

# DISEÑO DE MÁQUINA REBOBINADORA DE PAPEL FILM

POR:

DANIEL RICARDO PARRA GALLEGO

INFORME TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE  
INGENIERO MECÁNICO

ASESOR:

PEDRO LEÓN SIMANCA

UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA

UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA

FACULTAD DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA

MEDELLÍN

2019

## Contenido

DISEÑO DE MAQUINA REBOBINADORA DE PAPEL FILM.....	7
RESUMEN.....	7
1 INTRODUCCIÓN .....	8
2 OBJETIVOS .....	8
2.1 Objetivo General .....	8
2.2 Objetivos Específicos.....	8
3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	9
4 MARCO TEÓRICO .....	9
4.1 TIPOS DE MÁQUINAS REBOBINADORAS .....	11
4.1.1 MÁQUINAS REBOBINADORAS HORIZONTALES. ....	11
4.1.2 MÁQUINA REBOBINADORA HORIZONTAL LATERAL.....	12
4.1.3 MÁQUINA REBOBINADORA HORIZONTAL CENTRAL.....	12
4.1.4 MÁQUINAS REBOBINADORAS VERTICALES. ....	13
4.2 AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL DE UN SISTEMA.....	13
4.3 FUNDAMENTO DEL DISEÑO.....	14
4.3.1 ESFUERZOS A LOS QUE ESTÁN SOMETIDOS LOS MATERIALES.....	14
4.3.2 LÍMITE DE ELASTICIDAD .....	15
4.3.3 PANDEO. ....	15
4.3.4 FLEXIÓN.....	16
4.3.5 RESISTENCIA A LA TORSIÓN. ....	17
4.3.6 ESFUERZO Y DEFORMACION. ....	17
4.3.7 CARGAS. ....	17
4.3.8 ESFUERZO.....	17
4.3.9 DEFORMACIÓN NORMAL BAJO CARGA AXIAL. ....	18
4.3.10 DIAGRAMA ESFUERZO - DEFORMACIÓN. ....	18
4.3.11 MATERIALES DÚCTILES. ....	18
4.3.12 FRAGILIDAD.....	19
4.3.13 LEY DE HOOKE. MODULO DE ELASTICIDAD. ....	19
4.3.14 RANGO ELÁSTICO O ZONA ELÁSTICA. ....	19
4.3.15 RANGO PLÁSTICO O ZONA FLUENCIA. ....	19
4.3.16 ESFUERZO DE FLUENCIA. ....	19
4.3.17 ESFUERZO ÚLTIMO. ....	20
4.3.18 ESFUERZO DE ROTURA. ....	20
4.3.19 ESFUERZO ADMISIBLE. ....	20

4.3.20	FACTOR DE SEGURIDAD. ....	20
4.3.21	FUERZA.....	20
4.3.22	TRABAJO Y ENERGÍA. ....	20
4.3.23	TORQUE.....	21
4.3.24	POTENCIA.....	21
4.3.25	SISTEMA DE POTENCIA DE UNA REBOBINADORA.....	21
4.4	PROCESO DE DISEÑO .....	21
4.4.1	Establecimiento de las necesidades:.....	22
4.4.2	Aceptación del problema:.....	22
4.4.3	Descripción:.....	22
4.4.4	Concepción del sistema: .....	23
4.4.5	Estudio de factibilidad:.....	23
4.4.6	Factibilidad técnica: .....	23
4.4.7	Factibilidad económica:.....	23
4.4.8	Formación completa del sistema: .....	24
4.4.9	Diseño de detalles y procesos de fabricación: .....	24
4.4.10	Fabricación:.....	24
4.4.11	Evaluación final:.....	24
5	METODOLOGÍA .....	25
5.1	Definición de parámetros de diseño.....	25
5.2	Diseño conceptual .....	25
5.3	Diseño de detalle.....	25
5.4	Compra de elementos comerciales y fabricación de elementos de máquina.....	25
5.5	Ensamble.....	25
5.6	puesta a punto.....	25
6	RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	26
6.1	Parámetros de Diseño.....	26
6.2	Diseño conceptual .....	26
6.3	Diseño de detalle.....	28
6.3.1	Diseño del sistema de Rebobinado.....	28
6.4	Selección Motor eléctrico.....	39
6.5	Selección de bandas y poleas .....	40
6.6	Selección de rodamientos Rodamientos .....	44
6.7	Selección cilindros neumáticos. ....	46

6.7.1	Cilindros neumáticos sistema movimiento de bobinas.....	46
6.7.2	Cilindros neumáticos sistema de sujeción de bobina y desatraque tolva	47
6.8	Diseño estructura de la maquina.....	48
6.9	Componentes sistema de control.....	50
6.9.1	Dispositivos de entrada .....	50
6.9.2	Dispositivos de salida.....	50
6.10	SELECCIÓN DE COMPONENTES ELECTRÓNICOS.....	51
6.10.1	Selección del controlador lógico programable .....	51
6.10.2	Selección del variador de frecuencia.....	51
6.10.3	Selección del encoder.....	51
6.10.4	Panel de control .....	52
6.11	Programación de la maquina .....	52
6.11.1	TABLA DE ESTADOS .....	52
6.11.2	ALGORITMO GENERAL DEL PROCESO.....	53
6.11.3	ALGORITMO DE FUNCIONAMIENTO DE LA MÁQUINA .....	53
6.12	Componentes adicionales que conforman la maquina .....	54
7	CONCLUSIONES .....	56
8	RECOMENDACIONES .....	56
9	Bibliografía.....	57
10	ANEXOS .....	58

### Listado de Ilustraciones

Ilustración 1:	Uso manual del Plástico para paletizar (Fuente: <a href="https://adelpplast.com/caracteristicas-film-estirable">https://adelpplast.com/caracteristicas-film-estirable</a> ) .....	10
Ilustración 2:	Rebobinadora con tolva de alimentación de tubos (Fuente: <a href="http://www.europages.co.uk">www.europages.co.uk</a> ) .....	10
Ilustración 3:	Rebobinadora alimentada manualmente (Fuente: <a href="http://www.filmrewindermachinery.com">http://www.filmrewindermachinery.com</a> ).....	11
Ilustración 4:	Maquina rebobinadora horizontal lateral (Fuente: <a href="http://www.aztechmachinery.com">www.aztechmachinery.com</a> ) .....	12
Ilustración 5:	Rebobinadora horizontal central (Fuente: <a href="http://www.lemu.es/pdf/sidewinderproductguide.pdf">www.lemu.es/pdf/sidewinderproductguide.pdf</a> .) .....	13
Ilustración 6:	Rebobinadora vertical (Fuente: <a href="http://www.lemu.es/pdf/sidewinderproductguide.pdf">http://www.lemu.es/pdf/sidewinderproductguide.pdf</a> ) .....	13
Ilustración 7:	Diagrama Esfuerzo-Deformación unitaria, convencional y real, para un material dúctil (acero) (Fuente: R. C HIBBELER) .....	18
Ilustración 8:	Diseño conceptual rebobinadora (Fuente: propia) .....	27

Ilustración 9: Concepto sistema de sujeción bobina madre (Fuente: propia)	27
Ilustración 10: Concepto sistema de sujeción bobina secundaria (Fuente: propia)	28
Ilustración 11: Sistema de rebobinado (Fuente: propia)	28
Ilustración 12: Diagrama de cuerpo libre Rodillo rebobinador (Fuente: propia)	30
Ilustración 13: Tensión de Von Mises rodillo rebobinador (Fuente propia)	32
Ilustración 14: Deflexión máxima rodillo rebobinador (Fuente: propia)	32
Ilustración 15: Coeficiente de seguridad rodillo rebobinador (Fuente: propia)	33
Ilustración 16: Diagrama de cuerpo libre Rodillo tractor (Fuente: propia)	34
Ilustración 17: Tensión de Von Mises rodillo tractor (Fuente propia)	35
Ilustración 18: Deflexión máxima rodillo tractor (Fuente: propia)	35
Ilustración 19: Coeficiente de seguridad rodillo tractor (Fuente: propia)	36
Ilustración 20: Banda recomendada según potencia de diseño y rpm del eje más lento (Fuente: repository.usta.edu.co)	41
Ilustración 21: Modelo del sistema de transmisión (Fuente: propia)	43
Ilustración 22: Fuerzas estáticas en el sistema de rebobinado (Fuente: propia)	46
Ilustración 23: Estructura rebobinadora (Fuente: propia)	48
Ilustración 24: Tensión de Von Mises estructura (Fuente: propia)	49
Ilustración 25; Coeficiente de seguridad estructura (Fuente: propia)	49
Ilustración 26: Encoder hohner serie10 (Fuente: <a href="https://www.encoderhohner.com/es/">https://www.encoderhohner.com/es/</a> )	51
Ilustración 27: Panel de control (Fuente: propia)	52
Ilustración 28: Vista Isométrica de la maquina (Fuente: propia)	54
Ilustración 29: Vista Frontal de la maquina (Fuente: propia)	55
Ilustración 30: Vista posterior de la maquina (Fuente: propia)	55
Ilustración 31: Plano eléctrico DISTRIBUCION DE PLC (Fuente: propia)	58
Ilustración 32: Plano eléctrico DISTRIBUCION DE 24V (Fuente: propia)	58
Ilustración 33; Plano eléctrico DISTRIBUCION DE POTENCIA (Fuente: propia)	59
Ilustración 34: Ensamble y puesta a punto (Fuente: propia)	59
Ilustración 35: Ensamble y puesta a punto (Fuente: propia)	60
Ilustración 36: Ensamble y puesta a punto (Fuente: propia)	60
Ilustración 37: Ensamble y puesta a punto (Fuente: propia)	61
Ilustración 38: Ensamble y puesta a punto (Fuente: propia)	61
Ilustración 39: Ensamble y puesta a punto (Fuente: propia)	62
Ilustración 40: Ensamble y puesta a punto (Fuente: propia)	62
Ilustración 41: Ensamble y puesta a punto (Fuente: propia)	63
Ilustración 42: Ensamble y puesta a punto (Fuente: propia)	63
Ilustración 43: Ensamble y puesta a punto (Fuente: propia)	64

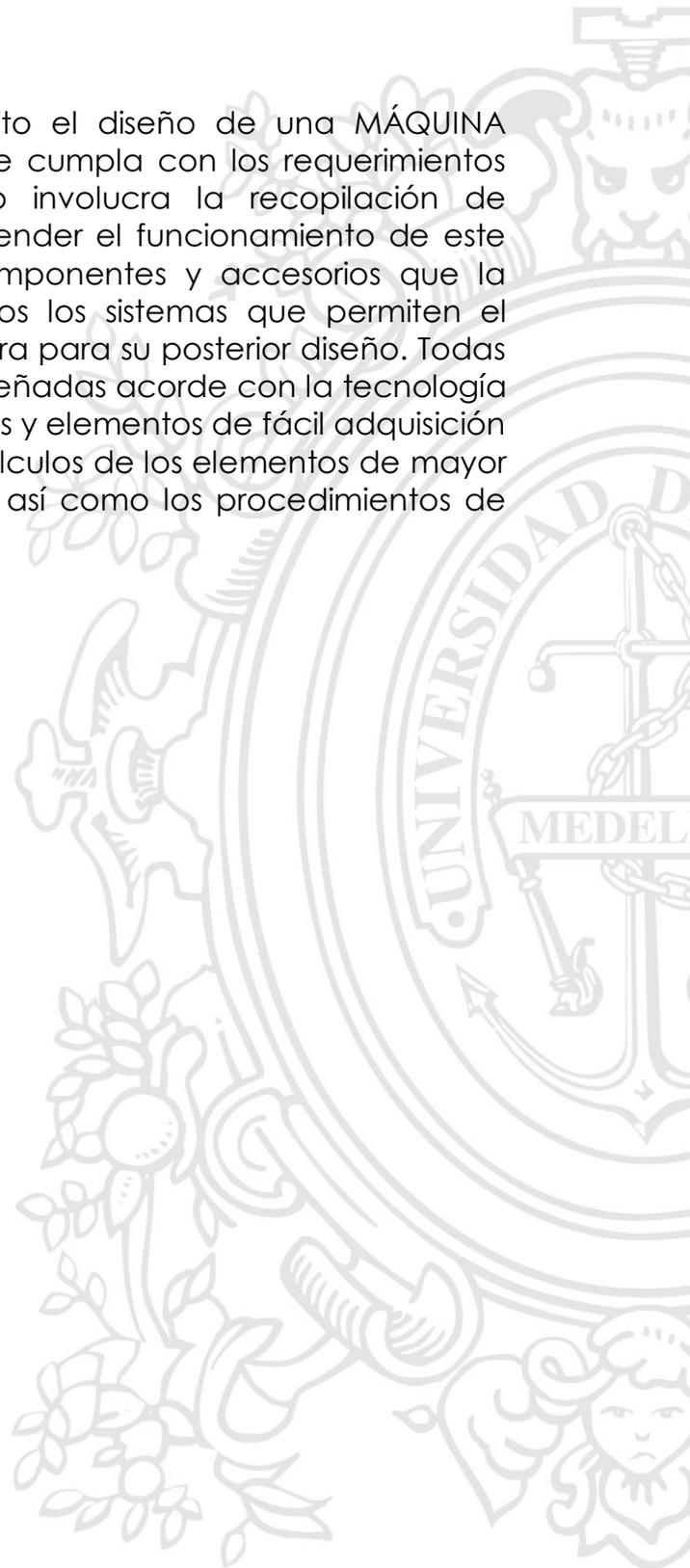
## Listado de Tablas

Tabla 1: Coeficientes de fricción estáticos entre acero y plástico (Fuente: vallyblog.files.wordpress) .....	31
Tabla 2: Límite de fatiga y resistencia a la fatiga para aceros de medio y bajo carbono (Fuente: Revista de ingeniería U.C) .....	33
Tabla 3: Radio exterior y momento de inercia de los elementos del sistema de rebobinado (Fuente: propia) .....	38
Tabla 4: Resultado potencia máxima elementos del sistema de rebobinado (Fuente: propia) .....	39
Tabla 5: Factor de servicio para recomendado (Fuente: repository.usta.edu.co) .....	40
Tabla 6: Diámetro mínimo de poleas recomendado en función de la potencia y el rpm (Fuente: NEMA) .....	42
Tabla 7: Propiedades de la banda de transmisión (Fuente: propia) .....	43
Tabla 8: Resultados comprobación de diseño del sistema de transmisión (Fuente: propia) .....	44
Tabla 9: Especificaciones del soporte con rodamiento del rodillo tractor y rebobinador (Fuente: CATÁLOGO SKF: Soporte de brida con rodamientos Y) .....	46
Tabla 10: Dispositivos de entrada (Fuente: propia) .....	50
Tabla 11: Dispositivos de Salida (Fuente: propia) .....	50
Tabla 12: Lógica del circuito y acciones a ejecutarse (Fuente propia) .....	52

# DISEÑO DE MAQUINA REBOBINADORA DE PAPEL FILM

## RESUMEN

El siguiente proyecto tiene como propósito el diseño de una MÁQUINA REBOBINADORA DE PAPEL FILM STRECH que cumpla con los requerimientos de la empresa PRODUFLEX. El proyecto involucra la recopilación de información básica necesaria para comprender el funcionamiento de este tipo de maquinaria, así como de los componentes y accesorios que la conforman. Se procede a identificar todos los sistemas que permiten el funcionamiento de la máquina rebobinadora para su posterior diseño. Todas las piezas a construir y seleccionar están diseñadas acorde con la tecnología existente en el país, considerando materiales y elementos de fácil adquisición en el mercado nacional. Se presenta los cálculos de los elementos de mayor importancia en cada uno de los sistemas, así como los procedimientos de selección de componentes y accesorios.



# 1 INTRODUCCIÓN

El papel film es un papel estirable utilizado para envolver y proteger diferentes elementos que van desde alimentos hasta mercancía industrial. PRODUFLEX es una empresa dedicada al rebobinado y comercialización de papel film stretch. El proceso rebobinado consiste en transferir el papel de una bobina madre a rolos de menor tamaño de acuerdo con las necesidades del cliente. Dicho proceso es realizado actualmente por PRODUFLEX de forma artesanal, lo que no le permite satisfacer la demanda actual de este papel en la ciudad.

En la actualidad, existe en el mercado diversos sistemas que permiten el rebobinado automático de estos papeles, por lo que se propuso inicialmente la importación de una máquina de rebobinado que se adaptara a las necesidades requeridas por PRODUFLEX. Debido a que no fue posible encontrar una máquina que se adaptara cien por ciento a los requerimientos, sin la necesidad de realizar intervenciones y rediseños, se propuso el desarrollo de una máquina a medida especialmente diseñada para las necesidades de PRODUFLEX, propuesta que fue aceptada por la empresa.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar a detalle y realizar actividades de apoyo en la construcción y puesta en funcionamiento de una máquina automática para el rebobinado de papel film stretch que se adapte a las necesidades de la empresa PRODUFLEX.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Conocer y entender a fondo el funcionamiento de una rebobinadora de papel.
- Diseñar los distintos sistemas que conforman el equipo para que realice su trabajo de manera efectiva.
- Calcular las distintas piezas mecánicas para que cumplan efectivamente con su función.
- Seleccionar los diferentes componentes mecánicos que componen el equipo, (motores, rodamientos, actuadores neumáticos, etc.)

- Realizar planos de fabricación de cada una de las piezas que componen el equipo

### **3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

La necesidad surge a partir de del incremento en la demanda de rollos de papel filme stretch distribuidos por la empresa PRODUFLEX y de los elevados costos que implica importar maquinaria. El propósito de la empresa que solicita el diseño es aumentar la cantidad de rollos diarios producidos al día sin aumentar el número de operarios para dicho propósito. La máquina para diseñar debe tener la posibilidad de variación de la velocidad de rebobinado, debe tener tolva de alimentación de tubos y Además, la misma máquina debe permitir realizar el conteo de la cantidad de tubos rebobinados.

### **4 MARCO TEÓRICO**

El papel film industrial, también conocido como film estirable, film stretch o wrap film se presenta en su estado final como fina lámina de plástico transparente bobinada sobre un tubo de cartón con un ancho habitual de 500 mm. y espesores comprendidos entre 10 y 35  $\mu\text{m}$ .

Su fabricación se realiza mediante la extrusión de polietileno de baja densidad mediante extrusoras por soplado o extrusoras de capa plana que funden las bolitas de polietileno en varias capas obteniendo como resultado la fina lámina de plástico que previamente debe ser enfriada y tras la eliminación del lateral irregular sobrante, se corta y se bobina en los anchos y largos deseados.

A diferencia de otros plásticos similares, el papel film para uso en la industria como embalaje, tiene la especial característica de estirarse longitudinalmente hasta en un 300% si rasgarse ni perder sus cualidades.

Gracias a esta elasticidad, durante su uso en el proceso de embalaje de la mercancía con papel film, el operario puede ir variando la tensión de empaquetado que se le conferirá al producto dependiendo las características particulares del mismo. Así como rentabilizar al máximo el plástico a utilizar en cada empaquetado. Pudiendo obtener una rentabilidad de hasta un 180% para el empaquetado de forma manual, y hasta un 300% de rendimiento para enfardado mediante máquinas automáticas con cabezal de pre-estiraje especialmente destinado a este fin.

La mencionada elasticidad unida a la especial capacidad autoadhesiva del papel film industrial, hace de este peculiar plástico un producto único para el empaque de cualquier tipo de material y en especial para el paletizado de cargas, con el que lograremos agrupar los productos terminados para su

almacenaje, o para facilitar y economizar su transporte hasta el cliente, evitando a su vez posibles deterioros o mermas durante el trayecto<sup>1</sup>.



Ilustración 1: Uso manual del Plástico para paletizar (Fuente: <https://adelplast.com/caracteristicas-film-estirable>)

A continuación, se muestran imágenes de máquinas rebobinadoras de papel film disponibles en la industria:



Ilustración 2: Rebobinadora con tolva de alimentación de tubos (Fuente: [www.europages.co.uk](http://www.europages.co.uk))

<sup>1</sup> <https://adelplast.com/caracteristicas-film-estirable>

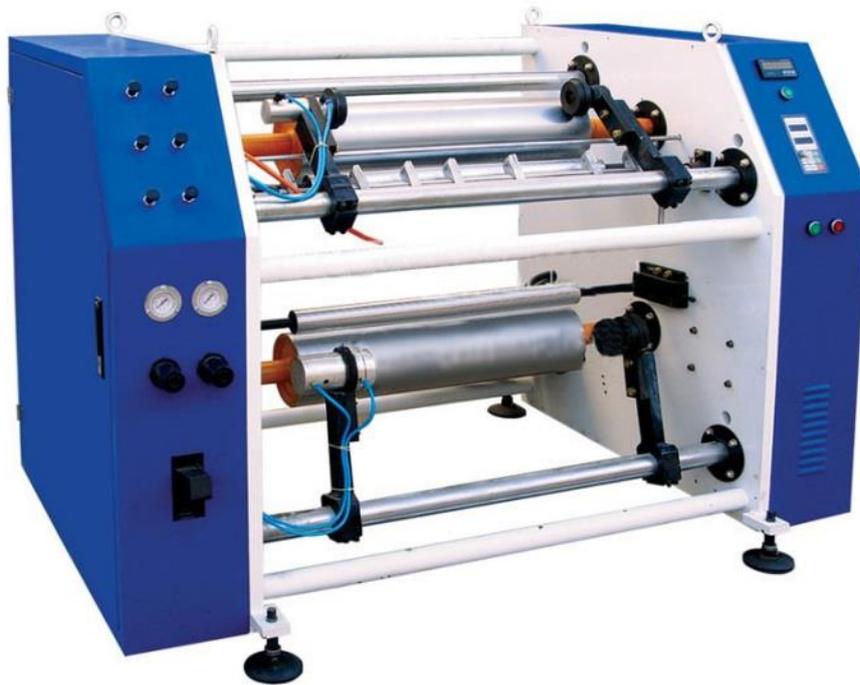


Ilustración 3: Rebobinadora alimentada manualmente (Fuente: <http://www.filmrewindermachinery.com>)

#### **4.1 TIPOS DE MÁQUINAS REBOBINADORAS<sup>2</sup>**

Los tipos de máquinas rebobinadoras se clasifican de acuerdo con la posición de la bobina respecto a la máquina. En esta de clasificación se distinguen dos tipos:

- Máquinas rebobinadoras horizontales.
- Máquinas rebobinadoras verticales.

##### **4.1.1 MÁQUINAS REBOBINADORAS HORIZONTALES.**

En este tipo de rebobinadoras el carrete está montado de forma horizontal, por su gran versatilidad para bobinar y fácil manejo para cambiar el carrete por parte del o los operarios, este tipo de rebobinadora es la más utilizada por las empresas que trabajan especialmente con bobinas de papel de gran tamaño y peso, resulta sencillo montar las bobinas sobre los elevadores de la máquina en posición horizontal. Las máquinas rebobinadoras horizontales se clasifican en:

- Máquina rebobinadora horizontal lateral.
- Máquina rebobinadora horizontal central.

<sup>2</sup> <http://www.aztechmachinery.com/pdf/sidewinderproductguide.pdf>

#### 4.1.2 MÁQUINA REBOBINADORA HORIZONTAL LATERAL.

A este tipo de rebobinadora se la conoce también como rebobinadora de ejes en cantiliver, los ejes donde se monta las bobinas tienen un punto de apoyo en uno de los extremos. Esta rebobinadora es diseñada para trabajar con bobinas de pequeño y mediano peso (máx. 50kg), las dimensiones de las bobinas a utilizar son menores en relación con las bobinas de la máquina rebobinadora central y generalmente las bobinas pueden ser instaladas por el mismo operario de la máquina sin la ayuda de mecanismos externos como puede ser un brazo elevador o de un montacargas.



Ilustración 4:Maquina rebobinadora horizontal lateral (Fuente: [www.aztechmachinery.com](http://www.aztechmachinery.com))

#### 4.1.3 MÁQUINA REBOBINADORA HORIZONTAL CENTRAL.

En estas rebobinadoras, los ejes donde se instalan las bobinas tienen dos puntos de apoyo, uno en cada extremo. Estas rebobinadoras pueden ser de diferentes tamaños, el cual depende de las dimensiones de las bobinas que se instalan en la máquina, normalmente las bobinas son de dimensiones y

pesos considerables. Para instalar la bobina se necesita en mucho de los casos la ayuda de máquinas externas como por ejemplo la de un montacargas o de brazos elevadores.

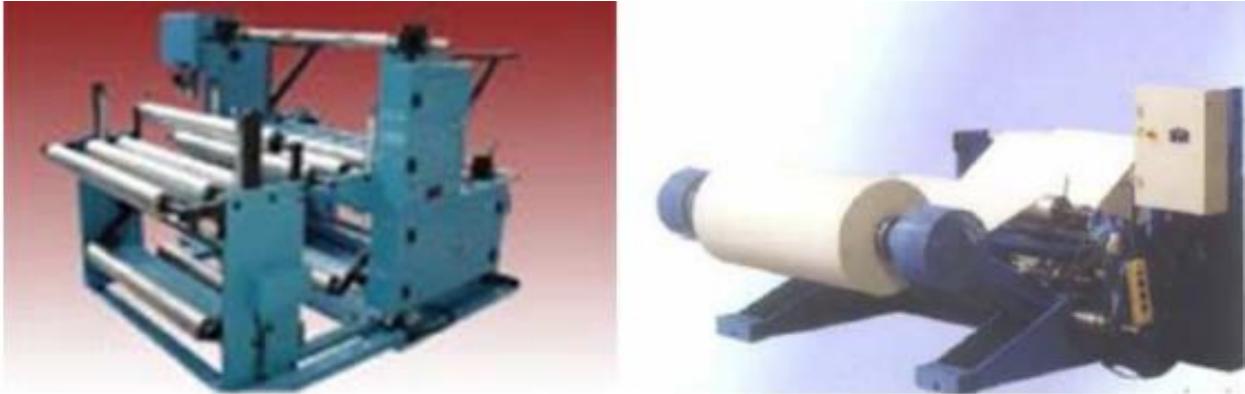


Ilustración 5: Rebobinadora horizontal central (Fuente: [www.lemu.es/pdf/sidewinderproductguide.pdf](http://www.lemu.es/pdf/sidewinderproductguide.pdf).)

#### 4.1.4 MÁQUINAS REBOBINADORAS VERTICALES.

En este tipo de rebobinadoras el carrete está montado de forma vertical, son de uso más restringido en relación con las rebobinadoras horizontales, resulta complicado montar el carrete de gran tamaño sobre la plataforma giratoria, generalmente se utilizan para rebobinar cables.

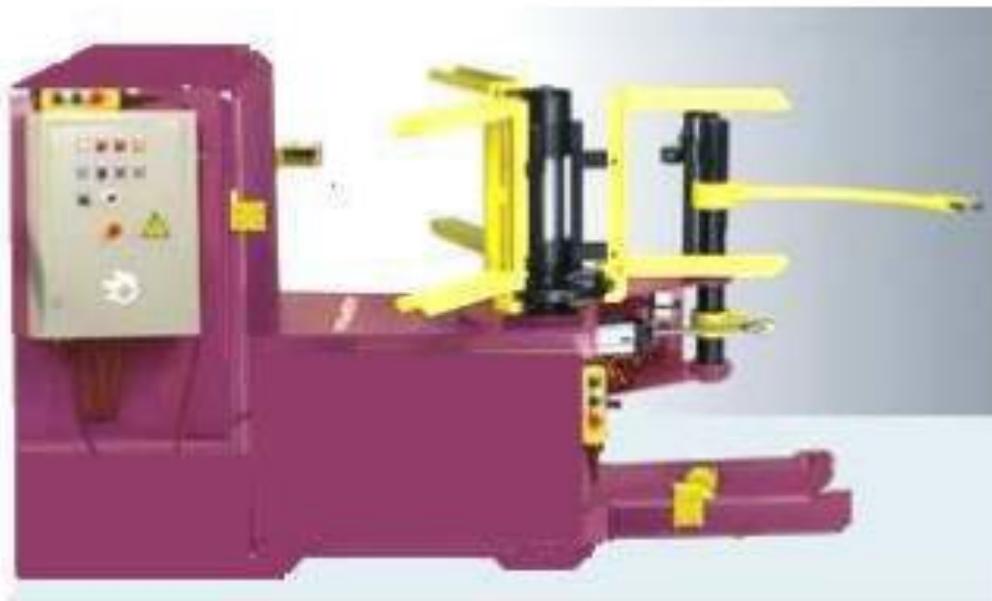


Ilustración 6: Rebobinadora vertical (Fuente: <http://www.lemu.es/pdf/sidewinderproductguide.pdf>)

#### 4.2 AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL DE UN SISTEMA

Para facilitar y agilizar los procesos de fabricación las empresas tienen necesidad de adquirir maquinaria moderna, autómatas y en lo posible que no intervenga un operador humano, obteniendo como resultado un

umento en la producción sin que exista pérdidas de materia prima y de tiempo. Las máquinas con sistemas automáticos están formadas por controladores, estos son elementos que interactúan sobre un sistema para cumplir con los objetivos. Un sistema de control está formado por los siguientes componentes principales:

- Sensores.
- Controlador.
- Actuadores.

Estos componentes pueden tener tecnologías: mecánicas, electromecánicas y electrónicas. Los controladores más utilizados están formados por componentes electrónicos y generalmente para su funcionamiento necesitan de un programa (software), un controlador de estas características se lo conoce como controlador lógico programable (PLC).

### **4.3 FUNDAMENTO DEL DISEÑO.**

Es necesario, tener presente una serie de conceptos o principios que estarán mencionados a lo largo del desarrollo de este trabajo especial de grado, conceptos básicos de la Mecánica de Sólidos, tales como tracción, compresión, deflexión etc., además se comentará brevemente los conceptos de potencia, torque, fatiga entre otros.

#### **4.3.1 ESFUERZOS A LOS QUE ESTÁN SOMETIDOS LOS MATERIALES.<sup>3</sup>**

El análisis de esfuerzos tiene como objetivo fundamental la determinación de las dimensiones que debe tener un elemento mecánico o estructural a fin de que no falle durante su funcionamiento. En el cálculo de estas dimensiones intervienen la forma del elemento y las propiedades mecánicas del elemento. Los tipos de esfuerzos que deben soportar los diferentes elementos de las estructuras son:

1° Los esfuerzos de tracción, hacen que se separen entre sí las distintas partículas que componen una pieza, en el sentido de su longitud tendiendo a alargarla. Por ejemplo, cuando se cuelga de una cadena una lámpara, la cadena queda sometida a un esfuerzo de tracción, tendiendo a aumentar su longitud.

2° Los esfuerzos por compresión, actúan en la dirección de la longitud de los cuerpos, tendiendo a acortarlos, o en cierto modo a rechazarlos. Cuando la materia posee suficiente cohesión, resiste el esfuerzo; pero si éste vence

---

<sup>3</sup> [https://thales.cica.es/rd/Recursos/rd99/ed99-0053-02/contenido/4\\_esfuerzos.htm](https://thales.cica.es/rd/Recursos/rd99/ed99-0053-02/contenido/4_esfuerzos.htm)

dicha cohesión sobreviene el aplastamiento. Si el esfuerzo determina un resbalamiento paralelo a una acción cualquiera, se efectúa un corte.

3° Los esfuerzos de corte, se producen cuando se aplican fuerzas perpendiculares a la pieza, haciendo que las partículas del material tiendan a resbalar o desplazarse las unas sobre las otras. Al cortar con unas tijeras un papel estamos provocando que unas partículas tiendan a deslizarse sobre otras.

4° Los esfuerzos de flexión, son una combinación de compresión y de tracción. Mientras que las fibras superiores de la pieza sometida a un esfuerzo de flexión se alargan, las inferiores se acortan, o viceversa.

5° Los esfuerzos de torsión, tienen como efecto torcer las piezas alrededor de su eje central. Este efecto se manifiesta cuando se hace girar el árbol en un sentido, mientras que la carga aplicada en un extremo tiene a hacer girar en sentido opuesto. Todos los árboles giratorios están sometidos, durante el trabajo, a esfuerzos de esta clase.

Con un poco de atención, será siempre fácil conocer a qué clase de esfuerzos están sometidas las piezas de las máquinas.

#### **4.3.2 LÍMITE DE ELASTICIDAD**

Los cuerpos elásticos poseen la propiedad de recuperar sus dimensiones primitivas cuando cesa de obrar los esfuerzos que los deforma. Los alargamientos son deformaciones que no subsisten una vez eliminada la causa que lo produjo. La elasticidad de la materia resiste esfuerzos, por esto se dice, en este caso, que la deformación es elástica, pero cuando no se restituye las dimensiones primitivas; su alargamiento ha sido permanente. La elasticidad ha sido vencida por la carga. En este caso; pues se ha alcanzado y aun rebasado el límite de elasticidad.

Los experimentos, no sólo revelan estos hechos, sino que permiten establecer y determinar cifras por medio de las cuales será fácil no acercarse demasiado al límite de elasticidad.

También ha demostrado la experiencia que, mientras no se llegue a dicho límite de elasticidad, los alargamientos de las piezas son proporcionales a los esfuerzos de tracción.

#### **4.3.3 PANDEO.**

El Pandeo es un comportamiento típico de los elementos estructurales sometidos a esfuerzos de compresión. Cuando la carga de compresión

umenta progresivamente llega a un valor en el cual el elemento esbelto, en lugar de limitarse a cortar su altura, curva su eje; una vez que esto ocurre, aunque no se incremente el valor de la carga el elemento continúa curvándose hasta el colapso definitivo. El valor de la carga por el cual el elemento puede pandear puede ser sensiblemente inferior a la carga que resiste el material dado. En general la aparición del pandeo puede manifestarse en el tramo próximo al apoyo por ser el más cargado. Ninguna pieza sometida al esfuerzo de compresión está exenta de sufrir este fenómeno. Se trata de una flexión lateral que está en relación con la esbeltez.<sup>4</sup>

#### **4.3.4 FLEXIÓN.**

Una pieza experimenta una flexión cuando está sometida a esfuerzos exteriores perpendiculares a su eje. Mientras no se rebasa el límite de elasticidad, se produce, en cada sección perpendicular a la barra, un equilibrio entre el momento de las fuerzas exteriores y el de las fuerzas moleculares que se desarrollan en la sección. Tomemos un pedazo de material de sección rectangular, e imprimámosles con ambas manos una flexión bien pronunciada.

Fácil será ver que las fibras de la cara convexa se han alargado, mientras que se han acortado las de la cara cóncava. Los alargamientos disminuyen desde la cara convexa hasta una cierta capa interna, a partir de la cual empieza la compresión, que aumenta hasta la cara cóncava.

En el interior del sólido existen una capa, paralela a las caras cóncava y convexa, que no experimenta extensión ni compresión; esta capa se llama capa neutra, fibra neutra, o capa de fibra invariable.

Imaginemos una sección recta de los ejes o flechas; la intersección de esta sección con la capa neutra es una línea alrededor de la cual girará la sección al doblarse la barra.

En línea que acabamos de definir hay extensión, tanto más pronunciada cuanto más nos acerquemos a la superficie convexa de la barra. Por el lado opuesto hay compresión, creciente hasta la superficie cóncava. Los esfuerzos opuestos por la barra a la extensión y a la compresión se suman para resistir a las fuerzas que determinan la flexión.

En cada sección, el momento de las fuerzas moleculares con respecto al eje neutro, o momento de resistencia, se equilibra con el aumento de la fuerza exterior que produce la flexión, o momento flector. Por consiguiente, la

---

<sup>4</sup> Revista ARQHYS. 2012, 12. Estructuras de compresión. Equipo de colaboradores y profesionales de la revista ARQHYS.com.

resistencia depende principalmente del momento de resistencia, y, por consiguiente, de la forma de la sección. El eje neutro pasa por el centro de la gravedad de la sección. La sección de la pieza en la cual se efectúan las mayores alteraciones, se llama secciones peligrosas.

#### **4.3.5 RESISTENCIA A LA TORSIÓN.**

Una pieza trabaja por torsión cuando está sometida a un esfuerzo transversal que tiende a hacer girar una sección del cuerpo alrededor de su eje longitudinal. Si se frena un eje que está en rotación, se produce una torsión del árbol.

El árbol de transmisión sufre un efecto de torsión durante el trabajo, puesto que la pieza que transmite la potencia lo hace girar en un sentido, mientras la máquina impulsada tiende a detener este movimiento por medio de esfuerzos aplicados en sentido opuesto.

Se debe estudiar las relaciones entre las cargas exteriores aplicadas y sus efectos en el interior de los cuerpos, además no se debe suponer que los cuerpos son idealmente rígidos, sino que las deformaciones por pequeñas que sean tienen gran interés.

#### **4.3.6 ESFUERZO Y DEFORMACION.**

Otro aspecto importante del análisis y diseño de elementos mecánicos se relaciona con las deformaciones que causan las cargas aplicadas a estos elementos. Es importante evitar deformaciones tan grandes que puedan impedir que estos elementos mecánicos cumplan la función para el cual se concibió, pero el análisis de deformaciones puede ayudarnos también en el cálculo de los esfuerzos.

#### **4.3.7 CARGAS.**

Las cargas son las fuerzas que actúan sobre los cuerpos. Según su efecto sobre los cuerpos existen varios tipos de carga.

1. Carga Puntual o Concentrada.
2. Carga Uniforme Distribuida.
3. Carga Uniforme Variada.

#### **4.3.8 ESFUERZO.**

El esfuerzo puede ser definido como la fuerza interna por unidad de área de una sección de unión.

### 4.3.9 DEFORMACIÓN NORMAL BAJO CARGA AXIAL.

Se entiende como deformación normal, en una barra bajo carga axial como el alargamiento por unidad de longitud de dicha barra. Cambio de longitud entre la longitud inicial y la final.

### 4.3.10 DIAGRAMA ESFUERZO - DEFORMACIÓN.<sup>5</sup>

El diagrama que representa la relación entre esfuerzo y deformación en un material dado es una característica importante del material. Construyendo la gráfica del esfuerzo en contraste con la deformación obtenemos una curva que es característica de las propiedades del material. Esta curva se denomina diagrama esfuerzo-deformación y se obtiene mediante un ensayo de tracción aplicado a una probeta.

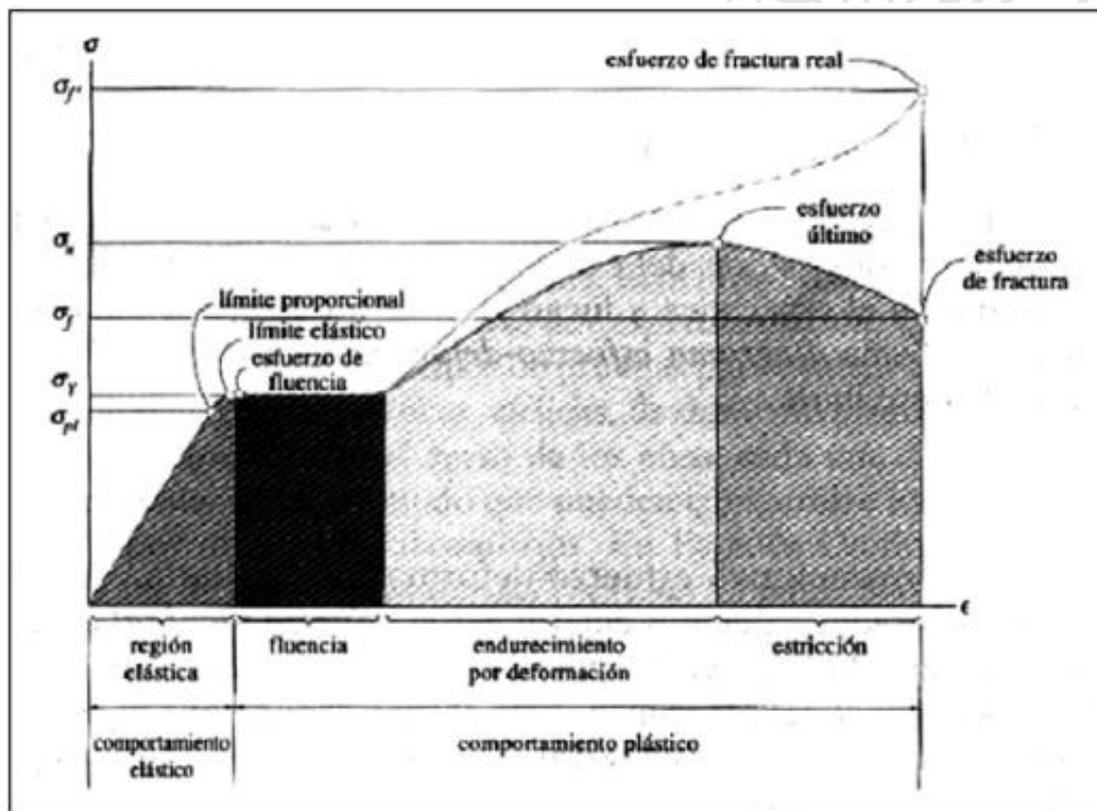


Ilustración 7: Diagrama Esfuerzo-Deformación unitario, convencional y real, para un material dúctil (acero) (Fuente: R. C HIBBELER)

### 4.3.11 MATERIALES DÚCTILES.

Los materiales dúctiles se caracterizan por su capacidad para deformarse plásticamente antes que se produzca la fractura.

<sup>5</sup><https://ingenieriadematerialesmetalicosith.blogspot.com/2016/04/diagrama-esfuerzo-deformacion.html>

#### **4.3.12 FRAGILIDAD.**

Es lo opuesto a la ductilidad. Por lo tanto, cuando se diseña un elemento de máquina se utilizan materiales dúctiles, porque la fractura inminente se detecta con facilidad y es poco probable que se tenga lugar una falla, por lo general los materiales dúctiles fallan por esfuerzos de corte, y los materiales frágiles fallan por esfuerzos normales.

#### **4.3.13 LEY DE HOOKE. MODULO DE ELASTICIDAD.**

La mayor parte de los elementos mecánicos se diseñan para sufrir pequeñas deformaciones, que involucran solo la parte lineal del diagrama esfuerzo deformación. Para la parte inicial del diagrama (Ilustración 7) el esfuerzo es directamente proporcional a la deformación, es decir:  $\sigma : \epsilon$  Esta relación es la Ley de Hooke y el coeficiente E se llama módulo de elasticidad de material o módulo de Young.

#### **4.3.14 RANGO ELÁSTICO O ZONA ELÁSTICA.<sup>6</sup>**

Zona donde es válida la Ley de Hooke, es una línea recta con una pendiente pronunciada como se muestra en la Ilustración 7. En cualquier punto de esta zona el material se deforma bajo la acción del esfuerzo y al retirar el esfuerzo el material recupera sus dimensiones originales sin que quede ninguna deformación. El mayor valor para el cual se puede utilizar la ley de Hooke para un material dado es denominado límite de proporcionalidad de ese material.

#### **4.3.15 RANGO PLÁSTICO O ZONA FLUENCIA.<sup>7</sup>**

Es la zona donde los esfuerzos no son proporcionales a las deformaciones, un material cargado que se encuentra en esta zona al retirar el esfuerzo queda con una deformación permanente.

#### **4.3.16 ESFUERZO DE FLUENCIA.**

El esfuerzo ( $\sigma$  y), es el máximo esfuerzo que se puede aplicar sin que se produzca en el material, más que una deformación plástica muy pequeña. Es de uso casi universal definir el esfuerzo ( $\sigma$  y), como el esfuerzo que produce una deformación plástica permanente de 0.002, que equivale a un 2 % de la distancia original entre puntos.

---

<sup>6</sup> <http://www.oocities.org/usmindustrial/Resistencia.htm>

<sup>7</sup> <https://delabios.net/resistencia-de-los-materiales/definicion-de-terminos-en-resistencia/>

#### **4.3.17 ESFUERZO ÚLTIMO.**

El esfuerzo ( $\sigma_u$ ) corresponde a la carga máxima aplicada a la probeta, después de alcanzar este valor, se inicia el fenómeno de destrucción, el diámetro de la probeta comienza a disminuir debido a la inestabilidad local, cargas más pequeñas son suficientes para continuar la deformación en la probeta, hasta que finalmente se rompe.

#### **4.3.18 ESFUERZO DE ROTURA.**

Es el esfuerzo correspondiente a la ruptura, una vez iniciado el fenómeno de estricción, es la resistencia a la ruptura. La ruptura ocurre a lo largo de una superficie cónica que forma un ángulo de 45 grados con la superficie original de la probeta. Esto indica que los esfuerzos cortantes son los principales causantes de falla en los materiales dúctiles.

#### **4.3.19 ESFUERZO ADMISIBLE.<sup>8</sup>**

Es el máximo esfuerzo al que puede ser sometido un material con cierto grado de seguridad.

$$\sigma_{adm} = \sigma_{falla} / \psi$$

Donde  $\sigma_{falla}$  es el límite de fluencia  $\sigma_y$  y o la resistencia última  $\sigma_u$  según se trate de un material con comportamiento dúctil o frágil, respectivamente.

#### **4.3.20 FACTOR DE SEGURIDAD.**

Es la relación entre el esfuerzo último o esfuerzo fluencia, esto depende del diseñador, y el esfuerzo admisible.

$$\psi = \sigma_{falla} / \sigma_{adm}$$

#### **4.3.21 FUERZA.**

Se define fuerza como cualquier acción de tirar o aflojar, es decir, que cualquier causa que tienda a producir o modificar el estado de reposo o movimiento se puede definir como fuerza. El peso es solamente un tipo de fuerza: la acción de la gravedad sobre un cuerpo.

#### **4.3.22 TRABAJO Y ENERGÍA.**

Ya desarrollamos anteriormente el concepto de fuerza, principalmente como medida de un esfuerzo. El trabajo, por otra parte, es la medida del resultado obtenido. Para que una fuerza pueda realizar un trabajo hace falta un

---

<sup>8</sup> <http://www.oocities.org/usmindustrial/Resistencia.htm>

movimiento. La forma más práctica de definir el trabajo es como una fuerza que actúa a lo largo de una cierta distancia. De esta forma, si elevamos una carga de 100 kp a una altura de 10 m, realizamos un trabajo de 1000 kp×m. El trabajo se expresa normalmente en kilográmetros (kp×m). Trabajo = Fuerza× Distancia La energía es la capacidad para realizar un trabajo, y se expresa en las mismas unidades que el trabajo. Conocemos varias formas de energía. La carga de 100 kp, mencionada anteriormente, posee energía potencial cuando está en un lugar elevado, porque es capaz de realizar un trabajo cuando desciende.

#### **4.3.23 TORQUE.<sup>9</sup>**

El torque es la fuerza aplicada en una palanca que hace rotar alguna cosa. Al aplicar fuerza en el extremo de una llave se aplica un torque que hace girar las tuercas. En términos científicos el torque es la fuerza aplicada multiplicada por el largo de la palanca (Torque = F x D) y se mide comúnmente en Newton metro.

#### **4.3.24 POTENCIA.**

La potencia es la rapidez con que se efectúa un trabajo, es decir, el trabajo por unidad de tiempo (Potencia = Trabajo / tiempo). Tomando los conceptos básicos de física sabemos que Trabajo = fuerza x distancia, que son precisamente las unidades del torque. Además, sabemos que la velocidad rotacional de un motor se mide en rpm (cuyas unidades son 1/min). Entonces si multiplicamos el torque por las rpm del motor tenemos F X D / tiempo que es precisamente la potencia. Si utilizamos una palanca de 1 m y aplicamos una fuerza de 1 N en el extremo estaremos aplicando un torque de 1 N m.

#### **4.3.25 SISTEMA DE POTENCIA DE UNA REBOBINADORA**

El sistema de potencia tiene la finalidad de aportarle movimiento y otorgarle la potencia y el torque requerido para mover la bobina madre y secundaria y empezar el proceso de rebobinado. Este sistema se encuentra conformado por un motor que hace girar los ejes de las respectivas bobinas.

### **4.4 PROCESO DE DISEÑO<sup>10</sup>**

Se procederá a explicar cada una de las fases del diseño, pero es necesario que tengamos claro que principalmente es importante la formulación del problema y el diseño conceptual, así como la generación y evaluación de

<sup>9</sup> <https://feldiesel.es.tl/torque-y-potencia.htm>

<sup>10</sup> <http://saber.ucv.ve/bitstream/123/1/TES20FINAL.pdf>

soluciones de diseño, fabricar algo no puede iniciarse antes de que haya completado el proceso de diseño.

#### **4.4.1 Establecimiento de las necesidades:**

Es precisar de una manera clara un enunciado que englobe de una forma muy general el problema que se querrá resolver, tratando de eludir un enlace entre las necesidades con un aparato o sistema en particular, porque esta relación directa demarcaría una posible solución a priori, y no se tomaría en cuenta el sin número de soluciones existente.

#### **4.4.2 Aceptación del problema:**

Después de establecer las necesidades se debe admitir todas las responsabilidades concernientes del problema, analizando, el tiempo, las posibilidades existentes para la realización, habilidades y destrezas y lo más importante la toma de decisiones que acarrea resolver el problema. Como consecuencia de esta etapa del proceso de diseño debe percatarse de una decisión consiente para proseguir con la resolución del problema, o en caso contrario desistir de la solución del problema.

#### **4.4.3 Descripción:**

En esta fase el proceso de diseño se debe detallar de una manera precisa, paso por paso como se va a abordar el problema a resolver, desde cómo se empieza hasta como termina en la solución, pero de una manera muy general por consiguiente en este punto del proceso de diseño, es de extrema relevancia tener unos objetivos bien definidos del problema, porque si no es así el flujo de ideas no será de mucha ayuda. De aquí la necesidad imperiosa de que un problema este muy bien definido demarcado por sus limitaciones y como consecuencia directa se obtendrá una clara descripción para buscar soluciones factibles. La descripción será la interfase y purificación que posibilitará las decisiones posteriores y el diseño final que será el resultado final y su respectiva elaboración física de las descripciones de las necesidades que se desean solventar. La lista de las características o funciones que son esenciales para el producto. Ejemplo:

- Acoplar
- Amplificar
- Conducir
- Controlar
- Disipar
- Interrumpir
- Limitar
- Posicionar
- Rectificar
- Transformar

- Suplir
- Soportar
- Verificar, etc.

#### **4.4.4 Concepción del sistema:**

Después que se tiene bien asentado los puntos anteriores que son el establecimiento de las necesidades, la aceptación del problema y la descripción del mismo, se procede a establecer los principios físicos por los cuales cada característica descrita o función podría desempeñar , es ordenar las funciones y descomponer en sub.-sistemas de ser necesario teniendo en cuenta la factibilidad de las soluciones propuestas, tomando en cuenta las limitaciones y características que el sistema a diseñar debe poseer. Es necesario considerar que no solo es adecuado tomar opciones o alternativas posibles; sino también, tomar decisiones y escoger aquellas que, comparadas con las descripciones, presenten las mejores ventajas. Por lo tanto, esta etapa del diseño resulta ser el punto creativo, puesto que es donde se generan las soluciones.

#### **4.4.5 Estudio de factibilidad:**

En esta etapa se considera sí se puede hacer el proyecto, decir esto conllevará a analizar dos aspectos de suma importancia que son la factibilidad técnica y la factibilidad económica.

#### **4.4.6 Factibilidad técnica:**

Se debe considerar lo siguiente:

- \_ La energía debe conservarse.
- \_ La materia debe conservarse.
- \_ Todos los componentes e interfaces conocidos que conforman el sistema deben ser identificados y compatibles.
- \_ Los modos de fallas deben ser identificados.
- \_ Los límites del sistema deben estar bien definidos.

#### **4.4.7 Factibilidad económica:**

- \_ Los componentes que tendrá el sistema se deben conseguir con facilidad, sin peligro de suspensión de suministro de los elementos.
- \_ Si se amerita de una pieza o componente a ser fabricado debe ser de sencilla fabricación.
- \_ Los precios costos y sus características lo deben hacer competitivo con los otros sistemas de igual utilización existente en el mercado.

#### **4.4.8 Formación completa del sistema:**

Cuando ya se ha realizado un estudio de factibilidad técnico económico, se prosigue con el diseño, tratando de detallar todos los puntos con mayor exactitud, formando una completa visión del sistema. No es muy necesario completar esta fase para continuar con otras fases del diseño, es decir puede trabajarse simultáneamente en el diseño en aquellas zonas que no requiere información del presente punto.

#### **4.4.9 Diseño de detalles y procesos de fabricación:**

Durante el diseño de detalle debe existir una coordinación de función de enlace que se mantendrá en la concepción del todo, en muchas ocasiones tendremos que hacer aplicaciones de subsistemas, que el mercado los ofrece ya fabricados, y adaptarlo a nuestro sistema, decir hacer una simple selección. Tal es el caso, de los motores eléctricos, rodamientos, sistemas de control, sistemas hidráulicos etc. Esta actividad es beneficiosa porque permite reducir considerablemente los costos de la máquina en general, ya que obtenemos partes de máquinas, de excelente calidad a bajos costos y adaptables a las necesidades y requerimiento de nuestro diseño. Es conveniente tener una visión del proceso de fabricación de la pieza, porque esta información nos brinda la posibilidad, de saber si la pieza corre el riesgo de fallar o no es decir si resiste las sollicitaciones a las cuales estarán sometidas. Diseñar para la realización de funciones a partir de la fabricación, pues si no se tiene encuesta estos dos aspectos el diseño será un rotundo o completo fracaso.

#### **4.4.10 Fabricación:**

Corresponde a hacer físico la propuesta, y se debe tener en claro que el procedimiento de fabricación de la máquina, surgirán algunos ajustes que pueden variar un poco de los análisis previos, pero es común que se proceda a rediseñar o corregir todo aquello que no cuadre, esto es normal en los diseñadores con poca experiencia.

#### **4.4.11 Evaluación final:**

Cuando ya se tiene el prototipo la de máquina se debe evaluar completamente, cada uno de los elementos del sistema antes de construirlo en serie, para evitar errores que incremento los gastos de una construcción en serie que a su vez tenga defectos.

## **5 METODOLOGÍA**

### **5.1 DEFINICIÓN DE PARÁMETROS DE DISEÑO**

Se realizará un estudio del proceso de rebobinado, así como de las características necesarias de la máquina para satisfacer las necesidades de PRODUFLEX. En este punto se desarrollará un cronograma de trabajo y se definirá un presupuesto para cada etapa de desarrollo.

### **5.2 DISEÑO CONCEPTUAL**

En esta etapa se definirán los parámetros de diseño, se presentarán varias propuestas con diferentes soluciones y se definirá el concepto de funcionamiento de la máquina.

### **5.3 DISEÑO DE DETALLE**

Serán diseñados a detalle los diferentes elementos de maquina como ejes, poleas, estructura, etc.; se seleccionarán elementos comerciales como rodamientos, motor, actuadores neumáticos, tornillos, etc.; y los elementos de control como lo es el PLC, Sensores de posición, enconder y demás elementos eléctricos.

### **5.4 COMPRA DE ELEMENTOS COMERCIALES Y FABRICACIÓN DE ELEMENTOS DE MÁQUINA.**

Una vez se finalice el proceso de diseño, serán elaborados los planos de detalle de todos los elementos de máquina para su posterior fabricación y se comprarán todos los elementos comerciales ajustándose al presupuesto planteado en la etapa inicial.

### **5.5 ENSAMBLE**

Se elaborarán los planos de ensamble, eléctricos y neumáticos de todos los sistemas que componen la máquina. Se tendrá total acompañamiento en el proceso de ensamble de la maquina verificando que todos los sistemas sean ensamblados de manera correcta.

### **5.6 PUESTA A PUNTO**

Serán ajustados todos los sistemas, definidos los tiempos de cada secuencia y se seleccionarán los parámetros de operación de cada componente, para el correcto funcionamiento de la máquina.

## **6 RESULTADOS Y ANÁLISIS**

### **6.1 PARÁMETROS DE DISEÑO**

A continuación se describen las características y requerimientos del cliente que se deben tener en cuenta para el diseño de la máquina:

La máquina debe poder enrollar papel film en un rango de 50 a 500 m/min, con la posibilidad de elegir hasta un mínimo de 4 velocidades dentro de este rango. La cantidad de papel a enrollar en cada tubo se debe poder seleccionar mediante una entrada digital.

La máquina debe contar con una tolva de alimentación de tubos de cartón de 25mm de diámetro interno y 310 mm de longitud. PRODUFLEX maneja tres tubos con diferente espesor de pared, la tolva debe poder manejar estos tres tubos y poder almacenar en ésta un mínimo de 100 tubos.

La bobina madre a utilizar es de 1500m, con un diámetro interno de 76mm, diámetro externo de 180mm, 6,4kg de masa y 310mm de longitud; La bobina madre debe poder cambiarse fácilmente y contar con un sensor que indique cuando ésta se haya terminado.

El proceso de corte entre rollo y rollo debe ser de forma automática. La única operación manual de la máquina, aparte de la definición de los parámetros, debe ser el montaje de la bobina madre y la alimentación de los tubos de cartón en la tolva.

PRODUFLEX solicita en base a su experiencia que la presión que ejerza la bobina madre y la bobina secundaria sobre los rodillos tractor y rebobinador respectivamente, se pueda variar hasta un valor máximo de 100Kg.

### **6.2 DISEÑO CONCEPTUAL**

Después de definidos los parámetros de diseño, se estudiaron las soluciones existentes en el mercado para este proceso y luego de adaptar dichas soluciones a las necesidades descritas, se llegó al siguiente diseño conceptual.

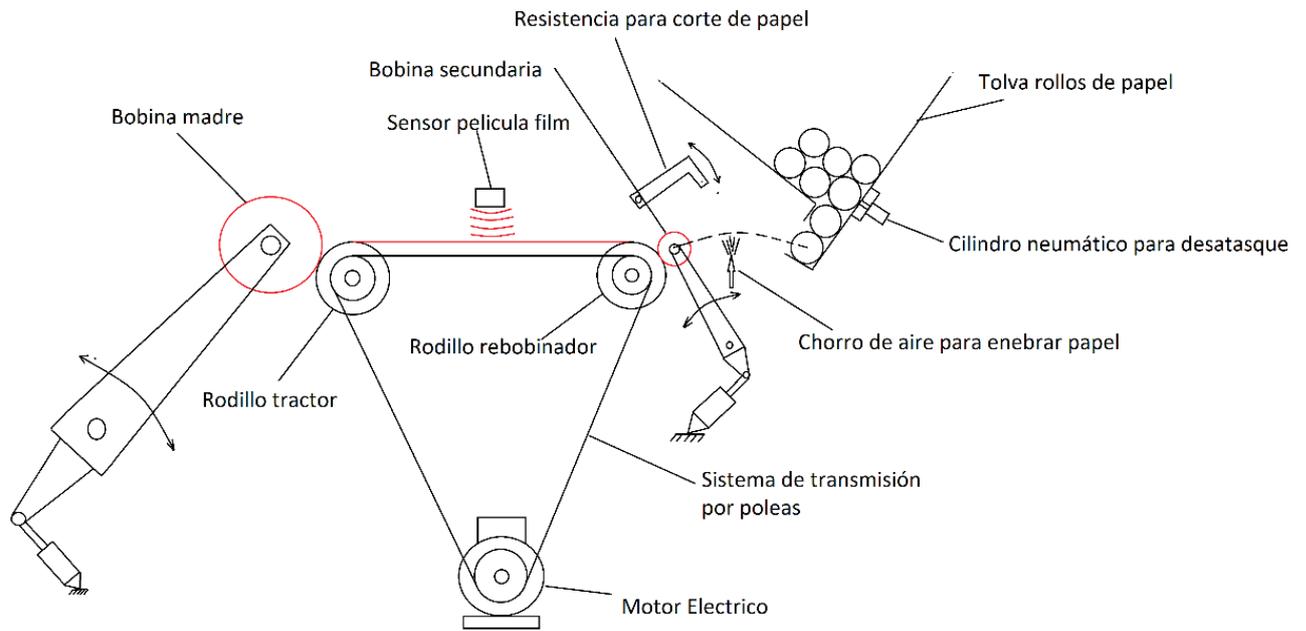


Ilustración 8: Diseño conceptual rebobinadora (Fuente: propia)

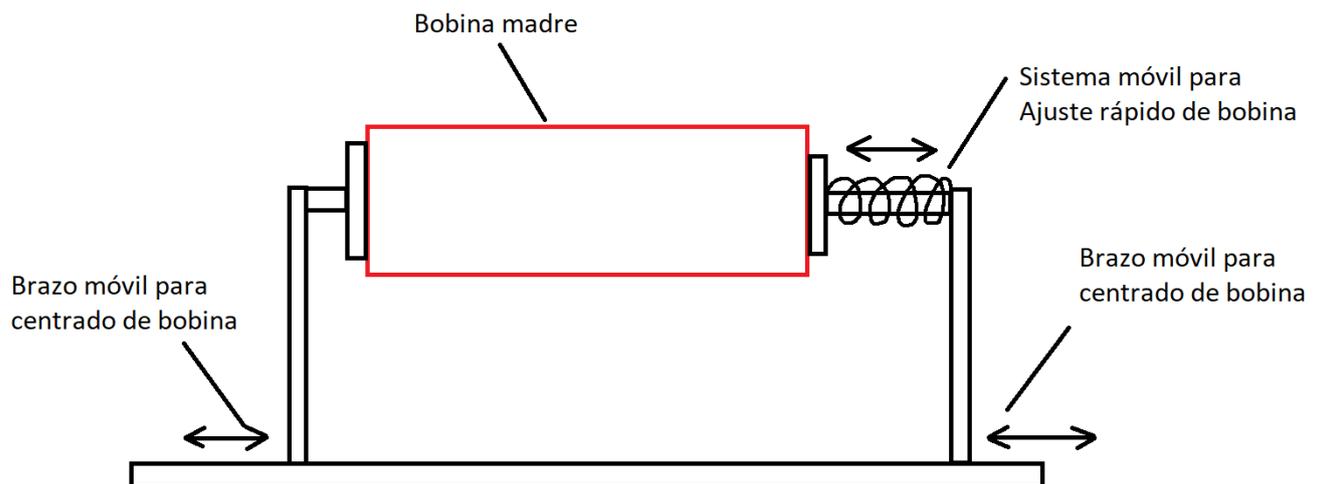


Ilustración 9: Concepto sistema de sujeción bobina madre (Fuente: propia)

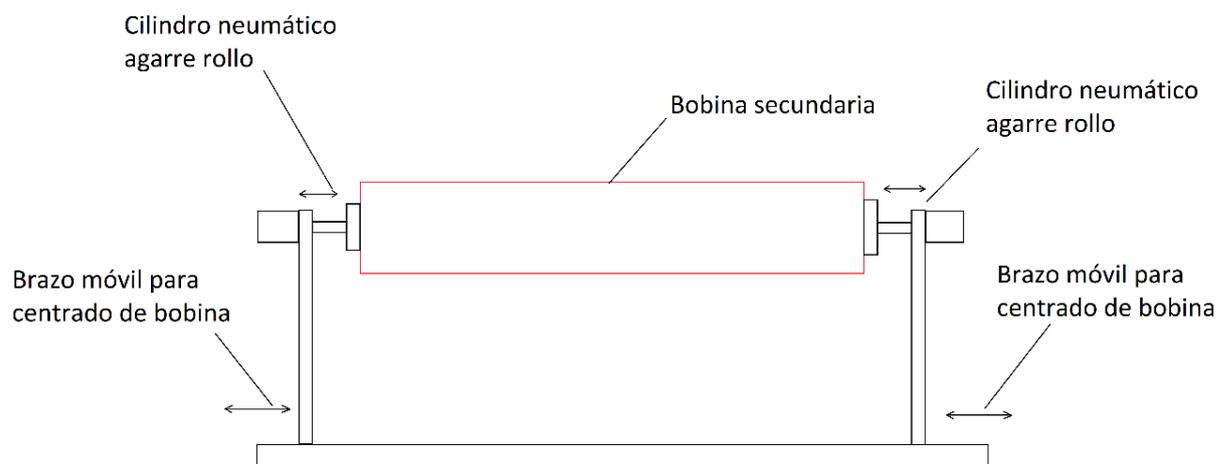


Ilustración 10: Concepto sistema de sujeción bobina secundaria (Fuente: propia)

## 6.3 DISEÑO DE DETALLE

### 6.3.1 Diseño del sistema de Rebobinado

El sistema de transmisión de movimiento debe mantener la velocidad lineal constante tanto en el rodillo tractor como en el rodillo rebobinador, por lo que ambos rodillos serán diseñados con diámetro exterior de igual medida. Los rodillos serán movidos por un motor eléctrico por medio de una transmisión de banda y poleas como se muestra en la Ilustración 11

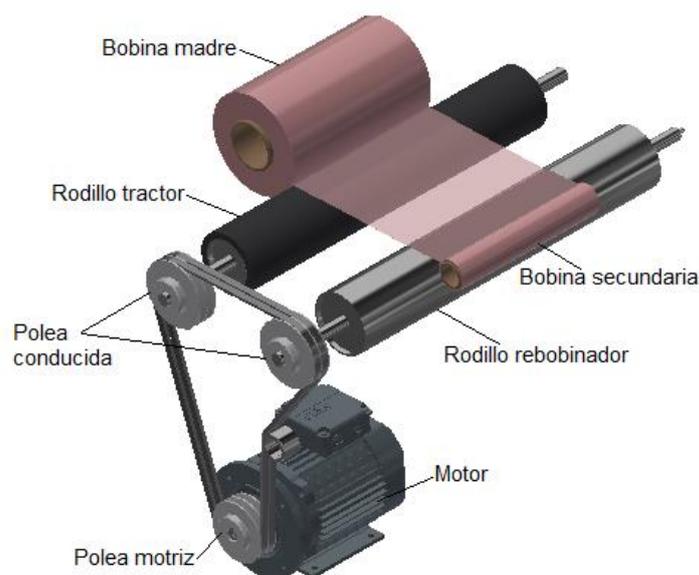


Ilustración 11: Sistema de rebobinado (Fuente: propia)

De acuerdo con los requerimientos de la empresa, la velocidad máxima lineal del papel debe de ser de 500 m/min. y una velocidad mínima de 50 m/min.

Los diámetros de los rodillos que componen el sistema de bobinado deberán ser tan pequeño como sea posible con el fin de reducir los efectos de la inercia en los elementos eléctricos.

Los componentes diseñados deberán tener un factor de seguridad de mínimo 2 para garantizar la seguridad de los operadores y el personal mecánico<sup>11</sup>

El rodillo tractor y rebobinador serán fabricados a partir de tubería comercial de acero al carbón, soldado a un eje de acero para maquinaria AISI 1020 mediante dos tapas laterales. Adicional a esto, el rodillo tractor será encauchetado con caucho EPDM antiestático color azul para evitar deslizamiento con la bobina madre al momento del arrastre.

Teniendo en cuenta las especificaciones anteriores, se han planteado las siguientes dimensiones para los rodillos:

Rodillo Rebobinador

*Diámetro exterior = 112mm*  
*Diámetro interior = 102,26mm*  
*Longitud Rodillo = 650mm*  
*Diámetro tapas = 105*  
*Espesor tapas = 6,35mm*  
*Diámetro eje 25,4mm*  
*Longitud Eje = 880mm*

Rodillo tractor

*Diámetro exterior = 88mm*  
*Diámetro interior = 78mm*  
*Longitud Rodillo = 650mm*  
*Diámetro tapas = 80*  
*Espesor tapas = 6,35mm*  
*Diámetro eje 25,4mm*  
*Longitud Eje = 880mm*

*Espesor encauchetado = 12mm*

---

<sup>11</sup> R. Mott, Diseño de elementos de máquinas, 4ª ed, México: Prentice-Hall, 2006

Para la verificación funcional de los rodillos, se han modelado el 3D mediante el software Autodesk inventor 2018 utilizando el módulo de elementos finitos (FEA), donde se hallarán los momentos de inercia, esfuerzos, deformaciones y el factor de seguridad. Los resultados obtenidos se muestran a continuación:

Rodillo rebobinador

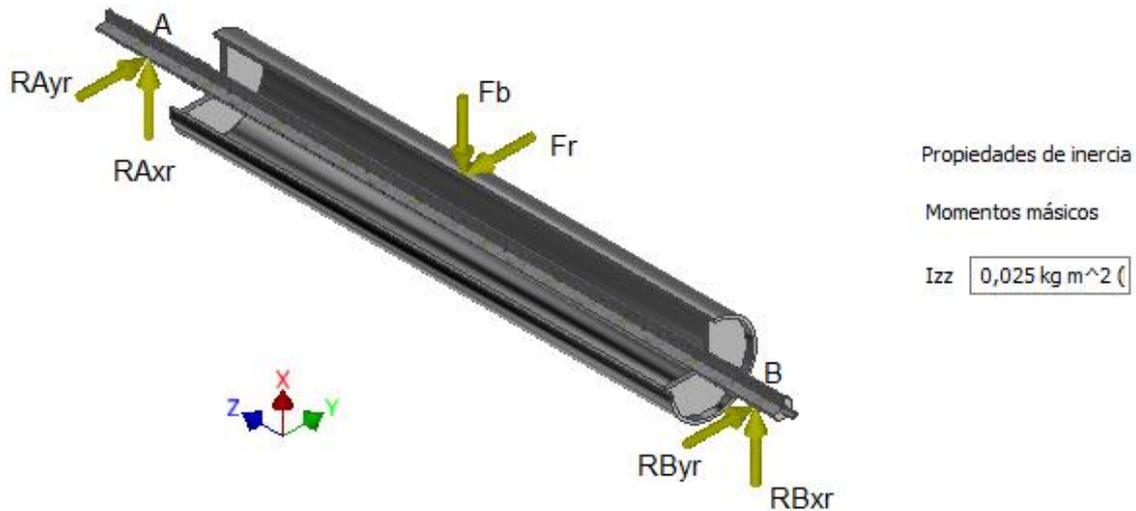


Ilustración 12: Diagrama de cuerpo libre Rodillo rebobinador (Fuente: propia)

*RAyr: Reacción en Ay rodillo rebobinador*

*RAxr: Reacción en Ax rodillo rebobinador*

*RByr: Reacción en By rodillo rebobinador*

*RBxr: Reacción en Bx rodillo rebobinador*

*Fr: fuerza de fricción*

*Fb: Fuerza exterior bobina*

De acuerdo con los requerimientos de la empresa la bobina debe ejercer una fuerza máxima sobre los rodillos Fb de 100Kg:

$$Fb = 100Kg = 1000N$$

La fuerza de fricción es hallada con la siguiente expresión:

$$Fr = \mu \cdot Fb$$

Ecuación 1

		Coeficiente de Fricción	
Material de la placa Superior	Material del Carril	No lubricado	Lubricado
Acero inoxidable o acero	Acero inoxidable o acero	0,35	0,20
Acero inoxidable o acero	UHMW	0,25	0,15
Plástico Dirigido	Acero inoxidable o acero	0,25	0,15
Plástico Dirigido	UHMW	0,25	0,12
Plástico Dirigido (Baja Fricción)	Acero inoxidable o acero	0,17	0,12
Plástico Dirigido (Baja Fricción)	UHMW	0,18	0,12

Tabla 1: Coeficientes de fricción estáticos entre acero y plástico (Fuente: vallyblog.files.wordpress)

De la Tabla 1 se tiene que el coeficiente de fricción entre acero y plástico corresponde a  $\mu = 0,25$ .

Usando la Ecuación 1 se tiene que:

$$Fr = 1000N \times 0,25 = 250N$$

Del balance de fuerzas se obtiene:

$$RA_{yr} = R_{byr} = 125N$$

$$RA_{xr} = RB_{xr} = 500N$$

De acuerdo con los resultados obtenidos en el software, el momento de inercia del rodillo rebobinador al rotar sobre su eje es igual a:

$$I_{reboinador} = 0,025Kg.m^2$$

A continuación, se muestran los resultados del análisis de elementos finitos.

Nodos: 22783  
Elementos: 13061  
Tipo: Tensión de Von Mises  
Unidad: MPa

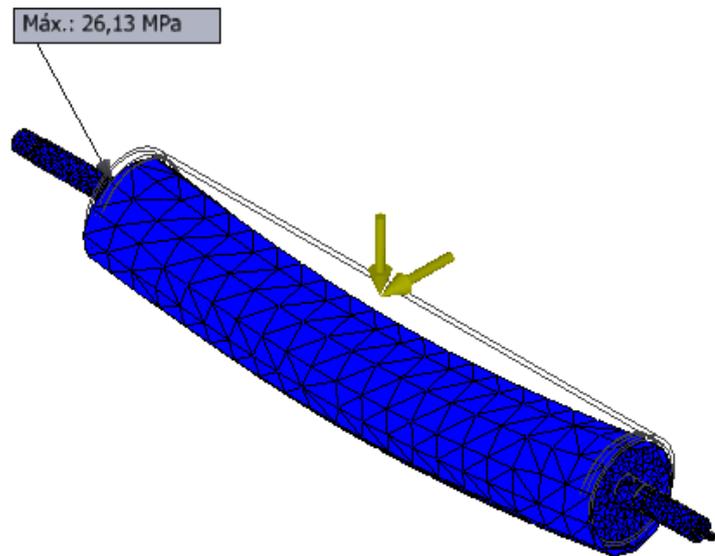
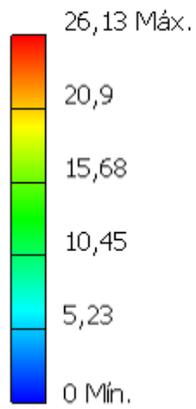


Ilustración 13: Tensión de Von Mises rodillo rebobinador (Fuente propia)

Nodos: 58199  
Elementos: 33785  
Tipo: Desplazamiento  
Unidad: mm

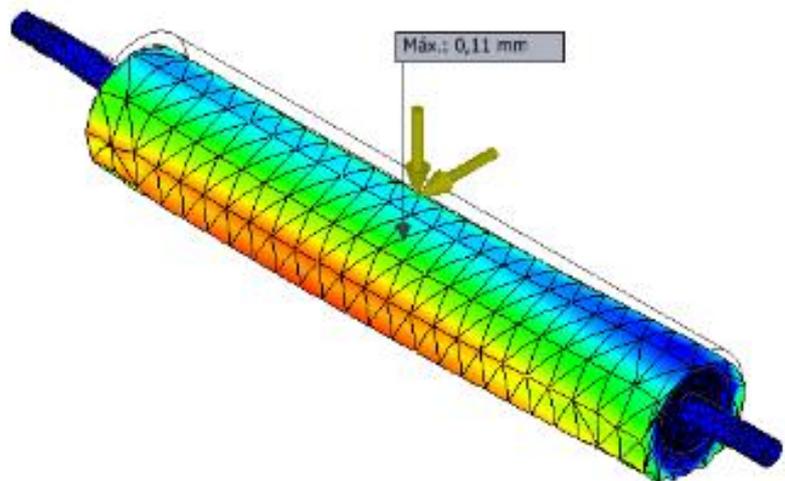
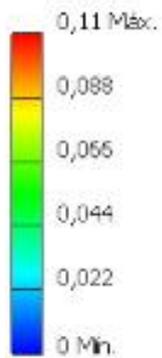


Ilustración 14: Deflexión máxima rodillo rebobinador (Fuente: propia)

Nodos:22783  
 Elementos:13061  
 Tipo: Coeficiente de seguridad  
 Unidad: ul

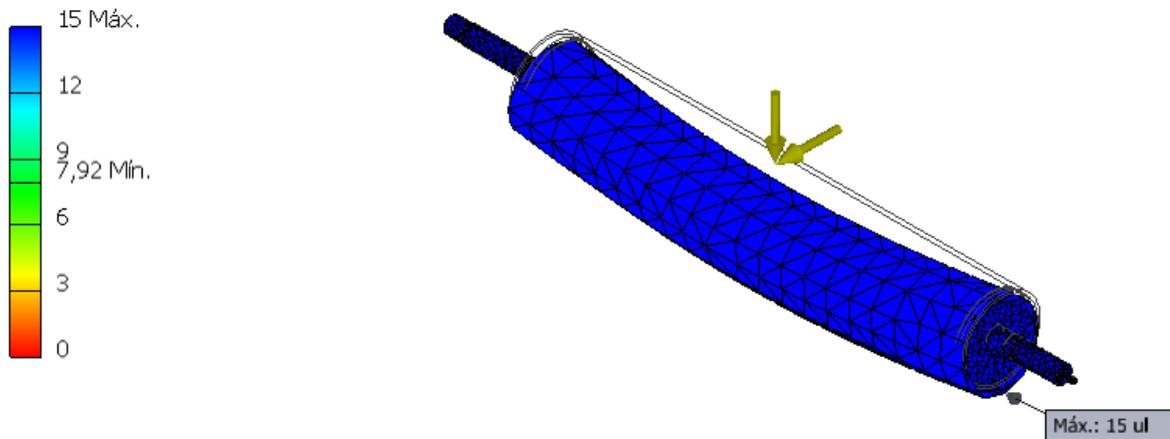


Ilustración 15: Coeficiente de seguridad rodillo rebobinador (Fuente: propia)

Se obtiene un factor de seguridad estático satisfactorio para el esfuerzo combinado, ya que es mayor al requerido. El factor de seguridad del diseño debe ser verificado con un análisis de fatiga para cargas variables que garantice la duración del rodillo.

El esfuerzo normal es repetido e invertido debido a que el elemento mecánico se somete a cierto valor de esfuerzo de tensión, seguido por el mismo valor de esfuerzo de compresión<sup>12</sup> por lo tanto, se tiene que:

$$\sigma_{maxr} = 26,13MPa \quad \sigma_{minr} = -26,13MPa$$

$$\sigma_{ar} = 28,58MPa \quad \sigma_{mr} = 0$$

El límite de resistencia a la fatiga estimado es seleccionado de la Tabla 2

<b>Aceros</b>	<b>Límite de fatiga (Psi)</b>	<b>Resistencia a la Fatiga (Psi)</b>
1020	15.000	59.000
1030	21.000	83.000
1045	28.000	100.000

Tabla 2 Límite de fatiga y resistencia a la fatiga para aceros de medio y bajo carbono (Fuente: Revista de ingeniería U.C)

<sup>12</sup> Conceptos básicos sobre diseño de máquinas, Universidad tecnológica de Pereira, 2011

$$S_e = 15.000 \text{ Psi} = 103,42 \text{ MPa}$$

Utilizando el lugar geométrico de Goodman modificado se tiene que el factor de seguridad es:

$$\frac{1}{N} = \frac{\sigma_m}{S_u} + \frac{\sigma_a}{S_e}$$

Ecuación 2

De donde:

$$N = 3,62$$

El factor de seguridad obtenido es apropiado ya que es mayor al requerido.

Rodillo tractor

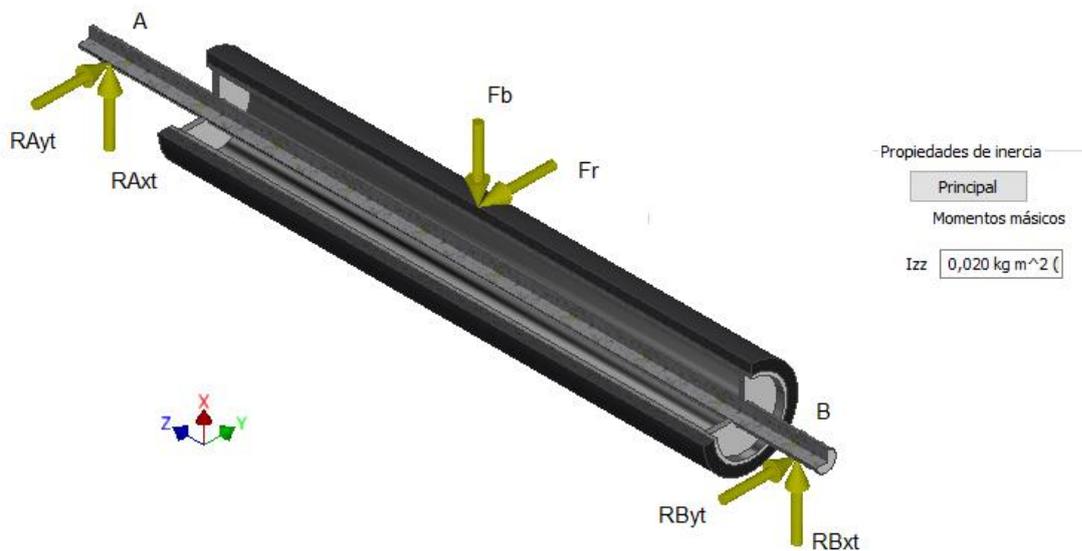


Ilustración 16: Diagrama de cuerpo libre Rodillo tractor (Fuente: propia)

*RAyt*: Reacción en Ay rodillo tractor

*RAxt*: Reacción en Ax rodillo tractor

*RByt*: Reacción en By rodillo tractor

*RBxt*: Reacción en Bx rodillo tractor

*Fr*: fuerza de fricción

*Fb*: Fuerza exterior bobina

Del balance de fuerzas se obtiene:

$$RAyt = Rbyt = 125N$$

$$RAxt = RBxt = 500N$$

$$RA = RB = \sqrt{125N^2 + 500N^2} = 515,39N$$

De acuerdo con los resultados obtenidos en el software, el momento de inercia del rodillo tractor al rotar sobre su eje es igual a:

$$I_{tractor} = 0,020Kg.m^2$$

A continuación, se muestran los resultados del análisis de elementos finitos.

Nodos:58199  
Elementos:33785  
Tipo: Tensión de Von Mises  
Unidad: MPa

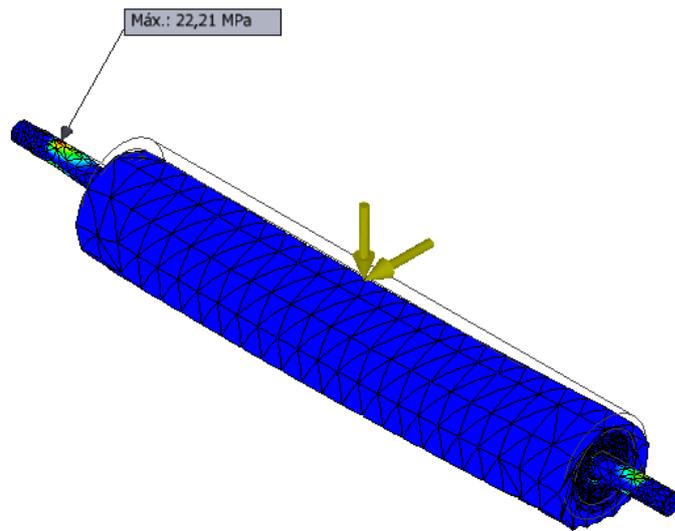
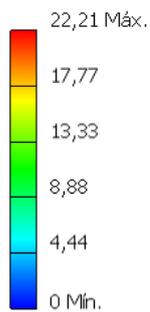


Ilustración 17:Tensión de Von Mises rodillo tractor (Fuente propia)

Nodos:58199  
Elementos:33785  
Tipo: Desplazamiento  
Unidad: mm

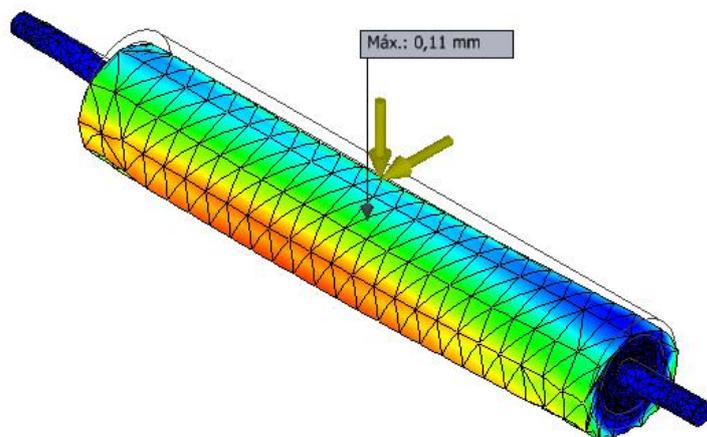
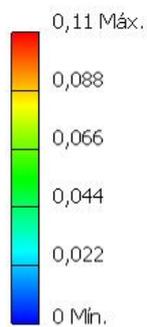


Ilustración 18:Deflexión máxima rodillo tractor (Fuente: propia)

Nodos:58199  
 Elementos:33785  
 Tipo: Coeficiente de seguridad  
 Unidad: ul

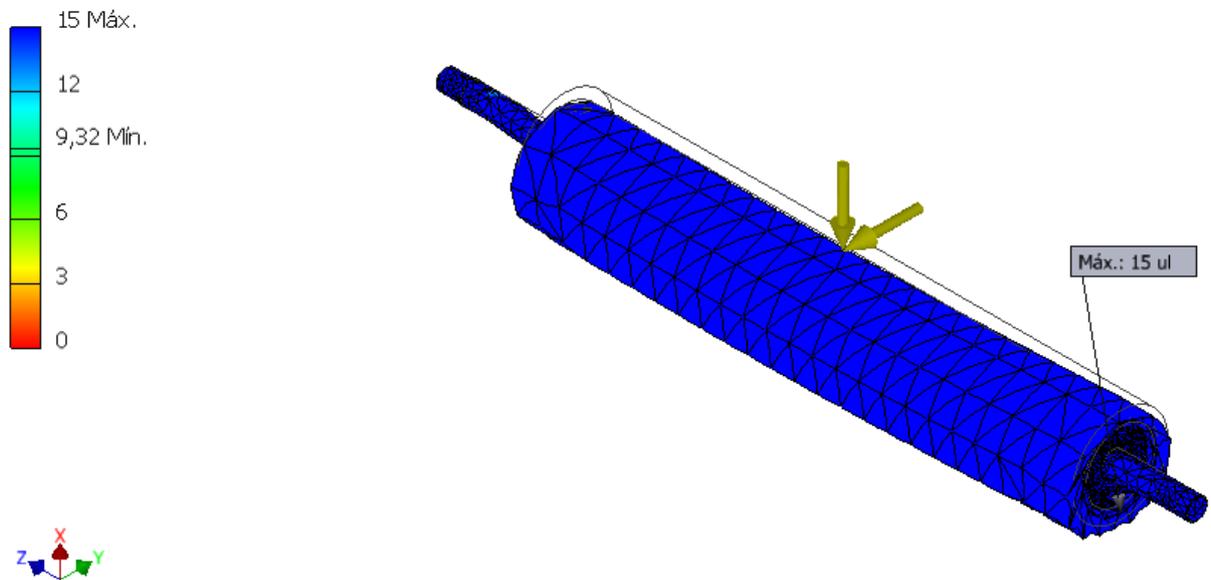


Ilustración 19: Coeficiente de seguridad rodillo tractor (Fuente: propia)

Se obtiene un factor de seguridad estático satisfactorio para el esfuerzo combinado, ya que es mayor al requerido. El factor de seguridad del diseño debe ser verificado con un análisis de fatiga para cargas variables que garantice la duración del rodillo.

Donde:

$$\sigma_{maxt} = 22,21MPa \quad \sigma_{mint} = -22,21Mpa$$

$$\sigma_{at} = 22,31MPa \quad \sigma_{mt} = 0$$

Utilizando la ecuación Ecuación 2 se tiene que:

$$N = 4,64$$

El factor de seguridad obtenido es apropiado ya que es mayor al requerido.

Se procede a calcular el momento de inercia de la bobina madre al rotar sobre su eje. La bobina se modelará como un cilindro hueco de radio exterior  $R_{be}$ , radio interior  $R_{bi}$  y masa  $m_b$

La inercia para un cilindro hueco con radio exterior  $R_e$ , radio interior  $R_i$  y masa uniforme  $m$  está regida por la siguiente ecuación:

$$I_x = \frac{m}{2} (R_e^2 + R_i^2)$$

Ecuación 3

Así, el momento de inercia de la bobina madre está dado por:

$$I_{bx} = \frac{m_b}{2} (R_{be}^2 + R_{bi}^2)$$

$$I_{bx} = \frac{6,4Kg}{2} (0,09m^2 + 0,038m^2)$$

$$I_{bx} = 0,031kg \cdot m^2$$

Potencia requerida para mover el sistema.

La ecuación para el cálculo de la velocidad angular está dada por:

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

Ecuación 4

Donde:

$\omega$  = Velocidad angular (rad/s).

$v$  = Velocidad lineal (m/s).

$r$  = Radio (m).

La aceleración angular está definida por:

$$\omega = \omega_0 + \alpha \times t$$

Ecuación 5

Donde:

$\omega$  = Velocidad angular final (rad/seg).

$\omega_0$  = Velocidad angular inicial (rad/seg).

$\alpha$  = Aceleración angular (rad /s<sup>2</sup>).

$t$  = Tiempo (s).

Ya que el sistema parte desde el reposo ( $\omega_0 = 0$ ), la aceleración angular es igual a:

$$\alpha = \frac{\omega}{t}$$

Ecuación 6



Los elementos considerados móviles de cada sistema serán acelerados desde el instante en que se encuentra en reposo, es decir que la velocidad angular inicial es igual a cero ( $\omega_0 = 0$ ) hasta que alcance la velocidad angular de funcionamiento ( $\omega$ ) de cada uno de ellos.

La ecuación para el cálculo del torque es la siguiente:

$$T = I \times \alpha$$

*Ecuación 7*

Donde:

- $T =$  Torque (Nm).
- $I =$  Inercia del cuerpo (kg.m<sup>2</sup>).
- $\alpha =$  Aceleración angular (rad /s<sup>2</sup>).

La expresión para determinar la potencia necesaria para poner en movimiento los elementos móviles de la máquina es:

$$P = \frac{T \cdot n}{9550}$$

*Ecuación 8*

Donde:

- $P =$  Potencia (Kw.)
- $T =$  Torque (Nm).
- $n =$  velocidad angular en revoluciones por minuto (rpm).
- Equivalencia: 1HP = 0.736 kW.*

La velocidad lineal mínima y máxima con la que funcionará la máquina es de 50 m/min. (0,833 m/s) a 500 m/min. (8,333 m/s).

A continuación, se procede a calcular la potencia máxima necesaria para el funcionamiento de cada uno de los elementos que componen el sistema de rebobinado.

Elemento	Radio exterior (mm)	Momento de inercia (Kg.m <sup>2</sup> )
Bobina madre	90	0,031
Rodillo tractor	56	0,025
Rodillo rebobinador	56	0,020
Bobina secundaria	30	0,002

*Tabla 3:Radio exterior y momento de inercia de los elementos del sistema de rebobinado (Fuente: propia)*

La potencia mecánica requerida para el funcionamiento del sistema se da a la máxima velocidad de rebobinado  $V_{max} = 500m/min$ . Por cuestiones de diseño y de funcionamiento de la máquina, se asigna un valor de tiempo de arranque igual a 2 segundos

Usando la Ecuación 4, Ecuación 5, Ecuación 6, Ecuación 7, Ecuación 8 y la ayuda de una hoja de cálculo se obtienen los siguientes resultados:

Elemento	$\omega_{max}(rad/s)$	$\alpha_{max}(rad/s^2)$	$T_{max}(N.m)$	$n(rpm)$	$P_{max}(kw)$	$P_{max}(Hp)$
Bobina madre	92,593	46,296	1,435	884,194	0,133	0,178
Rodillo tractor	148,810	74,405	1,860	1421,027	0,277	0,371
Rodillo rebobinador	148,810	74,405	1,488	1421,027	0,221	0,297
Bobina secundaria	277,778	138,889	0,278	2652,583	0,077	0,103

Tabla 4: Resultado potencia máxima elementos del sistema de rebobinado (Fuente: propia)

Para obtener la potencia necesaria para mover el sistema de rebobinado se suman las potencias de cada uno de los elementos.

$$P_{sistema\ de\ rebobinado} = P_{max\ Bobina\ madre} + P_{max\ rodillo\ tractor} + P_{max\ rodillo\ rebobinador} + P_{max\ Bobina\ secundaria}$$

Ecuación 9

De donde:

$$P_{sistema\ de\ rebobinado} = 0,178\ Hp + 0,371\ Hp + 0,297\ Hp + 0,103\ Hp$$

$$P_{sistema\ de\ rebobinado} = 0,950\ Hp$$

#### 6.4 SELECCIÓN MOTOR ELÉCTRICO

El motor por seleccionar debe suministrar la potencia requerida por el sistema de rebobinado, además de vencer las fuerzas de fricción de todos los elementos. Considerando situaciones de sistemas mecánicos en malas condiciones, como bandas mal tensadas, mal anclaje del motor y vibraciones excesivas, además de prolongadas horas de operación, numerosos arranques y malas instalaciones eléctricas se recomienda un factor de servicio de  $1.5^{13}$ , es decir la potencia del motor es:

$$P_{motor} = P_{sistema\ de\ rebobinado} \times 1,5$$

Ecuación 10

Donde:

$$P_{motor} = 0,950Hp \times 1,5 = 1,425\ Hp$$

<sup>13</sup> JOSÉ ROLDÁN VILORIA; Prontuario de mecánica industrial aplicada; Editorial Paraninfo; España; 2002; pág. 258.

Verificando la disponibilidad en el mercado, se selecciona un motor sincrónico<sup>14</sup> de corriente alterna de 1.5HP, 1800RPM, 60HZ, trifásico, regulado con un variador de frecuencia.

## 6.5 SELECCIÓN DE BANDAS Y POLEAS

Potencia de diseño

Para determinar la potencia de diseño es necesario conocer la potencia nominal, el tipo de motor a utilizar y el tiempo de servicio diario que prestará la máquina.

$$P_{Diseño} = P_{motor} \times F_s$$

Ecuación 11

Tipo de motor: Motor AC, controlado por un variador de frecuencia.

Servicio diario: 8 a 16 horas por día.

Tipo de máquina: Máquina rebobinadora de papel.

TIPOS DE MÁQUINAS O EQUIPOS	SERVICIO INTERMITENTE	SERVICIO NORMAL	SERVICIO CONTINUO
Agitadores para líquidos Sopladores y aspiradoras Transportadores de trabajo ligero Ventiladores de hasta 10 caballos de fuerza	1.1	1.2	1.3
Transportadores de banda para arena, grano, etc Bombas rotativas de desplazamiento positivo Máquinas herramientas Maquinaria de lavandería Mezcladores de masa Ejes de línea Generadores Maquinaria de imprenta Taladros-prensas-cortadores Cribas giratorias y vibratorias Ventiladores de mas de 10 caballos de fuerza	1.2	1.3	1.4
Maquinaria para aserríos y trabajos en madera Transportadores (arrastre o tornillo) Compresores de pistón Molinos de martillo Pulverizadores Excitadores Maquinaria textil Bombas de pistón Elevadores canchales Maquinaria para ladrillos Sopladores de desplazamiento positivo	1.4	1.5	1.6
Trituradores (giratorias-mandibula-rodillo) Extrusoras-molinos de caucho Molinos de bolas Malecates	1.5	1.6	1.8

Tabla 5: Factor de servicio para recomendado (Fuente: repository.usta.edu.co)

De la Tabla 5 y de acuerdo con los datos anteriores se determina un factor de servicio de 1.5

Usando la Ecuación 11 se tiene que:

$$P_{Diseño} = 1,5Hp \times 1,5 = 2,25Hp = 1,68 kw$$

<sup>14</sup> ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE MOTORES TRIFÁSICOS DE INDUCCIÓN.

## Tipo de banda

El tipo de banda a utilizar se determina empleando la Ilustración 20, que permiten determinar el tipo de banda en función de la potencia de diseño y la velocidad de rotación del motor.

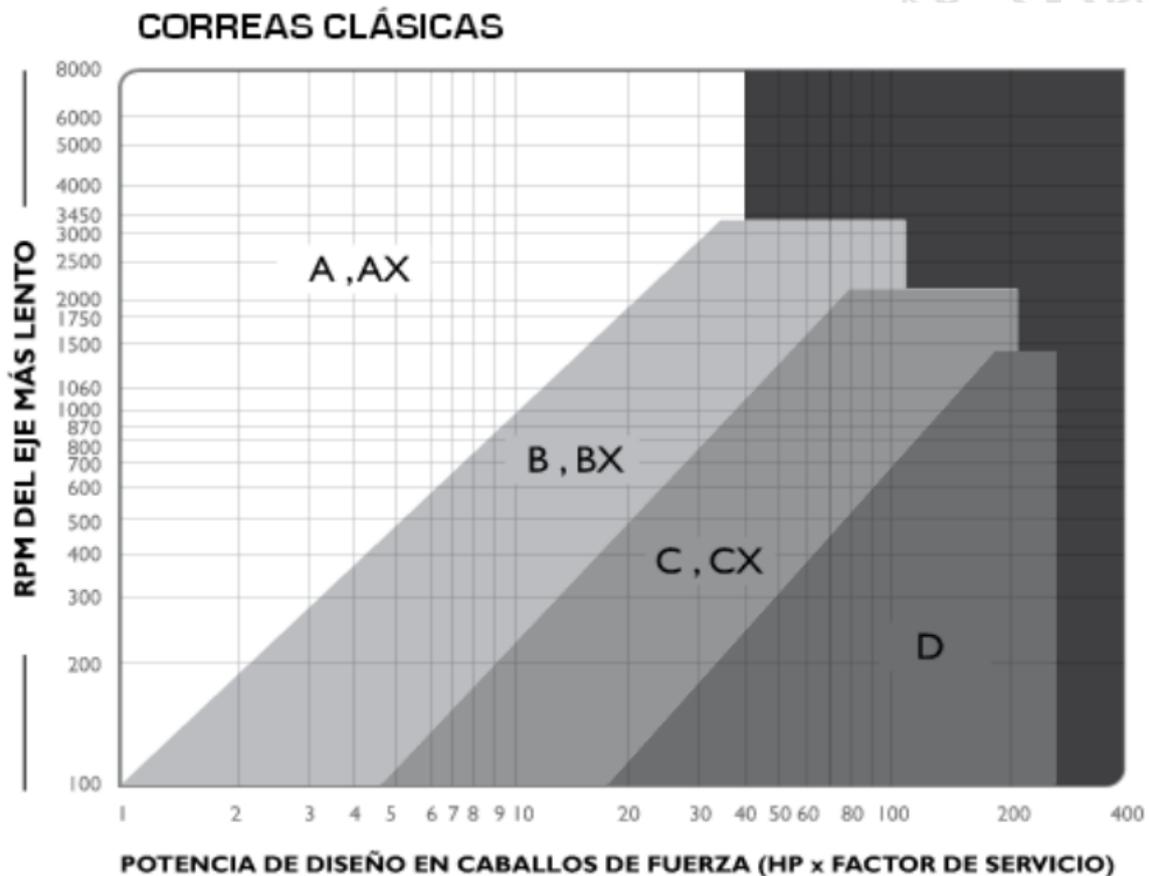


Ilustración 20: Banda recomendada según potencia de diseño y rpm del eje más lento (Fuente: repository.usta.edu.co)

El tamaño recomendado para la banda es de tipo A

Relación de velocidad

$$i = \frac{n_1}{n_2}$$

Ecuación 12

$$i = \frac{1800rpm}{1424rpm} = 1,26$$

Diámetro poleas

Para la selección de diámetro de la polea se toma como referencia el valor mínimo recomendado en la Tabla 6.

Motor Horsepower	MOTOR RPM			
	870	1160	1750	3500
1/2	2.2	...	...	...
3/4	2.4	2.2	...	...
1	2.4	2.4	2.2	...
1-1/2	2.4	2.4	2.4	2.2
2	3.0	2.4	2.4	2.4
3	3.0	3.0	2.4	2.4
5	3.8	3.0	3.0	2.4
7-1/2	4.4	3.8	3.0	3.0
10	4.4	4.4	3.8	3.0
15	5.2	4.4	4.4	3.8
20	6.0	5.2	4.4	4.4
25	6.8	6.0	4.4	4.4
30	6.8	6.8	5.2	...
40	8.2	6.8	6.0	...
50	8.4	8.2	6.8	...
60	10.0	8.2	7.4	...
75	10.0	10.0	8.6	...
100	12.0	10.0	8.6	...
125	...	12.0	10.5	...
150	...	...	10.5	...
200	...	...	13.2	...
250	...	...	...	...
300	...	...	...	...

Tabla 6: Diámetro mínimo de poleas recomendado en función de la potencia y el rpm (Fuente: NEMA)

De acuerdo con la tabla, el diámetro mínimo de la polea motriz debe ser como mínimo 2,4 pulgadas. teniendo en cuenta el valor recomendado se tomará un diámetro nominal para la polea motriz  $D_{P_{motriz}} = 4$  pulgadas.

$$D_{P_{conducida}} = i \times D_{P_{motriz}}$$

Ecuación 13

De donde:

$$D_{P_{conducida}} = 1,26 \times 4 \text{ pulgadas} = 5,05 \approx 5 \text{ pulgadas}$$

Con ayuda del software de diseño Autodesk Inventor y el módulo "desing Accelerator", se modela el sistema de transmisión y se determina el número de bandas necesario para el correcto funcionamiento. Los resultados obtenidos son mostrados a continuación:



Ilustración 21: Modelo del sistema de transmisión (Fuente: propia)

### ▣ Propiedades de correa

Nombre mostrado		Correa trapezoidal ANSI/RMA IP-20
Tamaño		A55
Número de correas	$z$	2,000 su
Ángulo de sector	$\alpha$	40,00 gr
Anchura	$b$	12,700 mm
Altura	$h$	7,938 mm
Anchura de referencia	$b_w$	10,617 mm
Longitud de referencia	$L_d$	1430,020 mm
Longitud externa	$L_e$	1446,873 mm
Longitud interna	$L_i$	1397,000 mm
Factor de corrección de longitud	$C_3$	0,950 su
Desfase de línea externa	$H_w$	2,682 mm
Desfase de línea de paso	$a$	3,175 mm
Diámetro de referencia de polea mínimo recomendado	$D_{wmin}$	76,200 mm
Frecuencia flex máxima	$f_{max}$	60,000 Hz
Velocidad máxima de correa	$v_{max}$	30,480 mps
Masa específica	$m$	0,104 kg/m
Tasa de potencia base	$P_{RB}$	2,485 kW

Tabla 7: Propiedades de la banda de transmisión (Fuente: propia)

## ☐ Comprobación de resistencia

Potencia	P	1,680 kW
Par de torsión	T	8,913 N m
Velocidad	n	1800,000 rpm
Factor de eficiencia de par de torsión	$\eta_t$	0,980 su
Eficiencia	$\eta$	0,973 su
Deslizamiento de correa	s	0,007 su
Factor de corrección de arco de contacto	$c_1$	0,777 su
Factor de servicio	$c_2$	1,300 su
Factor de servicio resultante	$c_{PR}$	1,831 su
Factor de corrección de longitud	$c_3$	0,950 su
Número de factor de corrección de correa	$c_4$	0,975 su
Número de factor de corrección de polea	$c_5$	0,860 su
Modificar fricción con factor de velocidad	$f_{mod}$	0,012 s/m
Factor de tensión	$k_1$	1,300 su
Velocidad de correa	v	10,174 mps
Frecuencia flex de correa	$f_b$	28,458 Hz
Número de correas requerido	$z_{er}$	1,420 su
Desmoldeo efectivo	$F_p$	165,126 N
Fuerza centrífuga	$F_c$	21,566 N
Tensión de instalación de correa	$F_t$	89,654 N
Tensión máxima en alcance de correa	$F_{tmax}$	130,936 N

## ☐ Resumen de mensajes

3:14:33 p. m. Cálculo: La tensión de correa se procesa con respecto a la polea 2.

3:14:33 p. m. Cálculo: El cálculo indica la compatibilidad del diseño.

Tabla 8: Resultados comprobación de diseño del sistema de transmisión (Fuente: propia)

Se obtiene compatibilidad de diseño usando un número de dos bandas.

## 6.6 SELECCIÓN DE RODAMIENTOS RODAMIENTOS

Para seleccionar los rodamientos se considerará lo siguiente: la carga aplicada, la capacidad de carga dinámica, el tiempo nominal de servicio y la velocidad de giro de los mecanismos donde será acoplado el rodamiento,

Además, si la máquina trabajara 8 horas diarias totalmente utilizadas le corresponde una duración nominal comprendida entre 20000 a 30000 horas de servicio<sup>15</sup>.

Para la selección se utilizará la siguiente fórmula de duración  $L_{10H}$ <sup>16</sup>

$$L_{10H} = \frac{1000000}{60n} \left( \frac{C}{P} \right)^p$$

Ecuación 14

Donde:

$L_{10H}$  = Duración nominal en horas de servicio.

$n$  = velocidad constante de rotación en rpm.

$C$  = Capacidad de carga dinámica en N.

$P$  = Carga dinámica equivalente sobre el rodamiento en N.

$p$  = Exponente de la fórmula de duración.

$p = 3$ , para los rodamientos de bolas.

$p = 10/3$  para los rodamientos de rodillos.

Se considera que las cargas dinámicas que intervienen son constantes en magnitud y en dirección, y actúan radialmente, se asume que  $P$  es igual a la carga calculada en cada sistema.

Rodamientos del eje del rodillo de Tractor y rebobinador

Los rodillos tractor y rebobinador serán soportados con rodamientos rígidos de bolas y gira a una velocidad de 1421 rpm, las cargas que intervienen son:  $RA = RB = 515,39N$ . Se supone una duración nominal de 30000 horas de servicio.

Despejando  $C$  de la ecuación 14:

$$C = Px \left( \frac{L_{10h} \times 60 \times n}{1000000} \right)^{\frac{1}{p}}$$

Ecuación 15

$n = 1421 \text{ rpm}$

$P = 515,39N$

$p = 3$

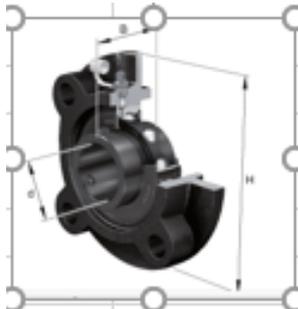
<sup>15</sup> CATÁLOGO GENERAL SKF; Selección del tamaño de rodamiento; Capacidad de carga y duración; Tabla 1; Pág. 30.

<sup>16</sup> CATÁLOGO GENERAL SKF; Selección del tamaño de rodamiento; Fórmula de la duración; Pág. 28.

$$C = 515,39N \times \left( \frac{30000 \times 60 \times 1421}{1000000} \right)^{\frac{1}{3}} = 7048,42N$$

El diámetro del eje donde se instalarán los rodamientos es de 1 pulga. (25,4 mm).

Se selecciona el siguiente soporte con rodamiento de bolas:



Soporte FYT 504 U ufc 205-16		
Diámetro interno	d	25,4mm
Unidad de rodamiento	-	FC205
Rodamiento	-	UC205-16
Capacidad de Carga dinámica	C	12.7 kN
Masa	M	0,94 kg

Tabla 9: Especificaciones del soporte con rodamiento del rodillo tractor y rebobinador (Fuente: CATÁLOGO SKF: Soporte de brida con rodamientos Y)

## 6.7 SELECCIÓN CILINDROS NEUMÁTICOS.

### 6.7.1 Cilindros neumáticos sistema movimiento de bobinas

Los cilindros deben tener una carrera de 200mm, para garantizar el montaje de las bobinas.

Para plantear los cálculos y determinar la fuerza requerida en cada cilindro neumático, se examina la disposición del mecanismo de rebobinado con una fuerza máxima de bobina  $F_b = 1000N$  a través de un diagrama de cuerpo libre Ilustración 22.

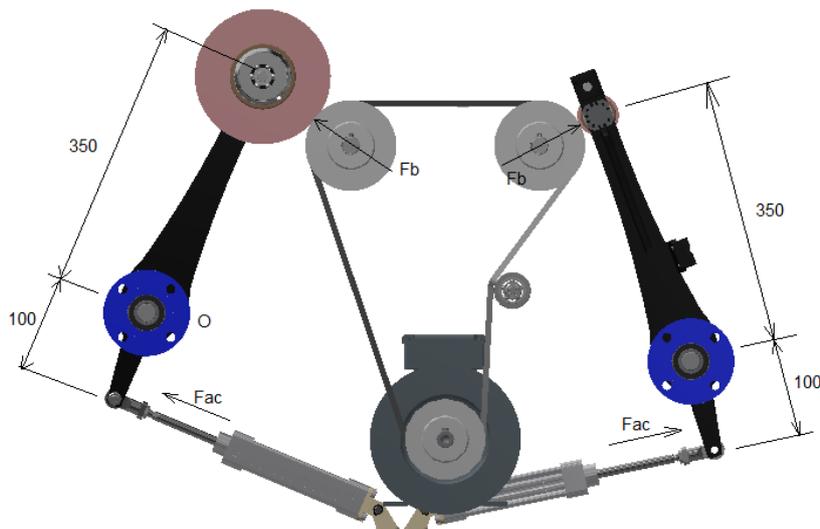


Ilustración 22: Fuerzas estáticas en el sistema de rebobinado (Fuente: propia)

Aplicando sumatoria de momentos con respecto al punto o, la fuerza  $F_{ac}$  suministrada por el actuador debe ser mínimo:

$$F_{ac} = \frac{350Fb}{100} = 3500N$$

La presión de aire disponible por el compresor es de  $6 \times 10^5 Pa$ . El diámetro de cada cilindro neumático esta dado por<sup>17</sup>:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot F_{ac}}{\pi \cdot P}}$$

Ecuación 16

De donde:

$$D \approx 86,18mm$$

Se usarán cilindros neumáticos ISO de diámetro 100mm con 200mm de carrera.

### 6.7.2 Cilindros neumáticos sistema de sujeción de bobina y desatraque tolva

La tolva tendrá una capacidad para 100 tubos de cartón, los cuales tienen un peso aproximado de 25Kg; el actuador utilizado para el desatraque de la tolva debe ser capaz de vencer esta fuerza y tener un recorrido de 30mm por lo que se tiene que:

$$F_{ac} = 25kg = 250N$$

Utilizando la ecuación 16:

$$D \approx 23,03mm$$

Se usarán cilindros neumáticos ISO compactos de diámetro 25mm con 30mm de carrera.

El ajuste entre el sistema de sujeción de la bobina secundaria y los tubos de cartón es deslizante, por lo que los actuadores neumáticos que conforman el sistema no requieren efectuar una fuerza elevada. Para tener componentes estandarizados se usará el mismo tipo de cilindro usado en la tolva de alimentación.

---

<sup>17</sup> Micro, cilindros neumáticos catalogo en línea

## 6.8 DISEÑO ESTRUCTURA DE LA MAQUINA

Para el cálculo de la estructura se utiliza el Software Autodesk Inventor.

La estructura estará constituida por dos placas de acero estructural A36 laminado en caliente calibre  $\frac{1}{4}$  de pulgada, unidas mediante tubería PTS de 50mmx50mmx2,5mm.

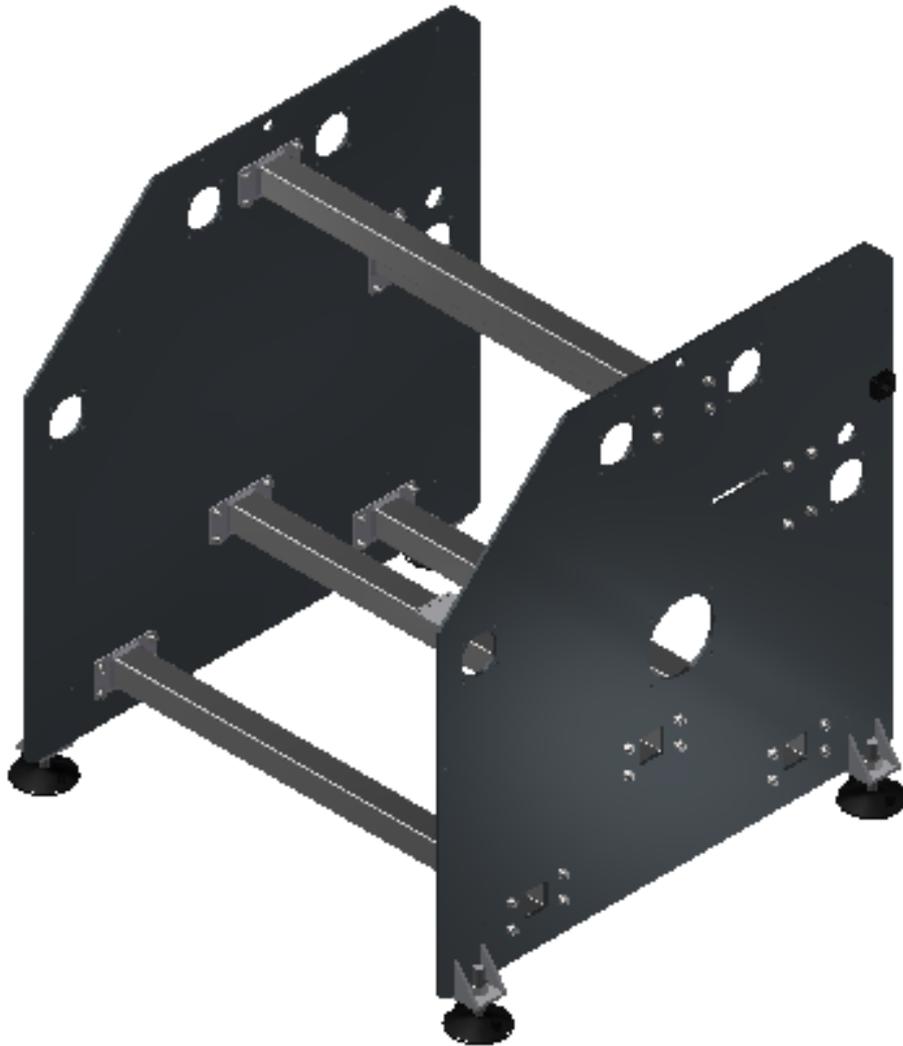
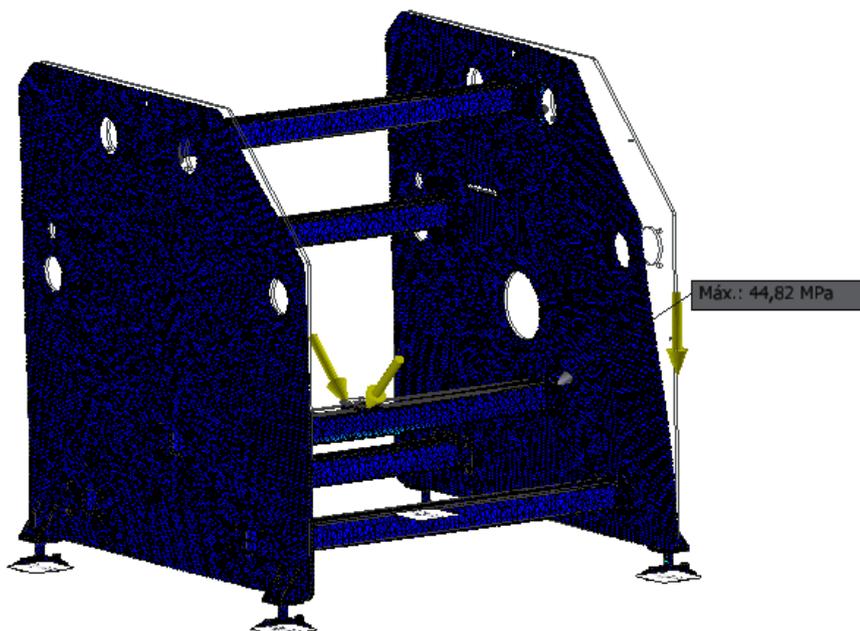
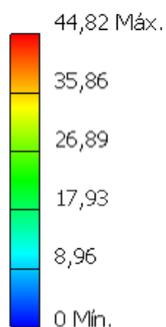


Ilustración 23: Estructura rebobinadora (Fuente: propia)

La estructura debe ser capaz de soportar el peso de los elementos del sistema rebobinador, así como su propio peso. Adicional a esto debe soportar las fuerzas generadas por los actuadores neumáticos durante su operación.

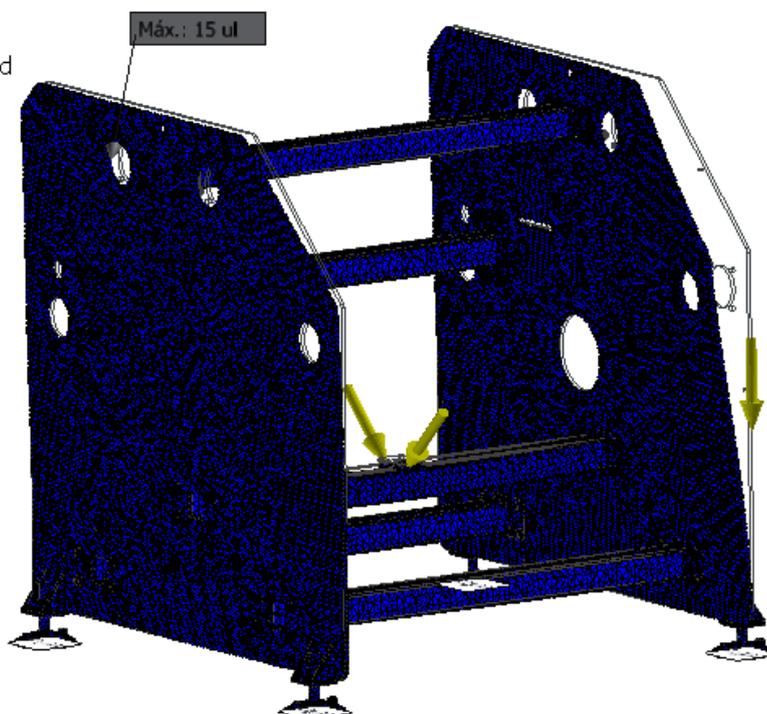
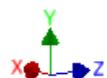
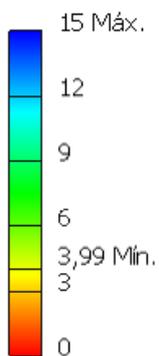
Usando el módulo de elementos finitos (FEA) del software Autodesk Inventor se comprueba la resistencia de las estructuras, los resultados se muestran a continuación:

Nodos: 2725077  
Elementos: 1734007  
Tipo: Tensión de Von Mises  
Unidad: MPa



Ilustración 24: Tensión de Von Mises estructura (Fuente: propia)

Nodos: 2725077  
Elementos: 1734007  
Tipo: Coeficiente de seguridad  
Unidad: ul



Ilustración 25: Coeficiente de seguridad estructura (Fuente: propia)

El diseño de la estructura cumple con los requerimientos esperados.

## 6.9 COMPONENTES SISTEMA DE CONTROL

### 6.9.1 Dispositivos de entrada

Son todos los elementos que proporcionan, al dispositivo de control, una señal la cual es interpretada para efectuar o no una determinada acción. La Tabla 10 muestra los dispositivos de entrada de la máquina y sus características fundamentales.

Dispositivo	Cantidad	Descripción
Enconder	1	Permite determinar el metraje de papel rebobinado
Pulsador start/stop	2	Cumplen de la función de dar iniciar o terminar una secuencia de la maquina
Pulsador de paro de emergencia	1	Habilita el paro de emergencia de la máquina
Sensor foto eléctrico	2	Su función es detectar la presencia de papel en la máquina y la presencia de tubos en la tolva de alimentación
Final de carrear	4	sirven como indicadores de la posición de los actuadores neumáticos
Pantalla touch	1	Su objetivo fundamental es mostrar las pantallas de la HMI al operador, además de permitirle definir los parámetros de entrada de la máquina.

Tabla 10: Dispositivos de entrada (Fuente: propia)

### 6.9.2 Dispositivos de salida

Son los elementos conectados al dispositivo de control que, actúan o realizan las acciones pertinentes para efectuar el proceso de rebobinado. La Tabla 11 muestra una lista de dispositivos de salida de la máquina con sus principales características.

Dispositivo	Cantidad	Descripción
Electroválvula neumática	6	Es la encargada de accionar el movimiento de los actuadores neumáticos
Válvula de soplado	1	su función es enviar un chorro de aire para enhebrar el papel al inicio del rebobinado
Interruptor resistencia eléctrica	1	Permite el paso de corriente por la resistencia para efectuar el proceso de corte
Variador de frecuencia	1	Elemento que permite mantener la velocidad del motor a pesar de que la carga a la que está sometido varíe

Tabla 11: Dispositivos de Salida (Fuente: propia)

## 6.10 SELECCIÓN DE COMPONENTES ELECTRÓNICOS

### 6.10.1 Selección del controlador lógico programable

los criterios específicos para seleccionar un modelo de PLC son los siguientes:

- Cantidad de entradas: 12
- Cantidad de Salidas relé: 15
- Comunicación RS485 para transmitir desde/hacia el HMI
- Comunicación USB o ETHERNET para la programación del PLC
- Voltaje de alimentación: 12/24V DC

En base a los parámetros mencionados, el PLC elegido es siemens S1200 Con un módulo adicional de salidas.

### 6.10.2 Selección del variador de frecuencia

Los criterios a ser tomados en cuenta para elegir un variador de frecuencia que se ajuste a la necesidad del proyecto son los siguientes:

- Parámetros de operación: voltaje 220V AC, frecuencia 60Hz
- Motor a controlar: trifásico, potencia 1.5HP

En base a los parámetros mencionados, el variador elegido es el modelo Siemens Sinamics V20.

### 6.10.3 Selección del encoder

Este es un dispositivo de aplicaciones industriales con una exigencia baja. Las características del encoder seleccionado se muestran a continuación:

ENCODER HOHNER SERIE 10

Numero de pulsos desde 1 a 10000.  
Diámetro externo de 58mm.



Ilustración 26: Encoder hohner serie 10 (Fuente:<https://www.encoderhohner.com/es/>)

## 6.10.4 Panel de control

Para el control se dispondrá de un tablero Ilustración 27, Donde el accionamiento del motor será por arranque directo con contactor, por lo que es necesario un doble circuito, el principal o de potencia que alimenta el motor y la resistencia, y el secundario que alimenta los elementos de control.



Ilustración 27: Panel de control (Fuente: propia)

## 6.11 PROGRAMACIÓN DE LA MAQUINA

### 6.11.1 TABLA DE ESTADOS

A continuación, Tabla 12 muestra la relación entre el estado de los elementos electrónicos de la máquina y las salidas a ejecutarse ante cada escenario. Cada elemento se representa de la siguiente forma:

- P0 pulsador de paro de emergencia
- P1 pulsador start
- P2 pulsador stop

Numero	P0	P1	P2	Salida
1	0	0	0	0
2	0	0	1	0
3	0	1	1	0
4	1	0	1	0
5	1	1	0	0
6	0	1	0	1
7	1	0	0	0

Tabla 12: Lógica del circuito y acciones a ejecutarse (Fuente propia)

La conclusión de la Tabla 12 es que la máquina no realiza ninguna acción mientras el pulsador de emergencia y el pulsador de stop estén presionados y se detendrá cuando haya finalizado el proceso de rebobinado.

### **6.11.2 ALGORITMO GENERAL DEL PROCESO**

La secuencia que se lleva a cabo para el proceso de rebobinado se muestra a continuación:

1. Inicio
2. Posicionar bobina madre (operación manual)
3. Enhebrado de papel (operación manual)
4. Alimentación de tubos en la tolva (operación manual)
5. Encender la máquina (operación manual)
6. Ejecutar el algoritmo de funcionamiento (operación automática)
7. Retirar tubo rebobinado (operación manual)
8. Fin

### **6.11.3 ALGORITMO DE FUNCIONAMIENTO DE LA MÁQUINA**

1. Inicio
2. Definir Contador igual a 0
3. Definir Contador 2 igual a 0
4. Metros enrollados igual a 0
5. Leer cantidad de tubos enrollar
6. Leer cantidad de metros a enrollar
7. Leer velocidad de enrollado
8. Si sensor de tubo en tolva está activado ejecutar paso 15. de lo contrario ejecutar paso 9.
9. Accionar actuador tolva
10. Si contador 2 es menor a 5 ejecutar paso 13. De lo contrario ejecutar paso 11
11. Mostrar mensaje "Tolva atascada"
12. Ejecutar paso 29.
13. contador 2 igual a contados 2 +1
14. ejecutar paso 8.
15. sujetar tubo
16. mover bobina a posición de rebobinado
17. activar válvula de soplado por 5 segundos
18. encender motor a velocidad igual a velocidad de enrollado
19. Esperar a que metros arrollados sea igual a cantidad de metros a enrollar
20. detener motor
21. mover bobina secundaria hasta posición de corte

22. encender resistencia.
23. cortar papel
24. apagar resistencia
25. soltar tubo rebobinado
26. mover brazo bobina secundaria hasta posición inicial
27. Contador = Contador + 1
18. Preguntar ¿Contador es igual a cantidad de tubos enrollar? Si es igual, ir al paso 29, caso contrario regresar al paso 8.
29. Fin

Se utilizó el lenguaje de programación Ladder para ejecutar el algoritmo en el PLC.

## 6.12 COMPONENTES ADICIONALES QUE CONFORMAN LA MAQUINA

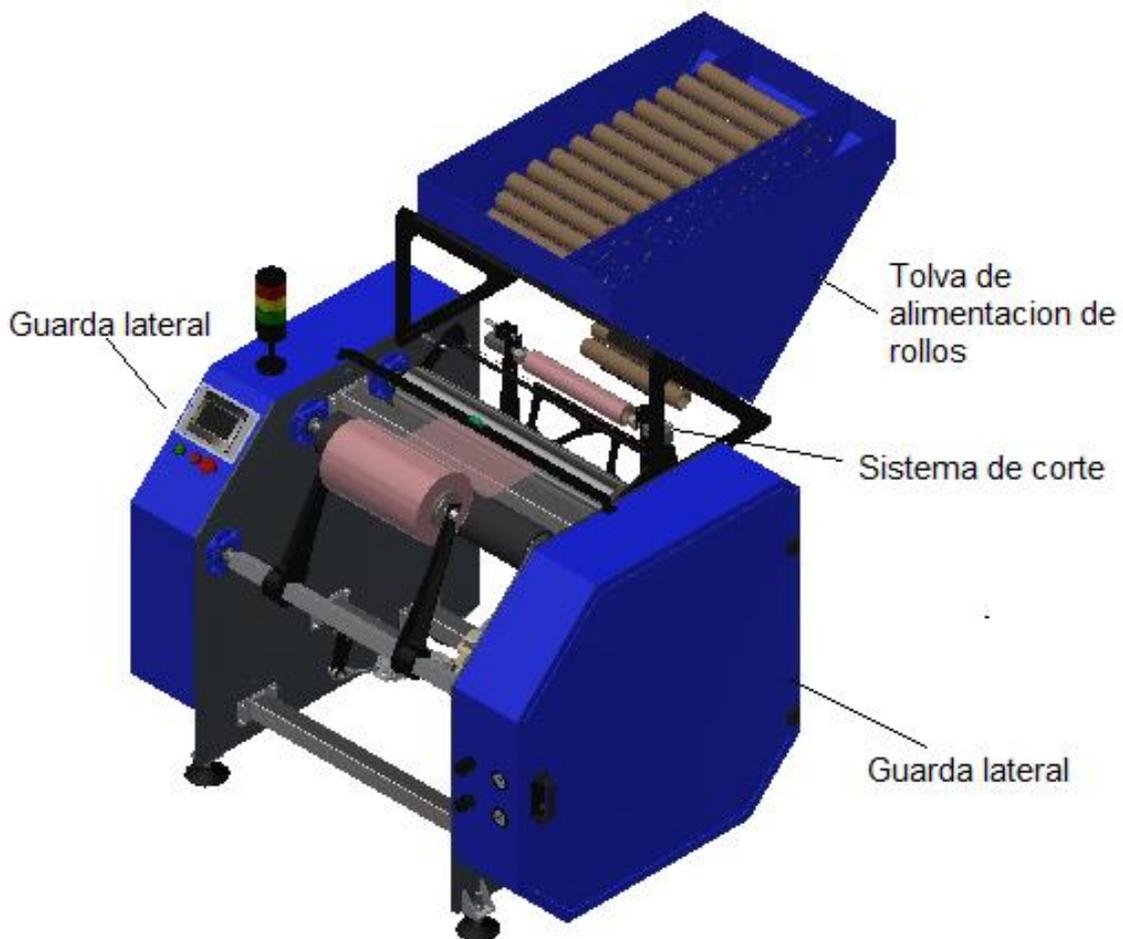


Ilustración 28: Vista Isométrica de la maquina (Fuente: propia)

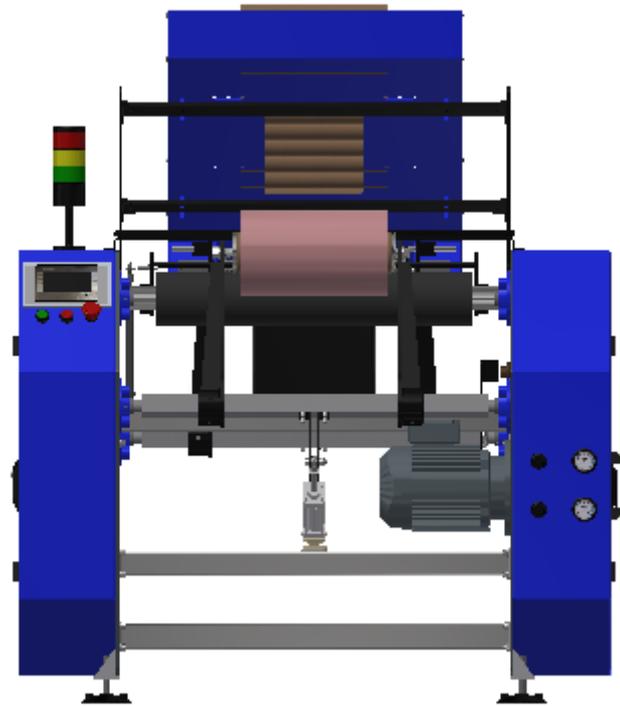


Ilustración 29: Vista Frontal de la maquina (Fuente; propia)

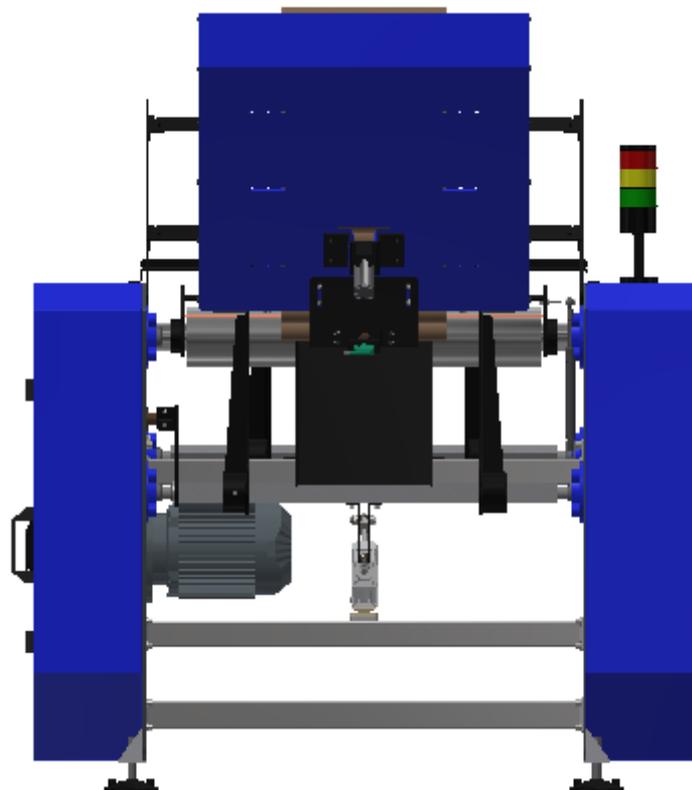


Ilustración 30: Vista posterior de la maquina (Fuente: propia)

## 7 CONCLUSIONES

- Se logra diseñar a detalle una máquina para rebobinado de papel film stretch con capacidad máxima de rebobinado de 500m/min, 4 velocidades de rebobinado, tolva de alimentación de con capacidad máxima de 100 tubos y con la posibilidad de seleccionar el metraje de papel a enrollar.
- Se obtuvo para los rodillos tractor y rebobinador un factor de seguridad estático de 7,92 y 9,32, y un factor de seguridad a la fatiga de 3,62 y 4,64 respectivamente, lo cual garantiza la durabilidad de estos componentes a lo largo del tiempo.
- Se logra seleccionar un sistema de transmisión de bandas y poleas que permite la transmisión de la potencia necesaria para el proceso de rebobinado.
- Se garantiza que los actuadores neumáticos seleccionados tienen la capacidad de ejercer la fuerza necesaria en el proceso de rebobinado.
- Los rodamientos seleccionados garantizan una vida útil de 30000 horas de trabajo. Teniendo en cuenta que la máquina trabajará en turnos de 8 horas los 7 días de la semana, estos tendrán una vida útil de 10,27 años.
- La máquina, físicamente presenta las comodidades necesarias para que su funcionamiento pueda ser ejecutada por un solo operario.

## 8 RECOMENDACIONES

- Se debe calibrar los rodillos de la máquina, esta consiste en poner paralelos a todos los rodillos, para garantizar que el papel pase perpendicular a cada uno de ellos, esto permite que el papel no se rompa y poder tener una tensión uniforme a lo largo de la banda de papel.

- Se recomienda mantener limpia la superficie externa de los rodillos, así evitar obtener una bobina de papel sucia.

## 9 Bibliografía

SHIGLEY, J; Diseño en Ingeniería Mecánica; Editorial Mc Graw Hill, Sexta Edición; México; 2002.

RIBA, C; Diseño Concurrente; Ediciones UPC; Primera Edición; Barcelona; 2002.

CHEVALIER; Dibujo Industrial; Montaner y Simón S.A.; Barcelona, 1979.

INEN; Código de Dibujo Técnico Mecánico; Quito, 1981.

ROLDÁN VITORIA J; Prontuario de Mecánica Industrial Aplicada; Editorial Paraninfo; Barcelona; 2000.

MARKS; Manual del Ingeniero Mecánico; Tomos I y Tomo II; Editorial Mc Graw Hill; México; 1990.

MARTIN FLEX COMPANY; Catálogo General de Transmisión de Movimiento; 2006.

UVINALL; Fundamentos de Diseño para Ingeniería Mecánica.

CATÁLOGO GENERAL DE RODAMIENTOS SKF; 1989.

# 10 ANEXOS

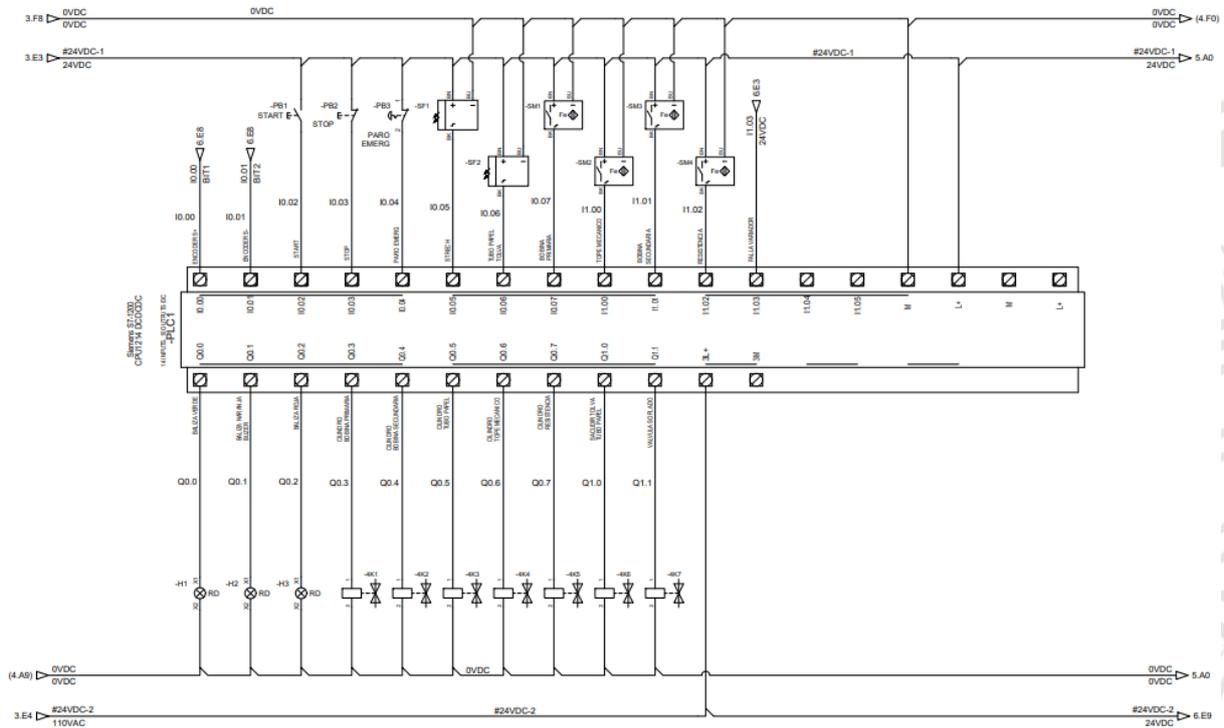


Ilustración 31: Plano eléctrico DISTRIBUCION DE PLC (Fuente: propia)

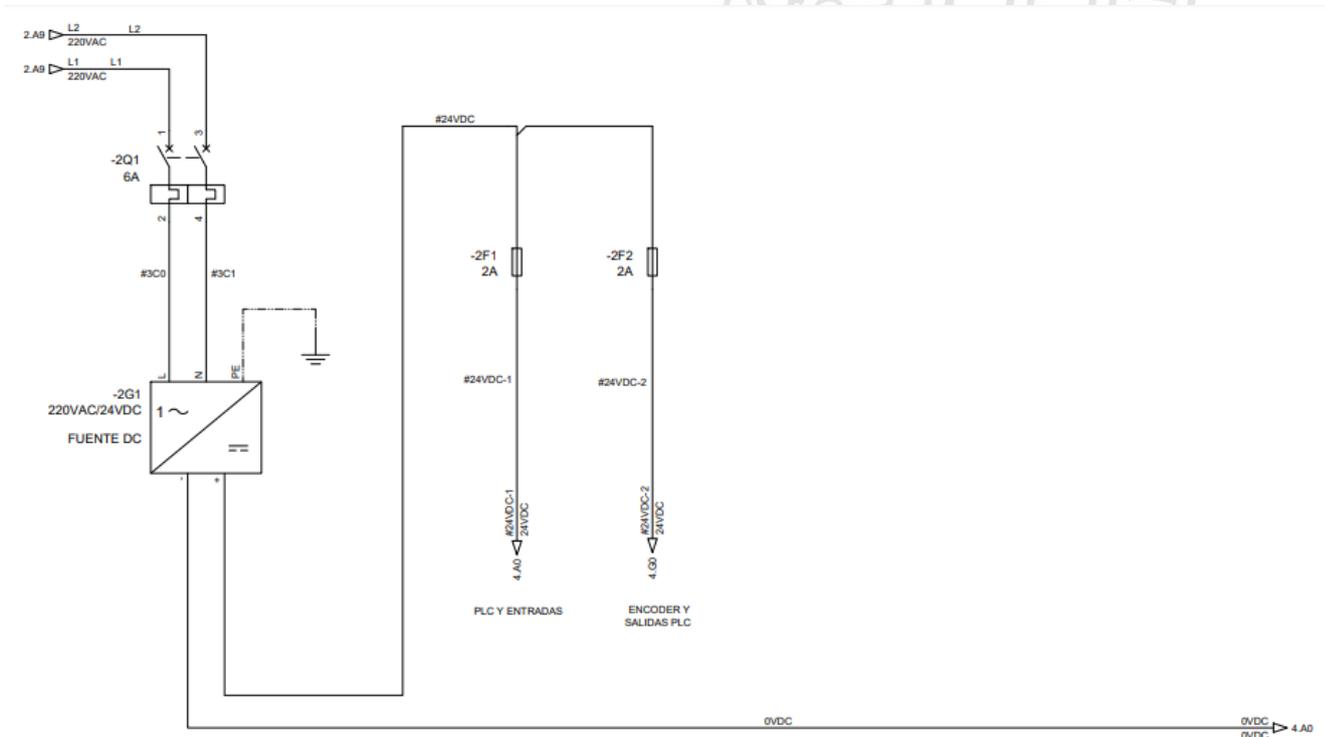


Ilustración 32: Plano eléctrico DISTRIBUCION DE 24V (Fuente: propia)

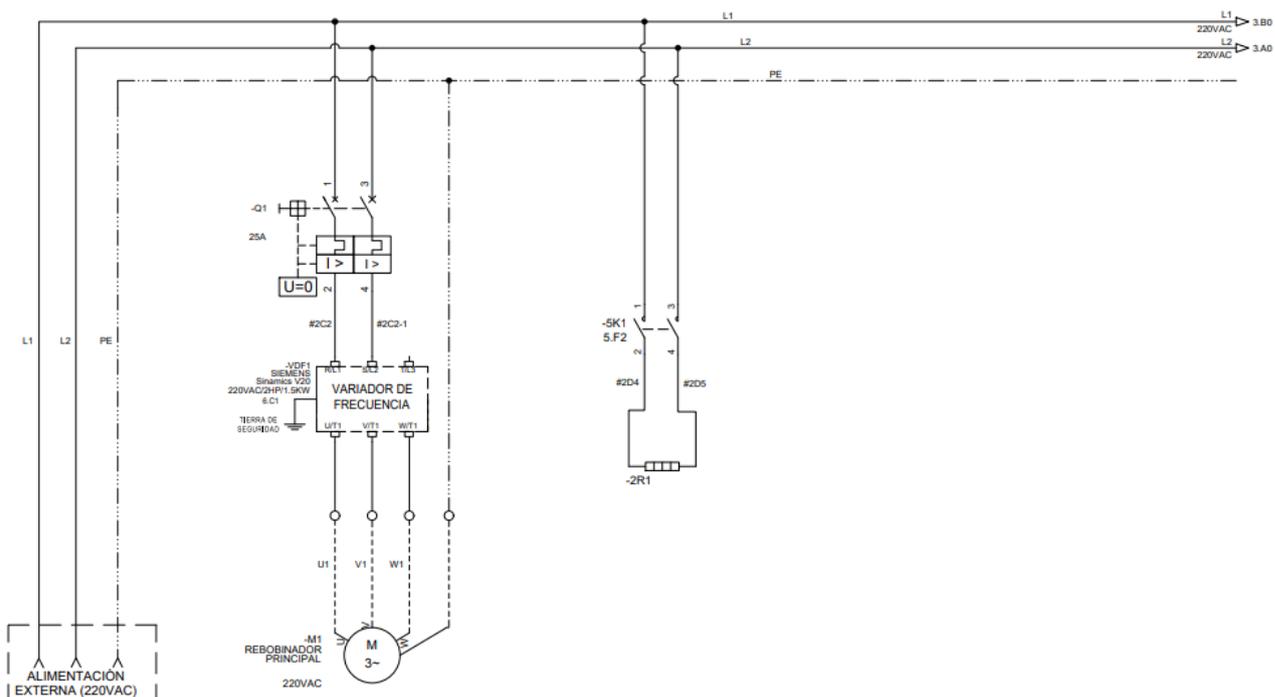


Ilustración 33; Plano eléctrico DISTRIBUCION DE POTENCIA (Fuente: propia)



Ilustración 34: Ensamble y puesta a punto (Fuente: propia)



Ilustración 35:Ensamble y puesta a punto (Fuente: propia)



Ilustración 36:Ensamble y puesta a punto (Fuente: propia)



Ilustración 37: Ensamble y puesta a punto (Fuente: propia)



Ilustración 38: Ensamble y puesta a punto (Fuente: propia)



Ilustración 39: Ensamble y puesta a punto (Fuente: propia)



Ilustración 40: Ensamble y puesta a punto (Fuente: propia)



Ilustración 41: Ensamble y puesta a punto (Fuente: propia)



Ilustración 42: Ensamble y puesta a punto (Fuente: propia)



Ilustración 43: Ensamble y puesta a punto (Fuente: propia)

