



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

DISEÑO DE UN DISPOSITIVO MECATRÓNICO PARA CONTEO  
AUTOMÁTICO EN MÁQUINAS TRANSPORTADORAS DE CARTÓN

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

AUTORES: ESTEBAN ISRAEL BERREZUETA LINCANGO  
MATEO SEBASTIÁN BRITO ÁLVAREZ

TUTOR: ING. DIEGO RENÉ URGILÉS CONTRERAS, MSc.

CO-TUTOR: ING. MÓNICA ALEXANDRA ROMERO SACOTO, MSc.

Cuenca – Ecuador

2023

# CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Esteban Israel Berrezueta Lincango con documento de identificación N° 0150093268 y Mateo Sebastián Brito Álvarez con documento de identificación N° 0105010557; 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.

Cuenca, 24 de febrero del 2023

Atentamente,



---

**Esteban Israel Berrezueta Lincango**  
**0150093268**



---

**Mateo Sebastián Brito Álvarez**  
**0105010557**

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

Nosotros, Esteban Israel Berrezueta Lincango con documento de identificación N° 0150093268 y Mateo Sebastián Brito Álvarez con documento de identificación N° 0105010557, 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 dispositivo mecatrónico para conteo automático en máquinas transportadoras de cartón", el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero en Mecatrónica, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

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

Cuenca, 24 de febrero del 2023

Atentamente,



---

**Esteban Israel Berrezueta Lincango**  
**0150093268**



---

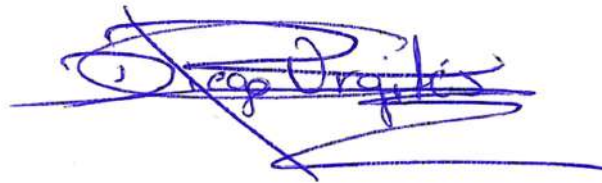
**Mateo Sebastián Brito Álvarez**  
**0105010557**

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

Yo, Diego René Urgilés Contreras con documento de identificación N° 0104431374, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DISEÑO DE UN DISPOSITIVO MECATRÓNICO PARA CONTEO AUTOMÁTICO EN MÁQUINAS TRANSPORTADORAS DE CARTÓN, realizado por Esteban Israel Berrezueta Lincango con documento de identificación N° 0150093268 y Mateo Sebastián Brito Álvarez con documento de identificación N° 0105010557, 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.

Cuenca, 24 de febrero del 2023

Atentamente,



---

**Ing. Diego René Urgilés Contreras, MSc.**  
**0104431374**

# Dedicatoria

## ***Esteban Israel***

El presente proyecto de titulación está dedicado:

Para mi madre Yajaira y mi abuela Alba que han guiado mi camino toda mi vida para llegar a este punto, siempre serán mi inspiración para cumplir todo lo que quiero y mis logros serán en honor a ellas, sin su apoyo nunca lo hubiera logrado y agradezco a la vida por tenerlas siempre conmigo y en mi corazón, las Amo mucho.

Agradezco a mis hermanos Sebastián y Alin, a mis tías Daniela y Gabriela por siempre preocuparse y estar junto a mi, ya sea en lo bueno o en lo malo, son mis seres mas queridos en esta vida. Y a mi Laika porqué es un ser lleno de amor que estuvo conmigo en todas las noches de desvelo y en todo, sin pedir nada cambio.

## ***Mateo Sebastián***

Este trabajo esta dedicado a aquellas personas que han conformado parte de mi vida, aportando a mi crecimiento personal, impulsándome siempre a seguir hacia delante, a pesar de las adversidades.

Agradezco a Dios por ponerme en este camino designado por el para mi crecimiento y desarrollo cumpliendo con sus expectativas de la mejor manera.

Finalmente dedico este triunfo especialmente a mi familia por estar conmigo en cada paso que doy, sean éxitos o caídas para fortalecerme y continuar con mis metas propuestas.

# Agradecimientos

## *Esteban Israel*

Agradezco principalmente a mi madre por ayudarme a culminar mis estudios, la cual siempre ve lo mejor para mi vida y esta dispuesta a todo por ayudarme a ser una mejor persona, le dedico todos mi triunfos de esta vida.

También me siento muy agradecido con mis amigos y compañeros de los cuales he aprendido muchas cosas buenas de todos ellos para poder superarme, tantos buenos momentos que tuvimos y por los cuales nunca olvidaré su ayuda.

Le agradezco a mi tutor de proyecto de titulación Ing. Diego Urgilés por su apoyo, dedicación y paciencia, durante este tiempo en el cual siempre nos recibió con mucho cariño para poder culminar con el presente. Así mismo agradezco a la Ing. Mónica Romero por su ayuda y por recibirnos para cualquier duda que tuvimos sobre el proyecto.

## *Mateo Sebastián*

Agradezco a mis padres Carlos y Lupe por haberme brindado las mejores características de cada uno y brindarme su apoyo incondicional para cumplir con mis metas dándome la oportunidad de superarme a mi mismo gracias a sus arduos esfuerzos.

Al Ing. Diego Urgilés, que mediante su acompañamiento, conocimiento y paciencia nos a permitido realizar un trabajo de altísima calidad. Así también mi sincero agradecimiento a; Ing. Mónica Romero, Ing. Eugenio Cárdenas, Ing, Luis López, Ing. Edy Ayala Ing. Paul Chasi, Ing. Julio Loja y a todas las personas que me faltan y han sido un gran soporte para yo poder seguir adelante con mis estudios.

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>XV</b>
<b>Abstract</b>	<b>XVI</b>
<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
<b>2. Problema</b>	<b>2</b>
2.1. Antecedentes . . . . .	2
2.2. Descripción del problema . . . . .	3
2.3. Importancia y alcances . . . . .	7
2.4. Delimitación . . . . .	7
2.4.1. Espacial o geográfica . . . . .	8
2.4.2. Temporal . . . . .	8
2.4.3. Sectorial o institucional . . . . .	8
2.5. Problema General . . . . .	8
2.6. Problemas Específicos . . . . .	8
<b>3. Objetivos</b>	<b>9</b>
3.1. Objetivo General . . . . .	9
3.2. Objetivos Específicos . . . . .	9
<b>4. Hipótesis</b>	<b>9</b>
4.1. Hipótesis General . . . . .	9
4.2. Hipótesis Específicas . . . . .	9



<b>5. Marco Teórico</b>	<b>10</b>
5.1. El cartón . . . . .	10
5.2. Conformado y tipos cartón . . . . .	10
5.3. Fuerzas Dinámicas . . . . .	11
5.4. La masa . . . . .	11
5.5. Momento de inercia de masa . . . . .	12
5.6. Teorema de ejes paralelos . . . . .	12
5.7. Selección de materiales . . . . .	12
5.8. Elementos Neumáticos de Trabajo . . . . .	13
5.9. Elementos del sistema del eléctrico . . . . .	13
5.9.1. Sensores Láser industrial . . . . .	13
5.9.2. Sensores SD - Sistema de transmisión . . . . .	14
5.9.3. Sensores EO / RO - Sistema de barrera . . . . .	15
<b>6. Marco metodológico</b>	<b>16</b>
6.1. Establecimiento de los parámetros iniciales para el diseño mecatrónico de un dispositivo mecatrónico de conteo automático de cartón . . . . .	17
6.1.1. Investigación preliminar . . . . .	18
6.2. Especificaciones de diseño . . . . .	18
6.3. Propuesta del diseño mecánico del dispositivo de conteo automático de cartón	19
6.3.1. Análisis . . . . .	19
6.3.2. Selección de prototipos . . . . .	20
6.3.3. Matriz de decisión . . . . .	23
6.4. Propuesta de diseño mecánico . . . . .	24
6.4.1. Funcionalidad del sistema . . . . .	24
6.4.2. Plataforma de recepción de cartones . . . . .	25
6.4.3. Determinación de lotes de cartón . . . . .	26
6.4.4. Plataforma de unión eje-receptoras . . . . .	26
6.4.5. Eje . . . . .	27
6.4.6. Acople motor-eje . . . . .	28
6.4.7. Acople motor-Plataforma . . . . .	29
6.4.8. Mesa de soporte . . . . .	30
6.4.9. Rodamiento y su soporte . . . . .	31
6.5. Selección de materiales . . . . .	32
6.5.1. Clasificación de materiales . . . . .	34

6.5.2. Índice de material . . . . .	35
6.6. Análisis de fuerzas del sistema sobre el eje de transmisión . . . . .	38
6.6.1. Cálculo del eje . . . . .	39
6.7. Dinámica Rotacional . . . . .	44
6.8. Momento de inercia del sólido rígido . . . . .	45
6.8.1. Momento de inercia de la plataforma de unión . . . . .	45
6.8.2. Momento de inercia del cartón . . . . .	46
6.8.3. Momento de inercia del lote de cartones . . . . .	47
6.8.4. Momento de inercia del sistema total . . . . .	48
6.9. Cálculo del torque. . . . .	51
6.10. Cálculo del ángulo de torsión del eje. . . . .	54
6.11. Cálculo del pandeo crítico del eje. . . . .	55
6.12. Selección del motor . . . . .	58
6.13. Carga Estructural . . . . .	60
6.13.1. Análisis del esfuerzo . . . . .	63
6.14. Cálculos de la fuerza de rozamiento . . . . .	65
6.15. Cálculos de la chaveta . . . . .	69
6.16. Cálculos del soporte de rodamientos . . . . .	74
6.17. Selección de actuadores . . . . .	75
6.17.1. Sensor SD - Sistema de transmisión . . . . .	75
6.17.2. EO / RO - Sistema de barrera . . . . .	76
6.17.3. Selección pistón . . . . .	78
6.18. Control de un motor de corriente continua con reductor . . . . .	79
6.19. Simulaciones . . . . .	92
6.19.1. Selección de materiales en CES Edupack . . . . .	92
6.19.2. Simulación en ANSYS del eje . . . . .	95
6.19.3. Simulación en ANSYS del soporte del rodamiento . . . . .	98
6.19.4. Simulación en ADAMS del sistema . . . . .	99
6.19.5. Flujograma en TIA PORTAL S7 1500 . . . . .	101
6.19.6. Circuito del dispositivo automático de conteo de cartón . . . . .	108
<b>7. Cronograma y actividades</b>	<b>109</b>
<b>8. Presupuesto</b>	<b>111</b>
8.1. Recursos materiales . . . . .	111

<b>9. Resultados</b>	<b>111</b>
9.1. Establecer los parámetros iniciales del diseño de un dispositivo mecatrónico para conteo automático en máquinas transportadoras de cartón. . . . .	111
9.2. Proponer el diseño de un dispositivo mecatrónico para conteo automático en máquinas transportadoras de cartón. . . . .	112
9.2.1. Cálculos y fórmulas del sistema sintetizados . . . . .	113
9.2.2. Funcionamiento del dispositivo mecatrónico para conteo automático de cartón . . . . .	113
9.3. Simular el diseño de un dispositivo mecatrónico para conteo automático en máquinas transportadoras de cartón. . . . .	115
 <b>10. Conclusiones</b>	 <b>116</b>
 <b>11. Recomendaciones</b>	 <b>118</b>
 <b>Referencias</b>	 <b>120</b>
 <b>ANEXOS</b>	 <b>121</b>

## Lista de Tablas

1.	Normas INEN . . . . .	19
2.	Matriz de Decisión . . . . .	24
3.	Parámetros de componentes . . . . .	33
4.	Resistencia a la rotura . . . . .	34
5.	Límite elástico promedio . . . . .	35
6.	Densidad de los metales . . . . .	35
7.	Motor D.C ME71V . . . . .	59
8.	Normas DIN 6885 A . . . . .	69
9.	Acero inoxidable AISI 316Ti . . . . .	72
10.	Características de los sensores SD . . . . .	76
11.	Característica del sensor emisor EO / RO . . . . .	77
12.	Característica del sensor receptor EO / RO . . . . .	78
13.	Característica del pistón / RO . . . . .	79
14.	Tabla de variables del proceso del sistema. . . . .	108
15.	Cronograma de actividades. . . . .	110
16.	Recursos materiales . . . . .	111
17.	Tabla de Resultados . . . . .	113
18.	Resultado de simulación . . . . .	116
19.	Matriz de consistencia . . . . .	122

## Lista de Figuras

1.	Contador . . . . .	3
2.	Pisador . . . . .	4
3.	Conteo Manual de Cartón. . . . .	5
4.	Proceso de conteo. . . . .	6
5.	Conteo Manual . . . . .	7
6.	Universidad Politécnica Salesiana. . . . .	8
7.	Designación de espesor de cartón . . . . .	10
8.	Pistón de doble efecto . . . . .	13
9.	Sensor láser industrial . . . . .	14
10.	Funcionamiento de un sensor SD . . . . .	15
11.	Funcionamiento de un sensor EO / RO . . . . .	16
12.	Metodología del proceso . . . . .	17
13.	Prototipo 1 . . . . .	21
14.	Prototipo 2 . . . . .	22
15.	Prototipo 3 . . . . .	23
16.	Plataforma de recepción . . . . .	25
17.	Plataforma de unión eje-receptoras . . . . .	27
18.	Eje . . . . .	28
19.	Acople motor-eje . . . . .	29
20.	Acople motor-plataforma . . . . .	30
21.	Mesa de soporte . . . . .	31
22.	Rodamiento y sus soportes . . . . .	32
23.	Propiedades de la plataforma de receptora y plataforma de unión . . . . .	38
24.	Propiedades Eje . . . . .	40
25.	Carga Distribuida . . . . .	41
26.	Carga Resultante . . . . .	42
27.	Fuerza Puntual . . . . .	43
28.	Sistema de ejes . . . . .	45
29.	Inercia plataforma de Unión . . . . .	46
30.	Inercia del de Cartón . . . . .	47
31.	Inercia del Lote de Cartón . . . . .	48
32.	Inercia del Lote de Cartón . . . . .	49
33.	Inercia tipo disco hueco del Sistema . . . . .	50

34.	6 Corner Box . . . . .	52
35.	DCL Eje de Transmisión . . . . .	54
36.	Cargas que producen pandeo. . . . .	56
37.	Coefficiente de pandeo. . . . .	57
38.	Selección Motor . . . . .	60
39.	Carga Estructura mesa de soporte . . . . .	61
40.	Carga Total en Estructura mesa de soporte . . . . .	62
41.	Sección de área de soporte . . . . .	63
42.	Figura compuesta fragmentada . . . . .	64
43.	Fuerza de rozamiento . . . . .	66
44.	Medidas de la chaveta según la norma DIN 6865 A . . . . .	69
45.	Medidas de la chaveta . . . . .	70
46.	Características de la chaveta en inventor . . . . .	71
47.	Carga en soporte de rodamientos . . . . .	74
48.	Sensor SD . . . . .	76
49.	Característica del sensor emisor EO / RO . . . . .	77
50.	Diagrama Eléctrico Motor DC . . . . .	80
51.	Simulink Matlab . . . . .	83
52.	Voltaje Pico . . . . .	84
53.	Velocidad en <i>rpm</i> . . . . .	84
54.	Corriente de arranque . . . . .	85
55.	Torque motor . . . . .	86
56.	Velocidad de Salida . . . . .	86
57.	Torque de Salida . . . . .	87
58.	Control corriente . . . . .	89
59.	Velocidad angular . . . . .	90
60.	Validación del modelo . . . . .	91
61.	Simulación de resistencia a la fractura de metales . . . . .	92
62.	Simulación de la fuerza de tensión de metales . . . . .	93
63.	Simulación del limite elástico en los metales . . . . .	94
64.	Simulación del precio de los metales . . . . .	95
65.	Simulación de la fuerza de aplastamiento sobre el eje . . . . .	96
66.	Simulación de la deformación del eje . . . . .	97
67.	Simulación del aplastamiento del soporte de rodamiento. . . . .	98
68.	Simulación de la deformación del soporte de rodamiento. . . . .	99

69.	Simulación Dinámica del Dispositivo. . . . .	100
70.	Simulación de Fuerzas Correlacionadas. . . . .	101
71.	Simulación del proceso de funcionamiento del dispositivo. . . . .	102
72.	Conteo PV 10. . . . .	103
73.	Giro Motor . . . . .	104
74.	Activación Encoder. . . . .	104
75.	Activación del Pistón. . . . .	105
76.	Desactivación del Pistón. . . . .	105
77.	SET POINT y PID. . . . .	106
78.	Salida PID. . . . .	107
79.	Simulación del circuito del dispositivo automático de conteo de cartón. . . .	109
80.	Funcionamiento del dispositivo mecatrónico para conteo automático de cartón	114
81.	Funcionamiento del dispositivo mecatrónico para conteo automático de cartón	115

## Resumen

**E**ste proyecto presenta el diseño de un dispositivo de conteo automático de cartón en donde se mostrará el diseño y análisis mecánico, circuito eléctrico, interfaz de control del motor actuador como corazón central del sistema que está dirigida a las industrias cartoneras que presentan un proceso manual de conteo de cartón.

Para realizar el diseño mecatrónico se procede a determinar los parámetros iniciales respecto a una máquina modelo comercial marca Rolam 650 CS SERIES Automatic High Speed 4 and 6 corner Folder Gluer la cual no presenta un sistema de conteo automático de cartón.

Para el diseño mecánico se realizará un análisis dinámico rotacional en base a las leyes de Newton para determinar las fuerzas actuantes en el sistema y la selección de materiales favorables para su desempeño.

Además, se incluye el diseño eléctrico con su respectivo proceso de control para la optimización del dispositivo.

Finalizando el proceso con la simulación de resultados sobre selección de materiales, simulación dinámica, control, diseño eléctrico, se compara con los datos calculados presentando condiciones óptimas que solventan los requerimientos de ingeniería del diseño.

**Palabras clave:** Dispositivo, Conteo Automático, Torque, Control, Materiales.



## Abstract

**T**his project presents the design of an automatic cardboard counting device where the design and mechanical analysis, electrical circuit, the motor control interface actuator as the central heart of the system that is aimed at the industries that feature a manual corrugated cardboard counting process.

To carry out the mechatronic design, the initial parameters are determined with respect to a commercial model brand machine Rolam 650 CS SERIES Automatic High Speed 4 and 6 corner Folder Gluer, which does not have an automatic cardboard counting system.

Owthe other hand, the mechanical design, a dynamic rotational analysis will be performed based on Newton's laws to determine the forces acting on the system and the selection of favorable materials for its performance.

In addition, the electrical design is included with its respective control process for the optimization of the device.

Finally, it will made the simulation the process the whole results on material selection, dynamic simulation, control, electrical design, will be compared with the calculated data presenting optimal conditions that solve the requirements desing.

**Keywords:** Device, Automatic Counting, Torque, Control, Materials.

# 1. Introducción

**E**l cartón es el componente principal para el transporte a bajo costo de productos que presenta bastante rigidez para el cuidado de los distintos tipos de artículos, lo que le convierte en un elemento de alta demanda en el mercado nacional e internacional.

En el mundo existen varias compañías de producción de cartón, por ende existen empresas especializadas en hacer máquinas para la producción en serie de cartón, las cuales son exportadas hacia varios continentes, para lo cual el presente proyecto se enfoca en la producción de cartón en Ecuador, en la etapa de doblado-engomado, en el proceso específico del conteo de cartón.

En Ecuador, existen varias industrias cartoneras que aportan significativamente a la economía del país, a pesar de que el sector cartonero ha sufrido una disminución en su consumo a nivel mundial, debido al avance de la tecnología y el cuidado del medio-ambiente, sin embargo, las empresas se han adaptado a este cambio siendo más amigables con el planeta y estableciendo un método de reciclaje, minimizando así el consumo masivo de la materia prima.

En el caso del avance tecnológico, las empresas presentan un sistema automatizado, el cual evita el excesivo uso de la mano de obra, buscando mejorar estos procesos. Si bien existen máquinas las cuales ya poseen un proceso automático de conteo de cartón, aún existen muchas otras que no poseen este proceso automático, como por ejemplo, las empresas cartonera PICHINCHA, INCARPALM, PROCARSA y CARTONERA DEL AUSTRO.

Por otra parte, durante las prácticas profesionales se comprobó que los procesos automáticos de conteo de cartón en máquinas dobladoras-engomadoras generan concavidades en las paredes laterales del cartón debido a que el pateador realiza un desplazamiento horizontal que impacta entre los cartones y el retenedor generando deficiencias en el conteo y calidad del cartón, tal como se presentó en el apartado de antecedentes.

De esta forma, en las industrias cartoneras del Ecuador, se ha identificado una problemática real y común, en el sistema final de su proceso de producción, el cual resulta arcaico y dependiente de los trabajadores.

En efecto, el presente trabajo busca automatizar la fase final de conteo de producto de las industrias cartoneras, optimizando el proceso manual al automatizarlo, garantizando la calidad del producto y su correcto número de cartones por lote (INCARPALM, 2018).

Finalmente, el presente trabajo busca proponer el diseño de un dispositivo mecatrónico que pueda solucionar el problema del conteo automático de cartón después del proceso de engomado-doblado para máquinas que no posean este proceso de conteo, reduciendo el exceso

de mano de obra, tiempos muertos y defectos al tener un conteo exacto, eficaz y preciso.

## **2. Problema**

### **2.1. Antecedentes**

Las industrias del cartón después de su etapa de doblado y encolado necesita de la formación de lotes de cartón corrugado, que sirve para envolver objetos de diferentes formas, proporcionándoles una protección óptima frente a golpes, arañazos y todo tipo de agresiones que sean susceptibles de sufrir durante su traslado, haciendo de este un material conveniente para la producción, comercialización y distribución de bienes para las industrias (Nexus-Gestando y cols., 2014); debido a esto tienen una gran demanda, siendo necesario realizar una producción por lotes de acuerdo con las necesidades del cliente, de este modo para evitar un conteo manual e inexacto, se propone el diseño de un dispositivo mecatrónico para conteo y transporte durante esta fase.

Las máquinas usadas para el transporte y conteo de cartón generalmente producen daños en la calidad de las paredes laterales del cartón debido a la acción entre los pateadores de expulsión de cartón y a la presión de los retenedores sobre el producto, lo que afecta a la calidad y genera dificultad para contar las cajas posterior al proceso de doblado, además de un mal proporcionamiento de lotes lo que genera que haya más demanda de personal para el conteo de cartón y revisión de calidad maximizando los costos de la empresa (IMPACK, 2020).

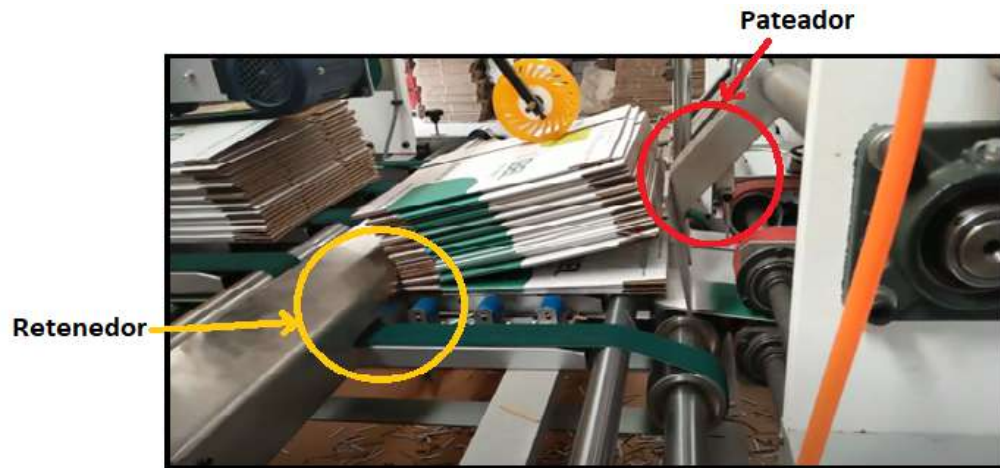
Existen varias máquinas con un proceso de conteo manual, lo cual genera un retraso en la producción, también existen máquinas con un contador de cartones automático, pero sus costos son elevados y no venden el contador por separado sino junto a toda la máquina. Por lo que se identifica un modelo de máquina con arquitectura común o general dentro del proceso de engomado-doblado de cartones con las siguientes características "650 CS SERIES Automatic High Speed 4 and 6 corner Folder Gluer" la cual consta con un conteo de cartones manual, esta será la máquina guía para la obtención de las medidas y además de la recepción de cartones, también se obtendrá el tipo y tamaño de cartón a usar, para que en la etapa posterior sirva como acople para máquinas con similares características (ROLAM, 2021).

## 2.2. Descripción del problema

En el presente estudio se analizará el caso de una máquina contadora que se encuentre en una línea de producción de cartón en su fase de doblado, que presenta un diseño establecido para un modelo de cartón corrugado, que sufre defectos cuando se produce un nuevo diseño o modelo de cartón, esto debido a la mecánica en posición perpendicular entre el pateador y el recolector de cartones al impactar deforma una de las paredes laterales, generando además estancamientos por obstrucción debido a la mala liberación de transporte de lotes de cartones como lo muestra la figura 1.

### Figura 1

*Contador.*



**Nota:** El pateador realiza un desplazamiento horizontal que impacta entre los cartones y el retenedor además de un transporte inexacto de lote por estancamiento del producto generando deficiencias en el conteo y calidad, la traba de lotes de cartón producen el paro general de la línea aumentando el tiempo de producción y generando mayor gasto energético, tomado de (David Yang, 2016).

En la línea de producción en el proceso de conteo de cartón se genera estancamientos, por ende la producción sufre retrasos como se observa en la figura 2.

## Figura 2

*Pisador.*



**Nota:** El pisador realiza una fuerza perpendicular sobre el cartón para poder desplazar un número determinado de productos, este valor se ve afectado debido a un mal control de posición y una fuerza fija para todos los modelos de cartones, tomado de (Maqui-Corrugado, 12, junio, 2017).

Posterior al proceso de doblado y engomado se realiza el conteo de cartones para su almacenamiento, sin embargo, en Ecuador existen algunas líneas de producción que realizan este proceso de forma manual, uno de esos casos se encuentra en INCARPALM como se observa en la figura 3.

### Figura 3

*Conteo Manual de Cartón.*



**Nota:** Se puede observar el proceso donde el operario manipula el producto para contar acomodarlo y formar lotes de cartón para su posterior proceso de embalaje y almacenamiento, tomado de (INCARPALM, 2018).

Existen máquinas dobladoras de cartón en distintas industrias y diversos países en las cuales no constan con un proceso automático de conteo y transporte, razón por la cual se necesita de un operario para realizar esta función, como se muestra en la figura 4.

#### Figura 4

*Proceso de conteo.*



**Nota:** Se realiza un proceso de conteo manual del cartón, realizado por un operador, la velocidad de la producción esta relacionada con la capacidad del operador, tomado de (Waste stripper carton, 2017).

Se repite el conteo posterior al proceso de doblado-engomado debido a que la cantidad de cartones no es la requerida, esta es generada por un mal diseño de la máquina contadora, en la figura 5 se puede denotar el conteo manual.

## Figura 5

*Conteo Manual.*



**Nota:** A pesar de poseer un sistema de conteo el proceso vuelve a repetirse de manera manual debido a que el diseño del dispositivo no proporciona un volumen adecuado de salida respecto al valor del contador. Tomado de (sammexdemexico, 6, septiembre, 2012).

### 2.3. Importancia y alcances

El alcance del proyecto solo abarcará el diseño de un dispositivo mecatrónico para conteo automático en máquinas transportadoras de cartón.

Las pruebas de funcionalidad solo se basarán en la respuesta de los movimientos dinámicos y cinemáticos a través de la simulación en software.

El análisis del material adecuado para el diseño del dispositivo de mejora del conteo y transporte de la máquina se basará en software de simulación dinámico, modelado 3d y software para la sección de materiales.

### 2.4. Delimitación

El problema de estudio se delimitará en las siguientes dimensiones:



### 2.4.1. Espacial o geográfica

El presente proyecto se llevará a cabo dentro de la Universidad Politécnica Salesiana, sede Cuenca, en la provincia del Azuay, como se muestra en la figura 6.

### Figura 6

*Universidad Politécnica Salesiana.*



**Nota:** Se observa la Universidad Politécnica Salesiana, sede Cuenca, tomado de (UPS, s.f.).

### 2.4.2. Temporal

La duración del proyecto tomará 5-6 meses después de la aprobación del ante proyecto.

### 2.4.3. Sectorial o institucional

El proyecto será desarrollado en la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca.

## 2.5. Problema General

- ¿Es posible diseñar un dispositivo mecatrónico para conteo automático en máquinas transportadoras de cartón?

## 2.6. Problemas Específicos

- ¿Se podrá establecer los parámetros iniciales del diseño de un dispositivo mecatrónico para conteo automático en máquinas transportadoras de cartón?

- ¿Es posible Proponer el diseño de un dispositivo mecatrónico para conteo automático en máquinas transportadoras de cartón?
- ¿Es factible simular el diseño de un dispositivo mecatrónico para conteo automático en máquinas transportadoras de cartón?

### **3. Objetivos**

#### **3.1. Objetivo General**

- Diseñar un dispositivo mecatrónico para conteo automático en máquinas transportadoras de cartón.

#### **3.2. Objetivos Específicos**

- Establecer los parámetros iniciales del diseño de un dispositivo mecatrónico para conteo automático en máquinas transportadoras de cartón.
- Proponer el diseño mecánico de un dispositivo mecatrónico para conteo automático en máquinas transportadoras de cartón.
- Simular el diseño de un dispositivo mecatrónico para conteo automático en máquinas transportadoras de cartón.

### **4. Hipótesis**

#### **4.1. Hipótesis General**

- Se diseñará un dispositivo mecatrónico para conteo automático en máquinas transportadoras de cartón.

#### **4.2. Hipótesis Específicas**

- Los parámetros iniciales establecerán el diseño de un dispositivo mecatrónico para conteo automático en máquinas transportadoras de cartón.
- Los nuevos parámetros propondrán el diseño de un dispositivo mecatrónico para conteo automático en máquinas transportadoras de cartón.

- Los parámetros simularán el diseño de un dispositivo mecatrónico para conteo automático en máquinas transportadoras de cartón.

## 5. Marco Teórico

### 5.1. El cartón

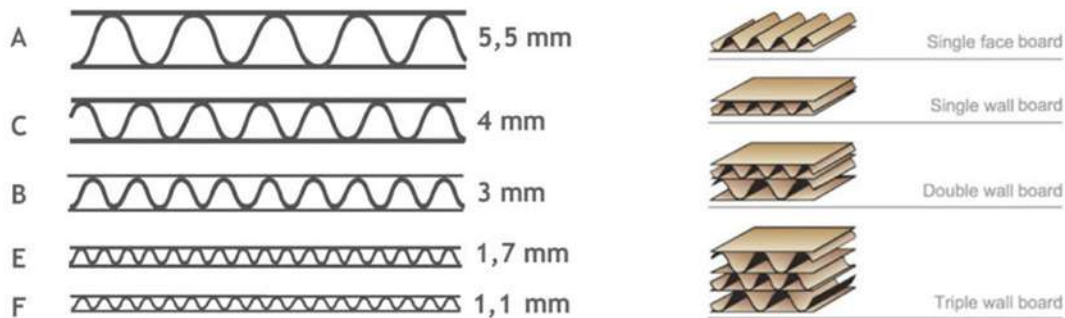
El cartón es un material formado por varias capas de papel. En este sentido, el proceso de producción consiste en aplicar capas de fibra virgen o papel reciclado: dependiendo de la materia prima utilizada, el resultado será diferente. Además, durante la producción de cartón se suelen llevar a cabo varios tipos de acabado (Malagueños, 2023).

### 5.2. Conformado y tipos cartón

El cartón consta de dos elementos principales: La capa plana (liner) es la capa exterior que le da a la placa su planitud y acabado. (Blanco o Marrón (Kraft)) Onda (tamaño mediano) es una placa corrugada interna que “absorbe” los golpes y proporciona rigidez. A cada espesor de onda se le asigna una letra: A, B, C, D, E son los espesores más comunes, ordenados de mayor a menor, como se muestra en la Figura 7.

**Figura 7**

*Designación de espesor de cartón.*



**Nota:** Espesor de ondas laminadas en base a su designación (CartonlabSL, 2023).

El revestimiento y los materiales se unen para formar capas. Según el número de capas,

distinguimos los siguientes tipos de cartón:

Ondas simples: amortiguadas en uno o ambos lados. Muy ligero y fácil de manejar. Se utilizó por primera vez en el diseño de envases y exhibición de productos plegados.

Doble Onda: Paquetes más grandes y más resistentes a la corrosión. También se utiliza en el diseño de muebles, mamparas, mamparas y expositores de productos. (VLP). Debido a que es más grueso, se puede cortar para doblar en V.

Triplex: Con este formato hemos conseguido una enorme solidez y estabilidad. Embalaje para piezas industriales y agricultura. Entre las cajas de cartón extra duraderas, es la más rentable. Suelen producirse en un espesor de 9-12 mm (CartonlabSL, 2023).

### 5.3. Fuerzas Dinámicas

Las leyes del movimiento de Newton describen el comportamiento dinámico de los cuerpos, consistiendo en tres principios:

- Un objeto en reposo se mantiene en reposo y un objeto en movimiento mantiene su velocidad hasta que una fuerza externa actúa sobre él.
- La tasa de cambio del momento de un objeto es igual a la magnitud de la fuerza aplicada sobre él, y actúa en la dirección de la fuerza. Por cada acción hay una reacción igual y opuesta.
- La segunda ley se puede expresar en términos de la tasa de cambio del momento, donde la masa se mantiene constante. La tasa de cambio del momento es igual a la masa multiplicada por la aceleración del centro de masa (Norton, 2009).

$$F = m \cdot a$$

### 5.4. La masa

La masa es una propiedad invariable de un cuerpo rígido. El peso del mismo cuerpo varía según el sistema gravitatorio en el cual se encuentre (Norton, 2009).

## 5.5. Momento de inercia de masa

La ley de Newton se aplica a los sistemas en rotación como también aquellos de traslación. Donde la rotación de un cuerpo de la segunda ley de Newton es:

$$T = I \cdot \alpha$$

donde ( $T$ ) es el par de torsión resultante con respecto al centro de masa, ( $\alpha$ ) es la aceleración angular, e ( $I$ ) es el momento de inercia de masa con respecto a un eje que pasa por el centro de masa (Norton, 2009).

## 5.6. Teorema de ejes paralelos

El momento de inercia de un cuerpo con respecto a cualquier eje en este caso denominamos ( $ZZ$ ) se expresa como la suma del momento de inercia con respecto a un eje respecto al centro de gravedad ( $GG$ ) paralelo al análisis del eje  $ZZ$  que pasa por su centro de gravedad y el producto de la masa del elemento por el cuadrado de la distancia perpendicular que los separa,

$$I_{ZZ} = I_{GG} + m \cdot d^2$$

en este caso  $ZZ$  y el centro de gravedad son ejes paralelos, donde  $GG$  pasa por el  $CG$  del cuerpo o ensamble, ( $m$ ) es la masa del elemento y ( $d$ ) es la distancia perpendicular entre los ejes paralelos (Norton, 2009).

## 5.7. Selección de materiales

Se aborda el proceso de planificación, preparación y diseño de los recursos y entornos necesarios para la construcción de una máquina. Los modelos se basan en el conductismo y son lineales, sistemáticos y directivos, enfocándose en las acciones a realizar, la carga de fuerza, la resistencia a la temperatura, el ambiente en el que se encontrará y la velocidad que tendrá (Lozano y Ruiz Campillo, 1996).

Las tareas a seguir para la selección de materiales son:

- Una secuencia de pasos a seguir.
- Identificación de las metas a lograr.
- Selección de diseños de modelaje y práctica para asegurar una fuerte asociación estímulo.

- Criterios de evaluación previamente establecidos (Belloch, 2017).

## 5.8. Elementos Neumáticos de Trabajo

Se necesitará sistemas neumáticos en el mecanismo, los cuales funcionan con la energía del aire comprimido que por medio de cilindros transforma la energía en un movimiento lineal. Los cilindros de doble efecto son los más utilizados, su función es aplicar una fuerza lineal. El pistón de un cilindro de doble efecto es movido por aire comprimido con traslación bidireccional (Solé, 2012).

La rapidez del pistón en cilindros neumáticos está determinada por la fuerza opuesta de la presión del aire, la longitud de la tubería, la relación entre los componentes de control y trabajo y el flujo de aire que pasa a través de la pieza controlada. Además, el amortiguamiento en la carrera final también afecta a la velocidad, como se puede ver en la figura 8 (Fernández, 2013).

### Figura 8

*Pistón de doble efecto.*



**Nota:** Cilindro de doble efecto con leva de control. Amortiguaciones de final de recorrido regulables (FESTO, 2022).

## 5.9. Elementos del sistema del eléctrico

### 5.9.1. Sensores Láser industrial

En la recopilación de grandes cantidades de datos, la utilización de sensores láser-escáner se está volviendo cada vez más común, tal y como se puede ver en la figura 9. Este método nos permite recopilar una gran cantidad de información en poco tiempo, ya que el sensor emite un pulso cada vez que pasa un objeto. Uno de los desafíos que enfrentamos es cómo diferentes

factores afectan a la medición de la distancia, como la inclinación del objeto en relación con el eje de medición, la textura de los objetos a recopilar y la influencia del tipo y color del material en la señal que devuelve el sensor, lo cual variará (Núñez Andrés, Buill Pozuelo, y Muñoz Salinas, 2005).

### **Figura 9**

*Sensor láser industrial.*



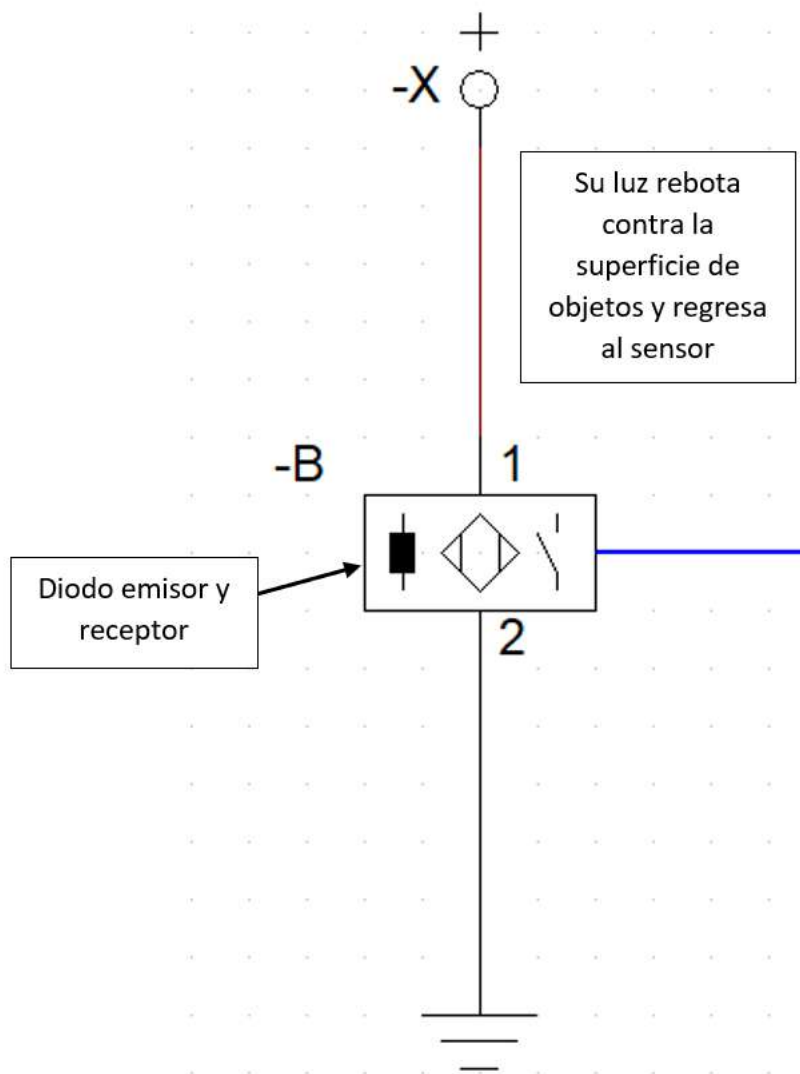
**Nota:** Un sensor láser industrial para todo tipo de superficies tiene la ventaja de poderse emplear en todo tipo de aplicaciones donde la lectura se realiza sobre diferentes superficies, con diferente color, rugosidad, textura (Sensing, 2021).

#### **5.9.2. Sensores SD - Sistema de transmisión**

El conjunto óptico tiene tanto los elementos emisores como receptores de infrarrojos montados juntos y apuntando hacia la superficie sensible del sensor. Cuando los rayos infrarrojos son emitidos por el transmisor, rebotan en la superficie de un objeto y regresan al receptor. Si la superficie del objeto no es mate, la distancia que hay entre ellos (distancia de conmutación) causará un cambio electrónico. Este proceso está ilustrado en la figura:

**Figura 10**

*Funcionamiento de un sensor SD.*



**Nota:** SD - Sensor Óptico Difuso, Cilíndrico, Cuerpo Metálico (WEG, 2021).

### 5.9.3. Sensores EO / RO - Sistema de barrera

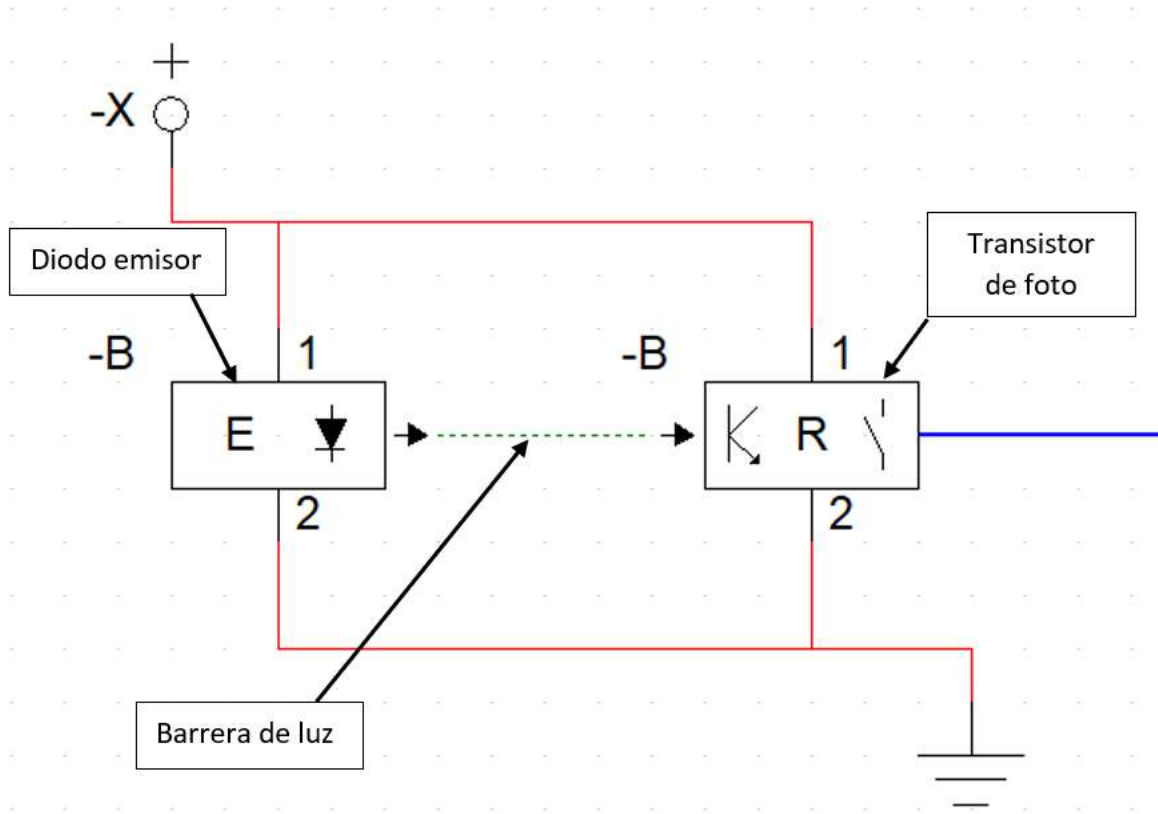
Está compuesto por dos sensores ópticos alineados, con un dispositivo emisor de luz (EO) ubicado en la parte frontal y alineado con el dispositivo receptor (RO). Cuando un objeto pasa por el EO/RO, el sensor envía una señal. Su funcionamiento está representado en la



siguiente figura:

**Figura 11**

*Funcionamiento de un sensor EO / RO.*



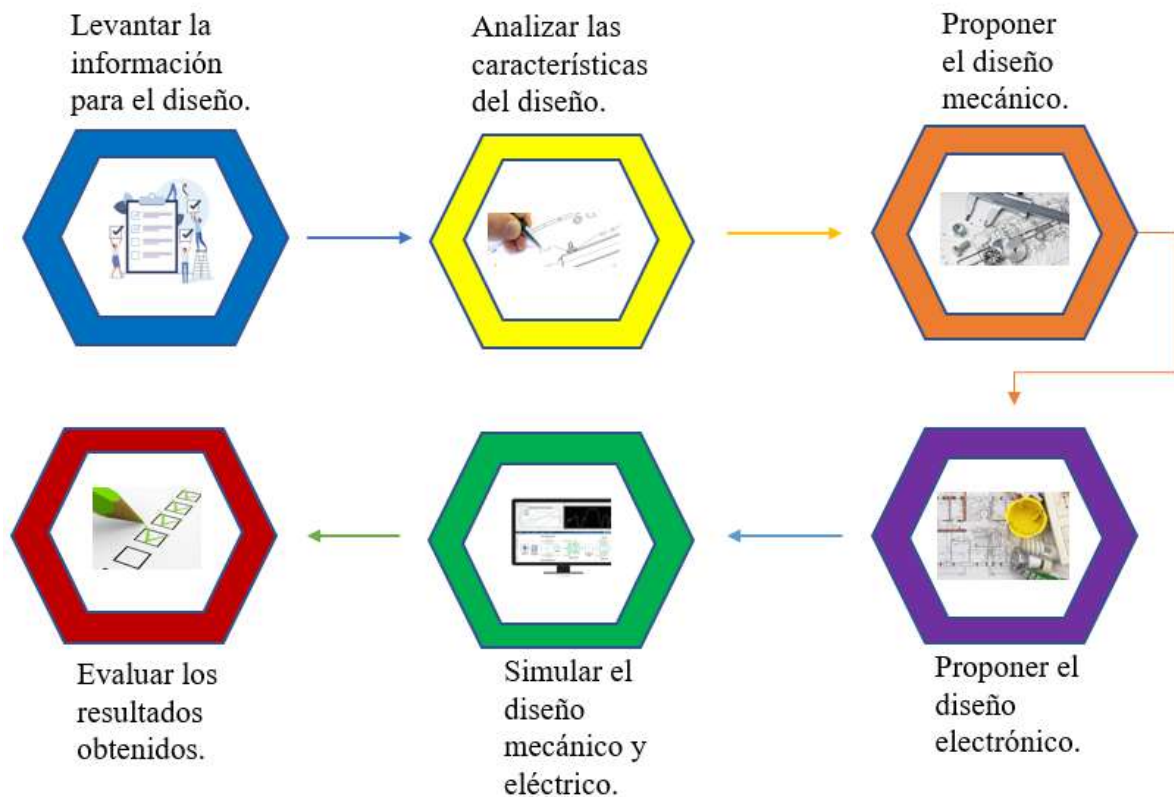
**Nota:** EO / RO - Sensor Óptico de Barrera, Cilíndrico, Cuerpo Metálico (WEG, 2021).

## 6. Marco metodológico

En el siguiente punto se realiza el proceso de diseño de un dispositivo mecatrónico de conteo automático de cartón, la cual está determinada por las siguientes etapas, presentadas a continuación.

**Figura 12**

*Metodología del proceso.*



**Nota:** Se identifica el proceso para el diseño de un dispositivo de conteo automático, el cual constará de 6 fases. .

### **6.1. Establecimiento de los parámetros iniciales para el diseño mecatrónico de un dispositivo mecatrónico de conteo automático de cartón**

Las industrias cartoneras presentan una deficiencia de automatización en la parte final de su proceso de producción, el cual consiste en contabilizar el número de cartones para formar un lote, dependerá de su cantidad por tipo de cliente. Esta necesidad se identificó en la realización de las prácticas pre-profesionales, en donde se observó un conteo manual en un proceso semiautomático generándose un cuello de botella.

### **6.1.1. Investigación preliminar**

Se ha realizado investigación extensiva sobre este proceso, sin embargo, no hay un sistema que logre resolver completamente el problema y el tipo de soluciones dadas afectan en calidad de producto. Así mismo, las industrias cartoneras del Ecuador presentan máquinas sin conteo automático como, CARTONERA PICHINCHA, INCARPALM, PROCARSA y CARTONERA DEL AUSTRO.

Se plantea realizar tres distintas soluciones para obtener la mejor opción de diseño, se identifican diferentes mecanismos que cumplen las características para la solución del problema en cuestión.

## **6.2. Especificaciones de diseño**

Se define y limita el diseño minuciosamente de modo que pueda ser resuelto. Se establece un tipo de máquina base (CS SERIES Automatic High Speed 4 and 6 corner Folder Gluer) ROLAM (2021), de la cual se obtendrá las medidas para la producción de cartón, este modelo establecerá las medidas de nuestro sistema, de esta manera se deja por sentado los valores de la misma:

- Longitud 13 metros.
- Ancho de 1,4 metros.
- Altura de 1,8 metros
- Velocidad baja de la banda 10 m/min
- Velocidad alta de la banda 350 m/min
- Rango de trabajo de la máquina 30 cajas por minuto

Se determina las características del cartón bajo normas INEN 1398-1397, como lo muestra la tabla 1:

**Tabla 1***Normas INEN.*

Requisitos	Unidad	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Metodo de Ensayo
<b>Gramaje</b>	gm2	127		160		185		205		337		INEN 1 398
<b>Humedad</b>	%											
<b>Espesor</b>	mm	7,0	8,5	7,0	8,5	7,0	8,5	7,0	8,5	7,0	8,5	INEN 1 397
<b>Encolado</b>		0,20	0,25	0,23	0,28	0,25	0,31	0,28	0,33	0,45	0,51	INEN1 399
<b>-Lado liso</b>	gm2											
<b>-Lado poroso</b>	gm2	40	65	40	65	40	65	40	65	40	65	
<b>Estallido</b>	KPa	40	70	40	70	40	70	40	70	40	70	
<b>Aplastamiento circular</b>		310	345	393	427	483	517	552	556	896	931	INEN 1 408
<b>Longitudinal</b>	N	245	-	289	-	378	-	423	-	578	-	
<b>Transversal</b>	N	178	-	200	-	245	-	289	-	489	-	
<b>Tolerancia 5%</b>												

**Nota:** Se presentan las normativas técnicas que evalúan la conformidad del producto, con base en normativa técnica ecuatoriana, cuyo concepto básico es satisfacer las necesidades locales y facilitar el comercio nacional e internacional, contribuyendo al mejoramiento continuo de las empresas (*INEN, 1986*).

En la cual para un espesor de 7 mm se toma una media de 250 gramos por metro cuadrado.

### **6.3. Propuesta del diseño mecánico del dispositivo de conteo automático de cartón**

#### **6.3.1. Análisis**

Se propone tres diseños realizados para satisfacer el objetivo de conteo automático, los mismos que se evaluarán en rendimiento y eficiencia en el conteo de cartón, además se precisará la velocidad del conteo, costo, seguridad, desempeño, confiabilidad, mantenimiento, manufacturabilidad, flexibilidad y robustez. El objetivo final es determinar cualquier área de mejora y tomar medidas para aumentar la eficiencia y reducir los costos.

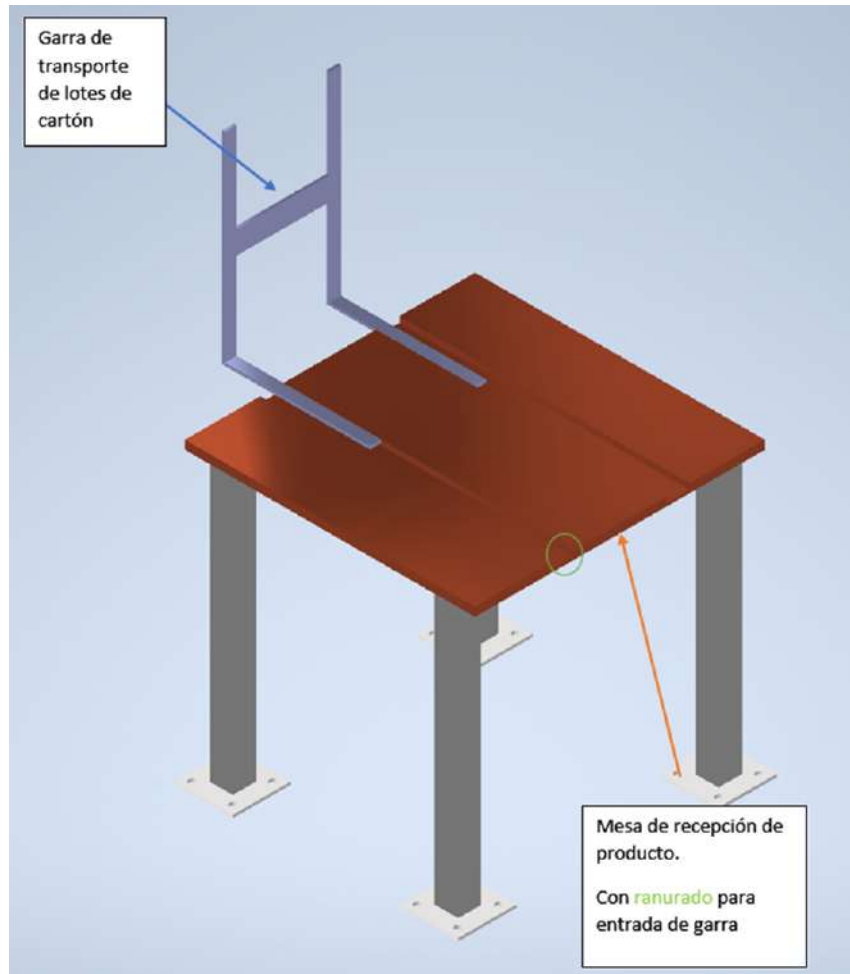
### **6.3.2. Selección de prototipos**

Se procede a realizar una etapa de selección debido a que se presentan algunos diseños potencialmente viables para cumplir con el objetivo del análisis. Este proceso implica un análisis comparativo de las distintas soluciones disponibles necesario para crear una matriz de decisión que ayude a identificar la opción más viable al forzarlo a considerar algunos factores de manera sistemática.

- Diseño 1: Consiste de una garra transportadora que eleva el producto desde la mesa de trabajo y lo lleva hasta la banda de despeje. Este estará encargado de mover su estructura mediante pistones desplazándolos en los ejes X, Y y Z la estructura de la garra será de acero para garantizar la máxima resistencia y el desplazamiento estará fijado en base el accionamiento serial de pistones, tal como se aprecia en la figura 13:

### Figura 13

Prototipo 1.



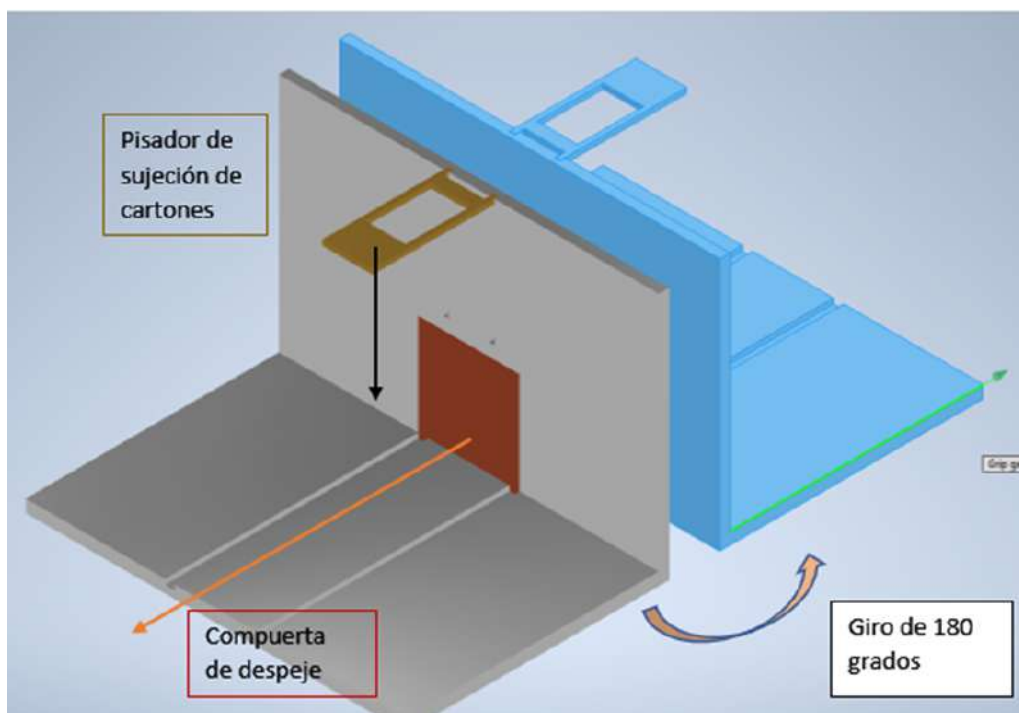
**Nota:** Garra Transportadora de lotes de cartón con mesa de recepción con ranurado para entrada de garra.

- Diseño 2: Presenta una máquina rotativa en L de doble cara la cual gira 180 grados desde el punto de recepción de producto al término de la fase de doblado, realizando un conteo mediante un sensor láser de corte el cual determinará la cantidad establecida por el operario según los requerimientos del cliente el valor de cartones por lote, cuando se haya completado el número de cartones fijado por lote el dispositivo girará hacia la banda de producto terminado para su respectivo embalaje, siendo el lote desplazado por la compuerta de despeje con la ayuda de un pistón insertado en cada cara del dispositivo

rotativo a su vez al ser un sistema en L de doble cara mientras él un lado del dispositivo hace la expulsión del producto la otra continúa realizando la recepción del producto presentando así un trabajo continuo ininterrumpido. Es importante mencionar que al tener una amplia recepción de cartones, estos podrán variar de tamaño, teniendo así un soporte universal adaptando el dispositivo a varios tipos de máquinas, como se puede apreciar en la figura 14:

**Figura 14**

*Prototipo 2.*



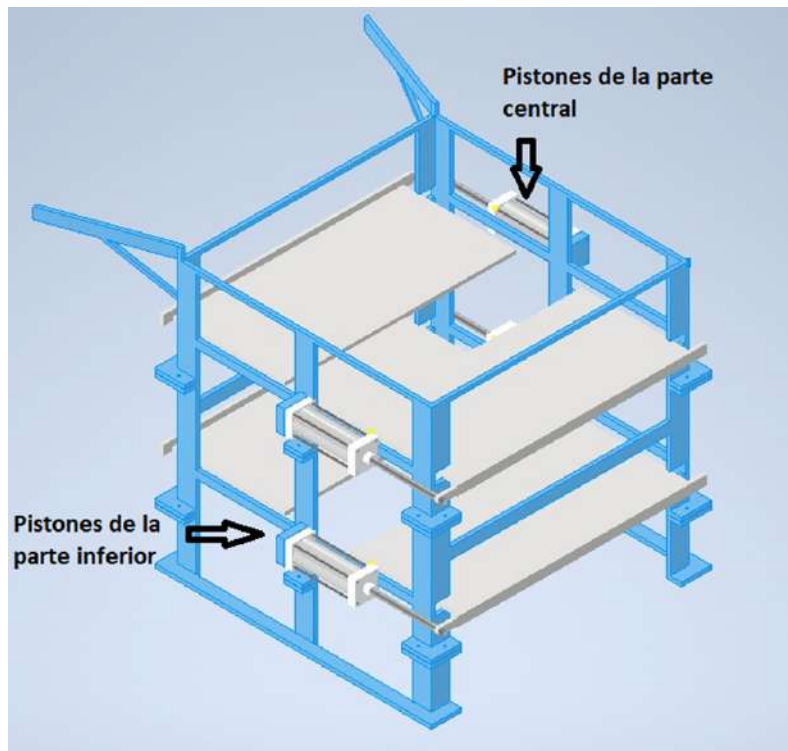
**Nota:** Dispositivo Rotativo con compuerta de despeje de producto y pisador de sujeción de cartones.

- Diseño 3 El diseño consiste en dejar caer los cartones en la parte superior por medio de una banda transportadora, donde pasa por los rieles de ubicación para poner al cartón en posición después se identifica por medio de un sensor y se acumula en las bandejas de la parte inferior cuando ya están los cartones necesarios para un lote, los pistones de la parte central actúan y colocan las bandejas de forma que sigan acumulando los cartones en la parte central mientras que en la parte inferior los pistones actúan para

dejar pasar los cartones hacia abajo por efecto de la gravedad y salgan en los lotes requeridos. Después continúa con el proceso cuando los pistones en la parte central, actúan y dejan pasar los cartones para que se acumulen en la parte inferior para que de manera la banda nunca tenga que parar y siga produciendo los lotes de cartones necesarios, como lo muestra en la figura 15.

**Figura 15**

*Prototipo 3.*



**Nota:** Estructura separadora de lotes de cartón accionada por pistones.

### 6.3.3. Matriz de decisión

Posteriormente, el cuerpo de la matriz se llena con números que clasifican cada diseño en una escala conveniente, tal como del 1 al 10, en cada una de las categorías. Hay que observar que es una clasificación subjetiva.

Se deben examinar los diseños y decidir la calificación de cada uno. Luego, las calificaciones se multiplican por los factores de ponderación (los que en general son elegidos de modo que



sumen a un número conveniente tal como 1) y los productos sumados para cada diseño. Las calificaciones ponderadas reciben una clasificación de diseños (Norton, 2009). Finalmente, las calificaciones ponderadas reciben una clasificación en función de los objetivos, características que debe satisfacer el dispositivo mecatrónico, como lo muestra en la tabla 2:

**Tabla 2**

*Matriz de Decisión.*

	Costo	Seguridad	Desempeño	Confiabilidad	Mantenimiento	Manufacturabilidad	Flexibilidad	Robustes	RANGO
Factor de ponderación	0.05	0.1	0.23	0.15	0.05	0.1	0.17	0.15	1.0
Diseño 1	3 / 0.15	6 / 0.6	5 / 1.15	6 / 0.9	7 / 0.35	3 / 0.3	4 / 0.68	5 / 0.75	4.88
Diseño 2	8 / 0.4	7 / 0.7	7 / 1.61	9 / 1.35	8 / 0.4	5 / 0.5	5 / 0.85	8 / 1.2	7.01
Diseño 3	8 / 0.4	6 / 0.6	8 / 1.84	7 / 1.05	7 / 0.35	4 / 0.4	6 / 1.02	8 / 1.2	6.86

**Nota:** Se presenta la selección de diseños bajo el factor de ponderación de las variables de la matriz de decisión.

De acuerdo a la valoración de las distintas variables presentadas en la matriz de decisión, se obtiene que el diseño número dos, cumple con las mejores características para cumplir con la propuesta del diseño mecánico.

## 6.4. Propuesta de diseño mecánico

Para establecer de mejor manera el estado actual del diseño mecánico del dispositivo, se lo ha dividido en elementos con el fin de poder detallar en cada uno de estos de manera más específica. A continuación, se detallan características como las dimensiones, peso y material, así como características de funcionamientos mecánicos y cálculos, si corresponden, de cada uno de ellos.

### 6.4.1. Funcionalidad del sistema

- Conteo de cartones
- Recepción de cartones
- Transporte de cartones por rotación del sistema
- Expulsión de cartones por pistón de despeje
- Estructura de soporte del sistema

### 6.4.2. Plataforma de recepción de cartones

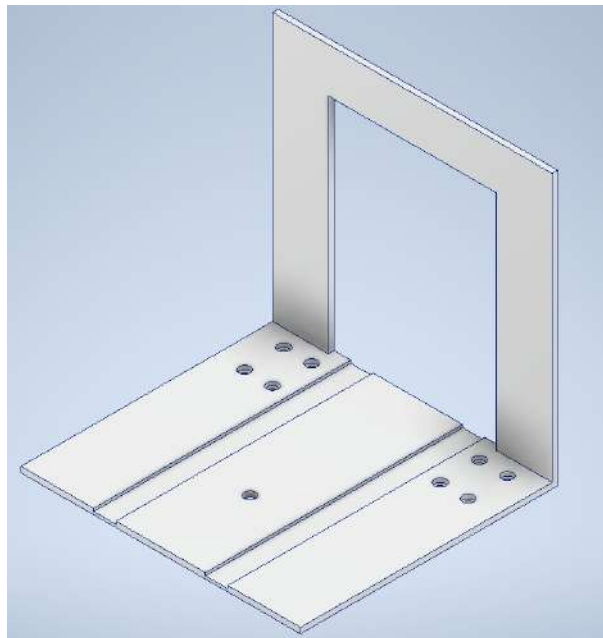
Debido a que en la fase de doblado-engomado se transportan los cartones por medio de una banda, se establece una plataforma de recepción del tamaño máximo del cartón fabricado, como se aprecia en la figura 16, éste está determinado por:

- 500 mm de largo,
- 400 mm de ancho
- 7 mm de espesor

Estos valores determinan la dimensión de la plataforma.

#### Figura 16

*Plataforma de recepción.*



**Nota:** Plataforma receptora de cartones.

Es importante considerar que el diseño del dispositivo presenta cuatro plataformas de recepción de producto, permitiendo un sistema más versátil.

### 6.4.3. Determinación de lotes de cartón

La formación de lotes de cartón está determinada por su flexibilidad de transporte, esta no puede tener un número elevado de producto debido a que el manejo del mismo complicaría su traslado y almacenamiento por lo tanto se establece como valor máximo por lote 40 unidades de cartón doble y simple corrugado de espesor  $7mm$  con un peso determinado de 250 gramos por unidad de cartón.

Para determinar la carga máxima que tendrá el dispositivo se considera el lote máximo sobre cada mesa de recepción representado por ( $T_c$ ) además del peso máximo de los cartones ( $P_c$ ) y finalmente el número de bases receptoras de producto ( $N_b$ ). Estas variables nos permitirán conocer el peso neto del producto ( $PN_p$ ).

- $T_c$  = Total cartones
- $P_c$  = Peso Cartón
- $N_b$  = Número de bases de recepción
- $PN_p$  = Peso neto del producto

$$PN_p = T_c \cdot P_c \cdot N_b \quad (1)$$

$$PN_p = 40 \cdot 250gr \cdot 4$$

$$PN_p = 40.000gr$$

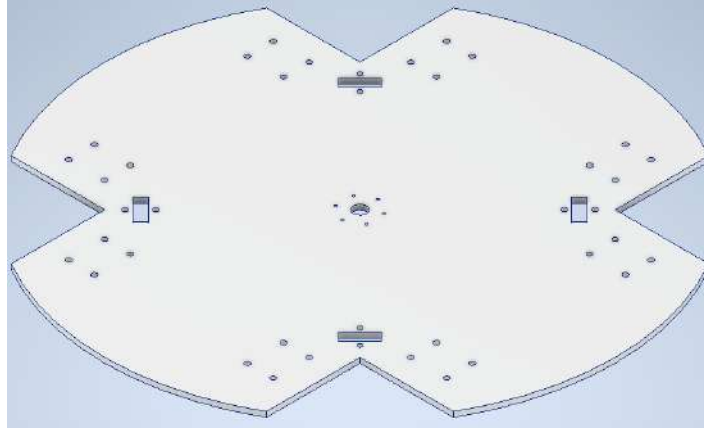
$$PN_p = 40Kg$$

### 6.4.4. Plataforma de unión eje-receptoras

La plataforma de unión permite acoplar las plataformas receptoras en conjunto con el eje para permitir un movimiento rotacional común, como se observa en la figura 17.

## Figura 17

*Plataforma de unión eje-bases receptoras.*



**Nota:** Plataforma de unión entre el eje, acoples del eje, rodamientos guías y plataformas receptoras.

### 6.4.5. Eje

Su principal funcionamiento es la transmisión de movimiento angular desde el motor hacia el sistema total del dispositivo, permitiendo así la rotación del conjunto, además éste debe ser capaz de soportar las cargas de los elementos que lo conforman, como se aprecia en la figura 18.

## Figura 18

*Eje.*



**Nota:** Eje de transmisión de movimiento rotacional hacia todo el sistema del dispositivo.

### 6.4.6. Acople motor-eje

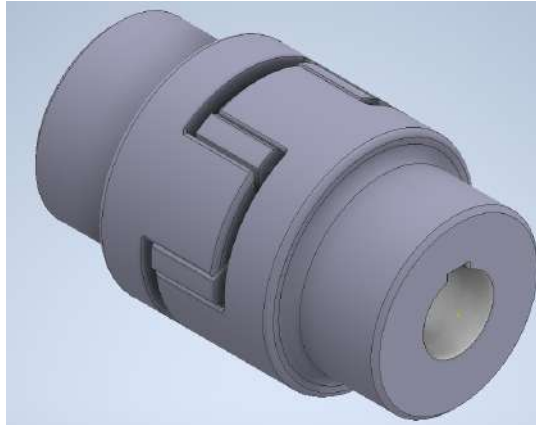
Es un acople normalizado de la marca ComInTec, que permite la transmisión de fuerza rotacional entre el motor y el eje, como se observa en la figura 19.

Sus características son:

- Material: Acero
- Torque Nom/Max = 10/20 (Nm)
- Velocidad Máxima = 19.000 rpm

## Figura 19

*Acople motor-eje.*



**Nota:** Acople entre el eje del motor y el eje de sujeción al sistema del dispositivo, información sacado de (ComInTec, 2021).

### 6.4.7. Acople motor-Plataforma

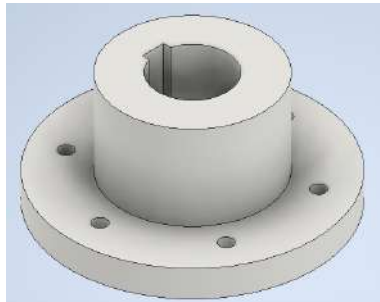
Es un acople normalizado de la marca ComInTec, que permite la transmisión de fuerza rotacional entre el motor y la plataforma, como se muestra en la figura 20.

Sus características son:

- Material: Acero
- Torque Nom/Max = 150/300 (Nm)
- Velocidad Máxima = 12.500 rpm

## Figura 20

*Acople motor-plataforma.*



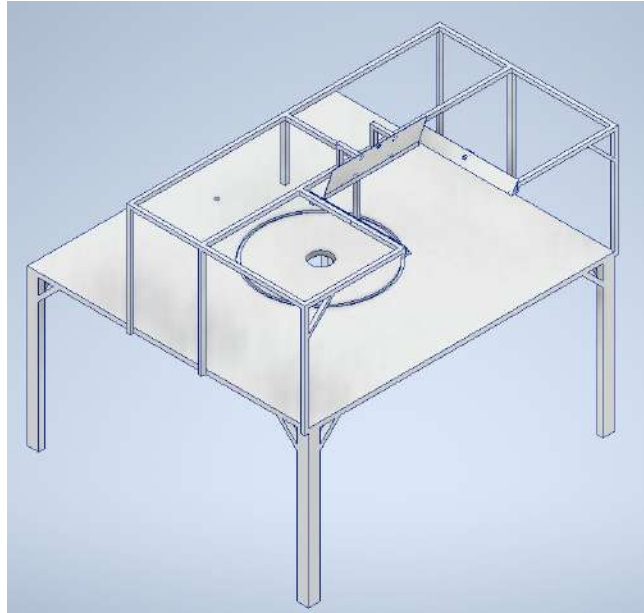
**Nota:** Acople entre el eje de transmisión] y la plataforma de sujeción al sistema del dispositivo, información sacado de (ComInTec, 2021).

### 6.4.8. Mesa de soporte

Es la estructura de soporte del sistema, esta resistirá la carga total del dispositivo, además de su propia carga, proporcionando un diseño más robusto, seguro y confiable, como se aprecia en la figura 21.

## Figura 21

*Mesa de soporte.*



**Nota:** Es el elemento de soporte del dispositivo.

### 6.4.9. Rodamiento y su soporte

El elemento de soporte de rodamiento es el encargado de guiar y estabilizar el movimiento rotacional del sistema, el cual será dirigido por unas guías ubicadas en la mesa de soporte que lo mantendrá encarrilado para un movimiento rotacional limpio, también será el encargado de soportar la carga de las plataformas con los cartones, como se aprecia en la figura 20.

El elemento de soporte estará empotrado en un rodamiento normalizado, lo que permite un movimiento lineal debido al giro del eje exterior del rodamiento. Las características del rodamiento son:

- Material: Hierro.
- Capacidad de carga dinámica = 23 (kN).
- Velocidades límite para la lubricación con grasa = 6.900 rpm.
- Velocidades límite para la lubricación con aceite = 9.200 rpm.

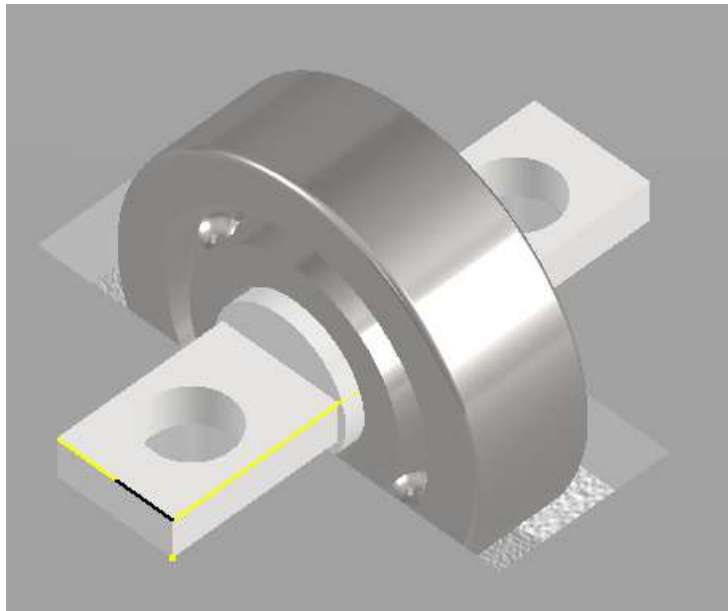


- Diámetro interior = 17 mm.
- Diámetro exterior = 47 mm.
- Espesor = 15 mm.

Los rodamientos de soporte de husillo de bolas 17TAC47BDDG son rodamientos de superprecisión, con un tamaño de  $17x47x15mm$ , como se muestra en la siguiente figura, datos tomados de (Sunrises, 2021).

### Figura 22

*Rodamiento y sus soportes.*



**Nota:** Son el soporte para la rotación del sistema lo que provoca que el peso caiga sobre estos cuatro componentes ubicados sobre la superficie de la plataforma de unión.

## 6.5. Selección de materiales

La selección de materiales según Ashby es un método que se basa en el uso de una tabla conocido como la "matriz de selección de materiales" para identificar los materiales que cumplen con los requisitos específicos de una aplicación. La matriz de selección de materiales de Ashby compara las propiedades de los materiales y los requisitos del diseño para identificar los materiales que son adecuados para una aplicación determinada.

En general, la selección de materiales, según Ashby es una herramienta valiosa para ayudar a los ingenieros a elegir los materiales más adecuados para una aplicación determinada. Al elegir el material correcto, se puede maximizar la eficiencia, la seguridad y la vida útil de un producto o sistema (Ashby., 2011).

Al elegir un material adecuado para nuestro dispositivo, debemos tener en cuenta que cualquier pieza de ingeniería tiene una o más funciones, como soportar una carga, contener una presión, transmitir calor, etc. Esto debe hacerse bajo ciertas restricciones, como tamaños fijos, cargas o presiones específicas sin fallar, capacidad de aislamiento o conducción, rango de temperatura permitido y entorno específico, entre otros.

En el diseño, el objetivo del diseñador puede ser hacerlo lo más económico posible, ligero, seguro o una combinación de estos. Para optimizar estos objetivos, debemos ajustar ciertos parámetros, como la función, las limitaciones, los objetivos y las variables libres, que definen las condiciones para seleccionar un material y, en el caso de componentes que soportan carga, la forma de su sección transversal, que se mostrará en la siguiente tabla.

**Tabla 3**

*Parámetros de la selección de materiales de los componentes.*

<b>Función</b>	¿Qué hace el componente?	Contar, transportar, apilar, almacenar, expulsar.
<b>Restricciones</b>	¿Qué condiciones no negociables se deben cumplir?	Resistente, ligero.
	¿Qué condiciones negociables se deben cumplir?	Costos baratos.
<b>Objetivos</b>	¿Qué se quiere maximizar o minimizar?	Maximizar la calidad del cartón y tener un conteo exacto.
<b>Variables Libres</b>	¿Qué parámetros del problema puede cambiar el diseñador?	El número de cartones en un lote.

**Nota:** Se presenta las diferentes características que se necesita en los componentes para la realización del dispositivo de conteo automático de cartón.

### 6.5.1. Clasificación de materiales

En este punto podremos analizar los materiales y que tan bien puede desempeñarse un candidato que pasa por la selección de materiales, el rendimiento a veces es limitado por una sola propiedad, a veces por una combinación de ellas. La propiedad o grupo de propiedades que maximiza el rendimiento de un diseño determinado se denomina índice de material. Proporcionan criterios de excelencia que permiten clasificar los materiales según su capacidad para desempeñar bien en la aplicación dada, por lo que la selección aísla a los candidatos que son capaces de hacer el trabajo, la clasificación identifica a aquellos entre ellos los que mejor puedan hacer la acción de transportar los cartones por medio de un movimiento rotacional sobre su eje.

Se desea un material resistente a las roturas y que sea ligero, por lo que se analiza los siguientes metales en las siguientes tablas.

**Tabla 4**

*Resistencia a la rotura de diferentes metales.*

<b>Material</b>	<b>Resistencia a la rotura promedio</b>
Acero	$65kg/mm^2$
Cu- aleación	$21kg/mm^2$
Al - aleación	$40kg/mm^2$
Ti - aleación	$56kg/mm^2$
Ni - aleación	$47kg/mm^2$
Zn - aleación	$18kg/mm^2$

**Nota:** Se presenta la resistencia a la rotura de los principales metales para la construcción de mecanismos, datos tomado (Galicia, 2022).

Los valores del límite elástico promedio para los siguientes metales son:

**Tabla 5***Límite elástico promedio de diferentes metales.*

Material	Límite elástico promedio
Acero	360 MPa
Cu- aleación	33 MPa
Al - aleación	400 MPa
Ti - aleación	684 MPa
Ni - aleación	70 MPa
Zn - aleación	75 MPa

**Nota:** Se presenta el límite elástico de los principales metales para la construcción de mecanismos, datos tomado (Galicia, 2022).

Se procede a mostrar los valores de densidad promedio de los siguientes metales

**Tabla 6***Densidad de diferentes metales.*

Material	Densidad
Acero	8,03 kg/dm <sup>3</sup>
Cu- aleación	8,92 kg/dm <sup>3</sup>
Al - aleación	2,70 kg/dm <sup>3</sup>
Ti - aleación	4,50 kg/dm <sup>3</sup>
Ni - aleación	8,68 kg/dm <sup>3</sup>
Zn - aleación	7,10 kg/dm <sup>3</sup>

**Nota:** Se presenta la densidad de los principales metales para la construcción de mecanismos, datos tomado (Galicia, 2022).

### 6.5.2. Índice de material

Para cumplir con el propósito de nuestro diseño mecánico se debe tener un material que sea ligero y duro, por lo que realizaran los debidos cálculos para lograr esta necesidad: El diseño debe soportar una fuerza de tracción  $F^*$  sin presentar roturas y ser lo más liviano posible. La longitud ( $L$ ) se especifica, pero el área de la sección transversal  $A$  no, por lo que “maximizar el rendimiento” significa “minimizar la masa mientras se sigue transportando la

carga  $F^*$  de manera segura”.

Para la elección del material Primero buscamos una ecuación que describa la cantidad a maximizar o minimizar. Aquí está la masa ( $m$ ) del lazo y es un mínimo que buscamos. Esta ecuación, llamada función objetivo:

$$m = A \cdot L \cdot \rho \quad (2)$$

es donde

- A es el área de la sección transversal
- $\rho$  es la densidad del material del que está hecho
- L es la longitud
- F es la fuerza

Se puede disminuir la masa reduciendo la sección transversal, pero hay una restricción: A debe ser suficiente para llevar  $F^*$ , requiriendo que:

$$\frac{F^*}{A} \leq \sigma_f \quad (3)$$

Nosotros podríamos definir este como el índice del material.

Por lo que resolviendo y sustituyendo valores con las propiedades del aluminio, sus cálculos son:

$$m = A \cdot L \cdot \rho$$

$$A = \phi^2 \cdot \frac{\Pi}{4} \quad (4)$$

$$A = 1.000^2 \cdot \frac{\Pi}{4}$$

$$A = 785.398,163mm^2$$

$$A = 0,785398m^2$$

$$L = 1m$$

$$\rho = 2,7 \frac{kg}{dm^2}$$

$$\rho = 2.700 \frac{kg}{m^2}$$

$$m = A \cdot L \cdot \rho$$

$$m = 0,785398m^2 \cdot 1 \cdot 2.700 \frac{kg}{m^2}$$

$$m = 2.120 \frac{kg}{m^2}$$

Entonces podemos verificar si la magnitud del elemento, no sobrepasa la resistencia a la rotura promedio del aluminio.

Se procede a utilizar la carga a soportar como se designó con anterioridad

$$C_m = 97,798kg$$

Para sacar la fuerza

$$F = C_m \cdot a \tag{5}$$

$$F = 97,798 \cdot 9,81 \frac{m}{s^2}$$

$$F = 959,4N$$

Por lo que podemos reemplazar en

$$\frac{F^*}{A} \leq \sigma_f$$

$$\frac{959,4N}{0,785398m^2} \leq 40.000.000 \frac{kg}{m^2}$$

$$1.221,5 \frac{N}{m^2} \leq 40.000.000 \frac{kg}{m^2}$$

$$124,55 \frac{kg}{m^2} \leq 40.000.000 \frac{kg}{m^2}$$

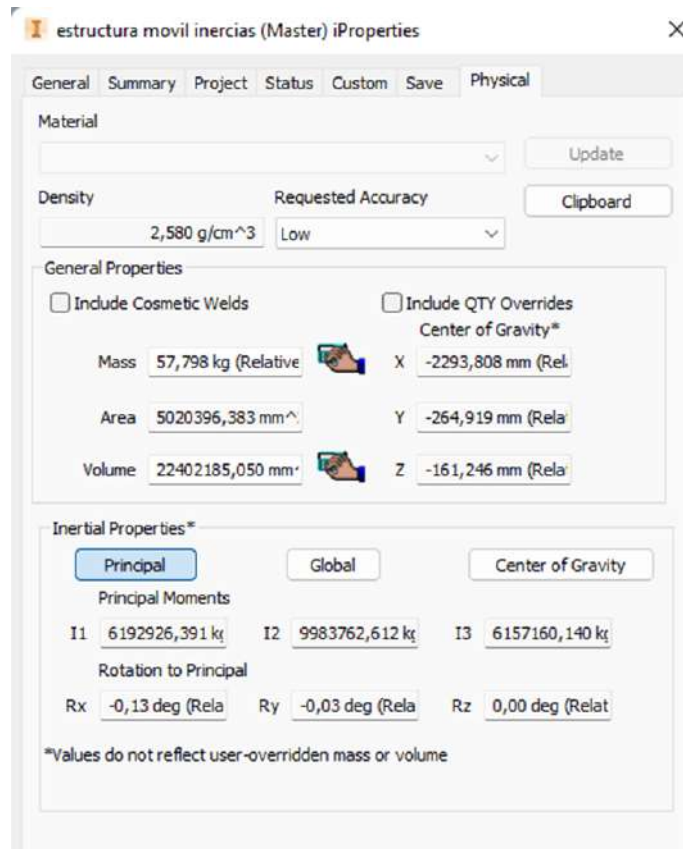
El resultado muestra que la magnitud del elemento no es capaz de superar la rotura promedio del aluminio, por lo que es el adecuado para soportar las cargas en el dispositivo.

## 6.6. Análisis de fuerzas del sistema sobre el eje de transmisión

El análisis del sistema dependerá de la carga total que actué sobre el eje de transmisión, por lo cual se determina la carga del dispositivo sumada a la carga de los lotes de cartón. Se establece las propiedades del material del dispositivo en el software INVENTOR designando el aluminio como principal carácter de los elementos (Plataforma de unión, Plataforma receptora). La masa proporcionada por el software es presentada en la figura a continuación.

**Figura 23**

*Propiedades de la plataforma de receptora y plataforma de unión.*



**Nota:** Características primordiales de la plataforma receptora en conjunto de la plataforma de unión.

En la tabla de propiedades se observa un valor de masa,  $Md = 57,798kg$  esta masa sumada a la masa del producto sobre el dispositivo en su capacidad máxima que son  $40kg$  nos da la

carga máxima ( $CM$ ) que debe soportar el eje.

$$CM = Md + PNp \quad (6)$$

$$CM = 57,798kg + 40kg$$

$$CM = 97,798kg$$

Como seguridad, este valor se establece en  $CM = 100kg$  minimizando así riesgos que pudieran existir sobre el dispositivo si este valor resulta ser mayor.

### 6.6.1. Cálculo del eje

Se determina el material del eje, como se aprecia en la figura 24.

- Este eje estará propenso a rotación, por lo que debe ser un material resistente a la torsión, de esta manera el material primordial existente en el mercado es el acero de transmisión.
- El acero es muy resistente a cargas muy pesadas, por lo que el material es el óptimo para soportar esta.

Se toma datos de DIPAC con su eje de transmisión con las siguientes características  
Norma: AISI 1081



**Figura 24**

*Propiedades Eje.*



COMPOSICIÓN QUÍMICA				
%C	%Si	%Mn	%P	%S
0 - 0,20	0 - 0,25	0 - 0,70	0 - 0,04	0 - 05

PROPIEDADES MECÁNICAS			
RESISTENCIA MECÁNICA (N/mm <sup>2</sup> )	PUNTO DE FLUENCIA (N/mm <sup>2</sup> )	Elongación % Min.	DUREZA ROCKWELL B
410 - 520	235	20	143

DIMENSIONES
DIÁMETRO
3/8"
1/4"
5/8"
3/4"
7/8"
1"
1-1/4"
1-1/2"
1-3/4"
2"
2-1/4"
2-1/2"
2-3/4"
3"
3-1/2"
4"
4-1/2"
5"
6"

**Nota:** Características del eje de acero de transmisión (*DIPAC, 2022*).

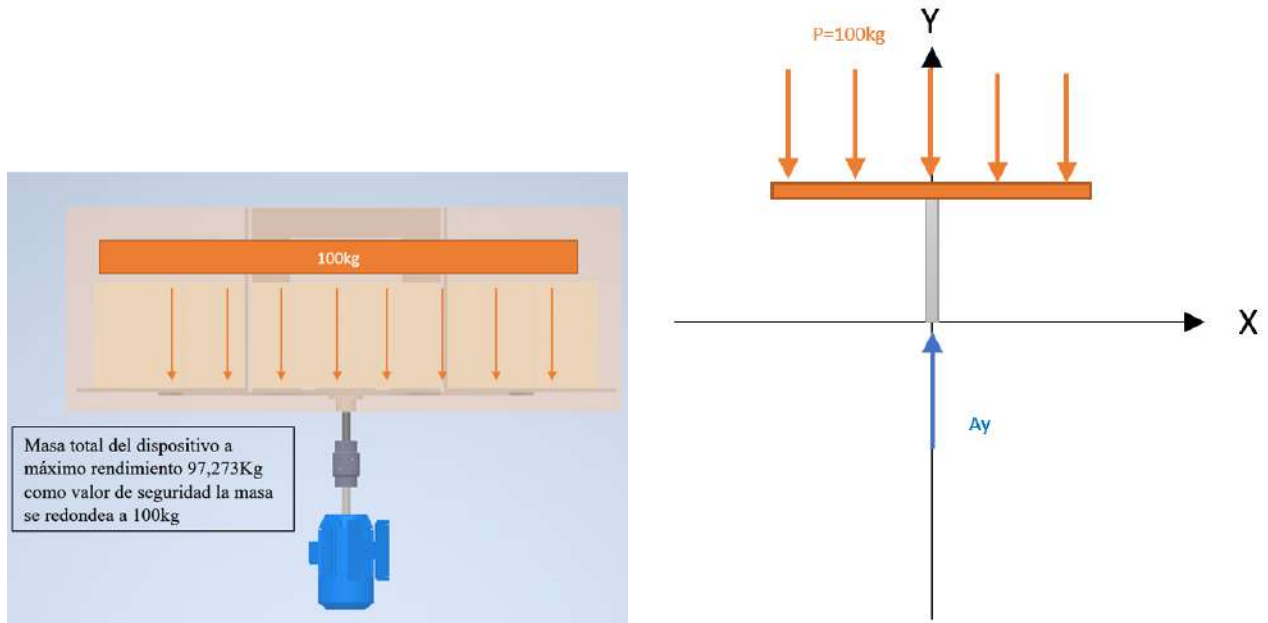
De acuerdo con la carga máxima que se debe soportar se determinara el eje necesario para soportar esta. Es importante mencionar que la placa de soporte que sostendrá a las bases de recepción de productos es circular, por lo que se puede considerar una rueda, sin embargo, las fuerzas que se aplican sobre la carga debido al peso de los lotes de cartón presentaran una carga distribuida sobre el elemento. Para ello se realiza el análisis estático de la Carga máxima sobre el eje de transmisión desde el análisis sobre una carga puntual y una carga distribuida.

#### **Análisis Carga Distribuida**

Se estableció el peso total del dispositivo y los cartones a su máxima totalidad para la carga distribuida, como se observa en la figura 25.

## Figura 25

*Carga Distribuida.*

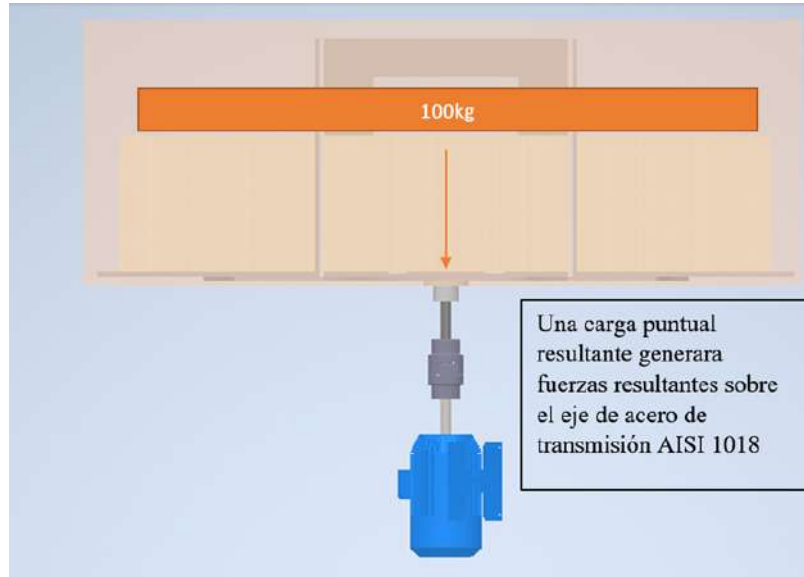


**Nota:** Análisis de la carga distribuida sobre el eje de acero.

La carga distribuida presente en el diagrama se puede definir como una carga resultante en el centroide del soporte, dando como resultado el siguiente gráfico.

## Figura 26

*Carga Resultante.*

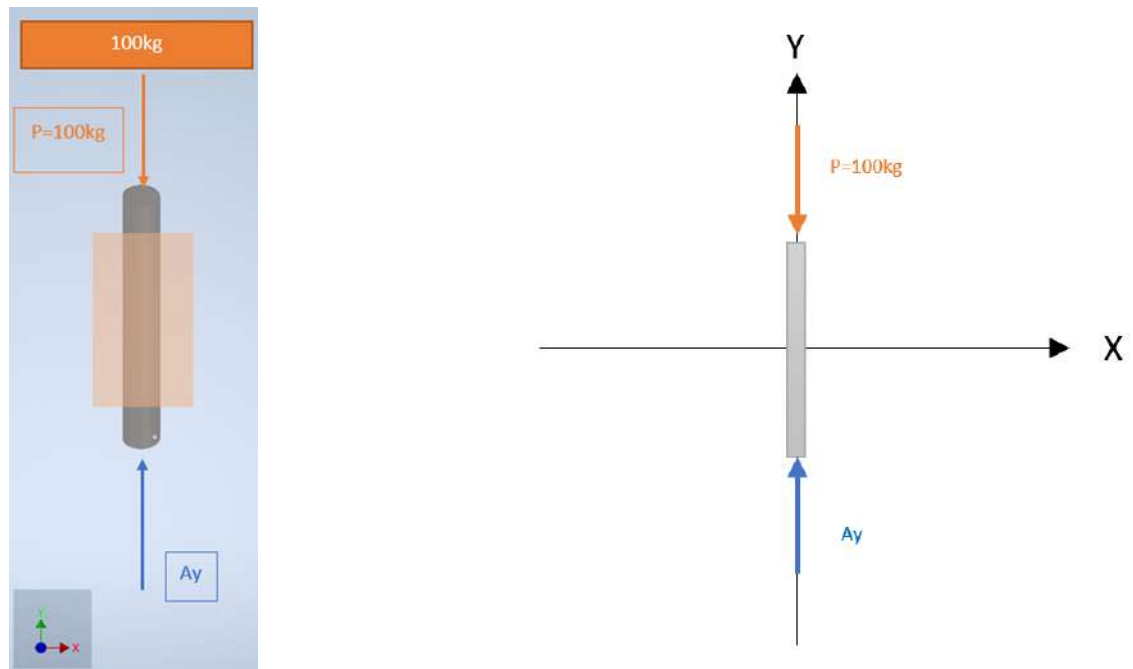


**Nota:** Análisis de la carga resultante sobre el eje de acero.

Se tiene una carga puntual ubicada en el centroide del sistema, además se presenta una fuerza de contracción sobre el eje, por tal motivo para que el sistema esté en equilibrio debe existir una fuerza contraria a la dirección de esta, como se aprecia en la figura 27.

**Figura 27**

*Fuerza Puntual.*



**Nota:** Se observa una carga puntual P sobre el eje de acero.

Sumatoria de fuerzas.

$$\sum Fx = 0 \quad (7)$$

$$\sum Fy = 0 \quad (8)$$

$$Ay = m \cdot a$$

$$Ay = 100kg \cdot 9,81$$

$$Ay = 981N$$

La fuerza aplicada sobre el eje ejerce un aplastamiento sobre este, por lo que se determina su resistencia a la deformación de acuerdo con las características del material establecido.

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (9)$$

Donde F es la fuerza aplicada sobre el eje y A es el área de la sección circular del eje. Por

ende se determina el área fijando un valor de diámetro de  $25.4mm$

$$A = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \quad (10)$$

$$A = \frac{\pi \cdot 25,4^2}{4}$$

$$A = 506,707mm^2$$

Entonces, remplazando (6) en (5):

$$\sigma = \frac{981N}{506,707mm^2}$$

$$\sigma = \frac{1,93N}{mm^2}$$

$$\sigma = 1,93MPa$$

Determinado la deformación unitaria, se obtiene el esfuerzo que se genera en el eje de acuerdo a sus propiedades.

$$\mathcal{E} = \frac{\sigma}{E} \quad (11)$$

Donde:

$\mathcal{E}$  es la resistencia mecánica del eje.

$E$  es el módulo elástico.

$$\mathcal{E} = \frac{1,93}{520}$$

$$\mathcal{E} = 0,000347$$

## 6.7. Dinámica Rotacional

La dinámica rotacional analiza el movimiento de cuerpos alrededor de un eje de rotación relacionándose con las leyes de Newton. Se determina las condiciones de funcionamiento del sistema

- El eje deberá rotar en torno a esto, se presenta como factor primordial la velocidad.
- Se debe considerar que su rotación será 90 grados establecidos desde un punto fijo que mantenga su perpendicularidad con la máquina de doblado.
- Es importante considerar que el ambiente en el que se encuentra el dispositivo es

industrial, por lo que presenta un adecuado y favorable entorno de trabajo.

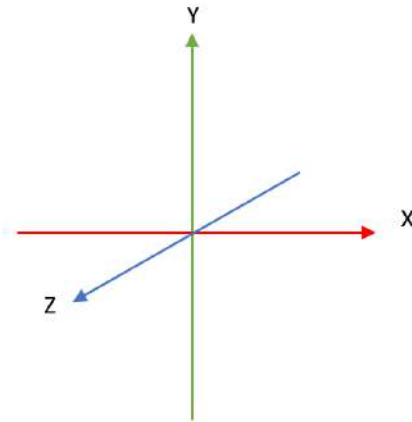
- Este deberá moverse con cargas sobre su sistema, por ende debe ser capaz de soportarlas.

El momento de inercia es el principal factor a calcular debido a que este proporciona el valor de la resistencia rotacional del cuerpo frente a los cambios de velocidad.

Para la determinación del momento de inercia es importante establecerse el sistema de ejes coordenados, siendo el mismo para el análisis de todos los elementos, como se observa en la figura 28.

### Figura 28

*Sistema de ejes.*



**Nota:** Ejes de coordenadas referencial del sistema para análisis dinámico.

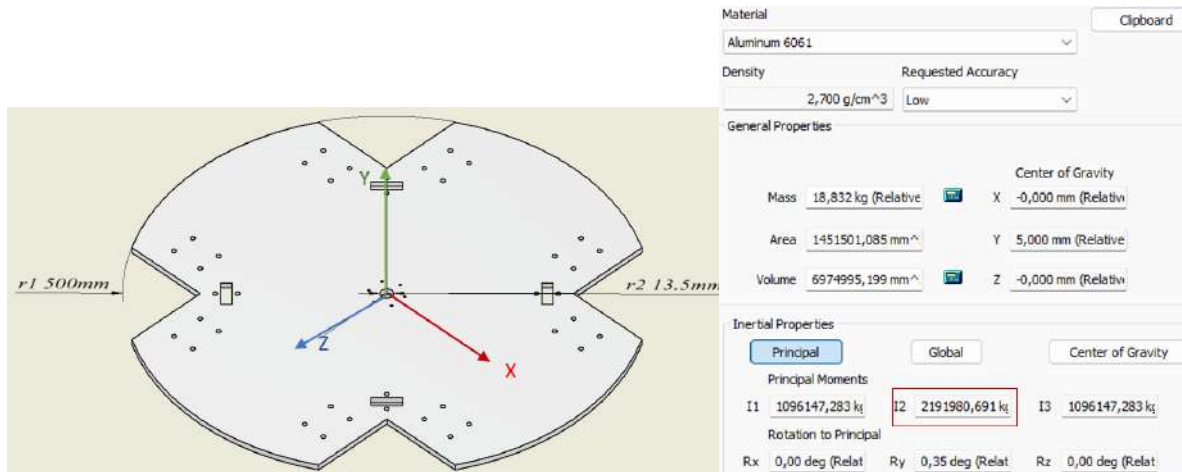
## 6.8. Momento de inercia del sólido rígido

### 6.8.1. Momento de inercia de la plataforma de unión

Se realiza el cálculo en software para posteriormente compararlo al cálculo numérico, como se observa en la figura 29.

**Figura 29**

*Inercia plataforma de Unión.*



**Nota:** Propiedades de inercia de la plataforma de unión en Inventor.

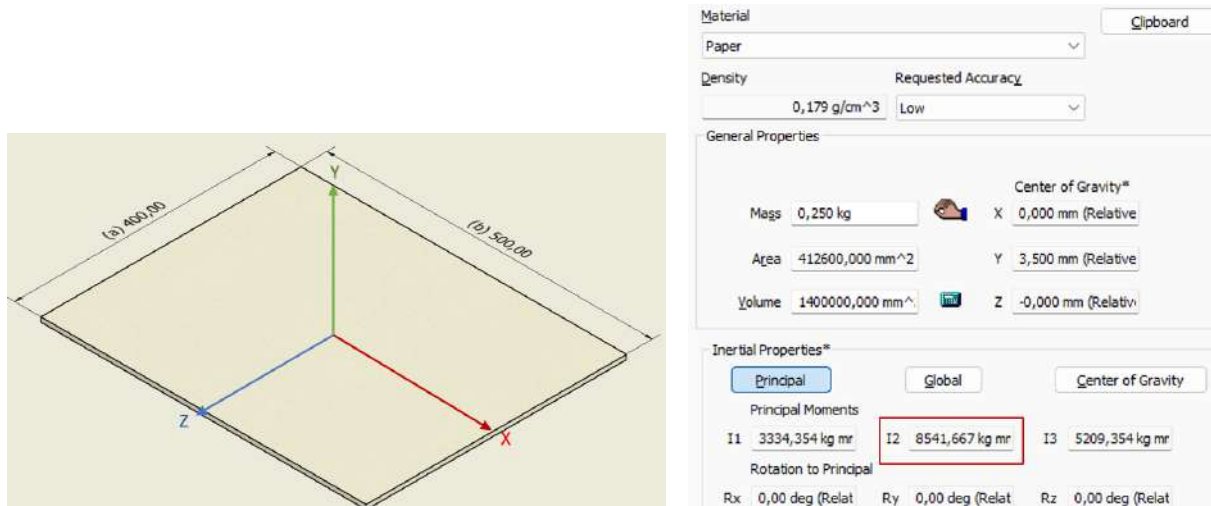
$$I_{puy} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot (r_1^2 + r_2^2) \quad (12)$$
$$I_{puy} = \frac{1}{2} \cdot 18,832kg \cdot (500mm^2 + 13,5mm^2)$$
$$I_{puy} = 2.355.716,066kg \cdot mm^2$$
$$I_{puy} = 2,35kg \cdot m^2$$

### 6.8.2. Momento de inercia del cartón

Se puede apreciar los datos de la inercia para la geometría del cartón obtenidos, usando la herramienta Inventor, como se observa en la siguiente figura.

**Figura 30**

*Inercia del Cartón.*



**Nota:** Propiedades de inercia del del cartón en Inventor.

$$I_{cy} = \frac{1}{12} \cdot m \cdot (a^2 + b^2) \quad (13)$$

$$I_{cy} = \frac{1}{12} \cdot 0,250kg \cdot (500mm^2 + 400mm^2)$$

$$I_{cy} = 51.250,125kg \cdot mm^2$$

$$I_{cy} = 0,0512kg \cdot m^2$$

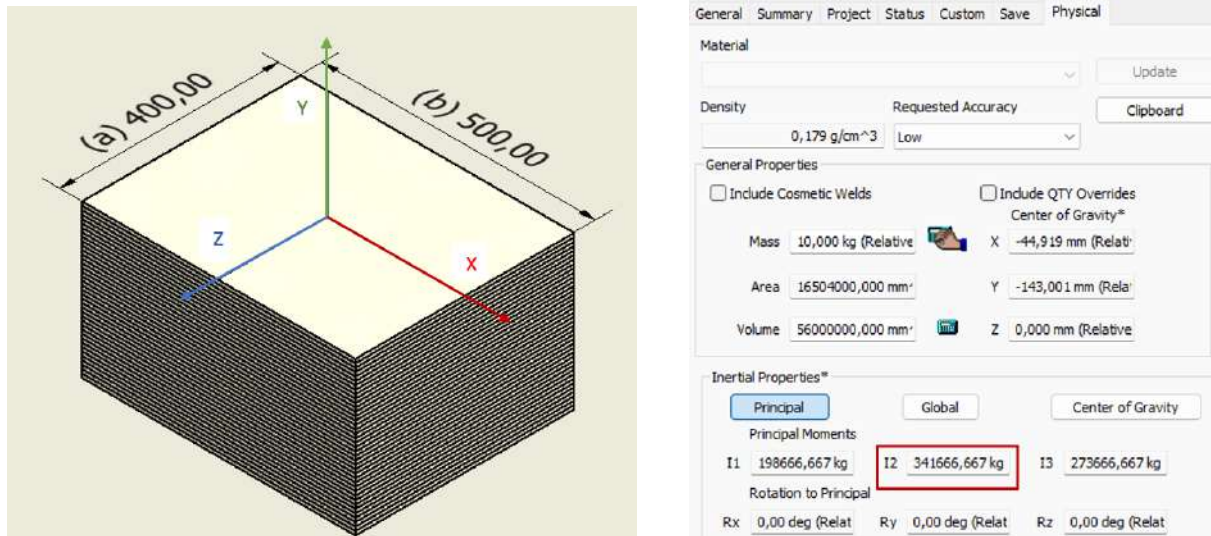
### 6.8.3. Momento de inercia del lote de cartones

Se calcula la inercia de un lote de cartón usando la herramienta Inventor, como se observa en la siguiente figura.



**Figura 31**

*Inercia del Lote de Cartón.*



**Nota:** Propiedades de inercia del lote de cartón en Inventor.

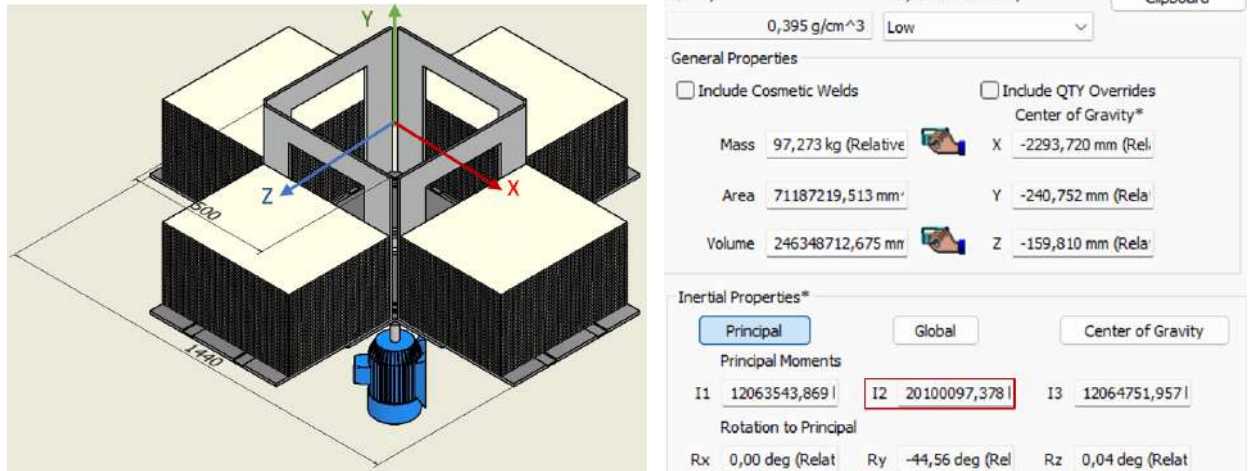
$$I_{cy} = \frac{1}{12} \cdot m \cdot (a^2 + b^2) \quad (14)$$
$$I_{cy} = \frac{1}{12} \cdot 10kg \cdot (500mm^2 + 400mm^2)$$
$$I_{cy} = 341.666,6667kg \cdot mm^2$$
$$I_{cy} = 0,341kg \cdot m^2$$

#### 6.8.4. Momento de inercia del sistema total

Se determina la inercia total del sistema, usando la herramienta Inventor, como se observa en la siguiente figura.

**Figura 32**

*Inercia del Lote de Cartón.*

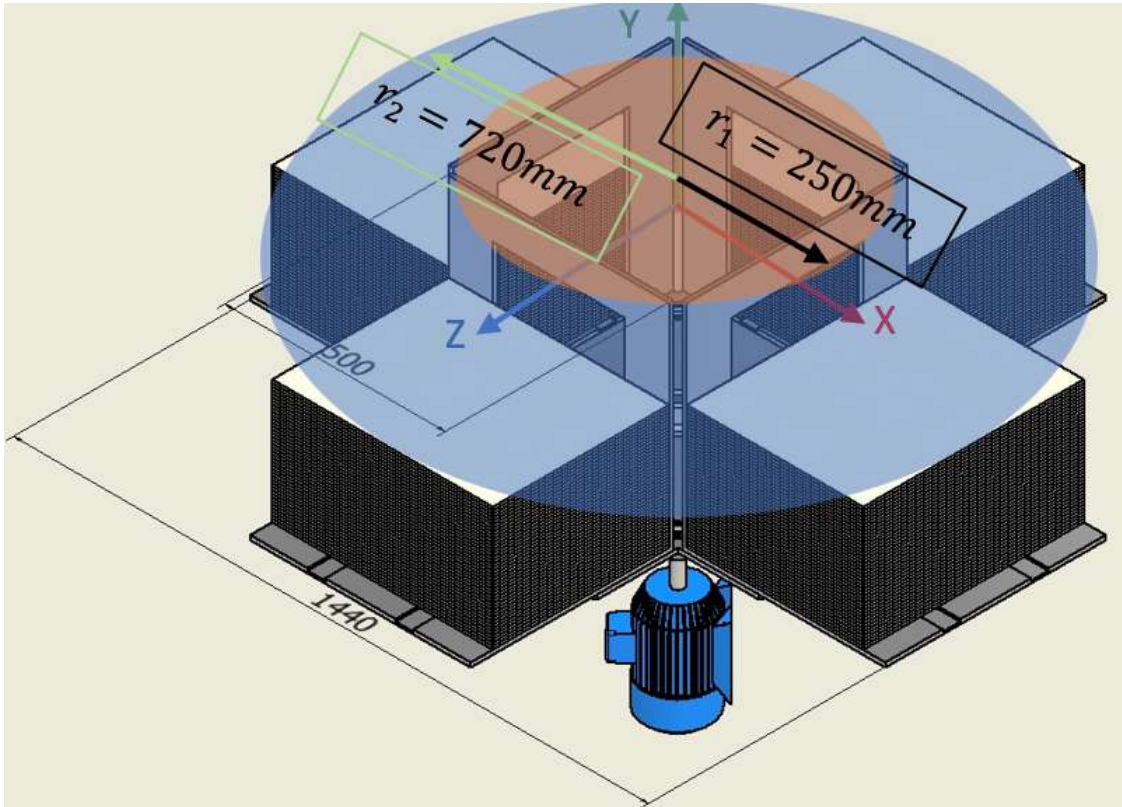


**Nota:** Propiedades de inercia del lote de cartón en Inventor.

Se realizó el cálculo de la inercia tomando como un disco hueco al sistema como se observa en la figura a continuación.

**Figura 33**

*Inercia tipo disco hueco del Sistema.*



**Nota:** Propiedades de inercia del sistema respecto a un disco hueco en Inventor.

$$I_{cy} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot (r_1^2 + r_2^2) \quad (15)$$
$$I_{cy} = \frac{1}{2} \cdot 100kg \cdot (0,025m^2 + 0,720m^2)$$
$$I_{cy} = 25,95kg \cdot m^2$$

Se consideró un error de  $\pm 0,08m$  respecto al radio mayor del disco, por lo que se realizó el cálculo como:

$$I_{cy} = \frac{1}{2} \cdot 100kg \cdot (0,025m^2 + 0,640m^2)$$
$$I_{cy} = 20,5kg \cdot m^2$$

Análisis de la inercia rotacional respecto a su eje de rotación y la distribución de masas.

$$I_r = m_1 \cdot r_1^2 + m_2 \cdot r_2^2 \dots = \sum_i m_i \cdot r_i^2 \quad (16)$$

Se consideró en la ecuación el valor por cuatro plataformas, de esta manera se tiene:

$$I_r = 4(8,892 \cdot 500^2) + 4(10 \cdot 500^2)$$

Análisis de la inercia del centro de masa respecto al eje

$$I_{cm} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot r^2 \quad (17)$$

$$I_{cm} = \frac{1}{2} \cdot 18,832 \cdot 500^2$$

La sumatoria de las inercias del centro de gravedad más las inercias distribuidas dan el valor de la inercia total, teniendo así:

$$I_T = I_{cm} + I_r \quad (18)$$

$$I_T = \frac{1}{2} \cdot 18,832 \cdot 500^2 + 4(8,892 \cdot 500^2) + 4(10 \cdot 500^2)$$

$$I_T = 22.872.614kgmm^2$$

$$I_T = 22,872kgm^2$$

Resultado del momento de inercia en el software

$$I_T = 20.099.914,078kgmm^2$$

$$I_T = 20,099kgm^2$$

Respecto a los valores obtenidos de la inercia se establece un valor promedio de este para cálculos este valor es de:

$$I_T = 21kgm^2$$

## 6.9. Cálculo del torque.

Se tiene que el torque es proporcional al momento de inercia del sólido por su aceleración angular.

$$T = I \cdot \alpha \quad (19)$$

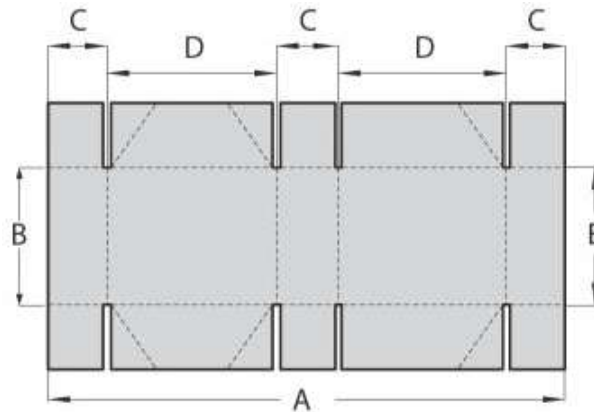
Donde la aceleración angular es igual al cambio de velocidad en un instante de tiempo.

$$\alpha = \int \frac{\omega}{t} \quad (20)$$

Se tiene una velocidad mínima requerida de la máquina de treinta revoluciones por minuto para que el dispositivo pueda recibir los cartones que salen de la banda transportadora después de su etapa de doblado y engomado. Se aprecia la caja de 6 esquinas de la máquina CS SERIES Automatic High Speed 4 and 6 corner Folder Gluer, en la siguiente figura.

**Figura 34**

*6 Corner Box.*



**Nota:** Este tipo de cartón se realiza a una velocidad baja por sus detalles (ROLAM, 2021).

Para nuestro modelo se toma 30 cajas por minuto. Se tiene una velocidad mínima requerida de la máquina de 30 revoluciones por minuto para que el dispositivo pueda recibir los cartones que salen de la banda transportadora después de su etapa de doblado y engomado.

$$\omega = 30rpm \quad (21)$$

Se realizó la conversión a radianes

$$\omega = 30rpm \cdot \frac{2\pi rad}{60s} \quad (22)$$

$$\omega = \frac{\pi rad}{s}$$

Debido a que la velocidad de la banda es de  $rad/s$  y nuestro dispositivo gira 90 grados, este tendrá una velocidad nominal del valor de la banda para cuatro.

$$\omega = \frac{\pi rad}{4s}$$

Se reemplaza en la ecuación de la aceleración.

$$\alpha = \frac{\frac{\pi rad}{4s} - 0}{1s}$$

$$\alpha = \frac{\pi rad}{4s^2}$$

La aceleración obtenida se reemplaza en la fórmula del torque.

$$T = 21kgm^2 \cdot \frac{\pi rad}{4s} \quad (23)$$

$$T = 16,49N \cdot m$$

Se relaciona el torque con la potencia para obtener el motor adecuado para el funcionamiento de nuestro dispositivo.

$$M = \frac{9.550 \cdot P}{n} \quad (24)$$

- Donde M es el par motor o torque definido por T.
- N son las revoluciones por minuto.
- P es la potencia en kW.

Se despeja la variable P requerida para la selección del motor.

$$P = \frac{M \cdot n}{9.550}$$

$$P = \frac{16,49 \cdot 60}{9.550}$$

$$P = 0,1036kW$$

$$P = 103,6W$$

Respecto a las características obtenidas, se procede a la selección del motor adecuado para el funcionamiento del dispositivo.

## 6.10. Cálculo del ángulo de torsión del eje.

La torsión es un tipo de esfuerzo que se produce cuando un objeto es torcido o retorcido alrededor de su eje longitudinal. La torsión se produce cuando se aplican fuerzas de torsión o momentos torsionales a un objeto, lo que resulta en una deformación angular en el objeto. El ángulo de torsión viene dado por la siguiente fórmula:

$$\theta = \frac{T \cdot L}{G \cdot J} \quad (25)$$

Donde:

$\theta$  es el ángulo de torsión.

$T$  es la torsión o carga aplicada al eje.

$L$  es la longitud del eje en metros.

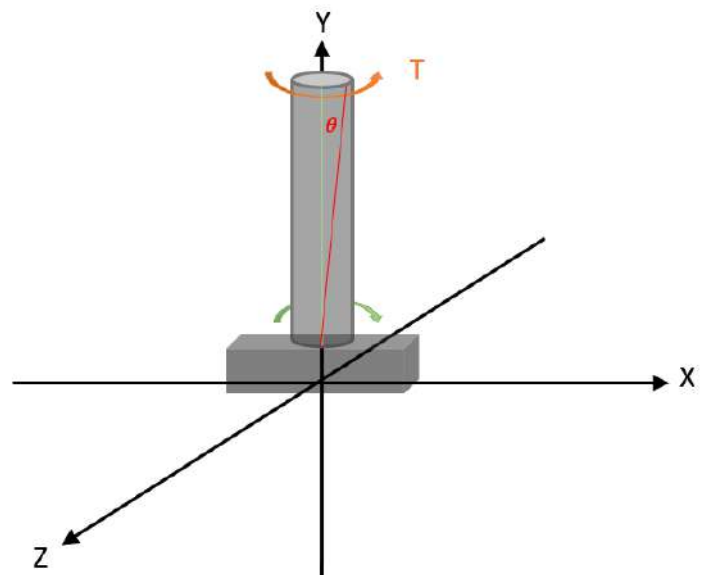
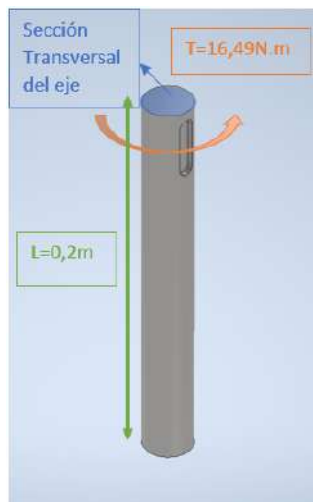
$G$  es el módulo de corte para los aceros  $200GPa$

$J$  el momento de inercia de la sección transversal del eje.

En la siguiente figura se presenta el DCL del eje de acero de transmisión.

**Figura 35**

*DCL Eje de Transmisión.*



**Nota:** Análisis del ángulo de torsión del eje.

Se calcula en momento de inercia de la sección transversal del eje representado por un

círculo en la cual se tiene que:

$$J_o = \frac{\pi}{2} \cdot r^4 \quad (26)$$

$$J_o = \frac{\pi}{2} \cdot (12,7 \cdot 10^{-3})^4$$

$$J_o = 4,086 \cdot 10^{-8} m^4$$

Remplazando en la fórmula del ángulo de torsión con los datos del sistema se tiene que:

$$\theta = \frac{16,49 N \cdot m \cdot 0,2 m}{(200 \cdot 10^9 Pa) \cdot (4,086 \cdot 10^{-8} m^4)}$$

$$\theta = 4,03 \cdot 10^{-4} rad$$

Se convierte de radianes a grados obteniendo:

$$\theta = 0,023^\circ$$

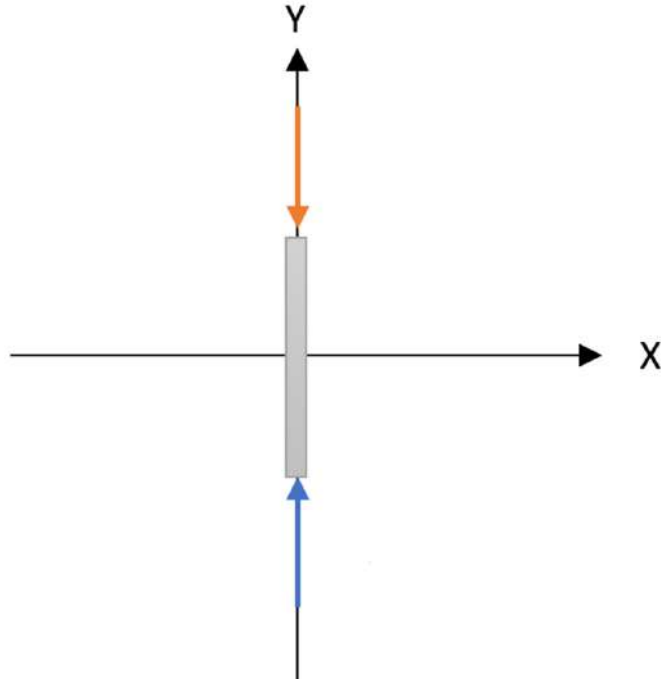
### 6.11. Cálculo del pandeo crítico del eje.

El cálculo del pandeo crítico de un eje es un proceso que se utiliza para determinar la carga máxima que puede soportar un eje antes de deformarse de manera irreversible. Este cálculo es importante en la ingeniería para garantizar la seguridad y la fiabilidad de los sistemas que utilizan ejes, en la siguiente figura se puede apreciar las cargas que producen el pandeo.



### Figura 36

*Cargas que producen pandeo.*

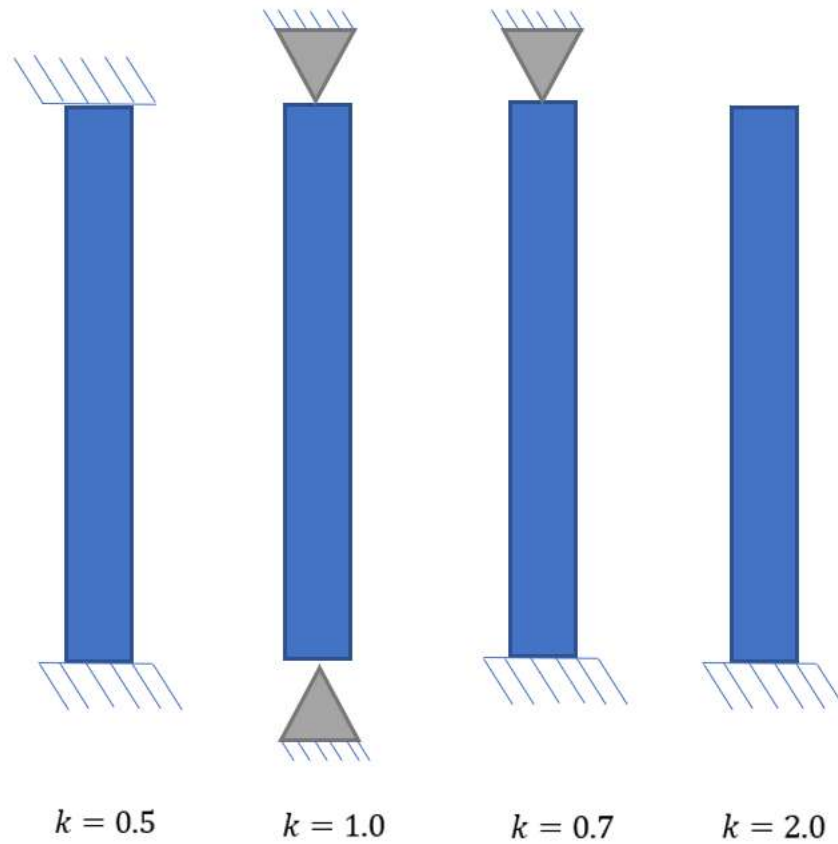


**Nota:** Eje sometido a cargas axiales.

Se procede a mostrar el coeficiente de pandeo, el cual es un parámetro numérico que se utiliza para describir la capacidad de un elemento estructural, como un eje, para resistir la deformación bajo carga axial. Este coeficiente se define como la relación entre la deformación angular de un eje y la carga axial que se aplica, se puede apreciar en la siguiente figura:

**Figura 37**

*Coeficiente de pandeo.*



**Nota:** El coeficiente que define al eje a calcular es de 0.5, debido a que está empotrado en ambos lados por los acoples.

$$P_{crítico} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{(k \cdot L)^2} \quad (27)$$

Donde:

$P_{crítico}$  = carga crítica

$\pi$  = constante matemática pi

$E$  = modulación de Young del material del eje

$I$  = momento de inercia del eje

$k$  = constante de pandeo, que depende de la geometría y las propiedades del material del eje

$L =$  longitud del eje

$$P_{crítico} = \frac{\pi^2 \cdot (200 \cdot 10^9) \cdot 0,000062519}{(0,5 \cdot 0,2)^2}$$

$$P_{crítico} = 1,23 \cdot 10^{10} N$$

$$P_{crítico} = 12,3GN$$

La carga crítica es de  $12,3GN$  que puede soportar el eje antes de deformarse de manera irreversible, la cual está aplicada sobre la superficie de  $490mm^2$  del extremo del eje.

## 6.12. Selección del motor

1. Capacidad de carga: La capacidad de carga del reductor debe ser suficiente para manejar la potencia del motor o el sistema que se está accionando. Esta corresponde al valor de la carga máxima analizada anteriormente y se presenta a continuación

$$CM = 97,798kg$$

2. Velocidad de entrada:

$$\omega = \frac{\pi rad}{4s}$$

3. Relación de reducción: La relación de reducción del reductor debe ser la adecuada para lograr la velocidad de salida deseada.

$$14 : 1$$

4. Torque Nominal para mover la carga respecto al eje de forma rotacional horizontal.

$$22,4N \cdot m$$

A continuación se presenta la tabla de un motor de corriente continua ME71V de DirectIndustry.

**Tabla 7**

*Motor D.C ME71V.*

Type	V <sub>n</sub> [V]	n [min <sup>-1</sup> ]	C <sub>n</sub> [Nm]	P <sub>u</sub> [W]	K <sub>c</sub> [Nm/A]	J [kg.m <sup>2</sup> ]	R <sub>term</sub> [°C/W]	R <sub>m</sub> [Ω]	Ind [mH]	Weight [Kg]
031	12	1500	1.60	250	0.059	0.0024	3.0	0.11	0.19	3.8
	24				0.118			0.77		
	180				0.881			42.0		
	12	3000		500	0.029			0.03	0.05	
24	0.059		0.11		0.19					
180	0.441		6.20		10.8					
066	12	1500	2.20	350	0.059	0.0038	2.6	0.05	0.27	5.8
	24				0.118			1.08		
	180				0.881			11.0	58.8	
	12	3000		700	0.029			0.015	0.07	
24	0.059		0.08		0.27					
180	0.441		3.36		15.12					
095	12	1500	2.80	450	0.059	0.0057	2.0	0.04	0.32	7.8
	24				0.118			1.28		
	180				0.881			9.86	72.0	
	12	3000		900	0.029			0.01	0.08	
24	0.059		0.04		0.32					
180	0.441		2.46		18.0					
130	12	1500	3	500	0.059	0.0078	0.5	0.04	0.32	10.2
	24			1000	0.118			0.17	1.28	
	180			1000	0.881			9.86	72.0	
	12	3000		500	0.029			0.01	0.08	
24	1000		0.059		0.04	0.32				
180	0.441		2.46		18.0					

**Nota:** Se presentan las características técnicas de los motores de corriente continua (*DirectIndustry, 2023*) y (*DAGU, 2023*).

Se establece el modelo de motor adecuado para el sistema como se puede ver en la siguiente figura.

### **Figura 38**

*Selección Motor.*



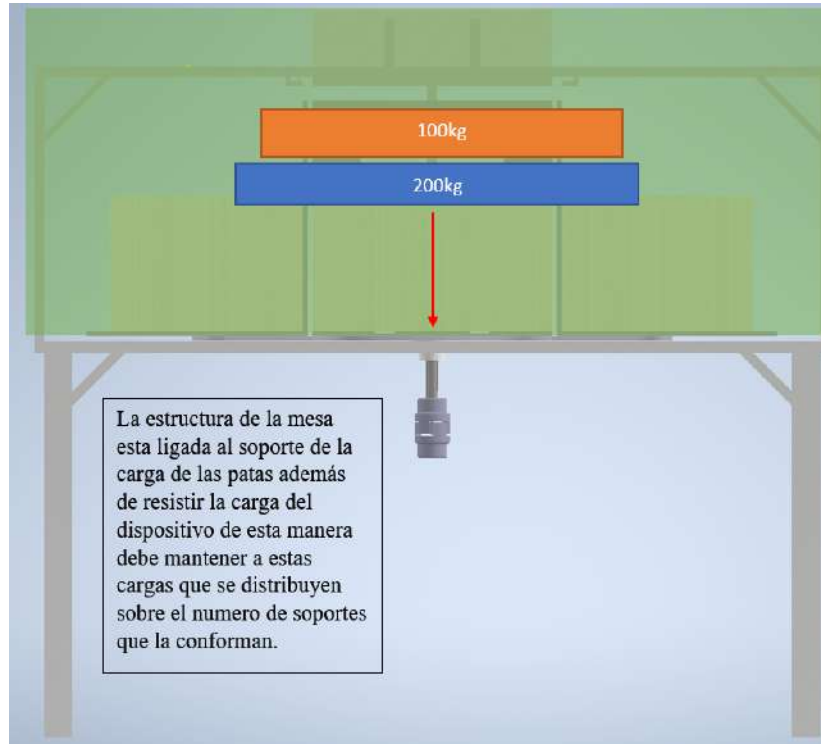
**Nota:** Motor seleccionado (*DirectIndustry, 2023*) y (*DAGU, 2023*).

### **6.13. Carga Estructural**

La carga estructural se refiere a las cargas que actúan sobre una estructura y son necesarias para su función y estabilidad. Estas cargas incluyen el peso propio de la estructura, las cargas debidas al uso (como personas o equipos), Es importante tener en cuenta estas cargas al diseñar y construir una estructura para asegurar que sea segura y capaz de soportar las cargas a las que estará expuesta. En el siguiente diagrama se muestra la carga que debe soportar la mesa estructural, como se muestra en la figura 39.

### Figura 39

*Carga Estructura mesa de soporte.*

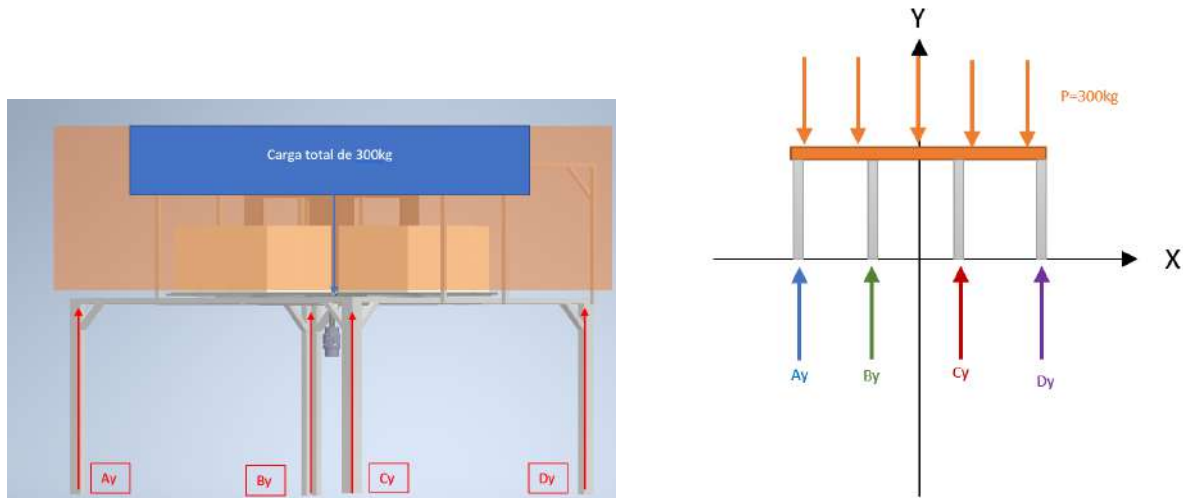


**Nota:** Carga puntual sobre la estructura.

Como siguiente paso se suman la dos cargas actuantes para formar una del valor de su adición, como se observa en la figura 40.

### Figura 40

*Carga Total en Estructura mesa de soporte.*



**Nota:** Carga total sobre la estructura y diagrama de cuerpo libre.

Se realiza la sumatoria de fuerzas en Y para determinar las cargas resultantes.

$$\Sigma y = 0 \quad (28)$$

$$P = Ay + By + Cy + Dy$$

$$P = m \cdot a$$

$$P = 300 \cdot 9.81$$

$$P = 2.943N$$

$$2.943N = Ay + By + Cy + Dy$$

Debido a que los soportes son los mismos, se establece que:

$$Ay = By = Cy = Dy$$

Entonces se tiene:

$$Ry = Ay + By + Cy + Dy$$

$$Ry = 4Ay$$

$$2.943N = Ry$$

$$2.943N = 4Ay$$

$$Ay = \frac{2.943N}{4}$$

$$Ay = 735,5N$$

### 6.13.1. Análisis del esfuerzo

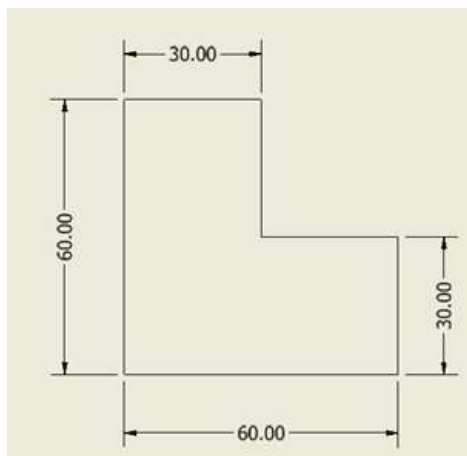
Se realizó el cálculo de esfuerzo y la deformación sobre un soporte de la mesa que determinara la resistencia sobre toda la estructura.

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (29)$$

Debido a que el área de la sección del soporte es una forma irregular, se la calculo como figuras separadas, como se aprecia en la figura 41.

#### Figura 41

*Sección de área de soporte.*



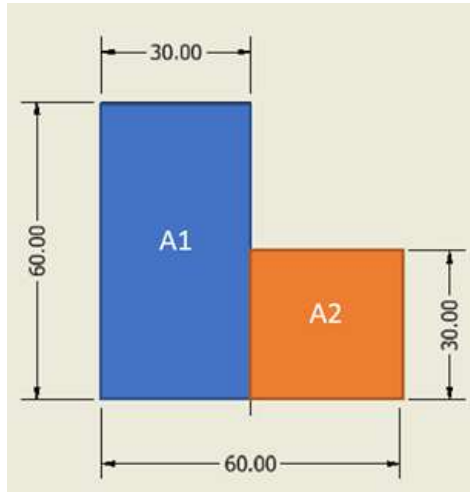
**Nota:** Análisis de la sección de área del soporte estructural.

Cálculo de la sección de área, como se aprecia en la siguiente figura.



## Figura 42

*Figura compuesta fragmentada.*



**Nota:** Análisis de la sección de área de figuras individualizadas.

Cálculo de área uno

$$A1 = b \cdot h \quad (30)$$

$$A1 = 30mm \cdot 60mm$$

$$A1 = 1.800mm^2$$

Cálculo de área dos

$$A2 = l^2 \quad (31)$$

$$A1 = 30^2$$

$$A1 = 900mm^2$$

Área Total de la sección

$$AT = A1 + A2 \quad (32)$$

$$AT = 1.800mm^2 + 900mm^2$$

$$AT = 2.700mm^2$$

Es importante considerar la resistencia a la deformación de la estructura debido a que estará

sometido a una carga considerable, por ende se tiene:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

$$\sigma = \frac{735,5N}{2.700mm^2}$$

$$\sigma = 0,2724 \frac{N}{mm^2}$$

Resistencia mecánica del soporte, se calcula con base en la deformación unitaria del componente que estará sometido a una carga y en relación con el módulo de elasticidad del material.

$$\mathcal{E} = \frac{\sigma}{E}$$

Donde

$$\mathcal{E}$$

es la resistencia del soporte de la mesa.

$$\mathcal{E} = \frac{1,93}{520}$$

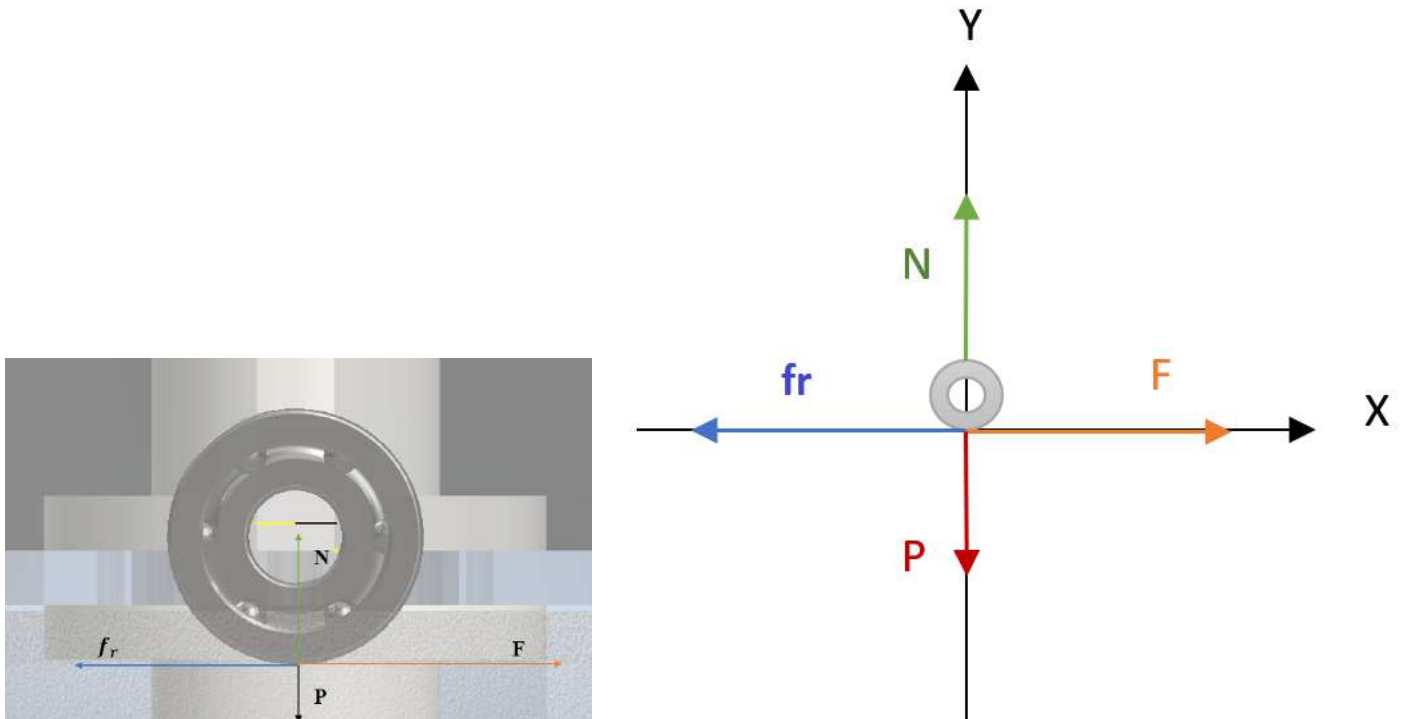
$$\mathcal{E} = 0,000347$$

#### **6.14. Cálculos de la fuerza de rozamiento**

Se tiene los elementos de rodamiento y su soporte que al ser los encargados de guiar y estabilizar el movimiento rotacional del sistema genera una fuerza de rozamiento debido al contacto entre dos metales en fuerzas opuestas como se observa a continuación

**Figura 43**

*Diagrama de la fuerza de rozamiento.*



**Nota:** Se pueden observar las diferentes fuerzas que ejercen al elemento cuando existe un rozamiento entre dos metales.

Datos:

$$C_M = 100kg$$

Peso total del dispositivo

$$P_t = 981N$$

Peso dividido para 4

$$P_d = 245,25N$$

Fuerza aplicada

$$T = F \cdot D \tag{33}$$

donde:

$T$ = Torque,

$F$ =fuerza,

$D$ =Distancia al centro del rodamiento.

$$F = \frac{T}{D}$$

$$F = \frac{20N \cdot m}{0,0235m}$$

$$F = 851,06N$$

Coeficiente estático hierro-aluminio

$$\mu_s = 0,61$$

Coeficiente cinético hierro-aluminio

$$\mu_k = 0,47$$

Coeficiente estático rozamiento entre metales lubricados

$$\mu_U = 0,3$$

Sumatoria de fuerzas en Y

- Con el peso total

$$\sum Fy = 0 \tag{34}$$

$$-981N + N = 0$$

$$N = 981N$$

- Con el peso dividido para 4

$$\sum Fy = 0 \tag{35}$$

$$-245,25N + N = 0$$

$$N = 245,25N$$

Rozamiento estático

$$f_{rs} = \mu_s \cdot N \tag{36}$$

- Con el peso total

$$f_{rs} = 0,61 \cdot 981N$$

$$f_{rs} = 598,41N$$

- Con el peso dividido para 4

$$f_{rs} = 0,61 \cdot 245,25N$$

$$f_{rs} = 149,6N$$

Rozamiento estático con el coeficiente de rozamiento entre metales lubricados

- Con el peso total

$$f_{rs} = 0,3 \cdot 981N$$

$$f_{rs} = 294,3N$$

- Con el peso dividido

$$f_{rs} = 0,3 \cdot 245,25N$$

$$f_{rs} = 73,575N$$

Rozamiento cinético

$$f_{rk} = \mu_s \cdot N \tag{37}$$

- Con el peso total

$$f_{rk} = 0,47 \cdot 981N$$

$$f_{rk} = 461,07N$$

- Con el peso dividido

$$f_{rk} = 0,47 \cdot 245,25N$$

$$f_{rk} = 115,26N$$

Se obtuvo que la fuerza aplicada es capaz de mover los rodamientos, ya que la fuerza de rozamiento ya sea estática o cinética con el peso completo o dividido es menor a la fuerza sometida.

## 6.15. Cálculos de la chaveta

La chaveta estará ubicada en los extremos opuestos del eje del dispositivo Para calcular las medidas de la chaveta nos regimos por las normas DIN 6885, como se muestra en la siguiente tabla.

**Tabla 8**

*Normas DIN 6885 A.*

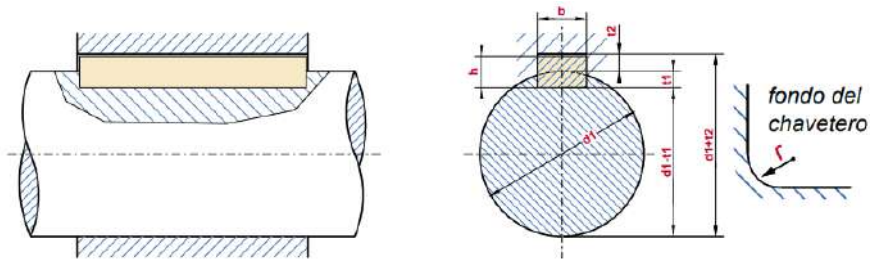
Sección de la lengüeta de ajuste	Ancho $b$	5	6	8	10	12	14	16	18	20	22	25	28	32	36
	Alto $h$	3	4	5	6	6	6	7	7	8	9	9	10	11	12
Para diametro del eje	Más de	12	17	22	30	38	44	50	58	65	75	85	95	110	130
	hasta	17	22	30	38	44	50	58	65	75	85	95	110	130	150
Ranura del eje - Profundidad	$t_1$	1,9	2,5	3,1	3,7	3,9	4	4,7	4,8	5,4	6	6,2	6,9	7,6	8,3
	dif. Adm.	+0,1			+0,2										
Ranura del cubo - Profundidad	$t_2$	1,2	1,6	2	2,4	2,2	2,1	2,4	2,3	2,7	3,1	2,9	3,2	3,5	3,9
	Dif. Adm.	+0,1						+0,2							

**Nota:** Se pueden observar las medidas por norma DIN 6885 A de las chavetas, tomado de OPAC (2021).

En la siguiente figura se puede observar las medidas de la chaveta según la norma DIN 6865 A.

**Figura 44**

*Medidas de la chaveta según la norma DIN 6865 A.*

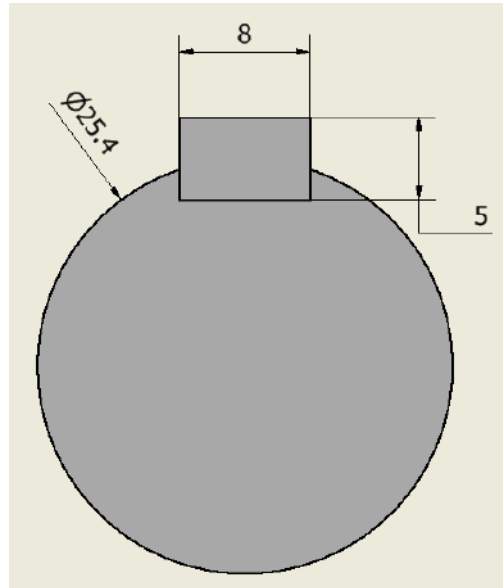


**Nota:** Se pueden observar las medidas de la chaveta según la norma DIN 6865 A OPAC (2021).

Nos regimos los valores de  $(b)$  y  $(h)$  de acuerdo al tamaño del diámetro del eje, como se observa en la figura 45:

**Figura 45**

*Medidas de la chaveta.*

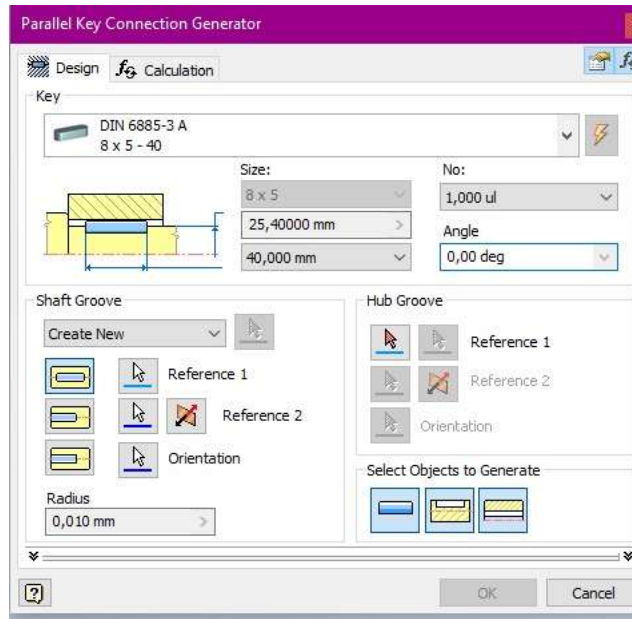


**Nota:** Se pueden observar las medidas de la chaveta usada donde  $(b)= 8$  y  $(h)=5$ .

Se procede a ingresar los valores al programa inventor en el eje con sus respectivas características, como se aprecia en la siguiente figura 46.

## Figura 46

*Características de la chaveta en inventor.*



**Nota:** Se pueden observar las medidas de la chaveta usada para el diseño en Inventor.

Se procede a calcular el esfuerzo normal y comparar si el material es capaz de resistirlo, por lo que se sacó las propiedades del material de la chaveta, el cual es un acero AISI 316Ti, la cual se aprecia en la tabla 9.



**Tabla 9***Acero inoxidable AISI 316Ti.*

Propiedad	Valor típico
Limite Elástico 0,2% desplazamiento	36 ksi
	248 MPa
Resistencia a la tracción	90 ksi
	620 MPa
Porcentaje de elongación en 2in o 51mm	54.0
Dureza	76 HRB

**Nota:** Propiedades Mecánicas Acero AISI 316Ti, es el metal normalizado para las chavetas DIN 6885, propiedades mecánicas tomado de CHILEXPO (2019).

Se calcula el esfuerzo normal a la que está sometido la chaveta.

$$T = F \cdot D \quad (38)$$

donde:

$T$  = Torque,

$F$  = Fuerza,

$D$  = Distancia de la chaveta.

$$F = \frac{T}{D}$$

$$F = \frac{20N \cdot m}{0,04m}$$

$$F = 500N$$

$$\sigma_n = \frac{F}{\frac{h}{2} \cdot L} \quad (39)$$

donde:

$\sigma_n$  = Esfuerzo normal,

$F$  = Fuerza,

h =Altura de la chaveta,  
L =Longitud de la chaveta.

$$\sigma_n = \frac{500N}{\frac{0,005m}{2} \cdot 0,04m}$$
$$\sigma_n = 5.000.000 \frac{N}{m^2}$$

$$\sigma_{aceroAISI316TI} = 620MPa$$

entonces:

$$5.000.000 \frac{N}{m^2} \leq 620MPa$$
$$5MPa \leq 620MPa$$

De esta manera se puede determinar que la chaveta es capaz de soportar el esfuerzo normal sometido.

Se calcula el esfuerzo cortante a la que está sometido la chaveta.

$$\tau_c = \frac{F}{b \cdot L} \quad (40)$$

donde:

$\tau_c$  = Esfuerzo cortante,

$F$  =Fuerza,

$b$  =Ancho de la chaveta,

L =Longitud de la chaveta.

$$\tau_c = \frac{500N}{0,008 \cdot 0,04m}$$
$$\tau_c = 1.562.500 \frac{N}{m^2}$$

$$\sigma_{aceroAISI316TI} = 248MPa$$

entonces:

$$1.562.500 \frac{N}{m^2} \leq 248MPa$$

$$1.5625MPa \leq 248MPa$$

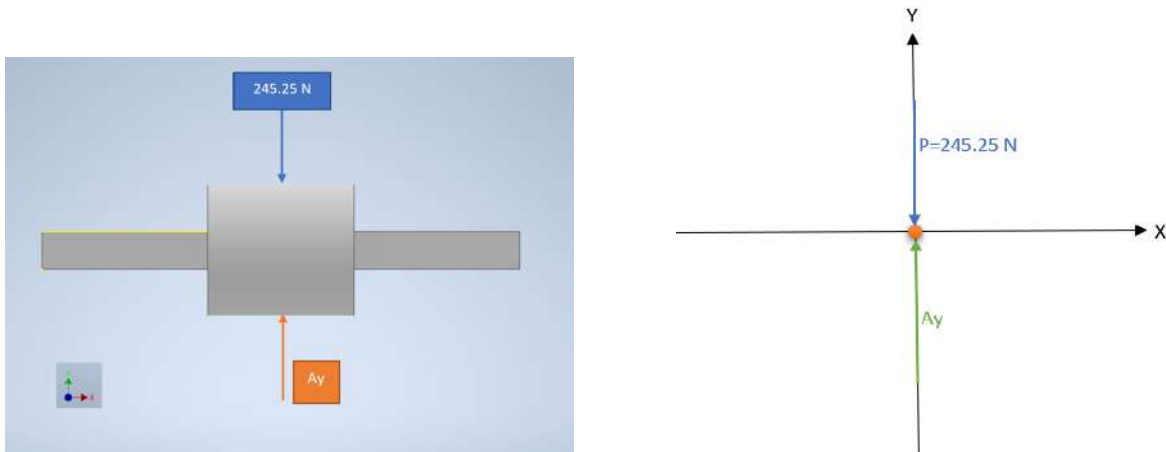
De esta manera se puede determinar que la chaveta es capaz de soportar la tensión cortante sometida.

## 6.16. Cálculos del soporte de rodamientos

Se procede a sacar el cálculo del peso aplicado sobre el soporte y como actúa en el elemento para observar su reacción sobre tal elemento como se observa en la siguiente figura:

**Figura 47**

*Carga en soporte de rodamientos.*



**Nota:** Se aprecia la carga dividida para los 4 soportes sobre la estructura y el diagrama de cuerpo libre.

Sumatoria de fuerzas.

$$\sum Fx = 0$$

$$\sum Fy = 0$$

$$Ay = P$$

$$Ay = 245,25N$$

La fuerza aplicada sobre el soporte realiza un aplastamiento sobre este, por lo que se determina su resistencia a la deformación de acuerdo con las características del material, en

este caso es el aluminio 6061.

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (41)$$

Donde P es la fuerza aplicada y A es el área de la sección circular del eje. Por ende se determina el área:

$$A = b \cdot h \quad (42)$$

$$A = 17 \cdot 19$$

$$A = 323mm^2$$

Entonces reemplazando:

$$\sigma = \frac{245,25N}{323mm^2}$$

$$\sigma = 0,759 \frac{N}{mm^2}$$

$$\sigma = 0,759MPa$$

Determinado la deformación unitaria, se obtiene el esfuerzo que se genera en el eje de acuerdo a sus propiedades.

$$\mathcal{E} = \frac{\sigma}{E} \quad (43)$$

Donde:

$\mathcal{E}$  es la resistencia mecánica.

$E$  es el módulo elástico.

$$\mathcal{E} = \frac{0,759MPa}{400MPa}$$

$$\mathcal{E} = 0,001897$$

Se obtuvo que el esfuerzo de aplastamiento del soporte de rodamiento es de 0.759 MPa y su resistencia mecánica es de 0.001897.

## 6.17. Selección de actuadores

### 6.17.1. Sensor SD - Sistema de transmisión

Se escogió un sensor de la marca WEG, como se muestra en la figura 48, con las siguientes características, que se observa en la tabla 10.

**Figura 48**

*Sensor SD.*



**Nota:** SD - Sensor Óptico Difuso, Cilíndrico, Cuerpo Metálico, tomado de WEG (2021).

**Tabla 10**

*Características de los sensores SD.*

dimensiones	distancia desde traspueta Sn (mm)	voltaje de alimentación	frecuencia de conmutación (Hz)	Tipo de salida		Referencia con cable	Referencia con conector
				PNP	NA+NF		
M18	100	10-30 V CC	100	PNP	NA+NF	SD01T-18G1LP2	SD01T-18G3LP2
				PNP	NA+NF	SD01T-18G1LD2	SD01T-18G3LD2
	PNP			NA+NF	SD03T-18G1LD2	-	
	PNP			NA+NF	-	SD03T-18G3LD2	
M30	300			PNP	NA+NF	-	SD03T-18G3LP2
				PNP	NA+NF	-	SD03T-30G3LP2
	500			PNP	NA+NF	-	SD03T-30G3LD2
				PNP	NA+NF	-	SD05T-30G3LP2

**Nota:** SD - Sensor Óptico Difuso, Cilíndrico, Cuerpo Metálico, tomado de WEG (2021).

Se seleccionó el sensor M18 con una distancia de trasposición de 300 mm que nos permite detectar cuando un cartón ingrese hacia el dispositivo para el censo y conteo del cartón.

### 6.17.2. EO / RO - Sistema de barrera

Se escogió un segundo sensor de la marca WEG, como se aprecia en la figura 49, con las siguientes características para un censo del cartón más exacto, se aprecian en las tablas 11 y

12.

**Figura 49**

*Característica del sensor emisor EO / RO.*



**Nota:** EO / RO - Sensor Óptico de Barrera, Cilíndrico, Cuerpo Metálico, Emisor-Receptor, tomado de WEG (2021).

**Tabla 11**

*Característica del sensor emisor EO / RO.*

Ocupación	dimensiones	distancia desde operación (m)	Voltaje	frecuencia de conmutación (Hz)	Referencia con cable	Referencia con conector
editor	M8	dos	10-30 V CC	100	EO2-8G1L <sub>11</sub>	-
	M14	5			EO5-14G1L <sub>11</sub>	-
	M18	10			EO10-18G1LD	EO10-18G3LD
	M18	30			EO30-18G1LD	EO30-18G3LD

**Nota:** EO / RO - Sensor Óptico de Barrera, Cilíndrico, Cuerpo Metálico, Emisor, tomado de WEG (2021).

Se seleccionó el sensor emisor de M8 con una distancia de trasposición de 2 metros, que nos permite detectar cuando un cartón ingrese hacia el dispositivo para el censo y conteo del cartón.

**Tabla 12***Característica del sensor receptor EO / RO.*

ocupación	dimensiones	distancia desde operación (m)	voltaje de alimentación	frecuencia de conmutación (Hz)	Tipo de salida		Referencia con cable	Referencia con conector
receptor	M18	5	10-30 V CC	100	PNP	NA+NF	RO5-18G1LP2	RO5-18G3LP2
	M18	10			PNP	NA+NF	RO5-18G1LD2	RO5-18G3LD2
					PNP	NA+NF	RO10-18G1LP2	RO10-18G3LP2
	M18	30			PNP	NA+NF	RO10-18G1LD2	RO10-18G3LD2
					PNP	NA+NF	RO30-18G1LP2	RO30-18G3LP2
	M30	30			PNP	NA+NF	RO30-18G1LD2	RO30-18G3LD2
					PNP	NA+NF	RO30T-30G1LP2	RO30T-30G3LP2
							PNP	NA+NF

**Nota:** EO / RO - Sensor Óptico de Barrera, Cilíndrico, Cuerpo Metálico, Receptor, tomado de WEG (2021).

Se seleccionó el sensor emisor de M18 con una distancia de trasposición de 5 metros, junto con el sensor emisor y receptor es capaz de detectar cuando un objeto cruce entre los dos, lo cual nos permite de detectar cuando un cartón ingrese hacia el dispositivo para el censo y conteo del cartón.

### 6.17.3. Selección pistón

Se determina como elemento actuador al pistón DFPI-125-ND2P-C1V-NB3P-A de acuerdo a sus características, el cual nos permite tener un fácil conocimiento de sus posiciones de estado debido a su fin carrera integrado y su sencillo accionamiento con el PLC al ser un elemento electroneumático.

Sus principales características son demostradas en la siguiente tabla:

**Tabla 13***Característica del pistón.*

<b>Características</b>	<b>Valor</b>
Carrera	350 mm
Basado en la norma	ISO 15552
Modo de funcionamiento	Doble efecto
Detección de posición	Con sistema de medición de recorrido integrado
Presión de funcionamiento	0,3 MPa ... 0,8 MPa
Presión nominal de funcionamiento	6 bar
Salida analógica	4-20 mA
Margen de tensiones de servicio DC	21,6 V ... 26,4 V
Consumo de corriente máx.	220 mA
Tensión nominal de funcionamiento DC	24 V
Medio de funcionamiento	Aire comprimido según ISO 8573-1:2010 [7:4:4]
Grado de protección	IP65 IP67 IP69K NEMA 4
Fuerza teórica con 6 bar, retorno	6881 N
Fuerza teórica con 6 bar, avance	7363 N

**Nota:** Actuador lineal, DFPI-125-ND2P-C1V-NB3P-A FESTO (2022).

Cumple con nuestros principales requisitos, los cuales son el tamaño del pistón para que pueda caber dentro del dispositivo y con la fuerza necesaria, la cual tiene, 7.363 N lo cual puede empujar el peso máximo de los cartones ubicados en la plataforma, que es de 95.1 N.

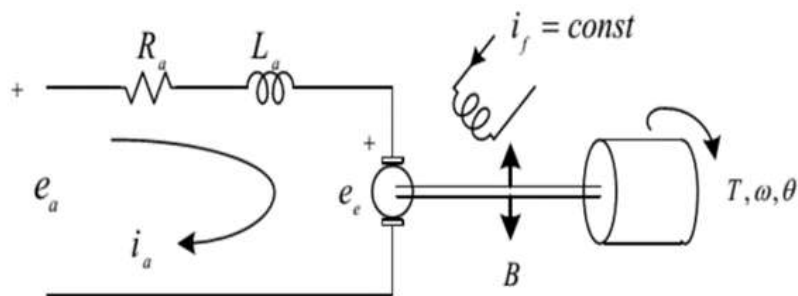
## **6.18. Control de un motor de corriente continua con reductor**

El diagrama de corriente continua de un motor representa la relación entre el voltaje aplicado al motor y la corriente que fluye a través de él, así como la relación entre la velocidad del motor y la corriente que fluye a través de este, como se observa en la figura 50.



**Figura 50**

*Diagrama Eléctrico Motor DC.*



**Nota:** Se muestra la representación del motor en base al diagrama eléctrico.

Se analizó los movimientos de traslación y rotación necesarios para obtener la función del sistema.

### **Rotación**

- *Fuerza* =  $f$
- *Masa* =  $m$
- *Velocidad* =  $v$
- *Desplazamiento* =  $x$
- *Rozamiento* =  $B$

### **Traslación**

- *Torque* =  $T$
- *Inercia* =  $J$
- *Velocidad* =  $v$
- *Fricción* =  $f_r$
- *Omega* =  $\omega$
- *Posición* =  $\theta$

### Ecuaciones fase eléctrica

$$e_a = R_a i_a + L_a \frac{di_a}{dt} + e_e \quad (44)$$

$$e_e = K_e \omega \quad (45)$$

### Ecuaciones fase Mecánica

$$T = K_T i_a \quad (46)$$

$$T = J\dot{\omega} + B\omega$$

$e_a$  : voltaje de armadura

$R_a$  : resistencia de armadura

$L_a$  : inductancia de armadura

$e_e$  : fuerza contra-electromotriz

$K_T$  : constante de torque

$K_e$  : constante de velocidad

$J$  : momento de inercia del motor

$B$  : constante de amortiguamiento de fricción

$\omega$  : velocidad del motor

$\theta$  : posición del motor

Pasando del dominio del tiempo al dominio de Laplace se tiene:

$$E_a = I_a (R_a + L_a S) + K_e \Omega \quad (47)$$

$$I_a = \Omega \frac{JS + B}{K_T} \quad (48)$$

En donde se reemplaza el valor de  $I_a$  en la ecuación anterior teniendo así:

$$E_a = \Omega \left( \frac{JL_a s^2 + s(L_a B + R_a J) + BR_a + K_e K_T}{K_T} \right)$$

$$\frac{\Omega}{E_a} = \frac{K_T}{JL_a \left( s^2 + s \left( \frac{B}{J} + \frac{R_a}{L_a} \right) + \frac{BR_a + K_e K_T}{JL_a} \right)}$$

Utilizando un motor DC serie ME71 de 24 Voltios, 1500rpm y 1,6Nm se tienen los

siguientes datos:

$$R_a = 0,45[\Omega]$$

$$L_a = 0,77[\text{mH}]$$

$$K_t = 0,118[\text{Nm/m}]$$

$$K_e = 0,114[\text{Vseg/rad}]$$

$$J = 0,0024 [K_g \text{ m}^2]$$

$$B = 0,010176[\text{Nmseg}]$$

Reemplazando los datos del motor se tiene:

$$G_m(s) = \frac{\Omega(s)}{E_a(s)} = \frac{638.252,8139}{(s^2 + 588,6556s + 9.757,1429)}$$

El motor seleccionado tiene un torque nominal de 1.6 Nm, sin embargo, la aplicación en la cual se utilizará el motor requiere de un torque de 16.5 Nm, entonces se procede a utilizar una caja reductora con ganancia de torque igual a 14, esta caja reduce la velocidad e incrementa el torque. La caja reductora se puede simplificar mediante una ganancia y su función de transferencia es: La implementación del sistema en Simulink de Matlab se muestra a continuación en la figura:

$$G_{cr} = K_{cr} = \frac{1}{14} \quad (49)$$

Agregando la función de transferencia de la caja reductora a la función de transferencia del motor se tiene:

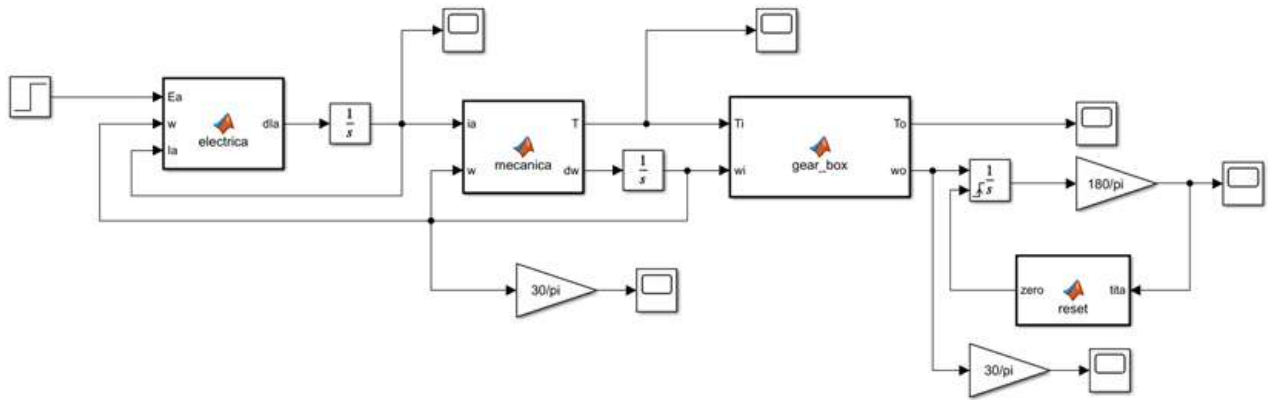
$$G_{mr}(s) = \frac{4.560,9153}{(s^2 + 588,6556s + 9.757,1429)}$$

El objetivo del sistema es controlar la posición de giro del eje del motor-reductor que se acopla a la base de la máquina, sin embargo, la función de transferencia que se utiliza corresponde a la velocidad de giro del eje, entonces es necesario integrar para así obtener la posición del eje.

$$G(s) = \frac{4.560,9153}{s(s^2 + 588,6556s + 9.757,1429)}$$

**Figura 51**

*Simulink Matlab.*

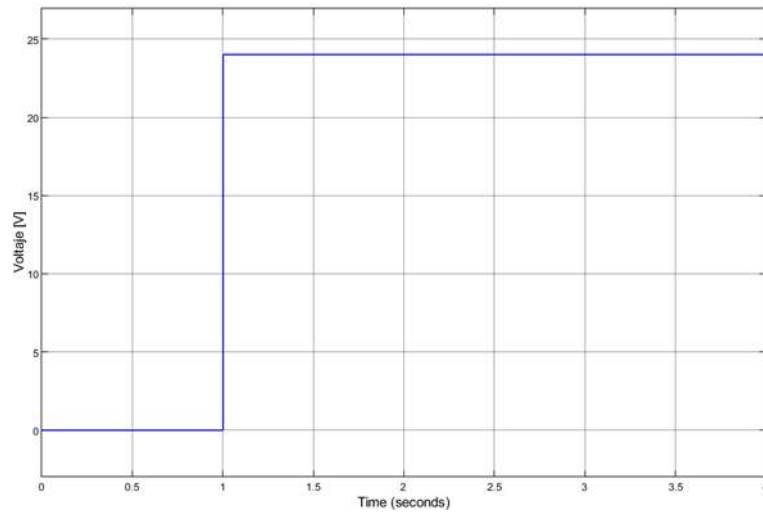


**Nota:** Se muestra la implementación de la planta en Simulink Matlab.

El motor seleccionado para el dispositivo posee una fuente de alimentación de 24 voltios, este valor representará el voltaje pico de nuestro sistema como se puede observar en la siguiente gráfica.

**Figura 52**

*Voltaje Pico.*

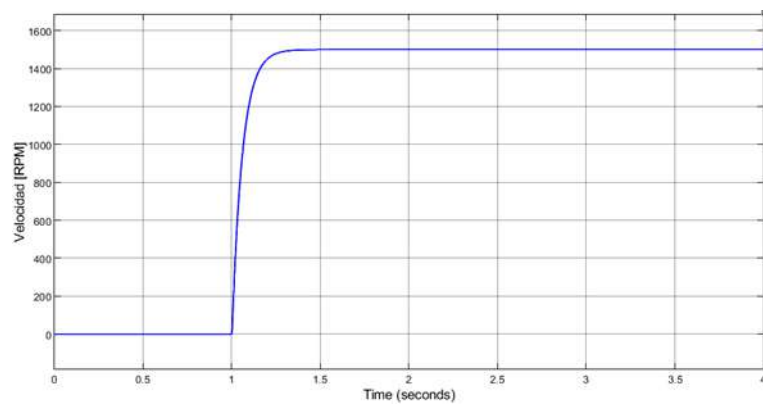


**Nota:** Se muestra el valor máximo que podrá tener de voltaje el sistema.

Con el valor de inicial de las características del motor se obtuvo la gráfica de velocidad representada en la figura a continuación.

**Figura 53**

*Velocidad en rpm.*

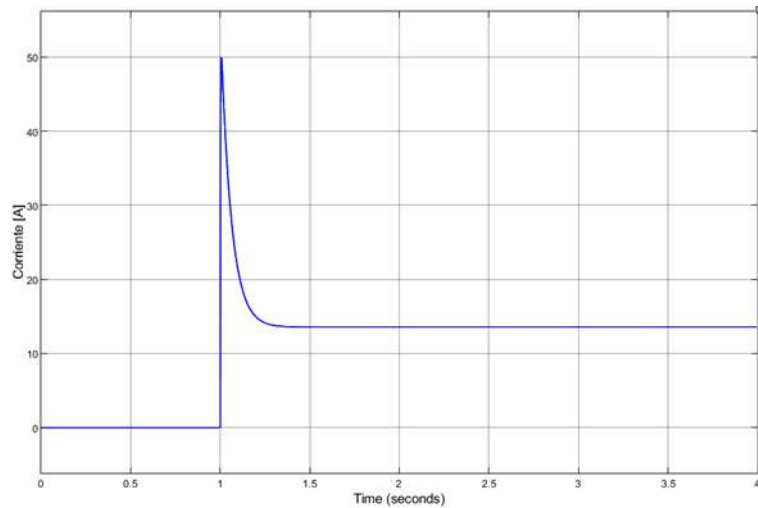


**Nota:** La velocidad esta determinada por un valor de entrada de 1.500 rpm.

La corriente presenta un pico de arranque para poder alimentar al motor y sacarle de su estado estático.

**Figura 54**

*Corriente de arranque.*

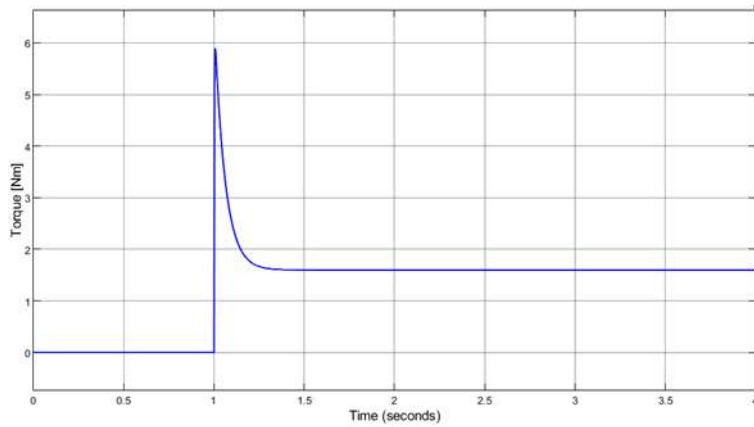


**Nota:** La corriente de arranque presenta un pico de 50 amperios en el sistema no controlado.

Al igual que la corriente, el valor del torque necesario para mover el sistema genera un pico en su gráfica, la cual presenta una estabilización después de su descendimiento.

**Figura 55**

*Torque Motor.*

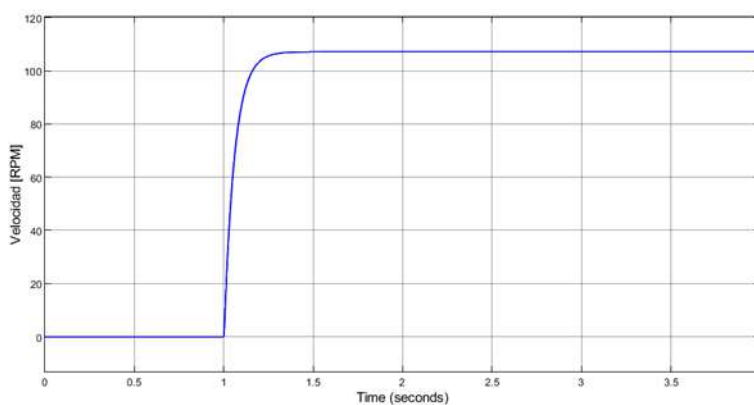


**Nota:** El torque del motor se estableció en un valor de mas de  $1N \cdot m$  en su estado nominal sin reductor.

La velocidad con el moto-reductor se reduce como se puede apreciar en la siguiente figura

**Figura 56**

*Velocidad de Salida.*

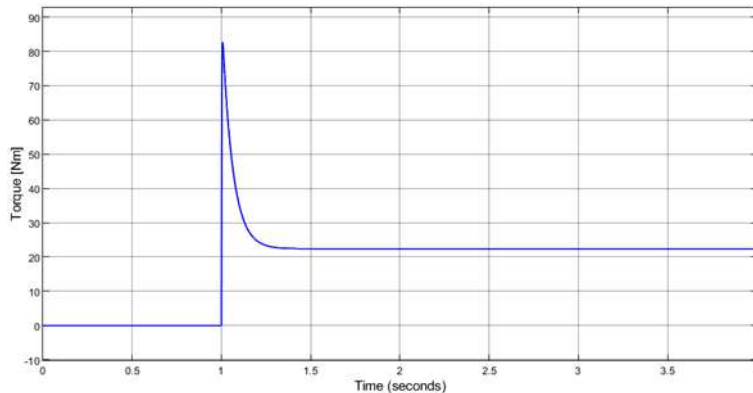


**Nota:** La velocidad con el moto-reductor se redujo a un valor de  $110 \text{ rpm}$ .

El torque de salida nominal paso a un valor de  $22N \cdot m$  necesarios para mover el dispositivo con el producto.

**Figura 57**

*Torque de Salida.*



**Nota:** El torque con caja reductora de relación 14:1 muestra un valor pico de mas de 80 Nm.

Para el control de posición del sistema se propone realizar un control en cascada, donde se tendrá el control del lazo externo que corresponde al control de posición y el control del lazo interno que corresponde a un control de corriente, el cual permitirá reducir los sobre-picos de corriente en el momento de arranque del motor.

Se parte de las ecuaciones anteriores para hallar la función de transferencia de la corriente con respecto al voltaje aplicado y así se tiene:

$$E_a = I_a \left( \frac{JL_a s^2 + s(JR_a + BL_a) + BR_a + K_T K_e}{Js + B} \right)$$

$$G_I(s) = \frac{I_a}{E_a} = \frac{s + \frac{B}{J}}{L_a \left( s^2 + s \left( \frac{B}{J} + \frac{R_a}{L_a} \right) + \frac{BR_a + K_e K_T}{JL_a} \right)}$$

Remplazando los valores del motor se tiene:

$$G_I(s) = \frac{1298,7013(s + 4,24)}{s^2 + 588,6556s + 9757.1429}$$
$$G_I(s) = \frac{1298,7013(s + 4,24)}{(s + 17,0703)(s + 571,5853)}$$

Diseño de control de corriente (control de lazo interno) para un tiempo de establecimiento igual a 0,005 segundos con un máximo sobre impulso menor al 10%



$$t_s = 0,005 = \frac{\pi}{\sigma} \rightarrow \sigma = 200\pi = 628,3185$$

$$M_p = e^{-\frac{\pi\sigma}{\omega_d}} = 0,08 \rightarrow \omega_d = 781,5253$$

$$s_d = -\sigma \pm j\omega_d = -200\pi \pm j781,5253$$

Cálculo de los ángulos de los polos y ceros del motor con respecto al polo deseado

$$G_I(s) = \frac{1298,7013(s + 4,24)}{(s + 17,0703)(s + 571,5853)}$$

$$\theta_1 = 180 - \text{atg}\left(\frac{781,5253}{200\pi - 17,0703}\right) = 128,0297^\circ$$

$$\theta_2 = 180 - \text{atg}\left(\frac{781,5253}{200\pi - 571,5853}\right) = 94,152^\circ$$

$$\beta_1 = 180 - \text{atg}\left(\frac{781,5253}{200\pi - 4,24}\right) = 128,6087^\circ$$

Deficiencia angular

$$\sum \square \text{ ceros} - \sum \square \text{ polos} = -180^\circ$$

$$\text{def} = -\sum \square \text{ ceros} + \sum \square \text{ polos} - 180$$

$$\text{def} = -\beta_1 + \theta_1 + \theta_2 - 180 = -86,427^\circ$$

La deficiencia angular es negativa, entonces el sistema requiere un controlador PI con la forma:

$$G_{cI} = K_{cI} \frac{s + a}{s}$$

Aporte del polo:

$$\theta_3 = 180 - \text{atg}\left(\frac{781,5253}{200\pi}\right) = 128,798^\circ$$

Aporte del cero:

$$\beta_a = -\beta_1 + \theta_1 + \theta_2 + \theta_3 - 180 = 42,371^\circ$$

El cero es:

$$\text{tg}(42,371) = \frac{7.810,5253}{a - 200\pi} \rightarrow a = 1.485,067$$

Cálculo de la ganancia del controlador

$$K = \frac{1}{|G_I(s)G_{cI}(s)|_{s=s_d}} = 0,51759$$

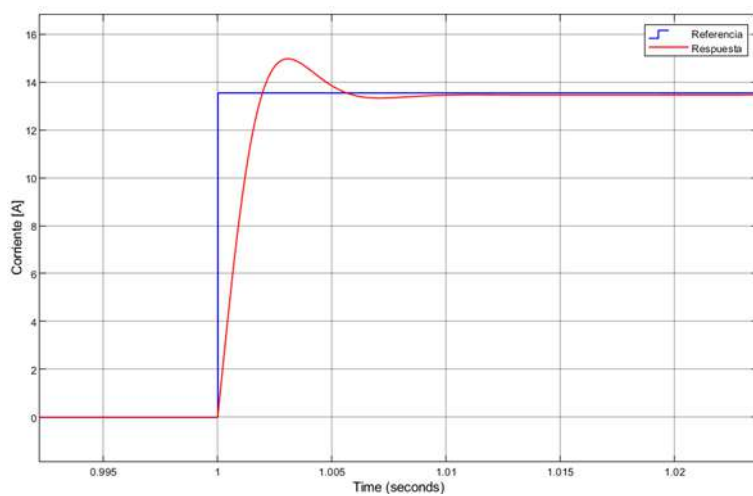
El controlador del lazo interno es:

$$G_{cl}(s) = \frac{0,51759(s + 1485,067)}{s} = 0,51759 \left( 1 + \frac{1}{6,7337(10^{-4})s} \right)$$

Respuesta de la corriente del motor con el controlador en lazo cerrado.

### Figura 58

*Control corriente.*

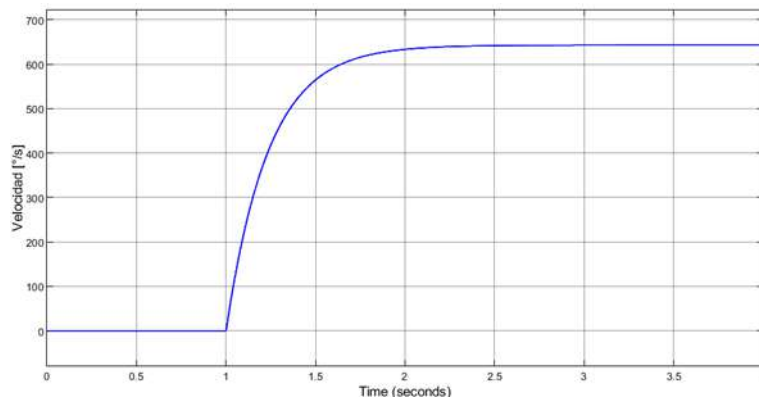


**Nota:** La respuesta de la gráfica presenta el control de lazo interno minimizando el pico de corriente en el arranque.

Se procede a identificar la respuesta de velocidad del eje de salida de la caja reductora a partir de la respuesta que se obtiene con el controlador de lazo interno.

**Figura 59**

*Velocidad angular.*



**Nota:** Se presenta la velocidad angular del moto-reductor sobre su eje.

Se realizó una identificación del sistema en base al método Alfaro obteniendo así:

$$\Delta U = 13,5445$$

$$\Delta Y = 642,7782$$

$$K = \frac{\Delta Y}{\Delta U} = 47,4568$$

$$\tau = 0,9102(t_{75\%} - t_{25\%}) = 0,9102(0,33 - 0,069) = 0,23756$$

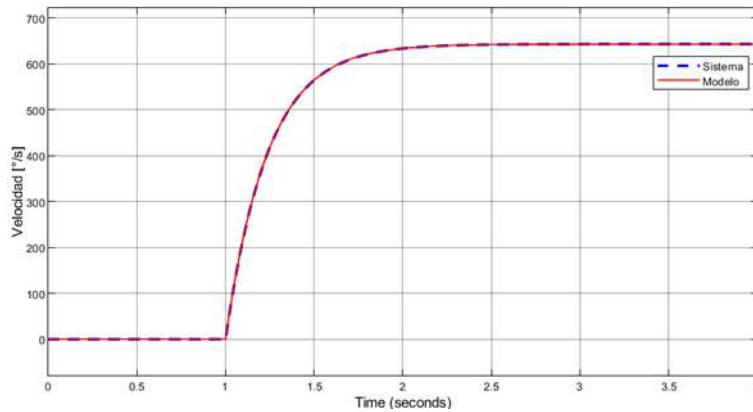
$$t_0 = 1,262t_{25\%} - 0,262t_{75\%} = 0,00062 \approx 0$$

$$G = \frac{Ke^{-t_0s}}{\tau s + 1} = \frac{47,4568}{0,23756s + 1}$$

Con el modelo de orden reducido se tiene:

## Figura 60

Validación del modelo.



**Nota:** Se presenta la velocidad angular del modelo sobre el sistema obteniendo una igualdad sobre la curva de funcionamiento.

Agregando un integrador al modelo de orden reducido para pasar de velocidad a posición se tiene:

$$G(s) = \frac{199,7657}{s(s + 4,2094)}$$

Diseño un controlador para tener un tiempo de establecimiento igual a 0.4 segundos con un sobre impulsó menor al 10%

$$t_s = 0,04 = \frac{\pi}{\sigma} \rightarrow \sigma = 2,5\pi = 7,854$$

$$M_p = e^{-\frac{\pi\sigma}{\omega_d}} = 0,08 \rightarrow \omega_d = 9,769$$

$$s_d = -\sigma \pm j\omega_d = -2,5\pi + j9,769$$

Cálculo de los ángulos de los polos y ceros del motor con respecto al polo deseado

$$\theta_1 = 180 - \text{atg} \left( \frac{9,769}{2,5\pi} \right) = 128,798^\circ$$

$$\theta_2 = 180 - \text{atg} \left( \frac{9,769}{2,5\pi - 4,2094} \right) = 110,4592^\circ$$

Deficiencia angular

$$\beta = \theta_1 + \theta_2 - 180 = 59,2573^\circ$$

El sistema requiere de un cero, por lo cual es controlador a usar es uno del tipo PD con la siguiente estructura:

$$G_{cP} = K_{cP}(s + b)$$

$$\text{tg}(59,2573) = \frac{9,769}{b - 2,5\pi} \rightarrow b = 13,6643$$

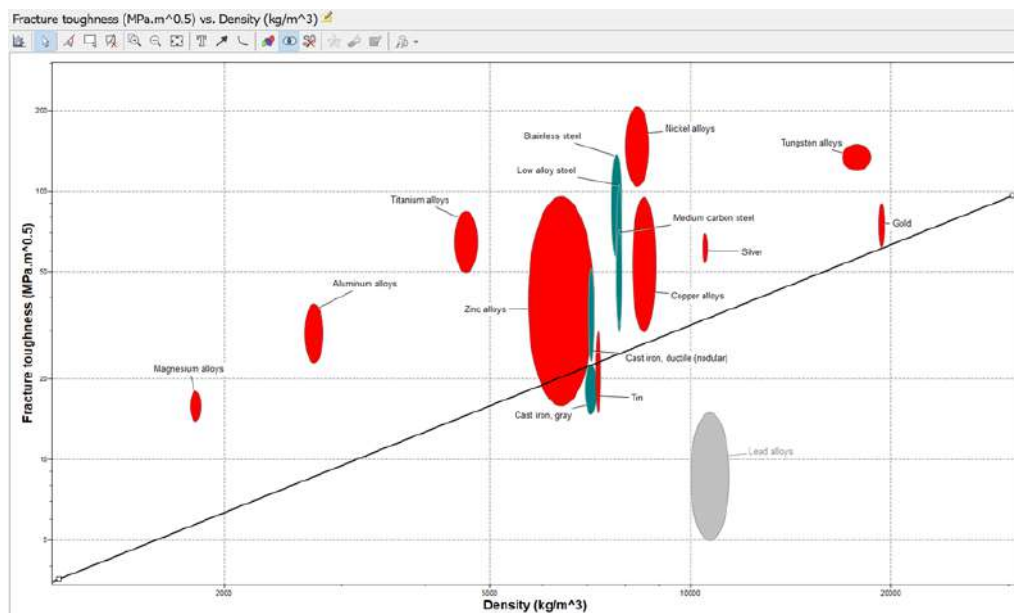
## 6.19. Simulaciones

### 6.19.1. Selección de materiales en CES Edupack

Se procede a simular la propiedades de los materiales para escoger el mejor material para el dispositivo, se propuso que las características debe ser resistente y ligero, por ende se simulan metales, como se observa en la figura 51.

**Figura 61**

*Simulación de resistencia a la fractura de metales.*

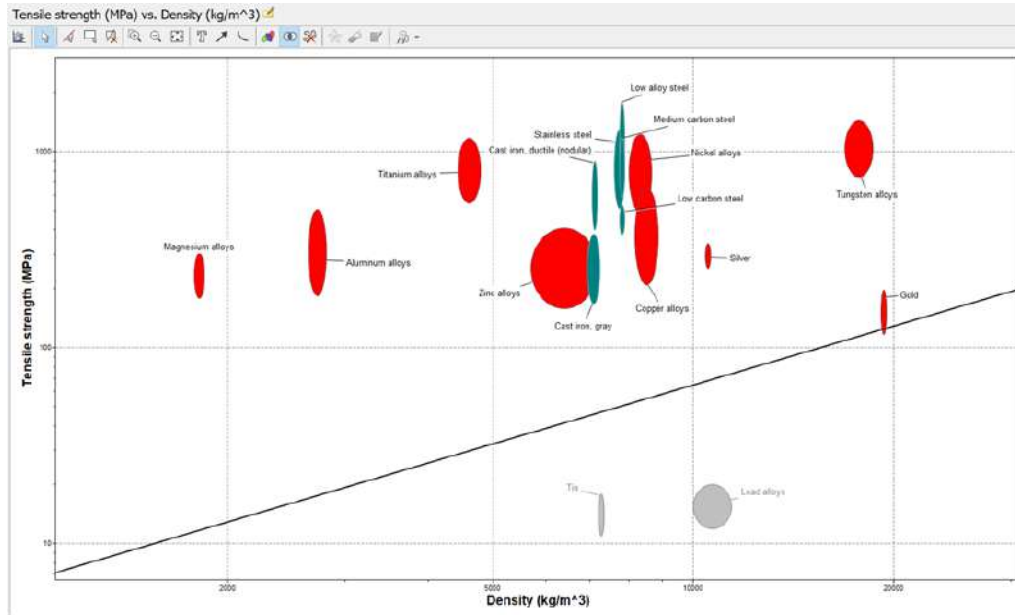


**Nota:** Gráfico de selección de materiales, que muestra la resistencia a la fractura frente a la densidad. Se muestran una pendiente que representa la resistencia a la fractura que necesita ser superada con la densidad mas baja.

Se procede a mostrar la simulación de la fuerza de tensión de los metales en la siguiente figura.

## Figura 62

*Simulación de la fuerza de tensión de metales.*

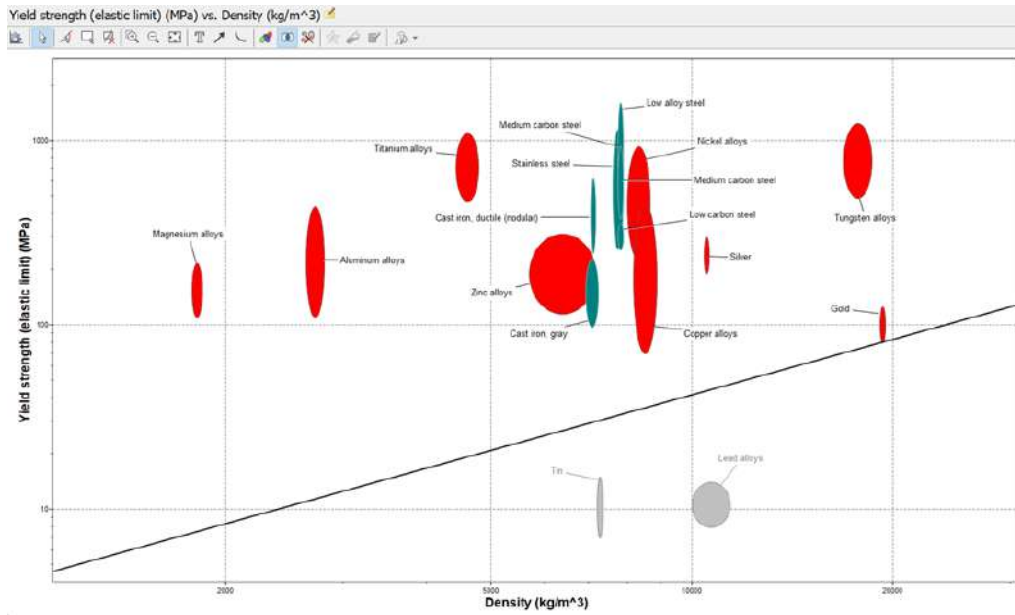


**Nota:** Gráfico de selección de materiales, que muestra la fuerza de tensión frente a la densidad. Se muestran una pendiente que representa la fuerza de tensión que necesita ser superada con la densidad mas baja.

Se procede a simular el limite elástico de los metales, como se aprecia en la siguiente figura.

**Figura 63**

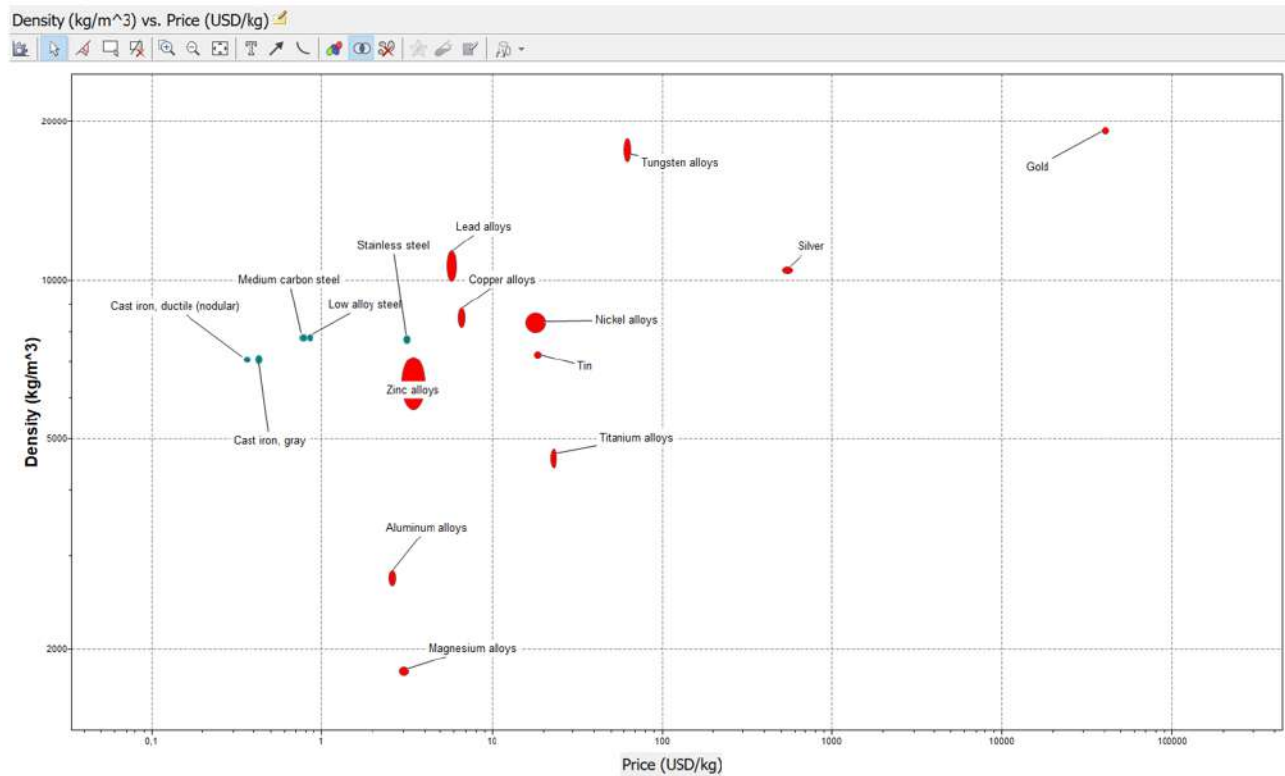
*Simulación del límite elástico en los metales.*



**Nota:** Gráfico de selección de materiales, que muestra el límite elástico frente a la densidad. Se muestran una pendiente que representa el límite elástico que necesita ser superada con la densidad mas baja.

**Figura 64**

*Simulación del precio de los metales.*



**Nota:** Gráfico de selección de materiales, que muestra el precio de los metales comparado con su densidad.

Después de analizar las gráficas se concluye que el material que cumple con nuestros requisitos es el **aluminio**, debido a sus características mecánicas capaz de soportar las cargas del dispositivo sin fracturarse, estirarse o deformarse, además de ser un metal mas accesible económicamente en el mercado local.

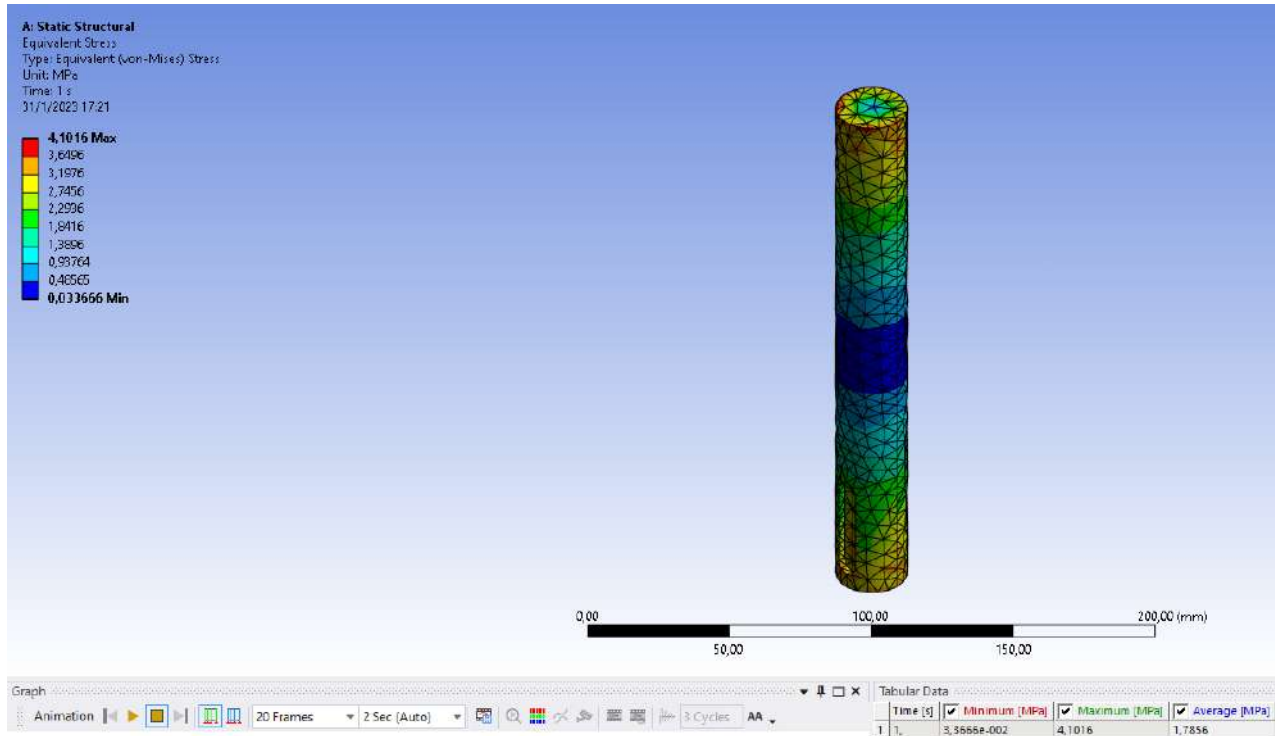
### 6.19.2. Simulación en ANSYS del eje

Se procede a simular la fuerza aplicada sobre el eje, la cual se ejerce un aplastamiento sobre este por lo que se determina su resistencia a la deformación de acuerdo con las características del material y cargas establecidas, sus resultados se aprecian en la siguiente figura:



**Figura 65**

*Simulación de la fuerza de aplastamiento sobre el eje.*

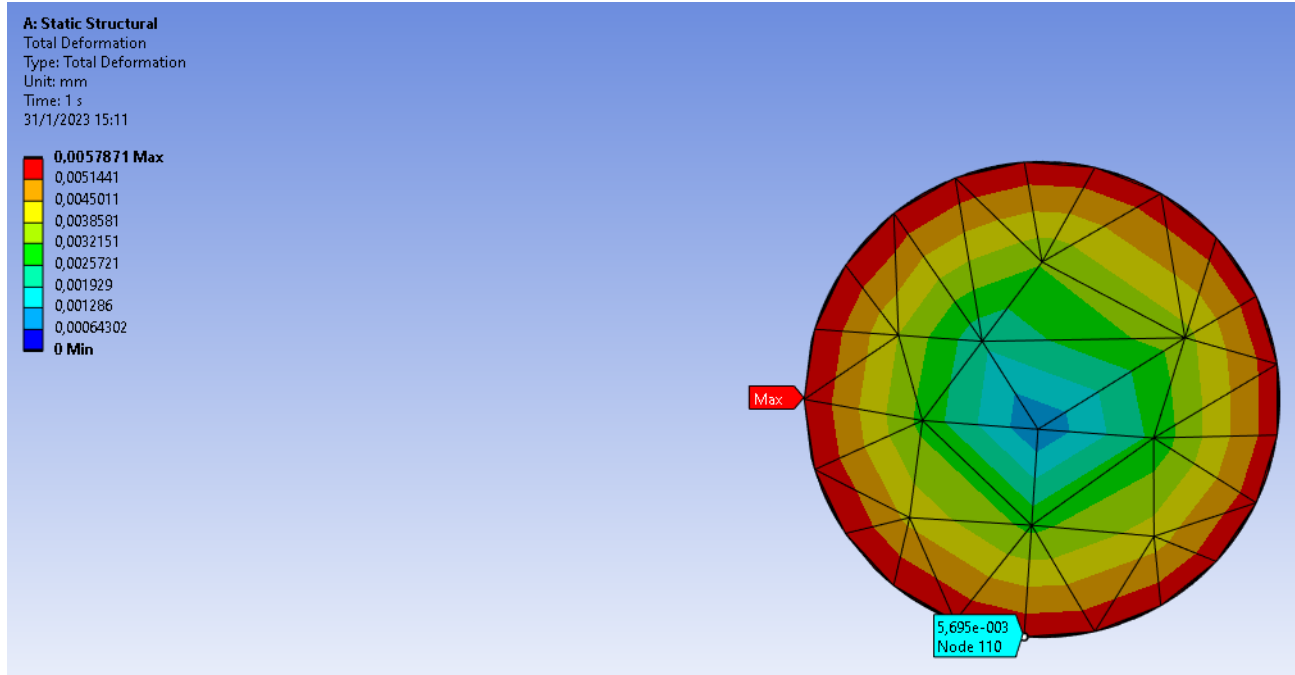


**Nota:** El resultado de la simulación fue de 1,78 MPa y el calculado fue de 1,93 MPa.

Se analizó la deformación del eje en la superficie del diámetro, cuando la carga está aplicada, lo cual se puede observar en la siguiente figura:

## Figura 66

*Simulación de la deformación del eje.*



**Nota:** El resultado de la deformación fue de 0,005787 mm

Para poder obtener el ángulo de torsión del eje se calcula con la deformación del eje, teniendo así:

$$\text{deformación} = \phi \cdot d \quad (50)$$

$$\phi = \frac{0,005787}{1,25}$$

$$\phi = 0,000472 \text{rad}$$

$$\phi = 0,027^\circ$$

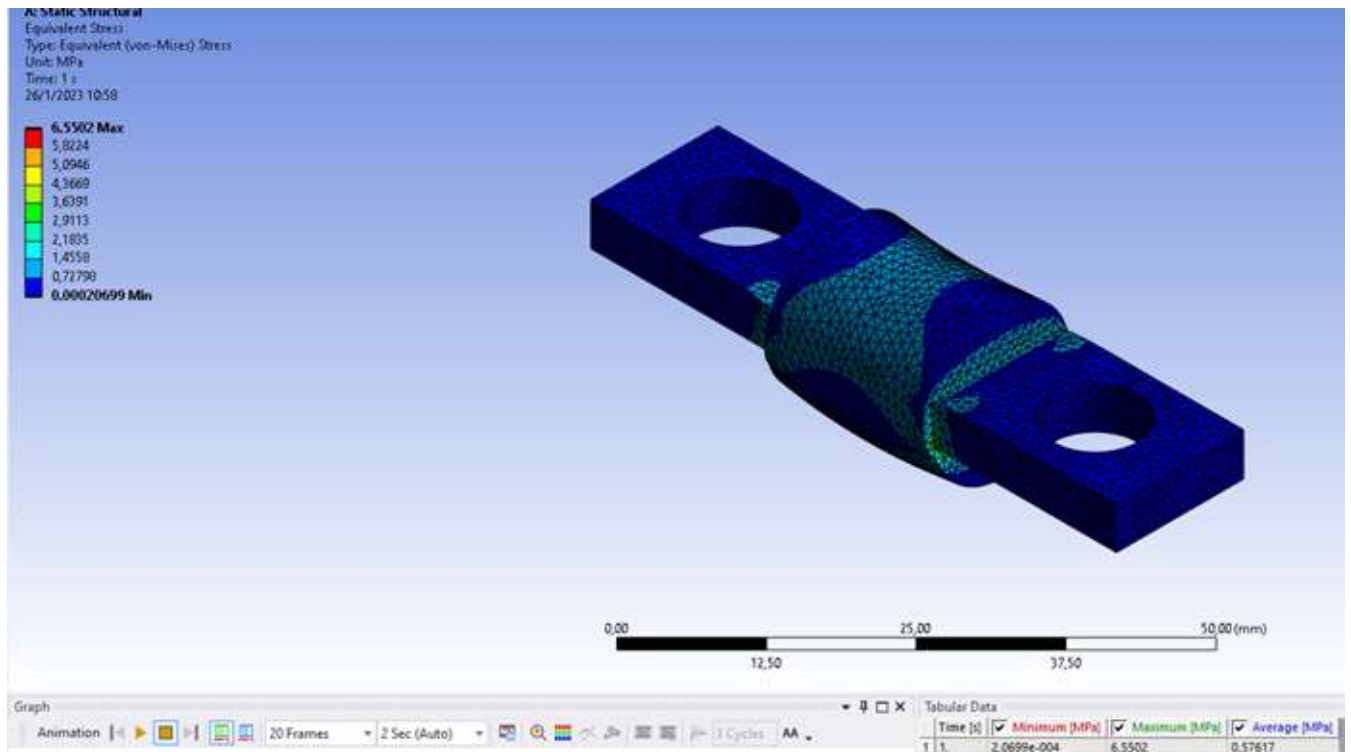
Teniendo un ángulo de torsión de 0,02704 grados simulado y un ángulo de torsión de 0,023 grados calculado.

### 6.19.3. Simulación en ANSYS del soporte del rodamiento

Se procede a mostrar la simulación de aplicar las cargas sobre el soporte del rodamiento, como se observa en la siguiente figura:

**Figura 67**

*Simulación del aplastamiento del soporte de rodamiento.*

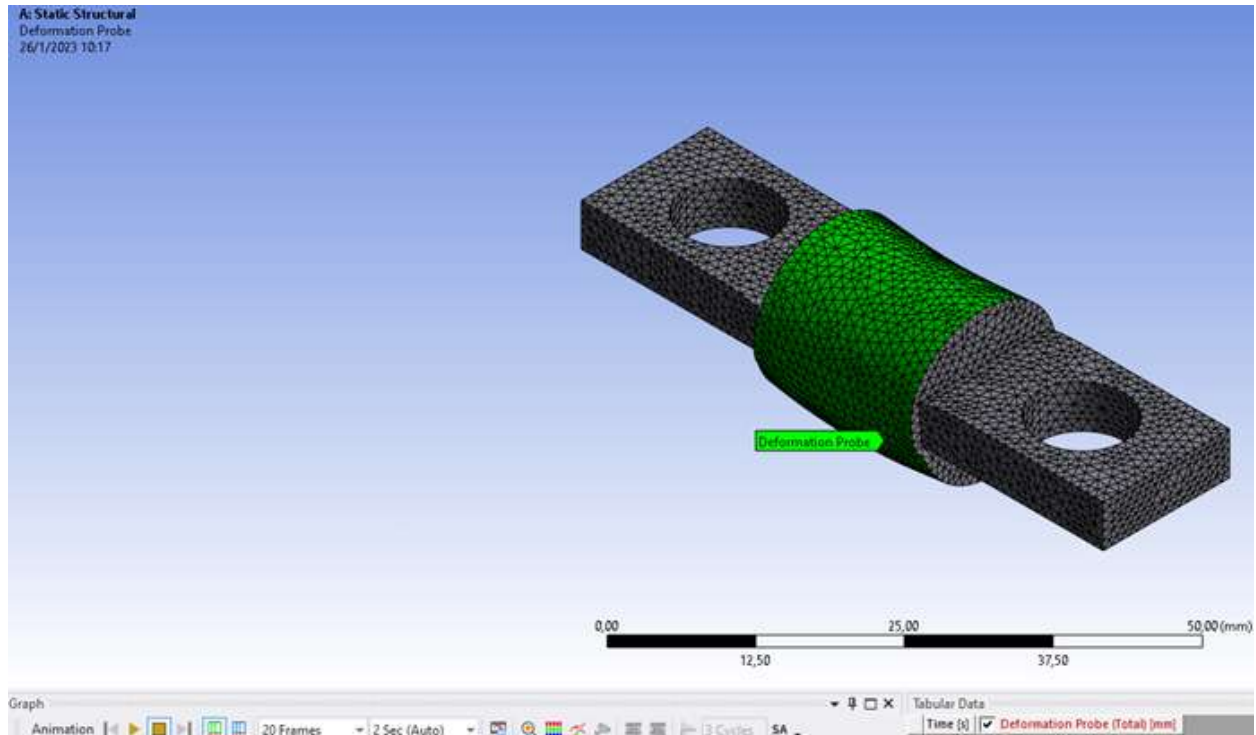


**Nota:** Simulación del aplastamiento con un resultado de 0,5761 MPa y valor calculado de 0,759 MPa.

Se concluye que con este aplastamiento obtenemos una deformación del elemento, la cual podemos observar con la ayuda de la herramienta ANSYS, como se muestra en la siguiente figura:

## Figura 68

*Simulación de la deformación del soporte de rodamiento.*



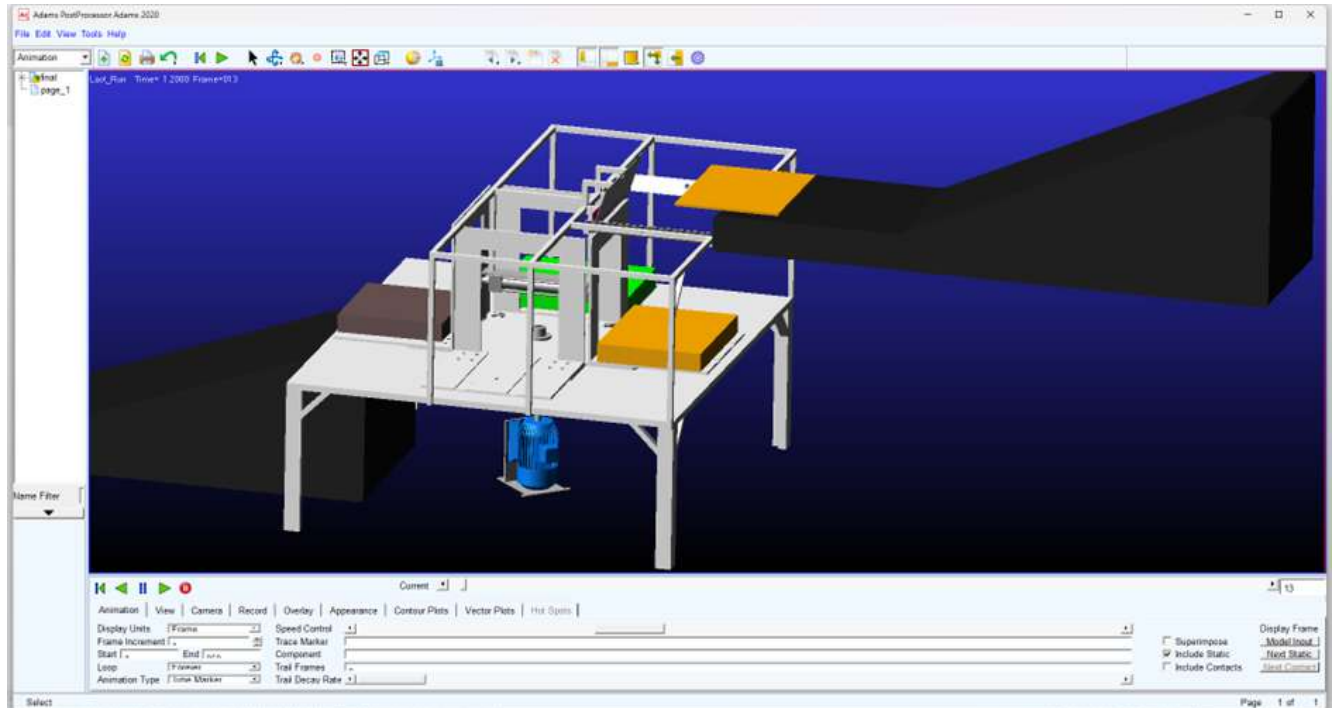
**Nota:** Simulación de la deformación, con un valor de  $4,741e-004$  mm de deformación total .

### 6.19.4. Simulación en ADAMS del sistema

MSC Adams es un software de simulación mecánica dinámica utilizado para el diseño y análisis de sistemas mecánicos complejos. La simulación en MSC Adams permite a los ingenieros probar y evaluar virtualmente el comportamiento dinámico de un sistema antes de su construcción física, lo que puede ayudar a identificar y solucionar problemas, optimizar el desempeño y reducir costos y tiempos de desarrollo.

**Figura 69**

*Simulación Dinámica del Dispositivo de Conteo.*

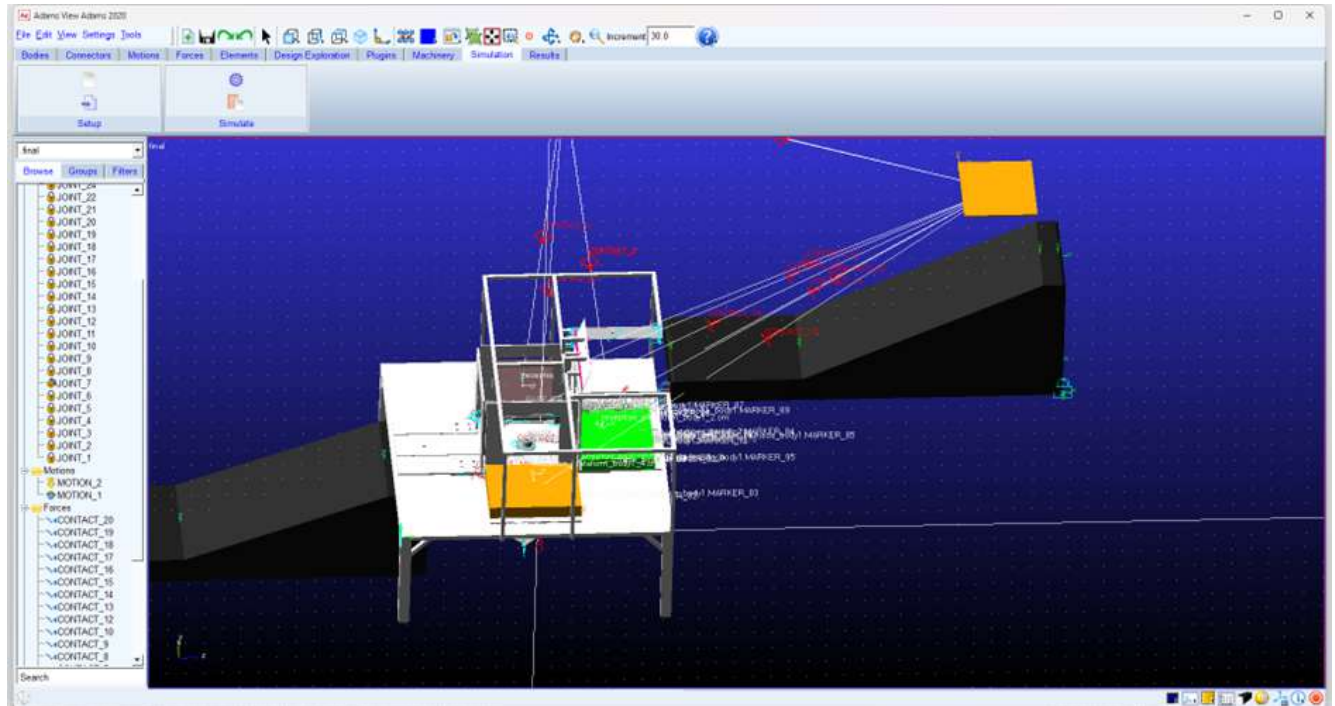


**Nota:** Simulación dinámica en el software MSC ADAMS .

Es importante relacionar al sistema con características de movimiento, estableciendo así la conjunción de cada parte del sistema simulado en un todo para el accionamiento, como se aprecia en la siguiente figura.

**Figura 70**

*Simulación de Fuerzas Correlacionadas.*



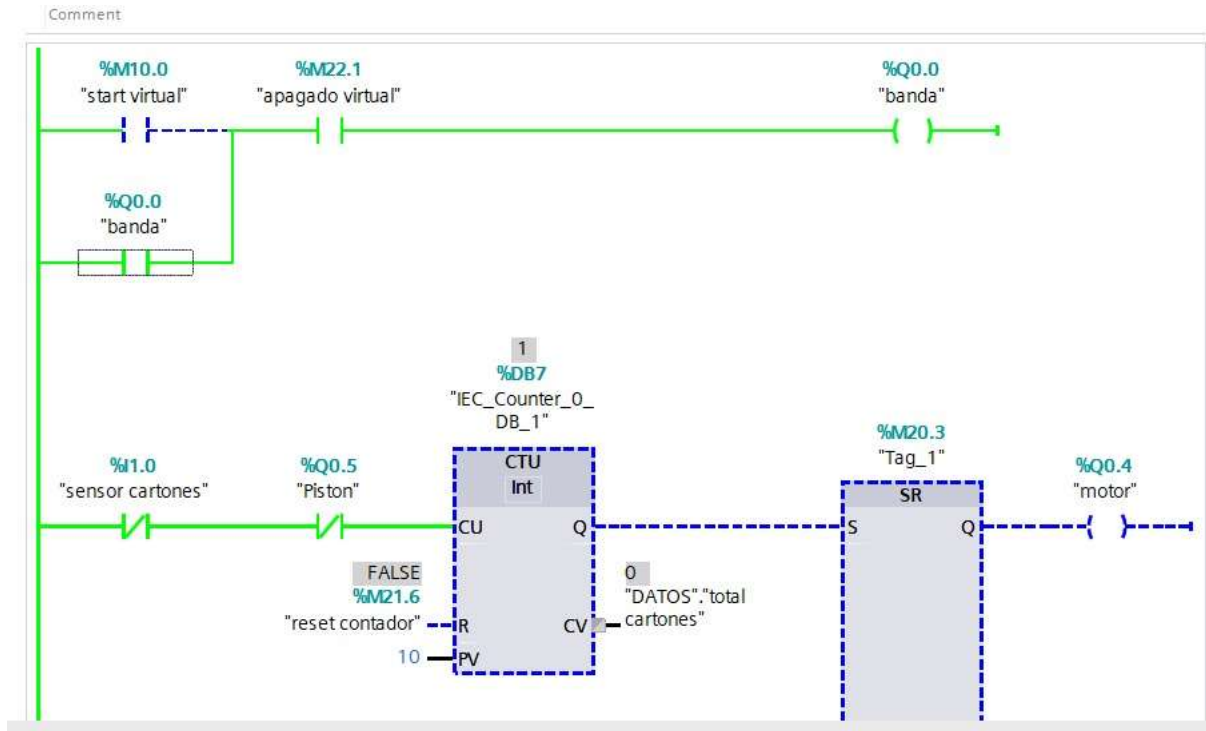
**Nota:** Disposición de juntas y fuerzas de acción del sistema en el software MSC ADAMS.

#### **6.19.5. Flujograma en TIA PORTAL S7 1500**

La simulación dentro del software TIA Portal, es un marco de ingeniería integral para desarrollar y configurar soluciones de automatización de Siemens. Permite simular y probar proyectos de automatización antes de implementarlos en el sistema físico. Esta herramienta permite generar una secuencia lógica de procesos estableciendo el funcionamiento del sistema requerido generado en lenguaje LAD o ladder que significa escalera, es decir paso a paso, en la siguiente figura se muestra la representación del sistema en TIA PORTAL.

**Figura 71**

*Simulación del proceso de funcionamiento del dispositivo.*

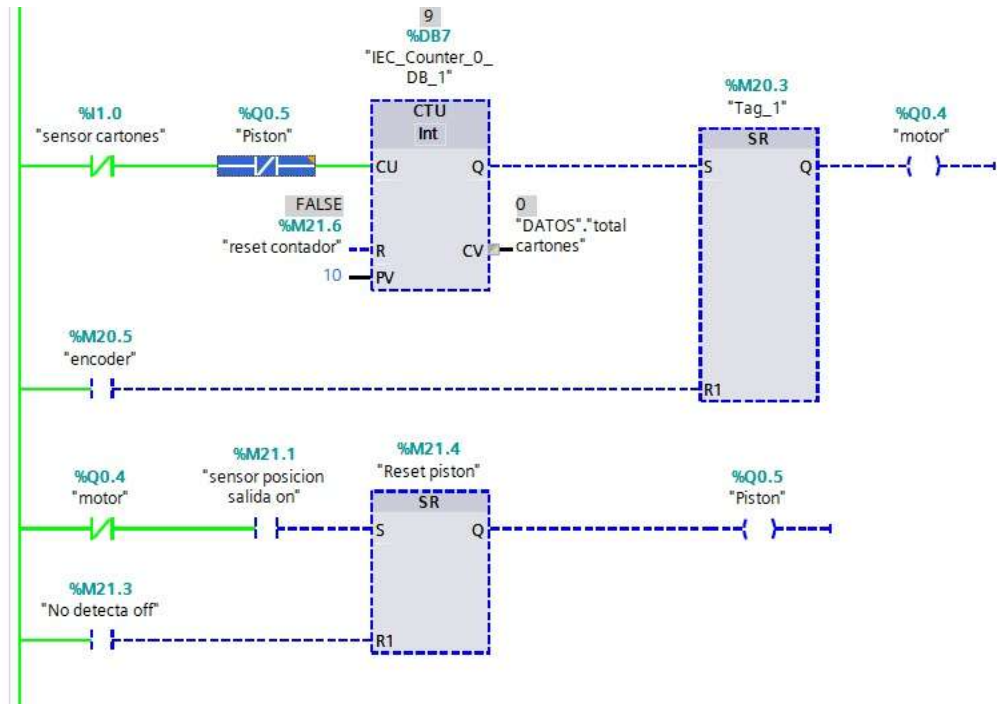


**Nota:** Se inicializa el proceso activando el boton start el cual activa la banda transportadora de cartones

Como siguiente etapa se muestra un contador el cual está con valor de conteo total de 10, este valor se aprecia en el CTU en la variable PV como se observa en el siguiente gráfico.

**Figura 72**

*Conteo PV 10.*



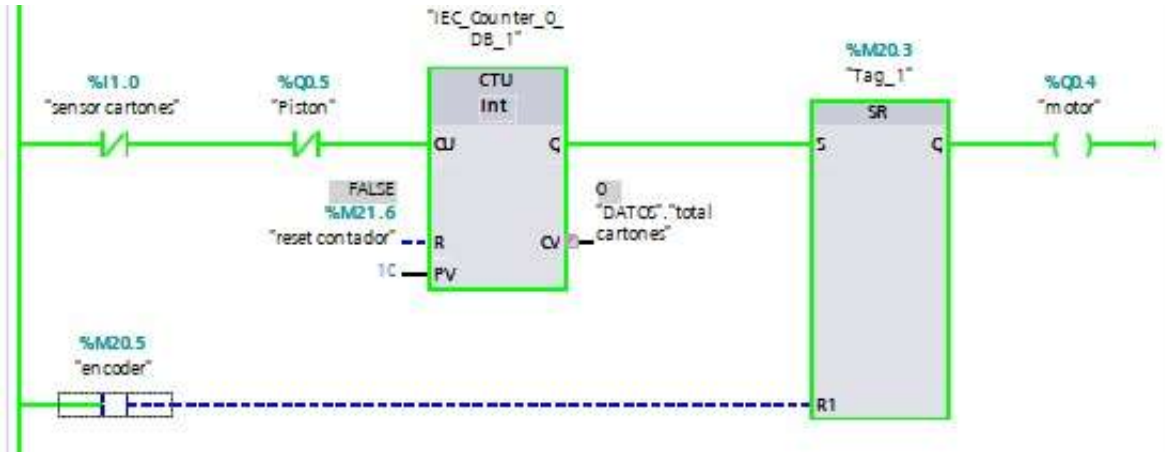
**Nota:** El contador debera llegar al valor set para poder activar el motor de giro del dispositivo de conteo.

Una vez realizado el conteo hasta el valor determinado, el motor gira hasta la referencia dada por el encoder, observe la siguiente figura el proceso explicado.



**Figura 73**

*Giro Motor.*

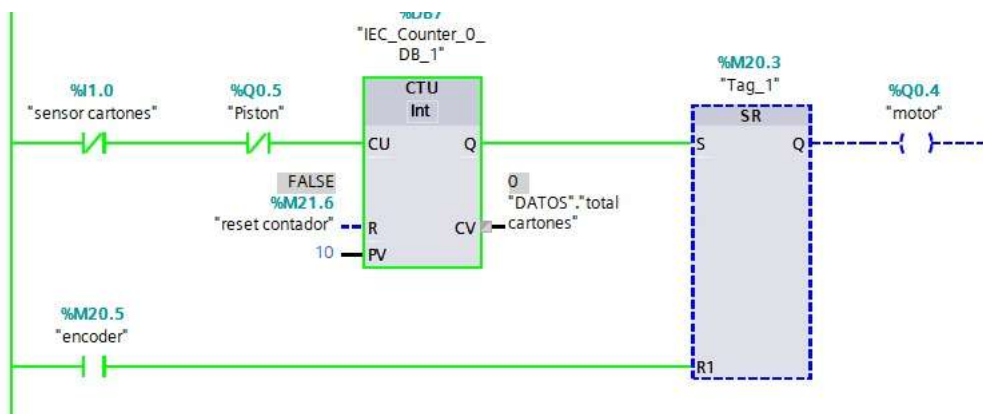


**Nota:** Se realiza un giro de 90 grados gracias a la activación del motor y el encoder de control

El encoder se activa posicionando al dispositivo a 90 grados y este a su vez manda una señal que desactiva el giro del motor como se aprecia en la siguiente figura.

**Figura 74**

*Activación Encoder.*



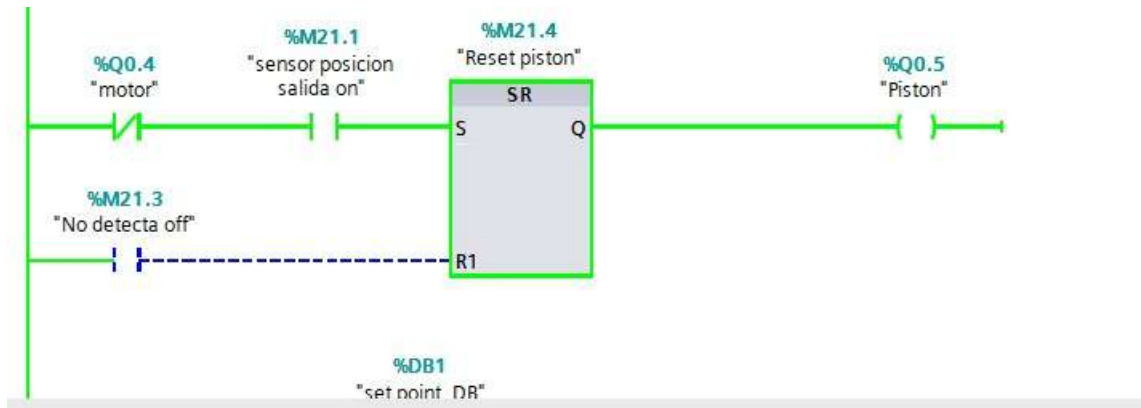
**Nota:** El encoder permite la posición exacta del dispositivo.

Una vez apagado el motor se determina gracias al sensor inductivo si es que existe cartones

a la salida del producto, si es cierto el pistón procederá a alargarse realizando el despeje del producto de la plataforma de recepción hacia la salida de embalaje del producto esto se aprecia en la siguiente figura.

**Figura 75**

*Activación del Pistón.*

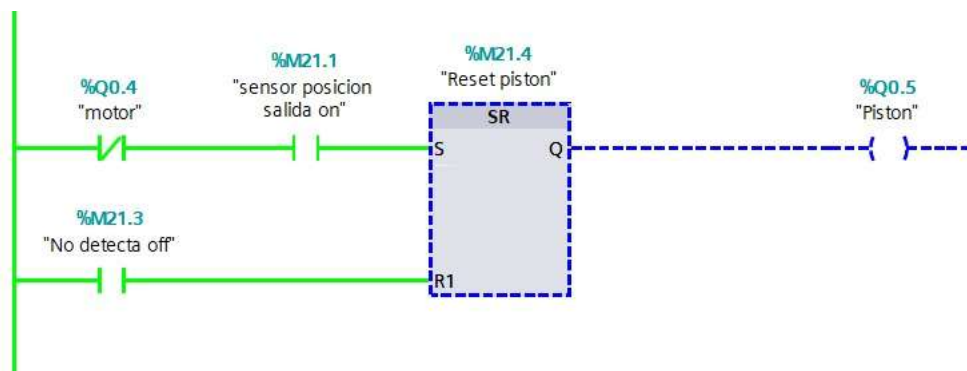


**Nota:** El pistón es el encargado de expulsar los productos.

Una vez expulsado el producto, el pistón regresará a su posición original desactivando la salida de aire que permite que se elongue como se aprecia en la figura siguiente.

**Figura 76**

*Desactivación del Pistón.*

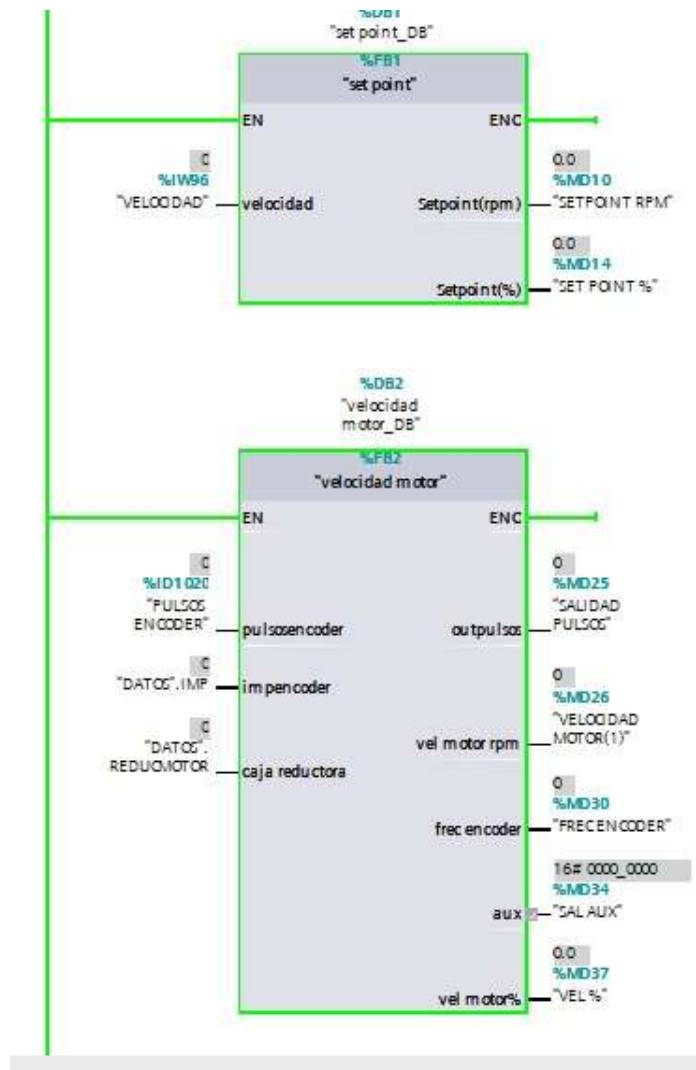


**Nota:** Pistón en OFF

Además, es importante considerar q los cuadros de control modifican la señal continuamente bajo el cycle interrupt q proporciona un lector de tatos dentro de la simulación más rápido que los procesos del main estableciendo así un control mejorado, como se aprecia en la siguiente figura.

**Figura 77**

*SET POINT y PID.*



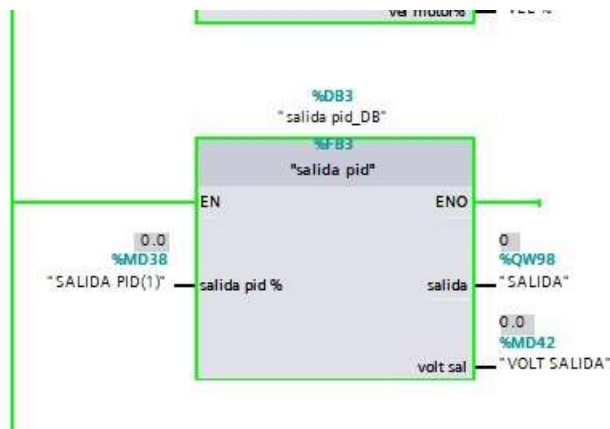
**Nota:** Control del SET POINT y PID.

Finalmente, se observa la salida del PID que de igual forma modifique estos valores para

poder establecer una corrección en su salida de velocidad, estableciendo un posicionamiento exacto como se aprecia en la siguiente gráfica.

**Figura 78**

*Salida PID.*



**Nota:** La salida PID determina el posicionamiento de giro exacto de las plataformas del dispositivo.

El establecimiento de este sistema de control permite determinar el proceso en el sistema real en la secuencia de las actividades, permitiendo mejorar el control del dispositivo. También se declara las distintas variables que se usan para el funcionamiento del sistema, es importante recordar que este es un proceso de control virtual, en la siguiente tabla se observa las variables utilizadas para la secuencia de operación.

**Tabla 14**

*Tabla de variables del proceso del sistema.*

PLC tags									
	Name	Tag table	Data type	Address	Retain	Acces...	Writa...	Visibl...	Supervision
1	START	Default tag table	Bool	%Q.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
2	STOP	Default tag table	Bool	%Q.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
3	banda	Default tag table	Bool	%Q0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
4	VELOCIDAD	Default tag table	Int	%W96	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
5	SETPOINT RPM	Default tag table	Real	%MD10	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
6	SETPOINT%	Default tag table	Real	%MD14	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
7	PULSOS ENCODER	Default tag table	DInt	%D1020	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
8	VELOCIDAD MOTOR(1)	Default tag table	DInt	%MD26	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
9	FREC ENCODER	Default tag table	DInt	%MD30	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
10	SAL_AUX	Default tag table	DWord	%MD34	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
11	VEL %	Default tag table	Real	%MD37	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
12	SALIDAD PULSOS	Default tag table	DInt	%MD25	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
13	SALIDA PID(1)	Default tag table	Real	%MD38	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
14	SALIDA	Default tag table	Int	%QW98	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
15	VOLT SALIDA	Default tag table	Real	%MD42	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
16	sensor	Default tag table	Bool	%Q0.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
17	motor	Default tag table	Bool	%Q0.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
18	sensor cartones	Default tag table	Bool	%I.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
19	CONTEO TOTAL CARTONES	Default tag table	DWord	%MD40	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
20	Sensor posicion salida	Default tag table	Bool	%Q0.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
21	Piston	Default tag table	Bool	%Q0.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
22	ingrese numero de cartones	Default tag table	Int	%WD	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
23	Piston OFF	Default tag table	Bool	%Q0.6	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
24	encoder 90 grados	Default tag table	Bool	%I.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
25	start virtual	Default tag table	Bool	%M10.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
26	Tag_1	Default tag table	Bool	%M20.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
27	encoder	Default tag table	Bool	%M20.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
28	sensor posicion salida on	Default tag table	Bool	%M21.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
29	Tag_2	Default tag table	Bool	%M21.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
30	No detecta off	Default tag table	Bool	%M21.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
31	Reset piston	Default tag table	Bool	%M21.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
32	reset contador	Default tag table	Bool	%M21.6	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
33	apagado virtual	Default tag table	Bool	%M22.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
34	<Add new>				<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	

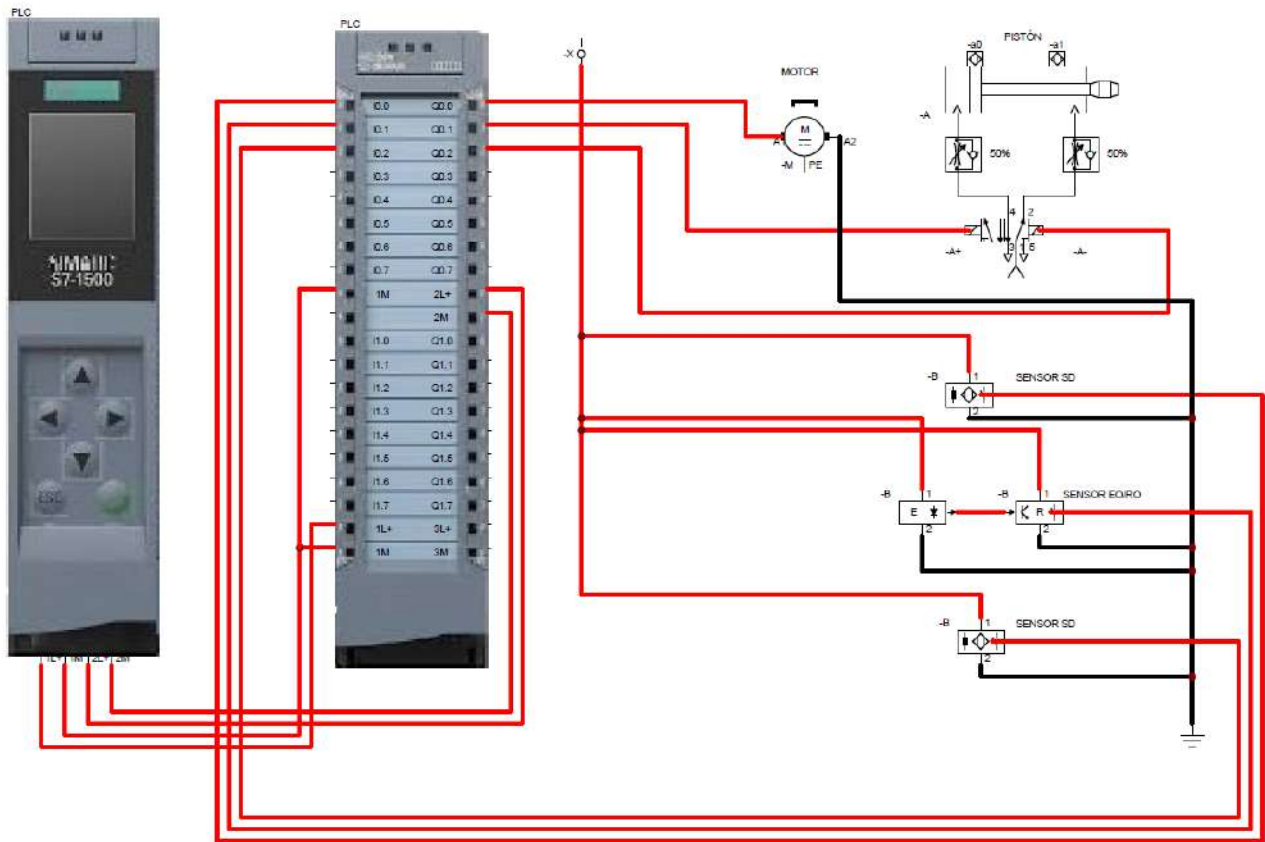
**Nota:** Se establece las características de las salidas y entradas del sistema.

### 6.19.6. Circuito del dispositivo automático de conteo de cartón

Se obtiene un circuito eléctrico en un PLC que está conectado con sensores ópticos y actuadores como un motor y un pistón, es un sistema integral que permite controlar y monitorear proceso de conteo de cartón, con un alto grado de precisión y eficiencia. Los sensores ópticos detectan el estado del cartón, y envían señales eléctricas al PLC para ser procesadas. A su vez, el PLC utiliza esta información para activar los actuadores, como el motor y el pistón, que llevan a cabo acciones para el transporte y clasificación del cartón. La programabilidad del PLC permite un fácil ajuste y adaptación a diferentes procesos y requisitos de control, como se observa en la figura a continuación.

**Figura 79**

*Simulación del circuito del dispositivo automático de conteo de cartón.*



**Nota:** Simulación de los componentes electrónicos del dispositivo realizado en Cade Simu.

## 7. Cronograma y actividades

**Tabla 15**

*Cronograma de actividades.*

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES																										
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	ACTIVIDADES	MES 1				MES 2				MES 3				MES 4				MES 5				MES 6				HORAS
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
Establecer los parámetros iniciales del diseño de un dispositivo mecatrónico para conteo automático en máquinas transportadoras de cartón.	Especificar las medidas del espacio físico y considerar las medidas ergonómicas.	x																								10
	Establecer los movimientos o funcionamiento del mecanismo.	x	x																							10
	Selección de los materiales para el diseño, selección de sensores y actuadores. Escritura del documento.			x																						5
Proponer el diseño de un dispositivo mecatrónico para conteo automático en máquinas transportadoras de cartón.	Realizar la implementación del software inventor para establecer el análisis estructural y su composición en un entorno 3D.				x	x	x	x	x																	100
	Determinar el modo de acción para el movimiento del mecanismo.								x	x	x	x	x													100
	Plantear el diseño de recolección y traslación de cartones.													x	x	x										95
Simular el diseño de un dispositivo mecatrónico para conteo automático en máquinas transportadoras de cartón.	Análisis de fuerzas en los distintos mecanismos de la máquina con el uso de software.																				x					20
	Simular la optimización del diseño propuesto para la verificación de su funcionamiento.																					x	x			20
	Establecer un sistema mas flexible con datos mas confiables.																						x			10
	Simular el movimiento de los componentes de la maquina en software.																						x	x		30
	Redactar avances documento TT2.	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	60
<b>Total de horas empleadas</b>																							<b>460</b>			

**Nota:** La tabla presenta las actividades para cumplir con los objetivos planteados.

## 8. Presupuesto

### 8.1. Recursos materiales

La tabla se presenta los recursos materiales que serán utilizados para el desarrollo de la investigación.

**Tabla 16**

*Recursos materiales.*

Denominación	Cantidad	Costo Unitario	Costo total
Computador	2	900	1.800 \$
Software Inventor	1	2.190	2.190 \$
Software MSC. ADAMS	1	19.500	19.500 \$
Software Cade Simu	1	0	0 \$
Software Tia Portal V17	1	1.087	1.087 \$
Software ANSYS	1	28.000	28.000 \$
Software MATLAB	1	250	250 \$
Software CES EduPack	1	13.300	13.300 \$

**Nota:** Se puede observar los diferentes costos de las licencias por año de los software utilizados para el desarrollo del trabajo de titulación. El software de Cade Simu es de licencia gratis.

## 9. Resultados

### 9.1. Establecer los parámetros iniciales del diseño de un dispositivo mecatrónico para conteo automático en máquinas transportadoras de cartón.

—Se tiene como máquina ejemplo la 650CS SERIE Automatic High Speed 4 and 6 corner Folder GluerCS SERIES Automatic High Speed 4 and 6 corner Folder Gluer, para la realización del diseño, por lo que se tuvo que cumplir ciertas medidas y características que debía cumplir el dispositivo.



- Velocidad baja de la banda 10 m/min.
- Velocidad alta de la banda 350 m/min.
- Rango de trabajo de la máquina 30 cajas por minuto.
- 500 mm de largo del cartón.
- 400 mm de ancho del cartón.
- 7 mm de espesor del cartón.
- Estos valores determinan la dimensión de la plataforma receptora.

—Al escoger el material el cual estará hecho, el dispositivo se analizó por medio de la selección de materiales usando el método de selección de Ashby a través del cálculo del índice del material donde, donde se identificó que la mejor selección fue la del aluminio, ya que al estar aplicado por las diferentes cargas del dispositivo sobre este material, se concluyó que es capaz de resistir el material sin presentar ninguna deformación y además de ser un metal más accesible económicamente en el mercado local.

—Se escogieron acoples capaces de transmitir la fuerza de rotación para el funcionamiento del dispositivo, siendo estos capaces de tener un factor de seguridad, ya que son capaces de soportar más fuerza a la que el dispositivo está siendo influenciado.

## **9.2. Proponer el diseño de un dispositivo mecatrónico para conteo automático en máquinas transportadoras de cartón.**

Se propusieron 3 prototipos, los cuales cumplían con el propósito del conteo automático de cartón, y por medio de la matriz de selección del libro de Norton, se pudo escoger el mejor diseño con las mejores características que se desea obtener para obtener el correcto funcionamiento del prototipo el cual fue el **diseño 2**.

### 9.2.1. Cálculos y fórmulas del sistema sintetizados

Se presenta en la siguiente tabla la obtención de los valores calculados para el funcionamiento del dispositivo, estos muestran la capacidad mínima requerida del sistema para realizar su proceso de ejecución.

**Tabla 17**

*Tabla de Resultados.*

Cálculo	Fórmula	Resultado
Masa del lote de 40 cartones	$PNp = 40 \cdot 250gr \cdot 4$	40kg
Masa del dispositivo mecatrónico	Propiedades Inventor	57,798
Dimensiones del cartón en milímetros	$largo \cdot ancho \cdot espesor$	$(500 \cdot 400 \cdot 7)mm$
Inercia del sistema	$I_T = I_{cm} + I_r$	$20,099kgm^2$
Torque necesario para mover el sistema	$T = I \cdot \alpha$	$16.49N \cdot m$
Deformación unitaria del soporte del rodamiento	$\mathcal{E} = \frac{\sigma}{E}$	0,00189
Esfuerzo de aplastamiento del rodamiento	$\sigma = \frac{F}{A}$	0,759Mpa
Fuerza total sobre el eje	$Ay = m \cdot a$	981N
Esfuerzo de aplastamiento del eje	$\sigma = \frac{F}{A}$	1,93
Deformación unitaria del eje	$\mathcal{E} = \frac{\sigma}{E}$	0,000347
Velocidad Angular	$\omega = 30rpm \cdot \frac{2\pi rad}{60s}$	$\omega = \frac{\pi rad}{4s}$
Aceleración Angular	$\alpha = \frac{\frac{\pi rad}{4s} - 0}{1s}$	$\alpha = \frac{\pi rad}{4s^2}$
Potencia necesaria del motor	$P = \frac{M \cdot n}{9.550}$	$P = 103,6W$
Ángulo de torsión	$\theta = \frac{T \cdot L}{G \cdot J}$	$\theta = 0,023^\circ$
Inercia de la sección transversal del eje	$J_o = \frac{\pi}{2} \cdot r^4$	$J_o = 4,086 \cdot 10^{-8}m^4$
Pandeo crítico del eje	$P_{crítico} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{(k \cdot L)^2}$	12,3GN
Esfuerzo de los soportes de la mesa	$\sigma = \frac{F}{A}$	0,2724Mpa
Esfuerzo cortante de la chaveta	$\tau_c = \frac{F}{b \cdot L}$	1,56MPa
Esfuerzo normal de la chaveta	$\sigma_n = \frac{F}{\frac{h}{2} \cdot L}$	5MPa
Función de control de velocidad a posición por integrador	$G(s) = \frac{199,7657}{s(s+4,2094)}$	90°

**Nota:** Se puede apreciar los distintos valores correspondientes a los cálculos necesarios para el diseño de el dispositivo de conteo automático

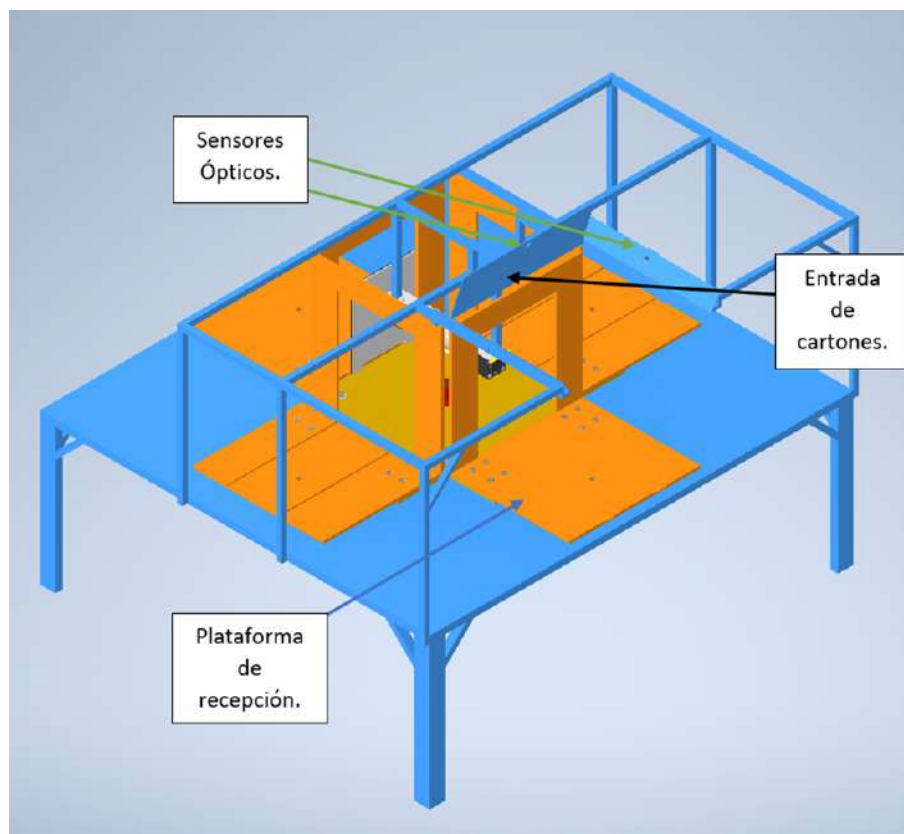
### 9.2.2. Funcionamiento del dispositivo mecatrónico para conteo automático de cartón

Se tuvo el diseño final del dispositivo en inventor, el cual su funcionamiento se describe a continuación:

Los cartones caen por medio de una banda transportadora hacia el dispositivo, la banda debe estar a una altura promedio de 1,15 m y tiene una velocidad de trabajo de 1 cartón cada 2 segundos, cuando los cartones caen son detectados por dos sensores ópticos ubicados sobre las guías para los cartones lo cual genera el proceso de conteo, después que los cartones caigan sobre la plataforma de recepción y cumpla con el número de cartones requeridos el dispositivo procede a rotar 90 grados en un tiempo de 1 segundo, como se muestra en la siguiente figura.

### Figura 80

*Funcionamiento del dispositivo mecatrónico para conteo automático de cartón.*



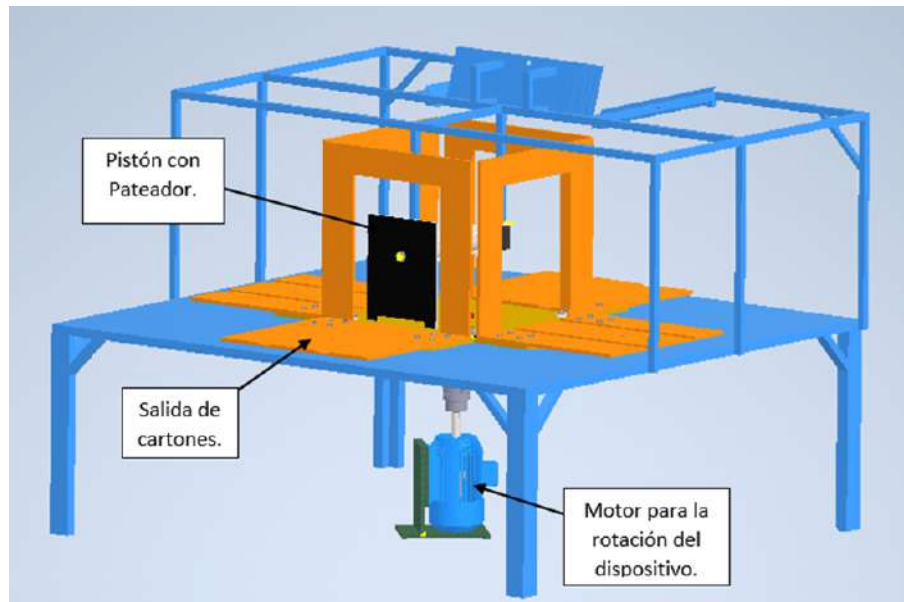
**Nota:** Se puede apreciar el el diseño final con sus componentes del dispositivo mecatrónico para conteo automático de cartón .

Después de rotar 180 grados, se cuenta con un sensor óptico que detecta si existe un objeto sobre la plataforma receptora, únicamente cuando el motor no conste de movimiento, al detectar un objeto manda una señal al PLC que permite la actuación de la salida del pistón, y lo empuja hacia una banda transportadora de salida con los lotes de cartón requeridos,

como se muestra en la siguiente figura:

**Figura 81**

*Funcionamiento del dispositivo mecatrónico para conteo automático de cartón.*



**Nota:** Se puede apreciar el el diseño final con sus componentes del dispositivo mecatrónico para conteo automático de cartón .

### **9.3. Simular el diseño de un dispositivo mecatrónico para conteo automático en máquinas transportadoras de cartón.**

- Se simuló las diferentes características mecánicas de los metales para la selección de materiales en el software de CES EDUPACK, donde se buscó que sus propiedades sean resistente y ligero, lo que dio de resultado después de analizar las gráficas fue el **aluminio**, debido a sus características mecánicas capaz de soportar las cargas del dispositivo sin fracturarse, estirarse o deformarse, además de ser un metal más accesible económicamente en el mercado local.
- Se simuló los resultados de los cálculos mecánicos más críticos para los elementos que soportan el peso del dispositivo, por lo que obtenemos el resultado simulado en ANSYS

y el resultado calculado en el marco metodológico, que se pueden apreciar en la siguiente tabla:

**Tabla 18**

*Resultado de simulación.*

<b>Elemento</b>	<b>Cálculo</b>	<b>Calculado</b>	<b>Simulado</b>
<b>Eje</b>	Esfuerzo de aplastamiento	1,93 MPa	1,78 MPa
	Ángulo de torsión	0,023°	0,027°
	Deformación	————	0,005787 mm
<b>Soporte del rodamiento</b>	Esfuerzo de aplastamiento	0,759 MPa	0,5761 MPa
	Deformación	————	0,0004741 mm

**Nota:** Resultado de simulación, valores calculados y simulados.

- Se llevó a cabo una simulación en el software MSC ADAMS para el dispositivo mecatrónico de conteo automático de cartón, en el cual se puede apreciar una predicción precisa de las características dinámicas del sistema, para que se pueda visualizar su funcionamiento con velocidades, torques y fuerzas aplicadas en el mismo y realizando su debido funcionamiento.
- A través de la programación en PLC y la implementación de sensores, se logró desarrollar un sistema de conteo automático de cartón que funciona eficientemente. El motor se activa cuando los sensores detectan la presencia de cartón y el ángulo de giro se ajusta a 90 grados gracias al sistema de control integrado. Finalmente, un último sensor activa el pistón para la expulsión del cartón, logrando así un proceso completo y eficiente. Este sistema demuestra la eficacia de la combinación de tecnologías y habilidades en la automatización de procesos industriales.

## 10. Conclusiones

—Como primera conclusión, el diseño de un dispositivo mecatrónico para el conteo automático de cartón requiere una serie de pasos a realizar, en donde lo primero a hacer es analizar una necesidad para el planteamiento de un diseño mecánico, eléctrico y de control, en donde respecto a la parte mecánica se analizan las fuerzas aplicadas sobre los componentes mecánicos y los efectos que causan como lo son la deformación, el esfuerzo de aplastamiento, la

fuerza de rozamiento, resistencia mecánica y módulo de elasticidad. La verificación y correcto análisis de estas variables permite garantizar un funcionamiento óptimo del dispositivo dentro de un ambiente controlado. La solución propuesta en este tema de titulación demuestra una alternativa al usar un sistema mecatrónico en el desempeño de una tarea compleja, como lo es el conteo de cartones con un alto grado de precisión y eficiencia.

—Por otra parte, se concluye también que el diseño de un dispositivo mecatrónico para el conteo automático de cartón implica analizar el eje de rotación del dispositivo, el cual está acoplado con el motor, las plataformas de unión y receptoras y el soporte de los rodamientos, lo que hace un sistema que requiere una cuidadosa consideración de los factores estructurales que afectan la capacidad del eje para soportar la carga y el funcionamiento a largo plazo. En el presente proyecto de titulación, se demostró la importancia de realizar cálculos detallados del pandeo crítico del eje, esfuerzo normal, resistencia mecánica, ángulo de torsión del eje y la selección de materiales adecuados para garantizar la integridad estructural del dispositivo diseñado que se mantienen dentro de los rangos permisibles.

—Respecto a la parte electrónica de conteo se realiza el control del motor DC con un control sacado de la función de transferencia siendo retroalimentado por el encoder para obtener la velocidad y ángulo requerido, además se establece el control en la parte de corriente otorgada por la fuente para minimizar el pico de corriente de arranque optimizando el rendimiento del motor, y se establece que el motor trabajará en su posición tomando un desplazamiento angular de 90 grados, el cual se ayudará del encoder y sensores ópticos que activarán el motor cuando se haya detectado el número de cartones requeridos, los sensores están en una posición determinada en la estructura donde permiten el conteo automático con precisión.

—Finalmente, se verifica la funcionalidad del dispositivo presentado a través del uso de distintas herramientas de simulación, como lo son software de asistencia en procesos de diseño. Probando el comportamiento estructural del mecanismo, simulando el desempeño dinámico del sistema, verificando las variables de control de velocidad y giro del motor, analizando las distintas variables para la selección adecuada de material, definiendo una propuesta de diseño de circuito electrónico para control de los componentes mecánicos que realizaran el conteo y desplazamiento de cartones; todos y cada uno de estos parámetros comparados con un análisis matemático previo.

## 11. Recomendaciones

- Se debe considerar la integración del dispositivo con otros sistemas, como sistemas de gestión de inventario y sistemas de información.
- Se debe considerar la mejora de la adaptación para la salida del producto de la línea de producción para que esta sea flexible para los diferentes tipos de máquina.
- Se debe considerar la construcción del dispositivo para una etapa de pruebas dinámicas y estáticas, antes de su uso dentro de la industria.

## Referencias

- Ashby., M. F. (2011). *Materials selection in mechanical desing* (Vol. Cuarta Edición)]. Elsevier Ltd.
- Belloch, C. (2017). Diseño instruccional.
- CartonlabSL. (2023). Designación de espesor de cartones.
- CHILEXPO. (2019). Acero aisi 316ti.
- ComInTec. (2021). Torque limiters, pneumatic clutches, couplings, adjustable pulleys, motor-slide bases and components for the assembling of automatic machines.
- DAGU. (2023). Top quality motors, gearboxes and drivers.
- David Yang. (2016). *Corrugated carton box auto folder gluer machine*. [Youtube. [https://www.youtube.com/watch?v=z5EbX1dLflA&list=PLednE6LXkoOXk8vh1bsD0Ti6EQEjBqgA0&index=3&ab\\_channel=DavidYang](https://www.youtube.com/watch?v=z5EbX1dLflA&list=PLednE6LXkoOXk8vh1bsD0Ti6EQEjBqgA0&index=3&ab_channel=DavidYang)].
- DIPAC. (2022). Eje de acero de transmisión.
- DirectIndustry. (2023). Motores de corriente continua.
- Fernández, J. (2013). Neumática básica. *Recuperado el, 3*.
- FESTO. (2022). Cilindro de doble efecto, un funcionamiento suave.
- Galicia, X. (2022). Tabla resumen de propiedades.
- IMPACK. (2020). Los 4 problemas más habituales de las encajadoras para líneas de plegado-encolado (y cómo evitarlos).
- INCARPALM. (2018). Proceso de conteo manual.
- INEN. (1986). Instituto ecuatoriano de normalización.
- Lozano, G., y Ruiz Campillo, J. P. (1996). Criterios para el diseño y la evaluación de materiales comunicativos. *Didáctica del español como lengua extranjera, 3*, 127–155.
- Malagueños, C. (2023). El cartón.
- Maqui-Corrugado. (12, junio, 2017). *Dobladora pegadora modelo afg 2400*. [Youtube. <https://youtu.be/0hmMOEOIPEk>].
- Nexus-Gestando, U. T., y cols. (2014). Concepto, definición, factores y matriz del empaque.
- Norton, R. L. (2009). *Diseño de maquinaria* (Vol. 4). McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
- Núñez Andrés, M. A., Buill Pozuelo, F., y Muñoz Salinas, F. (2005). Comportamiento de un sensor láser escáner. En *6a setmana geomàtica 6a 2005 barcelona* (pp. 1–10).
- OPAC. (2021). Normas para chaveta din 6885.
- ROLAM. (2021). *Cs series automatic high speed 4 and 6 corner folder gluer*. [<https://www.foldinggluing.com/folder-gluer-for-cardboard-box/cs-series>].



automatic-high-speed-4-and-6-corner-folder-gluer.].  
sammexdemexico. (6, septiembre, 2012). *Pegadora y dobladora recta para caja de carton.*  
[Youtube. <https://youtu.be/0hmMOEOIPek>.].  
Sensing. (2021). Sensor láser industrial para todo tipo de superficies.  
Solé, A. C. (2012). *Neumática e hidráulica*. Marcombo.  
Sunrises. (2021). Nsk 17tac47bddg ball screw support bearings.  
UPS. (s.f.). Universidad politécnica salesiana, sede cuenca.  
Waste stripper carton. (2017). *Dobladora pegadora/ folder gluer-cajas de cartón corrugado- jwy customized.* [Youtube. [https://www.youtube.com/watch?v=wTivhXDaPfUab\\_cchannel = wastestrippercarton](https://www.youtube.com/watch?v=wTivhXDaPfUab_cchannel=wastestrippercarton).].  
WEG. (2021). Sensores Ópticos.

# **ANEXOS**

# Anexo A: Matriz de Consistencia Lógica

Tabla 19

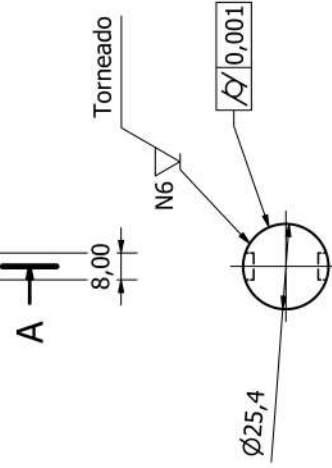
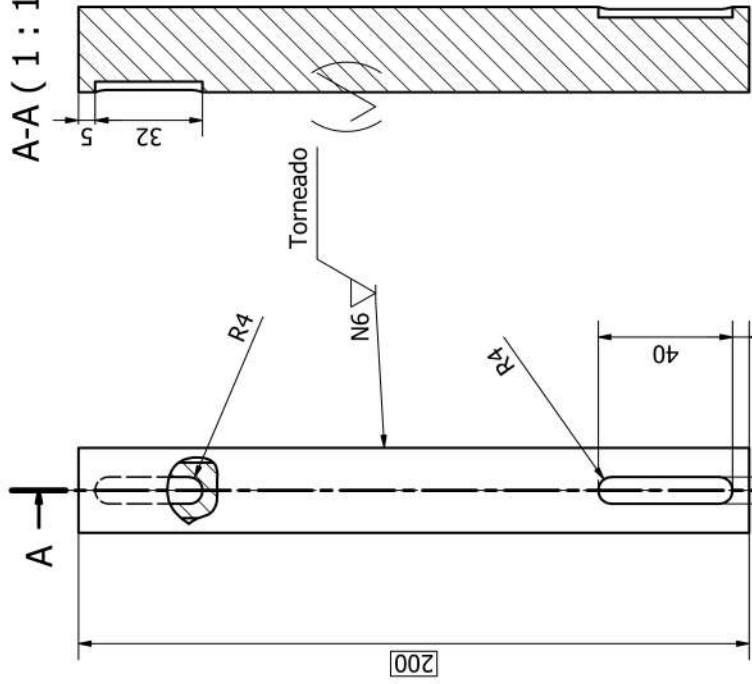
Matriz de consistencia.

MATRIZ DE CONSISTENCIA				
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLES	MARCO TEÓRICO
¿Es posible diseñar un dispositivo mecatrónico para conteo automático en máquinas transportadoras de cartón?	Diseñar un dispositivo mecatrónico para conteo automático en máquinas transportadoras de cartón.	Se diseñará un dispositivo mecatrónico para conteo automático en máquinas transportadoras de cartón.	VI:Parámetros VD:Diseño mecatrónico	Flexibilizar un sistema automático
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	VARIABLES	MARCO TEÓRICO
¿Se podrá establecer los parámetros iniciales del diseño de un dispositivo mecatrónico para conteo automático en máquinas transportadoras de cartón?	Establecer los parámetros iniciales del diseño de un dispositivo mecatrónico para conteo automático en máquinas transportadoras de cartón.	Los parámetros iniciales establecerán el diseño de un dispositivo mecatrónico para conteo automático en máquinas transportadoras de cartón.	-VI: <b>Parámetros.</b> -VD: <b>Diseño mecatrónico.</b>	Máquina automática contadora
¿ Es posible Proponer el diseño de un dispositivo mecatrónico para conteo automático en máquinas transportadoras de cartón?	Proponer el diseño mecatrónico para el conteo automático en máquinas transportadoras de cartón.	Los nuevos parámetros propondrán el diseño mecatrónico para el conteo automático en máquinas transportadoras de cartón.		
¿Es factible simular el diseño mecatrónico para el conteo automático en máquinas transportadoras de cartón?	Simular el diseño mecatrónico propuesto para el conteo automático en máquinas transportadoras de cartón.	Se simulara el diseño mecatrónico para el conteo automático en máquinas transportadoras de cartón.		Selección de Materiales.

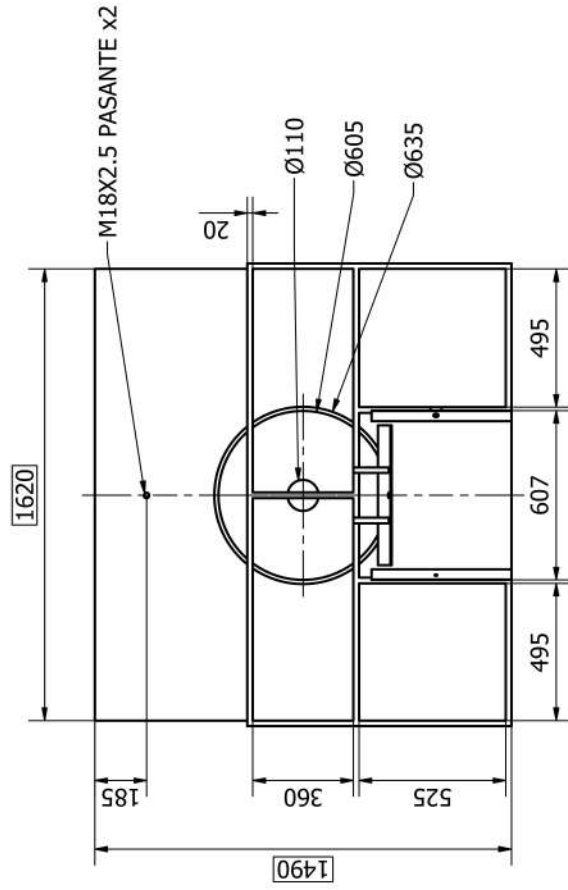
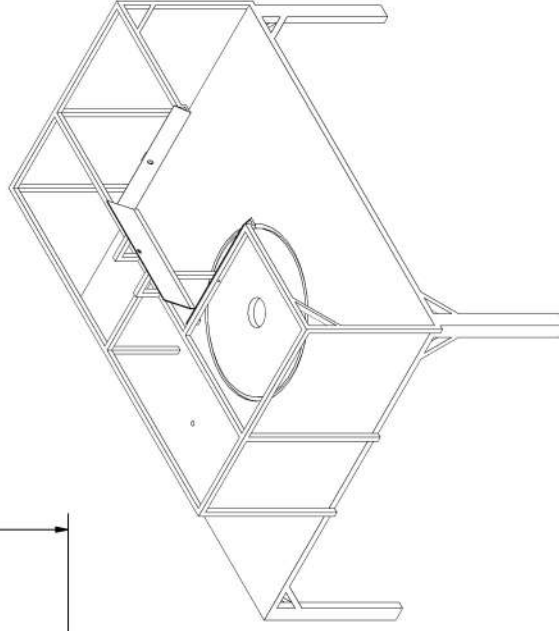
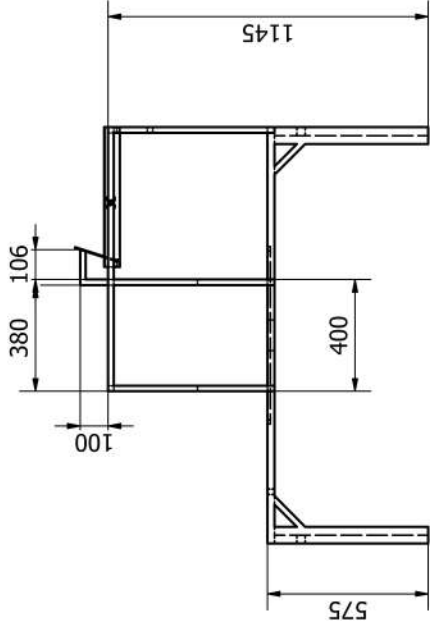
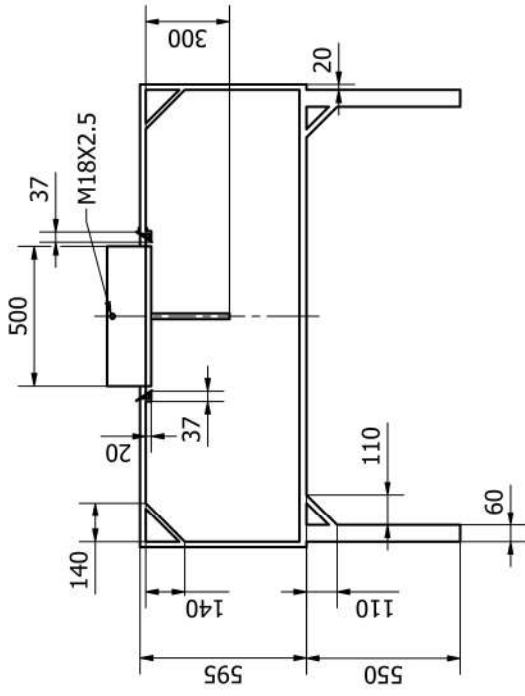
**Nota:** La matriz de consistencia presentada facilita identificar la relación que existe entre las variables y los objetivos además de como se relaciona con el marco teórico referencial.


**Anexo B: Planos de un dispositivo mecatrónico para conteo automático en máquinas transportadoras de cartón.**

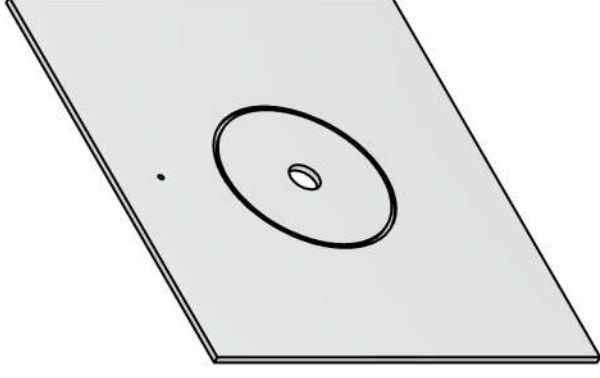
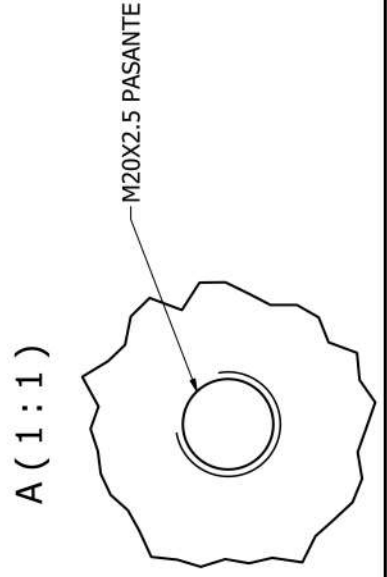
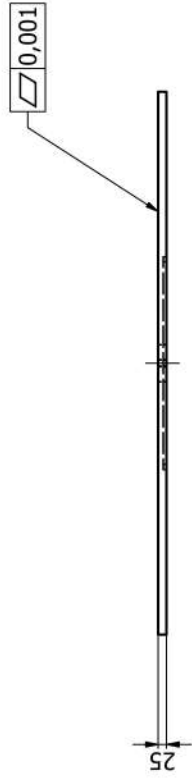
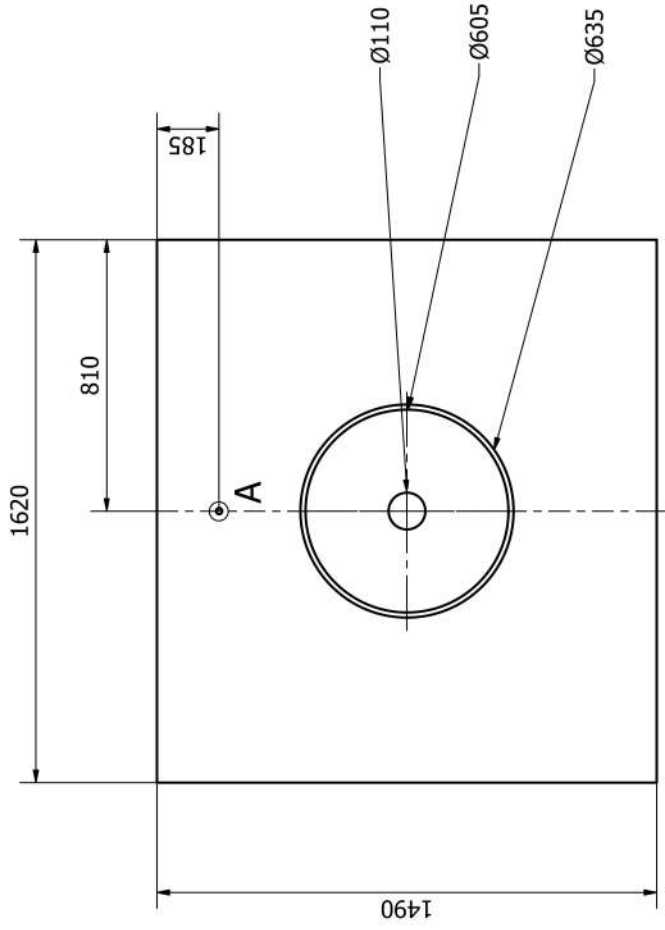
A-A ( 1 : 1.5 )




Pos.	Cant.	Denominación	Material	Acero Transmisión	Norma	Notas
		Nombre	 <b>UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA</b> SEDE MATRIZ CUENCA			
Dibujado	01/02/23	Berrezueta-Brito				
Comprobado	01/02/23	Ing. Diego Urgilés				
Proyecto de titulación			Ingeniería			
Escala			Carrera de mecatrónica			
Lámina			Subconjunto			
			EJE			

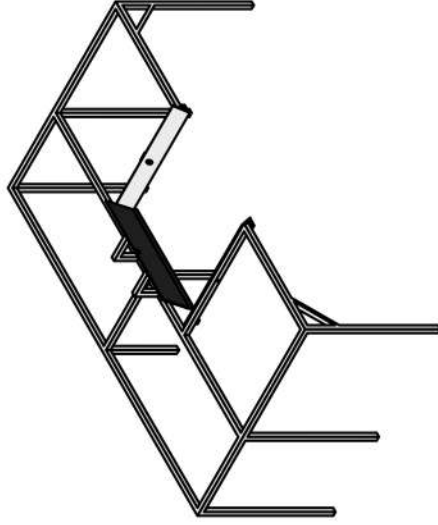
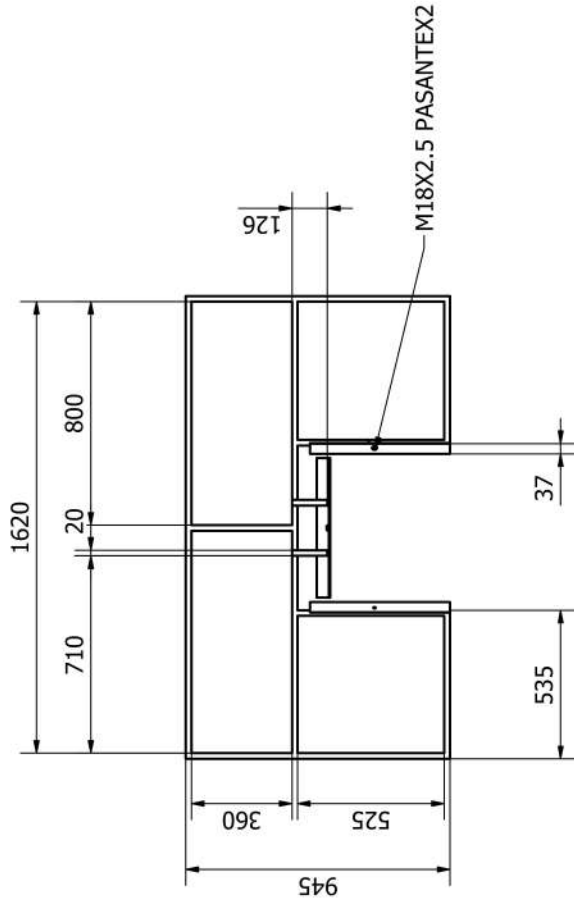
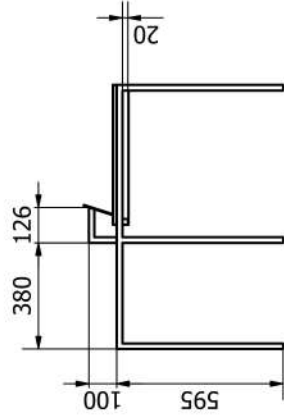
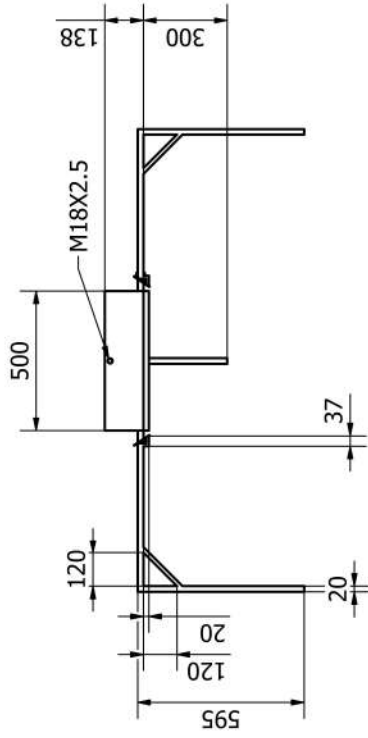



Pos.	Cant.	Denominación	Material	Norma	Notas
			Aluminio 6061		
Dibujado	01/02/23	Nombre	 <b>UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA</b> SEDE MATRIZ CUENCA		
Comprobado	01/02/23	Berrezueta-Brito Ing. Diego Urigüles			
Proyecto de titulación		Ingeniería			
Escala	Subconjunto		Carrera de mecatrónica		
Lámina	MESA - CROQUIS PARA ENSAMBLADO				



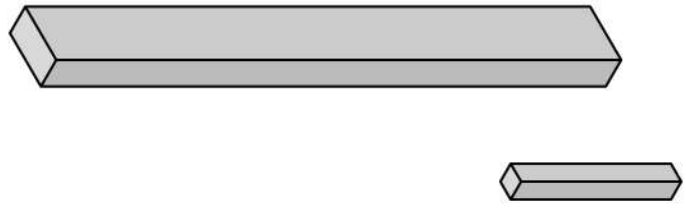
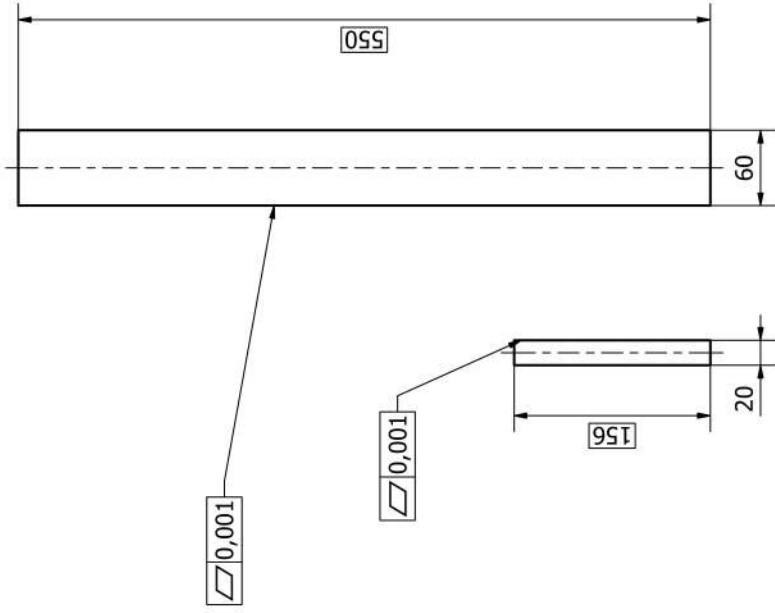
Fresado CNC (✓)

Pos.	Cant.	Denominación	Material	Norma	Notas
			Aluminio 6061		
Dibujado	01/02/23	Nombre	 <b>UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA</b> SEDE MATRIZ CUENCA		
Comprobado	01/02/23	Berrezueta-Brito Ing. Diego Urgilés			
Proyecto de titulación		Ingeniería			
Escala	Subconjunto		Carrera de mecatrónica		
Lámina	MESA - SUPERFICIE				

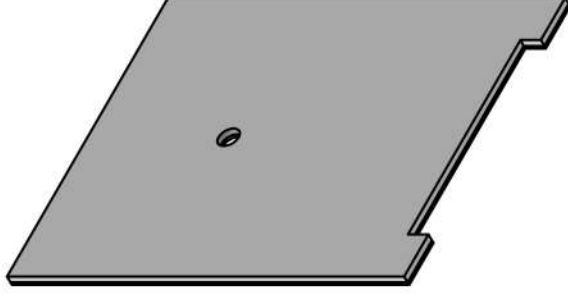
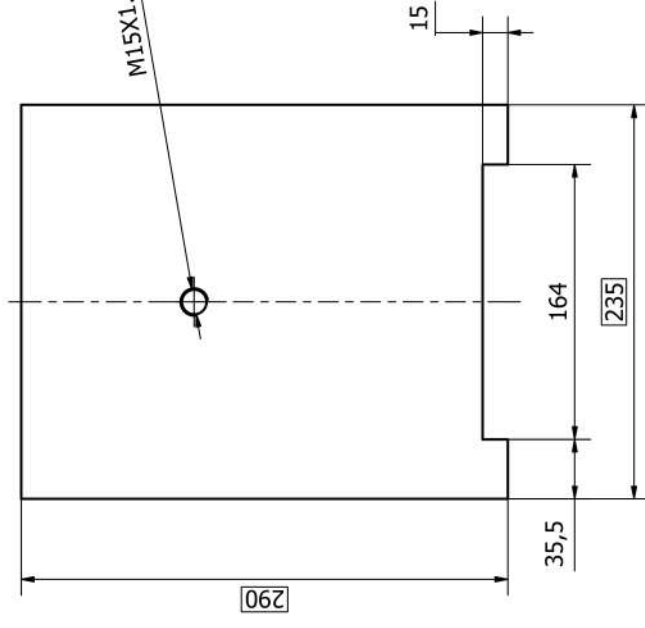
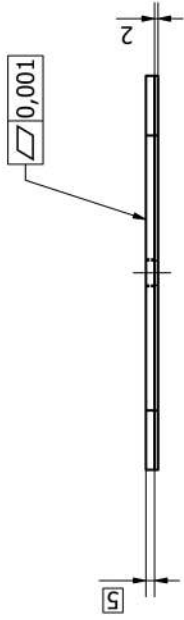


Pos.	Cant.	Denominación	Acero Transmisión	Norma	Notas
		Nombre	Material		
Dibujado	01/02/23	Berrezueta-Brito	 <b>UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA</b> SEDE MATRIZ CUENCA		
Comprobado	01/02/23	Ing. Diego Urgilés			
Proyecto de titulación		Ingeniería			
Escala		Carrera de mecatrónica			
Lámina		Subconjunto			
MESA - ESTRUCTURA SUPERFICIE					




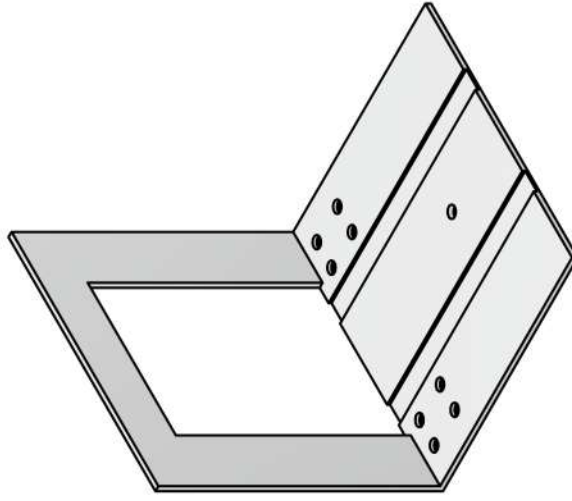
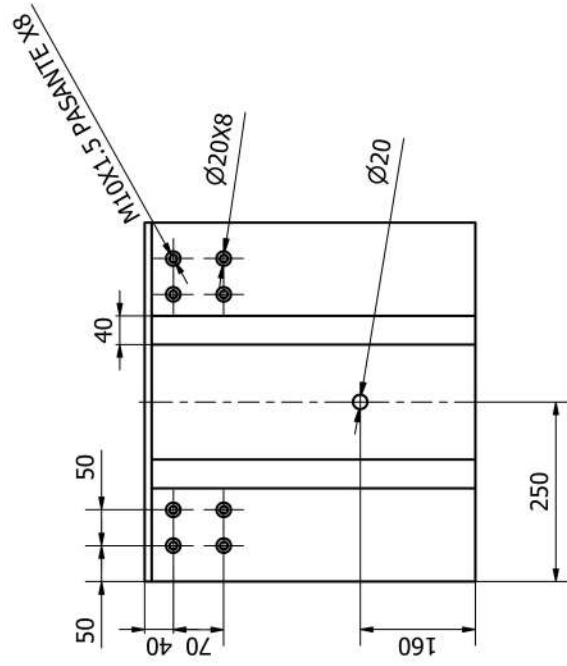
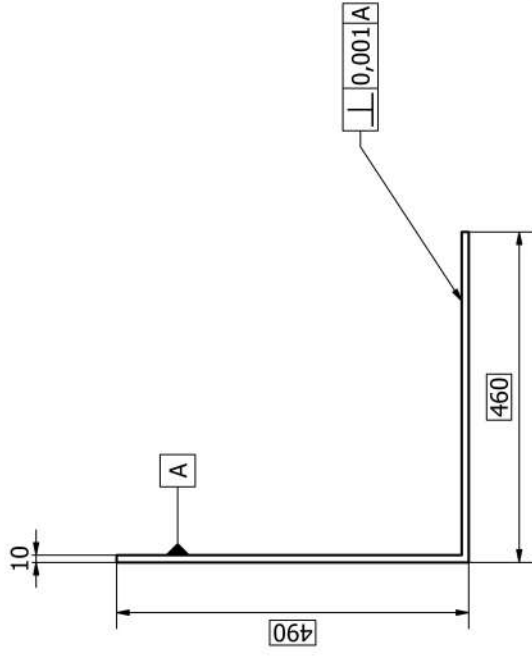
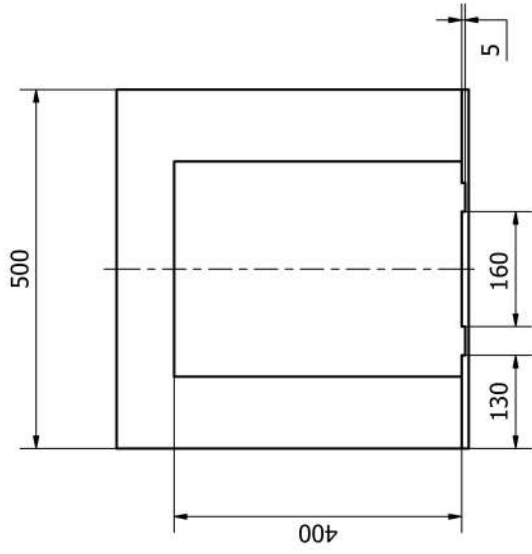



8					Aluminio 6061	---	---
Pos.	Cant.	Denominación		Material	Norma		
		Fecha	Nombre	 <b>UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA</b> SEDE MATRIZ CUENCA	Ingeniería Carrera de mecatrónica		
		01/02/23	Berrezueta-Brito				
		01/02/23	Ing. Diego Urgilés	Proyecto de titulación			
Dibujado		Comprobado		Escala		Subconjunto	
						MESA - VIGAS DE SOPORTE	
						Lámina	
						Notas	

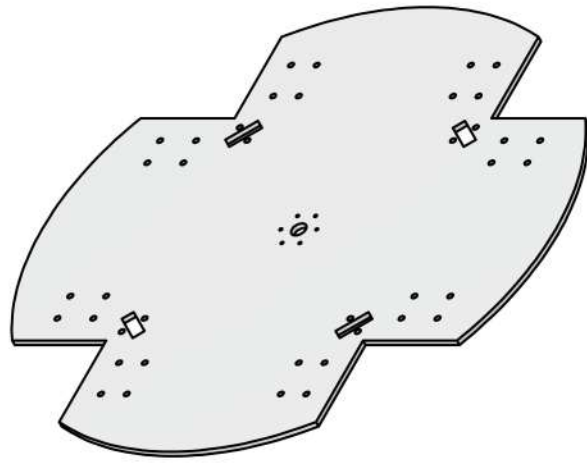
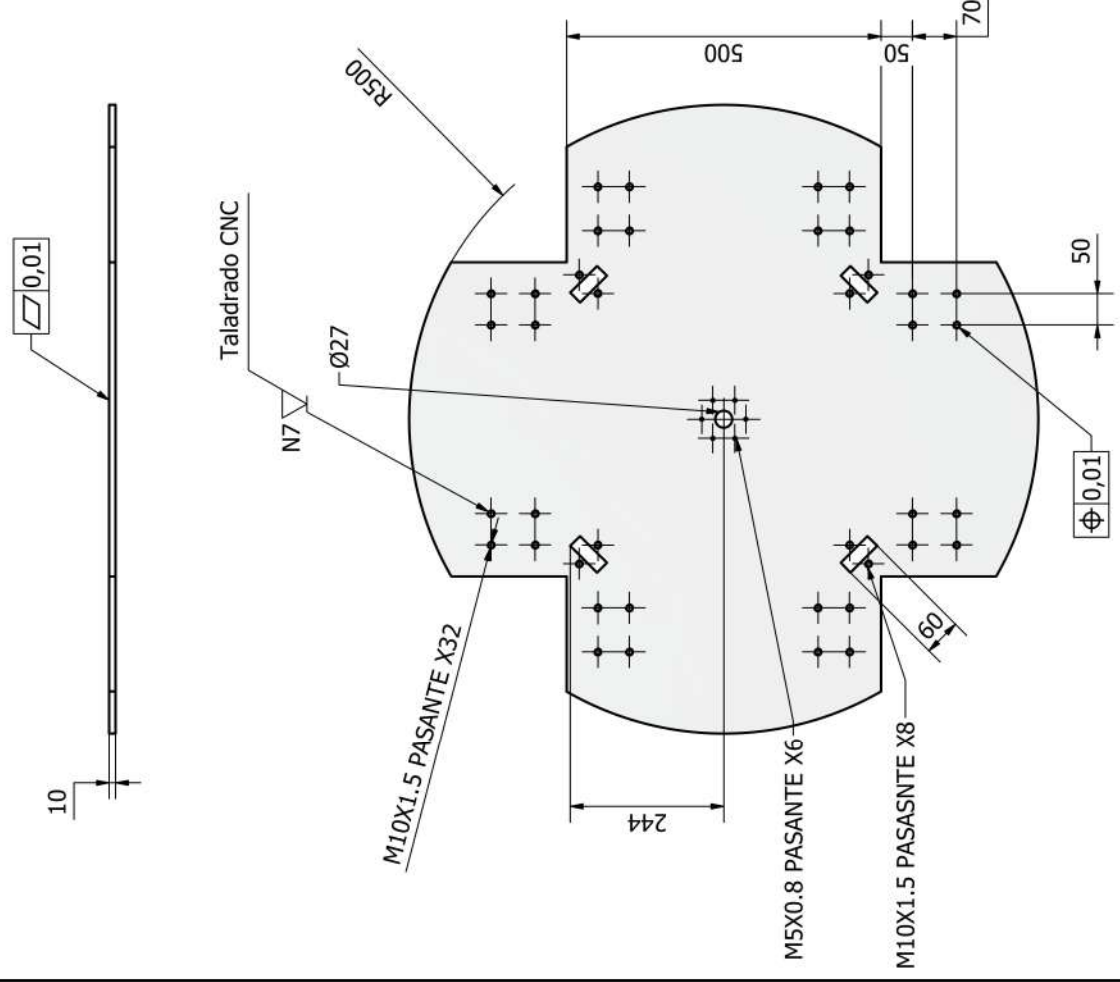


Fresado CNC

Pos.	Cant.	Denominación	Material	Norma	Notas
			Aluminio 6061		
Dibujado	01/02/23	Nombre	 <b>UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA</b> SEDE MATRIZ CUENCA		
Comprobado	01/02/23	Berrezueta-Brito Ing. Diego Urgilés			
Proyecto de titulación		Ingeniería			
Escala		Carrera de mecatrónica			
Subconjunto		PATEADOR			
Lámina					



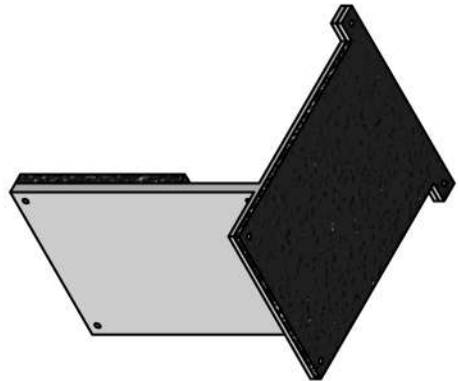
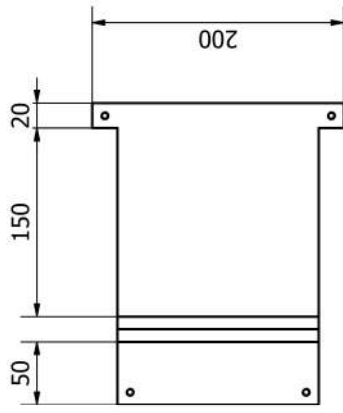
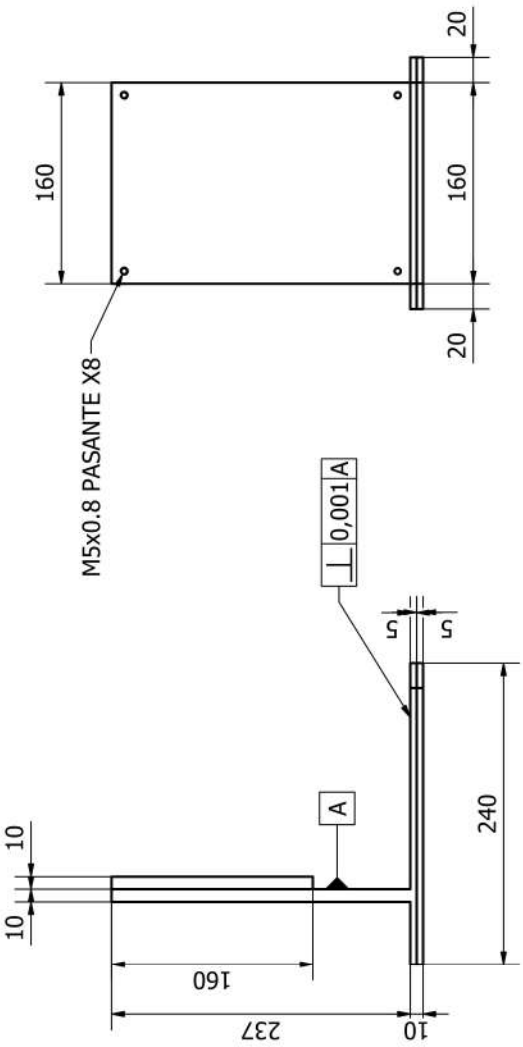
Pos.	Cant.	Denominación	Material	Norma	Notas
			Aluminio 6061		
Dibujado	01/02/23	Nombre	 <b>UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA</b> SEDE MATRIZ CUENCA		
Comprobado	01/02/23	Berrezueta-Brito Ing. Diego Urgilés			
Proyecto de titulación		Ingeniería			
Escala	Subconjunto		Carrera de mecatrónica		
Lámina	PLATAFORMA RECEPTORA				



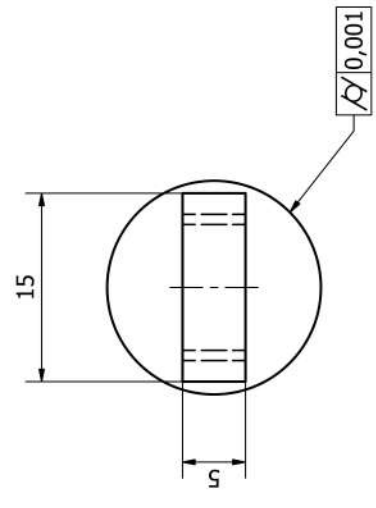
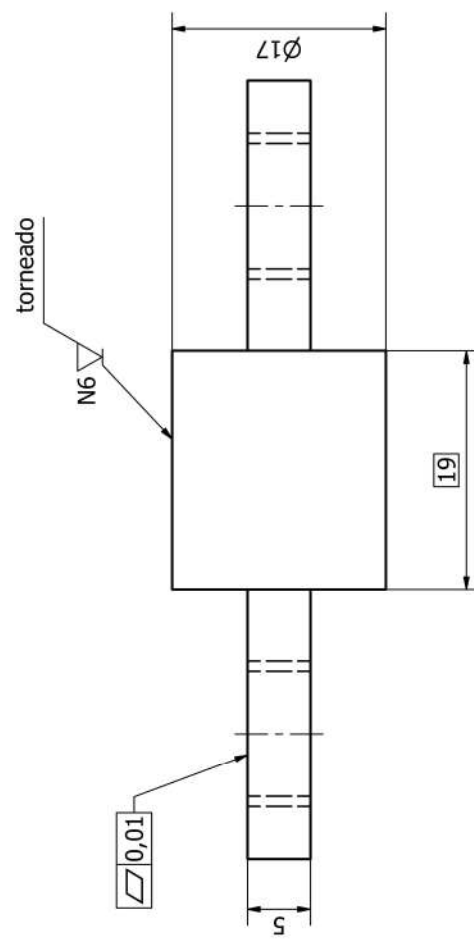
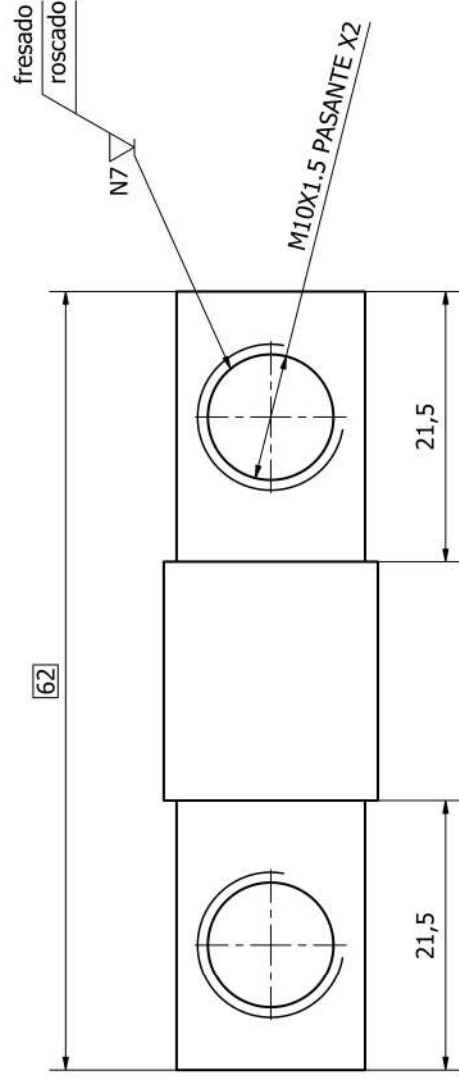
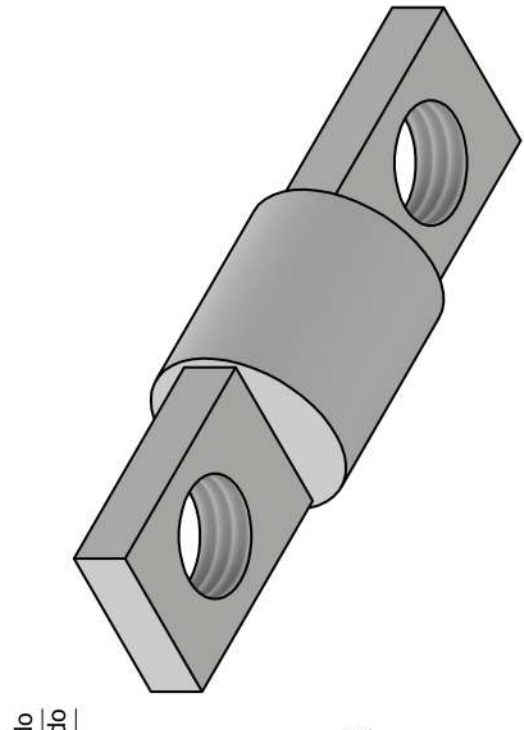
Fresado CNC


Pos.	Cant.	Denominación	Material	Norma	Notas
			Aluminio 6061		
Dibujado	01/02/23	Nombre	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA		
Comprobado	01/02/23	Nombre	SEDE MATRIZ CUENCA		
		Fecha	Ingeniería		
		Comprobado	Carrera de mecatrónica		
		Escala	Subconjunto		
		Lámina	PLATAFORMA UNIÓN		

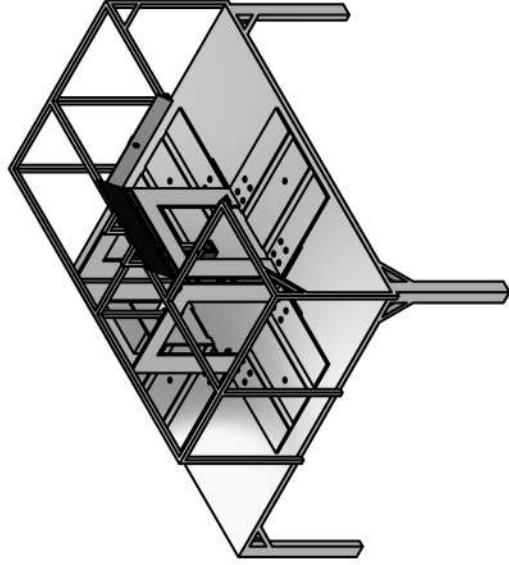
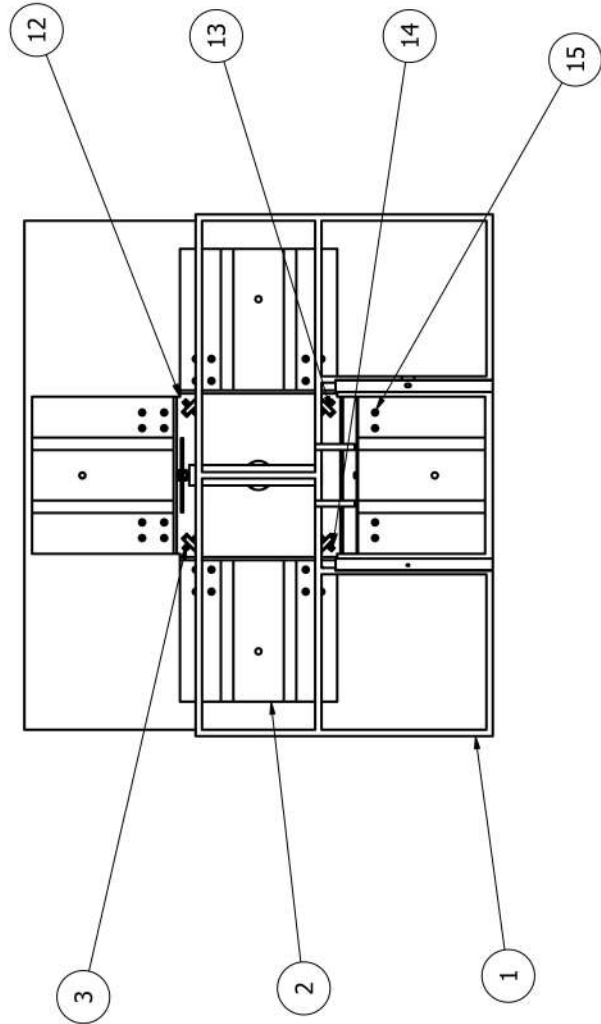
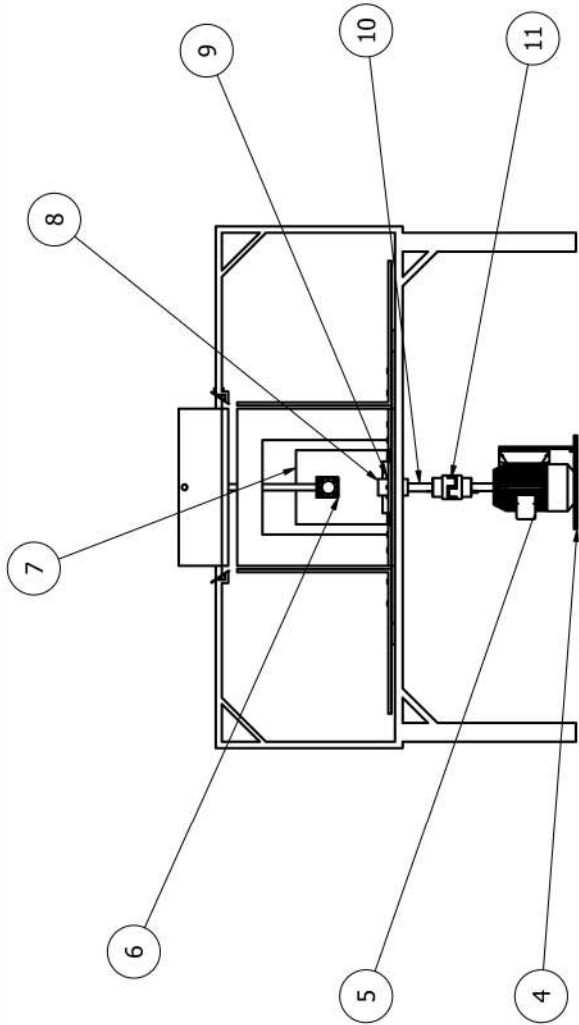
Fresado CNC 



Pos.	Cant.	Denominación	Material	Norma	Notas
			Aluminio 6061		
Dibujado	01/02/23	Nombre	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA		
Comprobado	01/02/23	Berrezueta-Brito	SEDE MATRIZ CUENCA		
		Ing. Diego Urgilés	Ingeniería		
		Proyecto de titulación	Carrera de mecatrónica		
		Escala	Subconjunto		
		Lámina	SOPORTE MOTOR		



Pos.	Cant.	Denominación	Material	Norma	Notas
			Aluminio 6061		
Dibujado	01/02/23	Nombre	 <b>UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA</b> SEDE MATRIZ CUENCA		
Comprobado	01/02/23	Berrezueta-Brito Ing. Diego Urigüles			
Proyecto de titulación		Ingeniería			
Escala	Subconjunto		Carrera de mecatrónica		
Lámina	SOPORTE RODAMIENTO				



15	32	Tomillo M10X1.25X15	Acero	JIS B 1176	---
14	8	Tomillo M10X1.5	Acero	KSB 1003	---
13	4	Rodamientos	Hierro	NGK TACB 17 TAC	---
12	1	Plataforma de Unión	Aluminio 6061	6061 AISI/ASTM T6	---
11	1	Acople eje-motor	Acero	ASTM A500	---
10	1	Eje	Acero transmisión	AISI 1018	---
9	6	Tomillo MSX30	Acero	KSB 1003	---
8	2	Acople Union Plataforma	Acero	ASTM A500	---
7	1	Pateador	Aluminio 6061	6061 AISI/ASTM T6	---
6	1	Pistón	Aluminio 6061	6061 AISI/ASTM T6	---
5	1	Motor	Acero	ASTM A500	---
4	1	Base del motor	Aluminio 6061- Caucho	6061 AISI/ASTM T6	---
3	4	Soporte rodamiento	Aluminio 6061	6061 AISI/ASTM T6	---
2	4	Plataforma recepción	Aluminio 6061	6061 AISI/ASTM T6	---
1	1	Mesa	Aluminio 6061- Caucho	6061 AISI/ASTM T6	---
<b>Pos.</b>	<b>Cant.</b>	<b>Denominación</b>	<b>Material</b>	<b>Norma</b>	<b>Notas</b>
		<b>Fecha</b>	<b>UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA</b>		
<b>Dibujado</b>		01/02/23	SEDE MATRIZ CUENCA		
<b>Comprobado</b>		01/02/23	Ingeniería		
			Carrera de mecatrónica		
<b>Escala</b>			<b>Subconjunto</b>		
<b>Lámina</b>			<b>ENSAMBLE DISPOSITIVO CONTEO DE CARTÓN</b>		