

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la  
Producción**

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE SINCRONIZACIÓN AUTOMÁTICO PARA  
UNA LAMINADORA DE PAPEL CORRUGADO**

**PROYECTO INTEGRADOR**

Previo la obtención del Título de:

**INGENIERO EN MECATRÓNICA**

Presentado por:

Henry Michael Fernández Bedoya

Jair Jeampier Marcillo Acosta

**GUAYAQUIL - ECUADOR**

Año: 2021

## DEDICATORIA

El presente proyecto lo dedico principalmente a Dios por inspirarme y darme fuerzas para culminar una de las etapas más importantes de mi vida.

A mis padres Henry y Gemny por todo su amor, trabajo y sacrificio durante todos estos años. A mi hermana y cuñado Stefania y Jordy por su apoyo incondicional.

A mi familia paterna y materna, en especial a mi abuelita Irma y a mis tíos Jorge y Amada por darme el aliento necesario para seguir adelante y sobrellevar los obstáculos.

A la memoria de mis abuelos Jorge y Ángel, por haberme inculcado buenos valores.

**Henry Fernández B.**

## DEDICATORIA

El presente trabajo se lo dedico a Dios por darme salud, fuerza y bienestar a mí y mis seres queridos para seguir cumplimiento todos mis objetivos planteados.

A mis padres Jannet Acosta y Wilson Marcillo por ser sustento incondicional y enseñarme a vivir actuando siempre con esfuerzo, responsabilidad y perseverancia. A mi hermano Israel Marcillo por ser mi guía y mi amigo brindándome siempre su apoyo y ánimos en mis decisiones y retos.

A mi familia materna y paterna, a mis tíos, primos y sobrinos, que me han brindado su cariño, guía, apoyo y abrigo. A la memoria de mis abuelos, que dejaron huella y enseñanzas imborrables en mi vida.

A mis grandes amigos y compañeros que me acompañaron desde el colegio hasta finalizar esta gran etapa universitaria, donde compartimos grandes momentos dentro y fuera de las aulas. Muchos de ellos a pesar de ser de distintas carreras se convirtieron en grandes amigos.

**Jair Marcillo A.**

## **AGRADECIMIENTOS**

Mi agradecimiento especial a Dios por permitirme gozar de salud y mantenerme con vida, por ser mi guiador y fortaleza en todos los momentos de mi etapa profesional.

A mis padres por confiar y creer en mí, y ser los principales promotores para cumplir mis sueños.

A ESPOL por brindarnos una educación de calidad. A mis profesores y tutores por haber compartido sus conocimientos a lo largo de este proyecto.

A Jair Marcillo por su amistad y apoyo en estos últimos años de la carrera universitaria y durante el proceso de este gran reto.

A mis amigos y compañeros que he conocido en el transcurso de la carrera, en especial a Isis, Omar, Ángel, Jair, Darwin y Josep por todo el apoyo y conocimientos brindados.

**Henry Fernández B.**

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a Dios por tanto amor, bendiciones y gracia conmigo y mi familia en estos tiempos difíciles. Que nos de la fortaleza para seguir adelante.

A mi familia por ser incondicionales y creer en mí, celebrándome en cada logro, apoyándome en cada nueva enseñanza.

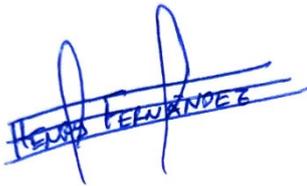
A ESPOL por brindarnos una educación de calidad, convirtiendo esta gran etapa de preparación en un recuerdo imborrable en nuestras vidas. A mis profesores y tutores, por dedicar su tiempo en nuestra formación profesional.

A mi compañero y amigo Henry Fernández por su entrega, predisposición y sacrificio mutuo para cumplir con este gran objetivo.

**Jair Marcillo A.**

## DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Henry Michael Fernández Bedoya* y *Jair Jeampier Marcillo Acosta* damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”



---

Henry Michael Fernández Bedoya



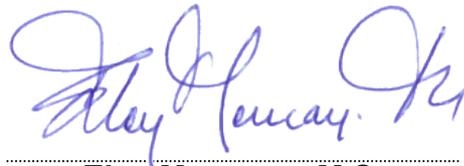
---

Jair Jeampier Marcillo Acosta

## EVALUADORES

.....  
**Bryan Puruncajas, M.Sc.**

PROFESOR DE LA MATERIA



.....  
**Eloy Moncayo, M.Sc.**

PROFESOR TUTOR

## RESUMEN

El cartón corrugado es uno de los sectores estratégicos productivos más importantes en el Ecuador, donde atienden a diferentes industrias como la bananera, camaronera, pesquera, florícola, entre otras, ofreciéndoles ventajas de empaques para todos sus productos para la comercialización tanto local como fuera del país. El caso de estudio de este proyecto es una máquina laminadora de papel corrugado que presenta problemas de variación de registro en el pegado de láminas generando pérdidas por desperdicio de hasta el 30% de producción. Por ello, este proyecto propone el diseño de un sistema automático de sincronización de láminas aplicando técnicas y herramientas de automatización.

En este diseño se presenta la adaptación de una cinta transportadora para el procesamiento del papel de la lámina superior. Todas las estaciones de la máquina junto con la cinta fueron modelados y simulados en el software de Inventor Professional. Esta cinta conlleva diferentes componentes mecánicos como rodillos de accionamiento y presión para el correcto guiado de la banda y del papel, mecanismos tensores y sistemas de arrastre para el transporte del papel.

Por otro lado, la simulación electrónica y de control fue realizada con el software TIA PORTAL utilizando un PLC Simatic S7-1200 como controlador principal para de un servomotor, sensores y un codificador externo para control de posición y velocidad de las láminas utilizando la técnica de Motion Control con sistema centralizado por el autómeta.

Se realizó el listado de rubros de este diseño mostrando las ventajas de la fabricación e implementación local, así como también las comparaciones de su costo con distintas cintas transportadoras comerciales y máquinas laminadoras modernas.

Con la cinta transportadora se conseguiría controlar la compensación de llegada de láminas para el pegado, así como también se prevé alcanzar una velocidad de láminas de hasta 150 m/min y reducir las pérdidas hasta \$2970 al mes con un tiempo de recuperación de inversión de 6 meses. Por otra parte, su bajo costo nos permitiría escalar esta funcionalidad a todas las estaciones de la máquina mejorando el proceso.

**Palabras Clave:** Laminadora, papel, diseño, simulación, inversión.

## **ABSTRACT**

*Corrugated cardboard is one of the most important strategic productive sectors in Ecuador, where they serve different industries such as banana, shrimp, fishing, floriculture, among others, offering packaging advantages for all their products for marketing both locally and outside the country. The case study of this project is a corrugated paper laminating machine that presents problems of register variation in the gluing of sheets, generating waste losses of up to 30% of production. Therefore, this project proposes the design of an automatic sheet synchronization system applying automation techniques and tools.*

*In this design presents the adaptation of a conveyor belt for the processing of the top sheet paper, all the stations of the machine together with the belt were modeled and simulated in Inventor Professional software. This belt entails different mechanical components such as drive and pressure rollers for the correct guiding of the belt and paper, tensioning mechanisms and drive systems for paper transport.*

*On the other hand, the electronic and control simulation was performed with TIA PORTAL software using a PLC Simatic S7-1200 as main controller for a servomotor, sensors and an external encoder to control the position and speed of the sheets using the Motion Control technique with centralized system by the automation.*

*A list of items of this design was made showing the advantages of local manufacturing and implementation, as well as cost comparisons with different commercial conveyor belts and modern laminating machines.*

*With the conveyor belt, we would be able to control the compensation of the arrival of sheets for gluing, as well as achieve a sheet speed of up to 150 m/min and reduce losses up to \$2970 per month with a payback time of 6 months. Moreover, its low cost would allow us to scale this functionality to all stations of the machine improving the process.*

**Keywords:** *Laminating machine, paper, design, simulation, investment.*

# ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
<i>ABSTRACT</i> .....	II
ÍNDICE GENERAL .....	III
ABREVIATURAS.....	VI
SIMBOLOGÍA .....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS .....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS.....	XI
CAPÍTULO 1.....	1
1.    Introducción .....	1
1.1    Descripción del problema .....	1
1.1.1    Contexto del problema .....	2
1.1.2    Características del problema .....	2
1.1.3    Explicación del problema.....	4
1.2    Justificación del problema .....	5
1.3    Objetivos .....	5
1.3.1    Objetivo General.....	5
1.3.2    Objetivos Específicos .....	5
1.4    Marco teórico.....	6
1.4.1    Cartón corrugado.....	6
1.4.2    Tipos de cartón corrugado.....	6
1.4.3    Laminación .....	8
1.4.4    Máquina Laminadora .....	8
1.4.5    Partes de una máquina Laminadora.....	9
1.4.6    Estado del Arte .....	13

CAPÍTULO 2.....	14
2. Metodología .....	14
2.1 Selección de alternativas de solución.....	14
2.2 Proceso de diseño.....	17
2.3 Requerimientos de diseño .....	17
2.4 Diseño mecánico .....	19
2.4.1 Cinta Transportadora.....	19
2.4.2 Selección de banda transportadora.....	26
2.4.3 Potencia requerida del sistema .....	27
2.4.4 Selección de engranajes para rodillo de arrastre .....	33
2.4.5 Selección de rodamientos .....	35
2.5 Diseño de monitoreo y control.....	36
2.5.1 Arquitectura de Control.....	36
2.6 Diseño eléctrico .....	38
2.6.1 Selección de Servomotor.....	38
2.6.2 Diagrama de flujo del funcionamiento eléctrico del sistema .....	40
CAPÍTULO 3.....	41
3. Resultados y análisis .....	41
3.1 Diseño Mecánico .....	41
3.1.1 Diseño Estructural .....	42
3.1.2 Engranajes .....	43
3.1.3 Análisis de elementos finitos del eje motriz .....	46
3.1.4 Codificador externo y servomotor .....	48
3.2 Diseño de monitoreo y control.....	50
3.2.1 Motion Control .....	51
3.2.2 Compensación manual y automática.....	53
3.2.3 Pantalla HMI .....	55

3.2.4	Sensor de doble hoja.....	57
3.3	Simulación del sistema.....	59
3.4	Análisis de costos.....	62
CAPÍTULO 4.....		67
4.	Conclusiones y recomendaciones .....	67
4.1	Conclusiones.....	67
4.2	Recomendaciones.....	68
BIBLIOGRAFÍA.....		69
APÉNDICES.....		71

# ABREVIATURAS

AGMA	American Gear Manufacturers Association
ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
PT	Producto Terminado
PLC	Controlador Lógico Programable
SKF	Fábrica de rodamientos sueca (Svenska Kullagerfabriken)

# SIMBOLOGÍA

h	Hora
s	Segundo
g	Gramo
mm	Milímetro
m	Metro
kg	Kilogramo
N	Newton
kN	Kilo Newton
V	Voltio
A	Amperios
W	Watts
kW	Kilo watts
HP	Horse power
RPM	Revolución por minuto
g/m <sup>2</sup>	Gramaje del papel

# ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Laminadora FM 1300 .....	2
Figura 1.2 Sistema de alimentación por ventosas .....	3
Figura 1.3 Desperdicio de láminas de papel.....	3
Figura 1.4 Producto Terminado con variación de registro .....	4
Figura 1.5 formación de las caras de cartón .....	7
Figura 1.6 Proceso de laminado .....	8
Figura 1.7 Máquina Laminadora .....	8
Figura 1.8 Sistema de alimentación superior .....	9
Figura 1.9 Ventosas .....	9
Figura 1.10 Alimentador automático .....	10
Figura 1.11 Alimentador inferior por correas de fricción perforadas con succión .....	11
Figura 1.12 Sistema de placas cuadrador de láminas inferior .....	11
Figura 1.13 Rodillo aplicador y dosificador .....	12
Figura 1.14 Sección de laminado .....	12
Figura 1.15 Estación de prensado.....	13
Figura 2.1 Proceso de diseño.....	17
Figura 2.2 Mediciones de la estructura de la máquina .....	18
Figura 2.3 Medición de rodillos con la cinta Pi.....	18
Figura 2.4 Componentes de una cinta transportadora .....	19
Figura 2.5 Puntas redondeadas y altura de base de deslizamiento .....	20
Figura 2.6 Tipos de montajes para rodillos de cintas .....	21
Figura 2.7 Desplazamiento regulable rodillo tensor cinta .....	21
Figura 2.8 Vista frontal Laminadora.....	22
Figura 2.9 Angulo de inclinación.....	22
Figura 2.10 Esquema cinta transportadora con inclinación descendente .....	23
Figura 2.11 Guiado de banda con rodillos de presión .....	24
Figura 2.12 Rodillo Motriz.....	25
Figura 2.13 Rodillo Tensor .....	25
Figura 2.14 Rodillo de arrastre .....	25
Figura 2.15 Rodillo de Presión .....	26
Figura 2.16 Peso específico del material de la cinta transportadora .....	31

Figura 2.17 Ancho máximo permitido para la cinta transportadora .....	32
Figura 2.18 Distancia mínima entre centros para rodillos.....	34
Figura 2.19 Distancia máxima entre centros para rodillos .....	34
Figura 2.20 Esquema de funcionamiento eje rodillo motriz (Medidas en mm) .....	35
Figura 2.21 Recorridos de láminas superior e inferior .....	36
Figura 2.22 Arquitectura de control del sistema .....	37
Figura 2.23 Familia motores marca SIEMENS.....	38
Figura 2.24 Diagrama de flujo para diseño eléctrico .....	40
Figura 3.1 Diseño 3D de la Laminadora de papel corrugado .....	41
Figura 3.2 Estructura de la banda .....	42
Figura 3.3 Estructura de la banda Vista Lateral.....	43
Figura 3.4 Dimensiones de los engranajes.....	44
Figura 3.5 Parámetros para el diseño de los engranajes .....	44
Figura 3.6 Resultados de análisis de los engranajes .....	45
Figura 3.7 Fuerzas y momentos en el rodillo motriz .....	46
Figura 3.8 Desplazamiento lineal producido por las cargas .....	46
Figura 3.9 Análisis de Tensión de Von Mises.....	47
Figura 3.10 Deformación equivalente del Eje motriz .....	47
Figura 3.11 Factor de seguridad.....	48
Figura 3.12 Colocación del Encoder.....	49
Figura 3.13 Esquema de control y comunicación del proceso.....	50
Figura 3.14 Trayectorias de láminas y esquema de funcionamiento.....	51
Figura 3.15 Sistemas descentralizados y centralizados .....	52
Figura 3.16 Dispositivos conectados .....	52
Figura 3.17 Imágenes creadas para HMI .....	55
Figura 3.18 Imagen raíz .....	56
Figura 3.19 Imagen de Inicio .....	56
Figura 3.20 Imagen de cinta transportadora.....	57
Figura 3.21 Sensor UDC-18GM .....	58
Figura 3.22 Entradas y salidas del sensor UDC-18GM .....	58
Figura 3.23 Distancias recomendadas para el sensor .....	59
Figura 3.24 Simulación – Encendido del sistema .....	60
Figura 3.25 Simulación – Modo manual .....	61
Figura 3.26 Simulación – Modo automático .....	61

Figura 3.27 Simulación – Compensación automática en adelante .....	62
Figura 3.28 Comparación de precios de cintas transportadoras .....	64
Figura 3.29 Precio de laminadoras modernas vs diseño propuesto .....	66

# ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Tabla Tamaño de ondas .....	7
Tabla 1.2 Parámetros .....	10
Tabla 2.1 Criterios de selección .....	16
Tabla 2.2 Matriz de decisión de alternativas de solución .....	16
Tabla 2.3 Requerimiento del sistema .....	18
Tabla 2.4 Componentes principales de cintas transportadoras .....	19
Tabla 2.5 Parámetros de elementos para cálculo de potencia requerida .....	30
Tabla 3.1 Parámetros de los engranajes .....	44
Tabla 3.2 Cotización de rubros .....	63
Tabla 3.3 Comparativo de bandas transportadoras similares.....	64
Tabla 3.4 Recuperación de capital .....	65
Tabla 3.5 Comparativos con máquinas laminadoras modernas .....	65

# CAPÍTULO 1

## 1. INTRODUCCIÓN

Debido al continuo desarrollo de las industrias y al aumento del consumo, el cartón corrugado es uno de los materiales más usados en el mundo para diferentes tipos de envases y embalajes, gracias a las ventajas que proporciona como el bajo precio y peso en comparación con otros materiales como la madera.

Es por eso que hoy en día las empresas cartoneras requieren de maquinaria de nueva generación para poder satisfacer a la demanda del mercado, que con el pasar de los años exigen en mayor cantidad y calidad. Además, la industria de cartón suele ser muy competitiva, por lo que requiere de un mayor control en la manufactura del producto para mantener a los clientes satisfechos. Por lo que, sostener una línea de producción eficiente suele ser un reto para las empresas.

Para resolver este tipo de desafíos que se presentan comúnmente en máquinas que ya tienen muchos años operando, se recurre a diseños innovadores que permitan la sostenibilidad y rentabilidad del equipo.

El presente proyecto propone el rediseño de una laminadora de papel corrugado, aplicando sistemas mecánicos, eléctricos y electrónicos modernos con la finalidad de elaborar una propuesta para reducir el desperdicio de material por la variación de registro y ofrecer una alternativa capaz de satisfacer las necesidades del usuario, así como también mejorar la calidad y los tiempos de entrega a sus clientes.

### 1.1 Descripción del problema

En esta sección del capítulo se detalla el problema desglosado en tres partes: se presenta un contexto inicial del problema, las características, requerimientos y la explicación general del problema.

### 1.1.1 Contexto del problema

La máquina laminadora en la cual está enfocado este proyecto aporta significativamente en la producción de láminas para cajas de cartón industrial, bananero, pesquero, floricultor, entre otros productos que una empresa cartonera multinacional tiene para ofrecer, ya sea a nivel local o de exportación de todos sus productos.

Su principal función es de realizar el proceso de laminado o contra encolado hoja a hoja de láminas de cartón corrugado y láminas de papel corrugado con diseños característicos del cliente.

Las láminas, tanto superior como inferior, salen de sus estaciones, como se muestra en la Figura 1.1, y luego se encuentran en una zona de encolado y pegado donde se realiza el proceso de laminación a través de accionamientos netamente mecánicos.

### 1.1.2 Características del problema

Entre las condiciones principales que el problema presenta podemos mostrar los siguientes:

- Esta máquina laminadora, modelo FM 1300, fue fabricada en el 2004 y cuenta con transmisiones netamente mecánicas para la sincronización en el desplazamiento de las láminas superiores e inferiores.



Figura 1.1 Laminadora FM 1300

- El sistema alimentador de lámina superior, sistema accionado por aire en succión como ventosas, presenta ineficacia al momento de colocar lámina a lámina en el puente de desplazamiento, en ciertos casos recoge más de una lámina, en otros casos ninguna.



**Figura 1.2 Sistema de alimentación por ventosas**

- Variación notable del registro de laminación. Esta máquina presenta un error de registro de +/- 4mm; inclusive en ciertos casos se llega a tener una variación de hasta 10 mm, lo cual daña toda la línea de producto terminado del día.



**Figura 1.3 Desperdicio de láminas de papel**

- Tiene una velocidad máxima de 38 láminas por minuto (2280 láminas por hora), lo cual también deriva en un atraso de entrega de producto terminado; adicionalmente, al aumentar la velocidad en la máquina esto trae consigo una variación de registro mayor y mal funcionamiento en los sistemas alimentadores de láminas.



**Figura 1.4 Producto Terminado con variación de registro**

- De este porcentaje de producción de máquina, un 30% de promedio, es desperdicio provocado por la variación en el registro.
- Frente a todos estos inconvenientes se requiere de hasta cuatro personas en la misma máquina, un operador que activa el equipo y lo ajusta lo mejor posible, y tres ayudantes que se encuentran en los alimentadores superior e inferior y a la salida del secado apilando las láminas buenas y separando el desperdicio generado por la variación recurrente.

### **1.1.3 Explicación del problema**

El problema que sufre esta máquina es principalmente el desperdicio provocado por la gran variación de registro. Esta variación se debe a distintos factores como: el correcto traslado de las láminas superiores, la velocidad relativamente baja, la sincronización de llegada de las láminas superior e inferior a la estación de goma y pegado, el correcto estado de la transmisión mecánica de las láminas a través de cadenas en los puentes de transporte.

Nuestro problema consiste en realizar un rediseño de esta máquina, con antigüedad de 18 años, que sea capaz de satisfacer los requerimientos de producción, y reducir la cantidad de desperdicio y a su vez mejorar la productividad de la máquina, por medio de realizar un análisis de los diferentes puntos de mejora.

## **1.2 Justificación del problema**

Los clientes esperan que sus productos o servicios se entreguen en el menor tiempo posible y en excelentes condiciones; por esta razón se realiza esta propuesta de diseño en procura de mejorar la productividad, eficiencia y confiabilidad de la máquina, para que ofrezca un producto de mejor calidad y reduciendo las pérdidas por el exceso de desperdicio, además de hacer a la máquina y a la empresa más competitiva en el mercado local a través de la producción de esta división de empaques y aditamentos de esta industria.

Este diseño mecatrónico analiza las mejores alternativas de mejora dentro de cada estación de la máquina, realizando la integración de componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos; además de un sistema de control del equipo controlado por un PLC el cual nos permite realizar una mejor sincronización en el proceso de laminación involucrando todos los componentes del proceso.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo General**

Diseñar un sistema automático de sincronización de láminas de papel para una máquina laminadora de una empresa cartonera mediante un control moderno de sus estaciones.

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- Elaborar un correcto dimensionamiento de los componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos que permita una integración avanzada de dichos sistemas.
- Diseñar una interfaz que permita al usuario monitorear todo el proceso y sus estaciones a través de un modelo centralizado.
- Realizar un diagnóstico actual para compararlos con los resultados obtenidos y evaluar la factibilidad del proyecto.

## **1.4 Marco teórico**

En esta sección se detalla el soporte teórico utilizado en este proyecto, se realiza una breve explicación de lo concerniente al proceso, su materia prima, el tipo de papel utilizado, se muestra a detalle cada una de las secciones de la laminadora de papel corrugado y su importancia dentro del proceso, por otra parte, se presenta algunos trabajos de investigación realizados con este proyecto.

### **1.4.1 Cartón corrugado**

La materia prima usada en la máquina de laminación es el papel cartón por lo que es de importancia que el diseñador conozca sobre ello, especialmente porque existe una amplia gama de pesos y tamaños, entonces se debe escoger el papel adecuado para el tipo de proceso a realizar.

El cartón ondulado es muy usado debido a su resistencia, durabilidad y sostenibilidad, las principales diferencias entre los tipos de papel cartón se enfoca en dos factores, uno de ellos es el grosor y el otro la calidad del papel que conforma el cartón [1].

### **1.4.2 Tipos de cartón corrugado**

#### ***Por su calidad***

Para este caso se considera el material del cual está fabricado el papel, este puede ser de una fibra virgen o reciclada, y también dependerá del gramaje el cual se lo define como “la masa de un determinado papel por metro cuadrado, y pueden oscilar entre los 95 y 400 g/m<sup>2</sup>” [2].

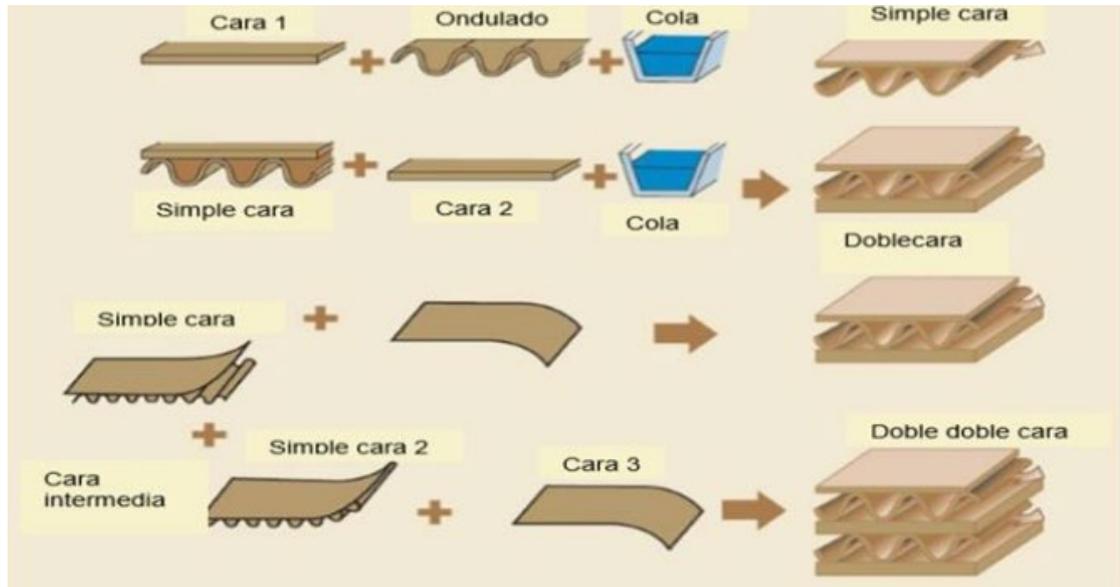
#### ***Por su Grosor***

El grosor del cartón corrugado se define por la combinación de láminas lisas (liner) y onduladas (medium) como se observa en la Figura 1.5, es decir, que el cartón puede estar conformado por varias láminas lisas, y láminas onduladas, teniendo la siguiente clasificación:

- Cartón Simple cara: está formado por una hoja lisa y una lámina ondulada, el cual es ideal para usarlo de amortiguación o de refuerzo.

- Cartón Doble cara: se forma con dos caras lisas y una ondulada, y suele ser la más usada para productos domésticos.
- Cartón Doble - doble cara: es la unión de cinco láminas, dos onduladas y tres lisas, estos se usan para productos que requieran un empaque más resistente.

También se puede llegar a tener un cartón de tres canales ondulados, esto dependerá de la necesidad del cliente, ya que, a mayores capas o grosor, el cartón será más resistente.



**Figura 1.5 formación de las caras de cartón [3]**

El grosor del cartón corrugado también dependerá de la altura de la onda, y existen varios tipos de ondas como se observa en la Tabla 1.1; y dependiendo de su altura, el cartón tendrá una baja o mayor amortiguación [4].

**Tabla 1.1 Tabla Tamaño de ondas [5]**

Calidad	Tipo de canal	Grosor Aproximado	Gramaje
1 onda (micro plus)	E	1.5 mm	360 – 370 g/m <sup>2</sup>
1 onda (3mm plus)	B	3 mm	405 g/m <sup>2</sup>
1 onda (5mm)	C	4.5 mm	370 g/m <sup>2</sup>
1 onda (5mm plus)	C	4.5 mm	445 – 495 g/m <sup>2</sup>
2 ondas	BC	6.5 mm	605 g/m <sup>2</sup>
2 ondas (plus)	BC	6.5 mm	800 – 818 g/m <sup>2</sup>

### 1.4.3 Laminación

La laminación es un proceso industrial en el que una hoja ondulada pasa por unos rodillos con un sistema de goma para impregnar con pegamento las crestas del cartón, para luego conectarla con una lámina lisa de forma sincronizada por medio de otro juego de rodillos que comprimen las dos hojas, obteniendo una lámina de cartón corrugado.

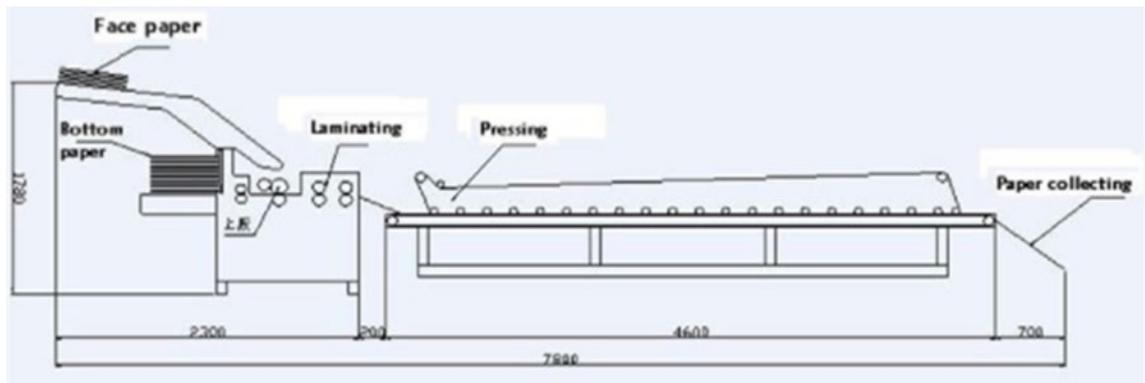


Figura 1.6 Proceso de laminado [6]

### 1.4.4 Máquina Laminadora

Las máquinas laminadoras de cartón como la que se observa en la Figura 1.7 y papel de alta velocidad, llegan a producir más de 10000 láminas por hora con una precisión  $\pm 1.5$  mm dependiendo del fabricante. Esto se logra gracias a la nueva tecnología que se le está incorporando a las máquinas, tales como un contralor PLC, actuadores y sensores modernos y la interfaz donde el operario puede visualizar datos importantes de proceso como detección de fallos, velocidad de operación entre otros datos que son de gran ayuda para mantener la laminadora en óptimas condiciones.

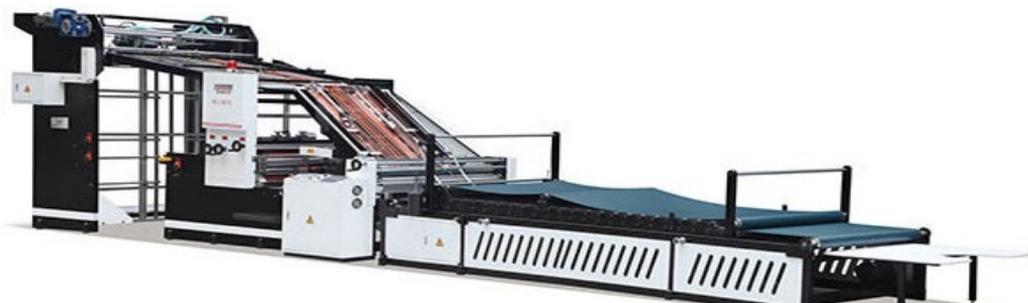


Figura 1.7 Máquina Laminadora [7]

## 1.4.5 Partes de una máquina Laminadora

### 1.4.5.1 Alimentador de hojas superior

El alimentador de hojas permite enviar hoja por hoja de forma automática a la siguiente parte del proceso, en el caso de la máquina contraencoladora, envía las hojas a la banda transportadora que conecta con los rodillos de laminación; estos alimentadores automáticos poseen juegos de ventosas que mediante un sistema neumático logra succionar las láminas como se observa en la Figura 1.8.



**Figura 1.8 Sistema de alimentación superior [8]**

Las ventosas de succión son hechas principalmente de caucho natural o sintético como se aprecia en la Figura 1.9. Son usadas para la transportación de productos donde la superficie es delicada y no requiere del contacto del hombre, como por ejemplo para el transporte de componentes electrónicos, cajas, superficies suaves, partes de autos, entre otros. La succión se genera gracias a una bomba de vacío, es decir se usa presión negativa la cual debe ser capaz de levantar las láminas y pasarlas a la siguiente parte del proceso.



**Figura 1.9 Ventosas [9]**

Existen alimentadoras automáticas de láminas de papel y cartón modernas como la que se muestra en la Figura 1.10. Es un modelo YB-1300C desarrolladas para las laminadoras semiautomática, es decir para aquellas que son alimentadas de papel de forma manual. Entonces con este tipo de alimentadora, se puede mejorar la producción de una empresa.



**Figura 1.10 Alimentador automático [10]**

Algunas de las características que posee la alimentadora modelo YB-1300C son:

**Tabla 1.2 Parámetros [10]**

Máximo de papel o cartón	1300 x 1250 mm
Mínimo de papel o cartón	400 x 400 mm
Grosor de papel o cartón superior	150g – 600g
Velocidad máxima	6000 papeles o cartones por hora
Potencia de la máquina	5KW/380V

#### **1.4.5.2 Alimentación de lámina inferior**

Parte de la máquina que se encarga de alimentar hoja a hoja o lámina a lámina el papel corrugado inferior. Este tipo de sistemas utiliza una alimentación por succión o cinta al vacío por medio de un motor bomba de aire (también conocido como blower), esta combinación permite una alta resistencia y fricción para el arrastre de las láminas hacia el puente inferior de arrastre o incluso directo hacia la sección de goma de la máquina asegurándonos una alimentación alineada del papel como se muestra en la Figura 1.11.



**Figura 1.11 Alimentador inferior por correas de fricción perforadas con succión [8]**

Este tipo de sistemas permite utilizar papel cartón de distintos gramajes, menores a 10 mm; así como distintos tamaños ajustables con las placas tope laterales como se muestra en la Figura 1.12.



**Figura 1.12 Sistema de placas cuadrador de láminas inferior [6]**

### **1.4.5.3 Sistema de Engomado**

En la estación de encolado o engomado nos encontramos una combinación de dos rodillos, el rodillo de acero o también conocido como anilox y el rodillo encolador que es el encargado de aplicar una capa de goma o pegamento específico sobre el papel corrugado inferior. También consta de un tercer rodillo que es el rodillo inferior también llamado rodillo de presión. Como observamos en la figura 1.13 este sistema consta de un canal de distribución de goma el cual permite colocar goma a todo el sistema de encolado desde el tanque de preparación del adhesivo hasta los rodillos por medio de circuitos tradicionales de bombeo como bombas eléctricas o en algunos casos bombas neumáticas.



**Figura 1.13 Rodillo aplicador y dosificador**

#### **1.4.5.4 Unidad de pegado**

La unidad de pegado es el sistema más importante dentro del proceso, en esta sección de la máquina se unen la lámina superior liner fina, también llamada cuché, junto con la lámina inferior de papel corrugado que contiene la goma adherida. La calidad en el registro de laminado depende principalmente de esta sección, ya que una mala sincronización de llegada de ambas láminas provoca un desfase en el pegado de estas.

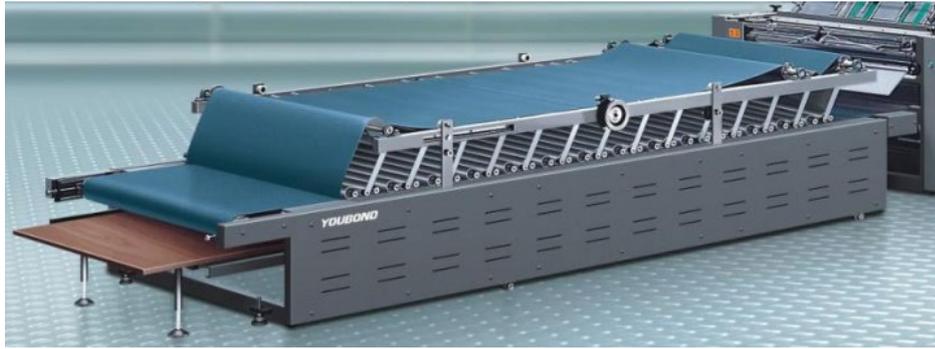
Estas unidades de pegado difieren según el fabricante del equipo, sin embargo, el principio de funcionamiento es el mismo. Las láminas superior e inferior se deben encontrar en esta sección y por medio de presión se unen y pasan a la siguiente estación de secado como se muestra en la figura 1.14.



**Figura 1.14 Sección de laminado [11]**

#### **1.4.5.5 Sistema de secado (Pressing)**

Esta es la última sección de la máquina, su principal función es presionar dichas láminas que salen de la unidad de pegado y de esta manera asegurarnos que la unión de las dos láminas es el correcto. Este sistema también se lo denomina estación de prensado. Este tipo de sistemas, por lo general, utiliza un sistema de rodillos por presión y el conjunto de dos bandas (figura 1.15) para transportación y compactación de las láminas.



**Figura 1.15 Estación de prensado [12]**

#### **1.4.6 Estado del Arte**

En esta parte se detallan trabajos realizados sobre la máquina laminadora de papel y cartón así como las mejoras realizadas. En el trabajo de titulación de Cruz y Silva denominado “Rediseño de máquina colaminadora para la fabricación de papel corrugado” lo que se buscó fue la optimización de recursos humanos, así como también el aumento del proceso productivo y calidad del producto, para permitir la reducción de costos, sostenibilidad de la máquina y también fomentar la competitividad en el mercado. Todo esto se logró mediante un rediseño innovador de la maquinaria [13].

Por otro lado, en una investigación sobre la mejora del diseño de la máquina laminadora basada en Lean Six Sigma realizada por Zhang y Chen, se analizó los procesos de producción y las pérdidas en la sección de cartón grande; se determinó que el problema era la falta de compensación en el proceso, por lo que afectaba la calidad de los productos y los tiempos de entrega; entonces se propuso un método con inteligencia artificial para el posicionamiento automático de las láminas de cartón [14].

Teniendo en cuenta el material investigado, se puede concluir que los métodos para resolver el problema de desperdicio o falta de calidad en el producto son mediante rediseños de maquinarias, adaptaciones realizadas usando tecnología de nueva generación y técnicas de automatización orientadas en diseños mecatrónicos modernos.

# CAPÍTULO 2

## 2. METODOLOGÍA

En este capítulo se evidencia cada uno de los pasos empleados para cumplir con el objetivo de este proyecto, se empieza con la selección de la mejor alternativa considerando algunos criterios para dar solución al problema. Luego se identificaron los requerimientos del sistema para continuar con el proceso de selección de los componentes mecánicos, eléctricos y de control.

### 2.1 Selección de alternativas de solución

Se propusieron cuatro alternativas de solución para el sistema de sincronización automática de la laminadora, las cuales se describe a continuación:

- **Alternativa 1:**

Sistema de control y monitoreo con PLC aplicando método de sincronización mecánico con servomotores, alimentación lámina superior con ventosas al final de la lámina, sistema de transporte de láminas por cadenas y topes de arrastre.

- **Alternativa 2:**

Sistema de control y monitoreo con PLC aplicando método de sincronización automático con servomotor sistema de transporte por bandas, compensación de velocidades de lámina.

- **Alternativa 3:**

Sistema de control y monitoreo con Raspberry PI, alimentación de hojas superiores mediante bandas por vacío, e independizar las bandas de transportadoras de hojas inferiores y superiores para crear un sistema de sincronización antes del laminado.

- **Alternativa 4:**

Sistema de control y monitoreo con PLC, alimentación de hojas superiores mediante bandas por vacío, y reemplazar la transmisión por cadenas a una transmisión por bandas.

Para elegir la mejor alternativa de solución se analizó cada una de ellas tomando en cuenta los criterios mostrados en la Tabla 2.1, en la cual se puede observar que cada criterio tiene un peso y rango de importancia para la solución. A continuación, se explica cada uno de los criterios.

- **Costo:** Valor total de los costos de la implementación, componentes de cada estación propuestos en la solución.
- **Mantenimiento:** Facilidades de mantenimiento preventivo, correctivo bajo frecuencias de inspección para que el sistema se encuentre en buen estado.
- **Seguridad:** Cualidades del sistema relacionadas con la seguridad de operación de la máquina, en pros que no perjudiquen ni al operador/es ni a la máquina.
- **Monitoreo:** Monitoreo constante de la máquina, registro de sus variables dentro de todo el sistema, velocidades, temperaturas y productividad. Facilidad de uso que presenta el sistema, los equipos y la interfaz al usuario.
- **Ruido y vibraciones:** Presencia de ruido en el sistema por motivo de los componentes rotativos, juntas y transmisiones. Se busca que el sistema tenga el menor ruido y vibraciones posibles.
- **Escalabilidad:** Correcto dimensionamiento y capacidad de que el sistema se adapte a las necesidades que demande el operador a nivel de productividad sin afectar su funcionamiento.
- **Control:** Capacidad de la solución para comandar a los actuadores a realizar una acción específica y poder ajustar la máquina según las necesidades que este requiera.

**Tabla 2.1 Criterios de selección**

<b>CRITERIOS DE SELECCIÓN</b>			
<b>Peso</b>	<b>Criterio</b>	<b>Rango de Importancia</b>	<b>% de Decisión</b>
3	Monitoreo	1	18.750
2.5	Escalabilidad	2	15.625
2.5	Seguridad	3	15.625
2.5	Control	4	15.625
2	Ruido y vibraciones	5	12.500
2	Costo	6	12.500
1.5	Mantenimiento	7	9.375
<b>16</b>	<b>TOTAL</b>		<b>100</b>

Una vez se realizó una evaluación de las alternativas (Tabla 2.2), se obtuvo como prioridad la alternativa 2, siendo la óptima para dar solución al problema, ya que cumplirá con los requerimientos del sistema.

**Tabla 2.2 Matriz de decisión de alternativas de solución**

<b>Pesos</b>	<b>CRITERIO</b>							<b>RESULTADOS</b>		
	3	2.5	2.5	2.5	2	2	1.5	<b>Puntaje sin peso</b>	<b>Puntaje con peso</b>	<b>Prioridad</b>
<b>Opciones</b>	<b>Monitoreo</b>	<b>Escalabilidad</b>	<b>Seguridad</b>	<b>Control</b>	<b>Ruido y vibraciones</b>	<b>Costo</b>	<b>Mantenimiento</b>			
<b>Alternativa 1</b>	1	1	1	1	1	2.5	3	10.5	22	4
<b>Alternativa 2</b>	3	2	3	3	3	3	1	18	42.5	1
<b>Alternativa 3</b>	2	2	3	2	2	2	3	16	36	2
<b>Alternativa 4</b>	2.5	3	2	2.5	2	1	2	15	35.25	3

## 2.2 Proceso de diseño

Las etapas, técnicas y procedimientos necesarios para lograr el diseño final del sistema de sincronización automática se observan en la Figura 2.1, donde se puede evidenciar los pasos que se realizaron en cada área de trabajo.

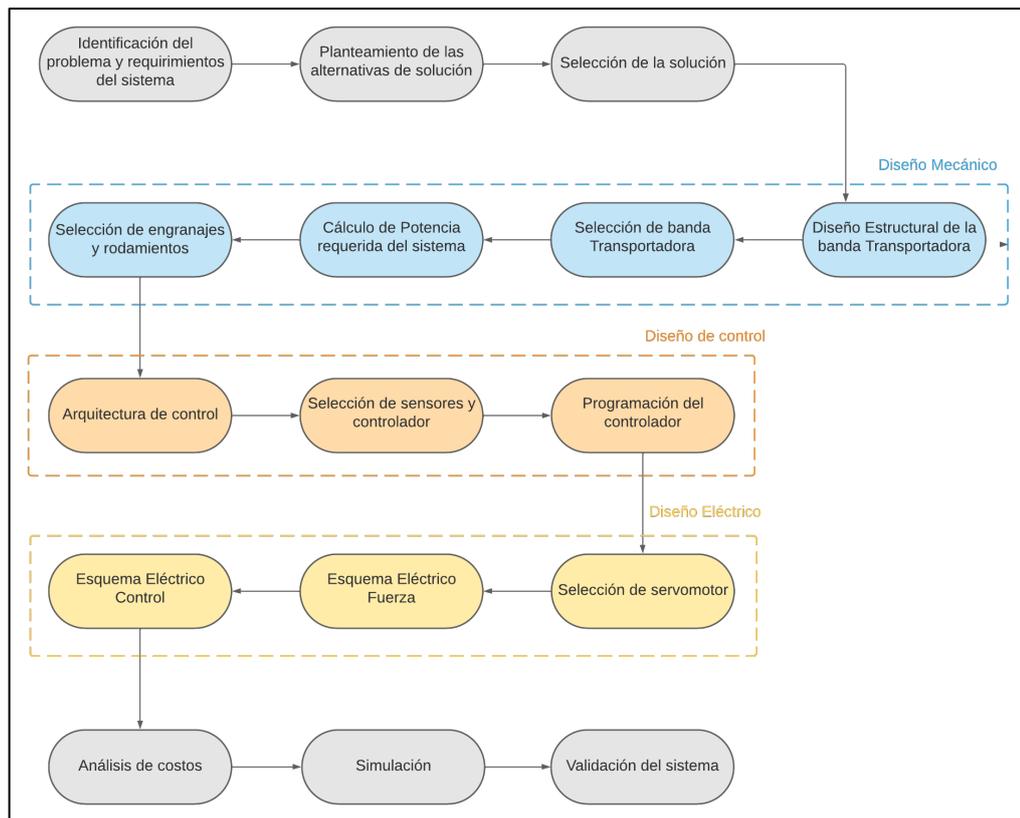


Figura 2.1 Proceso de diseño

## 2.3 Requerimientos de diseño

Para poder realizar el diseño de la solución del problema se tomó medidas de la estructura de la máquina Laminadora FM 1300 (Figura 2.2), las cuales sirvieron para el dimensionamiento de la solución del problema.



**Figura 2.2 Mediciones de la estructura de la máquina**

También se realizó la medición del rodillo de arrastre en la salida del puente superior con la cinta Pi (Figura 2.3), la cual nos proporciona directamente el diámetro, uno de los requerimientos fue reutilizar este rodillo para nuestro sistema de solución.



**Figura 2.3 Medición de rodillos con la cinta Pi**

Otros requerimientos para el diseño dados por el cliente fueron los que se muestran en la Tabla 2.3.

**Tabla 2.3 Requerimiento del sistema**

<b>Velocidad</b>	50 a 150 m/min
<b>Autonomía</b>	La máquina debe ser capaz de operar máximo con dos operadores
<b>Eficacia</b>	Reducir las pérdidas de material (Actualmente se desperdicia un 30%)

## 2.4 Diseño mecánico

En esta sección se realiza el dimensionamiento y diseño mecánico del proyecto. Se realiza la selección de los componentes mecánicos que conforman una cinta transportadora utilizando recomendaciones de fabricantes como Habasit, la banda de transporte, la potencia requerida del sistema, el diseño de engranajes para transmitir potencia a los rodillos de arrastre y la selección de rodamientos de dichos rodillos.

### 2.4.1 Cinta Transportadora

#### 2.4.1.1 Componentes de cinta transportadora

Una cinta transportadora convencional se conforma principalmente de un tambor o rodillo motriz, uno de cola, un dispositivo tensado, una cinta o banda transportadora y la estructura soporte, dependiendo el tipo de accionamiento se le añaden distintos componentes, como se muestra en la Figura 2.4 junto con sus descripciones en la Tabla 2.4, en la cual se observa una cinta transportadora con accionamiento de cabeza (izquierda) y otra con accionamiento central (derecha).

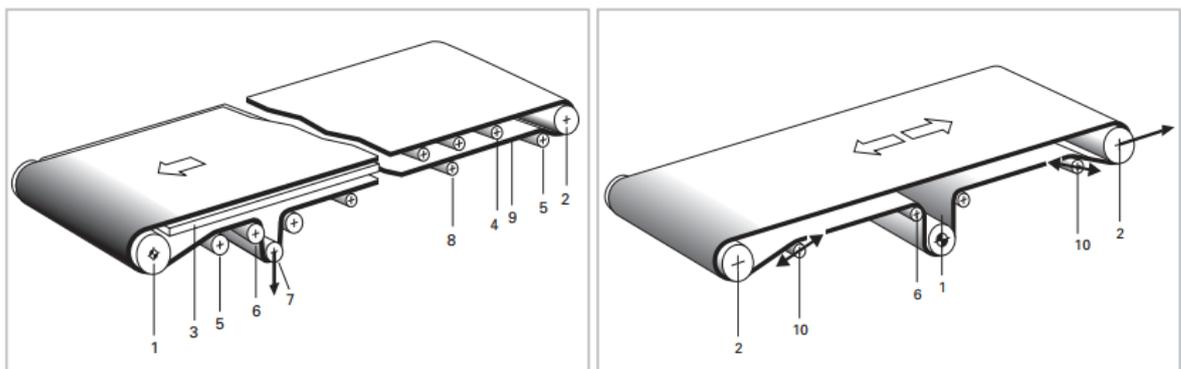


Figura 2.4 Componentes de una cinta transportadora [15]

Tabla 2.4 Componentes principales de cintas transportadoras

1	Rodillo o tambor motriz	6	Rodillo deflector
2	Rodillo de cabeza o cola (dependiendo del sentido de marcha de la cinta)	7	Rodillo tensor (reglaje)
3	Base de deslizamiento	8	Rodillo portante (por el lado de retorno)
4	Rodillo portante	9	Cinta transportadora
5	Rodillo de presión	10	Rodillo guía

### 2.4.1.2 Estructura y base de deslizamiento

La estructura de la cinta debe ser rígida, no debe existir ningún tipo de vibración o alteraciones en el proceso, no debe deformarse ni curvarse debido a las fuerzas sometidas presentes en el sistema, como la tensión de la banda, el peso de la mercancía a trasladar o las superficies irregulares en el sistema; si la estructura no se mantiene rígida durante todo su proceso puede afectar significativamente al guiado y traslado de la cinta transportadora.

Para esta aplicación (traslado de papel de impresión) y en procura de utilizar componentes ya existentes en la máquina para disminuir los costos se utilizan:

- Perfiles de chapas metálicas de 10 mm de espesor para sostener todos los componentes fijos de la cinta transportadora, sujetos con pernos M10.
- Para la base de deslizamiento de la cinta, y debido a que la carga a transportar es ligera (150g – 600g) es conveniente láminas del mismo material para que la banda pueda descansar durante todo su recorrido.
- La fricción entre la base de deslizamiento y la banda transportadora dependen significativamente por el tipo de material y el acabado superficial de la base de deslizamiento, aunque también se ve afectada por diversos factores como el polvo, la suciedad y la humedad presente en el entorno.
- Se debe considerar que, para los perfiles de deslizamiento, las puntas deben ser redondeadas y estar más bajo que la superficie del rodillo motriz, conducido o guía dependiendo el sistema ( $\Delta h = \text{aprox. } 2\text{mm}/0.08''$ ) tal como se muestra en la Figura 2.5.

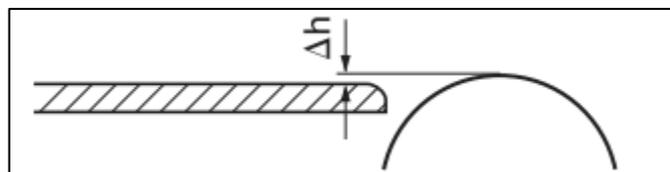


Figura 2.5 Puntas redondeadas y altura de base de deslizamiento [15]

### 2.4.1.3 Montaje de tambores y rodillos

El montaje de rodillos guías, motrices y de tensión en una cinta transportadora se lo puede hacer de distintas maneras; como se observa en la Figura 2.6. Existen montajes de rodillos con rodamientos ajustables (Figura 2.6.a) recomendados para los tabores de cabeza, cola, rodillos tensores y deflexión, por otro lado, existen los montajes de rodillos con agujeros ranurados (Figura 2.6.b) los cuales son utilizados para rodillos sometidos a cargas menos elevadas, como es el caso de los rodillos guía. Y, por último, en la Figura 2.6.c se observa un montaje de rodillo con rodamientos y que a su vez puede ser utilizado para tensionar la banda debido a su desplazamiento longitudinal.

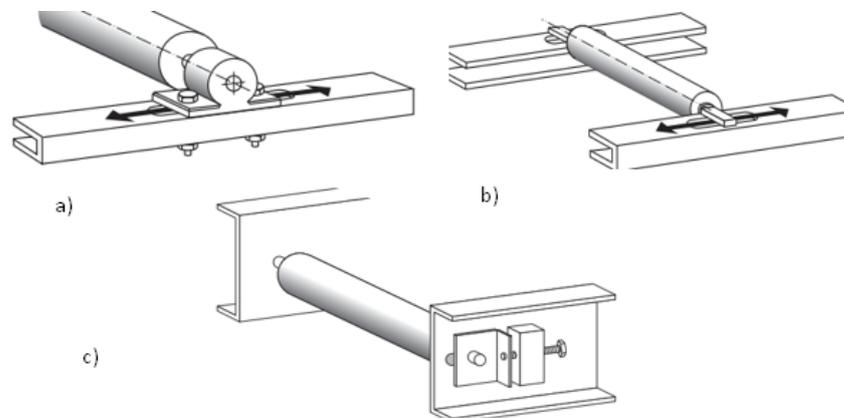


Figura 2.6 Tipos de montajes para rodillos de cintas [15]

Como estrategia de solución escogemos una combinación de estos sistemas; para los rodillos tensores y guías utilizamos los montajes con rodamientos ajustables, mientras que para el rodillo de cola se utiliza un montaje como el observado en la figura .c la cual nos permite utilizarlo para la tensión de la banda al desplazarse en paralelo al eje de la cinta como se muestra en la Figura 2.7.

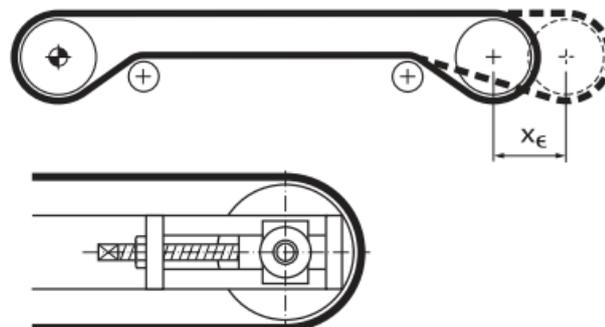


Figura 2.7 Desplazamiento regulable rodillo tensor cinta [15]

Para la carrera de reglaje  $X_E$ , en cintas transportadoras fabricadas con poliéster o poliuretano, se debe considerar al menos un 1.5% de la longitud de la cinta, mientras que para los elementos de tracción de poliamida se debe incluir como mínimo un 2.5% de la longitud de la cinta en el reglaje [15].

Como estas condiciones son las mínimas recomendadas, para este diseño se utiliza un valor de carrera de reglaje de 3% de la longitud total de la cinta.

#### 2.4.1.4 Transporte inclinado descendente

En la Figura 2.8, se muestra la dimensión forma y recorrido de la cinta transportadora. Debido a que el material a transportar no es considerablemente pesado (papel de impresión 150g – 600g) y la distancia entre rodillos es de 1940 mm con un ángulo de inclinación de  $14.04^\circ$  (Figura 2.9), se elige el sistema de accionamiento de cabeza y un rodillo de cola para tensión de bandas, así como rodillos tensores para el guiado correcto de la banda.

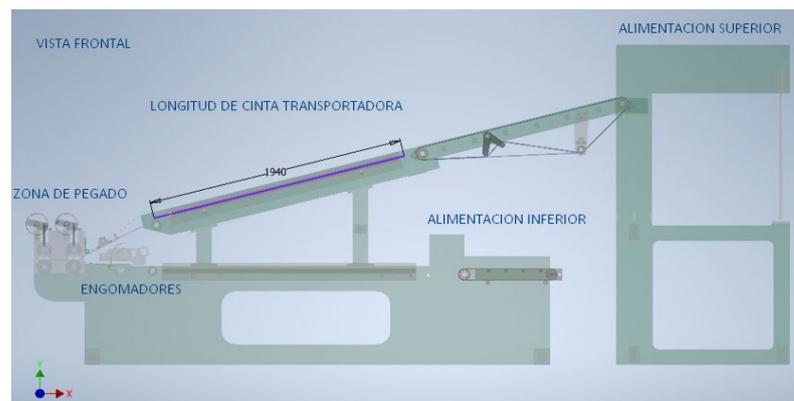


Figura 2.8 Vista frontal Laminadora

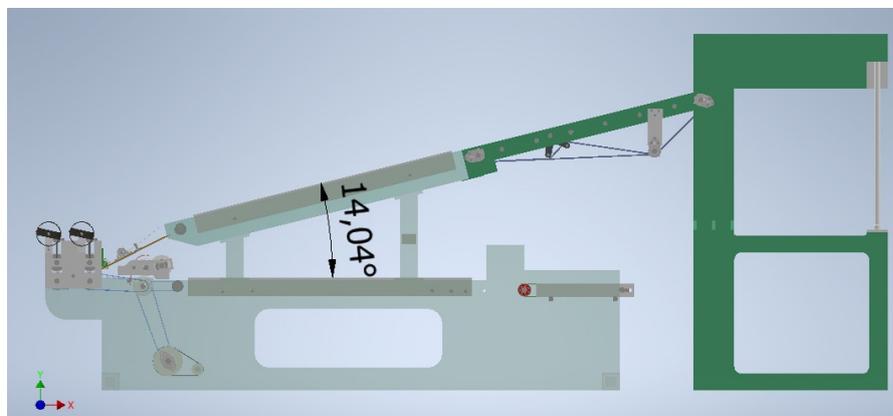
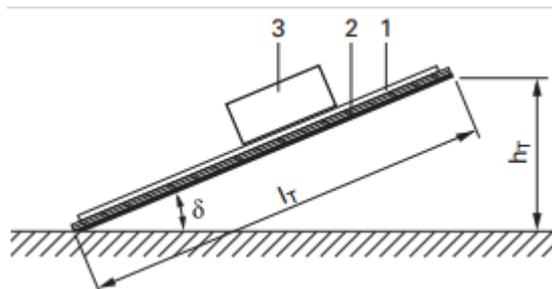


Figura 2.9 Angulo de inclinación

Para este tipo de sistemas se debe considerar cual es la máxima inclinación permitida en el sistema con la que la cinta pueda transportar los materiales sin que se resbalen o se vuelquen, esto depende de distintos factores como el peso del material, acabado superficial, posición del centro de gravedad, condiciones de funcionamiento como la velocidad, vibraciones u otras influencias externas como la temperatura y la humedad.

En la Figura 2.10 se representa el esquema en mención, un transporte inclinado (1) de un material (3) con un ángulo de inclinación  $\delta$ . Las cintas con superficies suaves y adhesivas se pueden utilizar para inclinaciones de hasta  $\delta \leq 20^\circ$ . Las cintas con un lado de transporte estructurado pueden utilizar inclinaciones de hasta  $\delta \equiv 40^\circ$ . Para valores fuera de dichos rangos se deberían utilizar perfiles transversales para evitar este efecto de deslizamiento exagerado.



**Figura 2.10 Esquema cinta transportadora con inclinación descendente [15]**

En nuestra solución el ángulo de inclinación lo proporciona el dimensionamiento de toda la máquina y el recorrido de las láminas. De esto podemos realizar las siguientes afirmaciones:

- El ángulo de inclinación que lleva nuestro esquema es de  $14.04^\circ$ , por lo tanto, cumple con la restricción de hasta  $\delta \leq 20^\circ$ .
- El material a transportar es papel de impresión o papel corrugado, estos llevan una forma definida (rectangular) por lo que su centro de gravedad se encuentra equilibrado dentro del mismo material.
- El sistema al ser una solución de posicionamiento con precisión no debe presentar vibraciones.
- En base a estas consideraciones mencionadas podemos concluir que es un ángulo de inclinación óptimo para la implementación del diseño, así como no es necesario utilizar perfiles transversales para evitar el deslizamiento excesivo de los materiales dentro de la cinta.

### 2.4.1.5 Guiado de banda

Los rodillos de presión en las cintas transportadoras nos ofrecen múltiples beneficios como:

- Aumento del arco de contacto para el rodillo motriz, lo cual mejora la transmisión de potencia.
- Reducir la distancia del lado portando y el de retorno, lo cual permite un mejor manejo de espacio en la instalación de la cinta.
- Mejorar el ajuste de guiado de la banda; se colocan los rodillos de presión ajustables para evitar que la cinta se desplace hacia uno de los lados de los rodillos, estos también se los conoce como rodillos guía ya que evitan que el desgaste rápido de la cinta y evita paros repentinos de máquina producto de estas desalineaciones.

Se deben considerar dos puntos importantes para la colocación efectiva de estos rodillos, los cuales se muestran en la Figura 2.11. La distancia  $a$  (Figura 2.11.X), representa la distancia entre centros entre el rodillo de presión y el rodillo motriz o conducido, y esta debe ser por lo menos, dos veces el diámetro del tambor [15].

Por otro lado, para un buen guiado de la cinta transportadora, se debe considerar un arco de contacto del rodillo de presión como mínimo de  $30^\circ$  como se muestra en la Figura 2.11.Y.

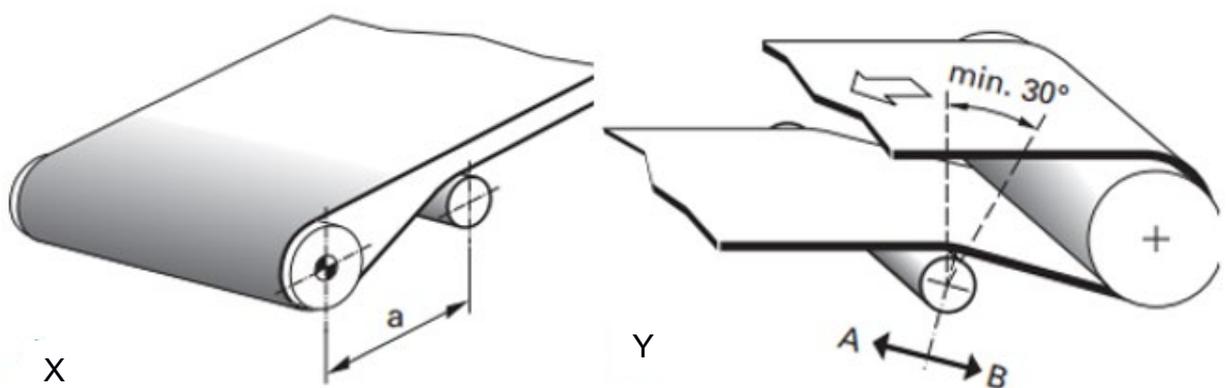


Figura 2.11 Guiado de banda con rodillos de presión [15]

#### 2.4.1.6 Sistema de rodillos

En base a las consideraciones del diseño de la cinta transportadora se realizaron los rodillos que intervienen en el proceso, en la Figura 2.12 se observa el rodillo motriz de la cinta transportadora capaz de accionar la banda y a su vez transmitirle movimiento al rodillo de arrastre.

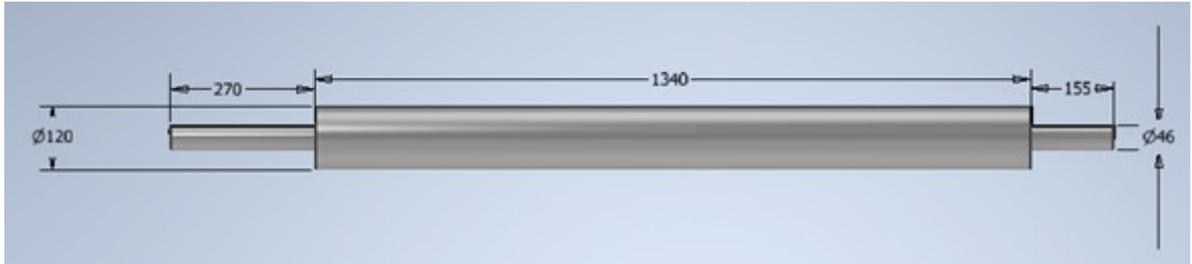


Figura 2.12 Rodillo Motriz

En la Figura 2.13 se observa el rodillo tensor de la cinta transportadora el cual es regulable y permite la inserción y tensión de la banda para su funcionamiento.

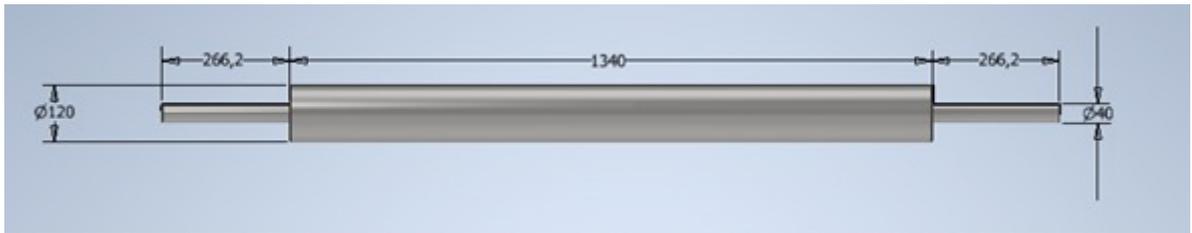


Figura 2.13 Rodillo Tensor

En la Figura 2.14 se muestra el rodillo de arrastre de láminas superiores el cual es capaz de guiar las hojas impresas desde el puente transportador hacia la zona de pegado de láminas.

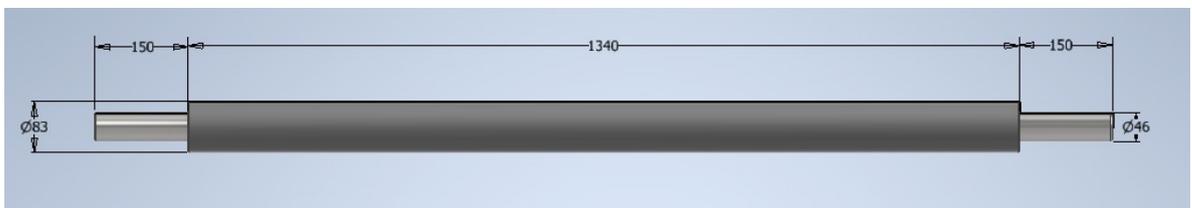
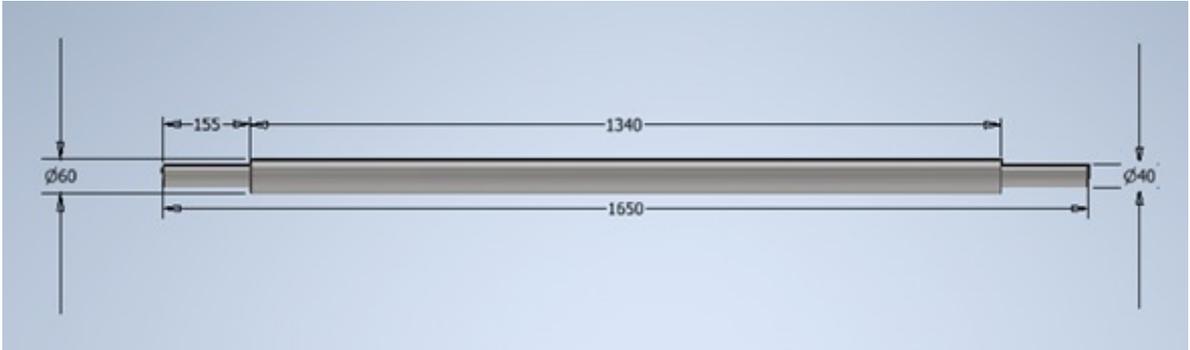


Figura 2.14 Rodillo de arrastre

Y por último se muestra en la Figura 2.15 el rodillo de presión de la cinta el cual permite ajustar la banda y guiarla para evitar desplazamientos hacia alguno de los lados del rodillo motriz y asegurar su correcto funcionamiento.



**Figura 2.15 Rodillo de Presión**

## **2.4.2 Selección de banda transportadora**

Para la selección de la banda se toman en consideración diferentes factores como: tipo de material a transportar, peso de material a transportar, condiciones de trabajo. Adicional se utiliza el catálogo de bandas comerciales de la marca holandesa Ammeraal Beltech [16] la cual tiene un representante de ventas en Ecuador.

### **2.4.2.1 Según el tipo de material**

Al ser un objeto definido geoméricamente (papel), es decir, no presenta geometrías irregulares u objetos amorfos nos puede servir cualquier tipo de banda la cual permita el desplazamiento inclinado descendente. Por lo tanto, para este tipo es funcional utilizar bandas sintéticas, modulares, planas u homogéneas. Sin embargo, al ser un material muy endeble ante cualquier objeto de rozamiento, el mínimo atascamiento o mal recorrido puede complicar su trayectoria, caso que resulta posible si utilizamos bandas modulares las cuales son accionadas por piñones y llevan aperturas entre sus uniones.

#### **2.4.2.2 Según el peso del material**

Con respecto al peso a transportar nos permite determinar la resistencia mínima que debe tener nuestra banda, para esto debemos calcular la fuerza de tracción máxima de la banda, utilizamos el manual de fabricantes para el cálculo de bandas transportadoras de Forbo Siegling total belting solutions [17].

#### **2.4.2.3 Según las condiciones de trabajo**

Como condiciones de trabajo consta el material a transportar (papel) que es un material muy endeble (frágil) por lo que ante cualquier perturbación tiende a doblarse o plegarse. Otra condición de trabajo es la de la propuesta de solución, la cual consiste en el control de posición y velocidad de traslado de dicho material, así que se debe seleccionar un material con buen agarre que nos permita precisar la posición de la lámina a través del traslado en la cinta.

En base a estas consideraciones nos optamos por seleccionar la familia de bandas planas de alto rendimiento, las cuales se caracterizan por ser bandas de procesamiento más que de únicamente transporte, además ofrecen alto agarre y pueden ser utilizados en aplicaciones de alimentación, corte, laminación, envase, perforaciones, etc.

Tras analizar las características de la familia de bandas planas de la marca Ammeraal Beltech se elige la banda UU N12 RFQ FG [16] la cual es utilizada en industrias de alimentación, logística, papel e impresión en aplicaciones como manipulación de correo, procesamiento de papel, impresión, acabado, transporte en general. La selección de esta banda se encuentra en el apéndice A junto con su ficha técnica.

#### **2.4.3 Potencia requerida del sistema**

De acuerdo con las necesidades del cliente, la laminadora de papel corrugado debe de mantener una velocidad de producción estable de 70 láminas/min como máximo y como velocidad mínima de 10 láminas/min para garantizar un laminado correcto entre la hoja de impresión y el papel corrugado o inferior. Adicional, otro de los requerimientos del cliente es su velocidad, esta debe de permanecer entre 50 y 150 m/min.

Para determinar la potencia requerida para todo el sistema calculamos la potencia del rodillo de arrastre y luego la potencia por la cinta transportadora.

Diámetro exterior del rodillo **arrastre** ( $d$ ): **83mm**

Por lo tanto, la velocidad angular a la que debe girar el rodillo de arrastre de lámina, con sus requerimientos de diseño en condiciones máximas viene dado por:

$$\omega = \frac{v}{r} \quad (2.1)$$

$$\omega = \frac{150 \text{ m/min}}{0.0415 \text{ m}} [\text{rad/min}]$$

$$\omega = 3614.4578 \frac{\text{rad}}{\text{min}}$$

$$\omega = 575.26 \text{ RPM} = \mathbf{575 \text{ RPM}}$$

Volumen de cilindro macizo

$$V = \frac{\pi}{4} * d^2 * L \quad (2.2)$$

$$V = \left( \frac{\pi}{4} * (0.083\text{m})^2 * 1.340\text{m} \right) + \left( \frac{\pi}{4} * (0.046\text{m})^2 * 0.3\text{m} \right)$$

$$V = 0.00775 \text{ m}^3$$

Masa del cilindro

$$m = V * \rho \quad (2.3)$$

$m = \text{masa} [\text{kg}]$

$V = \text{volumen} [\text{m}^3]$

$\rho = \text{densidad del material} \left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]; \text{ Para el acero } \rho = 7850 \text{ kg/m}^3$

$L = \text{Longitud del cilindro (rodillo)} [\text{m}]$

$$m = (0.00775 \text{ m}^3) * (7850 \text{ kg/m}^3)$$

$$m = 60.8375 \text{ kg}$$

Inercia de cilindro macizo

$$I = \frac{m x d^2}{8} [\text{kg} * \text{m}^2] \quad (2.4)$$

$$I = \frac{(60.8375) x (0.120)^2}{8} [\text{kg} * \text{m}^2]$$

$$I = 0.10951 [\text{kg} * \text{m}^2]$$

### Aceleración angular generada

El rodillo de arrastre móvil será acelerado desde el instante en el que se envía a funcionamiento los puentes (Figura 1.1), es decir, desde el reposo. Por esta razón debemos tomar en cuenta que para calcular la aceleración angular tenemos ( $\omega_o = 0$ ) hasta que alcance la velocidad angular calculada para este rodillo ( $\omega = 3614.4578 \frac{rad}{min}$ ).

Adicional, el tiempo estimado para que el rodillo alcance la velocidad angular final desde el reposo se la conoce como el tiempo de arranque y viene dado por el diseño y funcionamiento de la máquina según los requerimientos del cliente; se asigna un valor para el tiempo de arranque de 0.5 segundos. Por lo que la aceleración angular nos queda de la siguiente manera.

$$\omega = 3614.4578 \frac{rad}{min} = 60.241 \frac{rad}{s}$$
$$\omega = \omega_o + \alpha * t \quad (2.5)$$

$$\alpha = \frac{\omega}{t} = \frac{60.241 \frac{rad}{s}}{0.5 s} = 120.482 \frac{rad}{s^2}$$

### Torque generado por rodillo de arrastre

$$T = I * \alpha [Nm] \quad (2.6)$$
$$T = (0.10951 kg * m^2) * \left( 120.482 \frac{rad}{s^2} \right)$$
$$T = 13.194 Nm$$

**Tabla 2.5 Parámetros de elementos para cálculo de potencia requerida**

	<i>Diametro</i> (m)	<i>Longitud</i> (m)	<i>Inercia</i> (kg * m <sup>3</sup> )	<i>Volumen</i> (m <sup>3</sup> )	<i>Masa</i> (kg)
<b>Rodillo de arrastre superior</b>	0.083	1.640	0.109	0.0077	60.8375
<b>Rodillo motriz de cinta</b>	0.120	1.765	0.282	0.0200	156.6860
<b>Rodillo tensor de cinta</b>	0.120	1.8724	0.299	0.0212	166.2630
<b>Rodillo guiado de presión 1</b>	0.060	1.650	0.016	0.0047	36.5810
<b>Rodillo guiado de presión 2</b>	0.060	1.650	0.016	0.0047	36.5810
<b>Cinta Transportadora</b>	1.2 (ancho)	4.287			

Potencia requerida para el rodillo de arrastre

$$P_R = \frac{T \times n}{9550} \quad (2.7)$$

Donde:

$P =$  Potencia [kW]

$T =$  Torque [Nm]

$n =$  velocidad angular en revoluciones por minuto [RPM]

$$P_R = \frac{(13.194 \text{ Nm}) \times (575.26 \text{ RPM})}{9550}$$

$$P_R = 0.7948 \text{ kW}$$

Potencia requerida por el tambor motriz de la cinta transportadora

$$F_U = \mu_T * g \left( m + \frac{m_B}{2} \right) + \mu_R * g \left( m_R + \frac{m_B}{2} \right) - g * m * \sin \alpha \quad (2.8)$$

$$F_U = \text{Fuerza Tangencial [N]}$$

$\mu_T =$  Coeficiente de fricción para marcha sobre la mesa (según el material)

$$= 0.33$$

$m =$  Masa de la mercancía a transportar en toda la cinta de transporte [kg]

Según los requerimientos del cliente y la dimensión de la máquina el tamaño máximo de la laminación es de 1100x1100mm y como mínimo láminas de 400x400mm. Adicional el espesor de las láminas de impresión utilizadas se encuentra entre 200-350  $g/m^2$ . Para el cálculo de la masa de la mercancía transportada utilizamos las condiciones mayores más un 1.5% como factor de seguridad en el valor total.

$$m = 1.100m \times 1.100m \times 350 \frac{g}{m^2} \times \frac{1 kg}{1000 g} \times 1.5 = 0.63525 kg$$

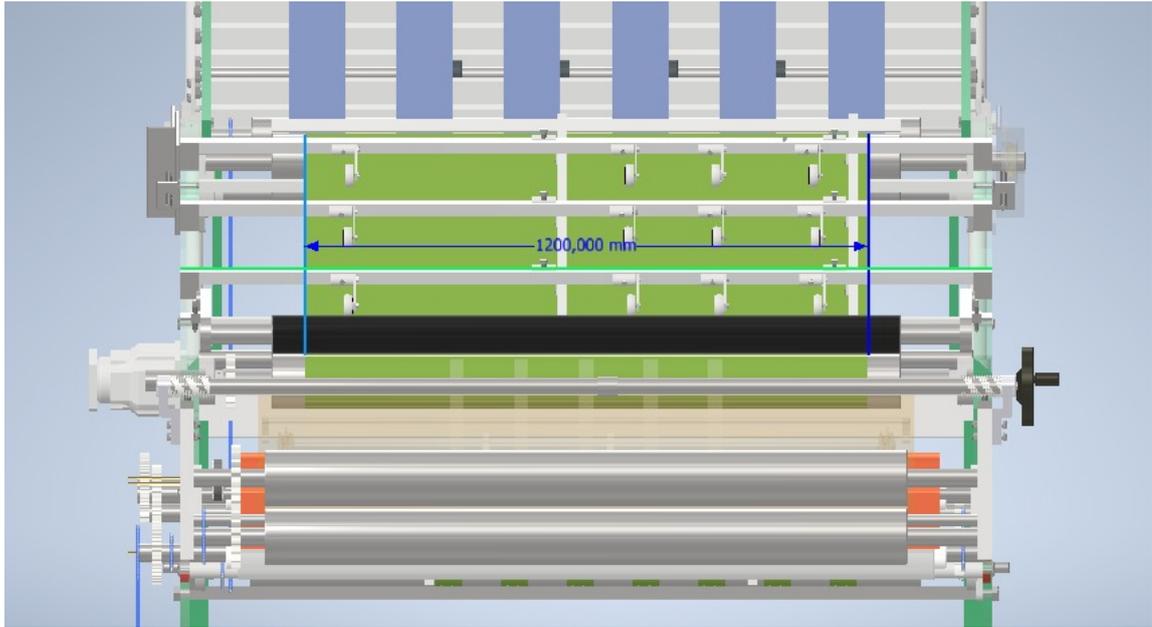
$$m_B = \text{masa de banda [kg]} = (\text{longitud banda}) * (\text{anchobanda}) * (\text{pesobanda}) \quad (2.9)$$

La información técnica de la banda seleccionada nos entrega el peso de la banda; esta ficha técnica nos indica que el valor del peso del material de la banda fue realizado bajo la norma ISO 290703-1 para selección de componentes de cintas transportadoras. Para la banda UU N12 RFQ FG de Poliuretano su peso específico es de 1.35  $kg/m^2$ .

En la Figura 2.16, se muestra la dimensión de la banda con una longitud total de recorrido de 4287.47 mm y un ancho de 1200mm.

UU N12 RFQ FG		Ammeraal Beltech Innovation & Service in Belting	
Article code: FB00054533			
General information			
Product group	High performance flat belts		
Product sub type	QuickSplice		
Industry segment	Food, Logistics; Paper & print		
Main product feature	Elastic, Foodgrade		
Application	General conveying, Mail handling, Paper processing, Printing & finishing		
Indication of use	Bi-directional		
Belt construction			
Tension member	Polyurethane		
Top side	material	Polyurethane	
	finish	Fine	
	color	Royal blue	
Bottom / Pulley side	material	Polyurethane	
	finish	Rough	
	color	black	
Characteristics			
Food Grade (FG)	yes	EC 1935/2004, EU 10/2011; FDA	
Antistatic (AS)	yes		
High conductive (HC)	no		
Technical data			
Belt thickness	ISO 2286-3	1.15 mm	0.05 in.
Weight	ISO 290703-1	1.35 $kg/m^2$	0.28 $lbs/ft^2$
Elongation at 6% elongation	ISO 21101	dynamic	1.2 N/mm
			6.95 $lbs/in$

Figura 2.16 Peso específico del material de la cinta transportadora



**Figura 2.17 Ancho máximo permitido para la cinta transportadora**

$$m_B = \text{masa de banda [kg]} = (4.28747 \text{ m}) * (1.200 \text{ m}) * 1.35 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} = \mathbf{6.946 \text{ kg}}$$

$$\mu_R = \text{Coeficiente de fricción para marcha sobre rodillo} = \mathbf{0.033}$$

$$m_R = \text{Masa de todos los rodillos, excepto del tambor motriz}$$

$$m_R = 166.263 \text{ kg} + 36.581 \text{ kg} + 36.581 \text{ kg} = \mathbf{239.425 \text{ kg}}$$

$$\alpha = \text{Angulo de inclinación de la cinta transportadora [°]} = \mathbf{14.04^\circ}$$

$$g = \text{Aceleración de la gravedad (9.81) } \left[ \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \right]$$

$$F_U = (0.33 * 9.81) \left( 0.63525 + \frac{6.946}{2} \right) + (0.033 * 9.81) \left( 239.425 + \frac{6.946}{2} \right) - (9.81)(0.63525)\sin(14.04)$$

$$\mathbf{F_U = 90.4212 \text{ N}}$$

$$P_A = \frac{F_U * v}{1000} \text{ [kW]}; \quad \text{donde } v = \text{velocidad de la banda [m/s]} \quad (2.10)$$

$$P_A = \frac{90.4212 \text{ N} * 2.5 \text{ m/s}}{1000} \text{ [kW]} = \mathbf{0.2260 \text{ kW}}$$

Potencia total requerida en el sistema

$$P_T = P_A + P_R = 0.2260 + 0.7948 = \mathbf{1.021 \text{ kW}}$$

Potencia mecánica total tomando en consideración una eficiencia de 80% para el motor  $P_M$

$$P_M = \frac{P_r}{\eta} [kW] \quad (2.11)$$

$$P_M = \frac{1.021 \text{ kW}}{0.8} = 1.276 \text{ kW} = 1.7111 \text{ hp}$$

#### 2.4.4 Selección de engranajes para rodillo de arrastre

En esta sección se realiza el diseño de engranajes para transmitir potencia al rodillo de arrastre superior desde el rodillo motriz de la banda (Figura 2.20 puntos C y E); este rodillo cumple garantiza el correcto transporte de la lámina al final del puente y descender hacia la zona de pegado láminas. Como ya conocemos el rango de velocidad de la máquina debe estar entre 50 y 150 m/s, por esta razón dichos rodillos deben garantizar este rango de velocidad en toda la máquina sin embargo la velocidad angular va a depender del diámetro del rodillo.

Por la Ecuación 2.1, considerando la velocidad lineal máxima de 150 m/s, el rodillo de arrastre debe girar a **575 RPM**. Por otro lado, calculamos las RPM del rodillo motriz de la siguiente manera.

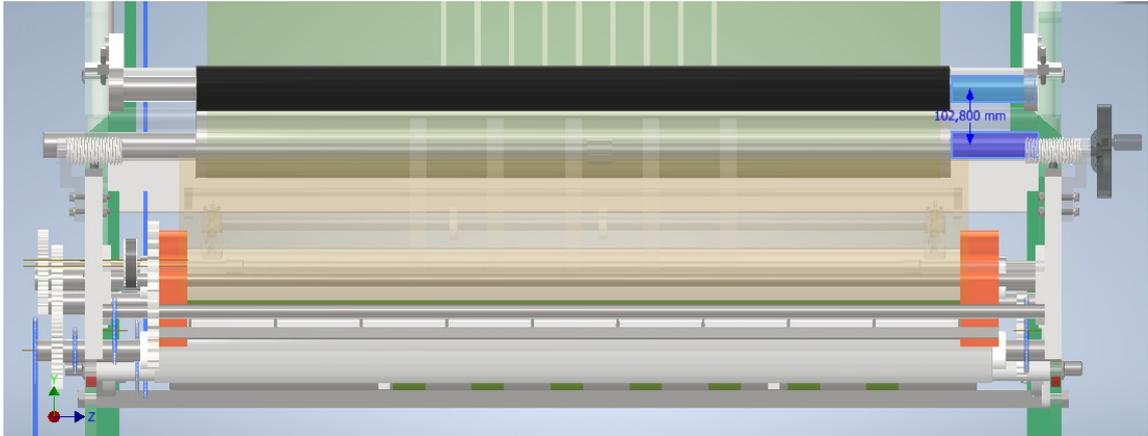
$$\omega = \frac{v}{r}$$

$$\omega = \frac{150 \text{ m/min}}{0.060 \text{ m}} [rad/min]$$

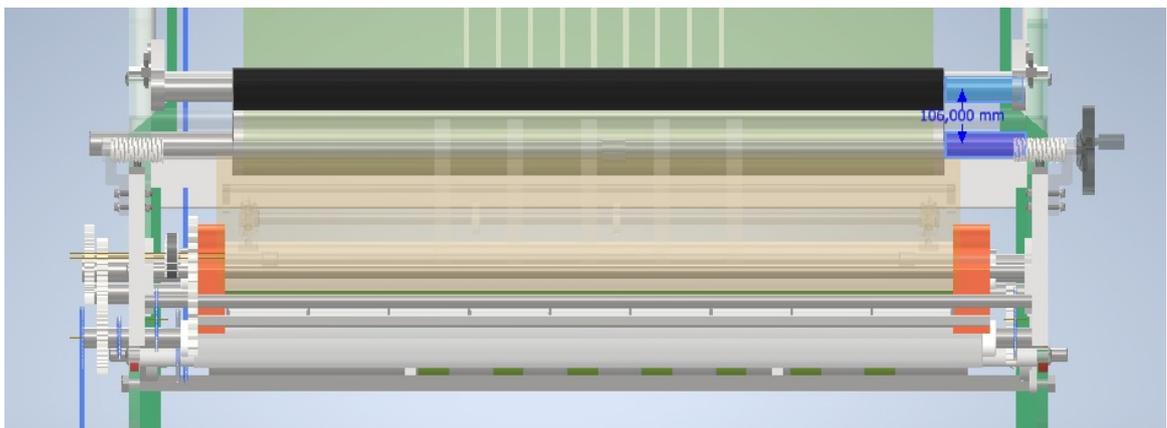
$$\omega = 2500 \frac{rad}{min}$$

$$\omega = 397.89 \text{ RPM} = \mathbf{398 \text{ RPM}}$$

Distancia entre centros debe ser regulable dependiendo de las láminas de impresión a utilizar en la producción, en la Figura 2.18 se muestra la distancia mínima entre centros (102.800 mm) y en la Figura 2.19 se muestra la distancia máxima entre centros (106.00 mm).



**Figura 2.18 Distancia mínima entre centros para rodillos**

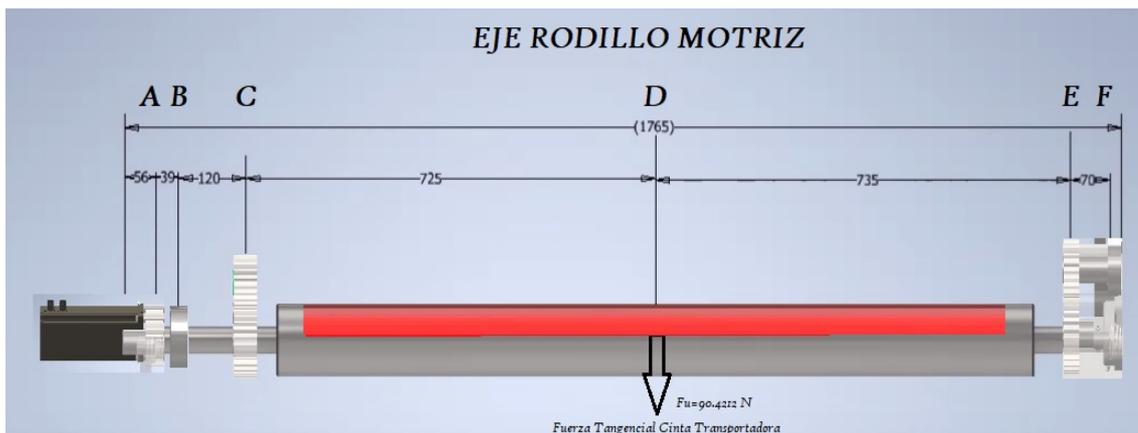


**Figura 2.19 Distancia máxima entre centros para rodillos**

En el apéndice B se detalla los cálculos y consideraciones tomadas para el diseño de los engranajes a utilizar en este sistema de transmisión de potencia desde el rodillo motriz hacia el rodillo de arrastre.

## 2.4.5 Selección de rodamientos

En esta sección realizamos la selección de rodamientos del rodillo motriz que gira a 398rpm. El análisis de elementos de transmisión que se muestra en la Figura 2.20 indica las distancias entre centros en milímetros de todos los componentes. El servomotor generador de potencia le transmite al rodillo motriz en el punto A, en los puntos C y E se encuentran los engranajes que transmiten potencia al rodillo de arrastre de láminas que se coloca hacia arriba, los descansos para el eje se colocan en los puntos B y F con un diámetro de 45mm, por otro lado, en el punto D se indica la fuerza tangencial generada por el movimiento de la cinta transportadora. Adicional se desea una vida mínima útil de los rodamientos de 9600 horas tomando en consideración que la máquina trabaje 8 horas diaria durante 3 años.



**Figura 2.20 Esquema de funcionamiento eje rodillo motriz (Medidas en mm)**

Para la selección de rodamientos encontramos las cargas radiales y axiales a las que se someten los rodamientos. Para la carga radial de los rodamientos en los puntos B y F nos apoyamos de los momentos necesarios ya calculados para los sistemas, las fuerzas ejercidas en el eje y la calculadora de ejes de Inventor Professional. En el apéndice C se describe todo este proceso de selección desde el cálculo de las cargas hasta los rodamientos comerciales.

## 2.5 Diseño de monitoreo y control

El presente proyecto busca siempre una sincronización óptima del recorrido de las láminas superiores e inferiores. Si bien es cierto el recorrido de ambas a lo largo de la máquina es distinto, sus tiempos de salida también lo son, a pesar de eso existe la falla de registro por la variación de registro presente, lo cual buscamos compensar con la manipulación de la velocidad de transporte de la lámina superior.

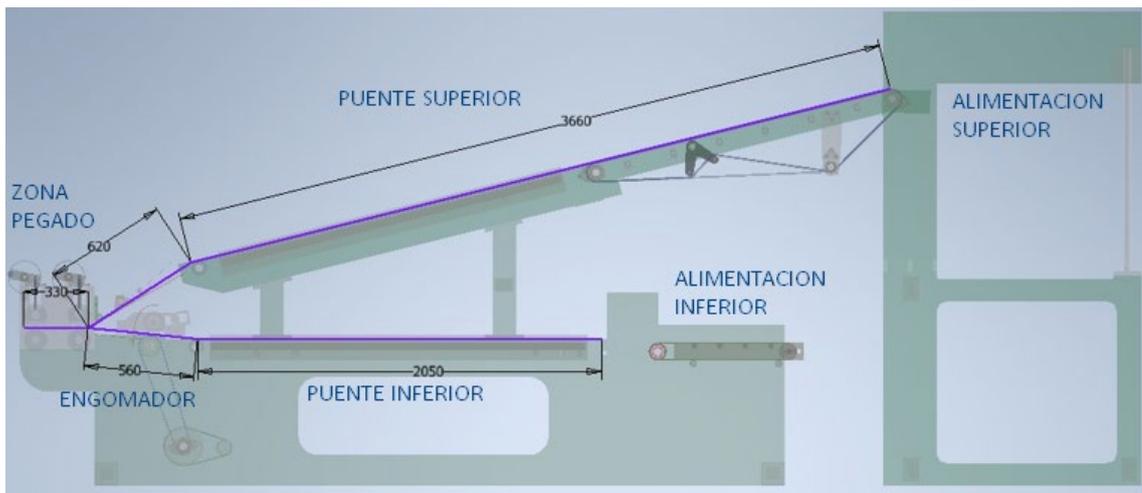


Figura 2.21 Recorridos de láminas superior e inferior

A continuación, describimos el sistema de control empleado para nuestro diseño de compensación, monitoreo y control de la cinta transportadora incorporada en el puente de la hoja de impresión superior.

### 2.5.1 Arquitectura de Control

En nuestra arquitectura de control, que se muestra en la Figura 2.22, para la cinta transportadora tenemos los siguientes componentes:

**Encoder externo:** el cual está colocado en el rodillo de salida del puente inferior y nos permite determinar la velocidad a la que se mueve el puente inferior.

**Sensor lámina inferior:** Sensor capaz de detectar la lámina inferior y en conjunto con el codificador externo obtenemos la velocidad y en que instante llega la lámina inferior a la zona de pegado.

**Sensor lámina superior:** Sensor capaz de detectar la lámina superior

**Circuito Compensador:** En este circuito compensador se aloja el cálculo para determinar si se debe acelerar o desacelerar la llegada de la lámina superior en procura de que ambas lleguen a la zona de pegado sincronizadas.

**Controlador PLC:** Gestor de todas las ponderaciones y el cálculo de compensación para gobernar los sensores y actuadores.

**Servo-Driver:** Controlador del servomotor, amplificador electrónico capaz de leer los comandos del PLC y alimentar al servomotor.

**Servomotor:** Actuador del sistema

**Encoder Interno:** Los servomotores poseen un codificador interno para poder monitorear en todo momento su velocidad y de esta manera realizar la realimentación del circuito de control para garantizar que el servomotor llegue al valor de entrada.

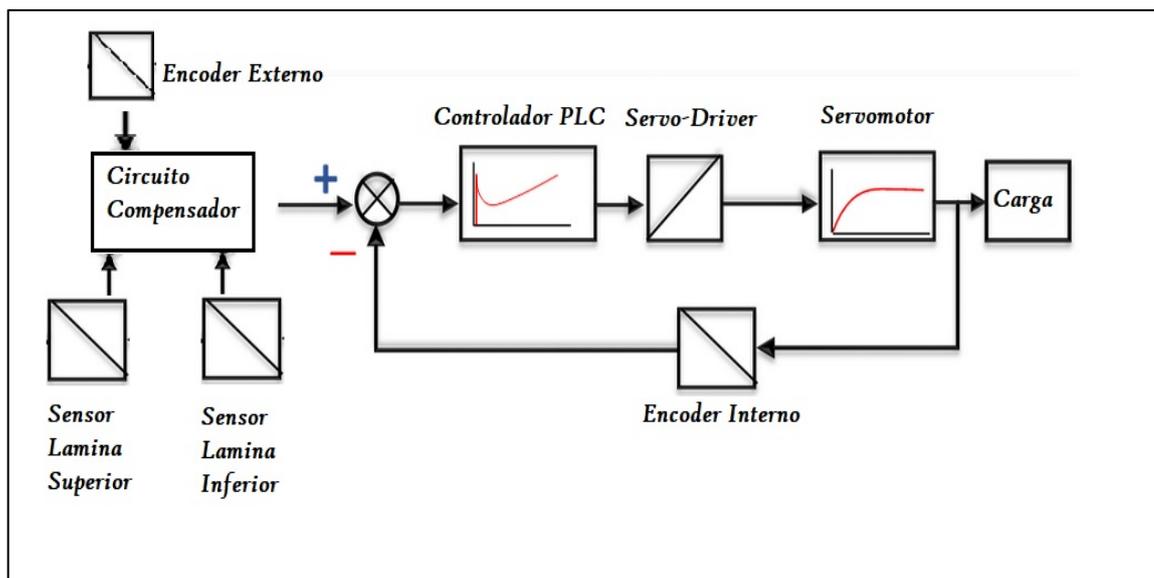


Figura 2.22 Arquitectura de control del sistema

## 2.6 Diseño eléctrico

En esta sección se realiza la identificación del actuador óptimo a utilizar. Como nuestra aplicación demanda una rápida respuesta y gran precisión en sus movimientos se escoge los servomotores para controlar todo el movimiento de la cinta transportadora y sus cambios. Se utiliza diferentes tablas referencias de la marca SIEMENS para la identificación del servomotor. Luego, en esta sección se realiza el diagrama de flujo de funcionamiento eléctrico de nuestra aplicación.

### 2.6.1 Selección de Servomotor

Para la selección del servomotor ideal, bajo las condiciones de potencia y requerimientos establecidos en el diseño mecánico, se utilizó el catálogo de motores de la marca SIEMENS. Entre las familias de motores como se observa en la Figura 2.23 seleccionamos los motores sugeridos como síncronos de alto rendimiento y para nuestra aplicación la ventaja de tener un codificador para referenciar y monitorear su velocidad durante todo el funcionamiento lo hace idóneo.

The right motor for every application		Low-voltage motors					
		Asynchronous			Synchronous		
		Low dynamic performance	Medium dynamic performance		High dynamic performance	Medium dynamic performance	Very high dynamic performance
		Low-voltage motors for line and inverter operation	Induction servomotors for inverter operation		Permanent-magnet synchronous servomotors	Permanent-magnet direct drive for rotary axes	Permanent-magnet direct drive for linear axes
							
<b>Core features</b>		With aluminum frame: Light, reliable, compact, with efficiency classes EFF1, EFF2 (IEC), EPM, Ultra NEMA Premium (NEMA)	With grey cast iron frame: Reliable, rugged, compact, with efficiency classes EFF1, EFF2 (IEC), EPM, Ultra NEMA Premium (NEMA)	Compact, high power density, either with solid or hollow shaft	Compact, high power density	Compact, high torque at low speed	Compact, high rate of acceleration at high velocity
<b>Rated voltage</b>		IEC: 230 ... 690 V NEMA: 220 ... 575 V	IEC: 230 ... 690 V NEMA: 220 ... 575 V	400 ... 480 V, 690 V	230 V, 400 ... 480 V	400 ... 480 V, 690 V	400 ... 480 V
<b>Rated speed, velocity at rated force</b>		IEC: Line operation at 50 Hz: 750 ... 3000 rpm NEMA: Line operation at 60 Hz: 900 ... 3600 rpm	IEC: Line operation at 50 Hz: 750 ... 3000 rpm NEMA: Line operation at 60 Hz: 900 ... 3600 rpm	400 ... 2900/4000 rpm	Up to 6000 rpm	38 ... 800 rpm	105 ... 836 m/min
<b>Maximum speed</b>		Inverter operation: Up to 6000 rpm	Inverter operation: Up to 6000 rpm	Up to 18,000 rpm	Up to 12,000 rpm	Up to 1700 rpm	Up to 836 m/min
<b>Rated power</b>		IEC: 0.06 ... 45 kW (0.08 ... 61.2 HP) NEMA: 1 ... 20 HP	0.75 ... 4000 kW (1.02 ... 5440 HP) NEMA: 1 ... 400 HP	3.7 ... 630 kW (5.03 ... 856.8 HP)	0.05 ... 118 kW (0.07 ... 160.48 HP)	3.1 ... 2150 kW (4.22 ... 2924 HP)	

Figura 2.23 Familia motores marca SIEMENS

En el apéndice F se presenta a detalle la selección del servomotor seleccionado para esta aplicación a partir de las condiciones de instalación, la potencia requerida y su funcionalidad. Las características de este actuador se presentan a continuación.

**Datos del servomotor seleccionado:**

Servomotor: 1FK7063-5AF71-1

Tipo de reductor: Por engranajes rectos

Numero de revoluciones de salida: 511 rpm

Potencia nominal de salida: 2.23Kw

Transmisión nominal | exacta: 5.9 | 47/8

Par nominal de salida: 41.6 Nm

Peso total aproximado: 22kg.

Codificador: Incremental *sin/ cos* 1 V<sub>PP</sub>2048  $\frac{\text{pulsos}}{\text{revolucion}}$

## 2.6.2 Diagrama de flujo del funcionamiento eléctrico del sistema

En la Figura 2.24 se observa un diagrama de flujo con el funcionamiento general del sistema de la máquina Laminadora, según el comportamiento de los sensores para compensar la sincronización de las láminas superior e inferior.

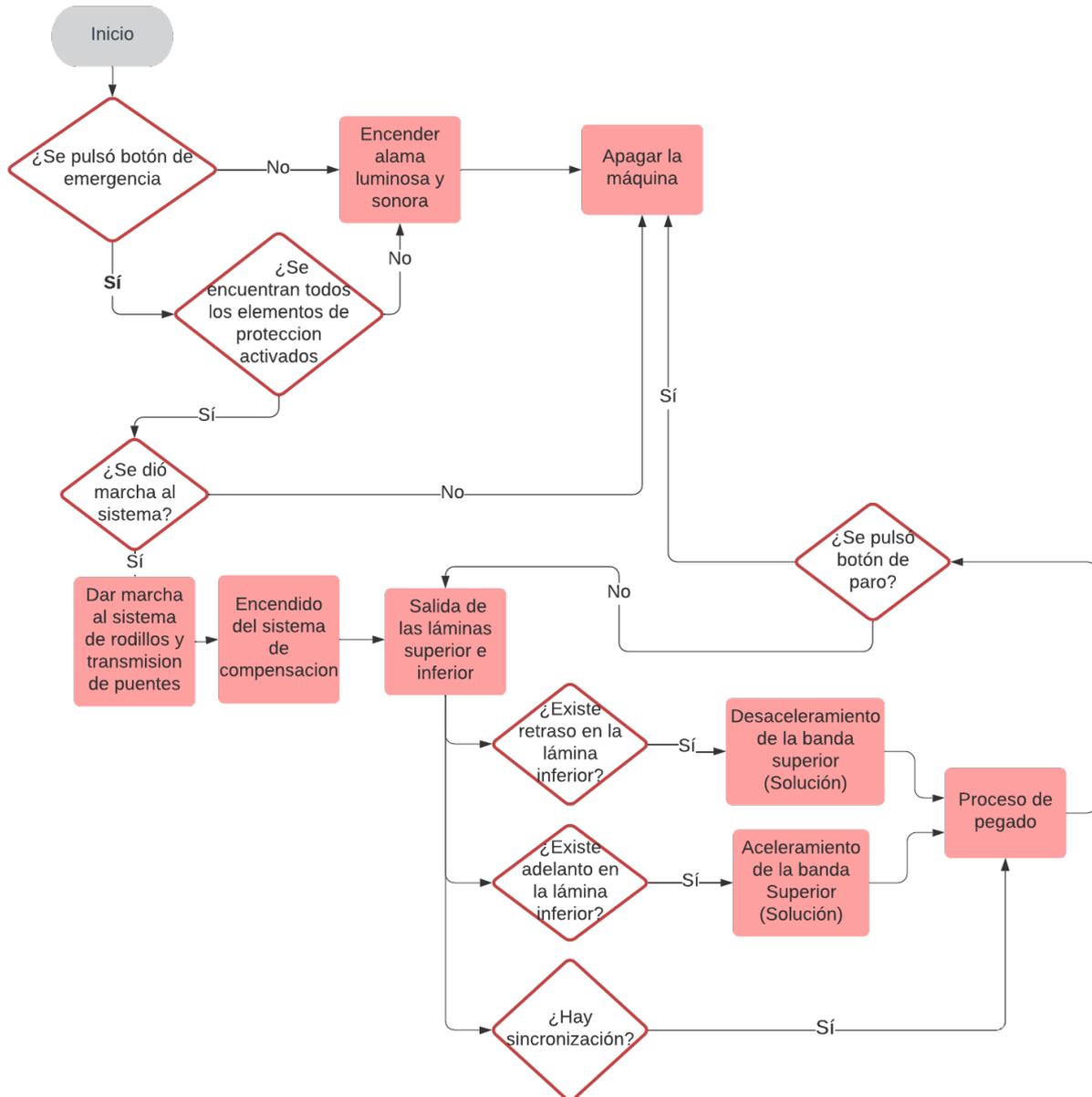


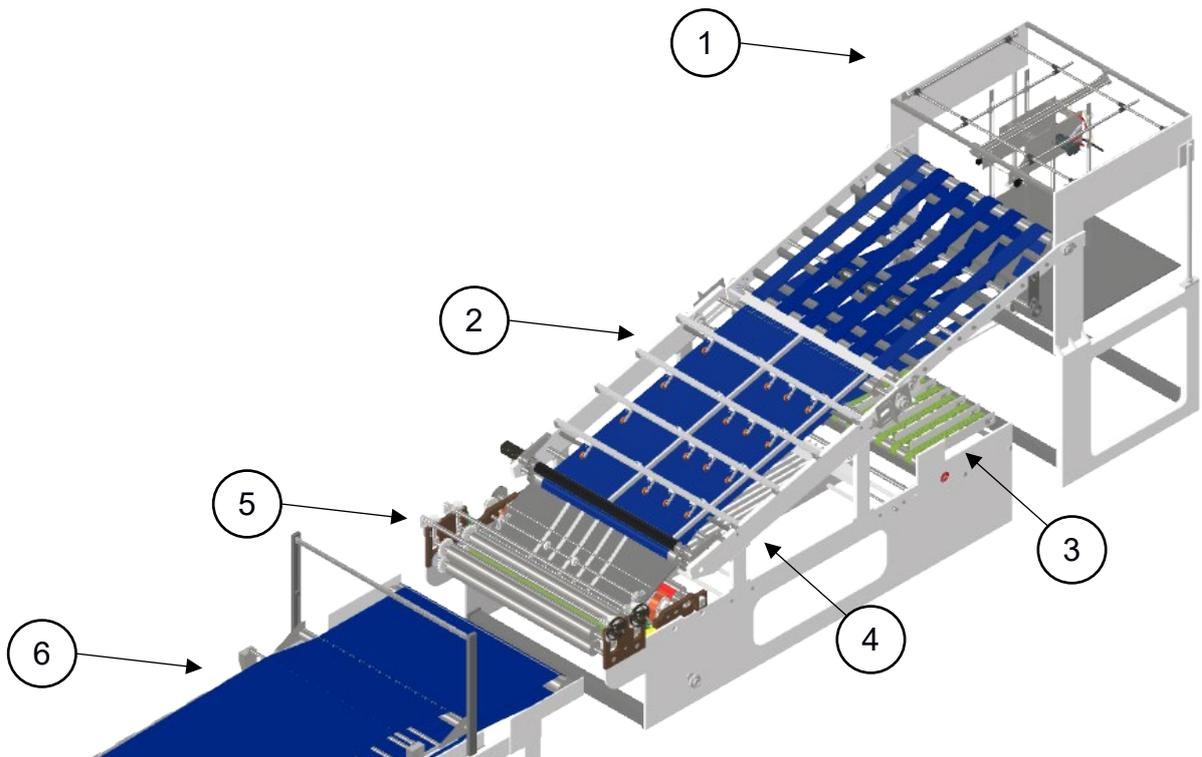
Figura 2.24 Diagrama de flujo para diseño eléctrico

# CAPÍTULO 3

## 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En el presente capítulo se mostrará el diseño 3D de la máquina laminadora de papel corrugado evidenciando cada una de las estaciones principales tales como: alimentación superior e inferior, zona de pegado y goma, zona de secado y puentes de transporte de las láminas. También se presentará análisis de elementos finitos de los componentes importantes del diseño mecánico. En cuanto al sistema de monitoreo y control, se muestra el esquema de control de la cinta transportadora, así como la interfaz del sistema.

### 3.1 Diseño Mecánico



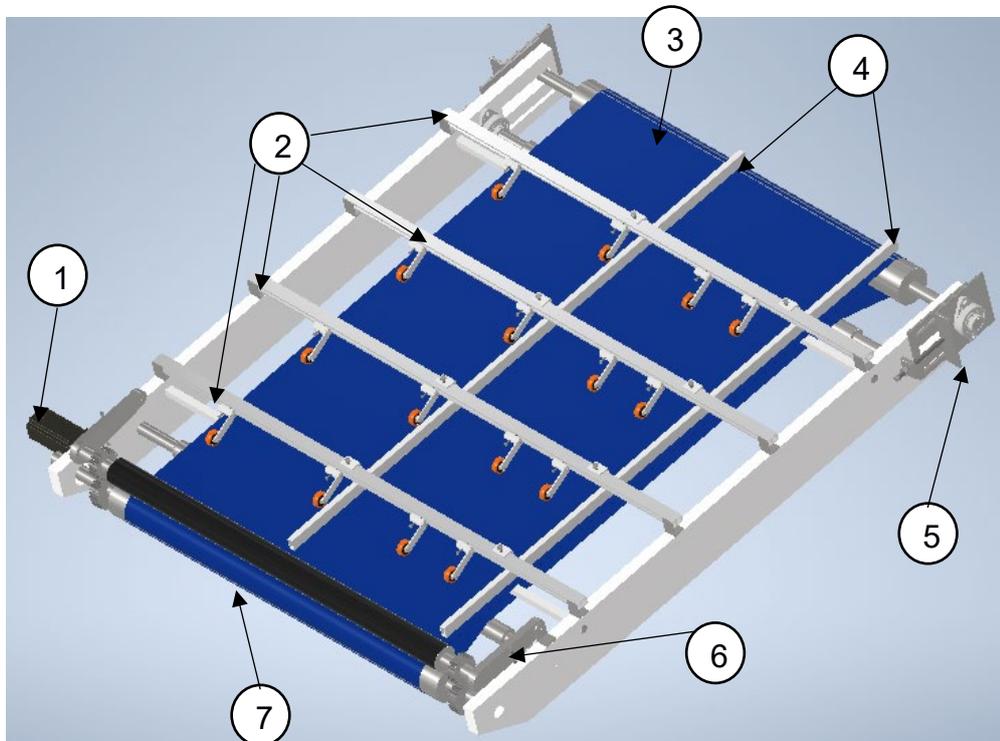
**Figura 3.1** Diseño 3D de la Laminadora de papel corrugado: (1) Alimentación de Láminas Superior, (2) Puente Superior, (3) Alimentación de Láminas Inferior, (4) Puente Inferior, (5) Zona de Pegado y engomado, (6) Zona de Secado

En la Figura 3.1 se observa una representación 3D de la máquina Laminadora FM1300 junto con la propuesta de solución del presente proyecto, el cual forma parte del puente superior, este diseño fue realizado en el software Inventor, el mismo que permitió hacer varios análisis de elementos finitos para los componentes mecánicos, mismos que están presentados en las secciones posteriores.

El proceso de la máquina empieza con la alimentación de láminas superior e inferior, la lámina superior comúnmente es papel liner fina y la inferior es cartón corrugado, en una parte del puente superior está el mecanismo de compensación el cual ayudará a que las láminas lleguen a la zona de pegado de manera sincronizada para que no haya variaciones de registro entre las mimas.

### 3.1.1 Diseño Estructural

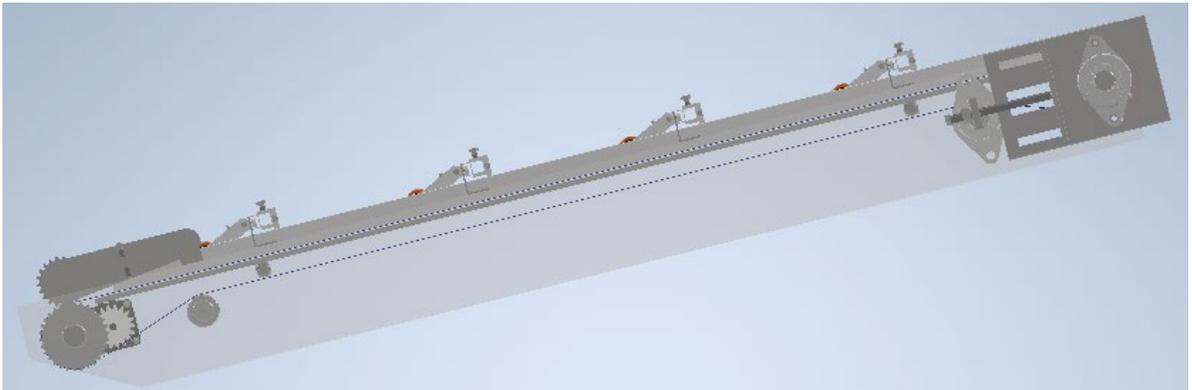
La estructura de la cinta transportadora consta de varias partes como se observa en la Figura 3.2, esta propuesta fue diseñada partiendo de las medidas que nos proporciona la propia estructura de la máquina; en el Apéndice D se encuentran los planos mecánicos con las medidas de cada una de las piezas que se diseñaron en este proyecto.



**Figura 3.2 Estructura de la banda: (1) Servomotor, (2) Sistema de arrastre de láminas, (3) Banda, (4) Guías de las Láminas, (5) Sistema de tensión de la banda, (6) Rodillos de presión, (7) Rodillo Motriz y de Arrastre**

El mecanismo cuenta con un sistema de arrastre de láminas, el cual está conformado por un juego de ruedas que ayudan a mantener en contacto la lámina superior con la banda transportadora de tal forma que dicha lámina se transporte hasta el rodillo motriz y de arrastre que se encuentran a la salida del puente.

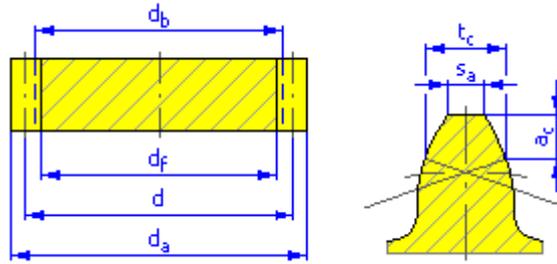
Por otro lado, se tiene un sistema de tensión que permite estirar la banda considerando que la mínima extensión que se tomó en cuenta fue del 3% de la longitud total de banda, ya que esto junto con los rodillos de presión ayudan a la banda a mantenerse en su lugar evitando los deslizamientos a lo largo de los ejes, y por último se colocó una placa de deslizamiento como se puede observar en la Figura 3.3, en la que se consideró una distancia de 2mm entre la banda y la placa, además de la puntas redondeadas en los extremos para no tener atascamientos.



**Figura 3.3 Estructura de la banda Vista Lateral**

### **3.1.2 Engranajes**

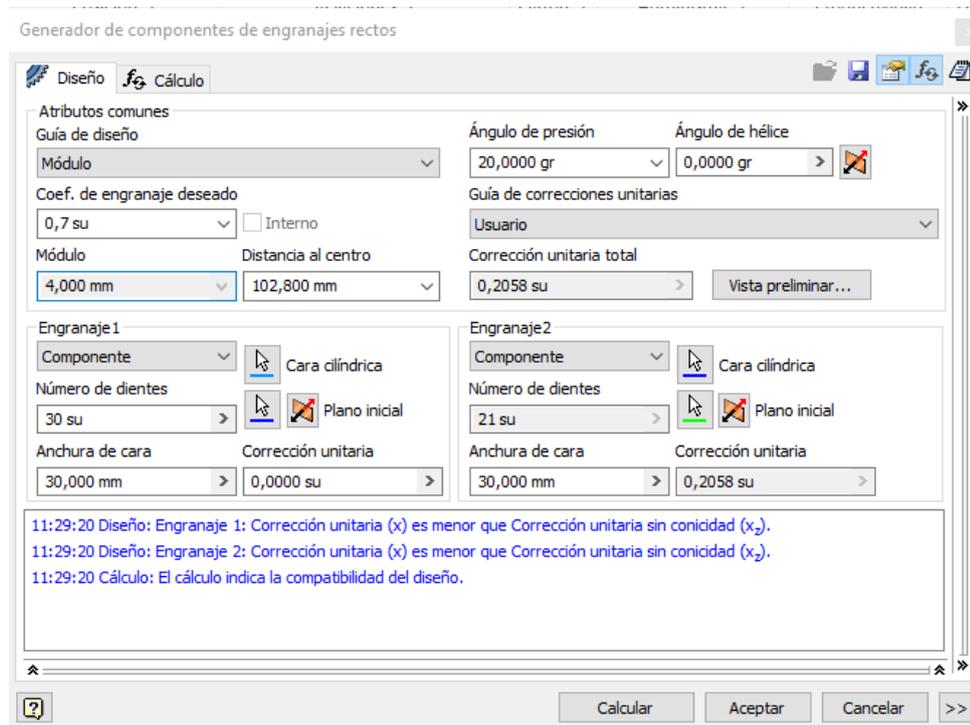
Para el análisis de los engranajes se usó la herramienta de inventor de engranajes rectos, donde se consideraron algunos parámetros como el coeficiente de engranaje, la distancia mínima que existe entre el rodillo motriz y el rodillo de presión, y también el número de dientes del engranaje que va colocado en el rodillo motriz, los cuales se observan en la Figura 3.5, entonces con estos parámetros el programa realiza un cálculo interno para obtener las dimensiones de los engranajes tal como se observa en la Figura 3.4.



**Figura 3.4 Dimensiones de los engranajes**

**Tabla 3.1 Parámetros de los engranajes**

$d_h$	Diámetro de círculo base
$d_f$	Diámetro raíz
$d$	Diámetro de separación
$d_a$	Diámetro exterior
$t_c$	Grosor de diente sobre cuerda
$s_a$	Unidad de grosor del diente exterior
$a_c$	Altura de cabeza de diente sobre cuerda



**Figura 3.5 Parámetros para el diseño de los engranajes**

En la Figura 3.6 se puede observar que se usó la Norma AGMA 2001-D04 para el análisis de los engranajes, se configuró la potencia y la velocidad que proporciona el servomotor seleccionado, y también se eligió el material 34 Cr Ni Mo 6 debido a la resistencia que posee. Con estos parámetros se obtuvo que los coeficientes de seguridad contra corrosión son de 3.014 para el engranaje motriz y 2.955 para el engranaje de arrastre, y un coeficiente de seguridad contra la rotura de diente de 16.9747 y 23.362 respectivamente. Lo cual quiere decir que estos engranajes no sufrirán daños, garantizando la correcta transmisión de la potencia y velocidad del servomotor.

Generador de componentes de engranajes rectos

Diseño **Cálculo**

Método de cálculo de resistencia  
ANSI/AGMA 2001-D04:2005

Cargas	Parámetros	Engranaje 1	Engranaje 2
Potencia	P	1,4914 kW	1,462 kW
Velocidad	n	398 rpm	568,57 rpm
Par de torsión	T	35,783 N m	24,547 N m
Eficacia	$\eta$	0,980 su	

Valores de material

Engranaje 1  34CrNiMo6

Engranaje 2  34CrNiMo6

Tensión de plegado admitida  $s_{at}$  345,0 MPa > 345,0 MPa >

Tensión de contacto admitida  $s_{ac}$  1310,0 MPa > 1310,0 MPa >

Módulo de elasticidad E 206000 MPa > 206000 MPa >

Coefficiente de Poisson  $\mu$  0,300 su > 0,300 su >

Vida requerida  $L_h$  10000 h >

Factores Precisión

**Resultados**

$F_t$	591,750 N
$F_r$	229,418 N
$F_a$	0,000 N
$F_n$	634,666 N
v	2,501 mps
$n_{E1}$	10976,638 rpm
<b>Engranaje 1</b>	
$k_f$	3,014 su
$k_n$	16,947 su
<b>Engranaje 2</b>	
$k_f$	2,955 su
$k_n$	23,362 su

Resultados

Calcular Aceptar Cancelar >>

Figura 3.6 Resultados de análisis de los engranajes

### 3.1.3 Análisis de elementos finitos del eje motriz

En el apéndice C se detallaron las fuerzas y momentos que están presentes en el rodillo motriz, mismas que fueron utilizadas para realizar un análisis de elementos finitos como se aprecia en la Figura 3.7.

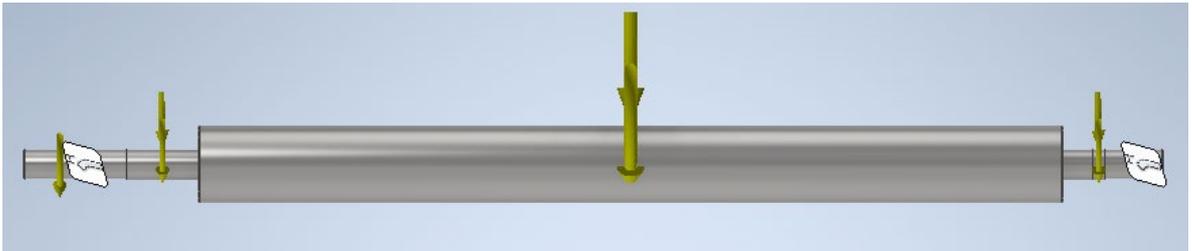


Figura 3.7 Fuerzas y momentos en el rodillo motriz

En la Figura 3.8 se observa el desplazamiento lineal del eje motriz provocado por las fuerzas externas incluyendo su propio peso considerando el acero como material del rodillo, y como se podría esperar el mayor desplazamiento (0.004721 mm) se encuentra en la zona central debido que ahí está el máximo momento flector, y el menor desplazamiento está en la zona de los rodamientos ya que se trata de una fijación.

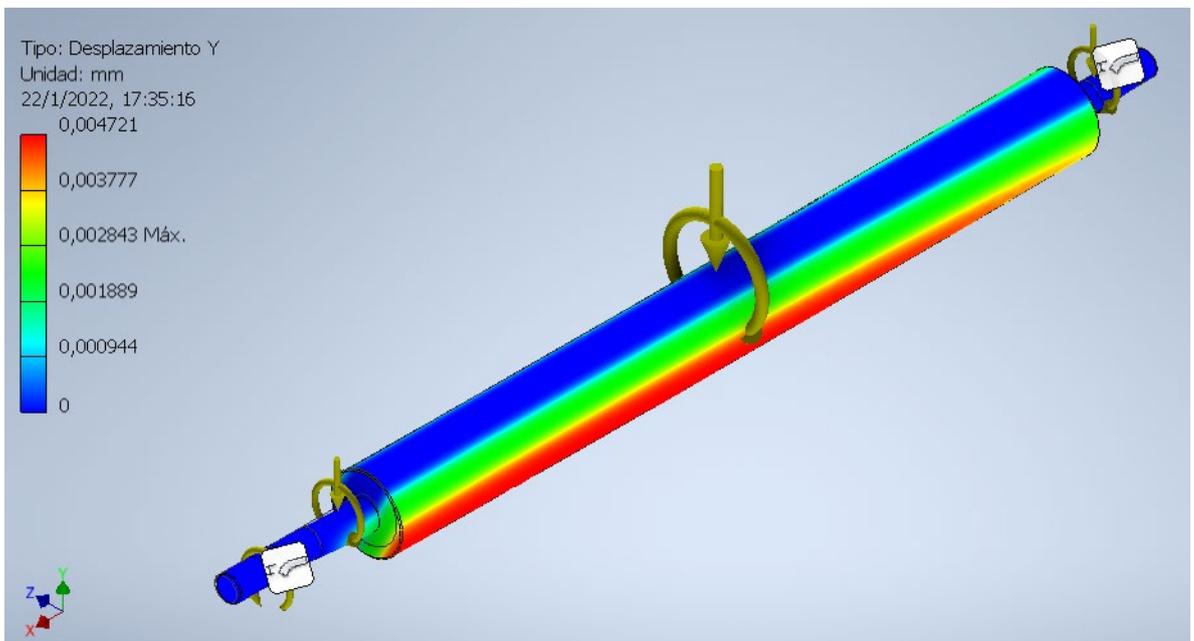
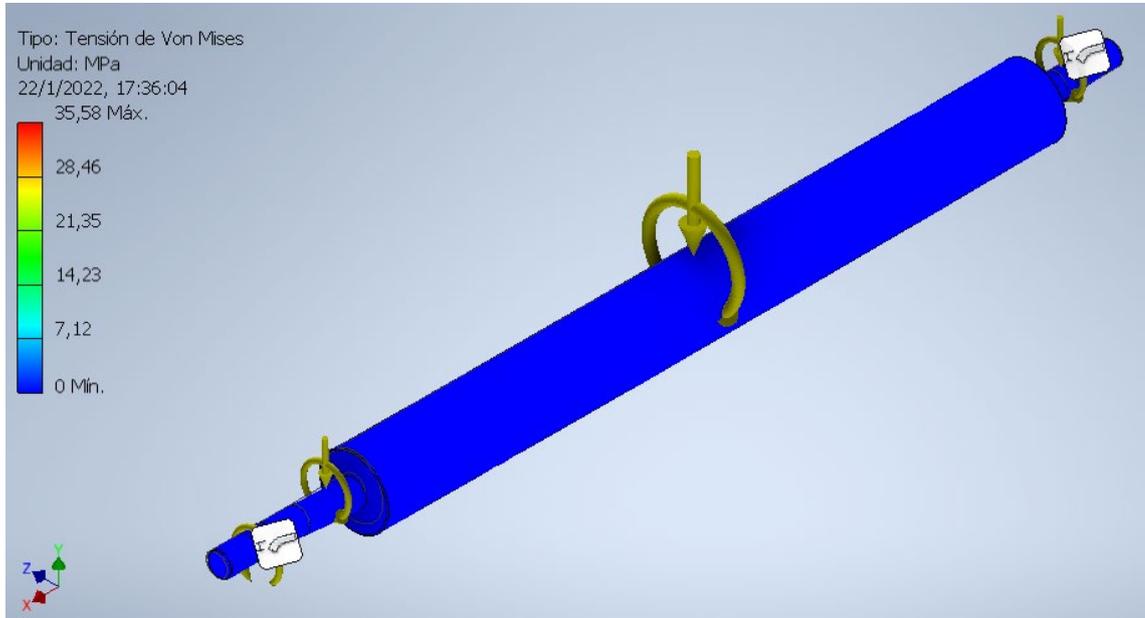
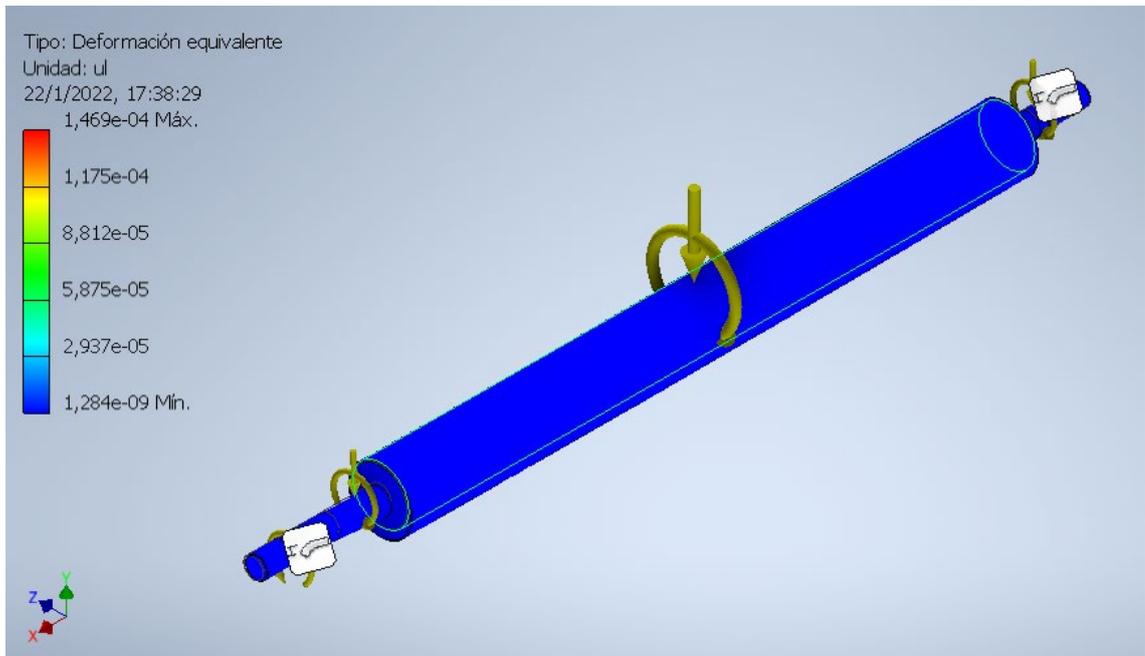


Figura 3.8 Desplazamiento lineal producido por las cargas

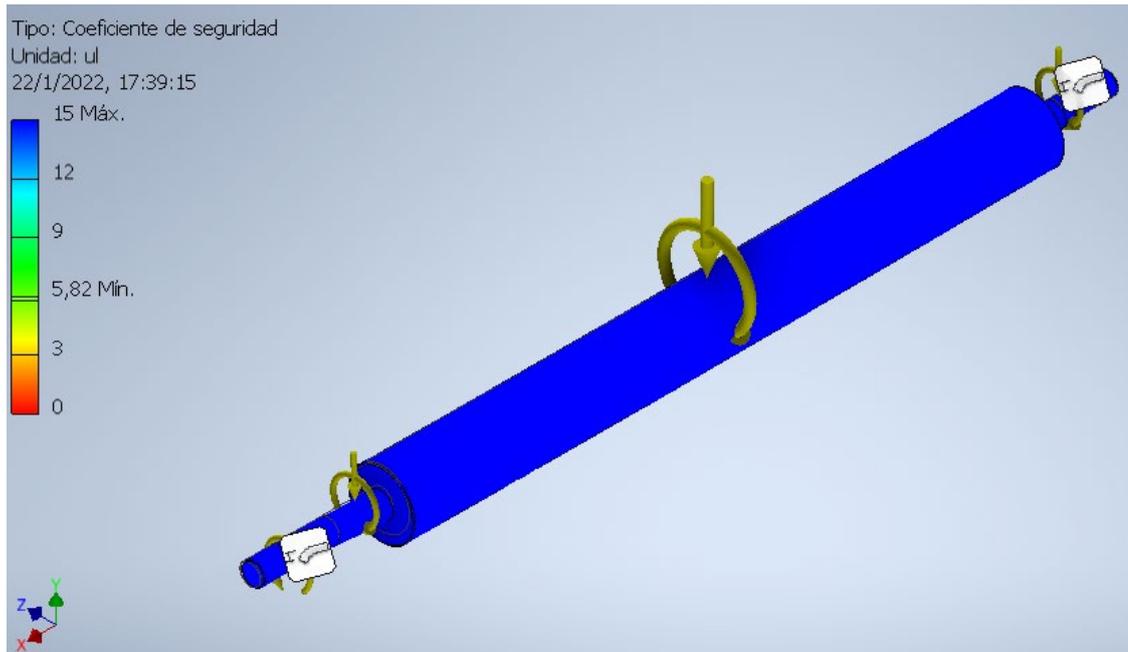
En la Figura 3.9 se visualiza el análisis de Von Mises donde se puede observar que el eje motriz con las cargas a la cual está sometida no fallará por fatiga ya que la tensión está muy cercana a cero, al igual que la deformación equivalente tal como se muestra en la Figura 3.10.



**Figura 3.9 Análisis de Tensión de Von Mises**



**Figura 3.10 Deformación equivalente del Eje motriz**

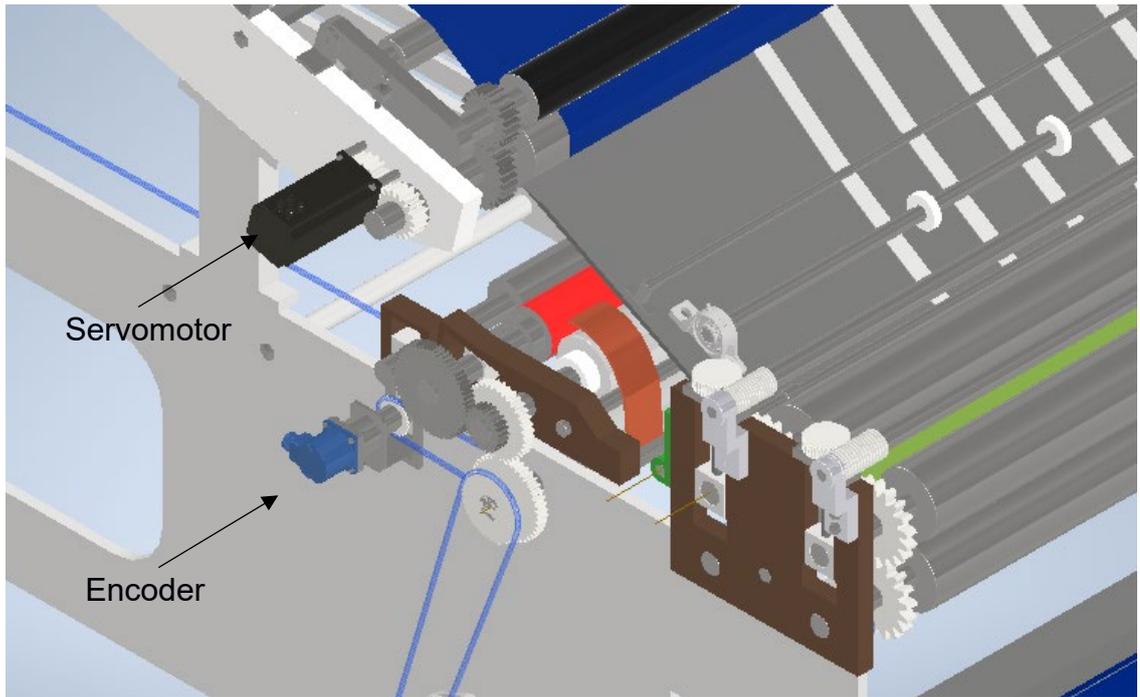


**Figura 3.11 Factor de seguridad**

Como resultado final en el análisis del rodillo motriz, se tiene que el coeficiente de seguridad (Figura 3.11) es el máximo en todo el eje, y esto era de esperarse ya que no existe ninguna deformación a lo largo del mismo, por lo tanto, se puede decir que el eje no fallará por las fuerzas presentes en el sistema.

### **3.1.4 Codificador externo y servomotor**

En la Figura 3.12 se muestra la ubicación propuesta para la colocación del servomotor y del encoder tomando en cuenta los espacios disponibles de la máquina real FM 1300, como se puede observar en dicha figura, el servomotor transmite el movimiento al rodillo motriz mediante engranajes con una relación 1:1, y por otro lado el codificador es conectado directamente al eje de salida del puente inferior el cual servirá para obtener la velocidad de la lámina inferior y con ese dato poder retroalimentar el sistema de compensación de la lámina superior acelerando o desacelerando según sea el caso.

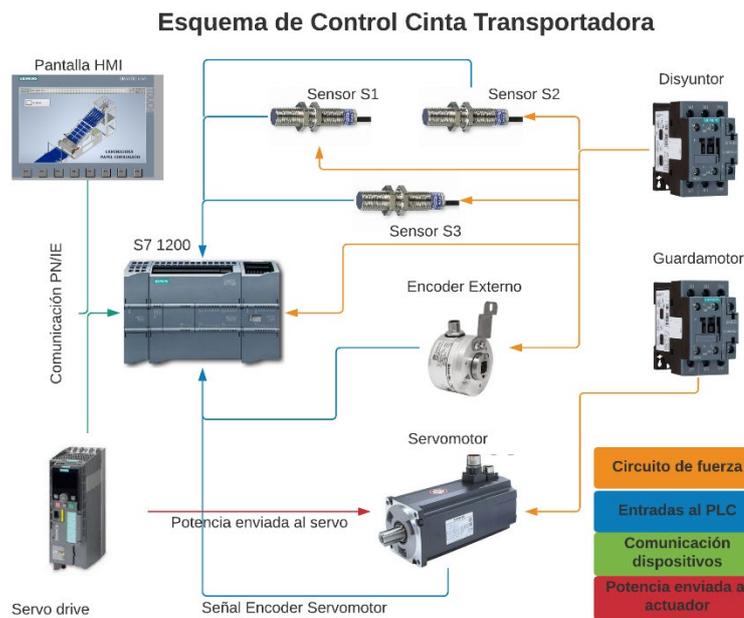


**Figura 3.12 Colocación del Encoder**

En los planos mecánicos del Apéndice D, se podrá observar a detalle las medidas que se consideraron para los soportes tanto para el servomotor como para codificador incremental.

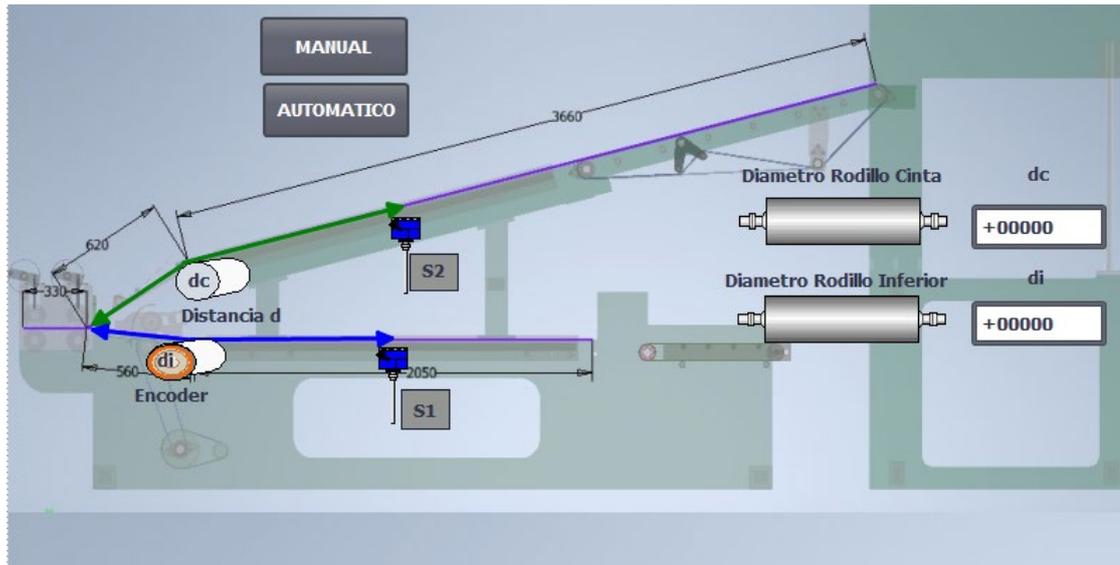
### 3.2 Diseño de monitoreo y control

En la Figura 3.13, mostramos todos los elementos de fuerza y control utilizados en este diseño, sus conexiones de fuerza, control y comunicación. Luego mostramos cada uno de los procesos en los que intervienen estos componentes, desde la conceptualización de la solución, sus conexiones y las pruebas de simulación.



**Figura 3.13 Esquema de control y comunicación del proceso**

En la Figura 3.14, mostramos el esquema de recorrido de las láminas superior e inferior una vez salen de sus estaciones de alimentación, y se propone con este diseño realizar la compensación de llegada de la lámina superior con respecto a la llegada de la lámina inferior. Esta compensación puede realizarse de manera manual, ajustando el valor desde una pantalla, y automática, en la cual se compensa la velocidad de dicha lámina por medio de los sensores S1 y S2 a un punto de referencia específico en cada uno de sus recorridos.



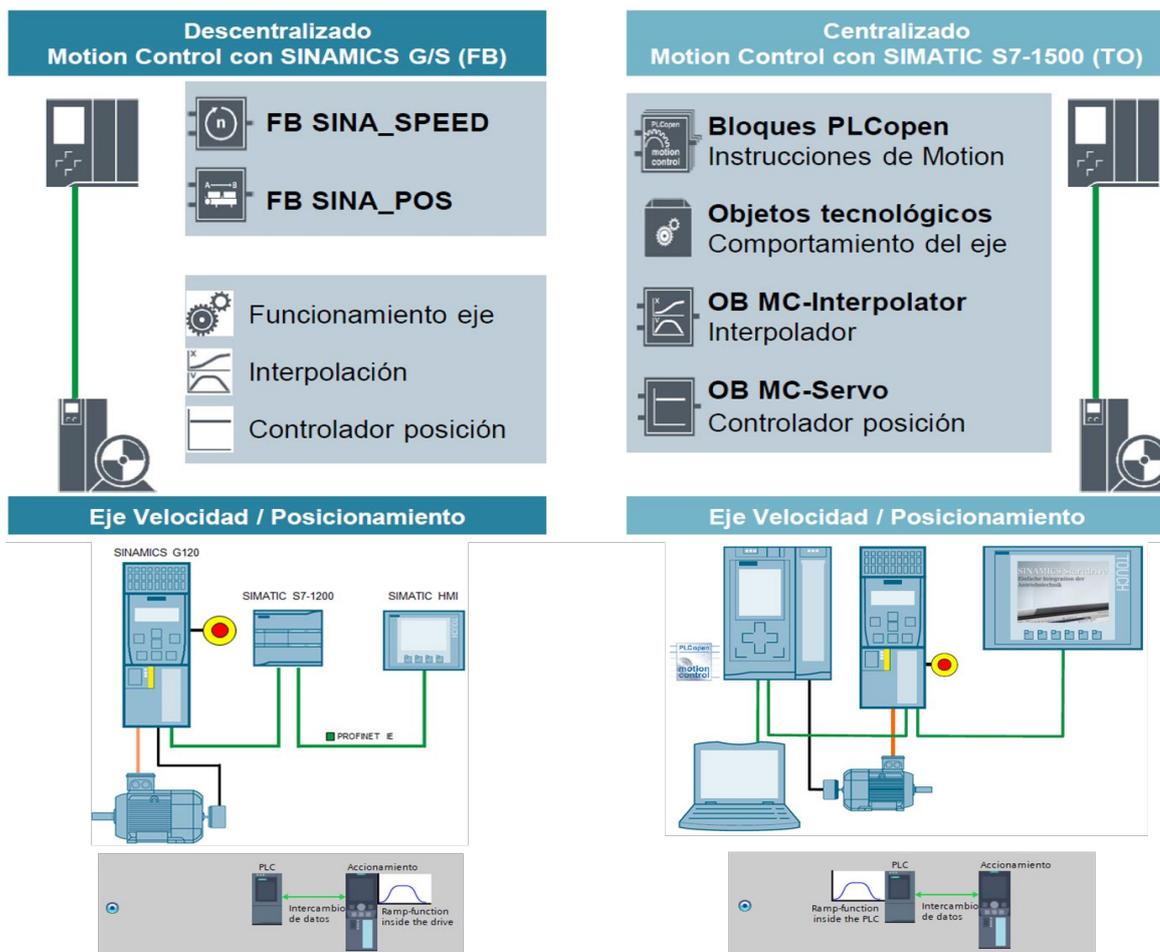
**Figura 3.14 Trayectorias de láminas y esquema de funcionamiento**

### 3.2.1 Motion Control

Para la arquitectura de control utilizamos los recursos de Motion Control desde el software de TIA PORTAL de la marca SIEMENS, esta es una herramienta funcional utilizada en los modelos y procesos en el mundo digital y la conectividad dentro de la Industria 4.0. Se lo conoce por su funcionalidad en servomecanismos industriales para controlar velocidades, fuerza de trabajo, posición, entre otros.

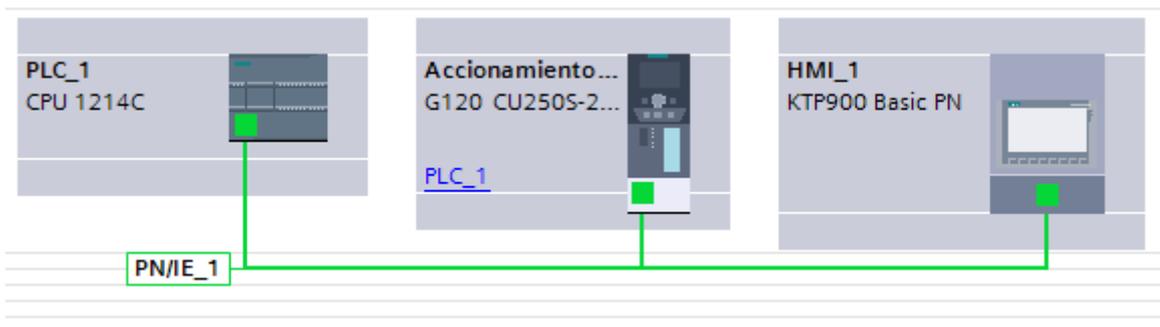
Para hacer uso de los recursos de Motion Control y configurar correctamente el variador o servo drive con el PLC se lo puede realizar de dos maneras, como se muestra en la Figura 3.15. Para el esquema descentralizado el control funcional lo encontramos en el variador donde el codificador del motor se conecta directamente al mismo y el PLC solo envía las consignas de posición y velocidad.

Por otra parte, en el esquema centralizado todo el control lo encontramos en el PLC, este es el gestor de las entradas y salidas del sistema, así como las señales enviadas del codificador a través de rampas y aceleraciones y el servo drive solo es el encargado de transmitirle la potencia al servomotor por medio de los comandos desde el autómatas a través de las librerías de bloques PLCopen. Para esta solución utilizamos el método centralizado, conectando el codificador del rodillo del puente inferior y del servomotor directo en el autómatas.



**Figura 3.15 Sistemas descentralizados y centralizados**

En la Figura 3.16, se muestran los tres dispositivos conectados a través de puertos Ethernet del PLC S7 -1200 con CPU 1214C, el servo drive G120 CU2505 y la interfaz hombre máquina KTP900 Basic PN de 9”.



**Figura 3.16 Dispositivos conectados**

En el apéndice E encontramos la configuración de los parámetros para el PLC S7-1200, el servomotor utilizado, los codificadores del servomotor y del externo, así como también para el servo drive en el software de TIA PORTAL.

### 3.2.2 Compensación manual y automática

Como mostramos en la Figura 3.14 se tiene un sistema de compensación referenciado desde el encoder externo colocado en el rodillo de salida del puente inferior, en esta solución intervienen los factores de los diámetros de los rodillos de accionamiento (cinta transportadora y rodillo del codificador externo), la distancia (d) de fijación de sensores de láminas S1 y S2 con respecto a la zona de pegado y dos modos de operación del proceso, manual y automático.

Para la sección de compensación manual se tiene un valor ingresado por los operadores en el cual se ingresa un factor y este interviene directamente con la velocidad del servomotor en referencia al encoder externo colocado y el factor de conversión de los elementos como se muestra a continuación.

$$V_{servo} = \text{Compensación} * \text{Relación}_{rodillos} * \text{Relación}_{servomotor} * \text{Velocidad}_{EncoderExterno} \quad (3.1)$$

Donde para nuestro diseño tenemos:

$$\text{Relación}_{Rodillos} = \frac{D_{RodilloInferior} (mm)}{D_{RodilloCinta} (mm)} = \frac{80}{120}$$

$$\text{Relación}_{Servomotor} = \frac{47}{8}$$

Luego para la compensación en automático los demás factores mencionados y nuevas variables a tomar en cuenta. Por medio de la velocidad de la lámina inferior generada por el codificador inferior y la señal del sensor de este puente S1 obtenemos el tiempo de llegada de lámina inferior a la distancia de fijación (d) por medio de la siguiente formula.

$$\text{Tiempo llegada laminas } t (s) = \frac{d*60}{2 \pi * n_I * d_I} = \frac{60 d}{2 \pi * n_I * d_I} \quad (3.2)$$

Donde:

*d*: distancia referencia de laminas sensores a zona de pegado (mm)

*n<sub>I</sub>*: Velocidad del rodillo inferior por medio del codificador (rpm)

*d<sub>I</sub>*: Diametro del rodillo inferior (mm)

En la compensación automática existen dos casos relevantes, cuando la lámina superior tiene que adelantar su movimiento y cuando tiene que retrasarlo con respecto al tiempo de llegada de la lámina inferior en el tiempo  $t$ . Si es en adelanto o atraso nos lo entrega la activación de los sensores  $S_1$  y  $S_2$ .

Cuando  $S_1$  se activa un tiempo ( $t_1$ ) antes que  $S_2$  nos encontramos en adelanto y la lámina superior tiene que aumentar su velocidad para llegar en el mismo tiempo ( $t$ ). Entonces, la velocidad a la que debe llegar el servomotor para mover la cinta con respecto a la velocidad del encoder externo ( $V_{EE}$ ) viene dado por:

$$\begin{aligned}
 t &= t - t_1 \\
 d &= d \\
 V_{EE} * t &= V_{EE} * t + \frac{1}{2}at^2 = V_{EE}(t - t_1) + \frac{1}{2}\left(\frac{V_C - V_{EE}}{t - t_1}\right)(t - t_1)^2 \\
 V_C &= \frac{t+t_1}{t-t_1} * V_{EE}
 \end{aligned} \tag{3.3}$$

Por otro lado, cuando  $S_2$  se activa un tiempo ( $t_2$ ) antes que  $S_1$  nos encontramos en atraso y la lámina superior tiene que reducir su velocidad para llegar en el mismo tiempo ( $t$ ). Entonces, la velocidad a la que debe disminuir el servomotor para mover la cinta con respecto a la velocidad del encoder externo ( $V_{EE}$ ) viene dado por:

$$\begin{aligned}
 t &= t + t_2 \\
 d &= d \\
 V_{EE} * t &= V_{EE} * t + \frac{1}{2}at^2 = V_{EE}(t + t_2) + \frac{1}{2}\left(\frac{V_C - V_{EE}}{t + t_2}\right)(t + t_2)^2 \\
 V_C &= \frac{t-t_2}{t+t_2} * V_{EE}
 \end{aligned} \tag{3.4}$$

Finalmente, para un caso u el otro se debe convertir la velocidad de la cinta calculada para las características de nuestro sistema, agregando la relación de rodillos de accionamiento y la reducción del servomotor y encontramos la velocidad que debe tener el servomotor.

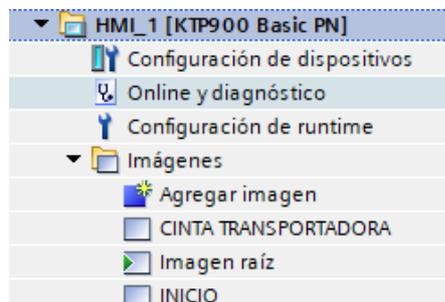
$$V_{Cinta}(rpm) = V_C * \frac{D_{RodilloInferior}(mm)}{D_{RodilloCinta}(mm)} * Relación_{Servomotor} \tag{3.5}$$

La programación de ambos modos de operación de nuestro sistema se muestra en detalle en el apéndice E, en el cual mostramos cada uno de los bloques de funciones creados para este proyecto y sus iniciaciones en el bloque MAIN (OB1).

En el apéndice E se realiza la explicación de la programación de cada uno de los bloques de funciones y la lógica de funcionamiento de la cinta transportadora en lenguaje LADDER, utilizando distintos bloques como temporizadores, accionamientos, objetos tecnológicos, cálculos aritméticos almacenados y funcionando en distintos tipos de variables.

### 3.2.3 Pantalla HMI

Para la pantalla de operación de la máquina se utilizan tres imágenes principales como se muestra en la Figura 3.17, en estas imágenes solo se encuentran las secciones de interés del proceso, sin embargo, el esquema es general para toda la laminadora.



**Figura 3.17 Imágenes creadas para HMI**

Primero se muestra la imagen raíz de inicio del proceso la cual se presenta la laminadora como se observa en la Figura 3.18. Al hacer clic en el botón EMPEZAR nos muestra la imagen de inicio del proceso.



**Figura 3.18 Imagen raíz**

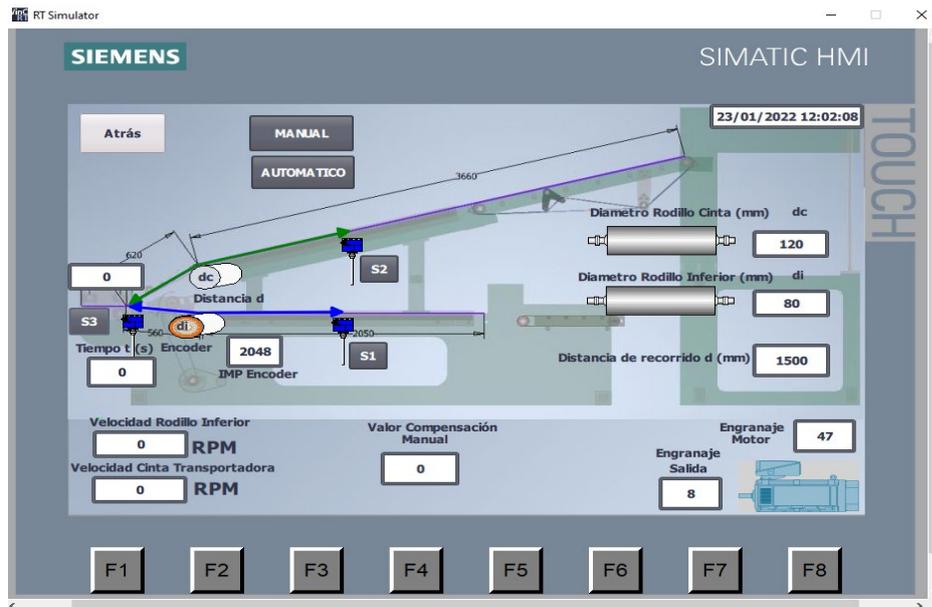
Dentro de la imagen de INICIO, Figura 3.19 nos muestra las diferentes estaciones que tiene la máquina, en ellas se pueden colocar los parámetros de control necesarios para llevar a cabo todo el proceso, junto con los botones Start y Stop para comenzar y terminar el arranque de la máquina.

Al hacer clic en el botón cinta transportadora nos permite abrir la imagen de las configuraciones de nuestra mejora en el proceso incorporando el nuevo mecanismo.



**Figura 3.19 Imagen de Inicio**

En la Figura 3.20, se muestra la pantalla que nos permite realizar todas las configuraciones mencionadas en el proceso, los modos de operación, la asignación de los parámetros del modelo como los diámetros de los rodillos, la relación de reducción del servomecanismo, el IMP del codificador, y como valores de lectura tenemos las velocidades del rodillo inferior y la de la cinta transportadora, así como el conteo de las láminas.



**Figura 3.20 Imagen de cinta transportadora**

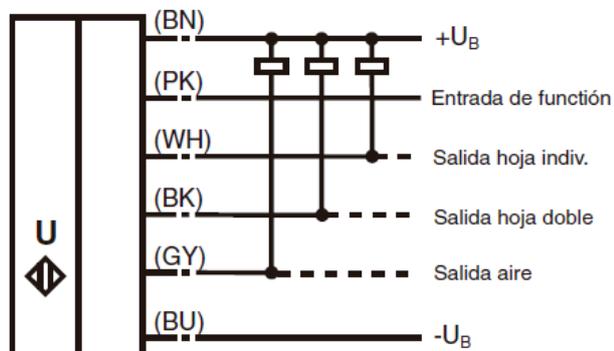
### 3.2.4 Sensor de doble hoja

Para retroalimentar al sistema de la sincronización de las dos láminas, se usará un sensor ultrasónico UDC-18GM (Figura 3.21), este permitirá conocer si las láminas llegaron alineadas o no a la zona de pegado, de tal forma que pueda retroalimentar al sistema de compensación en caso de que haya una variación de registro, para rápidamente realizar correcciones al respecto y que las siguientes láminas estén completamente sincronizadas.



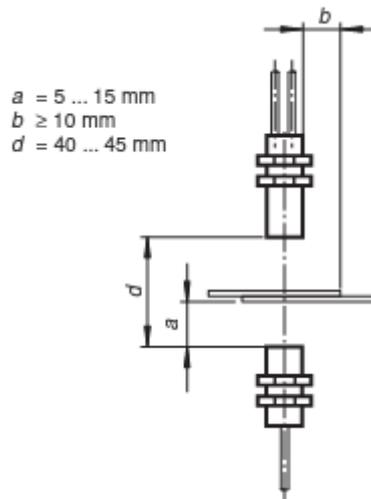
**Figura 3.21 Sensor UDC-18GM [18]**

Este sensor cuenta con 6 conexiones como se puede apreciar en la Figura 3.22, dos de alimentación, una entrada de función (PK), que permitirá asignar parámetros al sensor, y por último tres salidas digitales las cuales son para la detección de una sola hoja, de doble hoja y para cuando no hay nada en la trayectoria del sensor.



**Figura 3.22 Entradas y salidas del sensor UDC-18GM [18]**

Por otro lado, para un correcto funcionamiento del sensor, el emisor y receptor deben estar exactamente centrados entre sí; también se debe considerar algunas distancias recomendadas como se observa en la Figura 3.23.

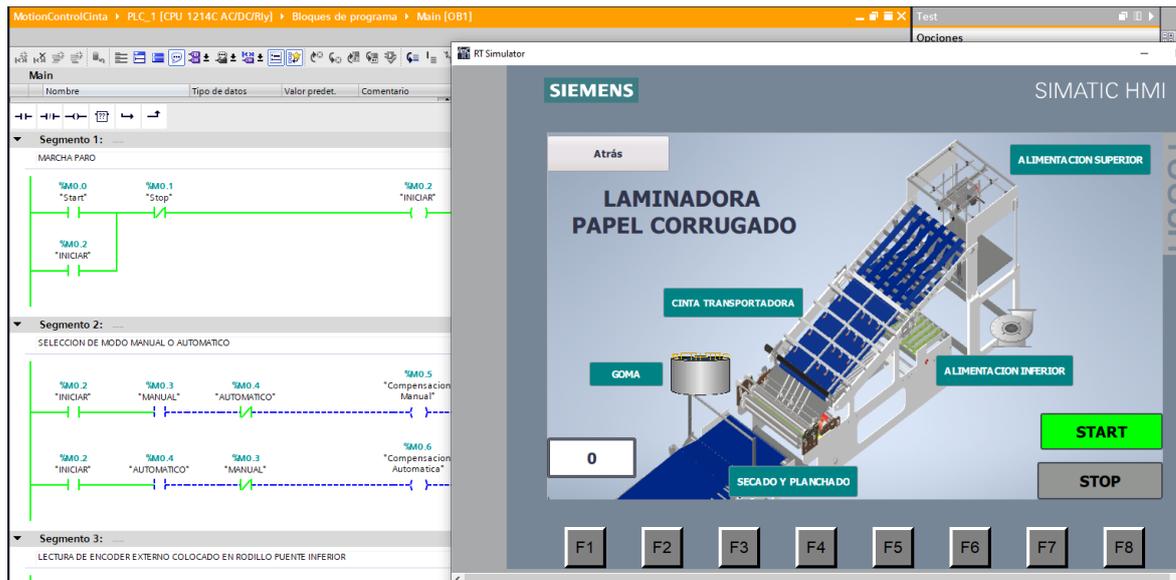


**Figura 3.23 Distancias recomendadas para el sensor [18]**

### 3.3 Simulación del sistema

En lo concerniente a la simulación del sistema de sincronización y todos sus componentes desde el software de TIA PORTAL como un área de funcionamiento adicional podemos destacar la posibilidad de incorporar todas las estaciones de la máquina laminadora de papel corrugado y de esta manera reestructurar su modo de operación otorgándole una mejor confiabilidad de los procesos y técnicas de automatización utilizadas en la industria para máquinas modernas.

En la Figura 3.24 mostramos a la derecha la pantalla de simulación del HMI con un diagrama de todas las estaciones de la máquina y al costado izquierdo podemos observar el correcto funcionamiento del segmento 1 para marcha y paro del sistema al presionar el botón se START que permite habilitar los demás segmentos con la marca INICIAR.



**Figura 3.24 Simulación – Encendido del sistema**

Seguido, en la Figura 3.25, se muestra las opciones de parámetros para el funcionamiento de la cinta transportadora implementada; adicional podemos observar que nos encontramos en el modo manual ya que tenemos marcado con verde el botón de MANUAL y a su vez en las líneas de programación vemos que al activar con dicho botón se activa el bloque de compensación manual del sistema por medio del segmento 3 del bloque MAIN OB1.

Podemos observar que al seleccionar un valor de compensación de 1 y una lectura de velocidad del rodillo inferior (diámetro 80 mm) de 308 RPM nos entrega una velocidad de la cinta medida desde el servomotor de 1206 RPM en este valor se considera ya la reducción del servomotor ( $47/8$ ) y el rodillo de la cinta (diámetro 120 mm), por lo que podemos afirmar que la compensación de transporte es correcta.

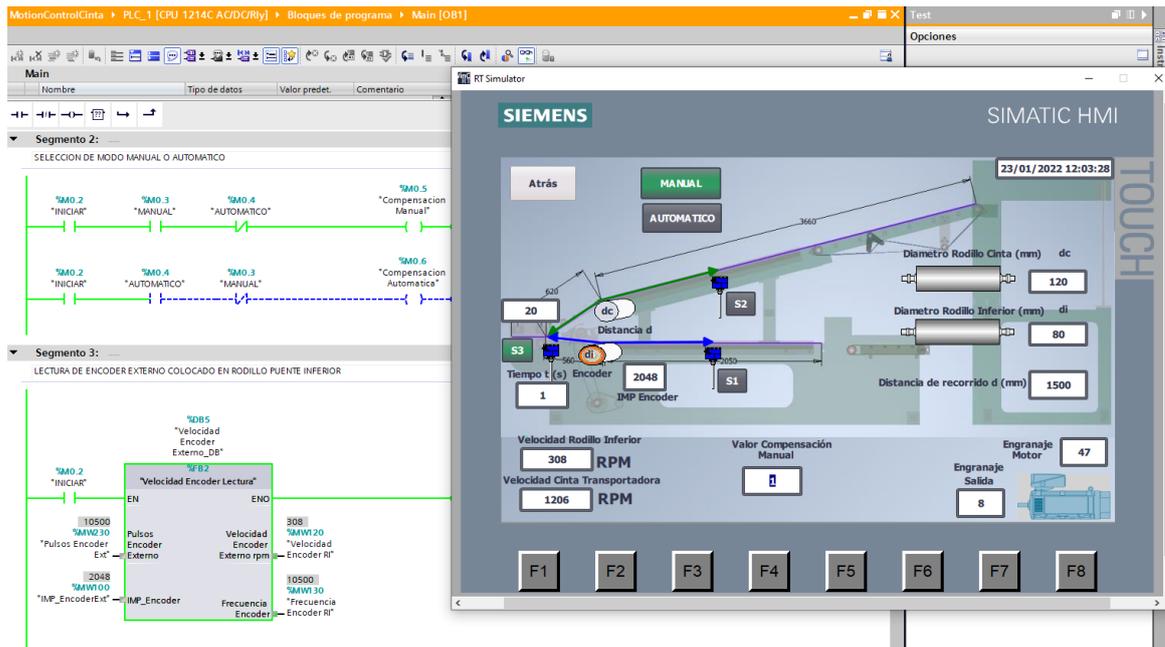


Figura 3.25 Simulación – Modo manual

Finalmente, en la Figura 3.26 podemos observar el funcionamiento del sistema en modo automático, en la cual a través del botón de AUTOMATICO colocado en la pantalla HMI podemos activar este modo en los parámetros de programación del PLC; en el segmento 6 indicamos que al estar iniciado el sistema y activada la marca de la compensación automática el gestor inicializa el bloque de función de Laminación Auto.

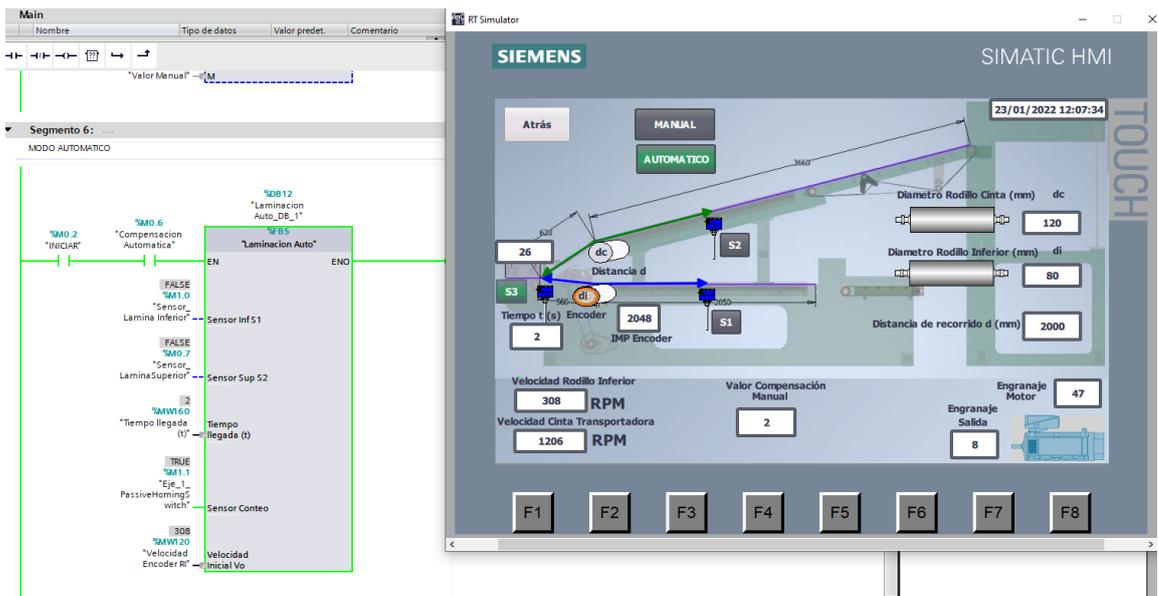


Figura 3.26 Simulación – Modo automático

En la Figura 3.27 podemos observar este bloque de función ejecutándose en tiempo real, en la cual a través de los sensores S1 y S2 simulamos las entradas físicas del PLC y activamos el sistema automático en adelanto, podemos observar que calcula el tiempo  $t_1$  y lo ingresa en el bloque CALCULATE junto con los demás parámetros del equipo para obtener la velocidad que la cinta debe alcanzar para asegurar que la lámina superior llegue a la zona de pegado en el mismo tiempo  $t$  que llega la lámina inferior.

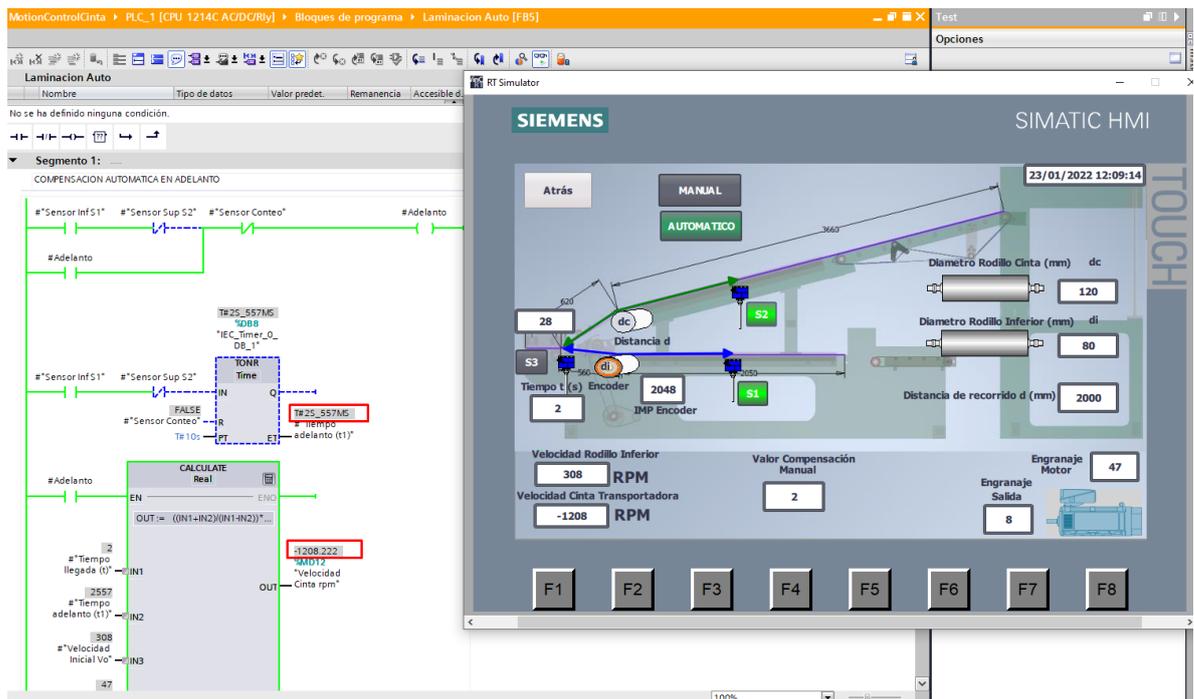


Figura 3.27 Simulación – Compensación automática en adelanto

### 3.4 Análisis de costos

En la Tabla 3.2 se presentan los costos de esta propuesta considerando los rubros para el diseño mecánico, eléctrico, control, así como también un costo adicional por el diseño e implementación de la cinta transportadora.

Entre los valores de esta cotización se muestra un precio mayor en los componentes del diseño mecánico, donde sus valores más significativos se centran en los componentes de fabricación de los rodillos, engranajes, y la adquisición de la banda plana especializada en el procesamiento del papel. Por otra parte, en el diseño eléctrico y control, el servomotor, su controlador, junto con el autómat y la pantalla HMI aportan en gran cantidad a este precio de cotización.

**Tabla 3.2 Cotización de rubros**

Tipo de Sistema	Descripción	Cantidad	Unidad	Precio Unidad (USD)	Precio Total USD
Mecánico	Fabricación y mecanizado del eje motriz ø120 L=1765 mm Acero	1	UND	\$ 700,00	\$ 700,00
	Fabricación y mecanizado del rodillo tensor ø120 L=1872,4 mm Acero	1	UND	\$ 750,00	\$ 750,00
	Fabricación y mecanizado de los ejes de presión ø60 L=1650 mm Acero	2	UND	\$ 350,00	\$ 700,00
	Engranajes Material-34 CrNiMo6	3	PAR	\$ 148,67	\$ 446,01
	Fabricación de base encoder	1	UND	\$ 75,00	\$ 75,00
	Banda UU N12 RFQ FG de Poliuretano 4,5 x 1,2 mts	1	MTRS	\$ 3.362,00	\$ 3.362,00
	Fabricación base de deslizamiento de la banda 1100 x 1800 mm	1	UND	\$ 150,00	\$ 150,00
	Elementos de sujeción (Pernos, tuercas)	1	UND	\$ 75,00	\$ 75,00
	Rodamiento UCF 209	1	UND	\$ 52,52	\$ 52,52
	Rodamiento 209 NR	1	UND	\$ 98,47	\$ 98,47
	Rodamiento UCFL 208	6	UND	\$ 40,48	\$ 242,88
	Ruedas 50mm	16	UND	\$ 6,00	\$ 96,00
	Materiales estructura (Guías para la Lamina superior, sistema de tensión de la banda, vigas para la base de deslizamiento)	1	UND	\$ 400,00	\$ 400,00
	Eléctrico y Control	PLC S7 1200 CPU 1214C AC/DC/RLY	1	UND	\$ 665,00
Pantalla HMI SIEMENS 9"		1	UND	\$ 2.001,89	\$ 2.001,89
Servodrive G120 CU250S		1	UND	\$ 249,78	\$ 249,78
Servomotorreductor 1FK7063-5AF71-1		1	UND	\$ 1.956,08	\$ 1.956,08
Sensores de proximidad G18 3A10NAT Fotoeléctrico NPN NO Sn 10cm 10-30VDC		2	UND	\$ 18,21	\$ 36,42
Sensor Ultrasónico UDC-18GM		1	UND	\$ 400,00	\$ 400,00
Encoder incremental RS PRO, 2048 impulsos/rev, 6000rpm máx., salida HTL Invertido, 5 → 30 V dc, IP65		1	UND	\$ 269,02	\$ 269,02
Disyuntor diferencial DZ47LE-32 1P+N C25 30mA		1	UND	\$ 24,50	\$ 24,50
Guardamotor Siemens 3RV 2021 - 4BA10 14.0 - 20.0A		1	UND	\$ 79,26	\$ 79,26
Gastos varios	Diseño de la propuesta en base a requerimientos específicos de cada cliente. 120 horas x \$15	1	UND	\$ 1.800,00	\$ 1.800,00
	Costo de instalación e implementación en caso de aceptar la propuesta. 80 horas x \$15	1	UND	\$ 1.200,00	\$ 1.200,00
	Viáticos	1	UND	\$ 500,00	\$ 500,00
				<b>Total</b>	<b>\$ 16.329,83</b>

También se considera entre los rubros el costo del diseño de esta propuesta de solución y la implementación de la cinta transportadora dentro de la máquina considerando un tiempo para diseño e implementación de 120 y 80 horas por dos personas con una tarifa de \$15 por hora, así como también un valor fijo para viáticos de \$500.

El costo total de la adaptación de la cinta transportadora se encuentra dentro de los valores comerciales de cintas transportadoras de distintos tipos de marcas y modelos promocionadas desde plataformas web como Alibaba como se puede ver en la Tabla 3.3 y la Figura 3.28. Considerando que estas cintas transportadoras comerciales no cuentan con sistemas de compensación automático y su adquisición se manejaría bajo importación por lo que su costos e impuestos aumenta.

**Tabla 3.3 Comparativo de bandas transportadoras similares**

Modelo	Marca	Precio Cintas Transportadoras
JW-UM	APOLLO	\$ 16.000,00
JW-A	APOLLO	\$ 20.000,00
JW-B	APOLLO	\$ 11.000,00
PCV3	Bestlink	\$ 10.000,00
BFW	Leizhan	\$ 15.000,00
<b>Diseño Propuesto</b>		<b>\$ 16.329,83</b>



**Figura 3.28 Comparación de precios de cintas transportadoras**

Por otro lado, se realiza el análisis de esta inversión comparándola con los costos por pérdida en desperdicio, presentado en la Tabla 3.4 Recuperación de capital, en la cual representa \$2 970 dólares al mes con un tiempo de recuperación de inversión de aproximadamente 6 meses.

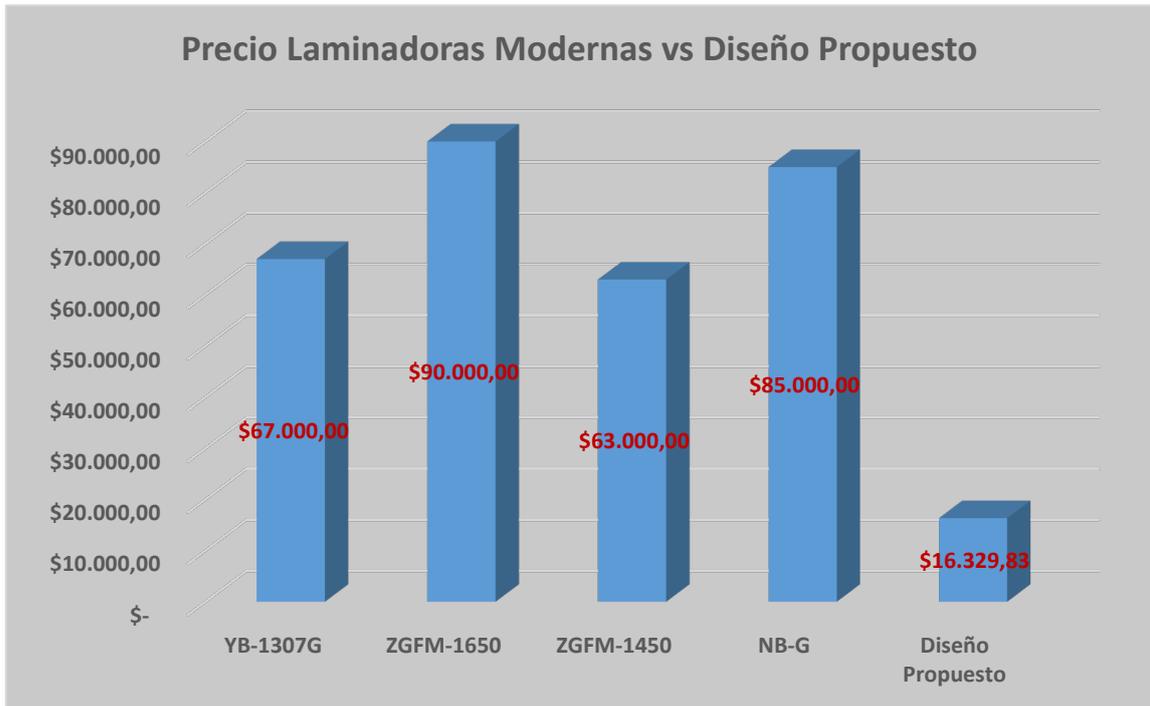
**Tabla 3.4 Recuperación de capital**

<b>Toneladas de cartón producidas</b>	<b>11000</b>
Porcentaje de papel utilizado en laminadora	0,10%
<b>Total de toneladas utilizadas /mes</b>	<b>11</b>
Costo de tonelada métrica de papel	\$ 900,00
<b>Costo total de materia prima al mes</b>	<b>\$ 9.900,00</b>
Desperdicio actual	30%
<b>Pérdida en dólares por desperdicio</b>	<b>\$ 2.970,00</b>
Costo Diseño Propuesto	\$ 16.329,83
<b>Cantidad de meses para recuperar inversión</b>	<b>5,50</b>

Finalmente, se realiza el comparativo de cuanto representa este costo de inversión frente a los precios de máquinas laminadoras modernas que tienen costos semi automatizados y las mismas características, dimensiones y funciones que este equipo como se muestra en la Tabla 3.5 Comparativos con máquinas laminadoras modernas y la Figura 3.29. Los costos de 5 máquinas contra encoladoras de origen chino tienen un valor promedio de \$76 250 por lo que el costo de nuestro diseño representa cerca de un 21% del costo total de una máquina nueva.

**Tabla 3.5 Comparativos con máquinas laminadoras modernas**

<b>Modelo</b>	<b>Marca</b>	<b>Capacidad de Producción</b>	<b>Precio</b>
YB-1307G	YOUBOND	150 m /min	\$ 67.000,00
ZGFM-1650	Innovo	150 m /min	\$ 90.000,00
ZGFM-1450	Innovo	150 m /min	\$ 63.000,00
NB-G	Koten	150 m /min	\$ 85.000,00
<b>Precio Promedio</b>			<b>\$ 76.250,00</b>
<b>Diseño Propuesto</b>		150 m /min	\$ 16.329,83
		<b>Porcentaje</b>	<b>21,42%</b>



**Figura 3.29 Precio de laminadoras modernas vs diseño propuesto**

# CAPÍTULO 4

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1 Conclusiones

La adaptación de la cinta transportadora superior cumple con el objetivo principal de diseñar un sistema de sincronización de las láminas de papel con la funcionalidad de ser controlable por los usuarios y monitorear el proceso, ajustándolo hasta reducir en lo mínimo el valor de desperdicio del papel impreso y papel corrugado por un mal pegado.

El diseño de los componentes principales del sistema de compensación de la lámina superior fue validado a través del análisis de elementos finitos, mismo que fue simulado en el software Inventor. Para el caso del eje motriz, se obtuvo como resultado un factor de seguridad de 15, por tal motivo se puede deducir que las fuerzas que se ejercen sobre el eje no afectarán en su integridad mecánica, entonces no fallará por fatiga. Por otro lado, para los engranajes de la transmisión del sistema se obtuvo factores de seguridad contra la corrosión y contra la rotura por encima de 3, garantizando que la potencia se transmita correctamente. Esto permite inferir que los componentes diseñados son válidos para esta aplicación y tendrán una larga vida útil siempre y cuando se realicen los respectivos mantenimientos preventivos.

La lógica de control de nuestro sistema fue validada mediante la simulación de la programación de los componentes y los diferentes casos posibles de compensación utilizando el software de TIA PORTAL, el cual permitió visualizar la interfaz y procesos de toda la máquina a través de la pantalla HMI, así como la integración con su programación respectiva. El PLC S7-1200 es un controlador de escala media alta por lo que nos permite incorporar múltiples funciones como Motion Control para control con precisión de la posición y velocidad de procesos industriales.

Este diseño, al ser de compra y fabricación local, con componentes del mismo tipo de adquisición nos permite reducir significativamente su valor si lo comparamos con cintas transportadoras convencionales y representado en un 21% del precio total de una máquina laminadora moderna, nos da posibilidad de escalar este diseño e integrarlo a todas las estaciones de la máquina controladas por el mismo autómatas y pantalla adquiridos para el sistema de compensación de láminas realizando un control centralizado del equipo y mejorando el proceso.

## **4.2 Recomendaciones**

El presente proyecto está diseñado para una cinta transportadora con la velocidad máxima de 150m/min para láminas con ancho de hasta 1200mm por medio de la banda transportadora por lo que si se requieren láminas de dimensión mayor se recomienda adaptar una banda de arrastre con dichas especificaciones y asegurándose que el material de la banda sea de características similares a la banda plana de procesamiento presentada en este trabajo.

El mantenimiento de la cinta transportadora y del equipo en general es fundamental para garantizar la confiabilidad del proceso y evitar paradas de máquina durante la producción. Entre las actividades de mantenimiento necesarias se recomienda la inspección y limpieza la banda de transporte periódicamente, así como también la lubricación de los rodamientos y chumaceras en los rodillos de accionamiento y presión de la cinta, revisión de nivelación de la cinta transportadora lado máquina en comparación con lado de operación y revisión periódica del servomotor y limpieza del polvo y suciedad del tablero eléctrico.

Nuestro diseño, que propone una mejora en la compensación de pegado de láminas por medio de la cinta transportadora, nos ofrece una solución confiable a este problema sin embargo se recomienda realizar distintos trabajos en las demás estaciones para garantizar su operatividad. Entre las actividades a tomar en consideración destacan la revisión y corrección de holguras en rodillos de alimentación, presión y pegado, revisión de estado de cadenas de transmisión, corrección de nivel de estructura y guías lado operador, centro y lado transmisión, reemplazo de ventosas de alimentación superior.

# BIBLIOGRAFÍA

- [1] Corrugando, «Asociación de Corrugadores del Caribe, Centro y Sur América,» [En línea]. Available: <http://www.acccsa.org/Magazine>. [Último acceso: 3 Noviembre 2021].
- [2] D. Escalante y Z. Leopoldo, «Diseño de un Sistema de Transporte Neumático a Presión Positiva de Desperdicios Generados por una Industria Cartonera,» Guayaquil, 2013.
- [3] M. Ortiz, «Propuesta para la certificación del sistema de gestión de la calidad para el Laboratorio de pruebas de una planta de fabricación de empaques de cartón,» 2015.
- [4] R. Blog, «Cartón Corrugado: Tipos y usos en el embalaje,» 11 Octubre 2018. [En línea]. Available: <https://www.rajapack.es/blog-es/productos/carton-corrugado-tipos-usos-embalaje/>. [Último acceso: 31 Octubre 2021].
- [5] W. Wissen, «Katox,» [En línea]. Available: <https://kartox.com/blog/calcular-la-calidad-una-caja-carton/>. [Último acceso: 30 Octubre 2021].
- [6] A. Gao, «Wity Machinery: Máquina laminadora de cartón semiautomática,» 2019. [En línea]. Available: <http://www.wutaimachinery.com/carton-laminating-machine/fmt-1300-1450-semi-automatic-carton-laminating-machine>. [Último acceso: 1 Noviembre 2021].
- [7] G. Mao, «Youbond: Laminadora de cartón y papel de alta velocidad,» [En línea]. Available: <http://laminating-videos.com/1-4-high-speed-laminator/>. [Último acceso: 1 Noviembre 2021].
- [8] Chris, «Made in China,» [En línea]. Available: [https://es.made-in-china.com/co\\_cninnovo/product\\_Laminator-New-Design-Flute-Laminating-Machine-Paper-Board-Carton\\_ehurrrsy.html](https://es.made-in-china.com/co_cninnovo/product_Laminator-New-Design-Flute-Laminating-Machine-Paper-Board-Carton_ehurrrsy.html). [Último acceso: 1 Noviembre 2021].
- [9] Glatten, «SCHMALS: Ventosas para lámina y papel,» [En línea]. Available: <https://www.schmalz.com/es/tecnica-de-vacio-para-la-automatizacion/componentes-de-vacio/ventosas-de-vacio/ventosas-para-lamina-y-papel/>. [Último acceso: 4 Noviembre 2021].

- [10] G. Mao, «Youbond,» Alimentador de papel y cartón, [En línea]. Available: <http://auto-laminating.com/7-automatic-feeding-machine.html>. [Último acceso: 2 Noviembre 2021].
- [11] Stormits Consulting Group, «Maqui Corrugado: Laminadora Multipliegos Automática,» [En línea]. Available: <https://www.maquicorrugado.com/shop/laminadora-multipliegos-automatica/>. [Último acceso: 29 Octubre 2021].
- [12] Z. Jalisco, «Papel Diseño y Color S.A. de C.V,» Nuevo Mexico, 2005.
- [13] F. Cruz y S. Ulises, «Resideño de máquina colaminadora para la fabricación de papel corrugado,» Bogotá, 2020.
- [14] F.-y. Zhang y C. Jian-lei, «Research on the Improving Design of Laminating Machine Based on Lean Six Sigma,» China.
- [15] Habasit AG, «Cintas Transportadoras con estructura de tejido Guia de Ingeniería,» 6039, Suiza, 2020.
- [16] Ammeraal Beltech, «RAPPLON® Flat Belts for the Printing & Print Finishing Industry,» Belt Selection Guide, Holanda, 2021.
- [17] Forbo Siegling Movement Systems, «Bandas de transporte y procesamiento,» Calculo de la banda transportadora, Berlin Alemania, 2021.
- [18] G. Kegel, «Pepperl+Fuchs,» 2019. [En línea]. Available: [https://www.pepperl-fuchs.com/mexico/es/classid\\_182.htm](https://www.pepperl-fuchs.com/mexico/es/classid_182.htm). [Último acceso: 29 Enero 2022].
- [19] R. Mott, E. Vavrek y J. Wang, Machine Elements in Mechanical Design, New York: Sexta Edición, 2004.
- [20] N. R. L., Diseño de Maquinas, México: Cuarta Edición, 2011.
- [21] Grupo SKF, «SKF Bearing Select,» 2021. [En línea]. Available: <https://skfbearingselect.com/#/bearing-selection-start>. [Último acceso: 08 Enero 2022].

# APÉNDICES

# APÉNDICE A

## SELECCIÓN DE BANDA TRANSPORTADORA

### Terminología

Significado de las abreviaturas

Denominación	Abreviatura	Unidad
Ancho del tambor/rodillo	b	mm
Ancho de la banda	b <sub>0</sub>	mm
Factores de cálculo	C	-
Diámetro del tambor/rodillo	d	mm
Diámetro del tambor motriz	d <sub>A</sub>	mm
Coefficiente de resistencia de los rodillos de apoyo	f	-
Fuerza de tensión	F	N
Fuerza de tracción máxima de la banda (en el tambor motriz)	F <sub>1</sub>	N
Fuerza de tracción mínima de la banda (en el tambor motriz)	F <sub>2</sub>	N
Fuerza del contrapeso	F <sub>R</sub>	N
Fuerza tangencial	F <sub>U</sub>	N
Peso del tambor tensor	F <sub>TS</sub>	N
Carga sobre ejes en reposo en el tambor motriz	F <sub>WA</sub>	N
Valor inmediato de la carga sobre ejes	F <sub>Winstacione</sub>	N
Carga sobre ejes en reposo en el tambor de reenvío	F <sub>WU</sub>	N
Aceleración de la gravedad (9,81 m/s <sup>2</sup> )	g	m/s <sup>2</sup>
Diferencia entre los radios de los tambores (Conicidad)	h	mm
Altura de transporte	h <sub>T</sub>	m
Fuerza de tracción relajada de la banda con una elongación del 1 % por unidad de anchura	k <sub>1%</sub>	N/mm
Distancia entre los rodillos de apoyo superiores	l <sub>0</sub>	mm
Longitud de transición	l <sub>S</sub>	mm
Distancia entre los rodillos inferiores	l <sub>U</sub>	mm
Longitud geométrica de la banda	L <sub>g</sub>	mm
Longitud de transporte	l <sub>T</sub>	m
Masa de la mercancía transportada en toda la longitud de transporte (carga total)	m	kg
Masa de la mercancía transportada en la parte superior (carga total)	m <sub>1</sub>	kg
Masa de la mercancía transportada en la parte inferior (carga total)	m <sub>2</sub>	kg
Masa de la banda	m <sub>B</sub>	kg
Masa de la mercancía transportada por m de longitud de transporte en la parte superior (carga lineal)	m' <sub>0</sub>	kg/m
Masa de todos los tambores, excepto el tambor motriz	m <sub>B</sub>	kg
Masa de la mercancía transportada por m de longitud de transporte en la parte inferior (carga lineal)	m' <sub>u</sub>	kg/m
Potencia mecánica del motor	P <sub>M</sub>	kW
Potencia mecánica calculada en el tambor motriz	P <sub>A</sub>	kW
Tolerancia de suministro	Tol	%
Coefficiente de fricción para marcha sobre rodillo	μ <sub>R</sub>	-
Coefficiente de fricción para acumulación	μ <sub>ST</sub>	-
Coefficiente de fricción para marcha sobre mesa	μ <sub>T</sub>	-
Velocidad de la banda	v	m/s
Flujo volumétrico en el transporte de mercancía a granel	Ŵ	m <sup>3</sup> /h
Carrera de tensado total	X	mm
Flecha de la banda	y <sub>B</sub>	mm
Flecha del tambor	y <sub>T</sub>	mm
Reserva de tensado	Z	mm
Ángulo de inclinación de la instalación	α	°
Ángulo de contacto en el tambor motriz (o tambor de presión)	β	°
Ángulo de apertura en el tambor tensor	γ	°
Alargamiento de la banda (pretensado del peso)	ΔL	mm
Ángulo de inclinación admisible para mercancía a granel	δ	°
Elongación de montaje	ε	%

Figura A. 1 Terminologías catálogo de selección de cintas transportadoras [17]

## Instalaciones de transporte de mercancía en bultos

		Ejemplos de carga para calcular la fuerza tangencial máxima $F_U$ [N]	
$m = l_T \cdot \text{peso por metro de la mercancía transportada}$ $F_U = \mu_R \cdot g \cdot (m + m_B + m_R)$ [N]			
$F_U = \mu_T \cdot g \cdot (m + \frac{m_B}{2}) + \mu_R \cdot g \cdot (\frac{m_B}{2} + m_R)$ [N]			
$F_U = \mu_T \cdot g \cdot (m_1 + m_2 + m_B)$ [N]			
Sentido de transporte ascendente: $F_U = \mu_R \cdot g \cdot (m + m_B + m_R) + g \cdot m \cdot \sin \alpha$ [N] Sentido de transporte descendente: $F_U = \mu_R \cdot g \cdot (m + m_B + m_R) - g \cdot m \cdot \sin \alpha$ [N]			
Sentido de transporte ascendente: $F_U = \mu_T \cdot g \cdot (m + \frac{m_B}{2}) + \mu_R \cdot g \cdot (\frac{m_B}{2} + m_R) + g \cdot m \cdot \sin \alpha$ [N] Sentido de transporte descendente: $F_U = \mu_T \cdot g \cdot (m + \frac{m_B}{2}) + \mu_R \cdot g \cdot (\frac{m_B}{2} + m_R) - g \cdot m \cdot \sin \alpha$ [N]			
$F_U = \mu_T \cdot g \cdot (m + \frac{m_B}{2}) + \mu_R \cdot g \cdot (\frac{m_B}{2} + m_R) + \mu_{GT} \cdot g \cdot m$ [N]			

Figura A. 2 Tipos de Instalación de cintas transportadoras [17]

$$F_U = \mu_T \cdot g \left( m + \frac{m_B}{2} \right) + \mu_R \cdot g \left( m_R + \frac{m_B}{2} \right) - g \cdot m \cdot \sin \alpha$$

$$F_1 = F_U \cdot C_1$$

Factor $C_1$ (válido para el tambor motriz)	Recubrimiento de la cara inferior Siegling Transilon			V1, U1, UH, U2H V2H, V5H			0, U0, NOVO, E0, A0, T, P		
	V3, V5, U2, A5, E3			180°	210°	240°	180°	210°	240°
Ángulo de contacto $\beta$									
Tambor de acero liso									
Seco	1,5	1,4	1,3	1,8	1,6	1,5	2,1	1,9	1,7
Mojado	3,7	3,2	2,9	5,0	4,0	3,0	No recomendable		
Tambor con forro de fricción									
Seco	1,4	1,3	1,2	1,6	1,5	1,4	1,5	1,4	1,3
Mojado	1,8	1,6	1,5	3,7	3,2	2,9	2,1	1,9	1,7

Figura A. 3 Factor  $C_1$  para rodillo motriz de cinta [17]

$$\frac{F_1}{b_0} \leq C_2 \rightarrow \frac{F_1}{b_0} \leq \varepsilon_{max} \cdot k_{1\%}$$

Factor C<sub>2</sub> (control del tipo Siegling Transilon seleccionado)

$$\frac{F_1}{D_0} \leq C_2 \left[ \frac{N}{\text{mm}} \right]$$

Si el valor  $\frac{F_1}{D_0}$  es mayor que C<sub>2</sub>,

debe utilizarse un tipo de banda con un valor k<sub>1%</sub> más elevado.

C<sub>2</sub> es una magnitud que indica la elongación de servicio máxima permitida del tipo de banda:

$$C_2 = \epsilon_{\text{máx}} \cdot k_{1\%}$$

Las hojas de datos de los productos incluyen información importante sobre las elongaciones de servicio máximas.

Si no están disponibles, pueden adoptarse los siguientes valores no vinculantes:

Tipo de elemento tractor	Poliéster Poliéster (letra identificativa "E")	Aramida (letra identificativa "AE")
Ejemplos de clases de tipos $\epsilon_{\text{máx}}$ en %	E 2/1, E 3/1, E 4/2, E 6/1, NOVO, E 8/2, E 10/M, E 12/2, E 15/2, E 15/M, E 18/3, E 20/M, E 30/3, E 44/3	AE 48/H, AE 80/3, AE 100/3, AE 140/H, AE 140/3
	2,0	0,8

Figura A. 4 Factor C2 para elongación máxima permitida de la cinta [17]

## Belt selection guide

### Technical data RAPPLON® Flat Belts for Print and Post Printing

Belt type	Article number	Belt thickness in mm	Min. pulley Ø in mm	Belt factor at 1% / $\epsilon_{1\%}$ in N/mm	Recommended elongation [%]	Thermal application range [°C]	Cover running side	Cover back side	Tension member	Splice
<b>Process belts with low friction on both side</b>										
TT E05.11 Q	54599	1.10	25	5	0.5 - 2.1	+0 / +60	Polyester fabric	Polyester fabric	Polyester fabric	QS
TT E09.18 Q	54598	1.85	25	9	0.5 - 2.1	+0 / +60	Mixed fabric	Mixed fabric	Polyester fabric	QS
TT P02.12 Q	54601	1.20	10	2	1.0 - 2.0	+0 / +60	Polyamide fabric	Polyamide fabric	Polyamide fabric	QS
TT S02.10 C	54750	1.00	10	2	2.0 - 3.0	+0 / +80	Polyamide fabric	Polyamide fabric	Polyamide foil	Skive
TT S04.12 C	54751	1.20	20	4	2.0 - 3.0	+0 / +80	Polyamide fabric	Polyamide fabric	Polyamide foil	Skive
<b>Process belts with high friction at process side</b>										
PG E05.12 SFQ	54630	1.20	20	5	0.5 - 2.0	+0 / +60	Thermopl. elastomer	XNBR elastomer	Polyester fabric	QS
PG E08.18 SFQ	54631	1.85	30	8	0.5 - 2.0	+0 / +60	Thermopl. elastomer	XNBR elastomer	Polyester fabric	QS
TG E04.12 RQ	54624	1.25	15	4	0.5 - 2.0	+0 / +60	Polyester fabric	XNBR elastomer	Polyester fabric	QS
TG E18.20 P5C	57239	2.00	60	18	0.2 - 0.6	-0 / +80	Polyester fabric	NBR elastomer	Polyester fabric	Skive
TG P03.12 FC	54525	1.25	25	3	0.2 - 0.6	-0 / +80	Polyamide fabric	XNBR elastomer	Polyamide fabric	Skive
TG P04.20 RC	54265	2.00	25	3.8	0.2 - 0.6	-0 / +80	Polyamide fabric	NBR elastomer	Polyamide fabric	Skive
TG P07.29 RC	54266	2.90	50	7	0.2 - 0.6	-0 / +80	Polyamide fabric	NBR elastomer	Polyamide fabric	Skive
TG P07.41 RC	54267	4.10	60	7	0.2 - 0.6	-0 / +80	Polyamide fabric	NBR elastomer	Polyamide fabric	Skive
TG P07.60 RC	54268	6.00	100	7	0.2 - 0.6	-0 / +80	Polyamide fabric	NBR elastomer	Polyamide fabric	Skive
TG S04.14 RC	54261	1.40	20	4	2.0 - 3.0	-0 / +80	Polyamide fabric	XNBR elastomer	Polyamide foil	Skive
TG S04.12 RC	54269	1.25	20	4	2.0 - 3.0	-0 / +80	Polyamide fabric	NBR elastomer	Polyamide foil	Skive
TG S06.30 RC	54716	3.00	50	6	2.0 - 3.0	-0 / +80	Polyamide fabric	TNBR elastomer	Polyamide foil	Skive
TU E04.09 RQ	54603	0.90	15	4	0.5 - 2.0	+0 / +60	Polyester fabric	Polyurethane	Polyester fabric	QS
<b>Process belts with high friction on both side</b>										
GG E03.14 FFQ	54583	1.40	20	3.1	0.5 - 2.0	+0 / +60	XNBR elastomer	XNBR elastomer	Polyester fabric	QS
GG E05.14 FFQ	54607	1.40	25	5	0.5 - 2.0	+0 / +60	XNBR elastomer	XNBR elastomer	Polyester fabric	QS
GG S02.15 FFC	54264	1.50	10	2	2.0 - 3.0	+0 / +80	XNBR elastomer	XNBR elastomer	Polyamide foil	Skive
GG S02.11 RRC	54730	1.10	10	2	2.0 - 3.0	+0 / +80	TNBR elastomer	TNBR elastomer	Polyamide foil	Skive
GG S04.14 RRC	54731	1.40	20	4	2.0 - 3.0	+0 / +80	TNBR elastomer	TNBR elastomer	Polyamide foil	Skive
<b>Elastic</b>										
GG N08 RRQ	54262	1.60	15	0.8	4.0 - 8.0	+0 / +60	XNBR elastomer	XNBR elastomer	Thermopl. elastomer	QS
GG N15 FFQ	54585	1.40	15	1.5	4.0 - 8.0	+0 / +60	XNBR elastomer	XNBR elastomer	Thermopl. elastomer	QS
GG N22 RFQ	54263	1.50	15	2.2	4.0 - 8.0	+0 / +60	XNBR elastomer	XNBR elastomer	Thermopl. elastomer	QS
GG N27 RFQ	54608	1.70	15	2.7	4.0 - 8.0	+0 / +60	XNBR elastomer	XNBR elastomer	Thermopl. elastomer	QS
GV N20.17 RQ	54547	1.70	15	2.0	0.5 - 2.0	+0 / +60	XNBR elastomer	Fleece	Thermopl. elastomer	QS
UU N06 RFQ	54532	0.80	15	0.6	3.0 - 6.0	+0 / +60	Polyurethane	Polyurethane	Polyurethane	QS
UU N08 RSQ	54540	1.10	20	0.8	3.0 - 6.0	+0 / +60	Polyurethane	Polyurethane	Polyurethane	QS
UU N08 RSQ FG	54543	0.80	6	0.8	3.0 - 6.0	+0 / +60	Polyurethane	Polyurethane	Polyurethane	QS
UU N12 RFQ	54533	1.15	20	1.2	3.0 - 6.0	+0 / +60	Polyurethane	Polyurethane	Polyurethane	QS
UU N17 RFQ	54534	1.50	20	1.7	3.0 - 6.0	+0 / +60	Polyurethane	Polyurethane	Polyurethane	QS
UU N22 RFQ	54535	1.85	25	2.2	3.0 - 6.0	+0 / +60	Polyurethane	Polyurethane	Polyurethane	QS
UV N12 FQ	54557	1.50	20	1.2	0.5 - 2.0	+0 / +60	Polyurethane	Fleece	Polyurethane	QS

Figura A. 5 Familia de bandas planas de marca Ammeraal Beltech [16]



## UU N12 RFQ FG

Article code: FBUU054533

### General information

<b>Product group</b>	High performance flat belts
<b>Product sub type</b>	QuickSplice
<b>Industry segment</b>	Food, Logistics; Paper & print
<b>Main product feature</b>	Elastic, Foodgrade
<b>Application</b>	General conveying, Mail handling, Paper processing, Printing & finishing
<b>Indication of use</b>	Bi-directional

### Belt construction

<b>Tension member</b>		Polyurethane
<b>Top side</b>	<b>material</b>	Polyurethane
	<b>finish</b>	Fine
	<b>color</b>	Royal blue
<b>Bottom / Pulley side</b>	<b>material</b>	Polyurethane
	<b>finish</b>	Rough
	<b>color</b>	black

### Characteristics

<b>Food Grade (FG)</b>	yes	EC 1935/2004, EU 10/2011; FDA
<b>Antistatic (AS)</b>	yes	
<b>High conductive (HC)</b>	no	

### Technical data

<b>Belt thickness</b>	ISO 2286-3		1.15 mm	0.05 in.
<b>Weight</b>	ISO 290703-1		1.35 kg/m <sup>2</sup>	0.28 lbs/ft <sup>2</sup>
<b>Force at 6% elongation</b>	ISO 21181	dynamic	1.2 N/mm	6.85 lbs/in.
	ISO 527	static	1.75 N/mm	9.99 lbs/in.
<b>Recommended elongation</b>		min. / max.	2 / 6 %	
<b>Coefficient of friction, dynamic</b>	ISO 21182	bottom side to steel	0,2	
		top side to steel	0,2	
<b>Minimum pulley diameter</b>	flexing		15 mm	0.59 in.
	back flexing		15 mm	0.59 in.
<b>Operating temperature</b>	continuous	from / to	-10 / 60 °C	14 / 140 °F
<b>Belt width</b>	standard		1200 mm	47.24 in.

### Fabrication

<b>Recommended splice method</b>	QuickSplice30
<b>Alternative splice method</b>	OverLapSplice3

### Additional Information

This sheet contains typical values, which apply to a temperature of approx. 20 °C (68 °F), unless otherwise stated, individual data may differ. Consult our specialists for further instructions regarding joining, storage & maintenance, tracking & tensioning. Consult our specialists for calculations with our E-RappCalc® technical calculation program.

Figura A. 6 Ficha técnica de banda seleccionada [16]

## APÉNDICE B

### DISEÑO DE ENGRANAJES RODILLOS MOTRIZ - ARRASTRE

#### Planteamiento del problema

Para este sistema par de engranajes para transporte de láminas utilizando un motor de 2hp el cual transmite potencia al rodillo motriz que gira a 398RPM, desea transmitirle movimiento al rodillo de arrastre para girar a 575RPM y debe garantizar la correcta transmisión de potencia con la distancia entre centros entre 102.80 y 106 mm; adicional debe de cumplir un tiempo de operación de mínimo 10000 horas con un valor de confiabilidad del 99%.

El diseño de los engranajes para este sistema de transmisión se lo realizó bajo la norma AGMA 2001-C95, la cual nos indica los parámetros y factores que influyen en el diseño de engranes; las condiciones de uso de la máquina, ambiente en el que funciona, y las condiciones anteriormente mencionadas con el fin de seleccionar los valores de sobrecarga adecuados y un correcto dimensionamiento de los componentes mecánicos.

#### Análisis de cargas en los engranajes según su funcionamiento

El motor impulsor es un servomotor de 2hp el cual proporciona la potencia o carga uniforme al sistema. El engranaje impulsor se conecta al eje del rodillo motriz que es impulsado por el servomotor. Primero obtenemos el factor de aplicación  $K_a$  utilizando el tipo de motor de accionamiento y el tipo de carga a utilizar. El servomotor que actúa como fuente de alimentación y la cinta transportadora que es la máquina impulsada son de tipo uniforme y según la tabla 9-1 del libro de Mott encontramos el valor de este factor.

Driven Machine		Light shock	Moderate shock	Heavy shock
Power source	Uniform	Light shock	Moderate shock	Heavy shock
Uniform	1.00	1.25	1.50	1.75
Light shock	1.20	1.40	1.75	2.25
Moderate shock	1.30	1.70	2.00	2.75

Figura B. 1 Factor de carga [19]

$$K_a = 1.00$$

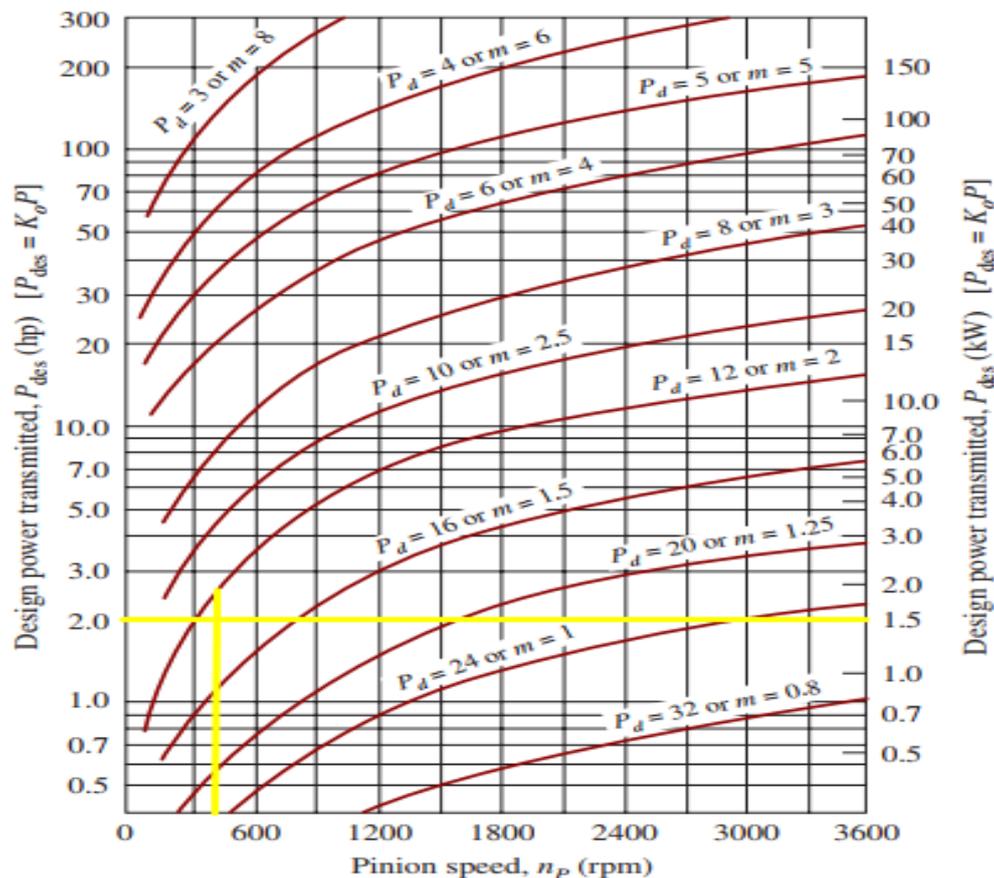
Con este factor podemos obtener la potencia de funcionamiento en base al factor de aplicación y la potencia nominal.

$$P_{nominal} = 2hp = 1.4914 \text{ KW}$$

$$P = K_a * P_{nominal} = 1 * 1.4914 = \mathbf{1.4914KW}$$

### Módulo de engranajes

Para el cálculo del módulo de engranajes utilizamos la velocidad del engranaje impulsor (398 rpm). Este valor de velocidad junto con la potencia que utiliza el sistema nos permite aproximar el valor del módulo según la Figura B. 2 que representa la gráfica del libro de Mott.



**Figura B. 2 Selección de módulo [19]**

$$\text{modulo} = m = 3$$

### Angulo de presión

Para el ángulo de presión, seleccionamos un valor estándar comercial para una rápida entrega y facilidad en el diseño y fabricación, adicional considerando la metodología que aplica AGMA escogemos un ángulo de presión de  $20^\circ$ .

### Ancho de cara del diente

Según la norma AGMA, se recomienda el valor de ancho de cara del diente en base a un rango y dependiendo del módulo seleccionado anteriormente.

$$16m < F < 8m$$

$$16(3) < F < 8(3)$$

$$48 < F < 20$$

Para consideraciones de diseño y la cercana aproximación del módulo = 2 se designa un número cercano al máximo en el rango encontrado, es decir:

$$\mathbf{F = 30 \text{ mm}}$$

### Relación de engranajes

La velocidad del engranaje impulsor colocado en el rodillo motriz es de 398 rpm y se espera un aumento en la velocidad con el engranaje impulsado en un valor de 575rpm. Por lo tanto, se asigna una relación de 0.7:1 para el sistema de transmisión por lo que el gear ratio es de 0.7.

$$V_r = \frac{\omega_p}{\omega_g} = \frac{N_p}{N_g} \quad (\text{B.1})$$

$$N_p = 30 \quad N_g = 21$$

### Diámetro de paso

$$D_p = m * N_p = 3 * 30 = \mathbf{90mm}$$

$$D_g = m * N_g = 3 * 21 = \mathbf{63mm}$$

Como conocemos los engranajes se ajustan en ambos lados del rodillo motriz y arrastre donde sus valores de diámetro son 46mm, por otra parte, la distancia entre centros mínima y máxima es de 102.8 y 106mm respectivamente y la suma de radios de paso entre los engranes es de 85mm, por lo tanto, los diámetros de paso obtenidos son aceptables.

### Material para utilizar en la fabricación de engranajes

Para este sistema se escoge el material con la siguiente nomenclatura:

AISI : ~ 4340 H

DIN : 34 Cr Ni Mo 6

W N°: 1.6582

**Figura B. 3 Material de los engranes**

Este material contiene una bonificación al cromo níquel molibdeno, así como una alta resistencia a la tracción, torsión y a cambios instantáneos de flexión; es utilizado por partes de maquinarias, repuestos, transportadores, engranajes, etc. Tiene una resistencia de 240-380 HB y una dureza de 52-56HRC.

### Cargas sobre los dientes de los engranajes

Velocidad lineal

$$V_t = \frac{D_p}{2} * n_p \quad (B.2)$$

$$V_t = \frac{0.09m}{2} * \frac{398rpm * 2\pi}{1rev * 60s} * 1min = 1.88 m/s$$

Torque del engranaje impulsor

$$T_p = \frac{Potencia}{n_p} \quad (B.3)$$

$$T_p = \frac{1.4914 KW}{398 rpm * \frac{2\pi}{1rev} * \frac{1min}{60s}} = 35.78 Nm$$

Fuerza Tangencial

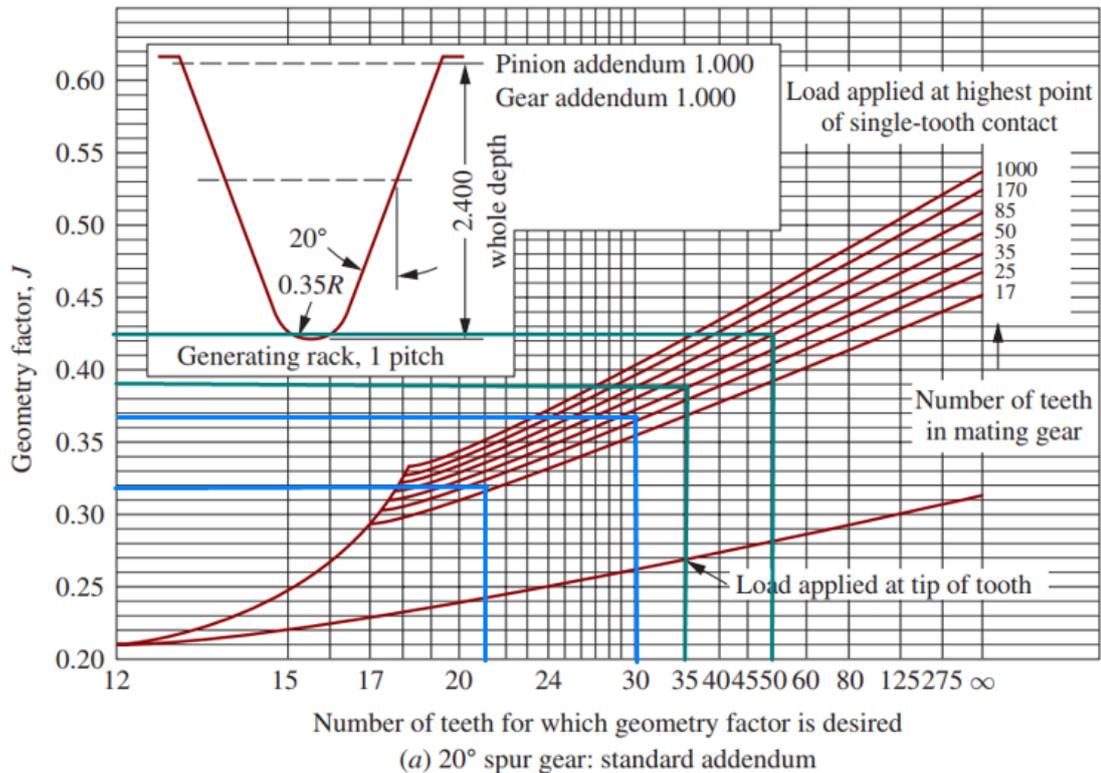
$$W_t = \frac{2 * T_p}{D_p} \quad (B.4)$$

$$W_t = \frac{35.78 * 2}{0.09} = 795.11N$$

## Esfuerzos de flexión

### Factor Geométrico J

Para este valor utilizamos la Figura B. 4 que indica la gráfica propuesta por Mott.



**Figura B. 4 Cálculo de factor geométrico [19]**

$$J_P = 0.368 \quad J_G = 0.32$$

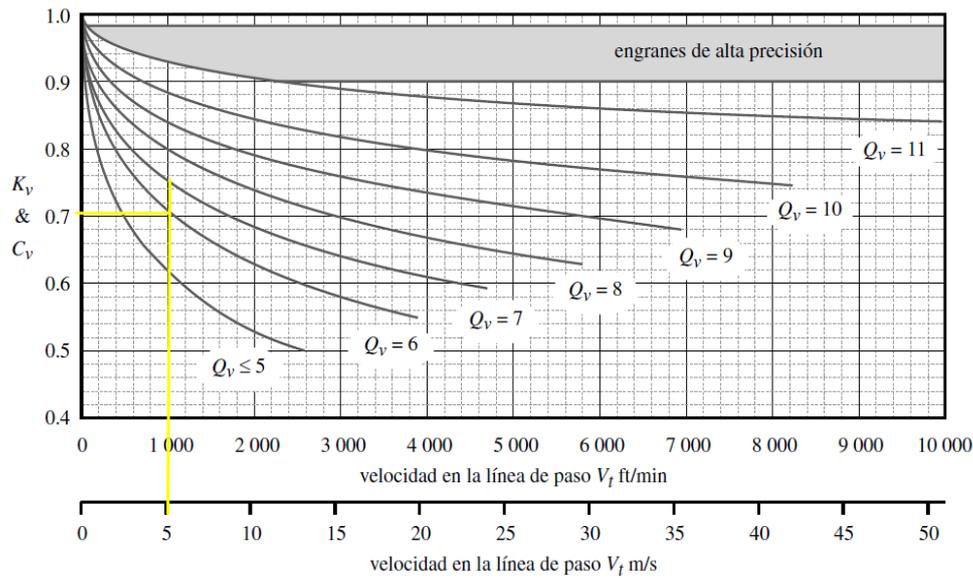
En el proceso de manufactura de los engranajes se elige al de corte por hilo, este procedimiento pertenece al rango de manufactura por fresado.

$Q_v$	Procesos
3 - 4	Formado: <ul style="list-style-type: none"> <li>FUNDICIÓN</li> <li>SINTERIZADO</li> <li>ESTIRADO EN FRÍO</li> <li>ESTAMPADO</li> </ul>
5 - 7	Rectificado: <ul style="list-style-type: none"> <li>FRESADO</li> <li>GENERACIÓN POR CREMALLERA</li> <li>FORMADO POR CORTE</li> </ul>
8 - 11	Cepillado o esmerilado

**Figura B. 5 Selección de tipo de tratamiento para engranes [19]**

$$Q_V = 6$$

Con este valor de  $Q_V$  y utilizando la gráfica propuesta por el libro de Norton obtenemos el valor de  $K_v$ .



**Figura B. 6 Velocidad en la línea de paso vs  $K_v$  [20]**

$$K_v = 0.7$$

Factor de distribución de carga ( $K_m$ )

**Tabla 8-16**  
Factores  $K_m$  de distribución de carga

Ancho de cara in (mm)	$K_m$
<2 (50)	1.6
6 (150)	1.7
9 (250)	1.8
$\geq 20$ (500)	2.0

**Figura B. 7 Factor  $K_m$  de distribución de carga [20]**

$$K_m = 1.6$$

El factor de tamaño, al no ser considerado como un sistema de transmisión por engranajes de gran escala, se lo considera  $K_s = 1$

El factor  $K_B$  por ser una razón de respaldo aceptable de 1.3, asignamos de igual manera el factor de espesor de aro de  $K_B = 1$ .

Este sistema no presenta engranajes considerados locos solo engranes de transmisión el cual se le asigna el valor de  $K_I = 1$ .

$$\sigma_b = \frac{Wt \cdot K_a \cdot K_m \cdot K_s \cdot K_b \cdot K_i}{F \cdot M \cdot J \cdot K_v} \quad (\text{B.5})$$

$$\sigma_{Bp} = 54.873 \text{MPa}$$

$$\sigma_{Bg} = 63.104 \text{MPa}$$

### Esfuerzo de contacto

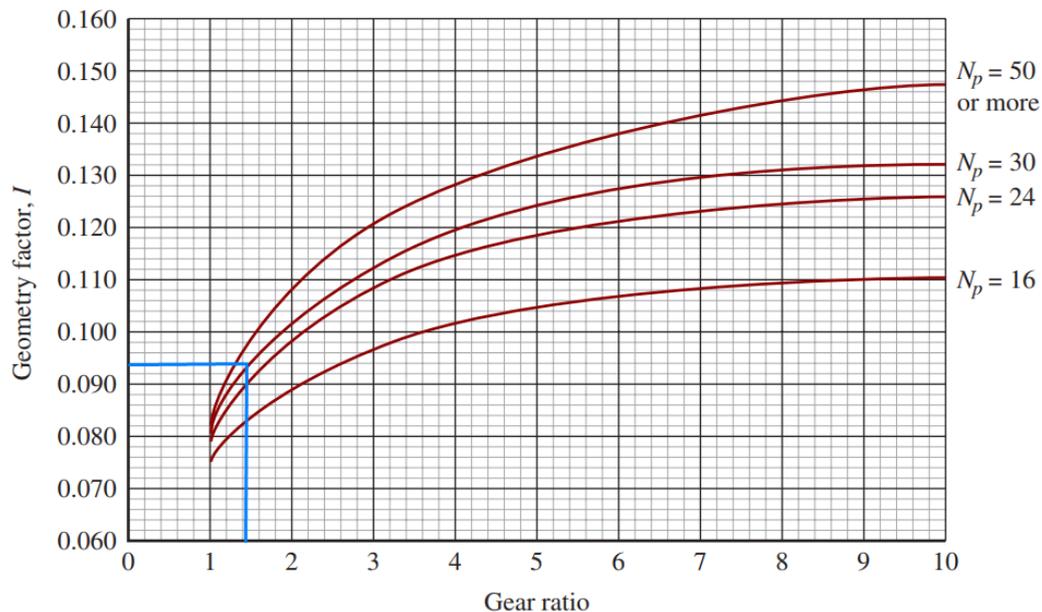
$$C_a = K_a = 1.00$$

$$C_m = K_m = 1.6$$

$$C_v = K_v = 0.7$$

$$C_s = K_s = 1$$

Con el libro de Mott, el ángulo de presión de  $20^\circ$ , la velocidad del engranaje del rodillo impulsado, así como la relación de engranajes (1.428) podemos obtener el factor geométrico  $I$  con la siguiente Figura B. 8.



(a)  $20^\circ$  pressure angle, full-depth teeth (standard addendum =  $1/P_d$ )

**Figura B. 8 Factor geométrico  $I$  [19]**

$$I = 0.094$$

Luego determinamos el factor de acabados superficiales raramente ásperos que pueden presentarse en los dientes del engranaje, para ello AGMA no especifica un rango ideal de parámetros así que se asume un factor de  $Cf = 1$ .

Seguido determinamos el valor del coeficiente elástico utilizando la tabla sugerida en el libro de Norton, el cual determina este factor tomando en consideración el material de los engranes.

**Tabla 8-18** Coeficiente elástico  $C_p$  de la AGMA en unidades de  $[\text{psi}]^{0.5}$  ( $[\text{MPa}]^{0.5}$ )<sup>\*†</sup>

Material del piñón	$E_p$ psi (MPa)	Material del engrane					
		Acero	Hierro maleable	Hierro nodular	Hierro fundido	Bronce al aluminio	Bronce al estaño
Acero	30E6 (2E5)	2 300 (191)	2 180 (181)	2 160 (179)	2 100 (174)	1 950 (162)	1 900 (158)
Hierro maleable	25E6 (1.7E5)	2 180 (181)	2 090 (174)	2 070 (172)	2 020 (168)	1 900 (158)	1 850 (154)
Hierro nodular	24E6 (1.7E5)	2 160 (179)	2 070 (172)	2 050 (170)	2 000 (166)	1 880 (156)	1 830 (152)
Hierro fundido	22E6 (1.5E5)	2 100 (174)	2 020 (168)	2 000 (166)	1 960 (163)	1 850 (154)	1 800 (149)
Bronce al aluminio	17.5E6 (1.2E5)	1 950 (162)	1 900 (158)	1 880 (156)	1 850 (154)	1 750 (145)	1 700 (141)
Bronce al estaño	16E6 (1.1E5)	1 900 (158)	1 850 (154)	1 830 (152)	1 800 (149)	1 700 (141)	1 650 (137)

† Los valores de  $E_p$  en esta tabla son aproximados; se utilizó  $\nu = 0.3$  como una aproximación de la razón de Poisson para todos los materiales. Si existen números más precisos de  $E_p$  y  $\nu$ , éstos se deberían emplear en la ecuación 7.23 para determinar  $C_p$ .

**Figura B. 9** Coeficiente elástico  $C_p$  según el material [20]

$$C_p = 191 \text{ MPa}$$

$$\sigma_c = C_p \sqrt{\frac{Wt * C_a * C_m * C_s * C_f}{F * I * d * C_v}} \quad (\text{B.6})$$

$$\sigma_c = 511.108 \text{ MPa}$$

### Resistencias a la flexión

$$S_{FB} = \frac{KL}{Kt * Kr} * S'_{FB} \quad (\text{B.7})$$

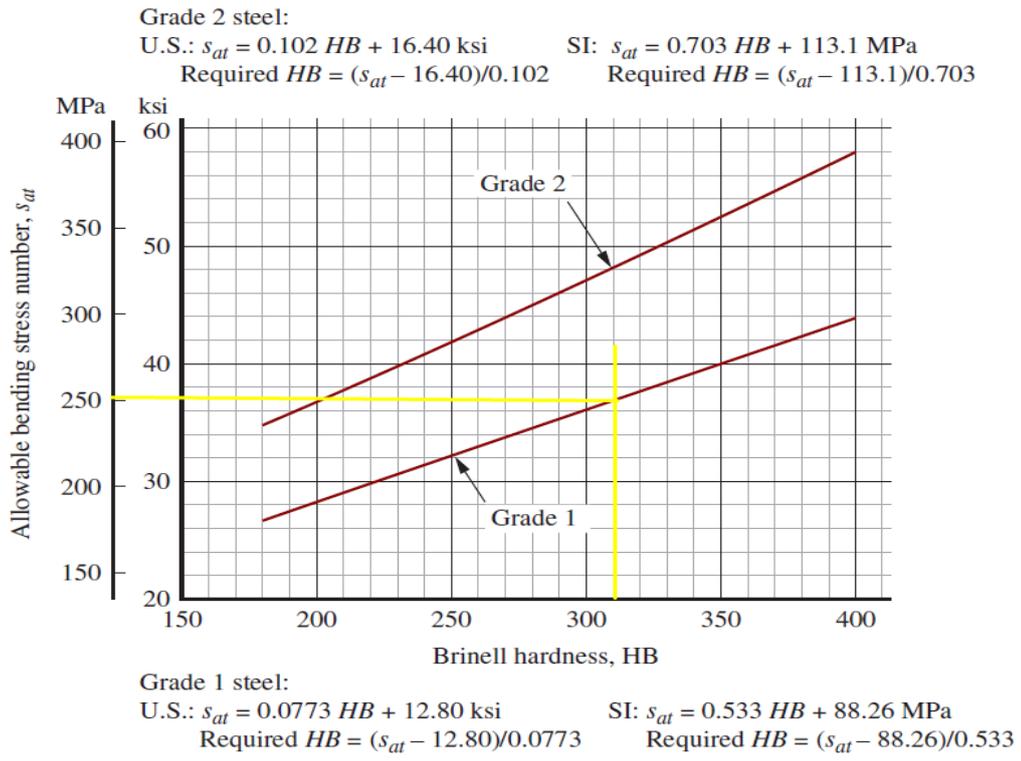


Figura B. 10 Resistencia a la flexión sin corregir [19]

$$S'_{FB} = 255 \text{ MPa}$$

$$N_p = \frac{398 \text{ rpm} * 60 \text{ min} * 10000 \text{ h}}{1 \text{ h}} = 2.39 * 10^8 \text{ ciclos}$$

$$N_G = \frac{575 \text{ rpm} * 60 \text{ min} * 10000 \text{ h}}{1 \text{ h}} = 3.45 * 10^8 \text{ ciclos}$$

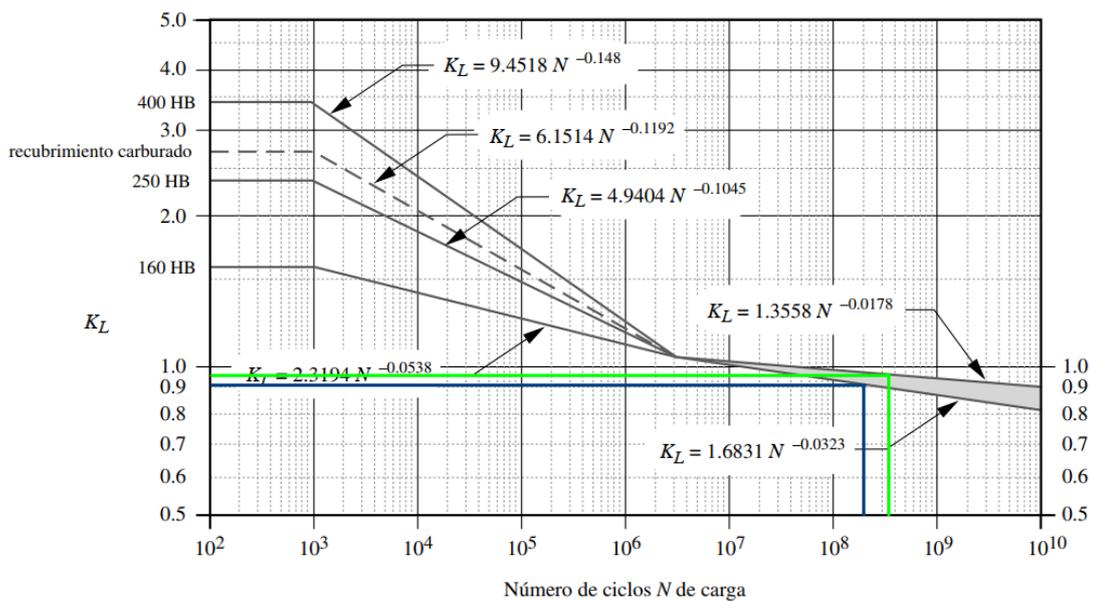


Figura B. 11 Factor KL según el número de ciclos de los engranes [20]

$$K_{LP} = 0.91 \quad K_{LG} = 0.96$$

En el proceso de laminación de papel impreso y papel corrugado no se manejan temperaturas elevadas en ningún tramo del recorrido, por ello el factor de temperatura no es relevante para este caso así que se asume  $K_T = 1$ .

Factor de confiabilidad  $K_R$ : Este valor se lo determina según los datos de resistencia proporcionados por AGMA el cual se basan en la probabilidad estadística de 1 falla en 100 muestras y tomando consideración el % de confiabilidad que se espera del sistema.

**Tabla 8-19**  
Factor  $K_R$  de la AGMA

% de confiabilidad	$K_R$
90	0.85
99	1.00
99.9	1.25
99.99	1.50

**Figura B. 12 Criterio de confiabilidad [20]**

$$S_{FBP} = \frac{K_{LP}}{K_T * K_R} * S'_{FB} = 232.05 \text{ MPa}$$

$$S_{FBG} = \frac{K_{LG}}{K_T * K_R} * S'_{FB} = 244.8 \text{ MPa}$$

### Resistencia al contacto

$$S_{FC} = \frac{C_l * C_H}{C_T * C_R} * S'_{FC}$$

$$C_T = K_T = 1$$

$$C_R = K_R = 1$$

Primero obtenemos el valor de resistencia a la fatiga superficial sin corregir el cual depende del material, para AISI 4340 tenemos:

Tabla 8-21 Resistencias de la AGMA para fatiga superficial  $S'_{fc}$  en un conjunto de materiales de engranes\*

Material	Clase AGMA	Denominación del material	Tratamiento térmico	Dureza superficial mínima	Resistencia superficial a la fatiga		
					psi x 10 <sup>3</sup>	MPa	
Acero	A1-A5		Endurecido totalmente	≤ 180 HB	85-95	590-660	
			Endurecido totalmente	240 HB	105-115	720-790	
			Endurecido totalmente	300 HB	120-135	830-930	
			Endurecido totalmente	360 HB	145-160	1000-1100	
			Endurecido totalmente	400 HB	155-170	1100-1200	
			Endurecido por llama o por Inducción	50 HRC	170-190	1200-1300	
			Endurecido por llama o por Inducción	54 HRC	175-195	1200-1300	
			Carburado y recubrimiento endurecido	55-64 HRC	180-225	1250-1300	
			AISI 4140	Nitrurado	84.6 HR15N <sup>†</sup>	155-180	1100-1250
			AISI 4340	Nitrurado	83.5 HR15N	150-175	1050-1200
			Nitroaleación 135M	Nitrurado	90.0 HR15N	170-195	1170-1350
Nitroaleación N	Nitrurado	90.0 HR15N	195-205	1340-1410			
Cromo al 2.5%	Nitrurado	87.5 HR15N	155-172	1100-1200			
Cromo al 2.5%	Nitrurado	90.0 HR15N	192-216	1300-1500			
Hierro fundido	20	Clase 20	Como se fundió		50-60	340-410	
	30	Clase 30	Como se fundió	175 HB	65-70	450-520	
	40	Clase 40	Como se fundió	200 HB	75-85	520-590	
Hierro nodular (ductil)	A-7-a	60-40-18	Recocido	140 HB	77-92	530-630	
	A-7-c	80-55-06	Templado y revenido	180 HB	77-92	530-630	
	A-7-d	100-70-03	Templado y revenido	230 HB	92-112	630-770	
	A-7-e	120-90-02	Templado y revenido	230 HB	103-126	710-870	
Hierro maleable (perlítico)	A-8-c	45007		165 HB	72	500	
	A-8-e	50005		180 HB	78	540	
	A-8-f	53007		195 HB	83	570	
	A-8-l	80002		240 HB	94	650	
Bronce	Bronce 2	AGMA 2C	Fundido en arena	40 ksi resistencia a la tensión mín.	30	450	
	Al/Br 3	ASTM B-148 78 aleación 954	Tratado térmicamente	90 ksi resistencia a la tensión mín.	65	450	

<sup>†</sup> Escala Rockwell 15N utilizada para materiales con recubrimiento endurecido; véase la sección B.4

Figura B. 13 Resistencia al contacto sin corregir [20]

$$S'_{FC} = 1125 \text{ MPa}$$

Factor de vida: considerando que el material para los engranes también debe pasar por los procesos de nitrurado además de endurecimiento para un mejor funcionamiento y alargar el tiempo de vida útil del componente.

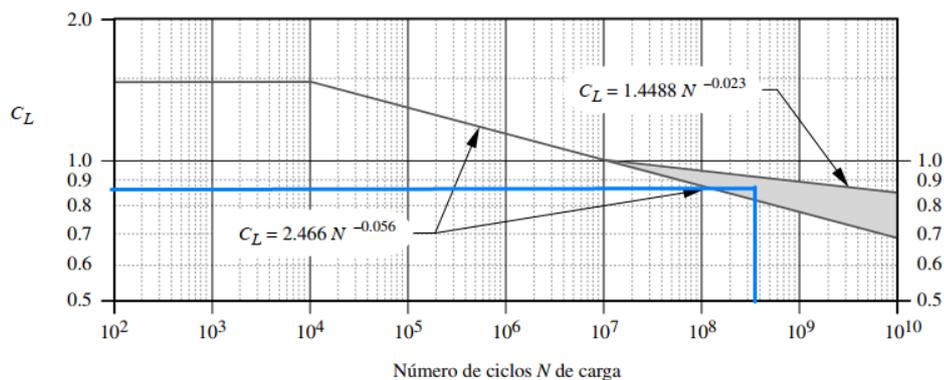


FIGURA 8-26\*

Factor de vida de la AGMA para resistencia superficial a la fatiga  $C_L$

Figura B. 14 Factor de vida según el número de ciclos mayor de los engranes [20]

$$C_L = 0.86$$

Factor de razón de dureza: Como los dos pares de engranes son del mismo material y no presentan cambios de esfuerzos de contactos bruscos entre los mismos se asume  $C_H = 1$ .

$$S_{Fc} = 967.5 \text{ MPa}$$

### Factores de seguridad

Factores de seguridad para flexión

$$N_{BP} = \frac{S_{FBP}}{\sigma_{BP}} = \frac{232.05 \text{ MPa}}{54.873 \text{ MPa}} = 4.23$$

$$N_{BG} = \frac{S_{FBG}}{\sigma_{BG}} = \frac{244.8 \text{ MPa}}{63.104 \text{ MPa}} = 3.88$$

Factores de seguridad para contacto

$$N_C = \left( \frac{S_{FC}}{\sigma_C} \right)^2 = \left( \frac{967.5 \text{ MPa}}{511.108 \text{ MPa}} \right)^2 = 3.58$$

En el diseño de maquinaria y componentes mecánicos se sugiere factores de flexión mayor a 2, por otra parte, el factor de seguridad para contacto debe siempre ser mayor a 1 para que se considere bueno. Por lo tanto, con este diseño, que propone factores de flexión y contacto dentro de los rangos sugeridos, se puede afirmar que el sistema de engranajes no fallaría inclusive para un tiempo mayor del que se estima la falla.

## APÉNDICE C

### SELECCIÓN DE RODAMIENTOS PARA RODILLO MOTRIZ

Potencia total requerida en el sistema

$$P_T = P_A + P_R = 0.2260 + 0.7948 = 1.021 \text{ kW}$$

$$P_A = \text{Potencia cinta transportadora} = 0.2260 \text{ kW} = 0.3031 \text{ hp}$$

$$P_R = \text{Potencia rodillo de arrastre} = 0.7948 \text{ kW} = 1.0658 \text{ hp}$$

$$V_A = \text{Velocidad cinta Transportadora (rpm)} = 398 \text{ RPM}$$

$$V_R = \text{Velocidad rodillo de arrastre (rpm)} = 575 \text{ RPM}$$

$$T_A = \frac{9550 P}{N} \quad (\text{C.1})$$

Donde:

$P$  = Potencia del sistema en Kw

$N$  = velocidad del sistema en RPM

$$T_A = \frac{9550 * (0.2260 \text{ kW})}{398 \text{ RPM}} = 5.423 \text{ Nm}$$

$$T_R = \frac{9550 * (0.7948 \text{ kW})}{575 \text{ RPM}} = 13.20 \text{ Nm}; 6.6 \text{ Nm para cada engranaje}$$

$$T_{total} = T_A + T_R = 5.423 \text{ Nm} + 13.20 \text{ Nm} = \mathbf{18.623 \text{ Nm}}$$

$$F_U = \text{Fuerza tangencial cinta} = 90.4212 \text{ N}$$

Para los engranajes que transmiten al rodillo de arrastre de láminas

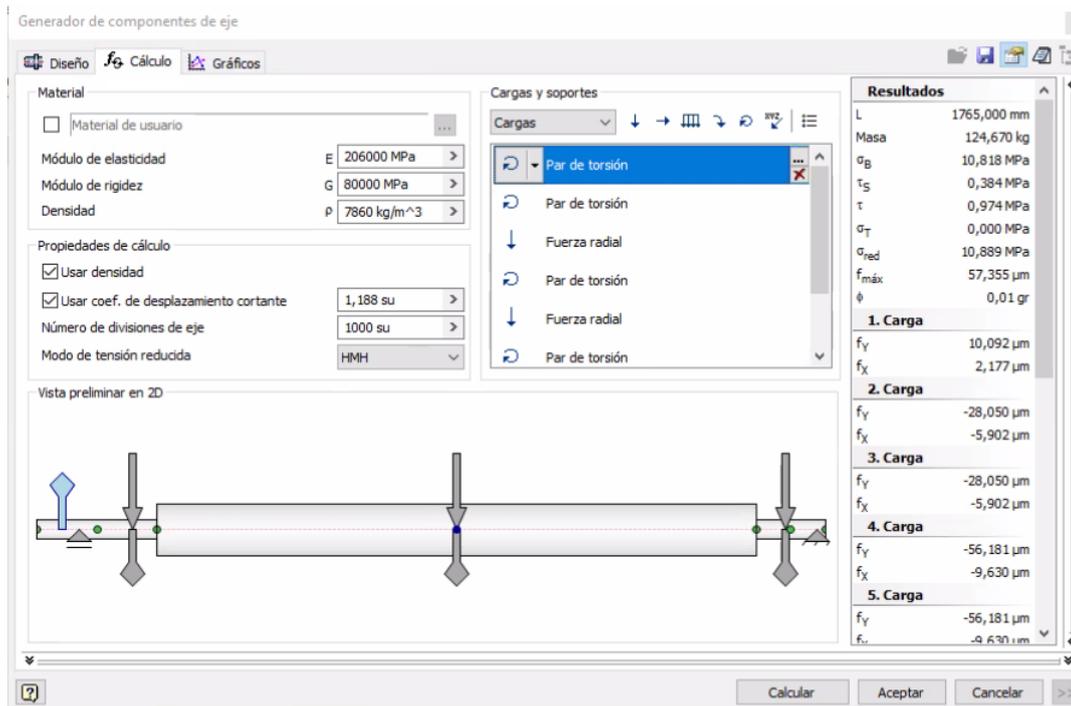
$$F_{RX} = \frac{T_R}{D_P}; D_P = \text{Diametro de paso del engranaje} = 120 \text{ mm} \quad (\text{C.2})$$

$$F_{RX} = \frac{6.6 \text{ Nm}}{\frac{0.120 \text{ m}}{2}} = 110 \text{ N}$$

$$F_{RY} = T_R * \tan(\phi); \phi = \text{angulo de presión del engrane} \quad (\text{C.3})$$

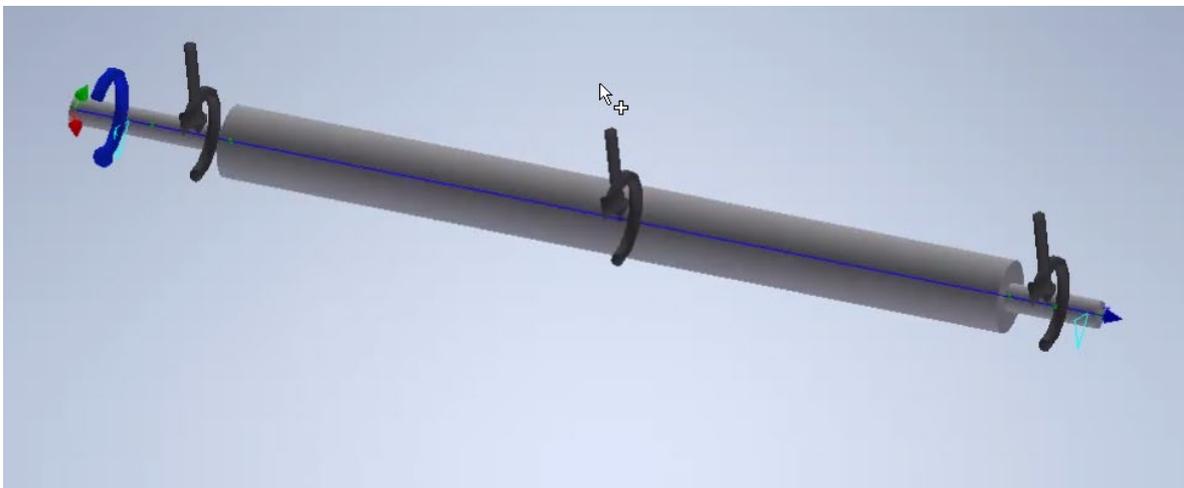
$$F_{RY} = 6.6 \text{ Nm} * \tan(20) = 2.4022 \text{ N}$$

Luego que identificamos todos los momentos y fuerzas generados los ingresamos en el generador de componentes de eje de Inventor Professional, en la Figura C. 1 se muestra el eje del rodillo motriz el cual se colocaron todos los momentos y las fuerzas con sus distancias específicas. Para el caso de los rodamientos se simbolizan como descansos dentro de la simulación.



**Figura C. 1 Generador de componentes de eje – Inventor Professional**

En la Figura C. 2, se muestra el análisis de fuerzas y momentos para el eje del rodillo motriz el cual indica la dirección y sentido de cada uno de ellos.

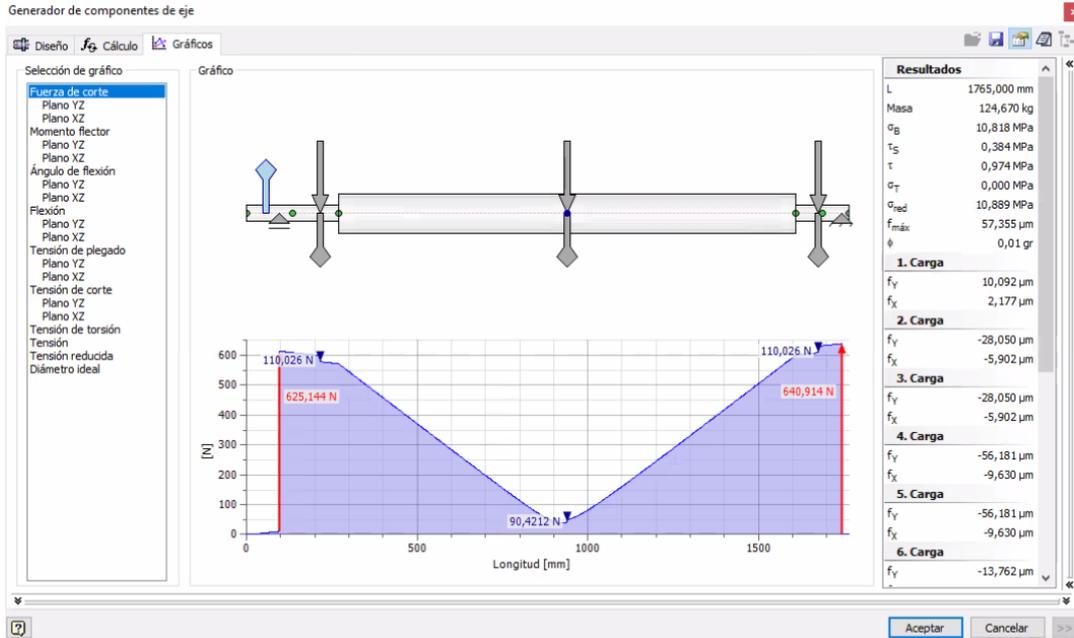


**Figura C. 2 Eje motriz con momentos y fuerzas ejercidas**

Finalmente, con el generador de componentes de eje obtenemos el cálculo de fuerza cortante total, junto con el material del eje seleccionado, en todo el recorrido del eje como se observa en la Figura C. 3, en donde podemos obtener lo siguiente:

$$Carga\ radial_B = 625.144\ N$$

$$Carga\ radial_F = 640.914\ N$$



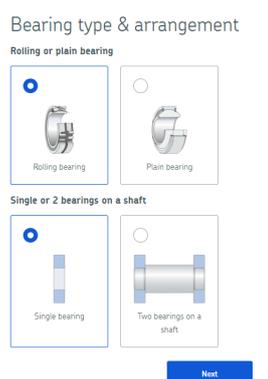
**Figura C. 3 Gráfico de fuerzas cortantes (radiales) en el sistema para los rodamientos**

Por otro lado, para las cargas axiales se asume que se someten a un 1% de las cargas radiales, esto como factor de seguridad para seleccionar según la aplicación para la que se selecciona el rodamiento.

$$Carga\ axial_B = C\ radial\ (0.01) = 6.25\ N$$

$$Carga\ axial_F = C\ radial\ (0.01) = 6.41\ N$$

Para el proceso de selección de rodamientos se utiliza el manual y la calculadora que nos proporciona el fabricante SKF. En esta calculadora en línea primero se escoge el tipo de rodamientos, que para uso comercial nacional se selecciona rodamientos de bolas y la manera de selección es de tipo (single bearing) como se muestra en la Figura C. 4.



**Figura C. 4 Selección del tipo de rodamiento requerido [21]**

Luego se seleccionó el diámetro interior del rodamiento en el cual es donde se acopla el eje del rodillo motriz. Este diámetro es de 45 mm como se muestra en la Figura C. 5 el cual nos sugiere utilizar la familia 209 NR para este tipo de rodamientos.

Filters

Dimensional constraints  
Enter exact dimensions or ranges in mm to filter (e.g. 23-27, -40)

Bearing types  
Deep groove ball bearing

SKF Explorer bearings ⓘ  
Filter on SKF Explorer items only

Capping ⓘ  
Filter on open/capped bearings

Q Search designation

Principal dimensions			Basic load ratings		Designation
d (mm)	D (mm)	B (mm)	C (kN)	C <sub>0</sub> (kN)	
45	75	10	16.5	10.8	☆ 16009
45	85	19	35.2	30	209
45	85	19	35.2	30	209 NR
45	85	19	35.2	30	209-2Z
45	85	19	35.2	30	209-2ZNR
45	85	19	35.2	30	209-Z

**Figura C. 5 Diámetro interior del rodamiento [21]**

Una vez seleccionada la familia colocamos los valores de cargas radiales, axiales y la velocidad a la cual giran los rodamientos, como son cargas muy similares tanto para el rodamiento del punto B como el del punto F se realiza solo una vez el cálculo y obtenemos los datos que se muestran en la Figura C. 6.

Entrada requerida

Seleccionar cálculo(s)

- Vida útil de la grasa e intervalo de relubricación
- Vida nominal del rodamiento
- Velocidad de referencia ajustada
- Factor de seguridad estático
- Fricción y pérdida de potencia
- Ajustes y tolerancias
- Frecuencias de rodamiento
- Carga dinámica equivalente
- Carga mínima
- Viscosidad

Efectivo	Axial	Velocidad	Temperatura	
Radial		r/min	Anillo interior	Anillo exterior
kN			°C	°C
0.625	0.006	398	70	65

[+ Agregar caso de carga](#)

[Calcular](#)

---

- Carga mínima**  $F_{rm}$  : 0,0843 kN

---

- Viscosidad**  $k$  : 0,86

---

- Cargas de rodamiento**  $C/P$  : 55,78

---

- Vida útil de la grasa e intervalo de relubricación**  $t_g$  : 20700 h 1

---

- Velocidad de referencia ajustada**  $n_{gr}$  : 14.000 r/min

---

- Factor de seguridad estático**  $S_0$  : 47,8

---

- Vida nominal del rodamiento**  $L_{10h}$  : > 2x10<sup>5</sup> h  $L_{20mh}$  : > 2x10<sup>5</sup> h 2

---

- Frecuencias** Despliega para ver resultados

---

- Fricción**  $M$  : 18,5 nm

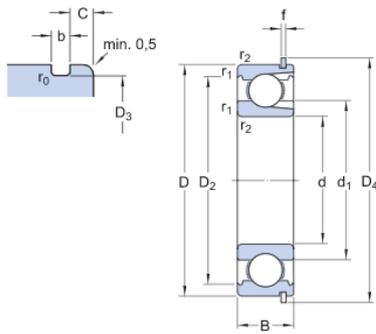
**Figura C. 6 Familia de rodamientos seleccionado [21]**

La Figura C. 7 nos indica que el rodamiento seleccionado nos brinda una carga mínima de 0.0843Kn, un tiempo de vida útil de 20700 horas de funcionamiento para la grasa por lo que tiene una vida útil muy amplia y un factor de seguridad estático de 47.8 por lo tanto este rodamiento es aceptable para su funcionamiento.

Rodamiento en el punto B



**Figura C. 7 Rodamiento seleccionado para el punto B [21]**



#### DIMENSIONES

D	45 mm	Diámetro del agujero
D	85 mm	Diámetro exterior
B	19 mm	Ancho
re <sub>1</sub>	≈ 57,6 mm	Diámetro del hombro
D <sub>2</sub>	≈ 75,19 mm	Diámetro del hueco
D <sub>3</sub>	81,81 mm	Diámetro de la ranura del anillo elástico
D <sub>4</sub>	91,6 mm	Diámetro exterior del anillo elástico
b	1,9 mm	Ancho de la ranura del anillo elástico
C	3,28 mm	Distanciar el aro exterior desde la cara lateral hasta la ranura del anillo elástico
F	1,7 mm	Ancho del anillo elástico
r <sub>0</sub>	máx. 0,6 mm	Radio inferior de la ranura del anillo elástico
r <sub>1,2</sub>	mín. 1,1 mm	Dimensión de chafán

**Figura C. 8 Ficha técnica rodamiento en el punto B [21]**

### Rodamiento en el punto F

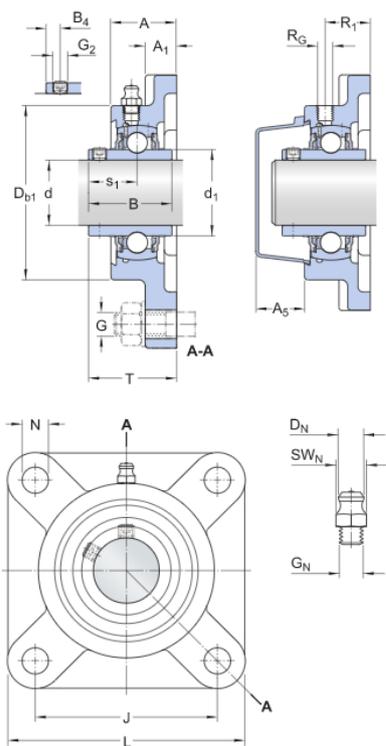


#### UCF 209

Unidades de rodamientos de bolas con pestaña cuadrada

[BUSCAR UN DISTRIBUIDOR](#)

**Figura C. 9 Rodamiento seleccionado para el punto F [21]**



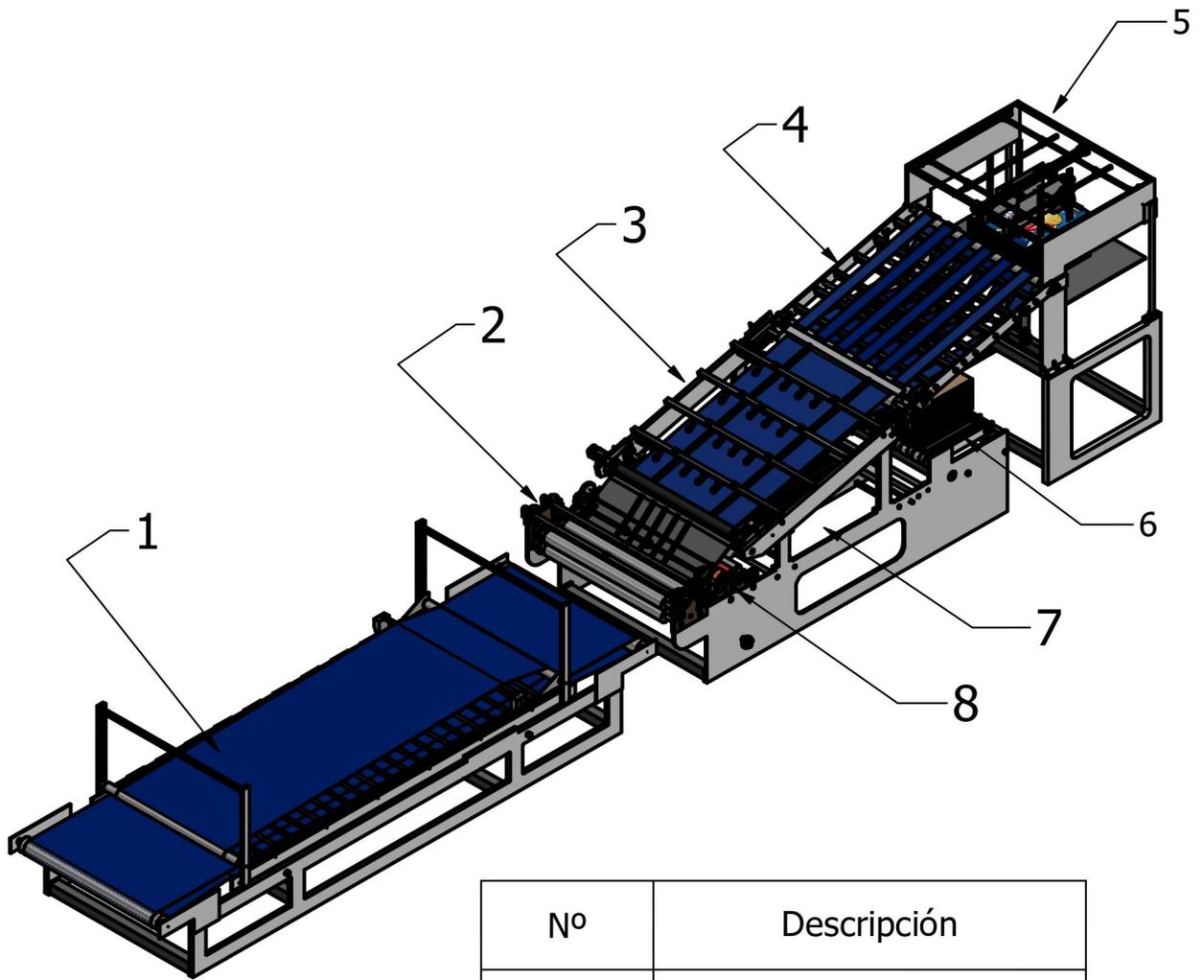
### DIMENSIONES

d	45 mm	Diámetro del agujero
d <sub>1</sub>	≈ 57.3 mm	Diámetro exterior del aro interior
A	38 mm	Ancho total
A <sub>1</sub>	16 mm	Ancho de la pestaña
A <sub>5</sub>	26.5 mm	Parte que sobresale de la tapa lateral
B	49.2 mm	Ancho total del rodamiento
B <sub>4</sub>	8 mm	Distancia de la cara lateral del dispositivo de fijación al centro de la rosca
B <sub>b1</sub>	108 mm	Diámetro superior externo
J	105 mm	Distancia entre los tornillos de fijación
L	137 mm	Longitud total
N	16 mm	Diámetro del agujero del tornillo de fijación
s <sub>1</sub>	30.2 mm	Distancia de la cara lateral del dispositivo de fijación al centro del camino de rodadura
T	52.2 mm	Ancho total de la unidad

BOQUILLA ENGRASADORA

**Figura C. 10 Ficha técnica rodamiento en el punto F [21]**

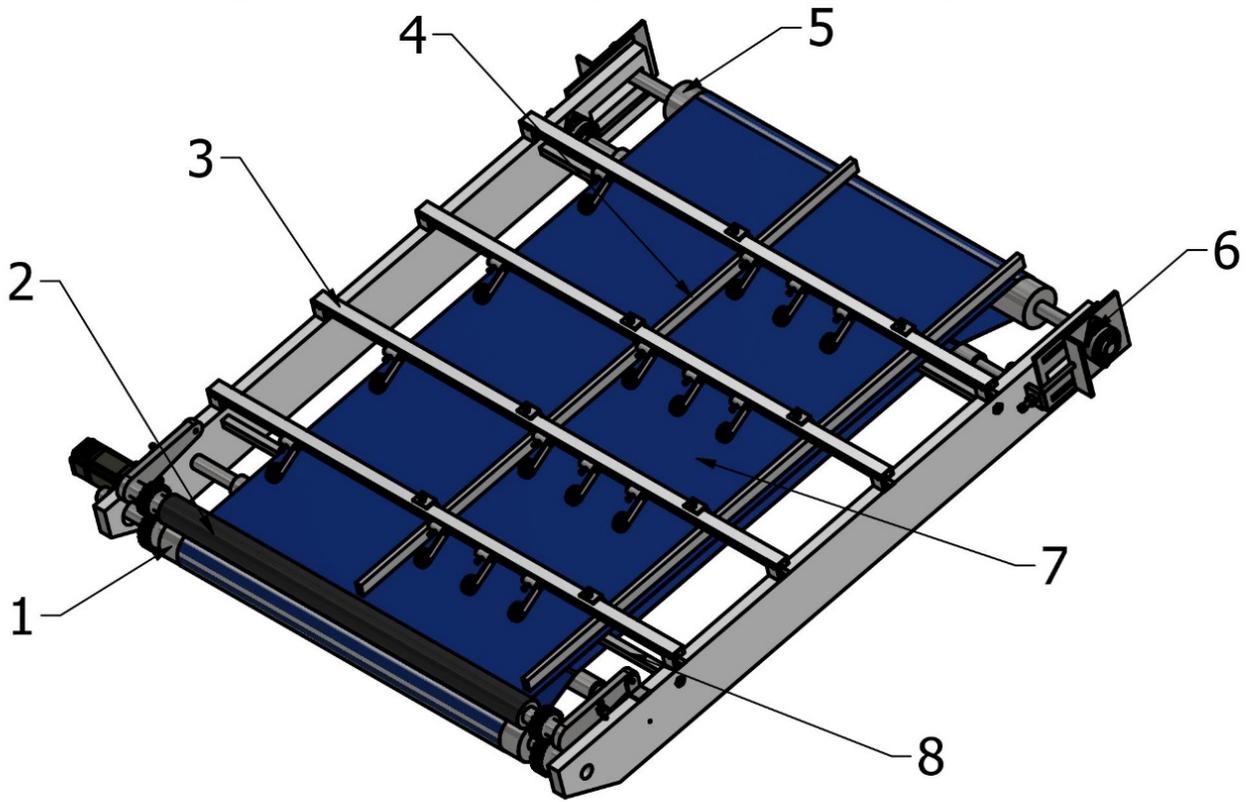
**APÉNDICE D**  
**PLANOS MECÁNICOS**



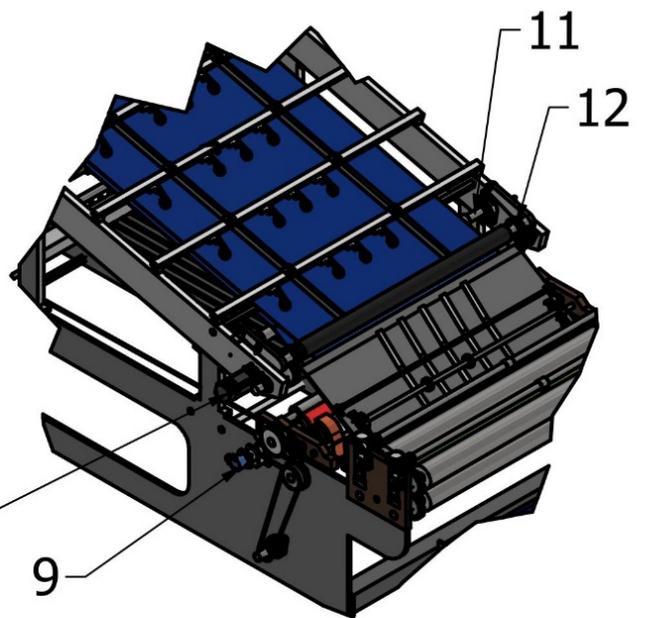
Nº	Descripción
1	Zona de Secado
2	Zona de Pegado
3	Banda de compensación de lámina superior
4	Puente de transporte láminas superiores
5	Alimentación Superior
6	Alimentación Inferior
7	Puente de transporte de láminas inferiores
8	Zona de engomado

				TOLERANCIAS EN SEÑAL DE CERRADO USO OTRO DE EMPRESA EN NUMERO ACABADO SUPERFICIAL: ST TOLERANCIA LÍNEA: 0.10 HORIZAL: 0.10	PESO	MATERIALES	
				DIB.	FECHA	NUMBRE	DE NOMINACIÓN
					07/02/2022	Henry Fernández & Jair Marcelló	<b>ZONAS PRINCIPALES DE LA MÁQUINA LAMINADORA</b>
				REV.	-/-		ESCALA
				APROB.	-/-		1 : 60
							NOMBRE DEL DIBUJO
							1/14
EDICIÓN	MODIFICACIÓN	FECHA	NUMBRE				SUSTITUYE A





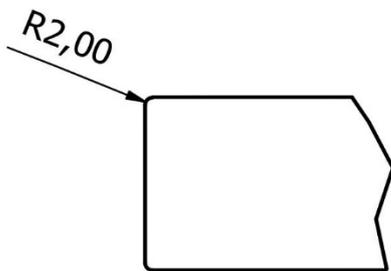
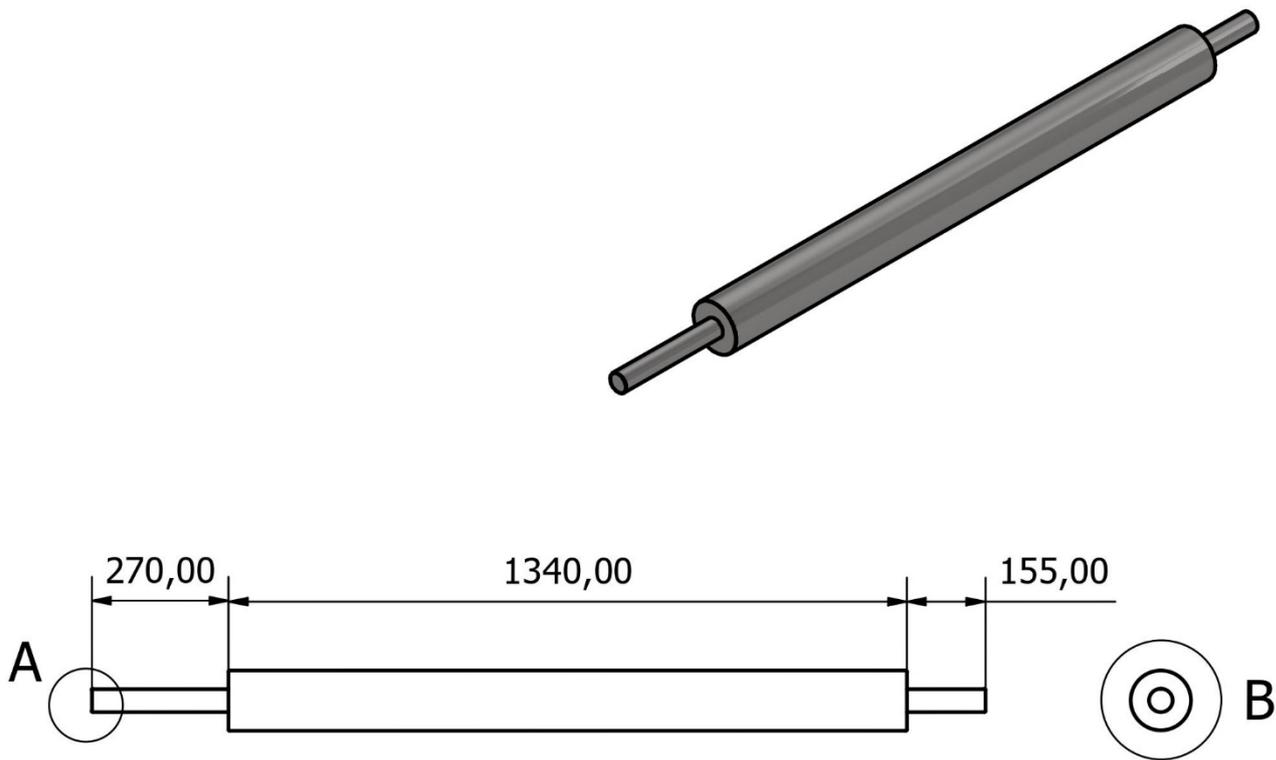
Nº	Componente/Sistema
1	Rodillo Motriz
2	Rodillo de Presión
3	Sistema de ruedas para arrastre
4	Escuadras
5	Rodillo de Tensión
6	Sistema de tensión de la banda
7	Banda Transportadora
8	Soportes de base de deslizamiento
9	Encoder
10	Servomotor
11	Rodillos Guías
12	Sistema de transmisión (Engranajes)



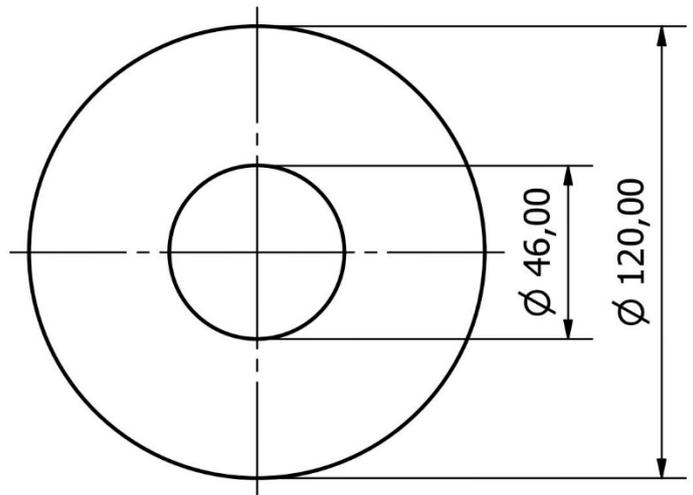
SCALE ( 1 : 35 )

TOLERANCIAS				PESU	MATERIALES		
<small>           0.10 DE BANDA COMPENSACION            UNIDAD DE CONTROL DE TENSION            UNIDAD DE CONTROL DE TENSION            UNIDAD DE CONTROL DE TENSION            UNIDAD DE CONTROL DE TENSION         </small>							
EDICION	MODIFICACION	FECHA	NUMERO	FECHA	NOMBRE	DENOMINACION	ESCALA
				07/02/2022	Henry Fernández & Jair Marcolló	<b>PARTES DEL SISTEMA DE COMPENSACION</b>	1:20
				-/-		NUMERO DEL DIBUJO	
				-/-		2/14	
						SUSTITUCION A:	



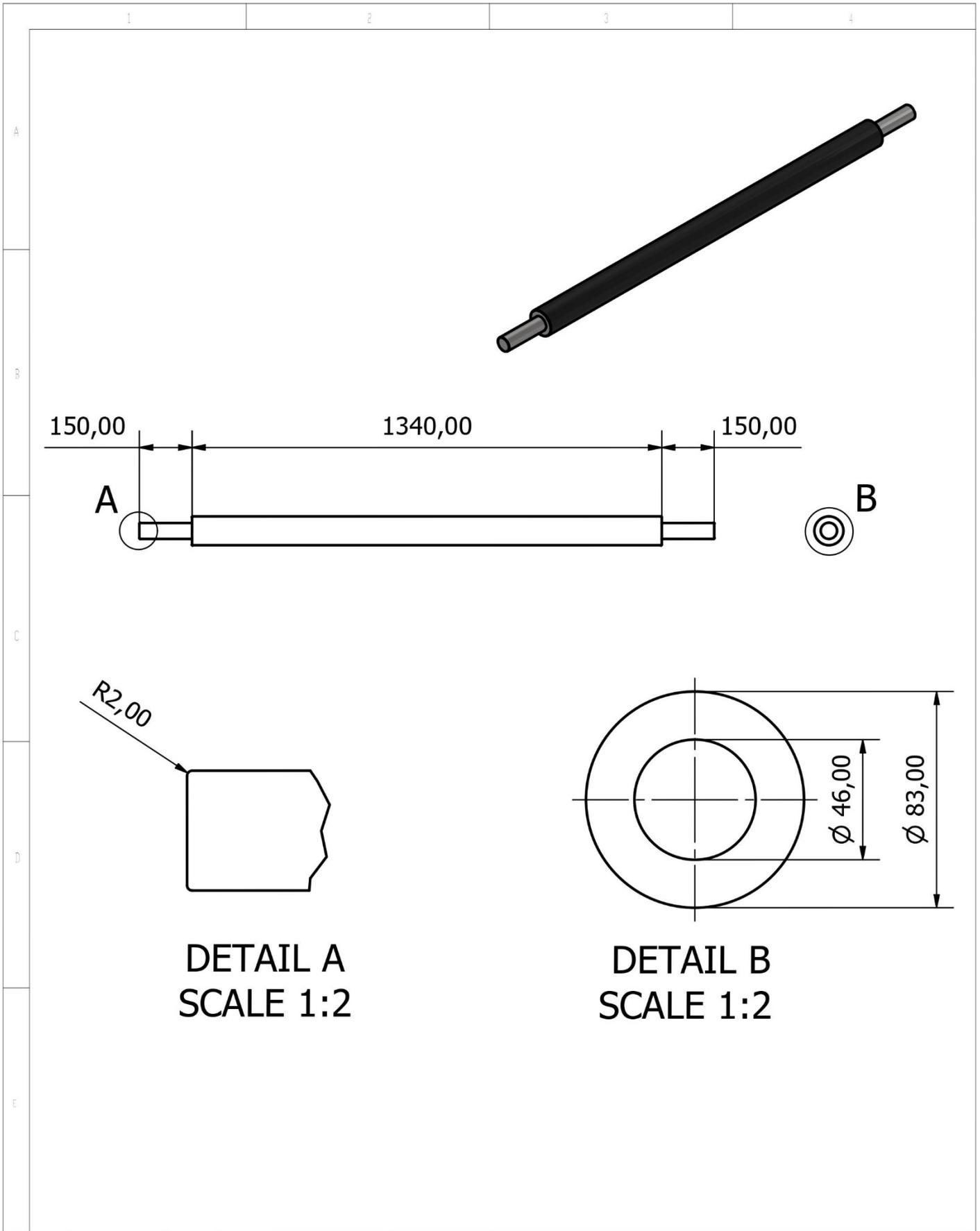


**DETAIL A**  
**SCALE 1:2**



**DETAIL B**  
**SCALE 1:2**

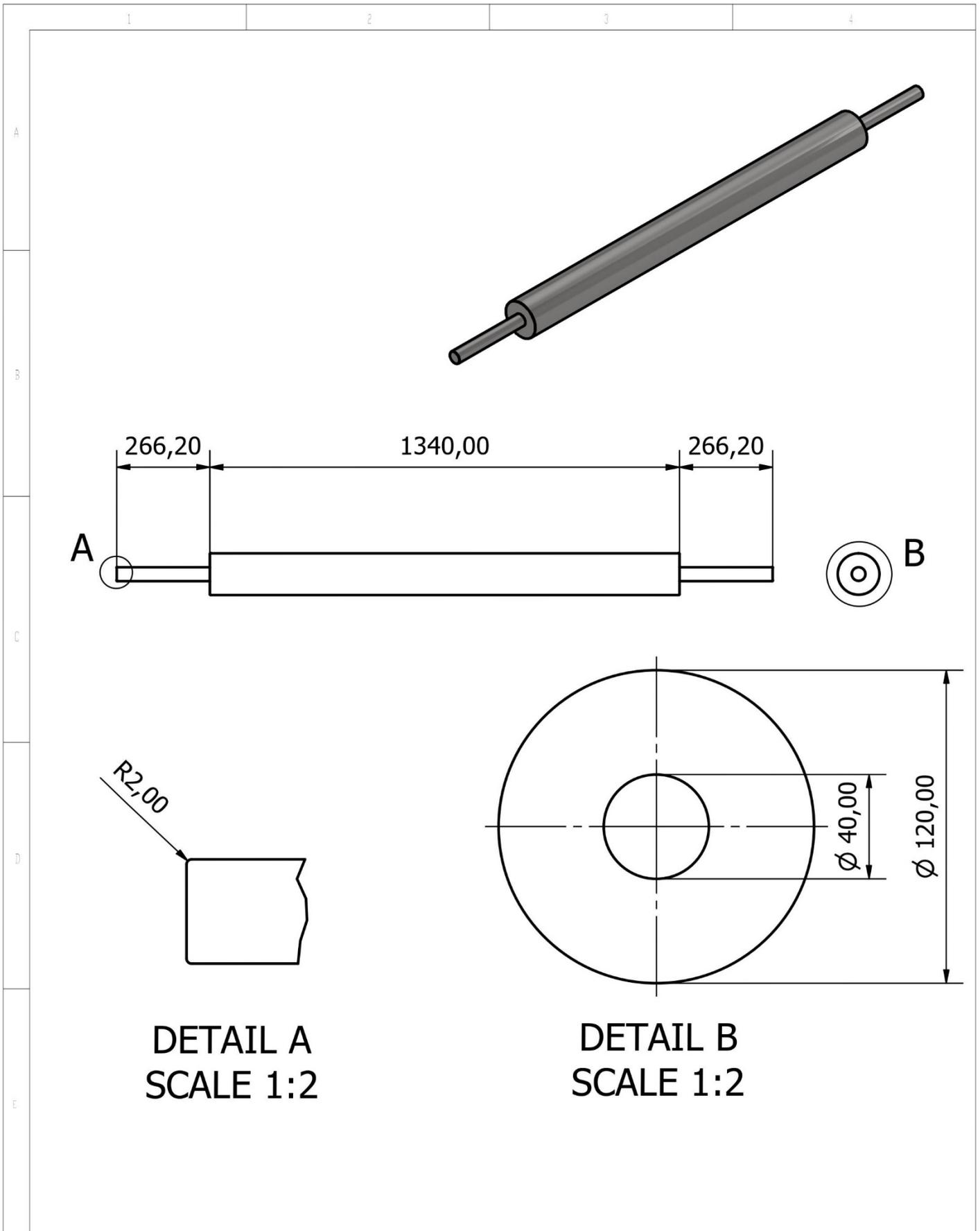
				TOLERANCIAS DIN 1875 (ISO 286) UNLESS SPECIFIED IN ALIQUOT TOLERANCE LEVEL: H7/g6	PESO	MATERIALES <b>ACERO</b>		
				FECHA	NOMBRE	DENOMINACION <b>Rodillo Motriz</b>	ESCALA <b>1 : 15</b>	
				DIB.	07/02/2022			Henry Fernández & Jair Marcllo
				REV.	-/-			
				APROB.	-/-			
						NUMERO DEL DIBUJO <b>3/14</b>		
EDICION	MODIFICACION	FECHA	NUMBRE			SUSTITUYE A		



**DETAIL A  
SCALE 1:2**

**DETAIL B  
SCALE 1:2**

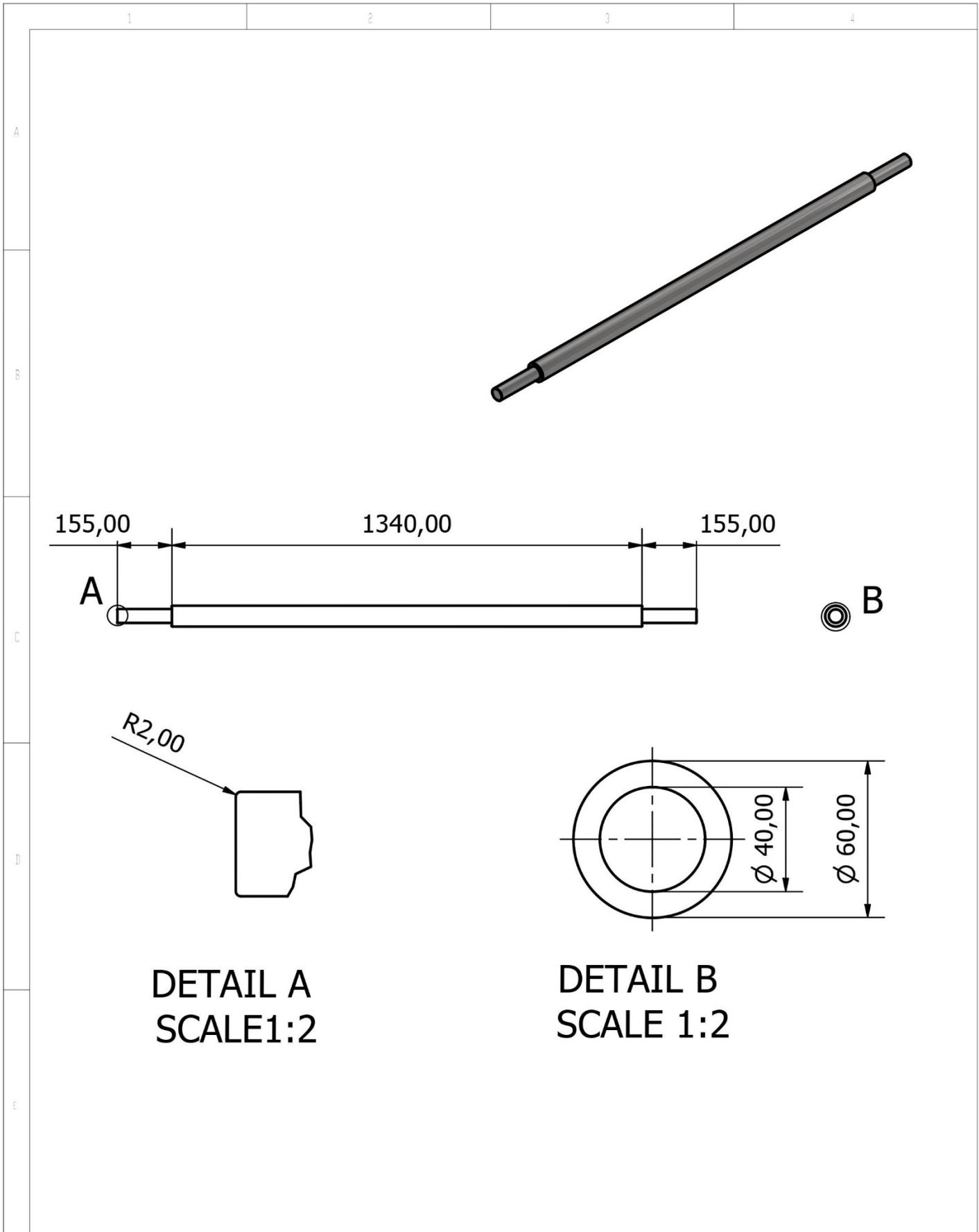
				TOLERANCIAS DIN 1875 LUGARES DE ESPESURA DE HUECOS ACEROS SUAVECITA-107 TOLERANCIAS DIN 1875 HUECOS-102	PESO	MATERIALES <b>ACERO</b>		
				DIB.	FECHA 07/02/2022	NOMBRE Henry Fernández & Jair Marcell	DESIGNACIÓN <b>Rodillo de Arrastre</b>	ESCALA 1 : 15
				REV.	-/-		NOMBRE DEL DIBUJO <b>4/14</b>	
				APROB.	-/-			
EDICIÓN	MODIFICACIÓN	FECHA	NOMBRE	SUSTITUYE A:				



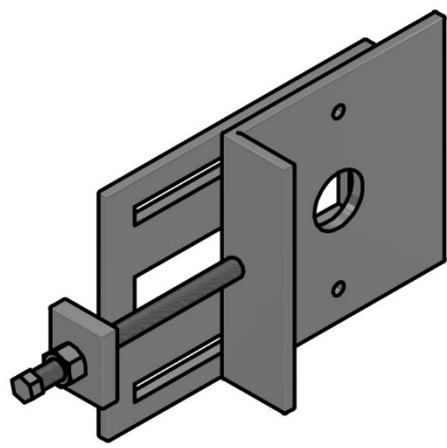
**DETAIL A**  
**SCALE 1:2**

**DETAIL B**  
**SCALE 1:2**

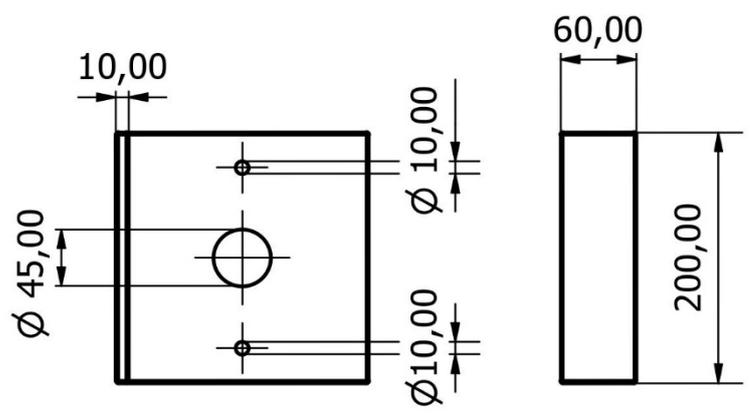
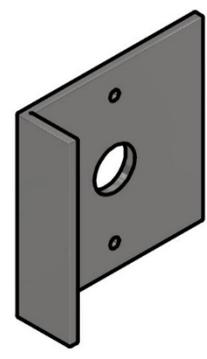
				TOLERANCIAS SI NO SE INDICA OTRAS LAS OTORGAS DE PRECISIA EN MILIMETROS ACABADO SUPERFICIAL: ST TOLERANCIAS: LITRAL: ISO HORIZONTAL: ISO	PESO	MATERIALES <b>ACERO</b>	
				FECHA	NOMBRE	DENOMINACION	ESCALA
				DIB.	07/02/2022	Henry Fernández & Jair Marcillo	1 : 15
				REV.	-/-		
				APROB.	-/-		
						NOMBRE DEL DIBUJO	
						5/14	
EDICION	MODIFICACION	FECHA	NOMBRE			SUSTITUYE A:	



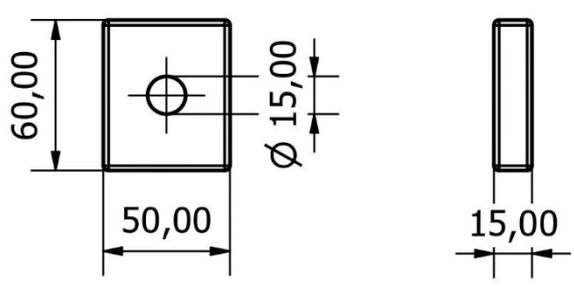
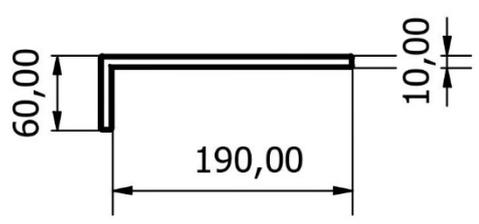
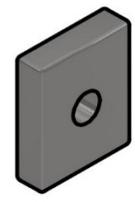
				TOLERANCIAS DIN 1875 ISO 2768-MS ISO 2768-PT ISO 2768-AS ISO 2768-A ISO 2768-B	PESO	MATERIALES <b>ACERO</b>	
				FECHA	NOMBRE	DENOMINACION <b>Rodillos Guías</b>	ESCALA <b>1 : 15</b>
				DIB.	07/02/2022 Henry Fernández & Jair Marcialo		
				REV.	-/-		
				APROB.	-/-	NUMERO DEL DIBUJO <b>6/14</b>	
EDICION	MODIFICACION	FECHA	NOMBRE	SUSTITUYE A			



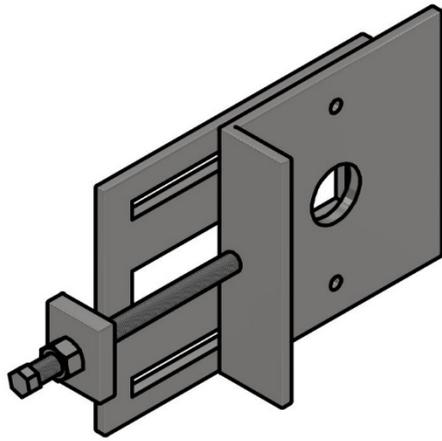
SCALE ( 1 : 6 )



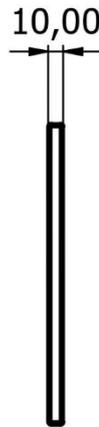
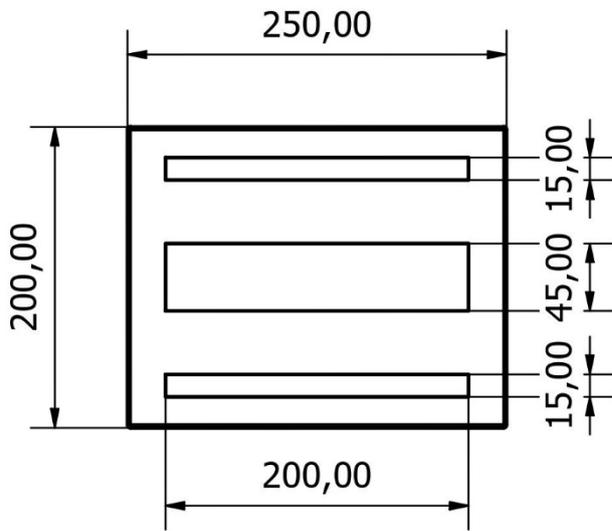
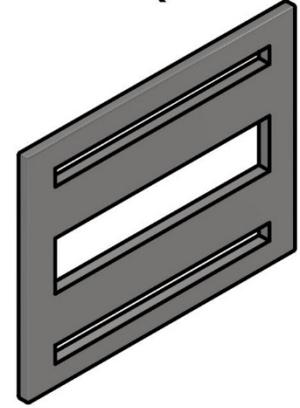
SCALE ( 1:3 )



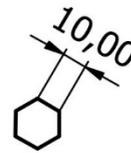
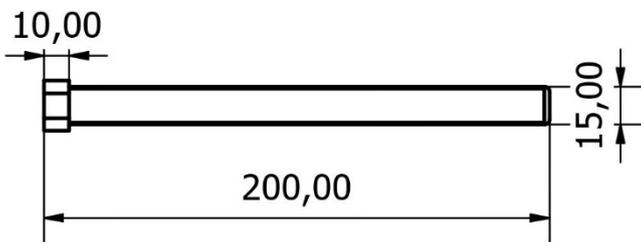
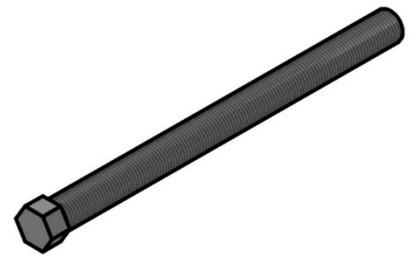
				TOLERANCIAS Ø DE BORO LO CORRIJO LAS OTROS DE ESPESOR EN MILIMETRO ACERADO SUPERFICIAL 0,07 TOLERANCIA LINEAL 0,05 ANGULAR 10'	PESO	MATERIALES <b>ACERO INOXIDABLE</b>		
				FECHA	NOMBRE	DENOMINACION		ESCALA
				DIB.	07/02/2022	Henry Fernández & Jair Marcillo	<b>Sistema de tensión Parte 1/2</b>	1 : 5
				REV.	-/-			
				APROB.	-/-			
				NOMBRE DEL DIBUJO			7/14	
EDI CIÓN	MODIFICACION	FECHA	NOMBRE	SUSTITUYE A:				



SCALE ( 1 : 5 )

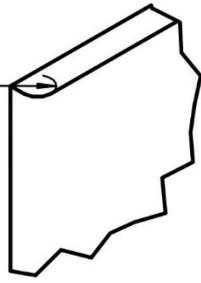


SCALE ( 1:3 )



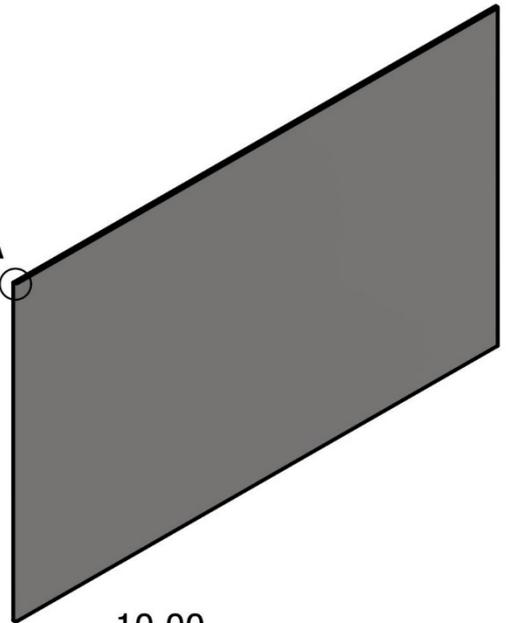
				TOLERANCIAS DIN 3162 (EXCEPTO) LAS OTROS DE ESPESOR DE MATERIAL ACERADO SUPERFICIAL: 0,1 TOLERANCIAS - 0,01 - 0,02 - 0,03 - 0,05	PESO	MATERIALES <b>ACERO INOXIDABLE</b>	
				FECHA	NOMBRE	DESIGNACION	ESCALA
				DIB.	07/02/2022	Henry Fernández & Jair Marcillo	<b>Sistema de tensión Parte 2/2</b>
				REV.	-/-		
				APROB.	-/-		1 : 5
						NOMBRE DEL DIBUJO	8/14
EDI CIÓN	MODIFICACION	FECHA	NOMBRE			SUSTITUYE A:	

R5,00

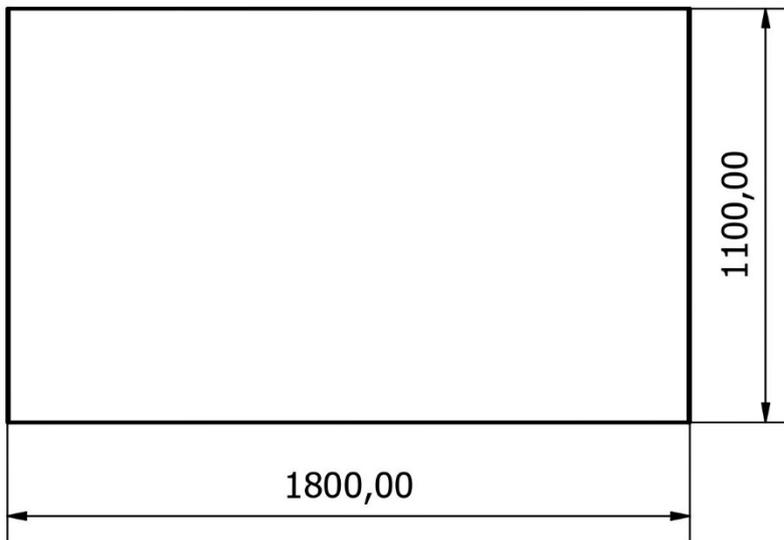


DETAIL A  
SCALE 1 : 2

A

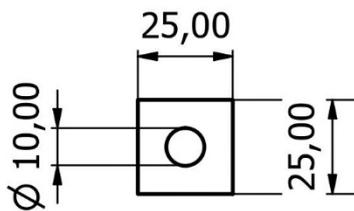


10,00

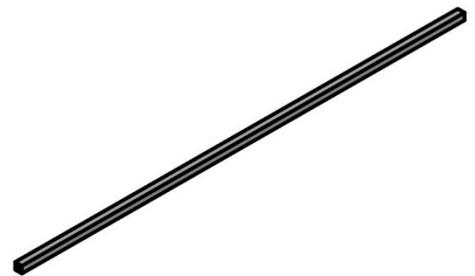


1800,00

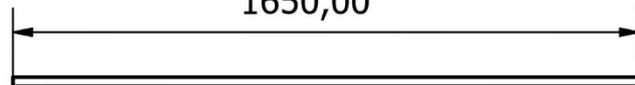
1100,00



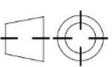
DETAIL B  
SCALE 1 : 2

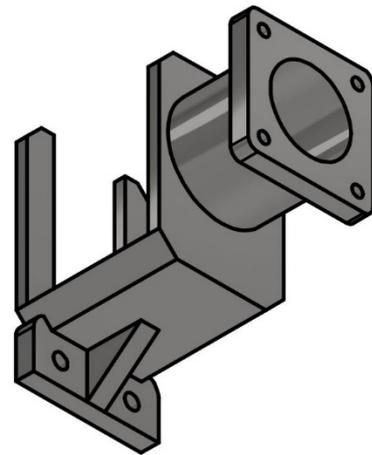
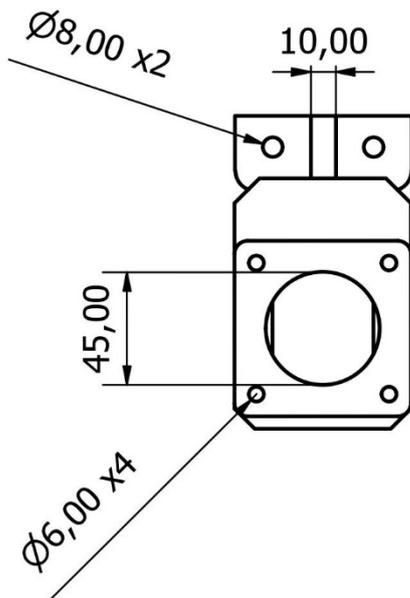
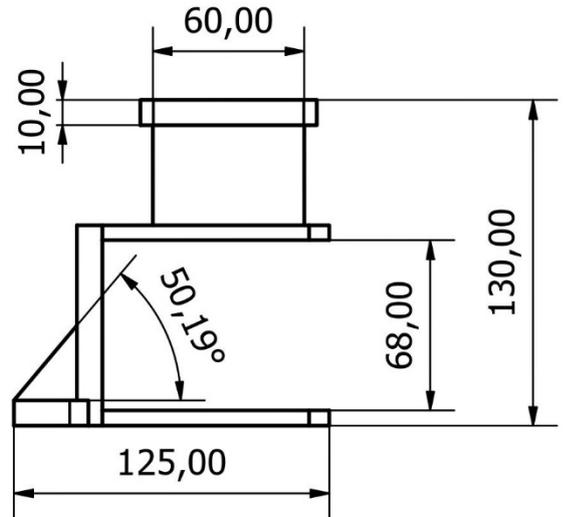
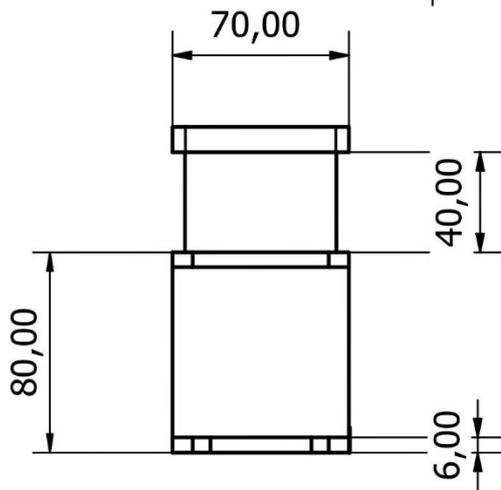
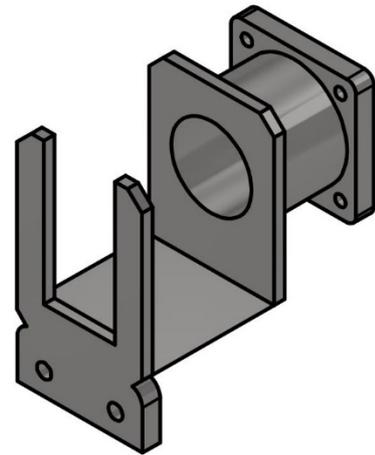
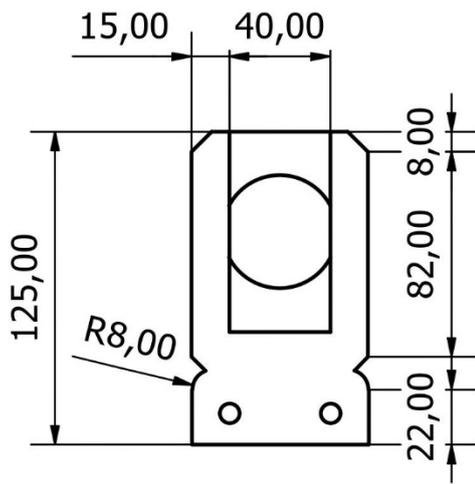


1650,00

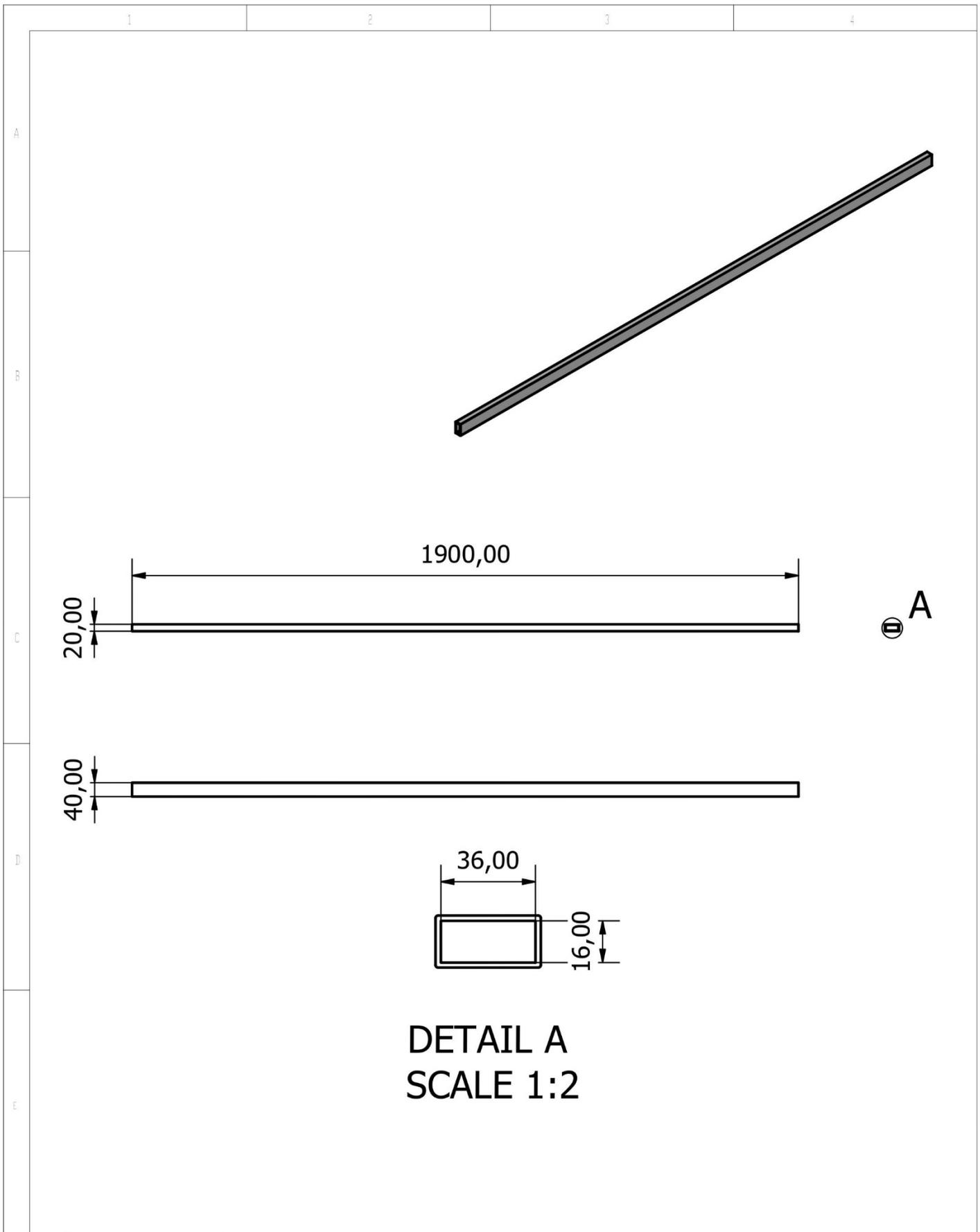


B

				TOLERANCIAS Ø DE BORO LO CORRIJO LAS OTROS DE ESPESOR DE ALUMINIO ACABADO SUPERFICIAL: 107 TOLERANCIA LÍNEA: 0,10 HORIZAL: 0,10	PESO	MATERIALES <b>PLANCHA 10 MM ACERO INOXIDABLE</b>		
				FECHA	NUMBRE	DENOMINACION <b>Base Deslizamiento y Soporte</b>		ESCALA 1:20
				DIB.	07/02/2022	Henry Fernández & Jair Marcillo		
				REV.	-/-			
				APROB.	-/-			
				NUMERO DEL DIBUJO 9/14				
EDI CION	MODIFICACION	FECHA	NUMBRE	SUSTITUYE A:				



				TOLERANCIAS DIN 1875 LAS OTRAS DE ESPECIAL INTERÉS ACERAR SUPERFICIA: 10 TRATAMIENTO SINCEPAC 100 PULGAR 100	PESO	MATERIALES <b>ACERO</b>	
				FECHA 07/02/2022	NOMBRE Henry Fernández & Jair Marcelló	DESIGNACIÓN <b>Soporte Encoder</b>	ESCALA 1 : 3
				REV. -/-			
				APROB. -/-			
						NOMBRE DEL DIBUJO <b>10/14</b>	
EDICIÓN	MODIFICACION	FECHA	NOMBRE			SUSTITUYE A:	

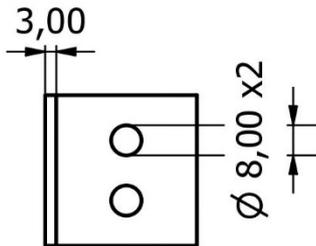
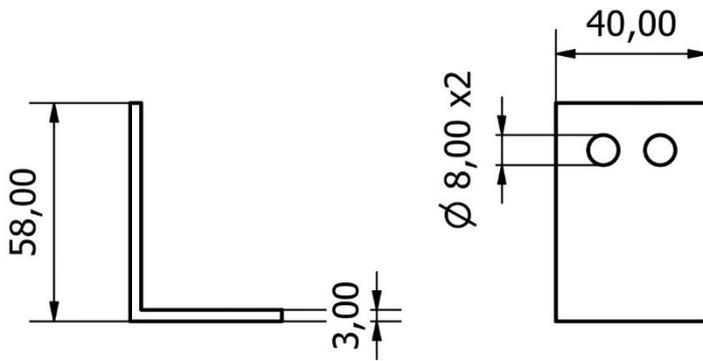


**DETAIL A**  
**SCALE 1:2**

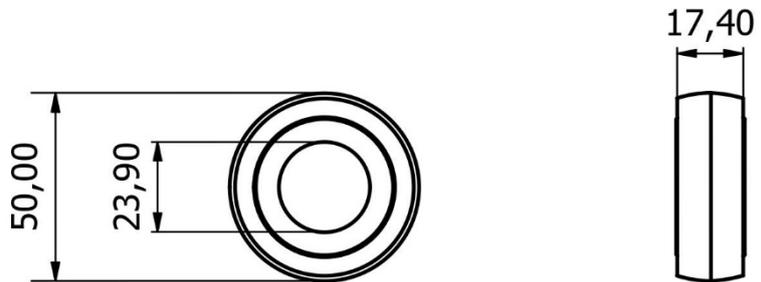
				TOLERANCIAS DE ACEROS INOXIDABLES SEGUN NORMA ISO 2010 ACEROS INOXIDABLES TOLERANCIAS SEGUN ISO 2010	PESO	MATERIALES <b>ACERO INOXIDABLE</b>	
				FECHA	NOMBRE	DENOMINACION <b>Escuadras para Lámina Superior</b>	ESCALA <b>1:15</b>
				DIB.	<b>07/02/2022</b>		<b>Henry Fernández &amp; Jair Marillo</b>
				REV.	-/-		
				APROB.	-/-		
						NUMERO DEL DIBUJO <b>11/14</b>	
EDICION	MODIFICACION	FECHA	NOMBRE			SUSTITUYE A	



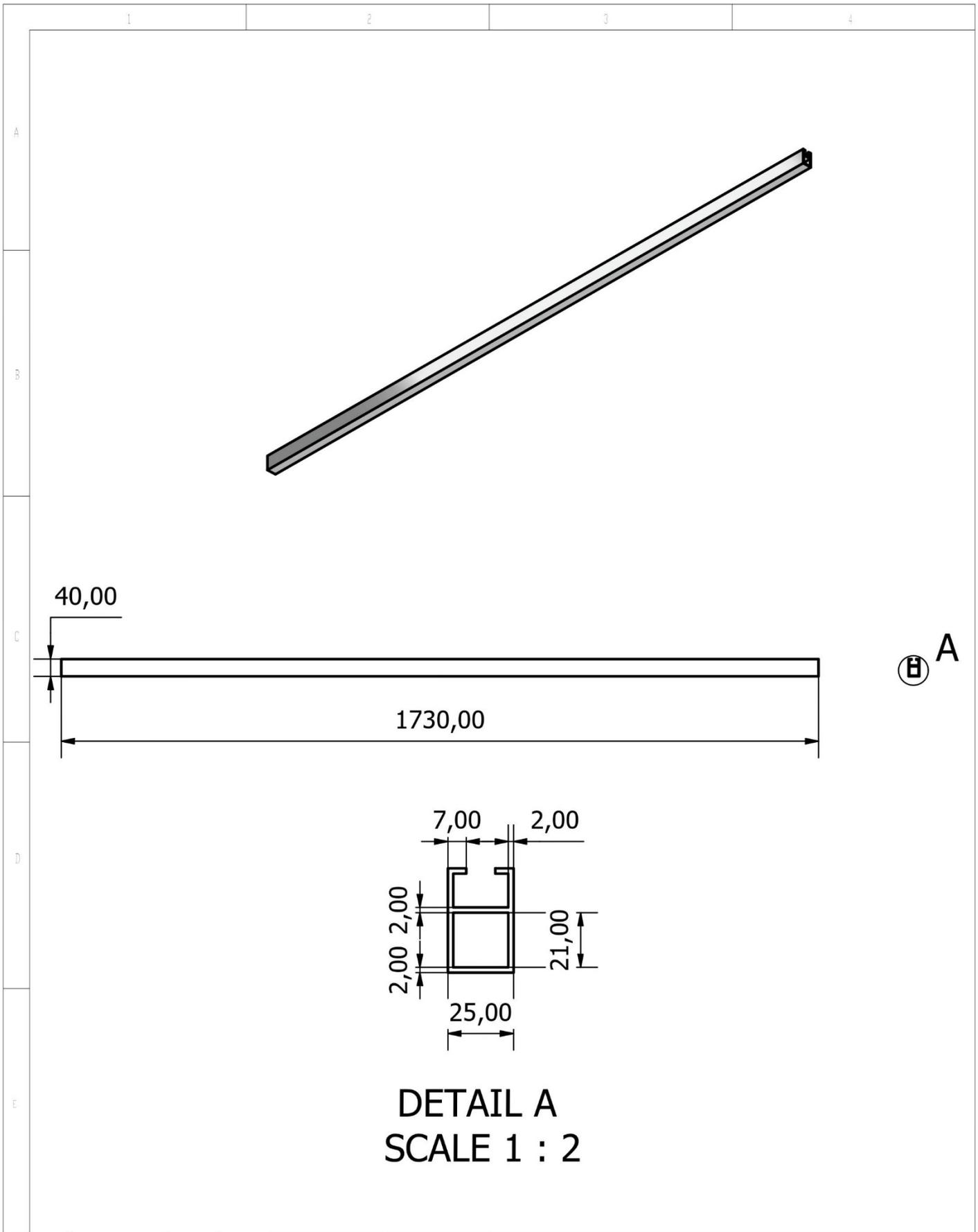
SCALE ( 1 : 2 )



SCALE ( 1 : 2 )

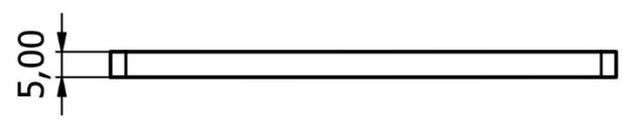
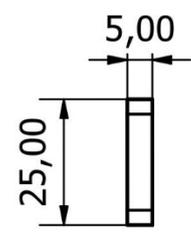
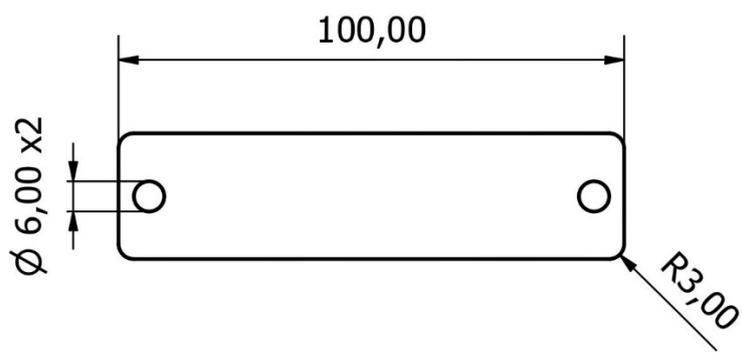
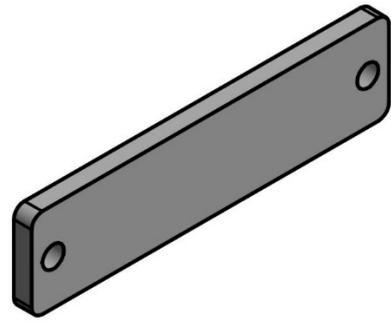
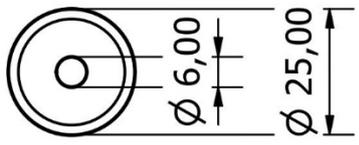
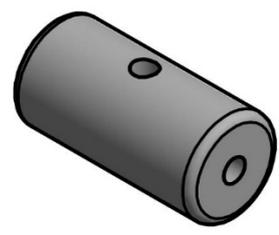
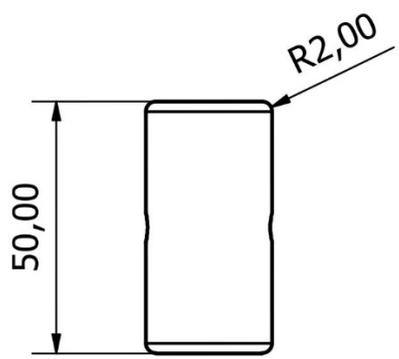
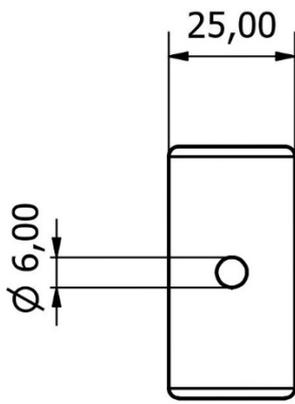


				TOLERANCIAS EN SE DE BANDO COBRADO LAS OTROS DE ESPESOR EN ALUMINIO ACABADO SUPERFICIAL: 125 TOLERANCIA LÍNEAS: 0,10 ANGULOS: 0,50	PESO	MATERIALES <b>ACERO Y RUEDAS DE POLIURETANO</b>	
				FECHA	NOMBRE	DENOMINACIÓN	ESCALA
				DIB.	07/02/2022	Henry Fernández & Jair Marcillo	1:12
				REV.	-/-		
				APROB.	-/-		
						NOMBRE DEL DIBUJO	
						12/14	
EDICIÓN	MODIFICACIÓN	FECHA	NOMBRE			SUSTITUYE A:	



**DETAIL A**  
**SCALE 1 : 2**

				TOLERANCIAS EN SE DE BANDA DE CORRIENTE LAS OTROS DE ESPESOR EN MILIMETROS ACABADO SUPERFICIAL: ST TOLERANCIAS LÍNEAS: 0,10 ANGULOS: 0,10	PESO	MATERIALES <b>PERFIL DE ACERO INOXIDABLE</b>	
				FECHA	NOMBRE	DENOMINACIÓN	ESCALA
				DIB.	07/02/2022	Henry Fernández & Jair Marcillo	1:12
				REV.	-/-		
				APROB.	-/-		
						NOMBRE DEL DIBUJO	
						13/14	
EDICIÓN	MODIFICACIÓN	FECHA	NOMBRE			SUSTITUYE A:	



				TOLERANCIAS SI NO SE INDICAN EN OTRO LUGAR SE APLICAN LAS SIGUIENTES: ACERO INOXIDABLE: ±0.05 ALUMINIO: ±0.05 PLASTICO: ±0.10 VIDRIO: ±0.05 MADERA: ±0.10	PESO	MATERIALES <b>ACERO INOXIDABLE</b>		
				DIB.	FECHA	NOMBRE	DENOMINACION <b>Sistema de Ruedas de Arrastre Parte 3/3</b>	ESCALA
				REV.	-/-	Henry Fernández & Jair Marillo		1 : 1.5
				APROB.	-/-			
EDICIÓN	MODIFICACION	FECHA	NOMBRE				NUMERO DEL DIBUJO <b>14/14</b>	
							SUSTITUYE A	

## APÉNDICE E

### CONFIGURACIÓN DE DISPOSITIVOS Y PROGRAMACIÓN

**Controlador Lógico Programable S7-1200:** Primero al crear el proyecto escogemos el PLC S7-1200 y su CPU 1214C AC/DC/RLY que nos permite la alimentación AC con sus entradas DC y salidas tipo relay para utilizar el servo drive.

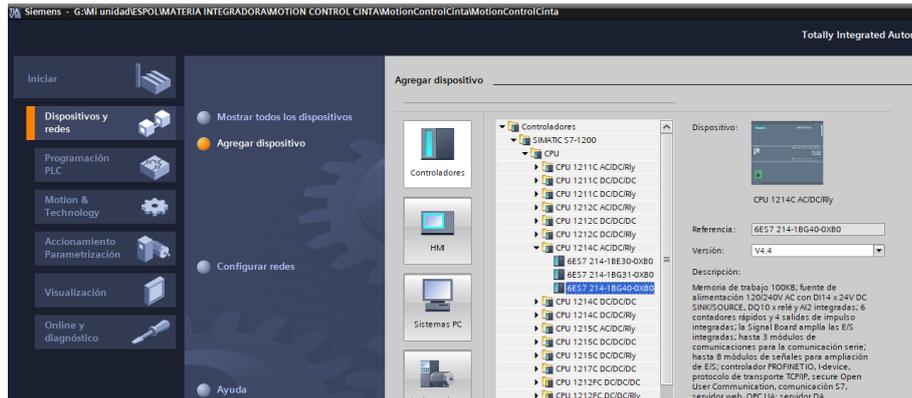


Figura E. 1 Selección de S7-1200

### Configuración de dispositivos

**Dispositivo de accionamiento – servo drive:** Para el controlador del servomotor escogido se escoge de la familia SINAMICS G120 modelo CU250S-2 como se muestra en la Figura E. 2.

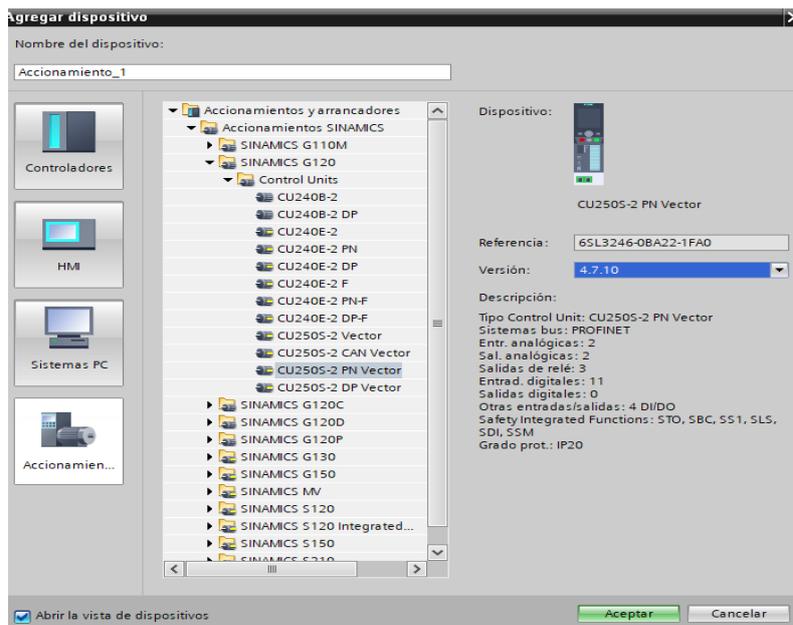
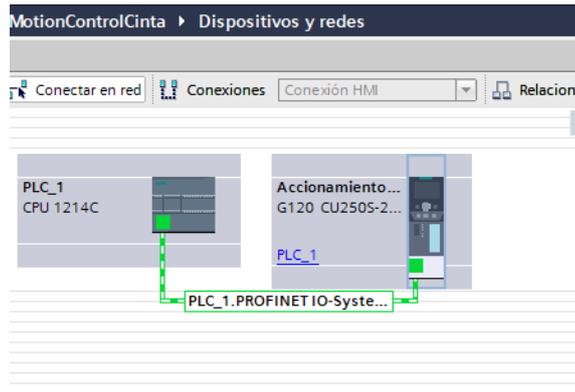
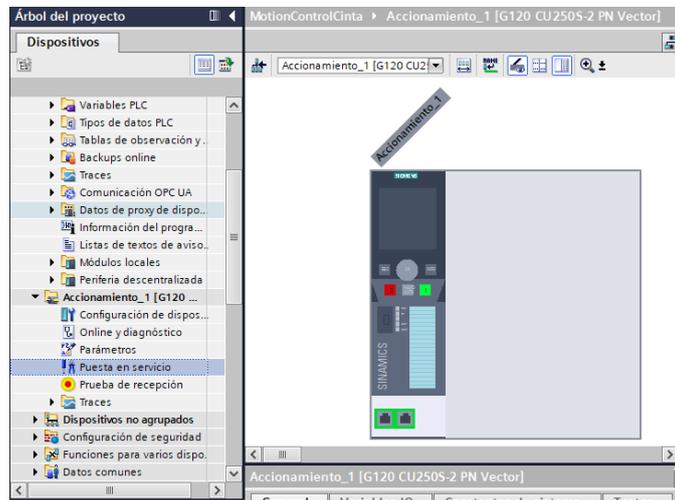


Figura E. 2 Selección de servo drive

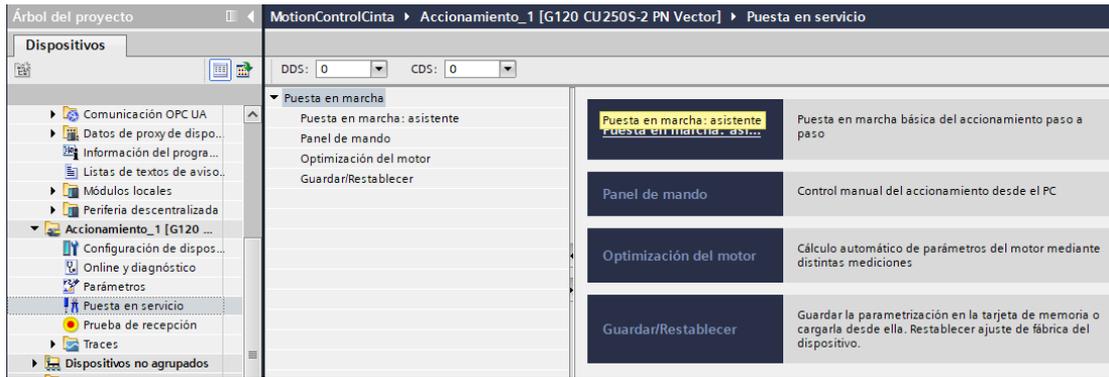


**Figura E. 3 Conexión del servo drive con el autómata**



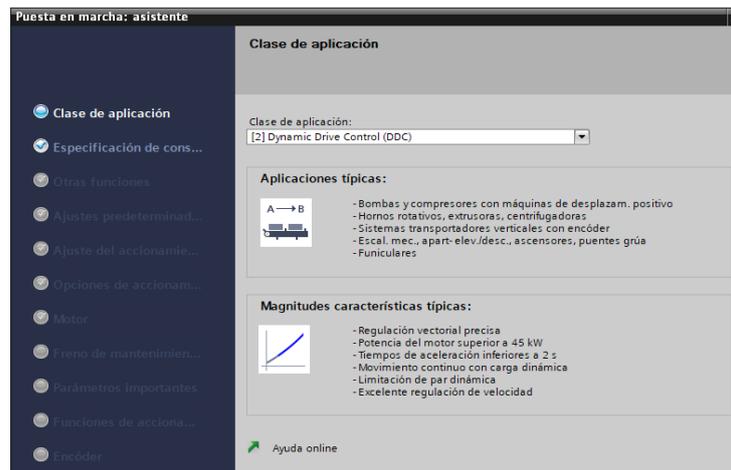
**Figura E. 4 Servo drive G120**

Luego de la selección del servo drive, el cual se muestra en la Figura E. 4, se realiza la configuración correspondiente de funcionamiento la cual se muestra paso a paso en las siguientes figuras, con la opción de puesta en marcha del asistente, Figura E. 5, encontramos el editor de las configuraciones del variador.



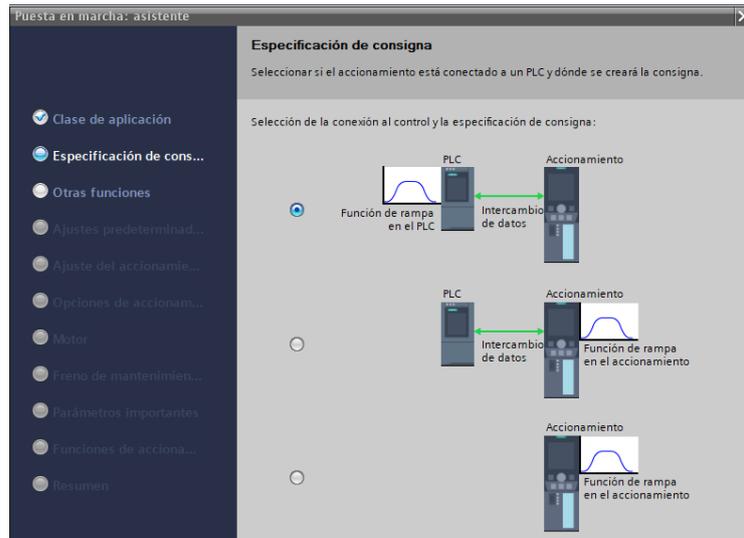
**Figura E. 5 Puesta en marcha de asistente**

Primero se escoge la clase de aplicación a utilizar en el proceso. Para nuestro sistema de compensación dinámico se escoge la opción 2 correspondiente a Dynamic Drive Control DDC como se muestra en la Figura E. 6.



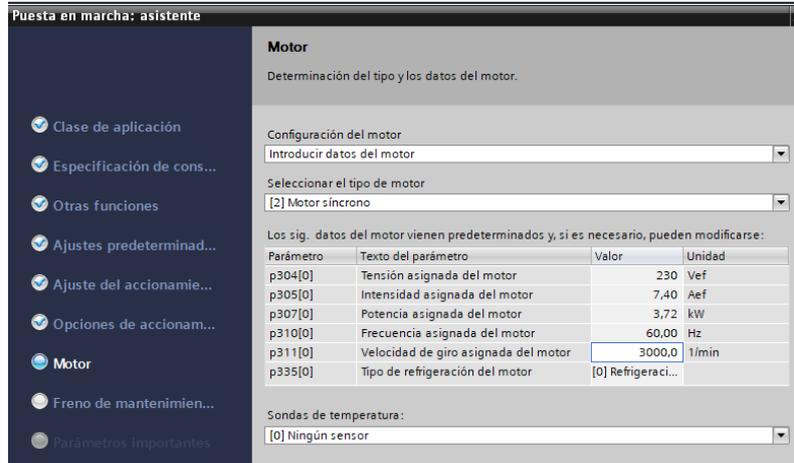
**Figura E. 6 Clase de aplicación del servo drive**

Luego se escoge la consigna de funcionamiento, en este paso es donde asignamos el tipo de sistema centralizado Figura E. 7, en la cual le otorgamos el control de todo el proceso y de funcionamiento del servomotor al PLC.



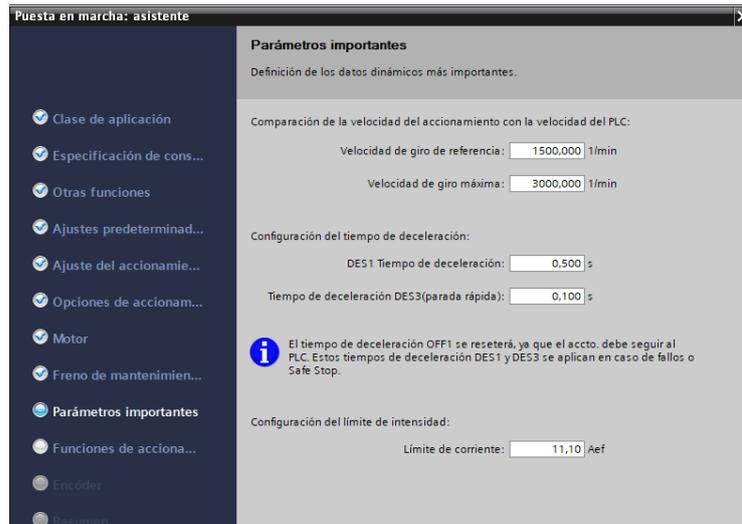
**Figura E. 7 Selección de sistema centralizado motion control**

Seleccionamos las especificaciones del motor seleccionado, para nuestro caso es el servomotor escogido en el capítulo 2, en el cual se colocan los valores de velocidad, par, corriente, frecuencia y potencia como se muestra en la Figura E. 8.



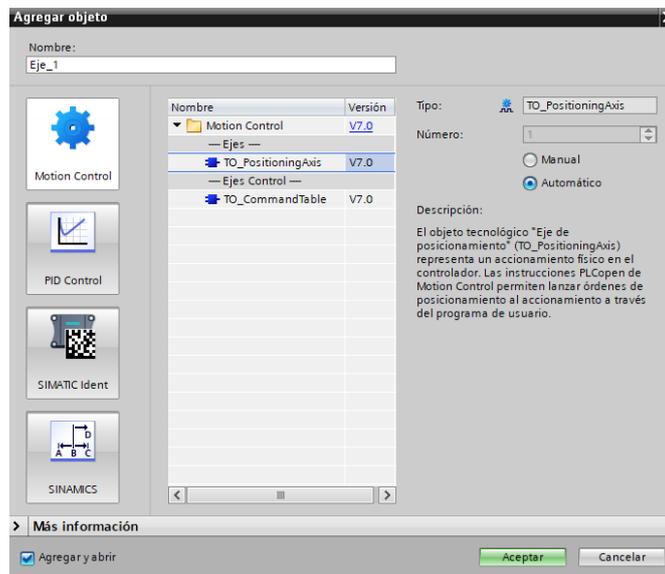
**Figura E. 8 Parámetros del servomotor seleccionado en el servo drive**

Finalmente, como parámetros importantes se selecciona las velocidades de referencia de giro y máxima para controlar en el servomotor, así como también los valores de tiempos de desaceleración el cual se utiliza cuando baja la velocidad para compensar la llegada de láminas. Esta configuración se muestra en la Figura E. 9.



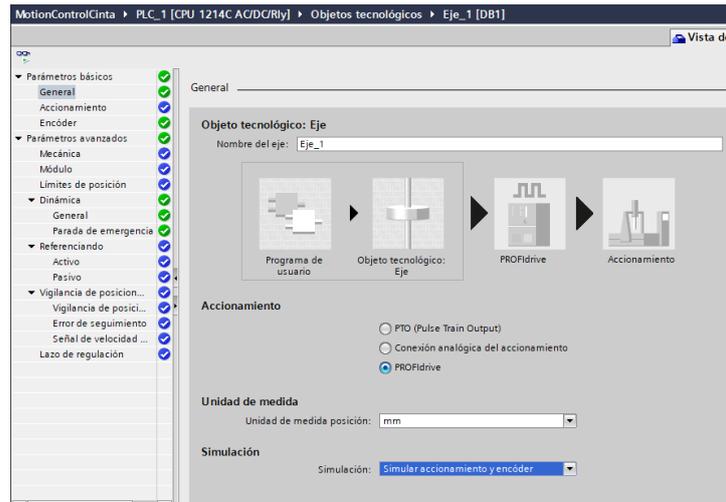
**Figura E. 9 Parámetros importantes de configuraciones**

**Eje de posicionamiento:** Posteriormente se realizó la configuración del servomotor utilizando los recursos de Motion Control, para esto se crea un nuevo objeto tecnológico como se muestra en la Figura E. 10, en esta se escoge eje de posicionamiento nuevo es el cual se lo denomina Eje\_1.



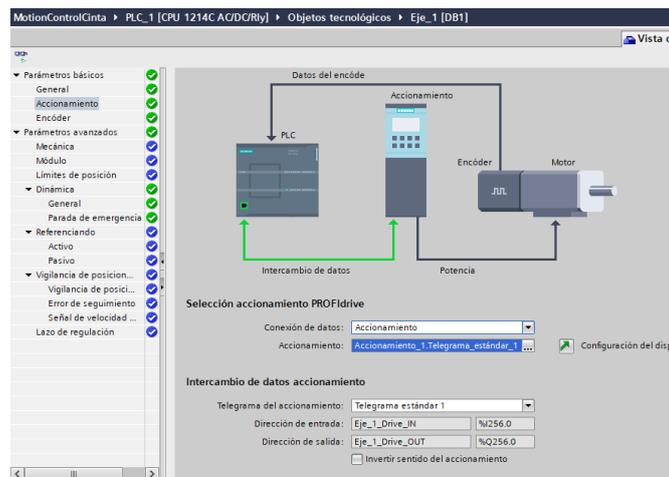
**Figura E. 10 Creación de nuevo objeto tecnológico.**

Para las configuraciones del objeto tecnológico se selecciona primero el tipo de accionamiento PROFIdrive y las unidades de medida en milímetros (mm) como se observa en la Figura E. 11.



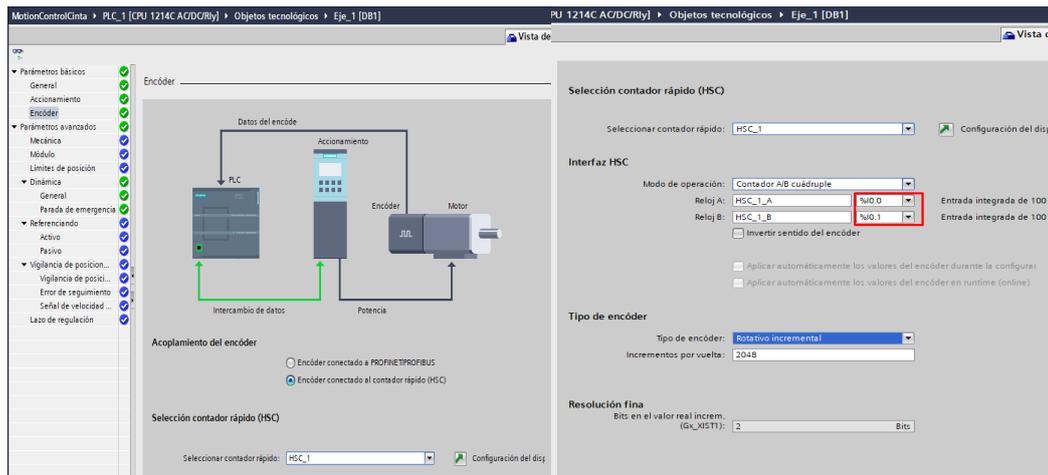
**Figura E. 11 Accionamiento PROFIdrive**

Después se escoge el accionamiento utilizado, que en este caso se lo denomina Accionamiento\_1, y de esta sección obtenemos donde tendremos nuestras variables de dirección de entrada y salida asignados en I256.0 y Q256.0 respectivamente.



**Figura E. 12 Tipo de accionamiento**

En seguida seleccionamos el codificador de referencial del servomotor el cual al ser un sistema centralizado y conectado directo al PLC se escoge un tipo de codificador conectado al contador rápido HSC\_1 y el método de operación como contador A/B cuádruple con sus entradas de reloj A y B asignadas en las entradas I0.0 y I0.1 del autómatas, se escoge el tipo incremental y como características del encoder interno es de 2048 pulsos por revolución como se muestra en la Figura E. 12.

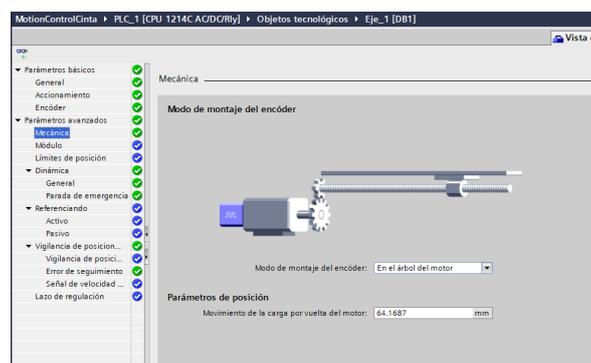


**Figura E. 13 Configuración del encoder del servomotor**

Luego en la Figura E. 14, se muestra los valores de mecánica asignados para que el autómatas interprete correctamente los pulsos del encoder y cuanto se está moviendo la carga, para esto calculamos el movimiento de la carga como se muestra a continuación.

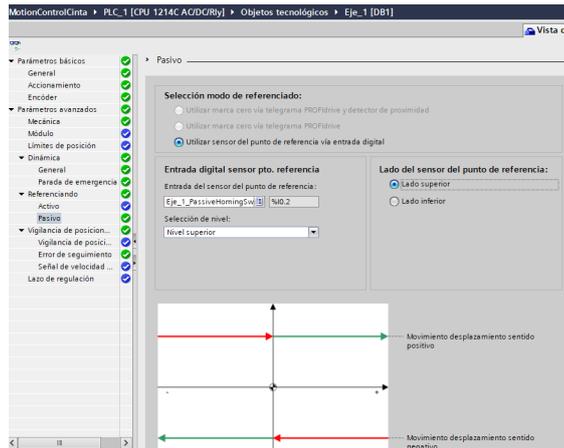
$$\text{Movimiento de la carga por vuelta del motor} = (d_c * \pi) / i_{\text{exacta}}$$

$$\text{Movimiento de la carga por vuelta del motor} = \frac{120\text{mm} * \pi}{47/8} = 64.16870101 \text{ mm}$$



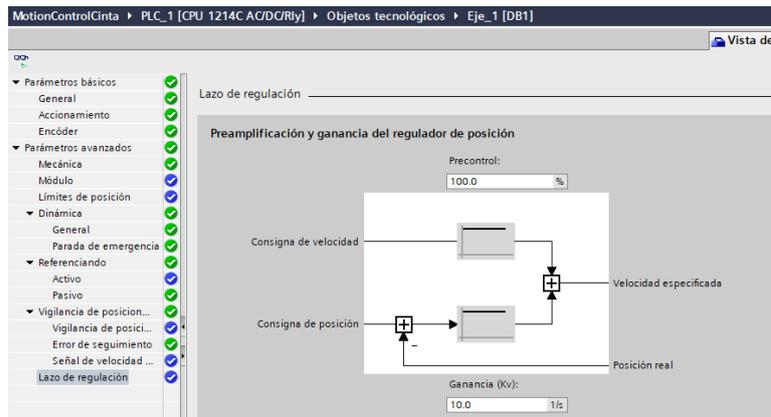
**Figura E. 14 Modo de montaje del encoder**

Además, seleccionamos el tipo de referenciado pasivo para poder reiniciar el funcionamiento luego de terminar el proceso de laminación de cada lámina. Se escoge como entrada de referencia al sensor S3 colocado en la zona de llegada de láminas en la entrada I0.2 y con el nombre de Eje\_1\_PassiveHomingSwitch.



**Figura E. 15 Modo de referenciado del servomotor**

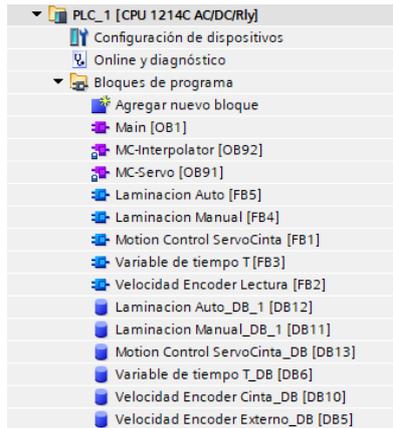
Finalmente se selecciona los parámetros del lazo de regulación, Figura E. 16, en la cual el servomotor a través de las lecturas del encoder y el set point enviado del PLC busca de manera óptima llegar al estado valor deseado se escoge una consigna de ganancia Kv de 10.0 1/s.



**Figura E. 16 Lazo de regulación interno**

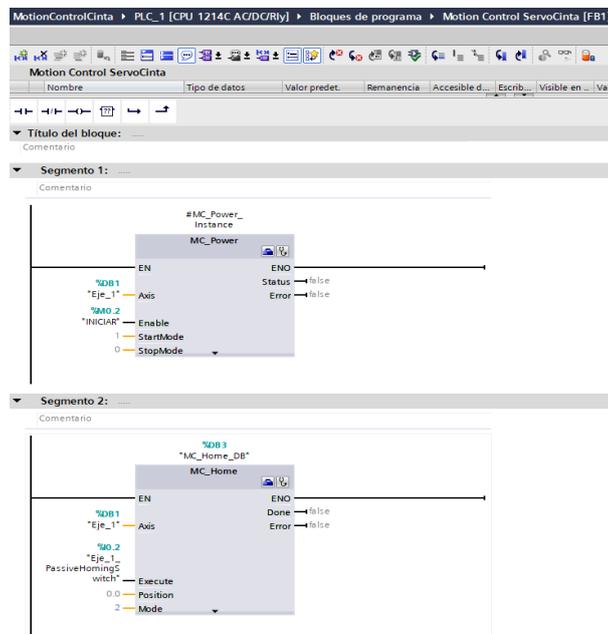
## PROGRAMACIÓN PLC

Dentro de la programación del PLC, se crearon 5 bloques de funciones (FB) como se muestra en la Figura E. 17 la cual se detalla la lógica de programación LADDER de cada uno de ellos.



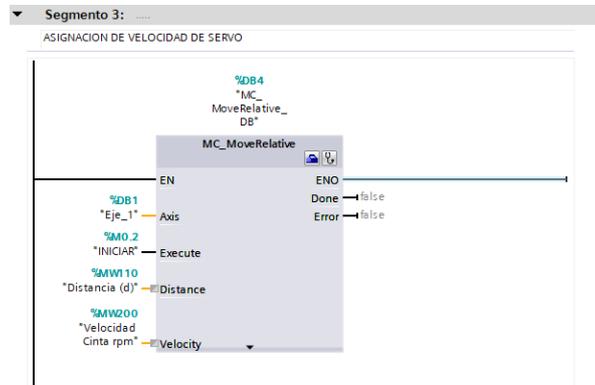
**Figura E. 17 Bloques de funciones e instancias creadas para el autómata**

**Motion Control:** En este bloque de funciones se explica el uso de funciones principales utilizadas en Motion Control para el funcionamiento del servomotor utilizando las librerías de PLCOpen. La instrucción MC\_Power es la que permite activar el objeto tecnológico creado a través de la señal de entrada Enable. Luego tenemos la instrucción MC\_Home que permite realizar la referencia del movimiento del eje a través de una señal de entrada que en este caso es la señal del sensor  $S_3$  denominada Eje\_1 PassiveHomingSwitch ambas instrucciones se muestran en la Figura E. 18.



**Figura E. 18 Instrucciones MC\_Power y MC\_Home**

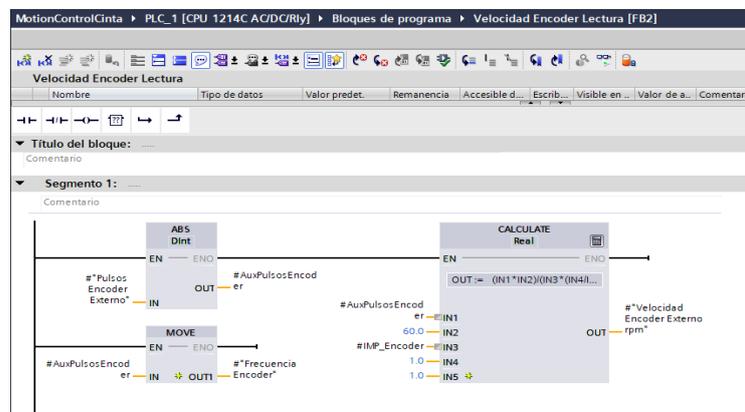
Luego tenemos la instrucción de asignación, MC\_MoveRelative le permite desplazar al Eje\_1 una distancia d a la velocidad de la cinta calculada como se muestra en la Figura E. 19.



**Figura E. 19 MC\_MoveRelative**

**Velocidad Encoder lectura:** En este bloque de funciones se realiza la conversión de las señales enviadas por el encoder en pulsos y a su vez interpretarla en la velocidad del rodillo en revoluciones por minuto. Para ello se toma el valor de entrada por medio de la dirección asignada en el contador rápido HSC, primero lo convertimos en valor absoluto y luego lo interpretamos en rpm por la ecuación siguiente y la Figura E. 20 en la cual utilizamos la instrucción de CALCULATE para operaciones aritméticas.

$$\frac{\text{pulsos}}{1 \text{ s}} \times \left( \frac{1 \text{ revolucion}}{IMP_{Encoder} * Relación_{Engranajes}} \right) \times \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}}$$



**Figura E. 20 Velocidad Encoder Lectura**

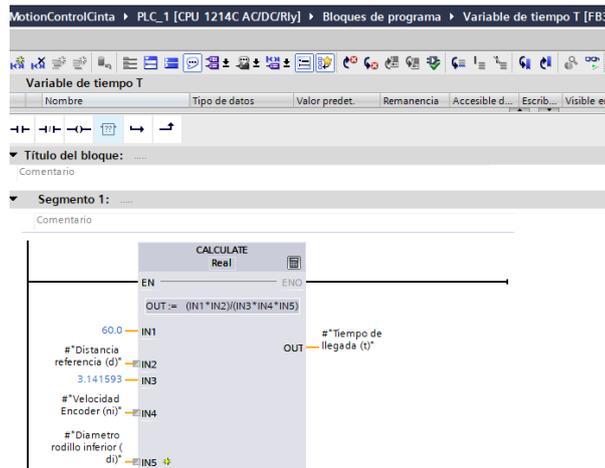


Figura E. 21 Variable de tiempo t

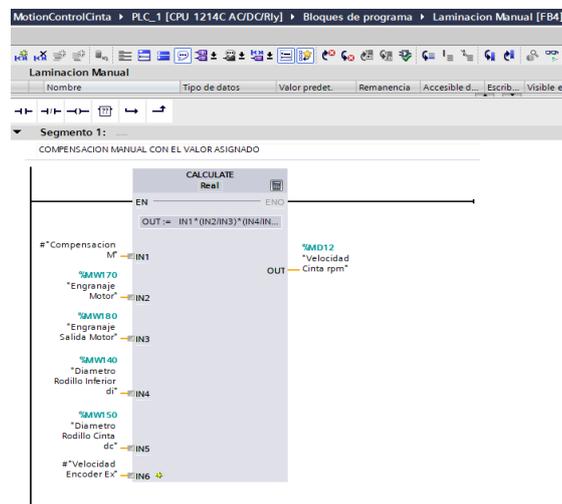


Figura E. 22 Laminación Manual

**Compensación de adelanto de láminas:** Para este primer caso de compensación automática utilizamos la secuencia  $S_1 - S_2$  para con el temporizador TONR almacenar el tiempo  $t_1$  en la variable tiempo adelanto. Este tiempo calculado ingresa en el bloque CALCULATE junto con los demás factores ya mencionados y encontramos la velocidad de la cinta rpm vista desde el servomotor.

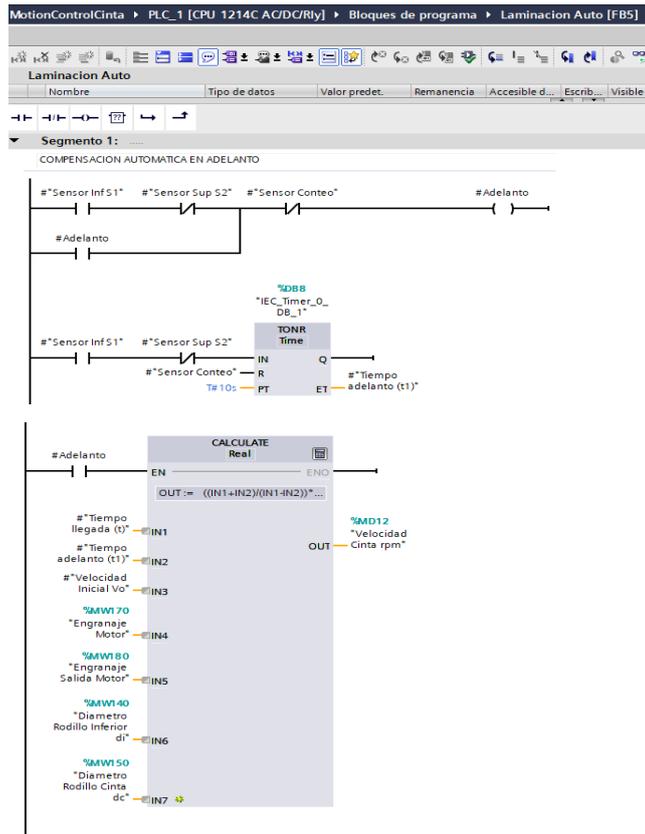
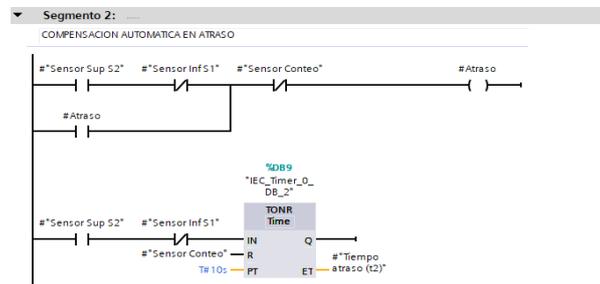
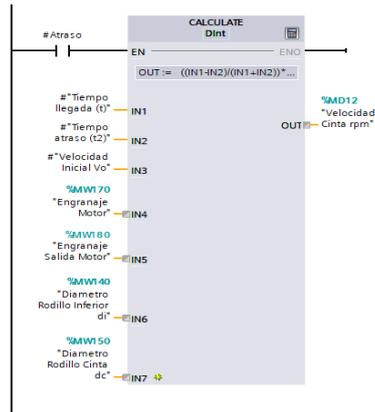


Figura E. 23 Compensación automática en adelanto

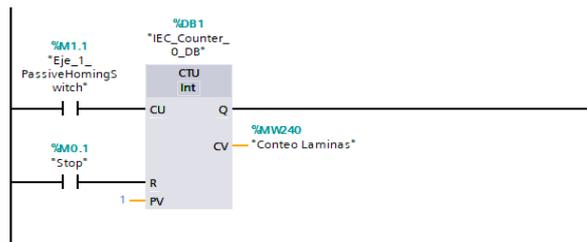
**Compensación de atraso de láminas:** En este segundo caso utilizamos la secuencia  $S_2 - S_1$  para con el temporizador TONR almacenar el tiempo  $t_2$  en la variable tiempo atraso. Este tiempo calculado ingresa en el bloque CALCULATE junto con los demás factores ya mencionados y encontramos la velocidad de la cinta rpm vista desde el servomotor.





**Figura E. 24 Compensación automática en atraso**

Finalmente, por medio del sensor ubicado en M1.1 para referenciado del motor también se lo utiliza para el conteo de láminas de salida con el bloque de instrucción CTU y almacenándolo en la variable Conteo Laminas.



**Figura E. 25 Conteo de láminas**

**BLOQUE MAIN OB1:** Una vez creado todos los bloques de funciones del proceso, se realiza la programación del bloque principal MAIN, en ella se asigna el sistema marcha paro tradicional para los procesos y simbolizamos el arranque de toda la máquina como se muestra en la Figura E. 26 en el segmento 1.

En el segmento 2 se realiza la selección del modo de operación, si se realiza la compensación manual o automática y utilizamos bloqueos de las señales para que no se puedan activar ambos a la vez.

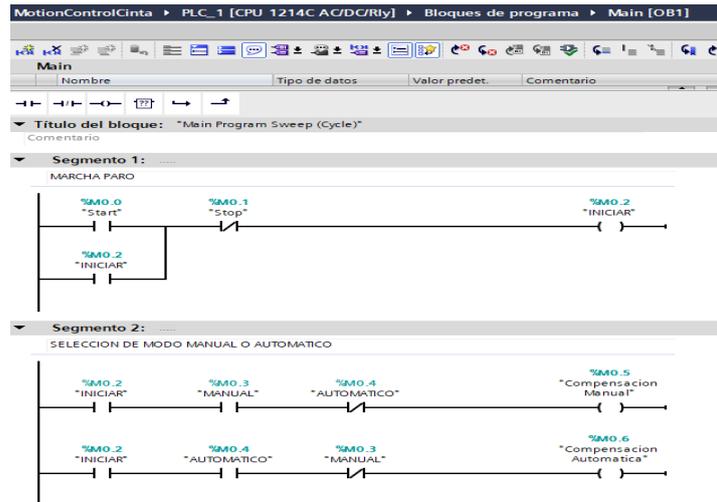


Figura E. 26 Bloque Main

Luego se realiza la instancia de la conversión de la velocidad del encoder generada.

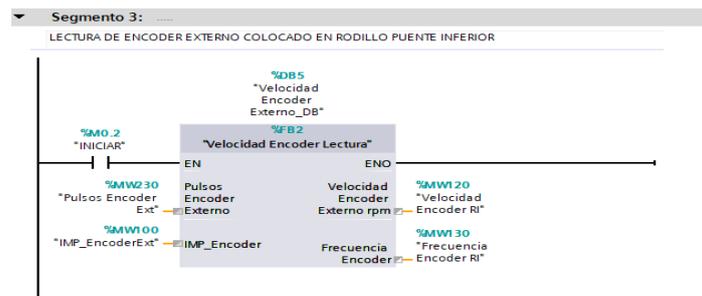


Figura E. 27 Velocidad encoder lectura

En el segmento 4 se realiza la instancia de la variable tiempo donde tenemos de entradas la distancia, la velocidad del encoder convertida y el diámetro del rodillo inferior.

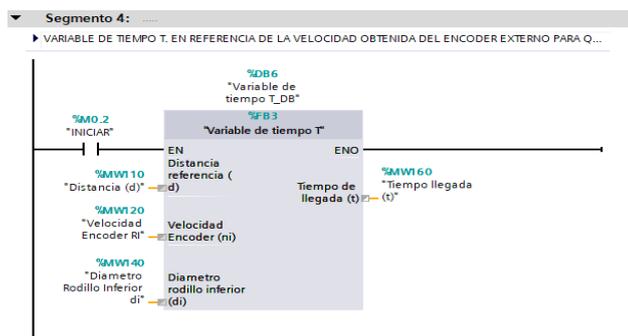


Figura E. 28 Instancia de la variable tiempo t

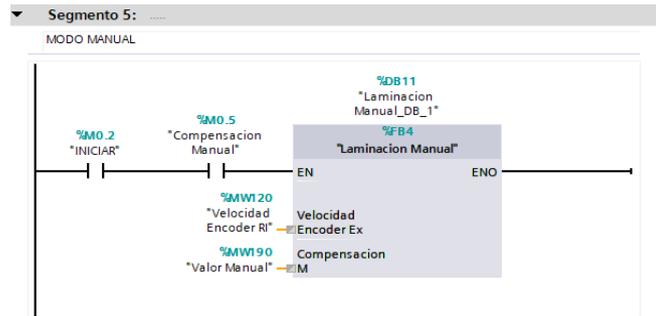


Figura E. 29 Instancia de laminación manual

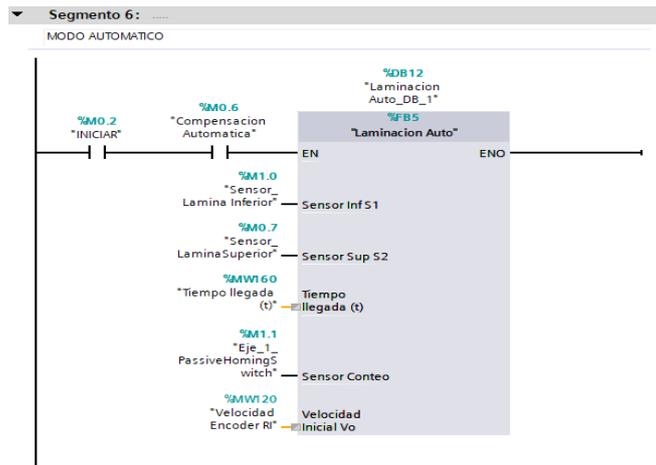


Figura E. 30 Instancia de laminación automática

Finalmente se realiza la instancia del bloque del servomotor (Motion Control Servo Cinta) y adicional se utiliza el bloque de conversión de velocidad del codificador interno del servomotor que envía señales a través de la dirección ID1000.

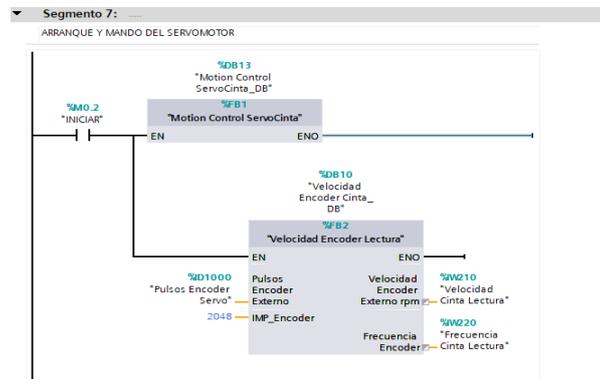


Figura E. 31 Instancia Motion Control servomotor

## APÉNDICE F

### SELECCIÓN DE SERVOMOTOR

En la Tabla F.1, se muestran las características que posee ese grupo de motores de dicha marca. En la Figura F.1 se muestran distintas familias que poseen los servomotores SIEMENS lo cual tomando en consideración el rango de potencia y el margen de par asignado seleccionamos la familia de servomotores 1FK7 CT.

**Tabla F.1 Características Servomotores síncronos**

<b>El motor adecuado para cada aplicación</b> Motores de bajo voltaje Sincrónico Alto rendimiento dinámico <b>Características principales:</b> Compacto, alta densidad de potencia		<b>Servomotores síncronos de imanes permanentes</b> 	
<b>Voltaje nominal</b>	230 V, 400 .. 480 V	<b>Par nominal, fuerza nominal</b>	0,08 ... 690 Nm
<b>Potencia nominal</b>	0,05 ... 118 kilovatios (0,07 ... 160,48 CV)	<b>Altura de eje</b>	20 ... 160
<b>Velocidad máxima</b>	Hasta 12.000 rpm	<b>Grado de protección</b>	IP64, IP65, IP67, IP68
<b>Ventilador accionado por separado:</b> sí, según el tipo	Catalogar: PM21, NC 60, NC61	<b>Codificador</b>	Resolver, codificador incremental (sen/cos, 1Vpp), codificador absoluto EnDat
<b>Freno:</b> Sí	Interfaz Drive-CLIQ: Sí	<b>Aplicaciones Típicas:</b> Aplicaciones con alto hasta el más alto rendimiento dinámico, p. robots y sistemas de manipulación, carpintería, vidrio, transporte de precisión, procesamiento de cerámica y piedra y papel.	
<b>Convertidor de frecuencia y arrancador de motor</b>	SINAMICS S120, MASTERDRIVES, SIMODRIVE 611		

Tipos de motor	Designación / principio de funcionamiento	Tipo de protección	Tipo de refrigeración	Altura del eje	Gama de potencia en kW					Margen del par asignado	Datos para selección y pedido en las páginas		
					0,1	1	10	100	1000				
<b>1FK7 CT</b> (Compact)	Servomotor compacto Motor síncrono excitado por imanes permanentes	IP64 (opcional IP65)	Refrigeración natural	28 hasta 100						<b>0,4</b>  <b>8,2</b>	0,6 hasta 37 Nm	2/4	
1FK7 HD (High Dynamic)	High Dynamic-Servomotor con momento de inercia propio extremadamente reducido		Refrigeración natural	36 hasta 80						<b>0,6</b>  <b>3,1</b>	0,9 hasta 12 Nm	2/6	
1FT6	Servomotor – High Performance Motor síncrono excitado por imanes permanentes	IP64 (opcional IP65, IP67, IP68)	Refrigeración natural Ventilación forzada por agua	28 hasta 132 80 hasta 160 63 hasta 160						<b>0,2</b>  <b>15,5</b> <b>6,9</b>  <b>89</b> <b>3,2</b>  <b>118</b>	0,3 hasta 88 Nm 17 hasta 540 Nm 10 hasta 690 Nm	2/10 hasta 2/21 2/22 hasta 2/25 2/26 hasta 2/29	
 1FS6	Servomotor – protegido contra explosión Motor síncrono excitado por imanes permanentes con grado de protec. contra ignición EEx de II C T3	IP64 (opcional IP65)	Refrigeración natural	71 hasta 132						<b>1,2</b>  <b>12,4</b>	1,9 hasta 68 Nm	2/32 y 2/33	
1FW3	Motor Torque Refrigerado por líquido, motor síncrono excitado por imanes permanentes	IP54	Refrigeración por agua	200 280						<b>8,0</b>  <b>146</b>	300 hasta 7000 Nm	2/36 y 2/37	
1PH7	Servomotor asíncrono Motor con rotor de jaula de ardilla de corriente trifásica	IP55	Ventilación forzada Refrigeración superficial	100 hasta 280						<b>3,7</b>  <b>385</b>	22 hasta 2480 Nm	3/4 hasta 3/25	

Figura F.1 Servomotores SIEMENS

Dentro de la familia de servomotores seleccionada buscamos el modelo óptimo para nuestra aplicación como se muestra en la Figura F.2 que muestra la tabla de servomotores 1FK7 Compact. Tenemos que asegurar el torque impulsor calculado para el rodillo motriz de la cinta y el rodillo de arrastre de láminas por tal razón consideramos que un motor con 3.3Kw y 16Nm de potencia nominal y torque estático es aceptable para nuestra aplicación.

### Servomotores para SIMOVERT MASTERDRIVES

#### Servomotores síncronos

#### Servomotores reductores 1FK7

#### Motors reductores de engranaje recto

---

#### Datos para selección y pedido

Potencia (S3 60%) $P_2$ kW	Número de revoluciones de salida $n_2$ min <sup>-1</sup>	Par asignado de salida $M_2$ Nm	Máx. par de aceleración admisible $M_{2max}$ Nm	Transmisión nominal $i_{nom}$	Transmisión exacta $i_{exacto}$	Fuerza transversal extremo del eje del reductor $F_{Tzul}$ N	Factor de sobrecarga $f_b$
2,23	782	27,2	50	3,8	441/115	560	1,2
	511	41,6	102	5,9	47/8	917	1,6
2,22	289	73,5	138	10,5	84/181	1109	1,2
	196	108	230	15,5	703/46	1775	1,4
2,23	128	166	350	23	845/36	3045	1,4
	86	247	550	35	975/28	5961	1,5
2,23	60	355	600	50	1305/26	6734	1,1
	43	495	850	70	10075/144	9229	1,1
2,07	773	25,6	101	3,9	1363/351	799	3,3
2,08	511	38,8	115	5,9	47/8	917	2,5
2,07	289	68,5	138	10,5	847/81	1109	1,7
	196	101	230	15,5	703/46	1775	1,9
2,08	191	104	138	15,5	377/24	1273	1,1
	128	155	350	23	845/36	3045	1,9
2,07	127	156	230	24	637/27	2051	1,3
	86	230	550	35	975/28	5961	2,0
2,08	86	231	350	35	1261/36	3479	1,3
2,07	60	329	920	50	1943/39	8241	2,4
2,09	44	454	1380	69	620/9	12344	2,6
3,20	773	39,5	101	3,9	1363/351	799	1,7
	772	39,6	154	3,9	486/125	1125	2,5
511	59,8	115	5,9	47/8	917	1,3	
	59	176	5,8	666/115	1284	2,0	
320	95,6	230	9,4	2450/261	1509	1,6	
	322	94,8	350	9,3	3575/384	2237	2,4

### Servomotores para SIMOVERT MASTERDRIVES

#### Servomotores síncronos

#### Servomotores reductores 1FK7

#### Motors reductores de engranaje recto

---

Tamaño del reductor	Tamaño de motor	Motors reductores de engranajes rectos Referencia	Indicaciones breves			Peso total aprox. kg
	AH		Tipo de transmisión	Tipo de construcción	Forma constructiva Posición de montaje	
C002	63	1FK7063-5AF71-1-1-5-Z	D01	G	H	17,1
C102	63	1FK7063-5AF71-1-1-5-Z	D12	G	H	22
C102	63	1FK7063-5AF71-1-1-5-Z	D13	G	H	22
C202	63	1FK7063-5AF71-1-1-5-Z	D24	G	H	26
C302	63	1FK7063-5AF71-1-1-5-Z	D35	G	H	31,1
C402	63	1FK7063-5AF71-1-1-5-Z	D46	G	H	41,3
C402	63	1FK7063-5AF71-1-1-5-Z	D47	G	H	41,3
C502	63	1FK7063-5AF71-1-1-5-Z	D58	G	H	52,9
C102	80	1FK7080-5AF71-1-1-5-Z	D11	G	H	21,7
C102	80	1FK7080-5AF71-1-1-5-Z	D12	G	H	21,7
C102	80	1FK7080-5AF71-1-1-5-Z	D13	G	H	21,7
C202	80	1FK7080-5AF71-1-1-5-Z	D24	G	H	25,7
C102	80	1FK7080-5AF71-1-1-5-Z	D14	G	H	21,7
C302	80	1FK7080-5AF71-1-1-5-Z	D35	G	H	30,8
C202	80	1FK7080-5AF71-1-1-5-Z	D25	G	H	25,7
C402	80	1FK7080-5AF71-1-1-5-Z	D46	G	H	41
C302	80	1FK7080-5AF71-1-1-5-Z	D36	G	H	30,8
C502	80	1FK7080-5AF71-1-1-5-Z	D57	G	H	52,6
C612	80	1FK7080-5AF71-1-1-5-Z	D68	G	H	67,9
C102	80	1FK7083-5AF71-1-1-5-Z	D11	G	H	26,9
C202	80	1FK7083-5AF71-1-1-5-Z	D21	G	H	30,9
C102	80	1FK7083-5AF71-1-1-5-Z	D12	G	H	26,9
C202	80	1FK7083-5AF71-1-1-5-Z	D22	G	H	30,9
C202	80	1FK7083-5AF71-1-1-5-Z	D23	G	H	30,9
C302	80	1FK7083-5AF71-1-1-5-Z	D33	G	H	36

Figura F.2 Servomotores 1FK7 Compact