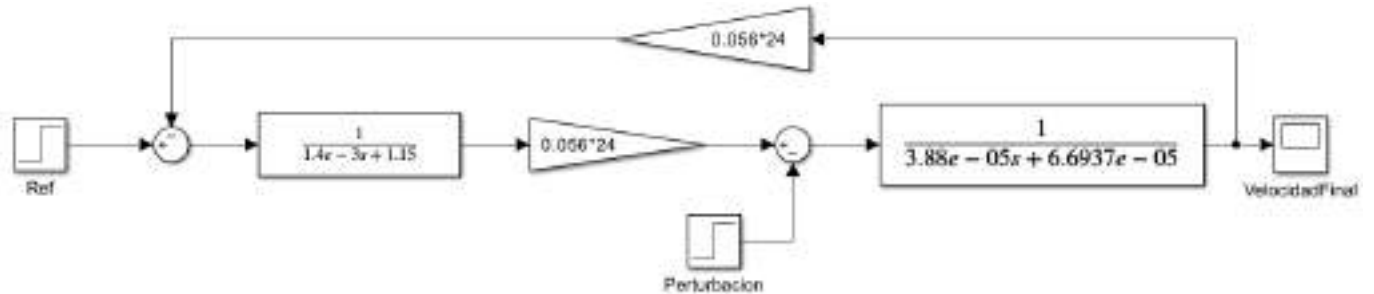
Parámetro	Símbolo	Valor	Unidades
Tensión	U	24	V
Velocidad sin carga	w	2800	rpm
Resistencia	R	1.15	$\Omega$
Inductancia del rotor	L	0.0014	H
Inercia del rotor	J	0.0000385	$kgm^2$
Constante de fricción viscosa	b	0.000066937	$kgm^2/seg$
Constante proporcional del par torsor	Kb	0.056	V/(rad/seg)
Constante proporcional del motor	Km	0.056	Nm/A

**Nota:** En la tabla se presentan los parámetros del motor escogido para el movimiento de tracción.

A partir de la tabla 25, y en referencia a la figura 107 se establece el diagrama de bloques del motor de tracción.

**Figura 108**

*Diagrama de bloques del motor de tracción*



**Nota:** Se presenta el diagrama de bloques del modelado del motor de tracción.

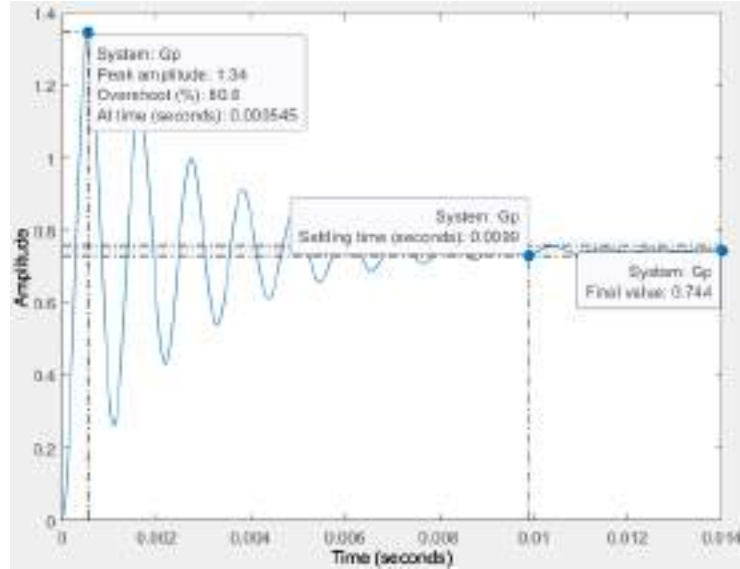
En base a la Figura 108, se obtiene la función de transferencia del motor ( $G_p$ ) mediante álgebra de bloques, expresando la siguiente ecuación.

$$G_p = \frac{-30,927s + 24,705e + 06}{s^2 + 781,519s + 33,205e + 06} \quad (30)$$

A partir de la ecuación 30, se obtiene la siguiente respuesta del sistema (Figura 109), donde se presenta un Overshoot del 80% y un error en el estado estable del 25,6%.

**Figura 109**

*Respuesta del motor de tracción sin control*



**Nota:** Respuesta al sistema del motor de tracción sin la implementación de control.

Debido a que el sistema presenta error en estado estable y un Overshoot (OS%), se aplica un control proporcional-integral (PI), impidiendo que el sistema fluctúe y proporcionando un error en estado estable del 0%, siendo su representación en el dominio de  $s$  como se muestra en la ecuación 31.

$$PI = K_p \cdot \frac{K_i}{s} \quad (31)$$

Para lo cual se hace uso de la herramienta PID tuner que proporciona el software Matlab®, que cuenta como objetivo ajustar automáticamente las ganancias de un controlador PID con el fin de lograr un equilibrio entre el rendimiento permitiendo seleccionar una respuesta en estado transitorio más rápida o lenta y de igual manera entre su robustez dando a elegir si se aspira a un sistema sin OS%.

Estableciendo que se requiere de un sistema sin sobrepaso en el estado transitorio, y que su tiempo de asentamiento no exceda de 0,5 s, por lo que, se obtiene los parámetros que se presenta a continuación:

**Tabla 26**

*Parámetros del PI para el motor de tracción*

Parámetro	Valor
Ganancia proporcional ( $K_p$ )	0,015
Ganancia integral ( $K_i$ )	351

**Nota:** En la tabla se presentan los parámetros del PI para el control del motor de tracción.

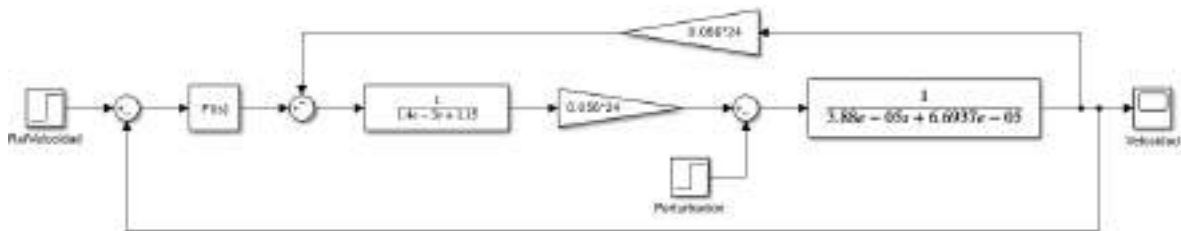
Mediante la ecuación 31 y los parámetros de las constantes obtenidos la función de transferencia del control PI es:

$$PI = \frac{0,015s + 351}{s}$$

Dado el resultado de los parámetros del controlador, se realiza el diagrama del motor añadiendo el bloque del PI y su respectiva retroalimentación de la velocidad, obteniendo el siguiente resultado:

**Figura 110**

*Diagrama de bloques del motor incorporado el control PI*



**Nota:** Diagrama de bloques del motor de tracción, añadido el controlador PI.

Aplicando álgebra de bloques a la (Figura 110), se presenta la función de transferencia

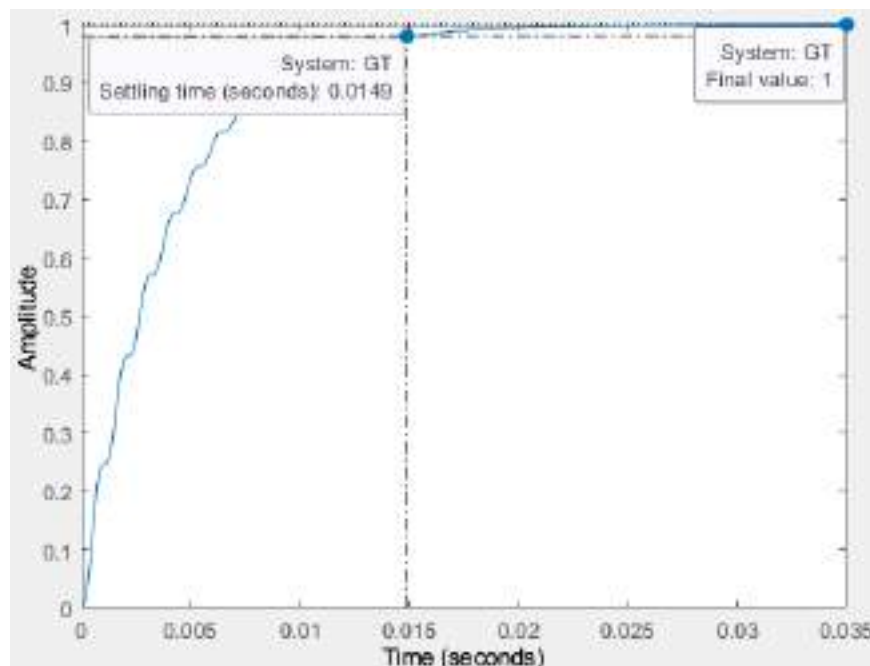


del sistema ya controlado (GT), y su respectiva respuesta ante una entrada, con un tiempo de asentamiento de 0,0149 s y un error en estado estable de 0.

$$G_T = \frac{-0,463s^2 + 359,72e + 03s + 8,671e + 09}{s^3 + 781,056s^2 + 33,564e + 06s + 8,671e + 09} \quad (32)$$

**Figura 111**

*Respuesta del motor de tracción con control*



**Nota:** Respuesta del sistema del motor de tracción controlado.

- **Sistema de control del motor de elevación**

Para el movimiento de elevación se escogió el motor con modelo RUGCEL Winch 2000 lb que se presenta en la figura 61, y sus parámetros son los siguientes.

**Tabla 27**

*Parámetros del motor DC de elevación*

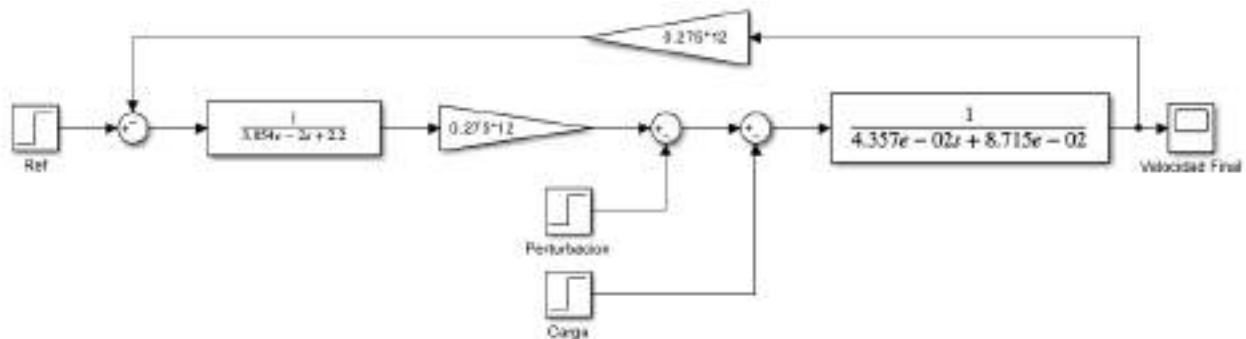
Parámetro	Simbología	Valor	Unidades
Tensión	U	12	V
Velocidad sin carga	w	2800	rpm
Resistencia	R	2,2	$\Omega$
Inductancia del rotor	L	0,03854	H
Inercia del rotor	J	0,04357	$kgm^2$
Constante de fricción viscosa	b	0,08715	$kgm^2/seg$
Constante proporcional del par torsor	Kb	0,275	V/(rad/seg)
Constante proporcional del motor	Km	0,275	Nm/A

**Nota:** En la tabla se puede observar los parámetros del motor escogido para el movimiento de elevación.

A partir de las constantes electromotrices presentadas en la Tabla 27, se conforma el diagrama de bloques que modela al motor de elevación.

**Figura 112**

*Diagrama de bloques del motor de elevación*



**Nota:** Se presenta el diagrama de bloques del modelado del motor de elevación.

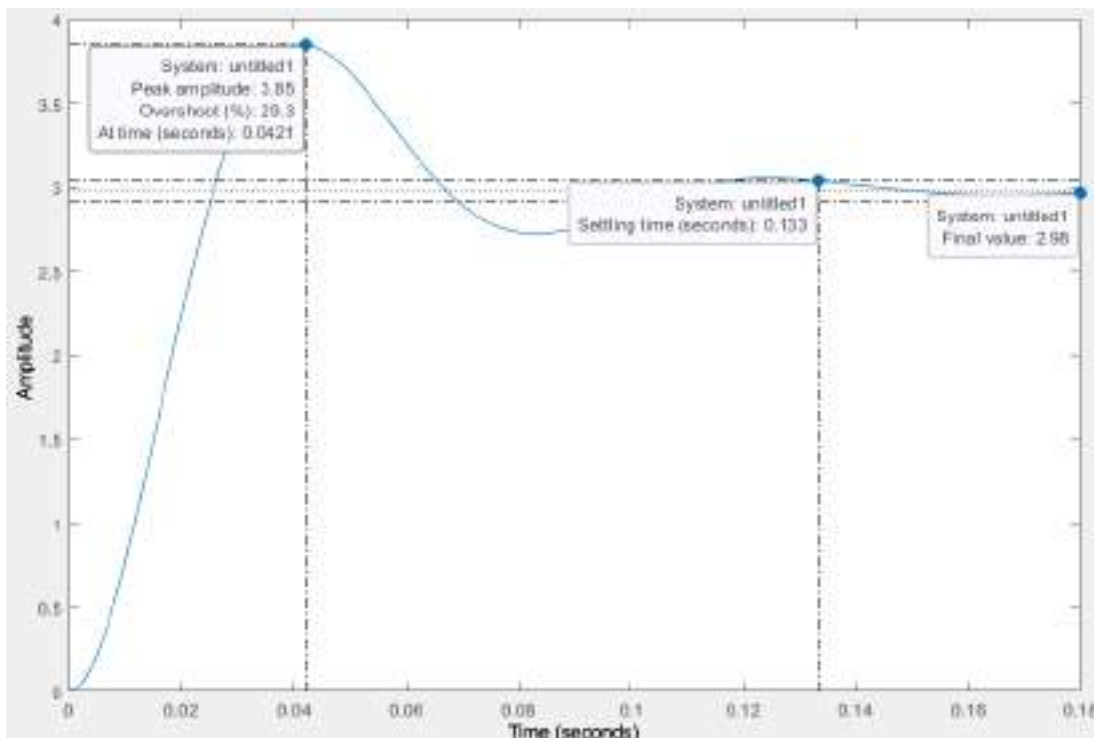
Aplicando álgebra de bloques al diagrama de bloques del motor de elevación se obtiene la siguiente función de transferencia (GE).

$$G_E = \frac{1965}{s^2 + 59,08s + 6599} \quad (33)$$

La Figura 113, presenta la respuesta del motor ante una entrada de 10 RPM, obteniendo un sistema subamortiguado con un Overshoot del 29,3%, un tiempo de asentamiento de 0,133 s y un error en estado estable del 70,2%.

**Figura 113**

*Respuesta del motor de elevación sin control*



**Nota:** Respuesta al sistema del motor de elevación sin la implementación de control.

Debido a los resultados de la Figura 113, es necesario incluir un control PI, con el fin de reducir el sobrepaso máximo y eliminar el error estable, por lo que, se usa la herramienta PID tuner para generar las constantes del PID que representen una respuesta en el

estado transitorio menor a 0,5 s y una mayor robustez generando que nuestro sistema no cuente con un sobrepaso.

**Tabla 28**

*Parámetros del PI para el motor de elevación*

Parámetro	Valor
Ganancia proporcional ( $K_p$ )	0,012
Ganancia integral ( $K_i$ )	37,5

**Nota:** En la tabla se presentan los parámetros del PI para el control del motor de elevación.

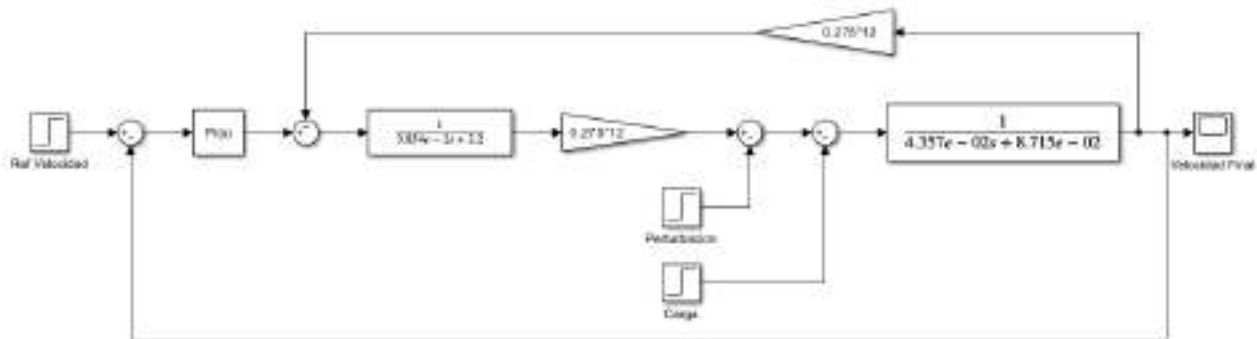
Mediante la ecuación 31 y los parámetros de las constantes (Tabla 28) obtenidos por medio de la herramienta PID tuner, la función de transferencia del control PI es:

$$PI = \frac{0,012s + 37,5}{s}$$

Implementando el controlador en el diagrama de bloques del motor de elevación y resolviéndolo por medio de álgebra de bloques obtenemos la ecuación 34.

**Figura 114**

*Diagrama de bloques del motor de elevación incorporado el control PI*



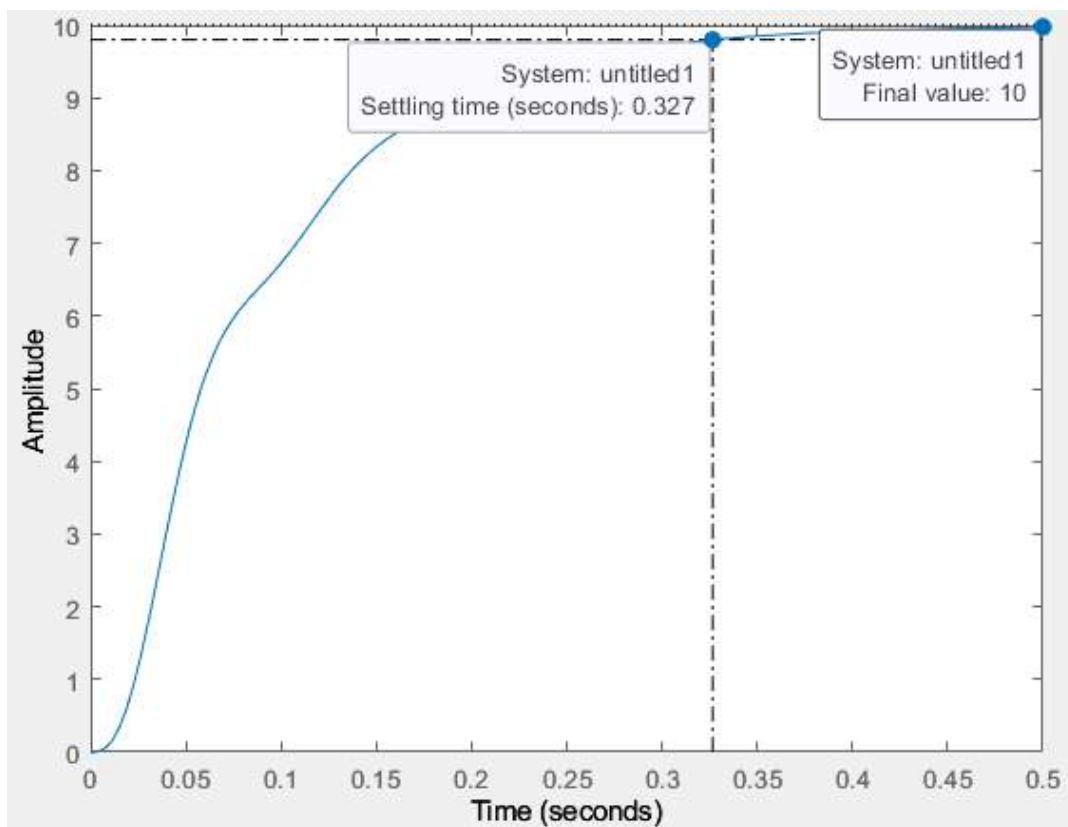
**Nota:** Diagrama de bloques del motor de elevación, añadido el controlador PI.

$$G_T = \frac{23.85s + 73700}{s^3 + 59.08s^2 + 6623s + 73700} \quad (34)$$

A partir de la función de transferencia del motor de elevación ya controlado, obtenemos la siguiente respuesta del motor (Figura 115), que presenta un tiempo de asentamiento de 0,327 s y un error en estado estable nulo.

**Figura 115**

*Respuesta del motor de elevación con control.*



**Nota:** Respuesta del sistema del motor de elevación controlado.

## 6.8. Análisis de costos

Para un análisis de costos se tiene que tener en consideración dos características fundamentales que son, los costos directos e indirectos.

Los costos directos se presentan por medio del costo de los equipos y herramientas (tabla 29)

que hace referencia a los costos por hora de cada una de los equipos durante la construcción, los costos de materiales (tabla 30) que presenta la materia prima a emplear en la generación del equipo con sus costos con el impuesto al valor agregado y por ultimo se presentan los costos de mano de obra (tabla 31).

**Tabla 29**

*Costos directos de equipos y herramientas.*

<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio</b>	<b>Rendimiento</b>	<b>Total</b>
Soldadora	Horas	3	\$5	2,5	\$37,50
Taladro	Horas	1	\$1	2,1	\$2,10
Dobladora de tubo	Horas	1	\$5	2,1	\$10,50
Cortadora a láser	Horas	2	\$10	1,8	\$36,00
Cierra de mesa	Horas	1	\$6	2,2	\$13,20
Molde de fibra de vidrio	Horas	15	\$5	2,4	\$180,00
Amoladora	Horas	2	\$6	2	\$24,00
Herramienta menor					\$30,00
<b>TOTAL</b>					<b>\$333,30</b>

**Nota:** En la tabla se muestra el detalle de los distintos equipos y herramientas requeridos para el desarrollo del trabajo de titulación.

**Tabla 30***Costos directos de materiales.*

<b>Denominación</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio Bruto(\$)</b>	<b>Total (\$)</b>
Motor RUGGEL WINCH	1	70,99	136,04
Polea de acero inoxidable	1	36,00	63,93
Motor multidireccional	1	1 150,00	2 251,47
Driver MDC1460	1	345,00	438,95
Driver GBLG2600T	1	1 095,00	1 397,56
Azas TZ-H1	1	120,00	266,61
Convertidor 24-12V	1	200,00	242,10
Cargador de batería 24V 60A	1	578,46	860,07
Batería Li-Ion 12-125-13	1	3 794,40	4 078,94
Electrodos 6011	1	3,55	3,55
Porta fusibles	1	13,00	37,65
Paro de emergencia ED250	1	33,00	52,00
Interruptor	1	17,59	41,41
Caja de distribución	1	3,05	12,33
Medidor de voltaje	1	17,00	40,67
Abrazaderas de palanca	3	22,00	34,81
Anillos de seguridad 60 mm	2	18,00	18,00
Elementos de sujeción (pernos, arandelas, tuercas)	90	67,50	67,50
Rodamientos	4	82,00	82,00
Perfil estructural 'G' 120x50x15x2	6 m	24,06	24,06
Perfil estructural 'G' 125x50x15x5	6 m	58,27	58,27

Tubo de acero rectangular 100x50x2	6m	34,36	34,36
Tubo de acero rectangular 40x20x2	6m	13,70	13,70
Tubo de acero rectangular 50x25x2	6m	17,00	17,00
Tubo de acero rectangular 40x80x3	6m	56,00	56,00
Perfil L 25x25x2	1m	6,76	6,76
Perfil L 50x50x4	3m	24,66	24,66
Plancha de acero 2mm	1.22x2.44	22,00	22,00
Plancha de acero 3mm	0.5x0.5	31,00	31,00
Platina de bronce 40mmx4mm	0.4m	18,00	18,00
Platina de acero 25mmx4mm	0.5m	37,54	37,54
Eje AISI 1018 3"	0.15m	40,00	40,00
Rueda de poliuretano	4	218,36	317,17
Kit para molde de fibra de vidrio	1	94,18	94,18
Sensor magnético MGS1600	1	465,00	587,75
Rollo de cinta magnética MTAPE50NR	2	275,00	910,56
Selector GCX1253-24	1	16,50	31,62
Cables conexiones	15m	60,95	60,95
ESP32	1	12,00	12,00
Placa de expansión ESP32	1	26,00	49,00
<b>TOTAL</b>			11 174,51

**Nota:** En la tabla se muestra el costo total de los materiales que se requieren para el desarrollo del trabajo de titulación.



**Tabla 31***Costos directos de mano de obra.*

<b>Denominación</b>	<b>Numero</b>	<b>S.R.H</b>	<b>Horas</b>	<b>Total</b>
Ingeniero	1	2,9	200	\$580,00
Ayudante de construcción	1	2,5	150	\$375,00
<b>TOTAL</b>				\$955,00

**Nota:** En la tabla se detalla el costo de la mano de obra requerida para el desarrollo del trabajo de titulación.

En la Tabla 32, se genera la suma de cada uno de los costos directos presentes en el desarrollo del equipo, obteniendo el costo directo total.

**Tabla 32***Costos directos totales.*

<b>Costos</b>	<b>Total</b>
Costos directos de equipos y herramientas	\$333,30
Costos directos de materiales	\$11 174,51
Costos directos de mano de obra	\$955,00
<b>TOTAL</b>	\$12 462,81

**Nota:** En la tabla se observa el costo directo total para el desarrollo del trabajo de titulación.

Los costos indirectos corresponden a procesos de producción que contribuyan a obtener el equipo final, aplicando un porcentaje al costo directo total siendo esta la utilidad que varia dependiendo de la oferta y demanda que se encuentra en el mercado, por lo tanto, se aplica un valor del 20% al costo directo final, como se muestra en la tabla 33.

**Tabla 33**

*Costos indirectos totales.*

<b>Costos</b>	<b>Porcentaje</b>	<b>Total</b>
Utilidad	20%	\$2 492,56
<b>TOTAL</b>		\$2 492,56

**Nota:** En la tabla se observa el costo indirecto total para el desarrollo del trabajo de titulación.

El costo total se genera de la suma de los costos directos totales y de los costos indirectos totales, como se presenta en la tabla 34.

**Tabla 34**

*Costos total.*

<b>Costos</b>	<b>Total</b>
Costos Directos	\$12 462,81
Costos Indirectos	\$2 492,56
<b>TOTAL</b>	\$14 955,37

**Nota:** En la tabla se observa el costo total para el desarrollo del trabajo de titulación.

Para determinar el ahorro que se generará en la empresa al implementar el elevador móvil automático, se determinó el tiempo que requiere para trasladarse desde cada parada establecida hasta la zona de carga y tomando como referencia la cantidad de productos transportados en un día del cual se tomaron los datos de manipulación se obtiene que el ahorro de tiempo es de 103 minutos, con lo cual, se tendrá un ahorro de 520 horas al año. Finalmente, considerando el costo de la hora del trabajador se obtiene un ahorro anual de \$1 378, como se detalla en la figura 116 .

**Figura 116**

*Ahorro anual*

PRODUCTO	CANT.	MANUAL		ELEVADOR	
		TRAYECTOS	TIEMPO	TRAYECTOS	TIEMPO
CAJAS	100	25	163	7	73
BALDES	22	8	40	2	25
TANQUES	2	2	20	2	5
		<b>Tiempo Total:</b>	<b>223</b>	<b>Tiempo Total:</b>	<b>103</b>
<b>Ahorro de tiempo: 120 min/día → 520 h/año</b>					
<b>Ahorro anual: \$2.65x520= \$1.378</b>					

**Nota:** Con la implementación del dispositivo la empresa tendrá un ahorro anual de \$1 378.

## 7. Resultados

### 7.1. Parámetros de diseño mecánico para el elevador móvil automático

En base a las condiciones del espacio físico del área de la bodega de la empresa FEDOCOM CIA. LTDA que cuenta con un pasillo principal con una dimensión útil de 1,2 m y tres secundarios con una dimensión máxima de 1,9 m cada uno. En la tabla 35 se muestra las dimensiones máximas que el elevador podría llegar a tener considerando las dimensiones del ancho del ángulo recto y la tolerancia de 12 pulgadas para garantizar la movilidad del elevador. Además, se muestra las dimensiones reales consideradas para el diseño del equipo.

**Tabla 35**

*Dimensiones máximas y reales del elevador móvil automático.*

Dimensiones		
Parámetro	Máxima	Real
<b>Largo</b>	1,595 m	1,5 m
<b>Ancho</b>	0,855 m	0,85 m
<b>Alto</b>	3 m	2,1 m

**Nota:** En la tabla se observa las dimensiones reales a considerar en el diseño del equipo en base a las condiciones del espacio físico de la empresa.

Entre los diferentes tipos de insumos que la empresa manipula y transporta diariamente de manera manual se consideran las cajas, baldes y tanques como los elementos de mayor carga. En la tabla 36, se especifican las dimensiones y peso de cada una de las presentaciones de los productos especificados. Por otro lado se muestra la cantidad de insumos que actualmente se transportan con el uso de un carro manual de carga en cada trayectoria, de la bodega interna de la empresa hasta la zona de carga. A partir de las dimensiones reales del equipo se establece la cantidad que se transportará al desarrollar el diseño del elevador móvil automático con una carga máxima de 315 kg.

**Tabla 36**

*Carga máxima del elevador móvil automático.*

			Transporte manual		Transporte elevador	
Producto	Peso	Dimensiones	Unidades	Peso Total	Unidades	Peso Total
<b>Caja</b>	21 kg	44x36x31 cm	4	84 kg	15	<b>315 kg</b>
<b>Balde</b>	17 kg	Ø32x37 cm	3	51 kg	16	272 kg
<b>Tanque</b>	182 kg	Ø58x92 cm	1	182 kg	1	182 kg

**Nota:** En la tabla se muestra la cantidad y peso total que actualmente el operario manipula y transporta de manera manual, y la cantidad y el peso que el elevador podrá transportar y manipular en cada trayecto.

La empresa cuenta con un vehículo el cual tiene una altura máxima de 1,1 m hasta la superficie de la carga. Sin embargo, se establece la altura máxima de elevación de 1,6 m de acuerdo a los distintos tipos de vehículos de carga pesada que son utilizados para el traslado de productos, siendo esta la altura máxima en la categorización.

En base a la norma SAE J833, que define las dimensiones antropométricas de los operarios de maquinaria industrial y en la altura promedio de los ecuatorianos establecida en 1,67 m se definen la antropometría del operador del elevador móvil automático. Para garantizar que el diseño del equipo sea ajustable para los operadores, se presentan las dimensiones de mayor prioridad a considerar para la disposición de los elementos de control del sistema (Tabla 37).

**Tabla 37**

*Antropometría del operador.*

<b>Antropometría</b>	
<b>Referencia</b>	<b>Dimensión</b>
<b>Altura</b>	1,698 m
<b>Altura a la cadera</b>	0,89 m
<b>Largo del brazo</b>	0,772 m

**Nota:** De acuerdo a la norma SAE J833 se presentan las dimensiones a considerar en el diseño del elevador móvil automático.

## **7.2. Diseño mecánico para el elevador móvil automático**

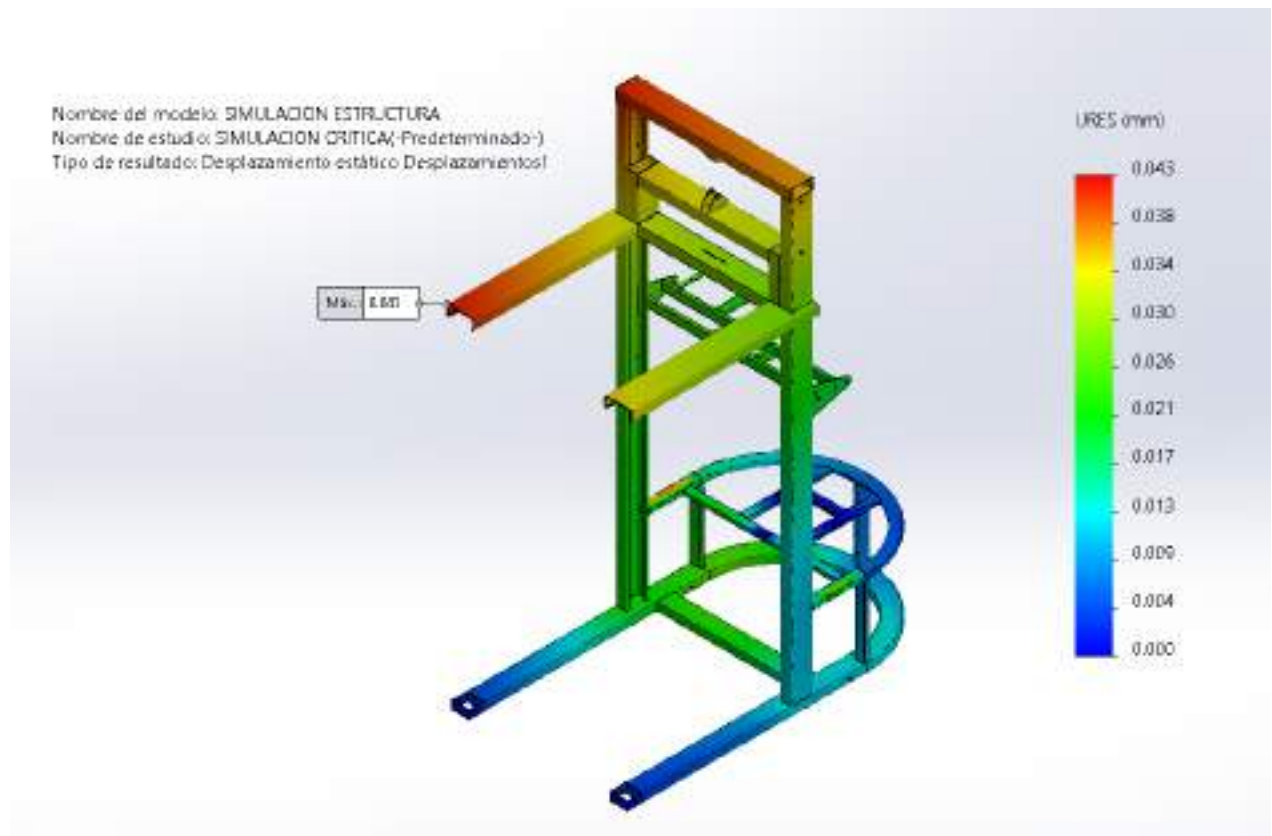
Como material seleccionado para la estructura del elevador móvil automático han sido los diferentes tipos de perfiles comerciales de acero ASTM A36. Una vez definidos los componentes electrónicos y mecánicos a integrar en el sistema se obtuvo el diseño de la estructura principal tras realizar distintas iteraciones empleando los perfiles previamente analizados para determinar el desplazamiento máximo al estar sometidos a cargas. Mediante el análisis de elementos finitos se determinó el comportamiento de la estructura del sistema al estar sometidos a distintas cargas.

En la figura 117, se presenta el resultado del análisis considerando la carga en su posición crítica, es decir, en el punto más alejado a las columnas principales. Las fuerzas consideradas

corresponden a la carga máxima, fuerza de empuje de la rueda motriz, la fuerza generada por la tensión del sistema de elevación, y el peso considerable de los componentes electrónicos. Se tiene como resultado un valor desplazamiento máximo de 0.043mm en el extremo de las horquillas. Por otro lado, en la figura 118 se presentan los resultados del análisis del factor de seguridad, teniendo como valor mínimo 1,935 el cual corresponde al rango establecido de 1,5 a 2 dado que es un material conocido y esta sujeto a cargas y tensiones que pueden determinar.

### Figura 117

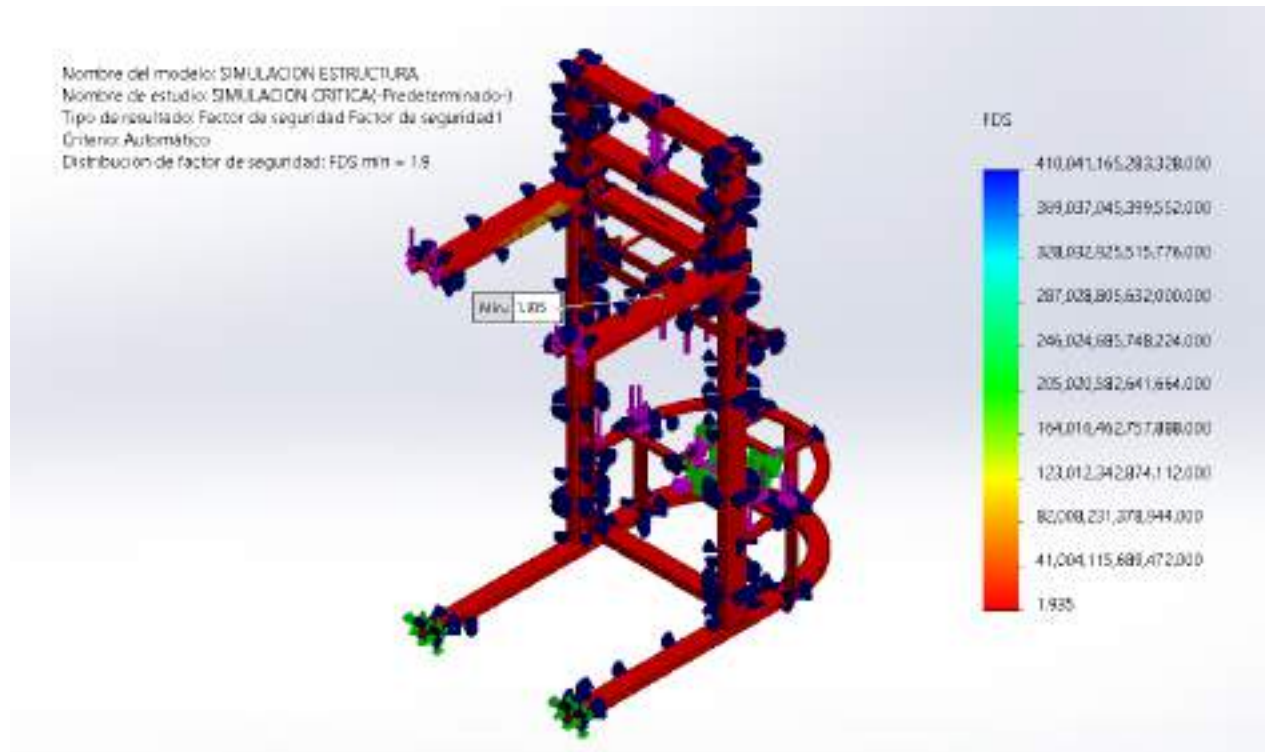
*Resultado del análisis estructural con carga crítica*



**Nota:** Análisis de elementos finitos estructural con la carga situada en el punto crítico de las horquillas, desplazamiento máximo de 0,043 mm.

**Figura 118**

*Factor de seguridad estructural*



**Nota:** En el análisis de elementos finitos de la estructura del sistema con la carga crítica se obtiene un factor de seguridad de 1,935.

Tras el análisis estructural se ensamblan todos los componentes que integran el sistema del elevador móvil automático y se realizan las respectivas conexiones entre los elementos como se muestra en la figura 119, el cual cuenta con un panel de control con un botón de paro de emergencia, selector ON/OFF, selector de modo de funcionamiento (manual y automático), un visualizador del estado de la batería y el control para el funcionamiento manual. Al interior del equipo se encuentran los controladores y actuadores del sistema de elevación y tracción. En el anexo C se detalla el conjunto del modelo.

## Figura 119

*Ensamblaje de los componentes electrónicos y mecánicos*



**Nota:** Se muestra a detalle la ubicación de cada componente que con la estructura inicio.

Para el manejo del dispositivo se dispone de dos modos de operación, en la opción manual el operario enviará las distintas señales a través del control manual a los controladores para ejecutar las acciones requeridas. El segundo modo de operación cuenta con una interfaz conectada de manera inalámbrica desde la interfaz gráfica diseñada en Node-RED al módulo ESP32 por medio del protocolo de comunicación MQTT. Al momento que se adquiere la señal que indique a que parada se debe dirigir el dispositivo comienza a desplazarse de manera automática a través de la trayectoria definida con la cinta magnética hasta llegar a la parada especificada.



En la figura 120, se muestra la interacción del operario con el elevador cuando se encuentra funcionando en modo manual, en donde se garantiza que las dimensiones y el posicionamiento de los elementos de control del equipo mantienen relación a las condiciones antropométricas del operario, con lo cual se garantiza una manipulación segura del sistema.

**Figura 120**

*Interacción del sistema con el operario*



**Nota:** Se muestra la interacción del sistema con el operario garantizando la maniobrabilidad debido a la disposición de los elementos de control en base a las condiciones antropométricas consideradas.

### 7.2.1. Diseño de control para el elevador móvil automático

Para analizar el correcto funcionamiento del sistema de control ha implementar, se presenta la respuesta del sistema sin control y la respuesta controlada del sistema de tracción y de elevación. En la tabla 38 se muestra los parámetros de velocidad máxima para cada sistema.

**Tabla 38**

*Velocidades máximas del los sistemas de elevación y tracción.*

<b>Velocidades máximas de funcionamiento</b>		
<b>Sistema</b>	<b>Velocidad</b>	<b>RPM</b>
<b>Elevación</b>	0,36 km/h	19,09
<b>Tracción</b>	5 km/h	88,4

**Nota:** En la tabla se muestran los parámetros de velocidad para los sistemas de elevación y tracción.

Como se muestra en la Figura 121, se tiene como valor de referencia una velocidad angular de 88,4 RPM siendo el valor máximo al que funcionara el sistema, obteniendo una respuesta sin sobrepaso y un tiempo de establecimiento rápido, esto debido a la implementación de un control tipo PI generando una mayor estabilidad del sistema y sin fluctuaciones.

$$PI = \frac{K_p \cdot s + K_i}{s}$$

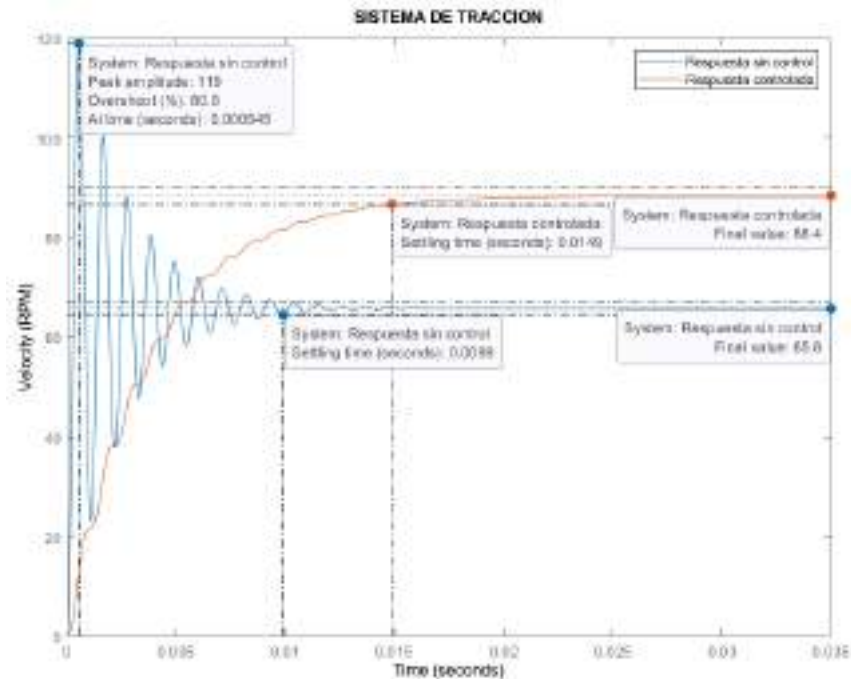
Donde:

$K_p$ : 0,015

$K_i$ : 351

**Figura 121**

*Simulación de la respuesta del motor de tracción.*



**Nota:** Comparación de la respuesta del sistema del motor de tracción controlado y sin control.

En la Tabla 39, se presenta una comparación entre los valores característicos de la respuesta del sistema de tracción.

**Tabla 39**

*Comparación de parámetros del sistema de tracción.*

Sistema de tracción		
Parámetro	Sin control	Con control
<b>Ts</b>	0,0099 s	0,01 s
<b>Overshoot</b>	80,8 %	0 %
<b>error</b>	25,6 %	0 %

**Nota:** En la tabla se observa los resultados del sistema de tracción sin control y el sistema controlado.

En la Figura 122, se presenta la respuesta que tiene el sistema de elevación ante una entrada de velocidad angular de 19,09 RPM equivalente a 0,36 km/h, siendo la velocidad máxima a la que el sistema trabajara, tomado en referencia al robot AGV modelo Zoomlion ADB10J, que cuenta con características similares en velocidades de desplazamiento (*ZOOMLION*, 2023). Sin embargo, estas velocidades varían dependiendo la carga máxima a manipular y las especificaciones internas de la empresa.

Por lo tanto, como se muestra en la simulación se denota que la señal sin control ante la entrada de referencia presenta un sobrepaso del 29,3% y un error en estado estable del 70,2% ante su entrada (Tabla 40), esto debido a la carga máxima que genera una perturbación en el sistema.

Debido a esto es esencial generar un controlador PI que aporte al sistema un sobrepaso nulo y un error en estado estable del 0%, ayudando a obtener una mejor respuesta en el sistema, donde el modelo del controlador es:

$$PI = \frac{K_p \cdot s + K_i}{s}$$

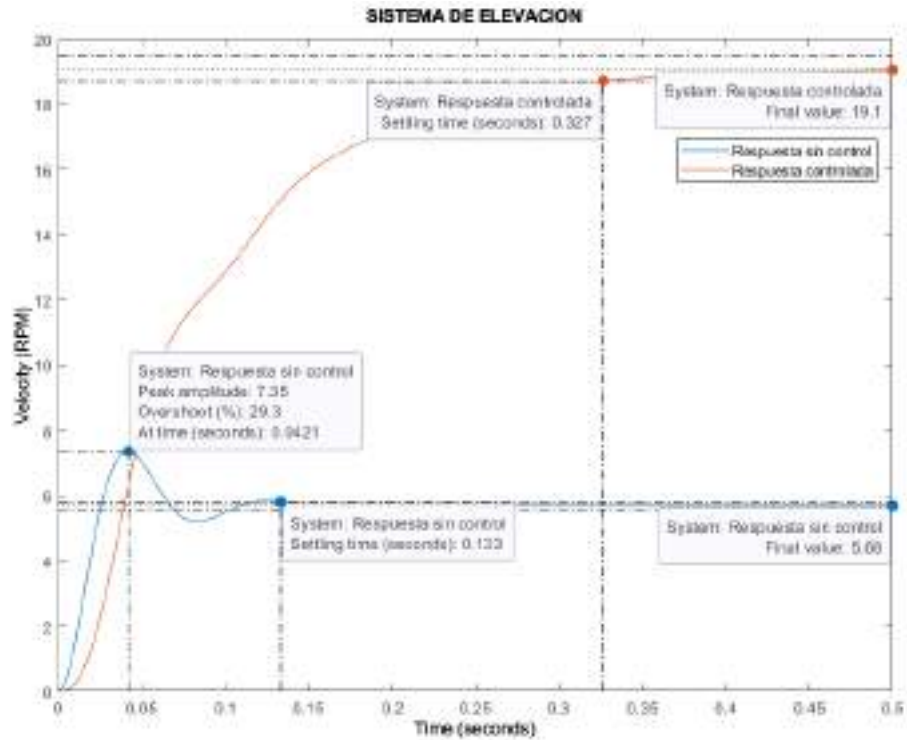
Donde:

$$K_p: 0,012$$

$$K_i: 37,5$$

**Figura 122**

*Simulación de la respuesta del motor de elevación.*



**Nota:** Comparación de la respuesta del sistema del motor de elevación controlado y sin control.

**Tabla 40**

*Comparación de parámetros del sistema de elevación.*

Sistema de elevación		
Parámetro	Sin control	Con control
<b>Ts</b>	0,133 s	0,327 s
<b>Overshoot</b>	29,3%	0%
<b>error</b>	70,2%	0%

**Nota:** En la tabla se observa los resultados del sistema de elevación sin control y el sistema controlado.

### 7.3. Resultados del análisis de costos

El costo total de implementación de un elevador móvil automático para la manipulación y transporte de suministros en la empresa FEDOCOM CIA LTDA.

$$\text{Costo Total} = \$14955,37$$

El costo total del proyecto esta basado en referencia a los costos directos los cuales están subdividido en:

1. Costos directos de equipos y herramientas = \$333,3
2. Costos directos de materiales = \$11 174,51
3. Costos directos de mano de obra = \$955,00

Además, se considera el costo indirecto de \$2 492,56. El cual corresponde al 20% del costo directo total generando un margen de utilidad.

En relación a la revisión previamente realizada de los equipos que se encuentran actualmente en el mercado que ofrecen servicios similares como un apilador eléctrico y un robot AGV con costos que oscilan entre \$12 000 y \$32 000, el costo del elevador móvil automático es aceptable. Además, el ahorro anual que la empresa generará al implementar el dispositivo es de \$1 378.

## 8. Conclusiones

FEDOCOM CIA. LTDA. es una empresa dedicada a la distribución de insumos automotrices que diariamente requiere de la manipulación y transporte de elementos con carga considerable para una operación manual por parte del trabajador, por lo tanto, se presenta el diseño de un elevador móvil automático que ayude en el desplazamiento y manejo la carga, mediante la implementación de un sistema de elevación eléctrico y un sistema motriz de desplazamiento con control manual y automático.

Los parámetros iniciales establecidos para el diseño del elevador se originan a partir de las necesidades de la empresa. Las condiciones del espacio físico determinan el área útil de los pasillos principal y secundarios para el desplazamiento del sistema. Para garantizar la movilidad entre cada área de almacenamiento de los pasillos las dimensiones fijadas para el elevador son 1,5x0,85x2,1 m, con una altura de elevación máxima de 1,6 m en base a la

tipología de vehículos de carga pesada. A partir de las dimensiones y peso característico de cada de cada producto se determina la carga máxima de 315 kg con la capacidad de transportar 15 cajas, 16 baldes o un tanque en cada trayecto de la bodega interna hacia la zona de carga.

El diseño del elevador móvil automático considera una estructura conformada por una base de apoyo, horquillas móviles y fijas, columnas como estructura principal para el desplazamiento del sistema de elevación de carga, y un sistema de desplazamiento motriz integrado por una rueda eléctrica multidireccional. Al simular el control PI diseñado en de los modelos de los sistemas de tracción y elevación bajo las condiciones de velocidad máxima establecidas para cada sistema, se obtiene un tiempo de asentamiento menor a 0,5 s, y un porcentaje nulo de sobrepaso y error.

Debido a la geometría y peso de los tanques se diseña un complemento para la manipulación sin intervención del operario, al igual que una base de carga como superficie para los diferentes tipos de productos, ambos accesorios son acoplados a las horquillas móviles del sistema. Mediante el análisis de elementos finitos de la estructura de acero ASTM A36 en condiciones críticas por la disposición de las cargas actuantes y la altura máxima de las horquillas móviles, se obtiene un desplazamiento despreciable y el factor de seguridad se encuentra dentro del rango establecido para el diseño del sistema.

En modelo del elevador móvil automático en base a las condiciones antropométricas del operario garantiza que acceda fácilmente al control manual y al panel de control para el encendido, selección de modo de funcionamiento, visualización del porcentaje de la carga de la batería y el paro de emergencia. Para el funcionamiento automático del equipo se cuenta con un sensor de línea magnético ubicado a la distancia recomendada por el fabricante para garantizar la toma de datos, las instrucciones son comandadas de manera inalámbrica mediante la interfaz gráfica desarrollada en Node-RED con el protocolo de comunicación MQTT. La distribución de las paradas de carga y las trayectorias son definidas mediante la cinta magnética colocada en el área de la bodega de la empresa.

El costo total del elevador móvil automático es de \$14 955,37, para lo cual se consideraron los costos directos de equipos y herramientas, los materiales y la mano de obra empleada para el desarrollo del sistema, y una utilidad del 20%. Con la implementación del equipo la empresa generará un ahorro anual de \$1 378. El equipo funcionalmente cumple con los requisitos establecidos a partir de la necesidad presentada por la empresa, por lo cual, se concluye que el costo para el equipo es aceptable en relación a otros equipos que ofrecen servicios similares.

## 9. Recomendaciones

Previo al diseño del elevador móvil automático es de gran importancia establecer los parámetros físicos y operacionales que van a condicionar el diseño del sistema y la selección de los componentes a implementar. Se debe priorizar que estos elementos se puedan llegar a adquirir a nivel nacional para la reducción de costos y tiempo en el caso de la implementación del diseño realizado del elevador móvil automático.

Para garantizar los resultados de las simulaciones es necesario conocer los valores de las variables que intervienen, y a su vez las unidades que el software maneja. Para el análisis de elementos finitos de la estructura se debe garantizar que la relación de aspecto se encuentre en el rango de 1 a 5 para garantizar un mallado óptimo.

Es necesario realizar pruebas de campo de los motores utilizados para el sistema de elevación y tracción para determinar las características reales y se garantice el modelado del sistema de control.

Con respecto a la implementación del sistema automático de desplazamiento del sistema por navegación de seguidor de línea magnética se recomienda que la empresa realice una redistribución de los insumos almacenados en la bodega para optimizar las rutas y paradas programadas en el elevador.



## Referencias

- AbonirGrupo. (2023). *Apilador manual volteador de bidones de 400kg a 1350mm*. Recuperado de: <https://www.abonirgrupo.com/producto/apilador-manual-volteador-de-bidones/>.
- Alcazaba. (2021). *Que es el árbol de levas y para que sirve*. Recuperado de: <https://alcazabamotor.es/blog/2020/02/21/que-es-el-arbol-de-levas-y-para-que-sirve/>.
- Amazon. (2023). *12v 100a 24v 60a charger 29.2v 29.4v 60a 14.6v 60a*. [https://www.amazon.com/dp/B09X31C7R3?ref=cm\\_swr\\_pan\\_dp1](https://www.amazon.com/dp/B09X31C7R3?ref=cm_swr_pan_dp1).
- AMAZON. (2023). *3in u groove wheel stainless steel groove wheel heavy duty track wheel rigid caster sliding gate roller wheel double bearing for swing sliding gate*. Recuperado de: [https://www.amazon.com/gp/product/B0833WJLRS/ref=ox\\_sc\\_act\\_title\\_1?smid=A2ZYAZCY5TCXV1th=1](https://www.amazon.com/gp/product/B0833WJLRS/ref=ox_sc_act_title_1?smid=A2ZYAZCY5TCXV1th=1).
- ARC-COMPONENTS. (2023). *Ed250-4 albright heavy-duty emergency stop switch 250a 48v maximum*. <https://www.arc-components.com/ed250-4-albright-heavy-duty-emergency-stop-switch-250a-48v-maximum.html>.
- Atlas Robots. (2023). *Robot agv - vehículo de guiado automático - atlas robots*. Descargado de <https://atlas-robots.com/robot-agv/>
- AutomationDirect. (2023). *Gcx1253-24*. [https://www.automationdirect.com/adc/shopping/catalog/pushbuttons\\_z\\_switches\\_z\\_i ndicators/selector\\_switches/gcx1253-24](https://www.automationdirect.com/adc/shopping/catalog/pushbuttons_z_switches_z_i ndicators/selector_switches/gcx1253-24).
- AyJ. (2022). *Sistema de poleas y correas*. Recuperado de: <https://www.ajtransmisiones.com/blog/sistema-de-poleas-y-correas>.
- Becerra, F. A. (2017). *Diseño e implementación de módulos didácticos para el control de motores ac y dc, dirigido a la materia diseño electrónico industrial*.
- BLUELINE. (2023). *12-125-13*. Recuperado de: <https://bluelinebattery.com/product/12-125-13/>.
- Cañizares Sinailin, N. A., y Bedoya Paez, M. E. (2016). *Aplicacion de un sistema acondicionador de variables para el cultivo de tomate rojo bajo invernadero mediante logica difusa* (B.S. thesis).
- CFR. (2023). *Multi-directional horizontal electric drive wheels mrt33*. Recuperado de: <https://www.cfritaly.com/en/products/mrt33/>.
- Chasi Cajas, Y. M. (2014). *Sistemas de elevación para el transporte de productos cerámicos en la empresa novel de la ciudad de latacunga y su incidencia en el nivel de producción* (B.S. thesis). Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.
- Cllena. (2023). *Cllena dc 24v step down to 12v 120a*. <https://www.amazon.com/Cllena-Converter-Regulator-Waterproof-Transformer/dp/B08344GF8F>.

- CPTDCL. (2023). *Monitor de voltios de capacidad de batería*. <https://www.temu.com/us-es/monitor-de-voltios-de-capacidad-de-bateria-rv-marina-de-10-100v-12v24v48v60v72v-tabla-indicadora-de-temperatura-fahrenheit-de-voltaje-de-bateria-de-litio-g-601099513102134.html>.
- Dalmec. (2022). *Manipulador neumático*. Recuperado de: <https://www.directindustry.es/prod/dalmec/product-13956-437623.html>.
- Escudero Serrano, M. J. (2011). *Almacenaje de productos*. Ediciones Paraninfo, SA.
- Fedocom. (2022). *Nosotros-fedocom*. Obtenido de: <http://www.fedocom.com/nosotros/>.
- Fleridamotors. (2014). *Motores eléctricos*. Descargado de <https://fleridamotors.blogspot.com/2014/11/motores-electricos-un-motor-electrico.html>
- Flexible, L. (2019). *Montacargas*. Recuperado de: <https://www.ld.com.mx/blog/noticias/montacargas-indispensable-para-la-logistica/>.
- Forklifts, S. (2022). *¿cuál es el ancho mínimo de pasillo que requiere un montacargas?* Recuperado de: <https://seil.mx/cual-es-el-ancho-minimo-de-pasillo-que-tu-montacargas-necesita>.
- FUSO. (2021). *Tipos de transmisión mecánica*. Recuperado de: <https://www.fuso.com.pe/blog/tipos-transmisiones-mecanicas/>.
- GANAGRO.ec. (2023). *Teclé eléctrico century pa1000 500kg*. Recuperado de: <https://ganagro.ec/producto/6502/>.
- GRAINGER. (2023a). *Dayton manual mobile scissor-lift table*. Recuperado de: [https://www.grainger.com/product/4ZD01?cm\\_mmc=PPC:Google-GlobalExport-EC-Acquisition-2020012](https://www.grainger.com/product/4ZD01?cm_mmc=PPC:Google-GlobalExport-EC-Acquisition-2020012).
- GRAINGER. (2023b). *Grainger approved polyurethane tread on steel*. <https://www.grainger.com/product/GRAINGER-APPROVED-Polyurethane-Tread-on-Steel-19YU76>.
- Gutstark. (2022). *Pluma hidráulica 2t*. Recuperado de: <https://gutstark.com/products/pluma-hidraulica-plegable-motor-2-ton-profesional-uso-rudo>.
- HERSEN. (2015). *Manipuladores industriales de carga por vacío ergonómicos*. Recuperado de: <https://hersen.com/succionadores-manipuladores-industriales-cargas-por-vacio/>.
- HICTRL. (2023). Descargado de [https://www.alibaba.com/product-detail/High-quality-industrial-automatic-guided-vehicle\\_60767766674.html?spm=a2700.9114905.0.0.0XKN5B](https://www.alibaba.com/product-detail/High-quality-industrial-automatic-guided-vehicle_60767766674.html?spm=a2700.9114905.0.0.0XKN5B)
- IndustryStore. (2021). *Cadenas de transmisión*. Recuperado de: <https://www.industrystore.com.ar/cadenas-de-transmision>.
- INSHT. (2016). *Muelles de carga y descarga: seguridad*. [Recuperado

- de: <https://www.insst.es/documents/94886/329011/ntp-1076.pdf/6ca6457c-3514-4062-8386-0db9ccfda950>].
- Jesus Felez, M. L. M. (2008). *Ingenieria grafica y diseno*. Madrid : Sintesis.
- Jtron. (2023). *Interruptor de desconexión de la batería 12-48 v*.  
<https://es.aliexpress.com/item/1005005371423821.html>.
- JUNGHEINRICH. (2022a). *Montacargas*. Recuperado de:  
<https://www.jungheinrich.ec/productos/montacargas-nuevos>.
- JUNGHEINRICH. (2022b). *Transpaleta manual de 1.0t*. Re-  
 cuperado de: <https://www.jungheinrich.ec/productos/montacargas-nuevos/transpaletas/transpaletas-manuales/amx-10-10e-680014>.
- Maquiltus. (2022). *Plataformas y mesas elevadoras de tijera*. Recuperado de:  
<https://www.ld.com.mx/blog/noticias/montacargas-indispensable-para-la-logistica/>.
- MatWeb. (2023). *Astm a36 steel, plate*. Recuperado de:  
<https://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=afc003f4fb40465fa3df-05129f0e88e6ckck=1>.
- Morchin, W. C., y Oman, H. (2006). *Electric bicycles: a guide to design and use* (Vol. 8).  
 Electric Bicycle Manual.
- MUNDIAL, D. (2020). *Altura y peso medio por país*. Recuperado de:  
<https://www.datosmundial.com/estatura-promedio.php>.
- Nise, N. S. (2020). *Control systems engineering*. John Wiley & Sons.
- Odiseo, D. (2023). *GrÚa hidrÁulica desmontable y plegable*. Recuperado de:  
[https://www.interempresas.net/FeriaVirtual/Catalogos\\_y\\_documentos/69297/TH0148-Grua-hidraulica-plegable-1000kg-1.pdf](https://www.interempresas.net/FeriaVirtual/Catalogos_y_documentos/69297/TH0148-Grua-hidraulica-plegable-1000kg-1.pdf).
- Ogata, K. (2003). *Ingenieria de control moderna*. Pearson Educacion.
- Padilla, B. J. (2022). *Montaje y reparación de los sistemas mecánicos. fmee0208*. IC Editorial.
- Palou de Comasema, F. M. (2014). *Plataforma elevadora de tipo tijera* (B.S. thesis). Universitat  
 Politècnica de Catalunya.
- Parker. (2021). *Sistema de engranaje*. Recuperado de:  
<https://www.valvulashidraulicas.com/blog/articulos/que-son-los-sistemas-de-engranaje>.
- Pernia, M. (2011, 10). Conceptos básicos de máquinas de corriente continua..
- PINTULAC. (2021a). *Montacarga de 1.8 toneladas dual muth*. Recuperado de:  
<https://www.pintulac.com.ec/muth-1-8-ton-dual-modelo-cpqd18.html>.
- PINTULAC. (2021b). *Montacargas eléctrico para pasillo angosto 2 toneladas elevación de 6 metros batería litio chl muth*. Recuperado de: <https://www.pintulac.com.ec/montacargas-electrico-para-pasillo-angosto-2-toneladas-elevacion-de-6-metros-bateria-litio-chl>

muth.html.

- PINTULAC. (2023). *Apilador semi-eléctrico de 2 toneladas chl muth*. Recuperado de: <https://www.pintulac.com.ec/apilador-semi-electrico-de-2-toneladas-chl-muth-modelo-cbs20j.html>.
- Ramírez, L. G. C., Jiménez, G. S. A., y Carreño, J. M. (2014). *Sensores y actuadores*. Grupo Editorial Patria.
- Rashid, Z., Abu Bakar, N., y Raja Ghazilla, R. A. (2013). Comparison of malaysian and sae j833 anthropometric proportions for vehicle package design. En *Advanced engineering forum* (Vol. 10, pp. 336–344).
- RoboteQ. (2023a). *Building a magnetic track guided agv*. <https://www.roboteq.com/applications/all-blogs/18-building-a-magnetic-track-guided-agv>.
- RoboteQ. (2023b). *Gblg2660t*. <https://www.roboteq.com/products/products-brushless-dc-motor-controllers/gbl-family/gbl2660-411-558-detail>.
- RoboteQ. (2023c). *Mdc1460*. <https://www.roboteq.com/products/products-brushed-dc-motor-controllers/mdc1460-detail>.
- RoboteQ. (2023d). *Mgs1600*. <https://www.roboteq.com/products/navigation-sensors/line-following-sensors/mgs1600cgy-magnetic-sensor-with-gyroscope-detail>.
- RUGCEL. (2023). *Rugcel winch 2000lb with wire rope*. Recuperado de: <https://rugcel.com/products/rugcel-2000-lb-atv-utv-electric-winch>.
- Ruiz, L. (2011). *Manipulación manual de cargas guía técnica de insht*. [Recuperado de: <https://www.insst.es/documents/94886/509319/GuiatecnicaMMC.pdf/27a8b126-a827-4edd-aa4c-7c0ca0a86cda>; Accedido el: 18 de Noviembre del 2022].
- Sanchez, L. (2021). *Guia para la supervisiÓN de operaciÓN de montacargas*. Recuperado de: <https://www.minsalud.gov.co/Ministerio/Institucional/Procesos%20y%20procedimientos/GTHG10.pdf>.
- SAPIENSMAN. (2021). *Motores de corriente continua*. Descargado de [http://www.sapiensman.com/tecnoficio/electricidad/motores\\_de\\_corriente\\_continua.php](http://www.sapiensman.com/tecnoficio/electricidad/motores_de_corriente_continua.php)
- SKF. (2023). *62311-2rs1*. Recuperado de: <https://www.skf.com/co/products/rolling-bearings/ball-bearings/deep-groove-ball-bearings/productid-62311-2RS1>.
- Solé, A. C. (2012). *Neumática e hidráulica*. Marcombo.
- SOLIDWORKS. (2023). *Mesh quality checks*. [https://help.solidworks.com/2021/english/SolidWorks/cworks/c\\_MeshQualityChecks.htm?id=05b3b186be0744548d9cd59df543553d](https://help.solidworks.com/2021/english/SolidWorks/cworks/c_MeshQualityChecks.htm?id=05b3b186be0744548d9cd59df543553d).
- STILL. (2023). *Apilador eléctrico exv 12*. <https://es.still.shop/carretillas-nuevas-apiladores>

- electricos-exv-12.htmlproduct.info.details.features.
- SUNRAYINC. (2023). *Load capacities*. Recuperado de: <https://www.slindparts.com/wp-content/uploads/2019/01/8.-VULKOLLAN®.PEVOPUR®.PEVODYN®.PEVODYN®-Soft.pdf>.
- SYSTEMS, B. S. (2023). *Anl fuse block with insulating cover - 35 to 300a*. [https://www.blueseas.com/products/5005/ANL\\_Fuse\\_Block\\_with\\_Insulating\\_Cover\\_35to300A](https://www.blueseas.com/products/5005/ANL_Fuse_Block_with_Insulating_Cover_35to300A).
- TAWI. (2021). *Manipulador de vacío*. Recuperado de: <https://www.tawi.com/es/insights/ques-un-manipulador-por-vacio-y-como-funciona/>.
- Technology, F. (2022). *Planta hidráulica plegable*. Recuperado de: [https://es.made-in-china.com/co\\_bropark/product\\_Mini - Folding - Hydraulic - Floor - Cranes - for - Industrial - Lifting\\_enieroroy.html](https://es.made-in-china.com/co_bropark/product_Mini - Folding - Hydraulic - Floor - Cranes - for - Industrial - Lifting_enieroroy.html).
- Tornero, M. J. E., y Fernández, A. J. R. (2016). Actuadores neumáticos. *Ingeniería Industrial, Universidad de Huelva*.
- TYMBIA. (2023a). *Apilador manual 1000kg a 3000mm*. Recuperado de: <https://www.tymbia.com/es/producto/493-apilador-manual-1000kg-a-3000mm-apiladores-manuales-m202020029-8427982160027>.
- TYMBIA. (2023b). *Apilador rotador de bidones*. Recuperado de: <https://www.tymbia.com/es/producto/1315-apilador-rotador-de-bidones-apiladores-especiales-m102040007-8427982102867>.
- TZBOT. (2023). *Electric pallet truck control handle (tz-h1)*. <https://tongzhutech.en.made-in-china.com/product/xFqaJVrCgkWY/China-Hot-Selling-Industry-Spare-Part-Electric-Pallet-Truck-Control-Handle-TZ-H1-.html>.
- Vidosic, J. (1957). *Machine design projects*. Ronald Press Company.
- ZOOMLION. (2023). Descargado de [https://www.alibaba.com/product-detail/ZOOMLION-Customized-warehouse-AGV-robot-with\\_1600878831985.html](https://www.alibaba.com/product-detail/ZOOMLION-Customized-warehouse-AGV-robot-with_1600878831985.html)

# **ANEXOS**

## Anexo A: Matriz de Consistencia Lógica

Tabla 41

*Matriz de consistencia.*

MATRIZ DE CONSISTENCIA				
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLES	MARCO TEÓRICO
¿Cuál es el diseño adecuado de un elevador móvil automático para la manipulación y transporte de suministros en la empresa FEDOCOM CIA. LTDA.?	Diseñar un elevador móvil automático para la manipulación y transporte de suministros en la empresa FEDOCOM CIA. LTDA.	El diseño de un elevador móvil automático para la manipulación y transporte de suministros, mejorará la manipulación de suministros y evitará exigencias físicas en el personal del área de despachos en la empresa FEDOCOM CIA. LTDA.		Diseño mecánico y sistemas de desplazamiento lineal y de seguridad
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	VARIABLES	MARCO TEÓRICO
¿Se podrá establecer los parámetros de diseño de un elevador móvil automático para la manipulación y transporte de suministros en la empresa FEDOCOM CIA. LTDA.?	Establecer los parámetros de diseño de un elevador móvil automático para la manipulación y transporte de suministros en la empresa FEDOCOM CIA. LTDA.	Los parámetros de diseño de un elevador móvil automático para la manipulación y transporte de suministros, permitirá el diseño de un elevador en la empresa FEDOCOM CIA. LTDA.	<b>-VI:</b> Diseño. <b>-VD:</b> Exigencias físicas.	Proceso de manipulación de carga en la empresa
¿Es posible diseñar un elevador móvil automático para la manipulación y transporte de suministros en la empresa FEDOCOM CIA. LTDA.?	Diseñar un elevador móvil automático para la manipulación y transporte de suministros en la empresa FEDOCOM CIA. LTDA.	El diseño de un elevador móvil automático para la manipulación y transporte de suministros, evitará exigencias físicas del trabajador en la empresa FEDOCOM CIA. LTDA.	<b>-VI:</b> Diseño. <b>-VD:</b> Exigencias físicas.	Sistemas de elevación y transporte de carga
¿Es posible analizar los costos de la implementación de un elevador móvil automático para la manipulación y transporte de suministros en la empresa FEDOCOM CIA. LTDA.?	Analizar los costos de implementación de un elevador móvil automático para la manipulación y transporte de suministros en la empresa FEDOCOM CIA. LTDA.	El análisis de los costos de la implementación de un elevador móvil automático para la manipulación y transporte de suministros, permitirá la implementación del diseño en la empresa FEDOCOM CIA. LTDA.	<b>-VI:</b> Costos. <b>-VD:</b> Exigencias físicas.	Costos de fabricación del elevador

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

## Anexo B: Operacionalización de Variables

La tabla 42 presenta la operacionalización de la variable dependiente: peso de la carga a manipular.

**Tabla 42**

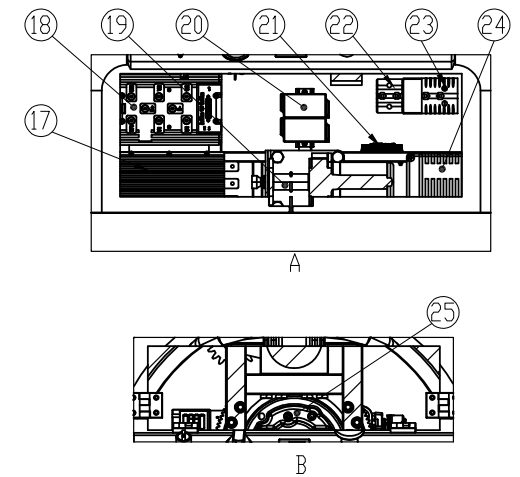
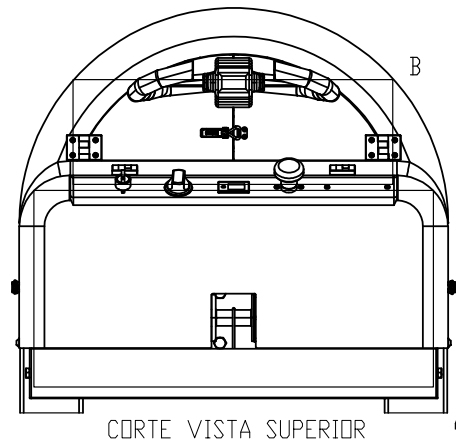
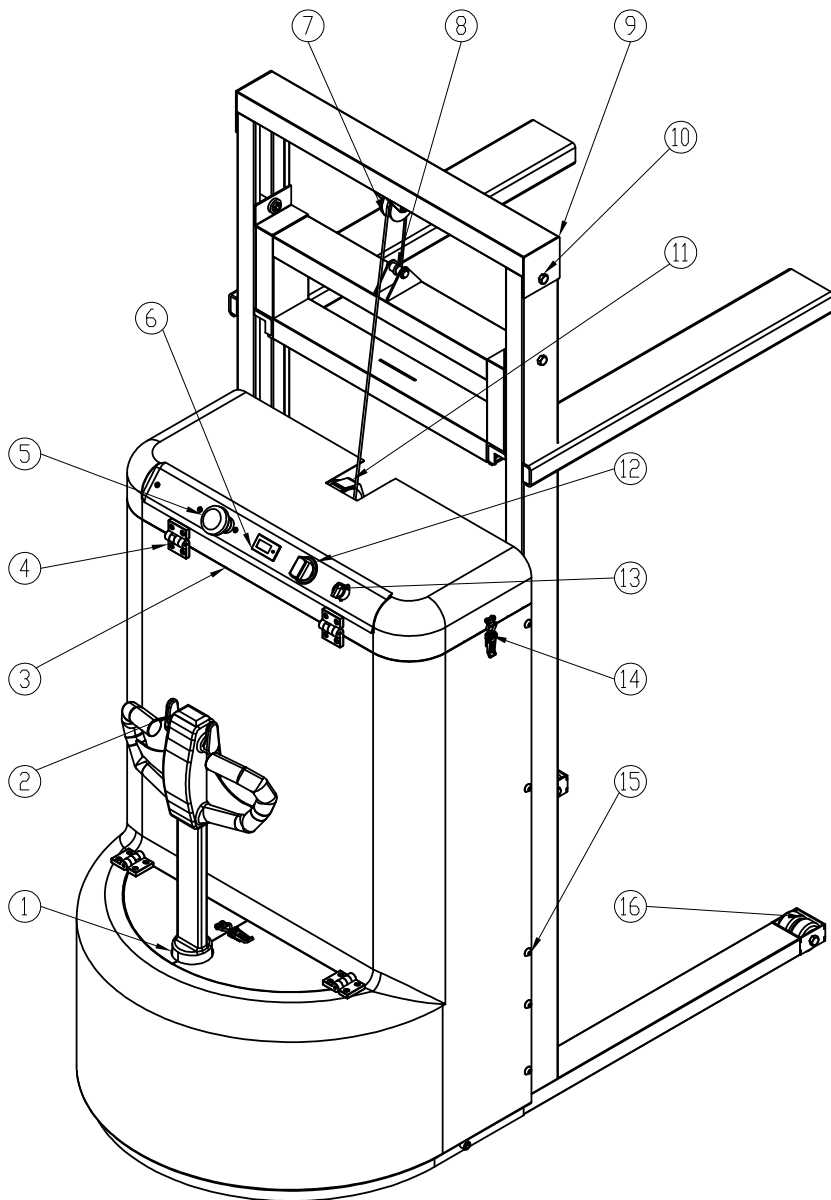
*Variable dependiente.*

VARIABLE DEPENDIENTE: TIEMPO DE OPERACIÓN				
Dimensiones	Definiciones	Indicador	Magnitud	Instrumento de medición o Fuente
<b>Peso de un tanque de grasa industrial</b>	<p><b>Definición conceptual:</b> Permite determinar el peso de la carga máxima que el operario debe cargar al vehículo de transporte .</p> <p><b>Definición operacional:</b> Es la magnitud en kilogramos de la carga máxima que el operario debe cargar al vehículo de transporte.</p>	Peso	Kilogramos	Balanza

**Nota:** La tabla presenta las definiciones de las dimensiones de la variable dependiente utilizada en la investigación, aplicadas al proceso de manipulación y transporte de suministros automotrices e industriales en la empresa FEDOCOM CIA. LTDA, cada variable puede tener diferentes dimensiones y todas ellas deben ser medibles.

## Anexo C: Planos diseño elevador móvil automático





20	2	Caja de Distribucion			
19	1	Guincha 2000Lb			
18	1	Controlador GBLG2600T			
17	1	Convertidor 24-12VDC			
16	4	Rueda de Carga	Poliuretano		
15	12	Perno Anclaje Carcasa			
14	3	Abrazadera de Palanca			
13	1	Sel. Mod. Funcionamiento			
12	1	Selector ON / OFF			
11	1	Cable Sujecion Orquillas			
10	18	Perno Anclaje Estructura			
9	1	Edtructa Principal	Acero Estructural	ASTM A36	
8	1	Conjunto Anclaje Cable			
7	1	Conjunto Polea			
6	1	Medidor de voltaje			
5	1	Boton Paro de Emergencia			
4	4	Visagra	ABS		
3	1	Carcasa	Fibra de Vidrio		
2	1	Mando manual TZH1			P.Superior
1	1	Mando manual TZH1			P.Inferior
Pos.	Cant.	Denominación	Material	Norma	Notas

25	1	Rueda Motriz Multidirec.			
24	1	Driver MDC1460			
23	1	SB350			
22	1	SB175			
21	1	SP32			
Pos.	Cant.	Denominación	Material	Norma	Notas

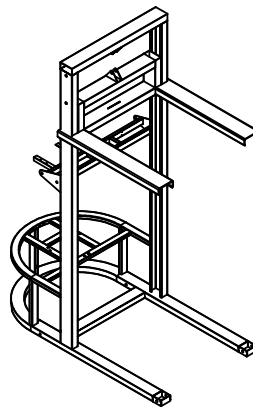
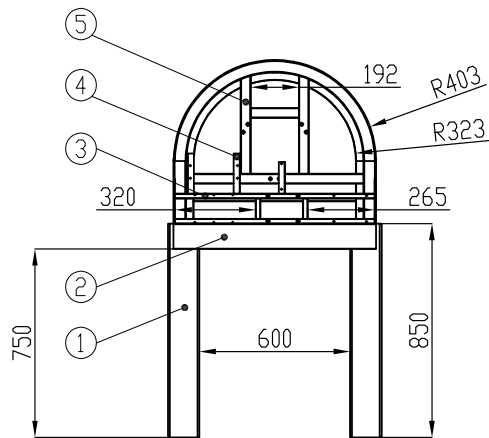
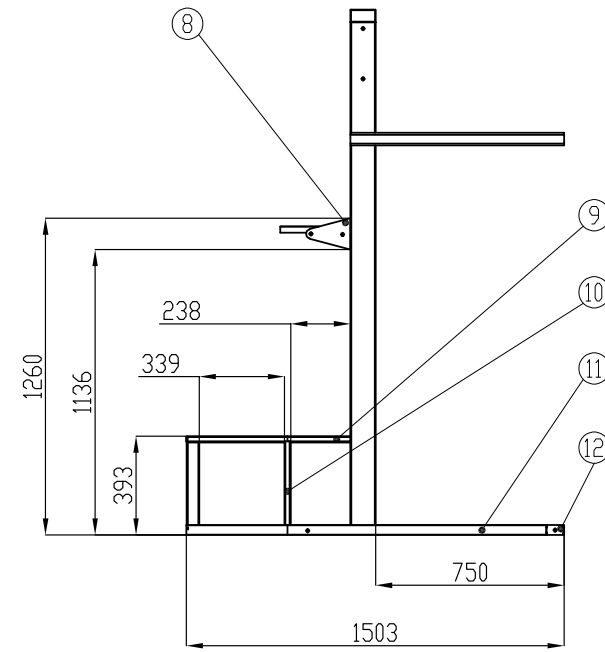
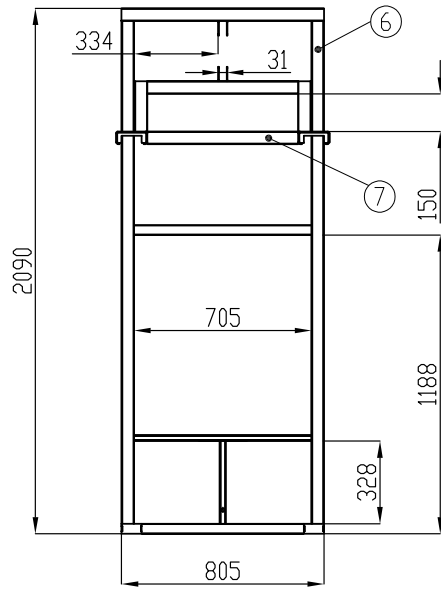
10	CICLO	Fecha	Nombre		
Dibujado	19/07/23	Maria Dominguez			
Comprobado	21/07/23	Ing. E. Cardenas			
Escala:	Tol. gen.:	Subconjunto:			
1:10					
Lámina:	01/03	<b>ELEVADOR MÓVIL AUTOMÁTICO</b>			




**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

SEDE MATRIZ CUENCA

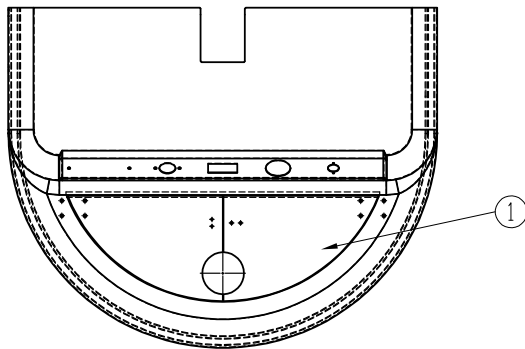
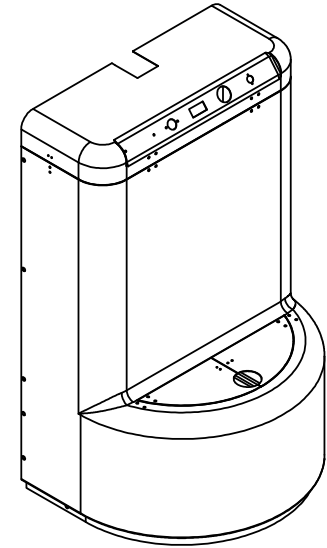
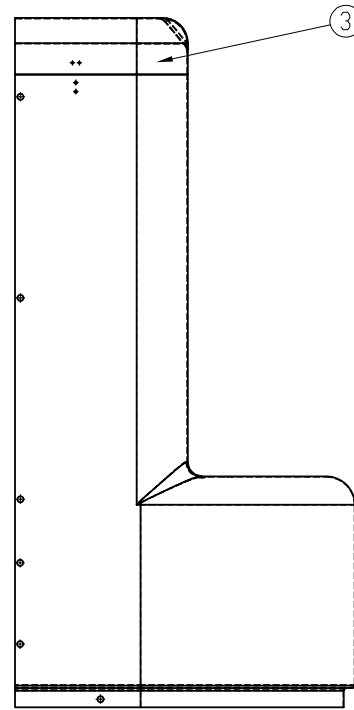
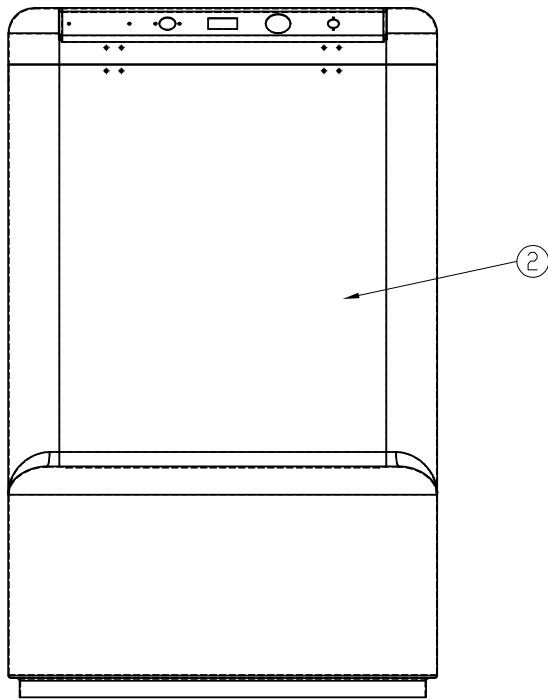
INGENIERÍAS  
Carrera de Ingeniería Mecánica



12	1	Soporte ruedas de apoyo	ACE. EST. Plancha e=3	ASTM A36	
11	1	Estructura base	ACE. EST. Perfil 40x80x3	ASTM A36	
10	18	Columnas de soporte	ACE. EST. Perfil 25x50x2	ASTM A36	
9	1	Base batería	ACE. EST. Perfil 25x50x2	ASTM A36	
8	1	Sujeción batería	ACE. EST. Plancha e=3	ASTM A36	
7	1	Estruc. horquillas móviles	ACE. EST. Perfil 100x50x2	ASTM A36	
6	1	Columna	ACE. EST. Perfil G 120x50x15x2	ASTM A36	
5	1	Soporte rueda motriz	ACE. EST. Perfil 40x20x2	ASTM A36	
4	4	Soporte controladores	ACE. EST. Perfil L 25x25x2	ASTM A36	
3	1	Soporte wincha	ACE. EST. Perfil 40x20x2	ASTM A36	
2	1	Perfil superior	ACE. EST. Perfil 100x50x2	ASTM A36	
1	1	Horquilla móvil	ACE. EST. Perfil G 125x50x15x5	ASTM A36	

Pos.	Cant.	Denominación	Material	Norma	Notas
10	CICLO	Fecha	Nombre	 <b>UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA</b> SEDE MATRIZ CUENCA INGENIERÍAS Carrera de Ingeniería Mecánica	
	Dibujado	19/07/23	Maria Dominguez		
	Comprobado	21/07/23	Ing. E. Cardenas		

Escala:	Tol. gen.:	Subconjunto:	ESTRUCTURA
1: 20			
Lámina:	02/03	<b>ELEVADOR MÓVIL AUTOMÁTICO</b>	

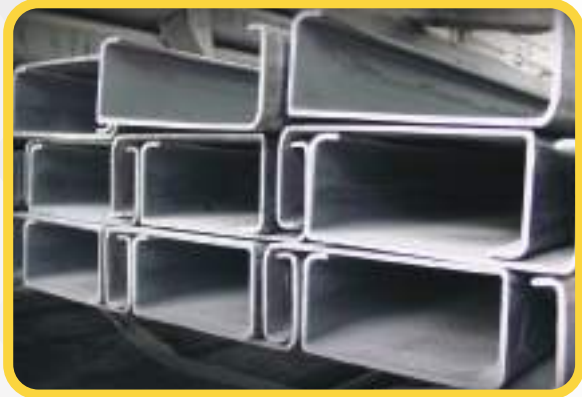


3	1	Tapa superior	Fibra de vidrio e=1.5		
2	1	Cuerpo	Fibra de vidrio e=1.5		
1	2	Compuerta inferior	Fibra de vidrio e=1.5		
Pos.	Cant.	Denominación	Material	Norma	Notas
10	CICLO	Fecha	Nombre	<b>UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA</b> SEDE MATRIZ CUENCA INGENIERÍAS Carrera de Ingeniería Mecánica	
	Dibujado	19/07/23	Maria Dominguez		
	Comprobado	21/07/23	Ing. E. Cardenas		
Escala:	Tol. gen.:	Subconjunto: CARCASA			
1: 10					
Lámina:	03/03	<b>ELEVADOR MÓVIL AUTOMÁTICO</b>			

**Anexo D: Catálogo productos DIPAC**

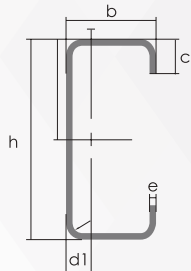
# PERFILES ESTRUCTURALES

## CORREAS "G"



### Especificaciones Generales:

<b>Norma:</b>	NTE INEN 1623
<b>Calidad:</b>	ASTM A36 - SAE J 403 1008
<b>Largo Normal:</b>	6.00m y medidas especiales
<b>Espesores:</b>	Desde 2mm - 12mm
<b>Acabado:</b>	Acero negro y galvanizado

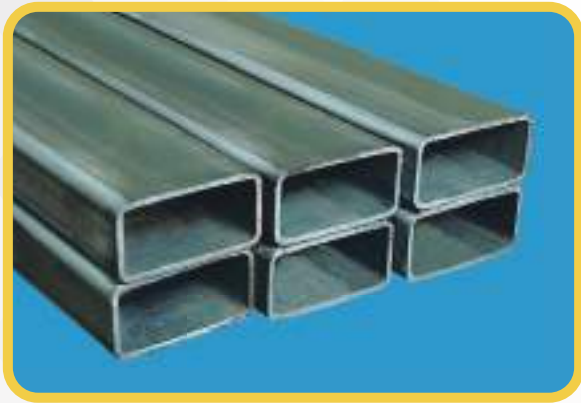


Dimensiones exteriores a la sección transversal. Radio de curvatura interior igual a 1,5e para espesores menores a 6,00 mm. Radio de curvatura interior igual a 2e para espesores de 6,00 mm o mayores

Designación	Dimensiones				Masa Kg/m	A cm <sup>2</sup>	d1 cm	Momento de inercia		Módulo resistente		Radio de giro	
	h	b	c	e				Ix	Iy	Wx	Wy	ix	iy
	mm	mm	mm	mm				cm <sup>4</sup>	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm <sup>3</sup>	cm	cm
G 60x30x10x2	60	30	10	2	1,96	2,54	1,44	14,88	5,28	4,9	2,74	2,42	1,44
G 80x40x15x2	80	40	15	2	2,75	3,54	1,46	35,25	8,07	8,81	3,18	3,16	1,51
G 80x40x15x3	80	40	15	3	3,95	5,11	1,46	49,04	10,85	12,26	4,27	3,1	1,46
G 80x50x15x2	80	50	15	2	3,06	3,88	1,46	41,11	13,55	10,28	4,34	3,23	1,88
G100x50x15x2	100	50	15	2	3,38	4,34	1,73	69,24	14,98	13,85	4,57	4,00	1,86
G100x50x15x3	100	50	15	3	4,89	6,31	1,72	97,78	20,51	19,56	6,25	3,94	1,8
G100x50x15x4	100	50	15	4	6,29	8,15	1,71	122,5	24,85	24,49	7,55	3,88	1,75
G100x50x20x4	100	50	20	4	6,60	8,55	1,85	126,7	28,5	25,34	9,05	3,85	1,83
G100x50x25x5	100	50	25	5	8,35	10,86	1,98	152,51	36,52	30,5	12,09	3,75	1,83
G125x50x15x2	125	50	15	2	3,77	4,84	1,56	116,4	16,16	18,63	4,69	4,91	1,83
G125x50x15x3	125	50	15	3	5,48	7,06	1,55	165,5	22,16	26,48	6,43	4,84	1,77
G125x50x15x4	125	50	15	4	7,07	9,15	1,54	208,7	26,88	33,39	7,78	4,78	1,71
G125x50x15x5	125	50	15	5	8,55	11,11	1,54	246,2	30,41	39,39	8,78	4,71	1,65
G125x50x20x4	125	50	20	4	7,39	9,55	1,68	217	30,9	34,7	9,32	4,77	1,8
G125x50x25x5	125	50	25	5	9,33	12,11	1,8	264,3	39,88	42,29	12,46	4,67	1,82
G125x50x30x6	125	50	30	6	11,32	14,73	1,92	307,1	48,69	49,14	15,81	4,56	1,81
G150x50x15x2	150	50	15	2	4,16	5,34	1,42	178,7	17,13	23,83	4,78	5,79	1,79
G150x50x15x3	150	50	15	3	6,07	7,81	1,42	255,2	23,49	34,03	6,56	5,72	1,73
G150x50x15x4	150	50	15	4	7,86	10,15	1,41	323,5	28,51	43,13	7,95	5,65	1,68
G150x50x15x5	150	50	15	5	9,53	12,36	1,41	383,6	32,27	51,15	8,98	5,57	1,62
G150x50x20x4	150	50	20	4	8,17	10,5	1,54	337	32,9	44,9	9,52	5,65	1,77
G150x75x25x5	150	75	25	5	12,28	15,86	2,65	545,4	117,2	72,71	24,17	5,86	2,72
G150x75x30x6	150	75	30	6	14,86	19,23	2,78	641,4	144,5	85,52	30,57	5,77	2,74
G175x50x15x2	175	50	15	2	4,56	5,84	1,31	257,7	17,92	29,45	4,85	6,64	1,75
G175x50x15x3	175	50	15	3	6,66	8,56	1,31	369,4	24,59	42,22	6,66	6,57	1,7
G175x50x15x4	175	50	15	4	8,64	11,15	1,3	470,0	29,85	53,71	8,07	6,49	1,64
G175x50x15x5	175	50	15	5	10,51	13,61	1,3	559,7	33,79	63,97	9,14	6,41	1,58
G175x75x25x4	175	75	25	4	10,84	13,9	2,48	653,0	105	74,6	20,9	6,84	2,75
G175x75x25x5	175	75	25	5	13,26	17,11	2,47	786,0	123,9	89,82	24,63	6,78	2,69
G175x75x30x6	175	75	30	6	16,03	20,73	2,6	929,4	152,8	106,2	31,19	6,7	2,72
G200x50x15x2	200	50	15	2	4,95	6,34	1,21	354,9	18,59	35,49	4,91	7,48	1,71
G200x50x15x3	200	50	15	3	7,25	9,31	1,21	510,3	25,51	51,03	6,73	7,4	1,66
G200x50x15x4	200	50	15	4	9,43	12,15	1,21	651,4	30,96	65,14	8,18	7,32	1,6
G200x50x15x5	200	50	15	5	11,49	14,86	1,21	778,3	35,06	77,83	9,26	7,24	1,54
G200x75x25x4	200	75	25	4	11,63	14,9	2,32	895,0	110,0	89,50	21,3	7,64	2,71
G200x75x25x5	200	75	25	5	14,24	18,37	2,32	1080,0	129,6	108,0	25,02	7,67	2,66
G200x75x30x6	200	75	30	6	17,21	22,23	2,45	1282,0	160,2	128,2	31,73	7,59	2,68
G250x75x25x4	250	75	25	4	13,20	6,90	2,07	1520,0	118,0	122,0	21,7	9,48	2,64
G250x100x25x5	250	100	25	5	18,17	23,36	2,73	2219,0	285,3	177,5	39,24	9,75	3,49
G250x100x30x6	250	100	30	6	21,92	8,23	3,1	2647,0	383,5	219,8	55,58	9,68	3,69
G300x100x30x4	300	100	30	4	16,65	21,3	2,84	2860,0	274,0	191,0	38,3	11,6	3,58
G300x100x35x5	300	100	35	5	20,91	26,9	2,97	3560,0	351,0	237,0	49,9	11,5	3,62
G300x100x35x6	300	100	35	6	24,75	31,8	2,96	4170,0	404,0	278,0	57,4	11,4	3,56

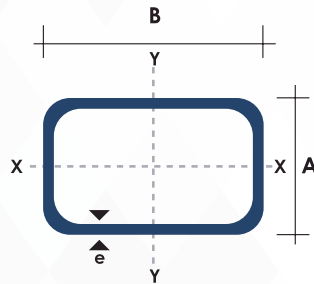
\*Otras calidades, largos y acabados: previa consulta

# TUBO ESTRUCTURAL RECTANGULAR



## Especificaciones Generales:

<b>Norma</b>	NTE INEN 2415
<b>Calidad:</b>	SAE J 403 1008
<b>Acabado:</b>	Acero negro o galvanizado
<b>Largo normal:</b>	6.00 m y medidas especiales
<b>Dimensiones:</b>	Desde 20mm x 40mm a 50mm x 150mm
<b>Espesores:</b>	Desde 1,20mm a 3,00mm



Dimensiones				Área	Ejes Y-Y			Ejes X - X		
A mm	B mm	Espesor (e) mm	Peso Kg/m	Área cm <sup>2</sup>	I cm <sup>4</sup>	W cm <sup>3</sup>	i cm	i cm <sup>4</sup>	W cm <sup>3</sup>	i cm <sup>3</sup>
20	40	1.2	1.09	1.32	2.61	1.30	1.12	0.88	0.88	0.83
20	40	1.5	1.35	1.65	3.26	1.63	1.40	1.09	1.09	0.81
20	40	2.0	1.78	2.14	4.04	2.02	1.37	1.33	1.33	0.79
25	50	1.5	1.71	2.10	6.39	2.56	1.74	2.19	1.75	1.02
25	50	2.0	2.25	2.74	8.37	3.35	1.75	2.80	2.24	1.01
25	50	3.0	3.30	4.14	12.56	5.02	1.74	3.99	3.19	0.99
30	50	1.5	1.88	2.25	7.27	2.91	1.80	3.32	2.21	1.21
30	50	2.0	2.41	2.94	9.52	3.81	1.80	4.28	2.85	1.21
30	50	3.0	3.30	4.21	12.78	5.11	1.74	5.66	3.77	1.16
30	70	2.0	3.03	3.74	22.20	6.34	2.44	5.85	3.90	1.25
30	70	3.0	4.48	5.41	30.50	8.71	2.37	7.84	5.23	1.20
40	60	1.5	2.29	2.91	14.90	4.97	2.26	7.94	3.97	1.65
40	60	2.0	3.03	3.74	18.08	6.13	2.22	9.81	4.90	1.62
40	60	3.0	4.48	5.41	25.31	8.44	2.16	13.37	6.69	1.57
30	70	1.5	2.34	2.91	18.08	5.17	2.49	4.76	3.17	1.28
30	70	2.0	2.93	3.74	22.20	6.34	2.44	5.85	3.90	1.25
30	70	3.0	4.25	5.41	30.50	8.71	2.37	7.84	5.23	1.20
40	80	1.5	2.76	3.74	31.75	7.94	2.91	10.77	5.39	1.70
40	80	2.0	3.66	4.54	37.32	9.33	2.87	12.70	6.35	1.67
40	80	3.0	5.42	6.61	52.16	13.04	2.81	17.49	8.75	1.63
50	100	2.0	4.52	5.74	74.94	14.99	3.61	25.65	10.26	2.11
50	100	3.0	6.71	8.41	106.34	21.27	3.56	35.97	14.39	2.07
50	150	2.0	6.17	7.74	207.45	27.66	5.18	37.17	14.87	2.19
50	150	3.0	9.17	11.41	298.35	39.78	5.11	52.54	21.02	2.15