



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y  
MECÁNICA.**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA.**

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO.**

**TEMA: DISEÑO DE UNA MÁQUINA DE IMPRESIÓN  
FLEXOGRÁFICA DE UN CUERPO IMPRESOR PARA LÁMINAS DE  
CARTÓN CORRUGADO CON ESPESOR DESDE 3MM – 11MM,  
PARA LA EMPRESA ARNEM.**

**AUTOR: SALAZAR ZÚÑGA, ANDRÉS AUGUSTO**

**DIRECTOR: ING.TAPIA ZURITA, MELTON EDMUNDO**

**SANGOLQUÍ**

**2019**



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**CERTIFICACIÓN**

Certifico que el trabajo de titulación, “**DISEÑO DE UNA MÁQUINA DE IMPRESIÓN FLEXOGRÁFICA DE UN CUERPO IMPRESOR PARA LÁMINAS DE CARTÓN CORRUGADO CON ESPESOR DESDE 3MM – 11MM, PARA LA EMPRESA ARNEM**” realizado por el señor **SALAZAR ZÚÑIGA ANDRÉS AUGUSTO** el mismo que ha sido revisado do en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente

**Sangolquí, 05 de julio del 2019**

**FIRMA**

**ING. MELTON EDMUNDO TAPIA ZURITA.**

CC.: 170386398-4



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD.**

Yo, **SALAZAR ZUÑIGA, ANDRÉS AUGUSTO**, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **“DISEÑO DE UNA MÁQUINA DE IMPRESIÓN FLEXOGRÁFICA DE UN CUERPO IMPRESOR PARA LÁMINAS DE CARTÓN CORRUGADO CON ESPESOR DESDE 3MM – 11MM, PARA LA EMPRESA ARNEM”** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

**Sangolquí, 05 de julio del 2019.**

**ANDRÉS AUGUSTO SALAZAR ZÚÑIGA**

**C.I.: 1715425276**



## DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

### CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

#### AUTORIZACIÓN

Yo, **SALAZAR ZÚÑIGA ANDRÉS AUGUSTO**, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: “**DISEÑO DE UNA MÁQUINA DE IMPRESIÓN FLEXOGRÁFICA DE UN CUERPO IMPRESOR PARA LÁMINAS DE CARTÓN CORRUGADO CON ESPESOR DESDE 3MM – 11MM, PARA LA EMPRESA ARNEM**” en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Sangolquí, 05 de julio del 2019.



**ANDRÉS AUGUSTO SALAZAR ZÚÑIGA**

C.I.: 1715425276

## **DEDICATORIA**

Dedico este proyecto de tesis a Dios y a mis padres. A Dios porque ha estado conmigo a cada paso que doy, cuidándome y dándome fortaleza para continuar, a mis padres, quienes a lo largo de mi vida han velado por mi bienestar y educación siendo mi apoyo en todo momento. Depositando su entera confianza en cada reto que se me presentaba sin dudar ni un solo momento en mi inteligencia y capacidad.

## **AGRADECIMIENTO**

Los resultados de este proyecto, están dedicados a todas aquellas personas que, de alguna forma, son parte de su culminación.

**ÍNDICE**

CERTIFICACIÓN .....	i
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD.....	ii
AUTORIZACIÓN .....	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
ÍNDICE .....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xii
ÍNDICE DE TABLAS .....	xvi
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	xix
RESUMEN .....	xxi
ABSTRACT .....	xxii
CAPITULO 1 .....	1
1.1 Antecedentes. ....	1
1.2 Definición del problema. ....	5
1.3 Objetivos. ....	6
1.4 Justificación.....	7
1.5 Alcance. ....	7

CAPITULO 2 .....	9
2.1 Cartón corrugado. ....	9
2.1.1 Estructura del cartón corrugado. ....	9
2.1.2 Fabricación del cartón corrugado. ....	10
2.1.3 Clasificación del cartón corrugado.....	13
2.1.4 Propiedades del cartón corrugado.....	16
2.1.5 Resistencia del cartón corrugado al aplastamiento ( fct).....	19
2.1.6 Usos del cartón corrugado.....	20
2.2 Impresión flexografía.....	21
2.2.1 Principio de funcionamiento.....	21
2.2.2 Ventajas que ofrece la flexografía. ....	24
2.2.3 Tipos de transferencia de tinta en flexografía. ....	24
2.3 El cliché flexo. ....	26
2.3.1 Proceso de fabricación del cliché. ....	26
2.3.2 Propiedades que debe tener el cliché.....	27
2.3.3 Espesor del cliché .....	29
CAPITULO 3 .....	34
3.1 Definición .....	34

3.1.1 Enunciado de la máquina .....	34
3.2 Identificación de las necesidades. ....	35
3.2.1 Recopilación de información.....	36
3.2.2 Tabulación e interpretación de la información. ....	37
3.2.3 Organización de necesidades en jerarquía.....	42
3.2.4 Importancia relativa de las necesidades. ....	45
3.2.5 Especificaciones objetivo. ....	47
3.3 Análisis funcional.....	51
3.3.1 Análisis funcional de la impresora flexográfica. ....	52
3.3.2 Estructura modular de la impresora flexográfica.....	53
3.4 Presentación y selección de alternativas.....	55
3.4.1 Módulo de alimentación.....	55
3.4.2 Interfaz entre módulos.....	59
3.5 Selección de alternativas.....	64
3.5.1 Criterios de evaluación. ....	64
3.5.2 Matrices de selección. ....	65
CAPÍTULO 4. ....	68
4.1 Diseño mecánico.....	68

4.2 Datos limitadores.....	68
4.2 Cálculo de vic. y longitud de repetición.....	69
4.2.1 Longitud de repetición. ....	69
4.2.2 Velocidad de producción. ....	71
4.3 Cálculo de potencia de motor.....	72
4.3.1 Potencia para mover el cilindro porta cliché. ....	77
4.3.2 Potencia para mover el rodillo dosificador. ....	80
4.4.2 Selección de la cadena de transmisión. ....	96
4.4.3 Longitud de cadena.....	99
4.5 Fuerzas en catarinas.....	101
4.5.1 Cálculo de fueza en catarina del r. d. ....	103
4.5.2 Cálculo de fueza en catarina del cilindro p.c.....	104
4.5.3 Cálculo de fueza en catarina del cilindro c.i.....	105
4.5.3 Cálculo de fueza en catarina del e.a.....	106
4.6 Dimensionamiento del eje del cilindro porta cliché. ....	107
4.7 Análisis mediante elementos finitos.....	121
4.7.1 Análisis de eje porta cliché. ....	122
4.7.2 Análisis de estructura de alimentación. ....	125

4.7.3 Análisis de estructura de impresión.....	131
4.8 Diseño de circuito eléctrico.....	137
CAPÍTULO 5.....	140
5.1 Introducción.....	140
5.2 Análisis de costos directos.....	141
5.2.1 Costos de materia prima.....	141
5.2.2 Costos de elementos normalizados.....	142
5.2.3 Costos de maquinado.....	144
5.2.4 Costos de montaje.....	144
5.2.4 Costos directo total.....	145
5.3 Análisis de costos indirectos.....	146
5.3.1 Costos materiales indirectos.....	146
5.3.2 Costos de ingeniería.....	146
5.3.3 Costos imprevistos.....	147
5.3.4 Costos indirecto total.....	148
5.4 Costo total de impresora flexográfica.....	148
CAPÍTULO 6.....	149
6.1 Conclusiones.....	149

6.2 Recomendaciones..... 151

BIBLIOGRAFÍA..... 152

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Entrada empresa ARNEM .....	1
<b>Figura 2.</b> Logotipos comunes impresos en el cartón.....	2
<b>Figura 3.</b> Esquema de proceso de impresión flexográfica. ....	3
<b>Figura 4.</b> Esquema de proceso de impresión offset.....	3
<b>Figura 5.</b> Esquema de proceso de impresión serigrafía.....	4
<b>Figura 6.</b> Estructura de cartón corrugado. ....	9
<b>Figura 7.</b> Proceso de fabricación de láminas de cartón corrugado.....	10
<b>Figura 8.</b> Clasificación de cartón corrugado por su estructura. ....	13
<b>Figura 9.</b> Ensayo de aplastamiento FCT en cartón corrugado. ....	20
<b>Figura 10.</b> Variedad de usos de cajas de cartón corrugado. ....	20
<b>Figura 11.</b> Clichés para impresión flexográfica .....	21
<b>Figura 12.</b> Esquema de cuerpo impresor flexográfico.....	22
<b>Figura 13.</b> Esquema de transferencia de tinta rodillo entintador - dosificador. ....	25
<b>Figura 14.</b> Esquema de transferencia de tinta raqueta-rodillo dosificador. ....	25
<b>Figura 15.</b> Partes del cliché .....	26
<b>Figura 16.</b> Cliché procesado.....	27

<b>Figura 17.</b> Comportamiento del cliché con dureza normal. ....	28
<b>Figura 18.</b> Comportamiento del cliché con capa superficial de mayor dureza.....	28
<b>Figura 19.</b> Simbología para análisis funcional.....	52
<b>Figura 20.</b> Simbología para análisis funcional.....	53
<b>Figura 21.</b> Simbología para análisis funcional.....	54
<b>Figura 22.</b> Sistema de manivela-biela-corredera. ....	56
<b>Figura 23.</b> Sistema de banda.....	58
<b>Figura 24.</b> Sistema de engranajes.....	60
<b>Figura 25.</b> Sistema de bandas.....	61
<b>Figura 26.</b> Sistema de cadenas. ....	63
<b>Figura 27.</b> Prototipo seleccionado ....	67
<b>Figura 28.</b> Cilindro portacliche.....	70
<b>Figura 29.</b> Sistema de transmisión etapa1.....	91
<b>Figura 30.</b> Sistema de transmisión etapa 2.....	92
<b>Figura 31.</b> Gráfico para la selección de cadenas Norma ISO 606 (Serie americana)...	98
<b>Figura 32.</b> Trayectoria sistema de cadena etapa 1 .....	100
<b>Figura 33.</b> Trayectoria sistema de cadena etapa 2. ....	100
<b>Figura 34.</b> Ángulos de contacto etapa 1. ....	103

<b>Figura 35.</b> Diagramas de fuerza y momento plano X-Y .....	108
<b>Figura 36.</b> Diagrama de fuerza y momento plano X-Z .....	109
<b>Figura 37.</b> Gráfica de esfuerzos alternantes .....	114
<b>Figura 38.</b> Diagrama de Cuerpo libre para el cilindro portacliche.....	122
<b>Figura 39.</b> Esfuerzos Von Mises para el cilindro portacliche.....	123
<b>Figura 40.</b> Esfuerzos V.M. para el cilindro portacliche alojamiento del rodamiento ...	124
<b>Figura 41.</b> Factor de seguridad para el cilindro portacliche.....	124
<b>Figura 42.</b> Desplazamiento en Y para el cilindro portacliche.....	125
<b>Figura 43.</b> Estructura para el módulo de alimentación .....	126
<b>Figura 44.</b> Módulo de alimentación.....	127
<b>Figura 45.</b> D.C.L. para el módulo de alimentación .....	129
<b>Figura 46.</b> Desplazamientos para el módulo de alimentación .....	130
<b>Figura 47.</b> Esfuerzos normales para el módulo de alimentación.....	131
<b>Figura 48.</b> Estructura para el módulo de impresión .....	132
<b>Figura 49.</b> Módulo de impresión .....	133
<b>Figura 50.</b> D.C.L.del módulo de impresión.....	135
<b>Figura 51.</b> Desplazamientos para el módulo de impresión .....	136
<b>Figura 52.</b> Esfuerzos normales para el módulo de impresión .....	136

**Figura 53.** Circuito de potencia y control..... 138

**Figura 54.** Circuito de potencia y control puesto a marcha ..... 139

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> <i>Funciones de los componentes del cartón corrugado</i> .....	10
<b>Tabla 2.</b> <i>Dimensiones de láminas madre de cartón corrugado</i> .....	11
<b>Tabla 3.</b> <i>Dimensiones de cajas de clientes de ARNEM</i> .....	12
<b>Tabla 4.</b> <i>Clasificación de cartón corrugado por tipo de onda</i> .....	15
<b>Tabla 5.</b> <i>Espesores de cliché con su respectivo factor de distorsión</i> .....	29
<b>Tabla 6.</b> <i>Porcentaje de componente de tinta al agua</i> .....	31
<b>Tabla 7.</b> <i>Propiedades de caucho nitrilo</i> .....	33
<b>Tabla 8.</b> <i>Tabulación e Interpretación De La Información</i> .....	38
<b>Tabla 9.</b> <i>Organización De Necesidades En Jerarquía</i> .....	43
<b>Tabla 10.</b> <i>Importancia Relativa De Las Necesidades</i> .....	46
<b>Tabla 11.</b> <i>Lista de métricas</i> .....	48
<b>Tabla 12.</b> <i>Comparación con la competencia</i> .....	50
<b>Tabla 13.</b> <i>Módulos de la Impresora Flexográfica</i> .....	54
<b>Tabla 14.</b> <i>Criterios de Evaluación</i> .....	65
<b>Tabla 15.</b> <i>Matriz de Selección Módulo de Alimentación</i> .....	66
<b>Tabla 16.</b> <i>Matriz de Selección Módulo de Alimentación</i> .....	66
<b>Tabla 17.</b> <i>Requerimientos limitadores para el diseño</i> .....	69

<b>Tabla 18.</b> <i>Dimensiones del porta cliché</i> .....	70
<b>Tabla 19.</b> <i>Dimensiones del porta cliché</i> .....	77
<b>Tabla 20.</b> <i>Propiedades del porta cliché</i> .....	77
<b>Tabla 21.</b> <i>Dimensiones del eje dosificador</i> .....	80
<b>Tabla 22.</b> <i>Propiedades del eje dosificador</i> .....	80
<b>Tabla 23.</b> <i>Dimensiones del rodillo contra impresión</i> .....	83
<b>Tabla 24.</b> <i>Propiedades del rodillo contra impresión</i> .....	83
<b>Tabla 25.</b> <i>Dimensiones del eje alimentación</i> .....	85
<b>Tabla 26.</b> <i>Propiedades físicas del eje de alimentación</i> .....	86
<b>Tabla 27.</b> <i>Eficiencia de componentes</i> .....	88
<b>Tabla 28.</b> <i>Costos de materia prima</i> .....	141
<b>Tabla 29.</b> <i>Costos de elementos normalizados</i> .....	143
<b>Tabla 30.</b> <i>Costos de maquinado</i> .....	144
<b>Tabla 31.</b> <i>Costos de montaje</i> .....	145
<b>Tabla 32.</b> <i>Costos directo total</i> .....	145
<b>Tabla 33.</b> <i>Costos materiales indirectos</i> .....	146
<b>Tabla 34.</b> <i>Costos de ingeniería</i> .....	147
<b>Tabla 35.</b> <i>Costos imprevistos</i> .....	147

<b>Tabla 36.</b> <i>Costos indirectos totales</i> .....	148
<b>Tabla 37.</b> <i>Costo total</i> .....	148

**ÍNDICE DE ECUACIONES**

Ecuación 1.Longitud de repetición.....	70
Ecuación 2.Velocidad lineal.....	71
Ecuación 3.Inercia de un cilindro.....	73
Ecuación 4.Inercia de un cilindro hueco .....	73
Ecuación 5.Volumen de un cilindro hueco.....	74
Ecuación 6.Masa de un cuerpo .....	74
Ecuación 7.Velocidad angular final.....	74
Ecuación 8.Aceleración angular .....	75
Ecuación 9.Torque .....	75
Ecuación 10.Potencia.....	76
Ecuación 11.Potencia requerida.....	88
Ecuación 12.Potencia total requerida .....	89
Ecuación 13.Potencia del motor .....	90
Ecuación 14.Relación de transmisión.....	92
Ecuación 15.Potencia corregida.....	97
Ecuación 16.Longitud de cadena .....	99
Ecuación 17. Fuerza tangencias en catarina.....	102

Ecuación 18.Esfuerzo flexionante .....	110
Ecuación 19.Esfuerzo torsional .....	110
Ecuación 20.Segundo momento polar del área .....	111
Ecuación 21.Esfuerzo de Von Mises. ....	111
Ecuación 22.Factor de seguridad Soderberg .....	114
Ecuación 23.Esfuerzo de amplitud flexionante .....	115
Ecuación 24.Componente de esfuerzo medio flexionante .....	115
Ecuación 25.Límite de resistencia a la fátiga.....	116
Ecuación 26.Vida nominal en horas de servicio. ....	120

## RESUMEN

La empresa ARNEM es una convertidora de cartón dedicada a la fabricación de cajas de cartón corrugado y otros servicios relacionados con esta industria. Pero no cuenta con un sistema de impresión, perdiendo así competitividad. Por esta razón la empresa se vio en la necesidad de analizar la posible compra de una impresora para cartón, siendo la impresión flexográfica la más adecuada para el proceso de producción de ARNEM. Este tipo de maquinaria no se dispone en el mercado local por lo que sería necesario importar implicando altos costos. El diseño de la máquina permite recopilar información suficiente para: El entendimiento de proceso impresión flexográfica, establecer especificaciones de máquina, proponer y seleccionar la alternativa más adecuada, análisis de esfuerzos en elementos más críticos mediante procedimientos de cálculo y corroboración con software CAD; dimensionamiento de partes y análisis de costos. Cabe mencionar que el sistema de transporte de tinta es estándar, pero en lugar de utilizar el anilox se utilizó un rodillo cubierto por caucho nitrilo y una racleta, para esto se realizó un ensayo que permitió validar que este sistema funciona obteniendo impresión de calidad.

### **PALABRAS CLAVE:**

- **CARTÓN CORRUGADO.**
- **IMPRESIÓN FLEXOGRÁFICA.**
- **ANILOX.**
- **CAUCHO NITRILO.**

## ABSTRACT

The company ARNEM is a cardboard converter dedicated to the manufacture of corrugated boxes and other services related to this industry. But it does not have a printing system, thus losing competitiveness. For this reason, the company was forced to analyze the possible purchase of a cardboard printer, with flexographic printing being the most suitable for the ARNEM production process. This type of machinery is not available in the local market, so it would be necessary to import with high costs. The design of the machine allows to collect enough information for: The understanding of flexographic printing process, establish machine specifications, propose and select the most suitable alternative, stress analysis in more critical elements through calculation procedures and corroboration with CAD software; sizing of parts and cost analysis. It is worth mentioning that the ink transport system is standard, but instead of using the anilox, a roller covered with nitrile rubber and a squeegee was used, for which an assay was carried out to validate that this system works obtaining quality printing.

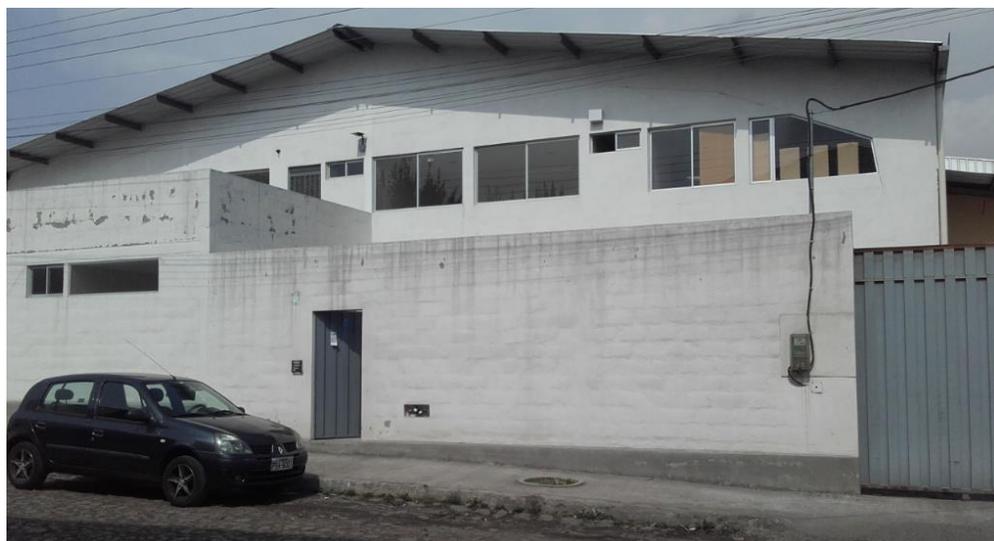
### KEYS WORDS:

- **CORRUGATED CARDBOARD.**
- **FLEXOGRAPHIC PRINTING.**
- **ANILOX.**
- **RUBBER NITRILE.**

## CAPITULO 1

### 1.1 Antecedentes.

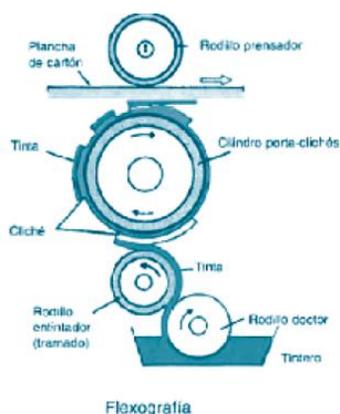
La empresa ARNEM (figura1) nace como un emprendimiento familiar a comienzos de 1999, motivados por la necesidad de desarrollar una actividad económica en base a sus conocimientos.



**Figura 1.** Entrada empresa ARNEM.

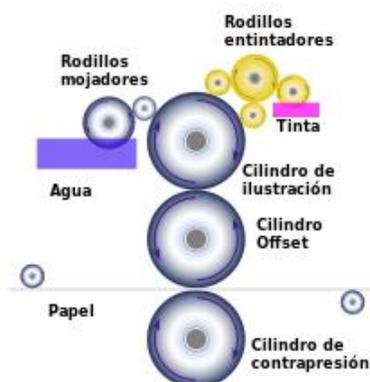
ARNEM en todos estos años se ha dedicado al proceso de fabricación de cajas de cartón corrugado, por lo que adquirió maquinaria necesaria para cubrir con el proceso de conformación. Los procesos son: corte y rayado de lámina, ranurado, troquelado plano, troquelado rotativo, y fabricación de troqueles. Pero se creó la necesidad de poder dar identidad al producto que se entrega, es decir que el embalaje lleve algún tipo de logotipo, referencias, código de barras, fecha de fabricación y caducidad, entre otras.





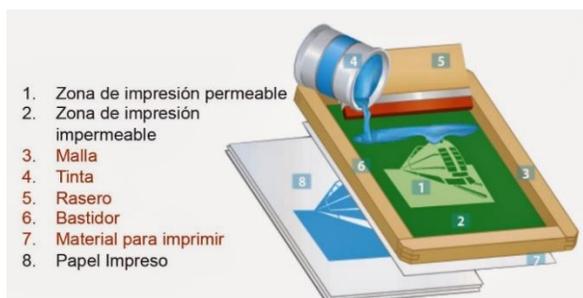
**Figura 3.** Esquema de proceso de impresión flexográfica.  
Fuente: (González, 2018).

- **Offset:** En el offset la imagen o texto no se transfiere a la superficie a imprimir de forma directa, sino a través de un cilindro cubierto de caucho o silicona, que recibe la imagen para transferirla a la superficie impresa por presión. La ventaja de esta impresión es que es de alta calidad, con una imagen más clara y definida que otros sistemas de impresión. El offset es la mejor impresión para plasmar una fotografía.



**Figura 4.** Esquema de proceso de impresión offset  
Fuente: (Martínez, 2018)

- **Serigrafía:** Esta técnica consiste en transferir a la caja una imagen, texto, logotipo, etc., a través tela tensada por la que pasa la tinta. La tinta es de aceite para asegurar que adhiera fuertemente a la superficie del cartón, también se conoce como estampado de cajas.



**Figura 5.** Esquema de proceso de impresión serigrafía.

Fuente: (Reece, 2018).

Para la elección del proceso más adecuado se lo hace en función de las características básicas de funcionamiento de cada proceso y las necesidades de la empresa.

Los procesos que trabajan con planchas (liner – corrugado – liner) de cartón son: Flexografía y Serigrafía, pero esta última no se ajusta al nivel de producción requerida ya que es un proceso netamente manual.

El proceso de offset imprime sobre papel (liner), ARNEM no trabaja con papel, solamente con lámina terminada (liner – corrugado – liner).

Por estas razones se hace una de elección simple del proceso a diseñar, en este caso es la impresión Flexográfica.

## **1.2 Definición del problema.**

Con la adquisición de la troqueladora rotativa se logró producir cajas de diferentes diseños y tamaños que anteriormente no se los podía realizar con la troqueladora plana. Estos diseños van de acuerdo a las especificaciones de los productos de cada cliente, como, por ejemplo: botellas de alcohol, aparatos electrónicos, enlatados, bebidas, material eléctrico, zapatos, flores, medicamentos, entre otras mercancías. Pero cada uno de estos ya tiene una identificación en el mercado, por lo que es necesario impregnar su logo sobre el cartón, este es un pedido recurrente que hacen los clientes a la empresa.

La empresa no cuenta con un sistema de impresión actualmente, quedando en desventaja con la competencia que si prestan este servicio.

Las impresoras flexográficas que existen en el mercado pueden satisfacer la necesidad principal que es la de impresión, pero las especificaciones de tamaño máximo de lámina que se pueden imprimir con estas máquinas son menores o mayores a los tamaños requeridos, a más que generalmente suelen ser de dos o más cuerpos impresores, estos dos aspectos influyen directamente en el costo total de la máquina.

### **1.3 Objetivos.**

#### **1.3.1 Objetivo general.**

Diseñar una máquina de impresión flexográfica de un cuerpo impresor para láminas de cartón corrugado con espesor desde 3mm – 11 mm, para la empresa ARNEM.

#### **1.3.2 Objetivos específicos.**

- Recopilar información del cliente para la identificación de las necesidades latentes de la impresora flexográfica, que será diseñada para la empresa ARNEM.
- Establecer especificaciones en base a las necesidades interpretadas.
- Analizar los conceptos en base a criterios de evaluación, para la posterior selección de la alternativa más viable.
- Diseñar y calcular los sistemas y elementos mecánicos que conforman la alternativa seleccionada.
- Realizar planos de todos los sistemas y elementos mecánicos de la máquina.
- Realizar un análisis Económico- Financiero referente al proyecto propuesto.

#### **1.4 Justificación.**

La importancia del proyecto radica en los datos que se recopilará y generará en todo el desarrollo, se documentará información suficiente para el entendimiento del proceso de impresión sobre cartón, y del diseño de la máquina impresora flexográfica.

Con este estudio la empresa pondrá disponer de una base técnica para la posterior manufactura de la máquina, y luego obtener los réditos esperados con su implementación en el proceso de conversión del cartón.

Una de las ventajas claras es que la empresa tendrá un maquina diseñada a sus necesidades y presupuesto. Para lograr esto el diseñador podrá a prueba su capacidad de investigación y los conocimientos en el área de diseño de máquinas y elementos mecánicos.

Es claro que también que uno de los beneficiarios del proyecto son los clientes, ya que tendrán un servicio completo cumpliendo con todas sus especificaciones de tamaño de caja y de la calidad de impresión, obteniendo así un embalaje de sus productos con una identificación clara y llamativa, pudiendo competir en el mercado.

#### **1.5 Alcance.**

El alcance del proyecto está determinado por la realización satisfactoria de:

- Tomar información de las necesidades de la empresa para determinar especificaciones de la máquina impresora.
- Diseño eficiente de la alternativa seleccionada.

- Planos detallados de sistemas y elementos de máquina.
- Presupuesto detallado de costo de fabricación.

## CAPITULO 2

### MARCO TEORICO

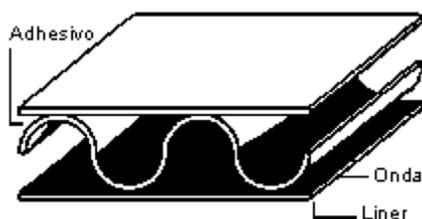
#### 2.1 Cartón corrugado.

El cartón es utilizado en todo el mundo como medio de embalaje para todo tipo de productos, y es escogida ya sea por su versatilidad, características y/o costo.

##### 2.1.1 Estructura del cartón corrugado.

El cartón corrugado también se lo conoce como cartón ondulado, siendo este el material utilizado para la fabricación de cajas, envases y embalajes.

La estructura del cartón corrugado está compuesta por la unión de papeles planos (lineros) en los extremos y entre ellos un núcleo de papel ondulado, que también es conocido como flauta. Esta conformación y dependiendo del número de capas y gramaje del papel dan las características y propiedades a las láminas de cartón.



**Figura 6.** Estructura de cartón corrugado.

Fuente: (Robles, 2017).

**Tabla 1.**

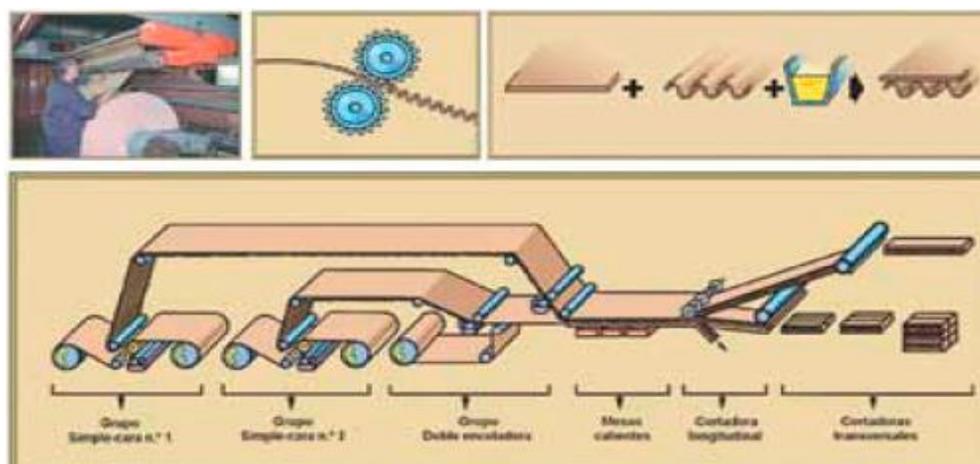
*Funciones de los componentes del cartón corrugado.*

FUNCIONES DE PAPEL CORRUGADO	FUNCIONES DE LINER
1) Es la parte de la estructura que genera la dimensión del espesor del cartón, a más de tender a mantenerla después de su uso constante.	1) Protegen a los objetos que contiene de factores externos como: lluvia, viento, polvo. También su superficie se la utiliza para imprimir o decorar.
2) Da la resistencia y rigidez a la estructura.	2) Son los que contienen el papel ondulado

Fuente: (Martinez, 2013).

### 2.1.2 Fabricación del cartón corrugado.

El material base del papel es la celulosa que se extrae de: los árboles que se la cataloga como fibra virgen, de reciclaje del mismo material y de las fibras vegetales como la paja de cereales. Las combinaciones en porcentajes de estas materias primas antes mencionados darán las características físicas y mecánicas del producto.



**Figura 7.** Proceso de fabricación de láminas de cartón corrugado.

Fuente: (González, 2018)

La máquina que fabrica las láminas de cartón se llama corregidora y puede llegar a medir 91 metros. El proceso comienza con el desenrollo de tres bobinas de papel, dos para los liners y un intermedio para el conformado del ondulado. La primera etapa pasa por dos rodillos que precalientan el papel, después por otros que tienen la geometría estriada que da la forma al corrugado. El papel corrugado pasa por dos rodillos que impregnan de cola de almidón para luego ser unido con los liners. Posteriormente la lámina de cartón es secada y enfriada a temperatura ambiente.

### 2.1.3 MEDIDAS DE LÁMINAS DE CARTÓN CORRUGADO.

Los proveedores de láminas de cartón corrugado ofrecen láminas de cartón corrugado de acuerdo a las necesidades del cliente. Las dimensiones principales de la lámina de cartón son el largo (contrario sentido de la flauta) y el ancho (sentido de la flauta). En la tabla 2 muestra las medidas más comunes de lámina madre.

**Tabla 2.**

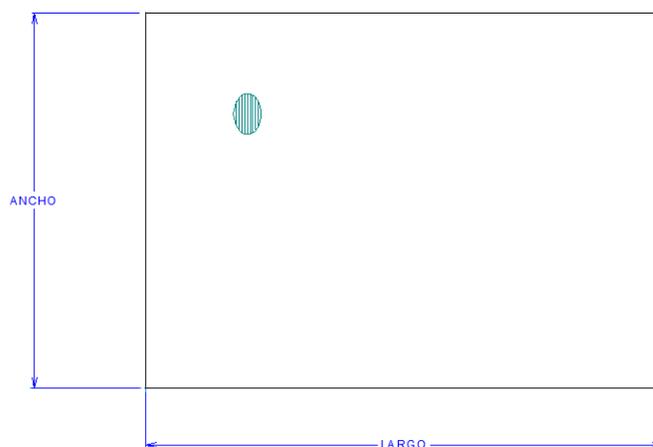
*Dimensiones de láminas madre de cartón corrugado.*

MATERIAL	LARGO[mm]	ANCHO[mm]
<b>CORRUGADO</b>	2000	1000
	2000	1500
	2400	1200
	2400	1300
	2400	1400
	2400	1500
	2400	2200
	2400	24000

Fuente: (Makropack, 2016).

La presentación de las láminas son en papel Kraft y blanco. El papel blanco ayuda a tener una mayor brillantez en los tonos de impresión.

Ya en la fábrica ARNEM a partir de las planchas madre de cartón corrugado realizan el corte a las medidas de largo y ancho que se necesite para los procesos de impresión y troquelado. En la tabla 2 se ve algunas medidas de cajas de clientes, y se denota que la impresión es en un solo color.



**Tabla 3.**

*Dimensiones de cajas de clientes de ARNEM*

No	DESCRIPCIÓN	MEDIDAS (mm)		COLOR
		LARGO	ANCHO	
1	Base de archivador	1275	870	Azul
	Tapa de archivador	530	610	Azul
2	Caja para alimentos	540	810	Negro
3	Caja para alimentos	760	760	Negro
4	Divisiones	770	360	Negro
5	Caja para Zapatos	570	740	Varios
6	Caja para fragancias	730	375	Café
7	Caja para alimentos	1260	570	Rojo
8	Caja para medicamentos	745	310	Azul
9	Caja para material soldadura	870	610	Azul

En esta lista se toma en cuenta a los clientes más frecuentes y con mayor producción. Las dimensiones de la tabla 2 se ve que la medida de largo más grande es de 1275 mm y de ancho 870, a esta medida se debe sumar de 10 a 15 mm por lado para

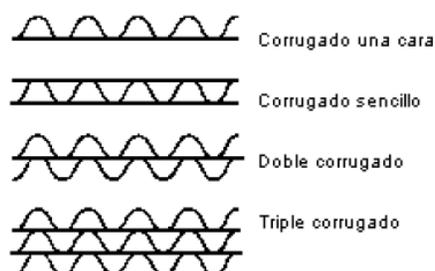
poder realizar los procesos de impresión y troquelado, siendo la medida final 1305 mm en largo y 900mm para el ancho. Estas medidas determinan el tamaño de máquina de impresión flexográfica que se debe diseñar. Para cumplir con los tamaños de impresión de los clientes decide que las medidas de lámina máximas de impresión que se podrá realizar en impresora flexográfica es de 1500 mm en largo y ancho será el perímetro total del cilindro porta cliché montado el cliché, esta medida deberá ser mayor a los 900 mm.

### 2.1.3 Clasificación del cartón corrugado.

#### a) POR SU ESTRUCTURA.

En la industria y el mercado existe variedad de productos que se diferencian en tamaño, forma y peso por lo que el cartón corrugado tiene la necesidad de modificar su estructura básica. Es así que, para conseguir las propiedades necesarias para contener el producto, se aumentan capas de liners y/o corrugado.

Así se crea una clasificación del cartón corrugado que se la detalla a continuación:



**Figura 8.** Clasificación de cartón corrugado por su estructura.  
Fuente (Boada, 2018).

### **Cartón corrugado una cara**

Es el más elemental de todas, está formado tan solo por una lámina liner y una de ondulado. Es utilizado para recubrir ciertos tipos de objetos o como separador, es importante saber que por su configuración no es ocupado para la fabricación de cajas.

### **Cartón corrugado sencillo**

Está conformada por tres capas, dos láminas de liner y una de ondulado. Es la más utilizada para la fabricación de cajas, ya que presenta una mayor resistencia que la de cara simple.

### **Cartón doble corrugado**

Su configuración permite tener mayor resistencia para productos especialmente que son manejados para exportación. Está compuesto por cinco capas, tres láminas de liner y dos de ondulado en forma intercalada.

### **Cartón triple corrugado**

Cuando se presentan productos o elementos que tienen un peso considerable esta estructura de cartón es la más confiable, ya que contiene 7 capas, cuatro láminas de liner y tres de ondulado.

En el mercado existe hasta de corrugado cuádruple que puede llegar a tener un espesor de 13 mm, esta es la razón de la especificación de espesor de la impresora flexográfica que se va diseñar.

a) POR TIPO DE ONDA.

El tipo de onda se lo puede diferenciar mediante el espesor que genera (amplitud de onda) y del número de canales por distancia lineal (longitud de onda), y se los clasifica de la siguiente manera:

**Tabla 4.**

*Clasificación de cartón corrugado por tipo de onda*

PERFIL DEL ONDULADO	ESPESOR APROXIMADO DEL CARTÓN CORRUGADO [mm]	NÚMERO DE CANALES EN 30 CM LINEALES
<b>Onda Grande</b>		
<b>A</b>	5	110 a 116
<b>Onda Mediana</b>		
<b>C</b>	4	123 a 137
<b>Onda Pequeña</b>		
<b>B</b>	3	152 a 159
<b>Micro Canal</b>		
<b>E</b>	2	294 a 313

Fuente: (Martinez, 2013)

La elección de la flauta depende del uso que se le va dar a la caja ya que cada una o la combinación entre ellas presenta diferentes resistencias. Por ejemplo, la (A) tiene una resistencia superior a la compresión vertical. La tipa (C) tiene más resistencia al aplastamiento plano que la (A) y menos que la (B). La (C) dobla mejor que la (A), pero no tan bien como la (B). La (C) tiene mejor resistencia a la compresión que la (B), pero menos que la (A).

#### **2.1.4 Propiedades del cartón corrugado.**

##### *GRAMAJE*

Es el peso del cartón expresado en gramos por metro cuadrado ( $\text{g/m}^2$ ). Normalmente, el papel de más de  $160 \text{ g/m}^2$  recibe el nombre de cartón, ya que éste es el valor mínimo para que un material fibroso pueda ser suficientemente rígido y fuerte.

##### *GROSOR*

Es la distancia entre las dos superficies de la lámina de cartón, y se mide en milésimas de milímetro ( $\mu\text{m}$ ). El material utilizado en la mayoría de los envases de cartón tiene un grosor de oscila entre 350 y 800 micrómetros.

##### *DENSIDAD*

La densidad describe que tan compacto es el cartón, y se mide en kilogramos por metro cúbico ( $\text{Kg/m}^3$ ) o gramos por centímetro cúbico ( $\text{g/cm}^3$ ).

##### *RESISTENCIA A LA DEFORMACIÓN*

Es la capacidad del cartón para permanecer plano (conservar su forma) durante su impresión y conversión.

##### *VOLUMEN ESPECÍFICO*

El volumen específico se mide en metros cúbicos por kilogramo ( $\text{m}^3/\text{kg}$ ). Al cartón que presenta un gran volumen en relación a su peso se lo considera de alto volumen,

mientras que al cartón compacto se lo denomina de bajo volumen. Generalmente, el cartón de alto volumen es más rígido y más grueso que el cartón del mismo gramaje pero de bajo volumen. (Flinn, 2017)

### *DIRECCIÓN MÁQUINA*

Cuando se fabrica el cartón, las fibras de la pasta se alinean en paralelo a la dirección en la que la lámina de cartón se está moviendo. Esto significa que el cartón será más fuerte y más rígido en esa dirección. Consecuentemente, la dirección máquina es perpendicular al ancho de la lámina de cartón. En términos de plegado, un pliegue en sentido contrario a la dirección máquina es mejor que un pliegue paralelo a la misma.

### *RIGIDEZ*

La rigidez es una de las propiedades más importantes del cartón, el cartón es el único material que tiene capacidad de ofrecer una gran rigidez por unidad de peso. Sin ella, el cartón no podría cumplir con su función primaria, que es proteger el contenido del envase. Cuanto más grueso es el cartón, mayor es su rigidez.

### *RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN*

Cuando los envases de cartón son apilados uno encima de otro, lógicamente la mayor carga recae sobre la pila inferior. Para evitar que los envases se derrumben, la propiedad más importante del cartón como material es su buena resistencia a la compresión.

### *RESISTENCIA AL RASGADO*

Es la fuerza necesaria para rasgar una lámina de cartón a lo largo de una incisión existente. Esto es importante, por ejemplo, para saber cómo trabajará una tira de rasgado cuando se abra un envase.

### *RESISTENCIA SUPERFICIAL*

Es la capacidad del cartón para tolerar fuerzas sobre su superficie; por ejemplo, la adhesión de la tinta durante su impresión. Esto es importante para que el cartón no se rasgue durante el proceso de impresión.

### *ESTABILIDAD DIMENSIONAL*

Es la resistencia de una lámina de cartón a los cambios dimensionales debidos a la modificación de alguna de sus propiedades, como por ejemplo el contenido en humedad. La estabilidad dimensional es importante durante la impresión y la conversión, para evitar errores de registro.

### *BRILLO*

Cuando se refiere al cartón, el brillo se expresa como el porcentaje de luz que es reflejado desde una superficie de cartón a una longitud de onda de 457 nanómetros.

### *LUSTRE*

Cuanta más luz sea reflejada por la superficie del cartón, mayor es el lustre. El lustre puede lograrse mediante varios métodos de barnizado.

### *OPACIDAD*

La opacidad es la medida de la capacidad del cartón para ocultar lo que hay detrás de él, y se expresa en un porcentaje. Un alto porcentaje corresponde a una lámina de cartón con baja transparencia (alta opacidad). El grado de opacidad depende de cómo la luz es dispersada y absorbida por el cartón.

### *RUGOSIDAD DE LA SUPERFICIE*

La rugosidad de la superficie describe que tan lisa es la superficie del cartón. Una superficie de cartón lisa es importante para alcanzar resultados de impresión y barnizados satisfactorios.

#### **2.1.5 Resistencia del cartón corrugado al aplastamiento ( fct).**

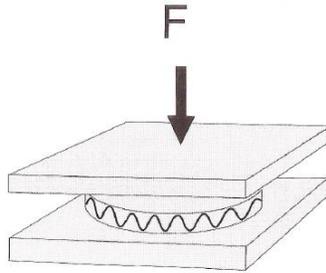
Hay una variedad de pruebas que se puede realizar al cartón para poder medir la resistencia a los diferentes esfuerzos a los que está sometido en el proceso de fabricación y en utilización del cartón o de la caja en sí.

Para este caso el más importante que se hará referencia es a la resistencia al aplastamiento, ya que este dato se nos será útil al momento de realizar nuestros cálculos.

La resistencia FCT no es más que la capacidad de resistir una fuerza por unidad de área antes que la el corrugado quede aplastado por completo.

El proceso de prueba para medir la resistencia FCT consiste en tomar una pieza circular de cartón sencillo de un área ya determinada, esta se coloca sobre dos placas paralelas y es aplastada en un medidor de compresión. La resistencia se mide cuando el calibre del cartón se ha reducido ya a menos de la mitad.

Ensayos revelan que una resistencia promedio al aplastamiento al plano es 216 Kipá.



**Figura 9.** Ensayo de aplastamiento FCT en cartón corrugado.  
Fuente: (Martínez, 2018).

### 2.1.6 Usos del cartón corrugado.

Las cajas de cartón cumplen la función de guardar, proteger, dar a conocer marcas, por esta razón es utilizado por empresas como: alimenticias, farmacéuticas, florícolas, jugueteras entre otras. Pero a más de esto hay productos de cartón que no son cajas como: separadores que son utilizados para separar las flores que se exportan, bandejas para presentación de productos, y cosas más novedosas como muebles.

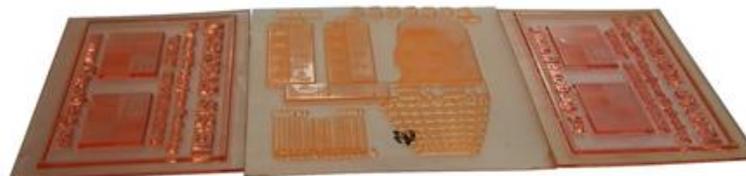


**Figura 10.** Variedad de usos de cajas de cartón corrugado.  
Fuente: (impresión, 2018).

## 2.2 Impresión flexografía.

La impresión flexográfica es un de las técnicas de impresión utilizadas para reproducir imágenes sobre cartón corrugado y poder dar una identidad al embalaje del producto.

Unas de las características principales de este tipo de impresión es que se utiliza un cliché flexible donde la zona a imprimir está realzada respecto de las zonas no impresas. Estas planchas están hechas de caucho o fotopolímero.



**Figura 11.** Clichés para impresión flexográfica  
*Fuente: (Eskarton, 2019).*

Es este proceso se utiliza tintas que sean de curado rápido es decir que el secado no requiere mucho tiempo, con esto se puede conseguir volúmenes altos de impresión a bajos costos.

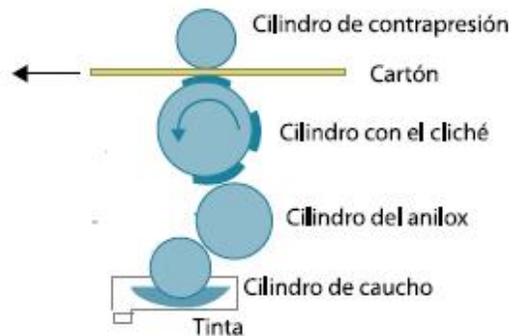
### 2.2.1 Principio de funcionamiento.

El principio de funcionamiento de la máquina de impresión flexográfica es la de transferencia de tinta mediante rodillos hacia un cilindro en donde está montado molde flexible llamado cliché.

A comparación a otros sistemas como el offset la transferencia de la imagen hacia el sustrato es directa, generando entre el cliché y la superficie a imprimir una presión

mínima denomina “presión al beso”, es muy determinante este factor ya que si no se mantiene esta presión se puede tener reproducciones de mala calidad. Una buena impresión se la consigue con una calibración adecuada de sus elementos.

### a) FUNCIONAMIENTO DE UNA IMPRESORA FLEXOGRÁFICA



**Figura 12.**Esquema de cuerpo impresor flexográfico  
Fuente: (Martínez, 2018).

El proceso de impresión flexográfica consta de 4 elementos básicos:

- Cilindro de caucho (rodillo entintador).
- Cilindro anilox (rodillo dosificador).
- Cilindro con el cliché (cilindro porta cliché).
- Cilindro contrapresión (rodillo de contra impresión).

(simples, 2017).

## RODILLO ENTINTADOR

Es un rodillo con alma metálica que está cubierto en toda su longitud por caucho, esta gira dentro de una cubeta con pintura y su función es transportar una película grande de tinta hacia el rodillo dosificador.

## RODILLO DOSIFICADOR (ANILOX)

Este elemento es conocido como anilox y pueden ser metálicos o cerámicos con una superficie hueco grabada con unas finas celdas en donde se deposita la tinta.

El trabajo que tiene que realizar el rodillo dosificador es entregar una fina película de tinta al cliché que está montado en el cilindro porta cliché, la dosificación controlada se da cuando entra en contacto el rodillo entintador y dosificador causando que se exprima el exceso de tinta.

## CILINDRO PORTA CLICHÉ

Es un cilindro metálico en el cual se coloca el cliché. Para el cliché se pueda adherir se utiliza generalmente una cinta de doble faz. Al momento de hacer los cálculos se debe tomar en cuenta el espesor que la medida final del diámetro de reproducción se debe tomar en cuenta el espesor del cliché y de la cinta doble faz.

La fina capa de tinta que recibe el cliché por parte del dosificador es impregnada sobre la superficie del cartón donde se va imprimir.

## *RODILLO DE CONTRAPRESION*

Este sirve como soporte de la plancha de cartón cuando este tiene contacto con el cliché. La velocidad superficial del eje de impresión debe ser igual a la del cilindro porta cliché, al rodillo dosificador, y la plancha de cartón.

### **2.2.2 Ventajas que ofrece la flexografía.**

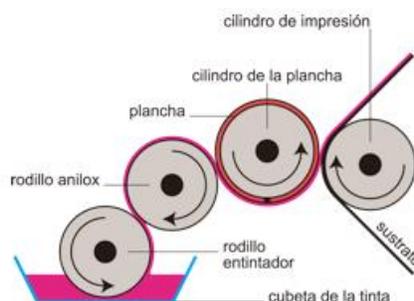
Las principales ventajas que ofrece la flexografía en comparación a otros métodos de impresión están resumidas a continuación:

- La flexografía puede ser utilizada en muchos tipos de sustratos, ya sea con superficie absorbente o con superficie no-absorbente.
- Esta puede producir corridas cortas con una buena relación costo/beneficio.
- Puede ser utilizada con una amplia variedad de tintas, incluyendo tintas de agua, de solventes y con cura UV.
- Las planchas de impresión en relieve tienen capacidad para corridas muy largas, hasta varios millones de impresiones.
- El proceso de impresión se lo puede adaptar a una línea de producción continua.
- El proceso flexográfico es idealmente apropiado para corridas más cortas, y los tiempos de cambio de formas de impresión y ajuste son menores.

### **2.2.3 Tipos de transferencia de tinta en flexografía.**

Comúnmente la transferencia de tinta desde el recipiente hacia el cilindro porta cliché se lo puede realizar de las siguientes formas:

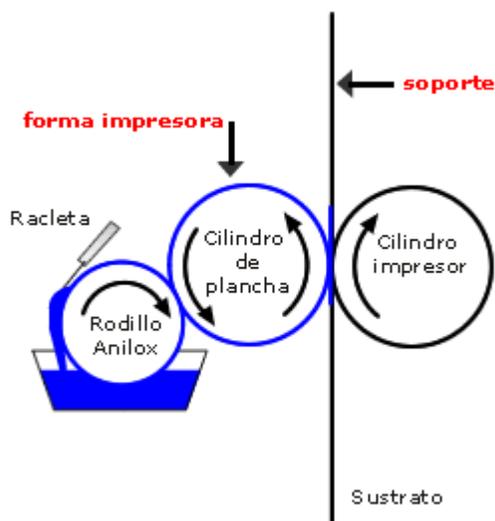
### TRANSFERENCIA POR RODILLOS ENTINTADOR - DOSIFICADOR



**Figura 13.** Esquema de transferencia de tinta rodillo entintador - dosificador.  
Fuente: (Mantilla, 2016).

Como se muestra en la figura 13, la transferencia de tinta se realiza por dos rodillos, uno está sumergido en la cubeta llevando cierta cantidad de tinta hacia el rodillo dosificador (rodillo anilox), el contacto entre estos dos permite retirar el exceso de tinta, dejando así una pequeña capa para ser transferida al cliché.

### TRANSFERENCIA POR RACLETA – RODILLO DOSIFICADOR



**Figura 14.** Esquema de transferencia de tinta racleta-rodillo dosificador.  
Fuente: (impresión, 2018).

En este tipo de transferencia una recleta metálica toma la función del rodillo entintador. El rodillo dosificador (rodillo anilox) está sumergida en la cubeta con la tinta tomando cierta cantidad, la racleta quita el exceso de la tinta dejando una delgada capa.

En el diseño de la impresora flexográfica se propone utilizar esta configuración, y también utilizar en vez del rodillo anilox uno recubierto por caucho. Para comprobar su funcionamiento se realizan pruebas y están desarrolladas en el ANEXO A.

### 2.3 El cliché flexo.

El cliché es molde flexible fabricado a base de caucho o fotopolímero. Las zonas que componen el cliché flexo son:

- Talón que es una base endurecida.
- Relieve que es la altura del punto.

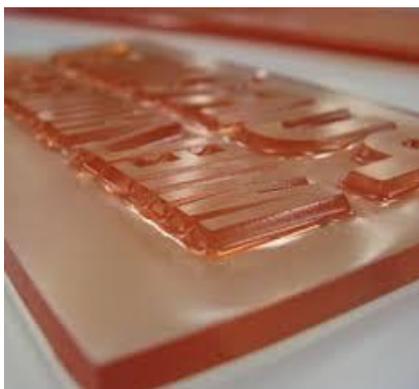


**Figura 15.**Partes del cliché  
Fuente: (González, 2018).

#### 2.3.1 Proceso de fabricación del cliché.

Estos clichés están hechos de fotopolímeros siendo esta una sustancia que es sensible a cambios en sus propiedades con la exposición a luz ultravioleta, consiguiendo que las partes expuestas y no expuesta tengan diferencia en la dureza.

Todo comienza con el diseño del arte, después de esto se realiza un negativo que posteriormente es grabado en el material fotopolímero mediante luz UVI. El material que ha sido expuesto a la luz UVI se endurece y la parte no expuesta no sufre cambio alguno. Ya grabado, se expone el fotopolímero a un lavado con solventes y cepillos retirando el material no endurecido quedando así la forma del cliché para su uso. (Aromi, 2016)



**Figura 16.** Cliché procesado  
*Fuente: (Boada, 2018).*

### **2.3.2 Propiedades que debe tener el cliché.**

Como cualquier elemento que está sometido algún tipo de esfuerzo requiere de tener propiedades inherentes que determinen su comportamiento en el uso, siendo las más evidentes:

#### **Duración**

Los procesos de impresión requieren de grandes repeticiones de impresión, solo por dar una idea un promedio de 2000 impresiones por hora, si se trabajaba las 8 horas laborables podemos hacer el cálculo de las impresiones hechas por un solo día, con esto tenemos claro su nivel de uso es alto.

Básicamente la duración de cliché depende mucho de las características de resiliencia del fotopolímero es decir de su capacidad de volver a su estado natural después de recibir la presión en el momento de la impresión. (Olexandr, 2017)

## Dureza

Esta propiedad es definitoria al momento de imprimir, se necesita que el fotopolímero tenga cierta dureza que le permita tener una impresión de calidad sin deformaciones permanentes de los relieves del cliché.

Los clichés flexográficos estándar tienen una dureza entre 38 – 40 grados Shore. Se puede incorporar una capa en superficie con una dureza mayor para evitar la ganancia de punto propia de este sistema. Esta capa de refuerzo dispone de una dureza de 50 grados Shore. (Olexandr, 2017)



**Figura 17.** Comportamiento del cliché con dureza normal.

*Fuente: (Olexandr, 2017)*



**Figura 18.** Comportamiento del cliché con capa superficial de mayor dureza

*Fuente: (Olexandr, 2017)*

Las figuras 17 y 18 muestran el comportamiento del cliché con diferentes durezas, el de dureza normal se deforma o ensancha más que con el que tiene capa superficial de mayor dureza esto repercute en la ganancia de punto obteniendo una impresión no legible.

### 2.3.3 Espesor del cliché.

El espesor del cliché es un factor importante para poder tener una impresión de calidad. Para esto se requiere el espesor sea uniforme en toda la plancha.

En la industria se fabrica clichés con variedad de espesores, lo más convencionales van desde 0,75 mm a 6,35mm.

Con la selección del espesor y del adhesivo doble faz se puede realizar el cálculo de la longitud de reproducción y de la distorsión, este último es importante en la etapa de diseño gráfico. Cada espesor tiene un factor de distorsión C. El radio de la porta cliché sumado el espesor del cliché y de la cinta doble faz dará un radio total de repetición, este radio dividido al factor y multiplicado 100 será el % de reducción que se debe aplicar. En la tabla 5 se presenta las medidas de espesores de clichés con su respectivo factor de reducción.

**Tabla 5.**

*Espesores de cliché con su respectivo factor de distorsión.*

ESPEJOR CLICHÉ [mm]	FACTOR C [mm]
<b>0,75</b>	3,99
<b>1,7</b>	9,89
<b>2,03</b>	11,97
<b>2,29</b>	13,56
<b>2,54</b>	15,16

CONTINÚA 

<b>2,72</b>	16,28
<b>2,84</b>	17,08
<b>3,18</b>	19,15
<b>3,94</b>	23,94
<b>4,75</b>	29,05
<b>6,35</b>	39,1

Fuente: (Agusgrafica, 2014)

Para el diseño de la impresora flexográfica el espesor adecuado y que se consigue en el mercado es de 4,75 mm y el espesor del doble faz 0,55 mm 2.4 TINTAS PARA FLEXOGRAFÍA. (Agusgrafica, 2014)

Las tintas de impresión son una fina dispersión de pigmentos o derivados de colorantes en un medio líquido de viscosidad variable llamado vehículo o ligante (comúnmente barniz). Su estructura y composición están condicionadas a los elementos siguientes: sistema de impresión, forma de impresión, tipo de máquina de impresión, soporte de impresión, requisitos estáticos, entre otros. (Amo, 2014)

En la impresión flexográfica no solo se utiliza como sustrado el cartón, hay la opción de utilizar la flexografía para una variedad de sustratos, es decir, la tinta que se utilice será de acuerdo al tipo de sustrato y tipo de proceso de impresión ya que las exigencia y viscosidad no son iguales.

Las tintas más utilizadas son las tintas al agua. Están compuestas de una parte sólida que puede oscilar, dependiendo de color, entre 30 – 65 % y de una parte restante de materia líquida, la cual se elimina por absorción y evaporación. (Accsa, 2017)

Este tipo de tinta contiene una mezcla homogénea de estos elementos:

**Tabla 6.***Porcentaje de componente de tinta al agua.*

TINTAS AL AGUA

**50 % agua**

<b>27%</b>	13%	5%	5%
<b>Resina</b>	Pigmentos	Aditivos ( ceras aminas y otros)	Disolventes ( alcohol isopropílico)

Fuente: (Accsa, 2017)

**Resinas**

Son compuestos sintéticos. Las resinas poseen una doble función en las tintas. Por una parte, permiten la dispersión de los pigmentos y por otra actúan de vehículo del pigmento “transportándolo” desde el tintero hasta el soporte por imprimir. Además, comunican a la tinta propiedades tales como resistencias al roce, velocidad de secado, facilidad de limpieza, calidad de impresión, acabado mate o brillante, transferencia, etc. (Accsa, 2017)

**Pigmentos y colorantes**

Son partículas sólidas cuya función en una tinta consiste en proporcionar color. La diferencia básica entre pigmentos y colorantes reside en el hecho de que los colorantes son solubles en agua mientras que los pigmentos son insolubles.

Las principales características de los pigmentos son:

- Grado de dispersión: La finura del pigmento después de molido tiene una gran influencia sobre su color, intensidad, sedimentación, etc.)
- Tono: El color que presenta una tinta impresa.

- Intensidad: La fuerza cromática de una tinta.

(Accsa, 2017)

## **Aditivos**

Los aditivos confieren determinadas propiedades a las tintas tales como: resistencia al roce, estabilidad durante la impresión, facilidad de limpieza, mayor brillo, etc. Los principales aditivos son: ceras, antioxidantes, plastificantes, antiespumantes, promotores de adherencia, otros. (Juarézimpresiones, 2018)

## **2.5 CAUCHO NITRILO**

Uno de los aspectos más importante relacionados con esta tesis es la suplantación de uno de los elementos de trasmisión de tinta, este es el anilox (rodillo entintador), en vez de esta se colocará un rodillo cubierto por caucho, se acogió este tipo de caucho ya que es el utilizado en la industria gráfica por sus propiedades que son adecuadas para el tipo de trabajo que realiza la impresora.

Las cualidades con las que debe contar el rodillo de caucho es su homogeneidad, resiliencia, resistencia térmica y resistencia química. Con lo respecto a la homogeneidad del cilindro metálico como en la superficie del caucho para poder lograr un entintado uniforme; la resiliencia o elasticidad es lo que permite que el caucho retorne a su estado natural; la resistencia térmica para evitar deformaciones; y las resistencia química para soportar el contacto permanente con la tinta y todos los productos de limpieza. (Bernal, 2016)

## Propiedades del nitrilo

Hay algunas propiedades que describen al caucho nitrilo en la tabla 5 se pondrá las más relevantes para el uso que le daremos:

### **Tabla 7.**

*Propiedades de caucho nitrilo.*

#### **CAUCHO NITRILO**

<b>Polímero base</b>	Nitrilo
<b>Nombre Químico</b>	Butadineo acrílico nitrilo
<b>Designación ASTM</b>	NBR
<b>Peso específico(gr/cm<sup>3</sup>)</b>	1
<b>Coefficiente de dilatación térmica 10°C</b>	70.2
<b>Rango de temperatura de trabajo</b>	-30 a 130 °C
<b>Adhesión a los metales</b>	Excelente
<b>Dureza</b>	Shore A75
<b>Resilencia</b>	Bueno
<b>Resistencia al agua y luz</b>	Bueno
<b>Resistencia química</b>	Bueno

Fuente: (Bernal, 2016).

## CAPITULO 3

### PLANTEAMIENTO Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

#### 3.1 Definición.

Antes de comenzar con el desarrollo del proyecto es necesario establecer restricciones y objetivos generales que nos permita tener una dirección hacia dónde ir, pero teniendo en claro que lo que se especifica en el enunciado no es más que una idea general de la máquina.

##### 3.1.1 Enunciado de la máquina.

La máquina impresora de un cuerpo impresor (un solo color) a diseñar, tendrá la principal función de transferir tinta de forma adecuada, con el fin depositar una cantidad sobre la superficie del cliché (molde) y posteriormente imprimir la imagen sobre la superficie del cartón.

Tendrá la capacidad de imprimir en láminas de cartón con dimensiones desde: 300mm – 1400 mm de largo, 300 mm – 1000 mm de ancho, y espesores de 3 mm hasta 11mm.

Se considerará un sistema de alimentación y calibración de sus elementos de manera manual.

La capacidad de producción deberá concordar con el nivel de procesamiento de troquelado, esta máquina tiene capacidad de troquelar 3000 l/h.

### 3.2 Identificación de las necesidades.

Para realizar este proceso de identificación de necesidades se seguirá un método propuesto en el libro diseño y desarrollo de productos, el cual consta de cinco pasos: (Ulrich, 2013)

Recopilación de datos sin procesar del interesado.

- Interpretar los datos sin procesar en términos de las necesidades del interesado.
- Organizar las necesidades en una jerarquía de necesidades.
- Establecer la importancia relativa de las necesidades.
- Reflexionar en los resultados y el proceso.

Los objetivos que se desea conseguir con este método son:

- Asegurar que la máquina se enfoque en las necesidades del interesado.
- Identificar necesidades latentes u ocultas.
- Proporcionar una base de datos para justificar las especificaciones de la máquina.
- Asegurar que no falte o no se olvide ninguna necesidad crítica del interesado.
- Desarrollar un entendimiento de las necesidades del interesado.

### 3.2.1 Recopilación de información.

Se presenta algunos métodos para obtener la información, como: entrevistas, grupos de enfoque, observar maquinaria en uso, y encuestas escritas.

En este caso se opta por una entrevista directa con el interesado, ya que este posee conocimiento de la máquina impresora y su proceso. La entrevista será a base de preguntas que son formadas a partir de aspectos importantes como:

- Dimensiones.
- Funcionalidad.
- Energía.
- Material.
- Producción.

Las preguntas que se realizaran no deben inducir a respuestas que ya involucren una solución parcial o total de la necesidad, sino, se debe concentrar las repuestas en términos de lo que la máquina tiene que hacer.

Cabe recalcar que la persona que entrevista, ha hecho investigación de todo el proceso de impresión, características técnicas, y del funcionamiento de máquinas de impresión flexográfica en el mercado. Todo esto permitirá realizar preguntas adecuadas y que oriente al entrevistado a dar información valiosa para el iniciar con el diseño.

Se propone realizar el siguiente formato de cuestionario:

- ¿Usted ha utilizado una máquina de impresión flexográfica para cartón?
- ¿Qué función debe cumplir la máquina de impresión flexográfica, y que aspectos importantes se debe tomar en cuenta en el proceso?
- ¿Qué aspectos positivos encuentra en la máquina de impresión flexográfica que utilizó?
- ¿Qué problemas generales tuvo con la máquina y en el proceso de impresión flexográfica?
- ¿De las máquinas que ha utilizado, qué funciones mejoraría o añadiría?
- ¿Qué aspectos de producción se debe tomar en cuenta?
- ¿Qué influencia tiene el material sobre la calidad de la impresión?
- ¿Qué tipo de energía cuenta en la planta?

La entrevista se la puede verificar en el ANEXO A

### **3.2.2 Tabulación e interpretación de la información.**

El resultado final de la fase de captura de información, es un conjunto de datos sin procesar. Para solucionar esto se realiza un cuadro de interpretación de las necesidades.

La primera columna del cuadro indica la pregunta o sugerencia que. La segunda columna es la lista de declaraciones del interesado en base a las preguntas realizadas. La tercera columna contiene las necesidades del cliente interpretadas.

**Tabla 8.**

Tabulación e interpretación de la información.

Interesado:	<b>Armando Yépez</b>	Entrevistador : <b>Andrés Salazar</b>
Dirección :	Zona Industrial sur ( ARNEM)	<b>Fecha: 10/01/2018</b>
Teléfono:	3007171	
Pregunta/ Sugerencia	<b>Enunciado del cliente</b>	<b>Necesidad Interpretada</b>
<b>Funciones de máquina y aspe- ctos importantes del proceso de impresión.</b>	Necesito imprimir sobre láminas de cartón corrugado.  Solo tiene que trabajar con un color. El material con el que se trabaja es frágil al aplastamiento. Las láminas en el trayecto suelen dañarse los bordes y la superficie.  Las dimensiones del material de trabajo nunca son las mismas. La lámina tiene que ser empujada al área de impresión. El material tiene que ser transportada hacia los cilindros de impresión. Se procura que el material entre de forma adecuada al área de impresión. La ubicación de las láminas para la Alimentación es manualmente. Se trabaja con láminas de diferente ancho y largo.	La IF imprime sobre superficies de cartón corrugado.  La IF es de un cuerpo impresor.  Los elementos de la IF cuidan del estado de la flauta . Los elementos de la IF no permiten el daño de bordes y superficie del material. La IF se ajusta a las dimensiones del material de trabajo. La IF empuja a la lámina al área de impresión. La IF transporta a la lámina al área de Impresión IF aseguran que el material entre de forma adecuada al área de impresión. La IF permite la ubicación del material manualmente. La IF se adecua a las dimensiones de ancho y largo del material.

CONTINÚA 

El elemento que empuja a la lámina no debe dañar el borde	El mecanismo de empuje de la IF , no daña los bordes del material.
La entrada de la lámina de cartón al área de impresión debe ser exacta.	La IF guía a las láminas de cartón al ingresar al área de impresión.
Siempre debe coincidir la entrada de la lámina al área de impresión con la posición del cliché.	La IF sincroniza al área de alimentación e impresión para el ingreso correcto de lámina.
La lámina sabe imprimirse sobre otras áreas por diferencia de velocidad de los elementos rotativos.	La IF mantiene la velocidad lineal de sus elementos.
La lámina antes de ingresar al área de impresión tiende a desplazarse longitudinalmente.	La IF impide el desplazamiento longitudinal de la lámina.
<b>La lámina entra inadecuadamente</b>	<b>La IF impide el choque de la lámina</b>
al área de impresión, choca contra el cilindro, daña la superficie del material, desprende el liner, descuadra el cliché.	contra los cilindros de impresión.
La lámina choca contra el cliché y se dobla y no permite que el material se imprima.	La IF no permite que la lámina choque contra el cliché al entrar al área de impresión.

CONTINÚA 

Hay material que suele venir combado produciendo un ingreso forzado al área de impresión.	La IF ayuda a corregir el defecto de combado de las láminas.
El cliché se monta sobre un cilindro porta cliché.	La IF cuenta con un cilindro porta cliché.
La ubicación del cliché sobre el cilindro debe ser precisa para que coincida con el ingreso de la lámina.	La IF garantiza la colocación precisa del cliché sobre el cilindro porta cliché.
La ubicación del cliché sobre el cilindro tiene que asegurar la precisión de impresión sobre la lámina.	La IF asegura la impresión sobre el área de la lámina predeterminada.
El cliché es montado sobre todo el desarrollo del cilindro porta cliché.	La IF facilita la colocación del cliché sobre todo el cilindro porta cliché.
En el trascurso de la tirada el cliché puede moverse .	La IF asegura la sujeción del cliché sobre el cilindro porta cliché.
Cuando se mete mucha presión al cilindro porta cliché este se deforma por aplastamiento.	La IF limita la compresión del cliché en el proceso de impresión.
En el proceso de impresión se trabaja con varios espesores de material.	La IF se ajusta al espesor de la lámina en trabajo.
La tinta de la tirada se tiene que distribuir equitativamente sobre el cliché	La IF impregna equitativamente la tinta sobre el cliché.
Se debe evitar el desperdicio de tinta en el proceso de impresión.	La IF optimiza la cantidad de tinta utilizada en la tirada.

	No siempre se necesita la misma cantidad de tinta para la tirada. La tinta sabe reposar en un recipiente pero tiene que ser distribuido hasta el cliché.	La IF dosifica la cantidad de tinta adecuada para cada tirada. La IF distribuye la tinta desde el recipiente que la contiene.
	Cuando hay un exceso de tinta sabe chorrear sobre el suelo. La tinta salpica sobre el material, o los cilindros.	La IF evita que la tinta chorree y caiga al suelo. La IF no permite salpicadura de tinta sobre el material y los elementos.
	Cuando se imprime sobre la lámina se tiene que utilizar la mínima presión.	La IF controla la presión de impresión.
<b>Aspectos positivos de la máquina utilizada.</b>	Cuando se hace la limpieza y mantenimiento los elementos se hace fácil el desmontaje. Los rodillos que transportan la tinta se limpian sin problema. Se puede mover el cilindro porta cliché sin mucho esfuerzo, para la colocación del molde.	La IF permite el fácil desmontaje de sus elementos para limpieza y mantenimiento. La IF permite la limpieza de sus elementos de forma sencilla. La IF permite mover el cilindro porta cliché sin mucho esfuerzo.
	Cuando se realizaba la calibración de los elementos de la IF se lo hacía manualmente.	La IF permite hacer la calibración de sus elementos manualmente.
<b>Problemas con la máquina y en el proceso de impresión.</b>	Cuando el material pasa del transporte a la impresión la lámina tiende a mov-	La IF impide el descuadre por movimiento longitudinal.

CONTINÚA 

	erse lateralmente.	
	Hay aplastamiento del corrugado por mucha presión en los cilindros.	La IF evita el aplastamiento del corrugado.
	Cuando se mete mucha presión en los rodillos se distorsiona la imagen	La IF limita la presión de impresión.
	<b>Hay ganancia de punto por demasiado</b>	<b>La IF controla el volumen de tinta</b>
	volumen de tinta.	trasferida hacia la impresión.
	Se tiene ganancia de punto por no tener la velocidad adecuada para la tirada.	La IF permite la variación de velocidad de transferencia de tinta.
<b>Aspectos de producción.</b>	La velocidad de producción debe ser compatible con la maquinaria de planta (troqueladora).	La IF tiene una velocidad de impresión adecuada a la línea de producción de la empresa ARNEM.
	Las dimensiones máximas y mínimas del material para producción tienen que ser las mismas con las que se trabaja en la troqueladora.	La IF trabaja con dimensiones de la mina semejantes a las de la troqueladora.
	La planta cuenta con una red eléctrica trifásica, 220 v 60 Hz.	La IF funciona con red eléctrica trifásica, 220 V-60Hz.
	El espacio máximo que puede ocupar la máquina es 3m x 3m.	La IF ocupa un espacio máximo de 3m x 3m.

### 3.2.3 Organización de necesidades en jerarquía.

Luego de la interpretación de las necesidades, y de analizarlas nos podemos dar cuenta que muchas de las expresiones tienen un contenido igual o redundante, por esto, es necesario el organizarlas en grupos que tengan necesidades semejantes.

Los grupos que se formaron están encabezados por necesidades que se las considera primarias, que en su contexto es una idea general de las necesidades consecutivas. Las necesidades que acompañan a los encabezados son las secundarias, estas se caracterizan por expresarse con mayor detalle.

**Tabla 9.**  
*Organización De Necesidades En Jerarquía.*

#N	J	NECESIDAD
1	*	<b>La IF imprime sobre superficies de cartón corrugado.</b>
2	*	<b>La IF es de un cuerpo impresor.</b>
3	*	<b>Los elementos de la IF no permiten el daño de bordes y superficie del material</b>
4		Los elementos de la IF cuidan del estado de la flauta.
5		El mecanismo de empuje de la IF no daña los bordes del material.
6	*	<b>La IF se ajusta a las dimensiones del material de trabajo.</b>
7		La IF se adecua a las dimensiones de ancho y largo del material.
8		La IF trabaja con dimensiones de lámina semejantes a las de la troqueladora.
9	*	<b>La IF se ajusta al espesor de la lámina en trabajo.</b>
10	*	La IF controla la presión impresión.
11	*	La IF evita el aplastamiento del corrugado.
12		La IF limita presión de impresión.
13	*	La IF limita la compresión del cliché en el proceso de impresión.
14	*	<b>La IF trasporta a lámina al área de impresión.</b>
15		La IF empuja a la lámina al área de impresión.
16	*	<b>La IF guía a la lámina al área de impresión.</b>
17		La IF asegura que el material entre de forma adecuada al área de impresión.
18	*	<b>La IF permite la ubicación del material manualmente.</b>
19	*	<b>La IF sincroniza al área de alimentación e impresión para el ingreso correcto de la lámina.</b>
20		La IF mantiene la velocidad lineal de sus elementos.
21		La IF permite la variación de velocidad de la transferencia de tinta.

CONTINÚA 

- 22 \* La impresora tiene una velocidad de impresión adecuada a la línea de producción de la empresa ARNEM.
- 23 La IF impide el desplazamiento longitudinal de la lámina.**
- 24 \* La IF impide el descuadre por movimiento longitudinal.
- 25 \* La IF impide el choque de la lámina contra los cilindros de impresión.**
- 26 La IF no permite que la lámina choque contra el cliché al entrar al área de impresión.
- 27 \* La IF ayuda a corregir el defecto de combado de las láminas.**
- 28 \* La IF cuenta con cilindro porta cliché**
- 29 \* La IF garantiza la colocación precisa del cliché sobre el cilindro porta cliché.
- 30 La IF facilita la colocación del cliché sobre toda el área del cilindro porta cliché.
- 31 \* La IF asegura la sujeción del cliché sobre el cilindro porta cliché.
- 32 \* La IF permite mover el cilindro porta cliché sin mucho esfuerzo.
- 33 \* La IF asegura la impresión sobre el área de lámina predeterminada.**
- 34 \* La IF impregna equitativamente la tinta sobre el cliché.**
- 35 \* La IF optimiza la cantidad de tinta utilizada en la tirada.
- 36 La IF dosifica la cantidad de tinta adecuada para cada tirada.
- 37 La IF distribuye la tinta desde el recipiente que lo contiene.
- 38 La IF controla el volumen de tinta trasferida hacia la impresión.
- 39 \* La IF evita que la tinta choree y caiga al suelo.**
- 40 La IF no permite salpicaduras de tinta sobre el material y los elementos.
- 41 \* La IF permite el fácil desamble de sus elementos para limpieza y mantenimiento.**
- 42 La IF permite la limpieza de sus elementos de forma sencilla.
- 43 \* La IF permite hacer la calibración de sus elementos manualmente.**
- 44 \* La IF cuanta el número de láminas impresas.**
- 45 \* La IF funciona con red eléctrica trifásica (220 V - 60Hz).**
- 46 \* La IF ocupa un espacio máximo de 3 x 3 m2.**

Las necesidades marcadas con asteriscos son las que absorbieron a las otras necesidades de cada grupo, y como nos podemos dar cuenta en el cuadro no necesariamente el enunciado que encabeza es el elegido, como por ejemplo la necesidad número 24 la cual se la considera secundaria. También se da la circunstancia que no solo se elige una necesidad, sino dos hasta tres de cada grupo, ya que se concluye que cada una puede aportar una información diferente que puede desembocar en un análisis individual.

De las 46 necesidades establecidas en un inicio se redujeron a 29.

### **3.2.4 Importancia relativa de las necesidades.**

La clasificación que se realizó anteriormente no garantiza la información sobre la importancia relativa de las diferentes necesidades.

Lo que se hará a continuación es establecer una escala numérica para indicar la importancia relativa de cada enunciado, esto se hace con el fin de encaminar nuestra mayor atención hacia las necesidades con más calificación.

La escala es la siguiente:

1. No es importante.
2. Es medianamente importante.
3. Muy importante.
4. Es indispensable.

**Tabla 10.**  
*Importancia Relativa De Las Necesidades*

Núm.	NECESIDAD	IMP.
1	La IF imprime sobre superficies de cartón corrugado.	4
2	La IF es de un cuerpo impresor.	3
3	La IF no permiten el daño de bordes y superficie del material	3
4	La IF se ajusta a las dimensiones del material de trabajo.	4
5	La IF se ajusta al espesor de la lámina en trabajo.	4
6	La IF controla la presión impresión.	4
7	La IF evita el aplastamiento del corrugado.	3
8	La IF limita la compresión del cliché en el proceso de impresión.	3
9	La IF trasporta a lámina al área de impresión	4
10	La IF guía a la lámina al área de impresión.	3
11	La IF permite la ubicación del material manualmente.	3
12	La IF sincroniza al área de alimentación e impresión para el ingreso correcto de la lámina.	4
13	La IF tiene una velocidad de impresión adecuada a la línea de producción de ARNEM.	3
14	La IF impide el descuadre por movimiento longitudinal.	3
15	La IF impide el choque de la lámina contra los cilindros de impresión.	3
16	La IF ayuda a corregir el defecto de combado de las láminas.	2
17	La IF cuenta con cilindro porta cliché	4
18	La IF garantiza la colocación precisa del cliché sobre el cilindro porta cliché.	4
19	La IF asegura la sujeción del cliché sobre el cilindro porta cliché.	4
20	La IF permite mover el cilindro porta cliché sin mucho esfuerzo.	3
21	La IF asegura la impresión sobre el área de lámina predeterminada.	4
22	La IF impregna equitativamente la tinta sobre el cliché.	3
23	La IF optimiza la cantidad de tinta utilizada en la tirada.	3
24	La IF no permite salpicaduras de tinta sobre el material y los elementos.	2
25	La IF permite el fácil desamble de sus elementos para limpieza y mantenimiento.	3
26	La IF permite hacer la calibración de sus elementos manualmente.	3
27	La IF cuanta el número de láminas impresas.	2
28	La IF funciona con red eléctrica trifásica (220 V - 60Hz).	4
29	La IF ocupa un espacio máximo de 3 x 3 m2.	2

Es palpable que las que recibieron una mayor calificación es donde se concentra las funciones principales que tiene que realizar la máquina, a más de aspectos como la

ubicación del cliché de forma precisa, que es un punto crítico al momento de poder conseguir una impresión impecable.

### **3.2.5 Especificaciones objetivo.**

Los enunciados de las necesidades obtenidas, se las puede considerar solo como una forma de ubicarnos y de tener un sentido claro del problema, pero realmente sirven de muy poco con respecto a cómo diseñar y construir la máquina de impresión flexográfica.

Cuando se lee cualquiera de las necesidades estas dejan demasiado margen para la interpretación, por esta razón se precisa establecer un conjunto de especificaciones que expliquen, con detalles precisos y medibles lo que la máquina tiene que hacer.

Las especificaciones guían al diseñador para saber lo que se tiene que hacer para satisfacer las necesidades.

A estas especificaciones se las describe mediante una métrica y un valor, rango o una desigualdad.

#### **a) LISTA DE MÉTRICAS.**

Cuando se describen las métricas estas deben tener un enlace íntimo las necesidades antes planteadas, la diferencia está en que cuando se realizan las métricas estas deben establecerse en forma que puedan ser medibles y valoradas, y que tengan un grado de satisfacción de lo pedido.

**Tabla 11.***Lista de métricas.*

Métrica	Núm. de	MÉTRICA	Imp.	Unidades
núm.	<b>necesidad</b>			
<b>1</b>	1 ,9,11,13,21	Velocidad máxima de impresión (Compatibilidad)	4	l/h
<b>2</b>	1,4	Ancho máximo de impresión	4	mm
<b>3</b>	1,4	Ancho mínimo de impresión.	4	mm
<b>4</b>	1,4	Largo máximo de impresión.	4	mm
<b>5</b>	1,4	Largo mínimo de impresión.	4	mm
<b>6</b>	2	Número de cuerpos impresores.	3	NE
<b>7</b>	3 y 4	Ancho máximo de lámina.	3	mm
<b>8</b>	3 y 4	Ancho mínimo de lámina.	3	mm
<b>9</b>	3 y 4	Largo máximo de lámina.	3	mm
<b>10</b>	3 y 4	Largo mínimo de lámina.	3	mm
<b>11</b>	3,4,5,6,7	Rango de ajuste vertical de rodillos.	4	mm
<b>12</b>	3,4,5,6,7,8	Rango de ajuste vertical del rodillo porta cliché.	4	mm
<b>13</b>	9 ,10,14,21,3, 4 12,13,21,1,9	Sistema de Alimentación.	4	NE
<b>14</b>	15,16,9	Permite material combado.	3	NE
<b>15</b>	17,18,19	Precisión de colocación de cliché	4	NE
<b>16</b>	20,17	Esfuerzo para colocación de cliché	3	NE
<b>17</b>	22,23,24	Afinación de cantidad de tinta	4	NE
<b>18</b>	25	Desensamble/ensamble para mantenimiento y limpieza	3	NE
<b>19</b>	26	Calibración manual	3	NE
<b>20</b>	27,1	Conteo de láminas impresas	2	
<b>21</b>	28	Funcionamiento con red eléctrica ( 220 V - 60 Hz)	4	( V ) - ( Hz)
<b>22</b>	29	Dimensión total de la máquina	3	mm

**a) COMPARACIÓN CON LA COMPETENCIA.**

Es importante tener claro que esta máquina ya existe en el mercado, y es en base a estos que también se puede sacar información técnica y de costos, con el afán de tener una noción más clara de la máquina que se va diseñar de acuerdo a las necesidades de la empresa ARNEM.

Para esto se realiza un cuadro comparativo con máquinas cotizadas de algunos lugares del mundo, con el fin de poder recabar información y poder establecer las especificaciones definitivas de la máquina: La información y cotización de la máquina de impresión flexográfica están en el ANEXO B

**Tabla 12.***Comparación con la competencia.*

Métrica	Núm. De	MÉTRICA	Imp.	Uni.	JUMOSE	ZHAOLI	ARNEM
núm.	Necesidad				<b>BRASIL</b>	<b>CHINA</b>	<b>ECUA</b>
<b>1</b>	1,9,11,13,21	Velocidad máxima de impresión (Compatibilidad)	4	l/h	1200	9000	3000
<b>2</b>	1,4	Ancho máximo de impresión	3	Mm	950	1200	1000
<b>3</b>	1,4	Ancho mínimo de impresión.	3	Mm	NE	NE	300
<b>4</b>	1,4	Largo máximo de impresión.	3	Mm	700	1600	1400
<b>5</b>	1,4	Largo mínimo de impresión.	3	Mm	NE	NE	300
<b>6</b>	2	Número de cuerpos impresores.	3		1	1	1
<b>7</b>	3 y 4	Ancho máximo de lámina	3	Mm	1000	1200	1000
<b>8</b>	3 y 4	Ancho mínimo de lámina.	3	Mm	NE	560	300
<b>9</b>	3 y 4	Largo máximo de lámina.	3	Mm	750	1800	1500
<b>10</b>	3 y 4	Largo mínimo de lámina.	3	Mm	NE	360	320
<b>11</b>	3,4,5,6,7	Rango de ajuste vertical de rodillos de agarre	4	Mm	3 a 12	3 a 10	3 a 11
<b>12</b>	3,4,5,6,7,8	Rango de ajuste vertical del rodillo porta cliché	4	Mm	3 a 12	3 a 10	3 a 11
<b>13</b>	9 ,10,14,21,3,4 12,13,21,1,9	Sistema de Alimentación	4		MANUAL	SEMI-AUTOMA.	SEMI-AUTOMA
<b>14</b>	15,16,9	Permite material combado	3		NE	NE	SI
<b>15</b>	17,18,19	Precisión de colocación de cliché	4		NE	NE	SI
<b>16</b>	20,17	Esfuerzo para colocación de cliché	3		NE	NE	MIN.
<b>17</b>	22,23,24	Afinación de cantidad de tinta	4		SI	NE	SI
<b>18</b>	25	Desensamble/ensamble para mantenimiento y limpieza.	3		NE	NE	SI
<b>19</b>	26	Calibración manual	3		SI	NE	SI
<b>20</b>	27,1	Conteo de láminas impresas	2		SI	NE	SI
<b>21</b>	28	Funcionamiento con red eléctrica ( 220 V - 60 Hz)	4	( V ) - ( Hz)	220- 60	380 - 50	220 -60

### 3.3 Análisis funcional.

Al momento de diseñar se busca métodos que faciliten el trabajo. El establecer una estructura de funcionamiento nos permitirá un mejor entendimiento del proceso y dará la pauta para el análisis de las opciones que tendremos para iniciar nuestro diseño. Se comienza estableciendo una función principal que va tener la máquina, pero lo conveniente es derivarla en sus funciones. Después se realiza un análisis para la conformación de módulos, que es la agrupación de las sub funciones y que son orientadas a la descripción de una función general. Entre módulos debe haber algún tipo de conexión, en este análisis se los llama interfaces, que es cualquier superficie real o imaginaria a través de la cual se establece alguna de las siguientes relaciones: unión mecánica, flujo de energía, flujo de materiales o flujo de señales.

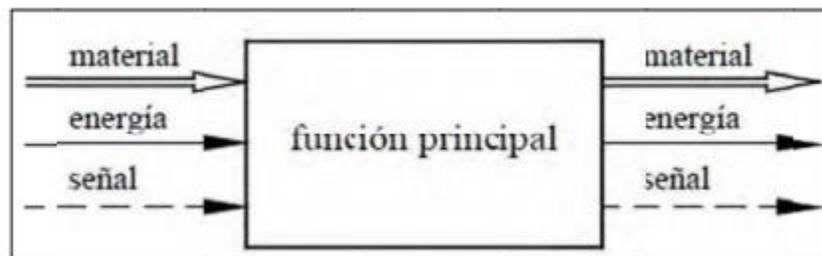
Para facilitar la representación de las funciones y de los flujos en la estructura funcional de un producto o sistema, es conveniente disponer de símbolos adecuados cuya utilización sea lo suficientemente flexible. Los símbolos utilizados son los siguientes (Upcommons, 2018):

- Función: Rectángulo de línea continua.
- Flujo de material: Flecha de doble línea continua.
- Flujo de energía y dirección: Flecha de línea continua.
- Flujo de señal y dirección: Flecha de línea discontinua.
- Sistema, subsistema, módulo: Polígono de línea de punto y raya.

Las descripciones de los diferentes conceptos se realizan de la siguiente manera:

- Función: Se sitúa dentro del rectángulo y preferentemente se define con un verbo seguido de un predicado.
- Flujo: Su objeto se indica encima de las flechas correspondientes.
- Sistema, subsistema y módulos: Se indica encima y a mano izquierda del polígono que lo limita.

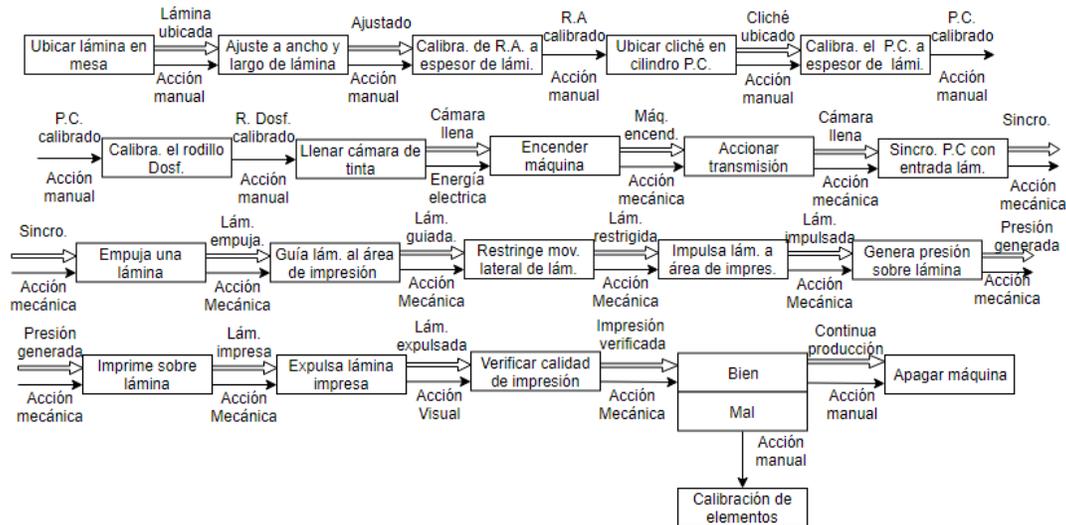
La figura 19 representa el manejo de la simbología para el análisis funcional:



**Figura 19.** Simbología para análisis funcional  
Fuente: (RIBA C.; 2002).

### 3.3.1 Análisis funcional de la impresora flexográfica.

A continuación, se detalla el análisis funcional de la impresora flexográfica:

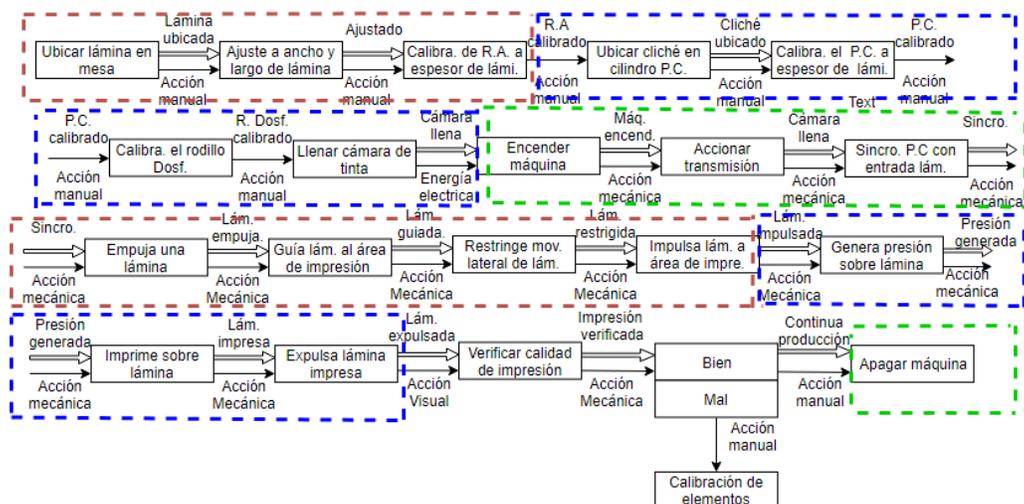


**Figura 20.** Simbología para análisis funcional

Fuente: (RIBA C.; 2002).

### 3.3.2 Estructura modular de la imprenta flexográfica.

Para poder determinar los módulos es necesario hacer un análisis detallado de cada subfunción que se generó en el análisis funcional, para después agruparlos en un orden no definido, pero entre ellos forman un solo módulo. En la figura 21 se expone los dos módulos concebidos de la imprenta flexográfica:



**Figura 21.** Simbología para análisis funcional  
Fuente: (RIBA C.; 2002).

Lo que está enmarcado con línea entrecortada color rojo es el módulo de alimentación. Lo que está enmarcado con línea entrecortada color azul es el módulo de impresión. Lo que está enmarcado con línea entrecortada color verde es el interfaz.

**Tabla 13.**

*Módulos de la Impresora Flexográfica.*

MÓDULOS	RESÚMEN DE FUNCIONES
ALIMENTACIÓN	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sincronización del avance del material con la posición del cliché.</li> <li>Calibración a las dimensiones ancho y largo de las láminas de cartón.</li> <li>Restringir el movimiento lateral de las láminas.</li> <li>Impulsar las láminas al área de impresión.</li> <li>Calibración a espesor del cartón.</li> </ul>
IMPRESIÓN	<ul style="list-style-type: none"> <li>Impresión sobre superficie de la lámina de cartón.</li> <li>Dosificación de tinta al cliché.</li> <li>Calibración a espesor del cartón.</li> <li>Llenado y vaciado de la cámara de tinta.</li> <li>Expulsión del cartón impreso.</li> </ul>

Las interfaces entre módulos son:

- Interfaz mecánica.
- Flujo de material.

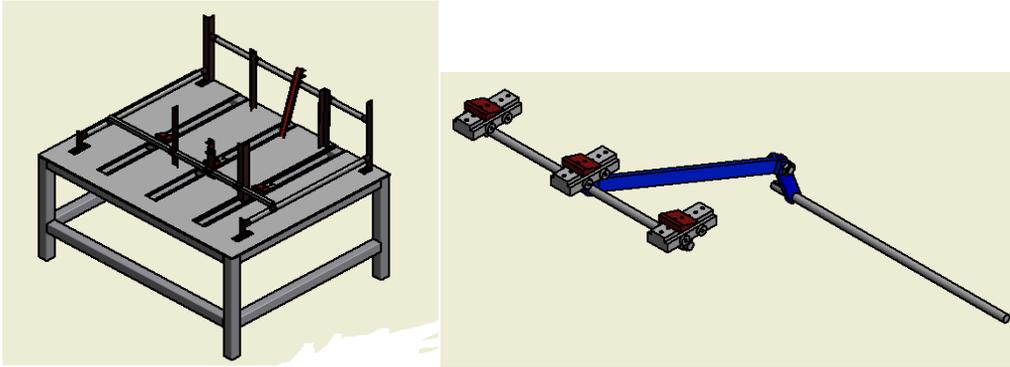
Cabe recalcar que el interfaz o conexión mecánica serán la unión entre los dos módulos, en este caso se considera al sistema de transmisión como el enlace que permitirá la sincronización.

### **3.4 Presentación y selección de alternativas.**

#### **3.4.1 Módulo de alimentación.**

##### **a) Alternativa 1: sistema por mecanismo manivela - biela – corredera.**

La primera alternativa del módulo de transporte está formada por los componentes que se indican en la figura. Se basa en el principio de funcionamiento de un mecanismo manivela – biela – corredera. La mesa tiene tres aberturas en las que se ubican las bases del pateador, estas se deslizan sobre las correderas provocando un movimiento lineal sobre la mesa en donde se coloca las láminas de cartón y es empujada al módulo de impresión. Para evitar el movimiento de la lámina se cuenta con topes laterales que se pueden regular al tamaño de cartón.



**Figura 22.** Sistema de manivela-biela-corredera.

#### Ventajas:

- Las dimensiones de la mesa son pequeñas.
- Se puede conseguir una sincronización precisa con la conexión de la manivela al sistema de transmisión del módulo de impresión.
- No se tiene contacto directo con el pateador, por lo que se tiene un grado de seguridad más alto.
- Los elementos no son difíciles de manufacturar.
- Para el mantenimiento de los elementos no se necesita de procedimientos complicados.

#### Desventajas:

- El diseño del mecanismo se lo puede considerar complicado, ya que se necesita tener una sincronización precisa de la entrada del material al módulo de impresión.
- Los costos de manufactura de las piezas son mayores que las otras dos opciones.
- El número de piezas dificulta el montaje y la composición del módulo.

- A pesar de que el mantenimiento no es complicado, por el mismo hecho de tener mayor cantidad elemento se necesita de más atención.

#### **b) ALTERNATIVA 2: SISTEMA DE BANDA.**

La configuración de la alternativa 2 está establecida en la figura; consta de una mesa, la cual tiene tres secciones abiertas en sentido longitudinal. En estas aberturas dan la facilidad de colocación y movimiento de cadenas de rodillos. El movimiento es generado por una catalina que está montada sobre uno de los ejes y tiene conexión con la transmisión de movimiento del otro módulo, permitiendo tener la sincronización entre el avance del material y la ubicación del cliché. Para el transporte de las láminas se colocan topes a lo largo de cada cadena los cuales deben coincidir con el punto de referencia del cilindro porta cliché.

Las láminas son colocadas manualmente, y para que la lámina sea transportada correctamente sobre la mesa se coloca guías laterales que son calibradas al tamaño del material y este pueda entrar correctamente al módulo de impresión.



**Figura 23.**Sistema de banda

Ventajas:

- La colocación de los topes de arrastre en la cadena es fácil de montar, y dan una mayor confiabilidad en la sincronización con el módulo de impresión.
- Este sistema de alimentación es utilizado en la máquina troqueladora rotativa, por lo que se la certeza de su correcto funcionamiento para el fin propuesto.
- Se tiene un limitado número de piezas y componentes, que facilitan el montaje de todo el módulo.
- Las piezas no presentas configuraciones geométricas difíciles de conformar.
- Algunos de los elementos son normalizados en el mercado, por lo que se reduce tiempo de fabricación y costos.
- El sistema cumple con la función principal de trasladar el material a la siguiente etapa.

- El mantenimiento de los componentes es fácil de realizarlo.

Desventajas:

- La dimensión de la mesa es la más grande.
- La cadena debe ser guiada adecuadamente, ya que podría causar el inadecuado ingreso de la lámina al módulo de impresión, y podría tener contacto con la mesa causando un desgaste de esta.
- Se debe contar con un sistema de tensión para las cadenas, ya que si se encuentra muy flojas esto causará que no haya una eficiente transmisión, lo que desencadena en que los topes pierdan su posición.

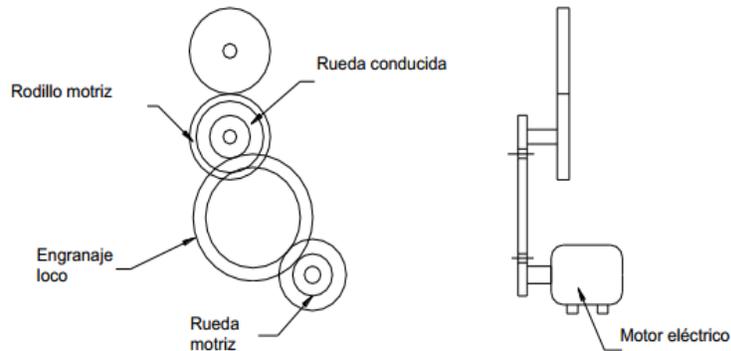
### **3.4.2 Interfaz entre módulos.**

#### **a) Alternativa1: transmisión por engranes.**

Al momento de querer transmitir movimiento y potencia los engranajes son uno de los más utilizados en la fabricación de máquinas y herramientas. Estos elementos son ruedas dentadas que tienen una configuración de tamaño y geometría de acuerdo a las necesidades de transmisión, siendo las más utilizadas los de dientes rectos.

La conexión de transmisión se da de diente a diente, por lo que se debe tomar en cuenta que su manufactura y montaje debe ser precisa.

La máquina impresora no maneja grandes velocidades por lo que los engranes rectos se manifiestan como una buena opción, a más que con la configuración de los se puede jugar con el sentido de giro ajustándose a la necesidad de todo el sistema.



**Figura 24.** Sistema de engranajes.

Ventajas:

- Se puede transmitir potencia a velocidades bajas.
- Elevado rendimiento.
- Bajo mantenimiento.
- No necesita de ningún elemento para enlazar las ruedas.

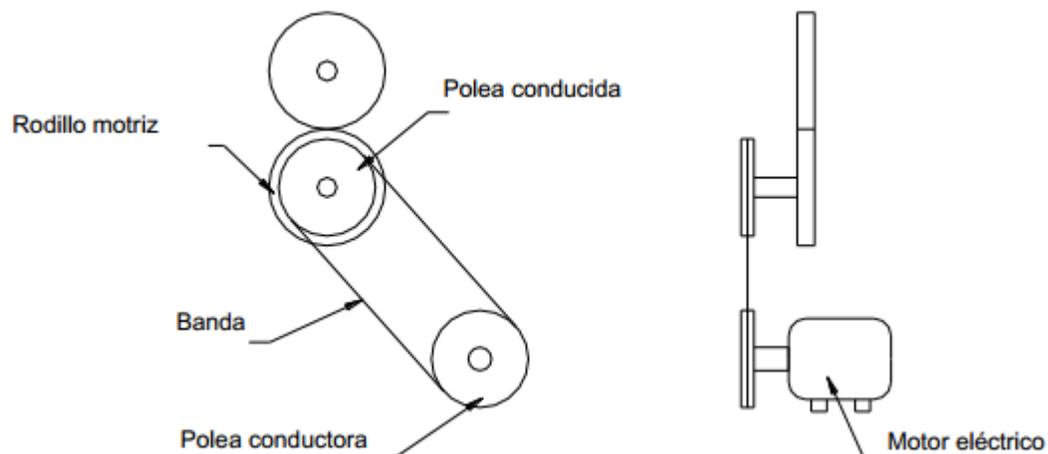
Desventajas:

- Producen ruido cuando se manejan velocidades altas y/o son mal montadas.
- La cantidad de material que se utiliza y su manufactura son costosas.
- Se genera alta fricción por lo que se necesita un sistema de lubricación.
- Se debe trabajar con mucha precisión en la manufactura y montaje.

- Permite solo cierta tolerancia de distancia entre sus centros, factor importante de considerar para el montaje y calibración de los rodillos y/o cilindros.

## b) ALTERNATIVA2: TRANSMISIÓN POR BANDAS Y POLEAS.

El sistema está conformado por poleas que están ubicados a cierta distancia y son conectados mediante una correa continua de goma que trasfiere la potencia mediante la fricción entre estos elementos.



**Figura 25.** Sistema de bandas.

Ventajas:

- El sistema es silencioso.
- La transmisión de potencia se la puede obtener a distancias relativamente grandes.
- Ya que los elementos son normalizados, son fáciles de conseguir y tienen un costo inicial bajo.
- Diseño sencillo.

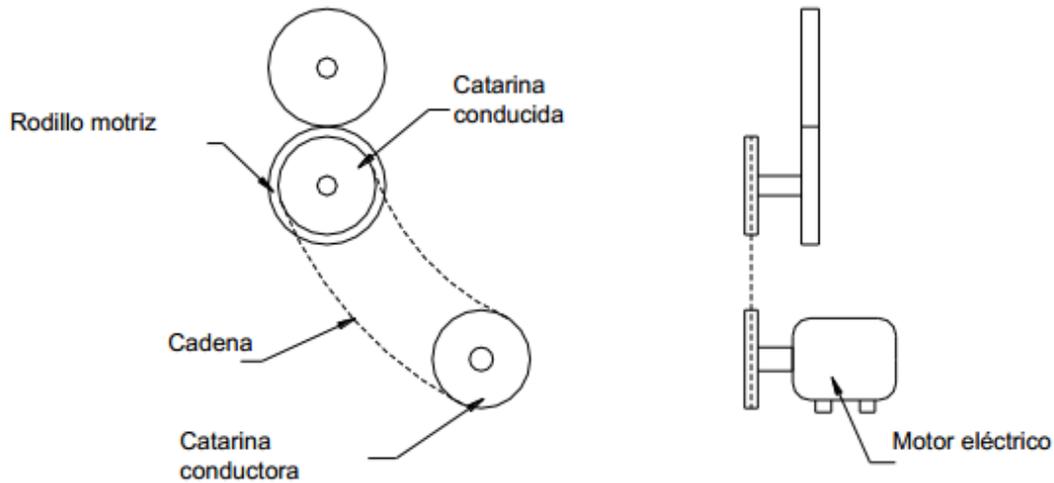
- No requiere un mantenimiento frecuente a más de no requerir lubricación.
- Facilidad de montaje y desmontaje.

Desventajas:

- Dependiendo de la disposición de los elementos, el sistema ocupa mucho espacio.
- Se puede producir un desfase en la transmisión por deslizamiento de la banda.
- No soporta grandes fuerzas ya que provocan poca fricción en las bandas.
- Vida de la banda relativamente corta.

### **c) ALTERNATIVA3: TRANSMISIÓN POR CADENAS Y CATALINAS.**

Este sistema funciona bajo el principio de engranaje, diferenciándole de él ya que la transmisión es abierta. Es muy parecido al sistema de transmisión por bandas, pero el conjunto está constituido por cadenas de eslabones articulados los cuales van encajando continuamente en dientes que están distribuidos en una rueda o mejor llamado rueda de estrella (piñones).



**Figura 26.** Sistema de cadenas.

#### Ventajas:

- Transmite potencias relativamente altas.
- No existe patinamiento.
- No es necesario diámetros grandes en las ruedas.
- No necesita estar tensionada la cadena.
- Trabaja bien a altas tensiones.

#### Desventajas:

- Son ruidosas y de alta vibración.
- Son más costosas que las transmisiones con correas.
- Necesitan un buen mantenimiento, con limpiezas periódicas y lubricación adecuada.
- Para absorber los alargamientos deben disponerse los ejes de modo que pueda tensarse la cadena o bien montar un piñón tensor en el ramal flojo.

### **3.5 Selección de alternativas.**

#### **3.5.1 Criterios de evaluación.**

La selección de alternativas se la hace mediante matrices de ponderación de criterios. Los criterios se los define en base a los requerimientos, las descripciones de cada alternativa y las necesidades futuras para el desarrollo del proyecto.

Siendo los criterios:

- 1) Funcionalidad.
- 2) Costos.
- 3) Manufactura.
- 4) Mantenimiento.
- 5) Facilidad de operación.

La matriz principal hace una relación entre filas y columnas donde se colocan los criterios; colocando un valor el cual representa el nivel de importancia que tiene la relación, dando así la puntuación siguiente:

- 1 si el criterio de la fila e más importante.
- 0,5 si el criterio de la fila es igual de importante.
- 0 si el criterio de la fila es menos importante.

Con lo que respecta a manufactura y mantenimiento, se refiere a la facilidad para realizarlo. Los costos mientras mayor puntuación reciba, más barata es la alternativa.

**Tabla 14.**  
*Criterios de Evaluación*

CRITERIOS	1	2	3	4	5	$\Sigma$	FI
Funcionalidad		1	1	1	1	4	0,32
Costos	0		0,5	1	1	2,5	0,2
Manufactura	0	0,5		1	1	2,5	0,2
Mantenimiento	0	0	0		1	1	0,19
Facilidad de operación	0	0	0	0,5		0,5	0,09
						<b>Total</b>	<b>10,5</b>
							<b>1</b>

El criterio que más peso tiene es el de funcionalidad teniendo un factor de incidencia (FI) de 0,32.

### 3.5.2 Matrices de selección.

Para la selección de las alternativas, se utiliza matrices de calificación donde se hace una puntuación a las alternativas en relación a los criterios que se formaron anteriormente. Dando así, la alternativa que obtenga el mayor valor que resulta de la sumatoria de la puntuación, será la seleccionada.

La escala de valores para el análisis es de 1 a 10, siendo 10 la mejor calificación y 1 la peor.

Con lo que respecta a manufactura y mantenimiento, se refiere a la facilidad para realizarlo. Los costos mientras mayor puntuación reciba, más barata es la alternativa.

#### a) Matriz de selección para módulo de alimentación.

**Tabla 15.**

Matriz de Selección Módulo de Alimentación

CRITERIOS	FI	ALTERNATIVA 1		ALTERNATIVA 2		ALTERNATIVA 3	
		PUNT.	CALIF.	PUNT.	CALIF.	PUNT.	CALIF.
Funcionalidad	0,32	7	2,24	6	1,92	8	2,56
Costos	0,2	6	1,2	5	1	7	1,4
Manufactura	0,2	7	1,4	8	1,6	8	1,6
Mantenimiento	0,19	7	1,33	8	1,52	8	1,52
Facilidad de operación	0,09	8	0,72	8	0,72	7	0,63
<b>TOTAL SELECCIÓN</b>		6,89		6,76		7,71	
						<b>X</b>	

La alternativa 3 del módulo de alimentación obtuvo la mayor calificación 7,71, este corresponde al sistema de bandas con topes.

**a) Matriz de selección para interfaz.**

**Tabla 16.**

Matriz de Selección Módulo de Alimentación

CRITERIOS	FI	ALTERNATIVA 1		ALTERNATIVA 2		ALTERNATIVA 3	
		PUNT.	CALIF.	PUNT.	CALIF.	PUNT.	CALIF.
Funcionalidad	0,32	8	2,56	6	1,92	9	2,88
Costos	0,2	6	1,2	8	1,6	7	1,4
Manufactura	0,2	5	1	8	1,6	8	1,6
Mantenimiento	0,19	9	1,71	9	1,71	9	1,71
Facilidad de operación	0,09	6	0,54	6	0,54	8	0,72
<b>TOTAL SELECCIÓN</b>		7,01		7,37		8,31	
						<b>X</b>	

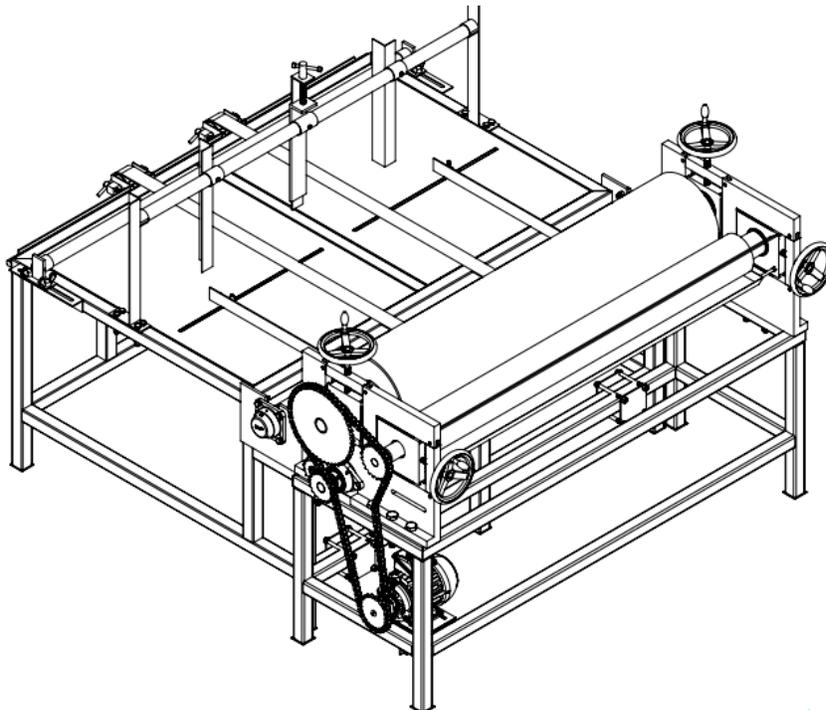
La alternativa 3 de las opciones de interfaz obtuvo la mayor calificación 8.31, este corresponde al sistema de transmisión por cadena.

**b) Prototipo seleccionado.**

Se resume las alternativas escogidas por el método de matrices de selección:

- Alternativa 3 para módulo de transporte.
- Alternativa 3 para interfaz.

Lo que corresponde al módulo de impresión ya se lo definió mediante las pruebas de campo en el capítulo anterior.



**Figura 27.**Prototipo seleccionado.

## **CAPÍTULO 4.**

### **DISEÑO Y SELECCIÓN DE ELEMENTOS DE MÁQUINA.**

#### **4.1 Diseño mecánico.**

Después de determinar el conjunto del prototipo de la impresora flexográfica, se procederá a realizar los cálculos y selección de los elementos que componen la máquina. Para comenzar con esta tarea se debe contar con datos que permitirán el inicio del diseño, en este caso se trata de los requerimientos tales como: velocidades de producción, tamaños de láminas de cartón con el que se trabajará, dimensiones de máquina, energía con la que cuenta la empresa, entre otros. Con esto se podrá materializar cada elemento de la máquina, y poder garantizar que las configuraciones geométricas, dimensiones, materiales, potencias, elementos de transmisión, conexiones son los adecuados para su eficiente funcionamiento y durabilidad.

El proceso de diseño se lo hará en base a procedimientos ya establecidos en libros y también con la ayuda de programas computacionales para afianzar los resultados.

#### **4.2 Datos limitadores.**

Algunos de los requerimientos que se plantearon anteriormente son restricciones o limitantes para el diseño de la máquina y son:

**Tabla 17.***Requerimientos limitadores para el diseño.***REQUERIMIENTOS LIMITADORES**

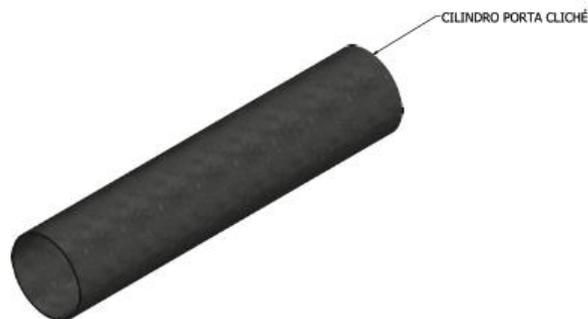
Descripción	Valor	Unidades
<b>Velocidad de producción</b>	3000	l/h
<b>Largo máx. de lámina de cartón</b>	1400	Mm
<b>Ancho máx. de lámina de cartón</b>	900	Mm
<b>Espesor máx. de lámina de cartón</b>	11	Mm
<b>Espesor mín. de lámina de cartón</b>	3	Mm
<b>Espesor de cliché</b>	4,75	Mm
<b>Espesor de la doble faz</b>	0,55	Mm
<b>Cuerpos impresores</b>	1	//
<b>Energía Eléctrica</b>	220 (Trifá)- 60	volt.- hz

**4.2 Cálculo de vic. y longitud de repetición.**

Es necesario establecer parámetros claves como: la velocidad de alimentación que se determinó en base a requerimientos de producción, la cual se la debe transformar a unidades adecuadas para los cálculos.

**4.2.1 Longitud de repetición.**

Esta longitud es equivalente al perímetro del cilindro porta cliché tomando en cuenta los espesores del cliché y de la doble faz. Anteriormente se recopiló información de dimensiones de cajas de clientes, obteniendo 900 mm como el de mayor ancho de lámina, la longitud de repetición debe ser igual o mayor a esta.



**Figura 28.** Cilindro portacliche

**Tabla 18.**

*Dimensiones del porta cliché.*

Descripción	DIÁMETRO EXT.		DIÁMETRO INT.	
	mm	Pulg.	mm	Pulg.
<b>Cilindro porta cliché</b>	323,85	12,75	304,8	12

Dado el diámetro exterior de la porta cliché la longitud de repetición es:

$$L_r = \pi (\phi_{pc} + 2e_{df} + 2e_c)$$

Ecuación 1. Longitud de repetición.

(Aracri Silvani, 2016)

Donde:

$L_r$  = Longitud de repetición (mm).

$\phi_{pc}$  = Diámetro exterior del cilindro porta cliché (mm).

$e_{df}$  = Espesor de la doble faz (mm).

$e_c$  = Espesor del cliché (mm).

Entonces:

$$L_r = \pi [323,85 + (2 \times 0,55) + (2 \times 4,75)]$$

$$L_r = 1050,70 \text{ mm}$$

La  $L_r$  tiene un valor de 1050,7mm, quiere decir que el cilindro con el diámetro seleccionado cubre la medida máxima de ancho de impresión.

#### 4.2.2 Velocidad de producción.

La velocidad de alimentación requerida es de 3000 l/h, esta equivale aproximadamente una velocidad angular del cilindro porta cliché de 50 rpm. Se necesita esta velocidad en unidades de velocidad lineal.

$$w_{pc} = 50 \frac{\text{rev}}{\text{min}} \times \frac{2\pi \text{ rad}}{1 \text{ rev}} = 314,16 \frac{\text{rad}}{\text{min}}$$

La velocidad lineal se la representa con la fórmula:

$$v = w \times r$$

Ecuación 2.Velocidad lineal

(Shigley, 2016)

Donde:

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

$w$ = Velocidad angular (rad/min).

$r$ = Radio del elemento (m).

Entonces:

$$v_{producción} = 314,16 \frac{rad}{min} \times 0,167m$$

$$v_{producción} = 53 \frac{m}{min}$$

El radio utilizado en este cálculo se toma en cuenta con el cliché y la doble faz.

#### 4.3 Cálculo de potencia de motor.

Para el arranque y funcionamiento de la máquina se debe obtener una potencia de motor que sea suficiente para lograr este objetivo. El proceso que se realizará al determinar la potencia necesaria para romper la inercia de cada elemento rotativo de la impresora y tomando en cuenta otros factores.

Para el proceso se necesita saber los siguientes parámetros:

*INERCIA DE LAS MASAS EN MOVIMIENTO*

Los elementos rotativos de la máquina son elementos cilíndricos macizos y huecos.

Inercia de cilindro macizo:

$$I = \frac{m \times d^2}{8}$$

Ecuación 3. Inercia de un cilindro.

(Shigley, 2016)

Inercia de cilindro hueco:

$$I = \frac{m}{8} (d_{\text{ext}}^2 + d_{\text{int}}^2)$$

Ecuación 4. Inercia de un cilindro hueco

(Shigley, 2016)

Donde:

$I$  = Inercia del elemento ( Kg. m<sup>2</sup>).

$d_{\text{ext}}^2$  = Diámetro externo (m).

$d_{\text{int}}^2$  = Diámetro interno (m).

$m$  = Masa del elemento (kg).

Volumen de cilindro hueco:

$$V = \frac{\pi}{4} (d_{\text{ext}}^2 - d_{\text{int}}^2) \times L$$

*Ecuación 5. Volumen de un cilindro hueco.*

La masa está definida por:

$$m = V \times \rho$$

*Ecuación 6. Masa de un cuerpo*

Donde:

$V$ = Volumen del elemento ( $\text{m}^3$ ).

$m$ = Masa (kg).

$\rho$ = Densidad del material ( $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ ).

$L$ = Longitud del elemento ( $m$ )

La densidad del acero es de 7850 ( $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ ).

### *ACELERACIÓN ANGULAR*

Está definida por:

$$w = w_0 + \alpha \times t$$

*Ecuación 7. Velocidad angular final.*

Donde:

$w$  = Velocidad angular final ( $\frac{rad}{seg}$ ).

$w_0$  = Velocidad angular inicial ( $\frac{rad}{seg}$ ).

$\alpha$  = Aceleración angular ( $\frac{rad}{s^2}$ ).

$t$  = Tiempo (s).

Ya que el movimiento comienza desde el reposo ( $w_0 = 0$ ), por lo que la aceleración angular es igual a:

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

Ecuación 8. Aceleración angular

El tiempo que se especifica en la formula se lo conoce como tiempo de arranque. Para el diseño de la máquina se asigna un tiempo de arranque de 0,5 segundos.

**TORQUE**

La ecuación para el cálculo del torque es la siguiente:

$$T = I \times \alpha$$

Ecuación 9. Torque

Donde:

$T$ = Torque ( $Nm$ ).

$I$ = Inercia del elemento ( $Kg.m^2$ ).

$\alpha$ = Aceleración angular ( $\frac{rad}{s^2}$ ).

### POTENCIA

La ecuación que representa la potencia necesaria para realizar la rotación de un elemento rotativo es la siguiente:

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

Ecuación 10.Potencia

Donde:

$P$ = Potencia ( $Kw$ ).

$T$ = Torque ( $Nm$ ).

$n$ = Velocidad angular ( $rpm$ ).

### 4.3.1 Potencia para mover el cilindro porta cliché.

Se puede considerar que este elemento es el más importante del sistema, también es el más grande. La impresora cuenta solo con un cilindro porta cliché ya que es de un cuerpo impresor. El material se utiliza es tubería sin costura acero negro (ASTM A53 GRB).

#### a) INERCIA DEL CILINDRO PORTA CLICHÉ.

En el cuadro siguiente se detalla las dimensiones de cada parte del cilindro porta cliché. En el conjunto existe partes que son sólidas, eso quiere decir que solo se especifica el diámetro exterior y su longitud.

**Tabla 19.**

*Dimensiones del porta cliché*

ELEMENTO	DIÁMETRO EXTERNO (mm)	DIÁMETRO INTERNO (mm)	LONGITUD (mm)
<b>Cilindro</b>	323,85	304,8	1500
<b>Eje P.C.</b>	88,9	/	1910
<b>Anillo</b>	304,8	114,3	20
<b>Guía</b>	114,3	88,9	80

Con las ecuaciones 3,4,5,6 y una hoja de cálculo se tiene los siguientes resultados:

**Tabla 20.**

*Propiedades del porta cliché*

ELEMENTO	CANT.	DEN. $\rho \left( \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right)$	VOLUM. $V(\text{m}^3)$	MASA $m(\text{Kg})$	INERCIA $I(\text{Kg. m}^2)$	INERCIA TOT. $I(\text{Kg. m}^2)$
----------	-------	--	---------------------------	------------------------	--------------------------------	-------------------------------------

CONTINÚA 

<b>Cilindro</b>	1	7850	0,014	110,75	3,11	3,110
<b>Eje</b>	1	7850	0,011	86,39	0,089	0,089
<b>Anillo</b>	2	7850	0,001	9,75	0,078	0,156
<b>Guía</b>	2	7850	0,0003	2,55	0,010	0,020
					<b>Total</b>	<b>3,38</b>

La inercia total del cilindro porta cliché es de 3,38 ( $Kg.m^2$ ).

### b) ACELERACIÓN ANGULAR DEL CILINDRO PORTA CLICHÉ

La velocidad lineal de la porta cliché es la que marca el nivel de producción de máquina. Teniendo una velocidad lineal máxima de 53 m/min. ( $0,88 m/s$ ).

El diámetro exterior del cilindro porta cliché es de 323,85 mm.

Aplicando la ecuación 7 se obtiene:

$$w_{pc} = \frac{0,88 \frac{m}{s}}{0,1619 m}$$

$$w_{pc} = 5,43 \frac{rad}{s}$$

En la ecuación se reemplaza los valores de velocidad encontrada y el tiempo de arranque que se determinó en 0,5s:

$$\alpha_{pc} = \frac{w}{t}$$

$$\alpha_{pc} = \frac{5,43 \frac{\text{rad}}{\text{s}}}{0,5 \text{ s}}$$

$$\alpha_{pc} = 10,86 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2}$$

### b) TORQUE.

En la ecuación se reemplaza los valores de inercia total y aceleración angular que se hallaron, obteniendo el siguiente resultado:

$$T = I \times \alpha$$

$$T_{pc} = 3,38 \text{ Kg. m}^2 \times 10,86 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2}$$

$$T_{pc} = 36,70 \text{ Nm.}$$

### c) POTENCIA REQUERIDA EN EL CILINDRO PORTA CLICHÉ.

Conocidos los valores de torque y velocidad podemos reemplazar estos en la ecuación 10, obteniendo el siguiente valor:

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

$$P_{pc} = \frac{36,70 \text{ Nm} \times 53 \text{ rpm}}{9550}$$

$$P_{pc} = 0,21 \text{ kW}$$

$$P_{pc} = 0,29 \text{ HP}$$

#### 4.3.2 Potencia para mover el rodillo dosificador.

El rodillo dosificador de tinta tiene un núcleo de acero de transmisión, cubierta por una capa de caucho nitrilo de espesor de 10 mm.

##### a) Inercia del cilindro rodillo dosificador.

El núcleo del rodillo es un sólido, este rodillo está cubierto por una capa de caucho nitrilo, las dimensiones son las siguientes:

**Tabla 21.**

*Dimensiones del eje dosificador.*

ELEMENTO	DIÁMETRO EXTERNO (mm)	DIÁMETRO INTERNO (mm)	LONGITUD (mm)
Rodillo D.	127	/	1853,6
R. Nitrilo	147	127	1500

Con las ecuaciones 3,4,5,6 y una hoja de cálculo se tiene los siguientes resultados:

**Tabla 22.**

*Propiedades del eje dosificador.*

ELEMENTO	CANT.	DEN. $\rho \left( \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right)$	VOLUM. $V(\text{m}^3)$	MASA $m(\text{Kg})$	INERCIA $I(\text{Kg} \cdot \text{m}^2)$	INERCIA TOT. $I(\text{Kg} \cdot \text{m}^2)$
Rodillo D.	1	7850	0,021	110,75	0,39	0,39
R. Nitrilo	1	7850	0,006	86,39	0,038	0,038
					<b>Total</b>	<b>0,43</b>

La inercia total del rodillo dosificador conformado por el núcleo y el recubrimiento es de 0,43 (Kg. m<sup>2</sup>).

**b) ACELERACIÓN ANGULAR DEL RODILLO DOSIFICADOR.**

La velocidad lineal del rodillo dosificador debe acoplarse a la del sistema. Teniendo una velocidad lineal máxima de 53 m/min. (0,88 m/s).

El diámetro exterior del rodillo dosificador es de 147 mm (0,147 m).

Aplicando la ecuación 2 se obtiene:

$$w_{rd} = \frac{0,88 \frac{m}{s}}{0,0735m}$$

$$w_{rd} = 11,97 \frac{rad}{s}$$

En la ecuación se reemplaza los valores de velocidad encontrada y el tiempo de arranque que se determinó en 0,5s:

$$\alpha_{rd} = \frac{w}{t}$$

$$\alpha_{rd} = \frac{11,97 \frac{rad}{s}}{0,5 s}$$

$$\alpha_{rd} = 23,94 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2}$$

### c) TORQUE.

En la ecuación 9 se reemplaza los valores de inercia total y aceleración angular que se hallaron, obteniendo el siguiente resultado:

$$T = I \times \alpha$$

$$T_{rd} = 0,43 \text{ Kg. m}^2 \times 23,94 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2}$$

$$T_{rd} = 10,29 \text{ Nm}$$

### d) POTENCIA REQUERIDA EN EL RODILLO DOSIFICADOR.

Conocidos los valores de torque y velocidad podemos reemplazar estos en la ecuación 10 obteniendo el siguiente valor:

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

$$P_{rd} = \frac{10,29 \text{ Nm} \times 114 \text{ rpm}}{9550}$$

$$P_{rd} = 0,12 \text{ kW}$$

$$P_{rd} = 0,163 \text{ HP}$$

#### 4.3.3 POTENCIA PARA MOVER EL RODILLO CONTRAIMPRESIÓN

Este rodillo sostiene a la lámina de cartón al momento de la impresión.

### e) INERCIA DEL CILINDRO RODILLO CONTRAIMPRESIÓN.

Este rodillo es un elemento sólido, las dimensiones son las siguientes:

**Tabla 23.**

*Dimensiones del rodillo contra impresión.*

ELEMENTO	DIÁMETRO EXTERNO (mm)	DIÁMETRO INTERNO (mm)	LONGITUD (mm)
Rodillo C. I.	127	/	1967,2

Con las ecuaciones 3,4,5,6 y una hoja de cálculo se tiene los siguientes resultados:

**Tabla 24.**

*Propiedades del rodillo contra impresión.*

ELEMENTO	CANT.	DEN. $\rho \left( \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right)$	VOLUM. $V(\text{m}^3)$	MASA $m(\text{Kg})$	INERCIA $I(\text{Kg. m}^2)$	INERCIA TOT. $I(\text{Kg. m}^2)$
Rodillo C.I	1	7850	0,021	162,38	0,39	0,39
					<b>Total</b>	<b>0,39</b>

La inercia total del rodillo contra impresión es de 0,390 (Kg. m<sup>2</sup>).

### f) ACELERACIÓN ANGULAR DEL RODILLO CONTRA IMPRESIÓN.

La velocidad lineal del rodillo contra impresión debe acoplarse a la del sistema.

Teniendo una velocidad lineal máxima de 53 m/min. (0,88 m/s).

El diámetro exterior del rodillo contra impresión es de 127 mm (0,127 m).

Aplicando la ecuación 2 se obtiene:

$$w_{ci} = \frac{0,88 \frac{m}{s}}{0,0635m}$$

$$w_{ci} = 13,86 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

En la ecuación se reemplaza los valores de velocidad encontrada y el tiempo de arranque que se determinó en 0,5s:

$$\alpha_{ci} = \frac{w}{t}$$

$$\alpha_{ci} = \frac{13,86 \frac{\text{rad}}{\text{s}}}{0,5 \text{ s}}$$

$$\alpha_{ci} = 27,72 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2}$$

### g) TORQUE

En la ecuación 8 se reemplaza los valores de inercia total y aceleración angular que se hallaron, obteniendo el siguiente resultado:

$$T = I \times \alpha$$

$$T_{ci} = 0,390 \text{ Kg. m}^2 \times 27,72 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2}$$

$$T_{ci} = 10,81 \text{ Nm}$$

## h) POTENCIA REQUERIDA EN EL RODILLO CONTRA IMPRESIÓN

Conocidos los valores de torque y velocidad podemos remplazar estos en la ecuación 10 obteniendo el siguiente valor:

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

$$P_{ci} = \frac{10,81\text{Nm} \times 132,35 \text{ rpm}}{9550}$$

$$P_{ci} = 0,15 \text{ kW}$$

$$P_{ci} = 0,20 \text{ HP}$$

### 4.3.4 POTENCIA PARA MOVER EL EJE DE ALIMENTACIÓN

Este eje permite la transportación de las láminas de cartón hacia el área de impresión.

#### a) INERCIA DEL CILINDRO EJE DE ALIMENTACIÓN

Estos rodillos son elementos sólidos, las dimensiones son las siguientes:

**Tabla 25.**

*Dimensiones del eje alimentación*

ELEMENTO	DIÁMETRO	DIÁMETRO	LONGITUD (mm)
	EXTERNO (mm)	INTERNO (mm)	
Eje Al.	76,2	/	1916

Con las ecuaciones 3,4,5,6 y una hoja de cálculo se tiene los siguientes resultados:

**Tabla 26.**

*Propiedades físicas del eje de alimentación.*

ELEMENTO	CANT.	DEN.	VOLUM.	MASA	INERCIA	INERCIA TOT.
		$\rho \left( \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right)$	$V(\text{m}^3)$	$m(\text{Kg})$	$I(\text{Kg. m}^2)$	$I(\text{Kg. m}^2)$
<b>Eje Al.</b>	1	7850	0,008	61,78	0,043	0,043
					<b>Total</b>	0,043

La inercia total del rodillo de arrastre es de 0,043 (Kg. m<sup>2</sup>).

### **b) ACELERACIÓN ANGULAR DEL EJE DE ALIMENTACIÓN**

La velocidad lineal del rodillo contra impresión debe acoplarse a la del sistema.

Teniendo una velocidad lineal máxima de 53 m/min. (0,88 m/s).

El diámetro exterior del rodillo contra impresión es de 76,2 mm (0,0762 m).

Aplicando la ecuación 2 se obtiene:

$$w_{al} = \frac{0,88 \frac{m}{s}}{0,0381m}$$

$$w_{al} = 23,09 \frac{rad}{s}$$

En la ecuación 8, se reemplaza los valores de velocidad encontrada y el tiempo de arranque que se determinó en 0,5s:

$$\alpha_{al} = \frac{w}{t}$$

$$\alpha_{al} = \frac{23,09 \frac{\text{rad}}{\text{s}}}{0,5 \text{ s}}$$

$$\alpha_{al} = 46,18 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2}$$

### c) TORQUE

En la ecuación 9 se reemplaza los valores de inercia total y aceleración angular que se hallaron, obteniendo el siguiente resultado:

$$T = I \times \alpha$$

$$T_{al} = 0,043 \text{ Kg. m}^2 \times 46,18 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2}$$

$$T_{al} = 1,98 \text{ Nm}$$

### d) POTENCIA REQUERIDA EN EL RODILLO DE ALIMENTACIÓN

Conocidos los valores de torque y velocidad podemos reemplazar estos en la ecuación 10, obteniendo el siguiente valor:

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

$$P_{al} = \frac{1,98 \text{ Nm} \times 220,49 \text{ rpm}}{9550}$$

$$P_{al} = 0,05 \text{ kW}$$

$$P_{al} = 0,07 \text{ HP}$$

#### 4.3.5 POTENCIA TOTAL REQUERIDA

La potencia requerida por los elementos rotativos de la máquina impresora, es igual la sumatoria de las potencias individuales:

$$P_{requerida \text{ en elementos}} = P_{pc} + P_{rd} + P_{ci} + P_{al}$$

Ecuación 11. Potencia requerida

$$P_{requerida \text{ en elementos}} = 0,29 + 0,163 + 0,20 + 0,07$$

$$P_{requerida} = 0,723 \text{ HP}$$

A más de esto se debe tomar en cuenta los componentes que causan pérdidas. En este caso el motor también deberá suministrar potencia para suplir las pérdidas generadas. Cada uno de estos componentes tiene diferentes porcentajes de eficiencia y se los detalla en la siguiente tabla:

**Tabla 27.**

*Eficiencia de componentes.*

N.	COMPONENTE	EFICIENCIA
		$\eta$ (%)
1	Transmisión por cadena	98
2	Rodamientos	90

Con esto se establece una potencia total requerida, se lo encuentra con la siguiente expresión:

$$P_{requerida\ total} = \frac{P_{requerida\ en\ elementos}}{(\eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3)}$$

$$P_{requerida\ total} = \frac{0,723\ HP}{(0,98 \cdot 0,90)}$$

$$P_{requerida\ total} = 0,82\ HP$$

#### 4.3.6 POTENCIA DEL MOTOR

La potencia total requerida ( $P_{requerida\ total}$ ) para mover los elementos y vencer las fricciones de los componentes de la máquina es de:

$$P_{requerida\ total} = 0,83\ HP$$

Ecuación 12. Potencia total requerida

Adicional se debe considerar un factor de servicio, esto a causa de las condiciones deficientes de trabajo de la máquina a causa de: mal anclaje del motor causando vibraciones excesivas, las largas periodos de operación, la cantidad de arranques, eficiencia de la red eléctrica y malas instalaciones eléctrica, tomando el factor valorado en 1.5, siendo la potencia del motor:

La selección del factor se encuentra en la tabla del ANEXOC.

$$P_{motor} = 0,83 \text{ HP} \times 1,5$$

Ecuación 13. Potencia del motor

$$P_{motor} = 1,24 \text{ HP}$$

#### 4.3.7 SELECCIÓN DEL MOTOR

En base a la potencia del motor ( $P_{motor}$ ), se selecciona uno motor trifásico en el mercado nacional, específicamente en el catálogo de SIEMENS Ecuador, con las siguientes características:

Modelo: SIMOTIC IP55

Potencia nominal: 1,5 HP (1,5 kW)

Voltaje: 220 V

Frecuencia: 60 HZ

Numero de polos: 4

Velocidad de salida: 1750 RPM

La tabla de selección del motor se encuentra en el ANEXO D

#### 4.3.8 SELECCIÓN DEL VARIADOR DE FRECUENCIA

Como sabemos la velocidad que necesita la porta cliché es más bajo que el entregado por el motor, esto se lo puede solucionar con un variador de frecuencia.

La selección se la hace en base a la potencia del motor, las características deben ser igual a las del motor:

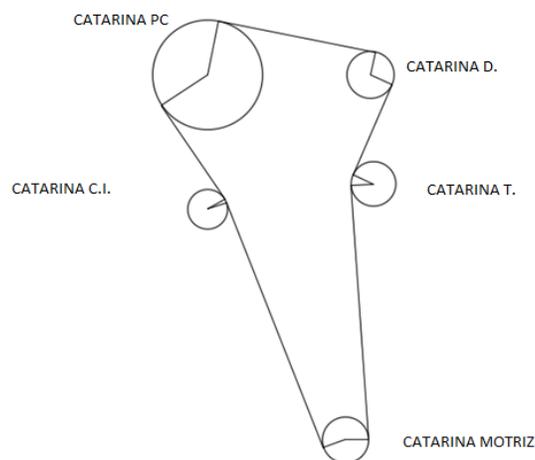
Modelo: SINAMICS MMA, para motor de 1.5 hp, 220 trifásico.

#### 4.4 SELECCIÓN DE ELEMENTOS DE TRANSMISIÓN.

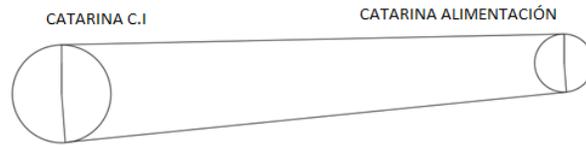
##### 4.4.1 CÁLCULO DEL NÚMERO DE DIENTES DE LAS CATARINAS.

El sistema de transmisión por cadenas de la impresora flexográfica es en dos etapas. Esto se da por la cantidad de elementos, la necesidad de sentido de giro, y de la distribución del cilindro y rodillos.

La distribución es la siguiente:



**Figura 29.** Sistema de transmisión etapa 1



**Figura 30.** Sistema de transmisión etapa 2

Es deseable un gran número de dientes para la catarina motriz, habitualmente resulta ventajoso obtener una catarina tan pequeña como sea posible, por lo cual se requiere una con un pequeño número de dientes. Para una operación suave a velocidades tanto moderadas como altas. Se considera buena práctica emplear una catarina impulsadora con al menos 17 dientes, por supuesto que 19 o 20 dientes proporcionan una mejor esperanza de vida. (Shigley, 2016)

Se selecciona una catarina de 21 dientes para el eje impulsador del motor.

Las relaciones de transmisión que se pueden aplicar son de 1 a 7, siendo estas las más adecuadas para un funcionamiento óptimo. Se hizo una iteración para establecer una relación adecuada teniendo como base el número de dientes de la catarina motriz y la velocidad del cilindro porta cliché, siendo la más adecuada de  $i_{m/pc} = 2,2$ . Con esta relación nos aseguramos que los tamaños de las catarinas no sean muy grandes, cumplan con las velocidades requeridas, y se las pueda encontrar en el mercado.

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{Z_2}{Z_1}$$

Ecuación 14. Relación de transmisión

Donde:

$i$  = Relación de transmisión.

$n_1$  = Velocidad angular de la catarina motriz (RPM).

$n_2$  = Velocidad angular de la catarina conducida (RPM).

$Z_1$  = Número de dientes de la catarina motriz.

$Z_2$  = Número de dientes de la catarina conducida.

Entonces:

Teniendo la relación de transmisión entre la catarina motriz y la catarina conducida ( $i_{m/pc}$ ), con la velocidad angular del cilindro porta cliché ( $w_{pc}$ ), podemos encontrar la velocidad angular de la catarina motriz. Aplicamos la ecuación 12:

$$i_{m/pc} = 2,2$$

$$w_{pc} = 50 \text{ RPM}$$

$$i = \frac{w_m}{w_{pc}}$$

$$w_m = 2,2 \times 50 \text{ RPM}$$

$$w_m = 110 \text{ RPM}$$

Número de dientes de la catarina del cilindro porta cliché:

Aplicando la ecuación 12

$$i_{m/pc} = \frac{Z_{pc}}{Z_m}; Z_m = 21 \text{ dientes}$$

$$Z_{pc} = 2,2 \times 21$$

$$Z_{pc} = 46,2 \text{ dientes}$$

En las tablas de selección de catarinas no se encuentra una de 46,2 dientes, se toma la catarina de 48 dientes.

Número de dientes de la catarina del rodillo dosificador:

Primero se tiene que encontrar la relación de transmisión que se va dar entre la catarina motriz y la catarina del rodillo dosificador. Aplicando la ecuación 12 tenemos:

$$w_m = 110 \text{ RPM}; Z_m = 21 \text{ dientes}; w_{rd} = 114,36 \text{ RPM}$$

$$i = \frac{w_m}{w_{rd}}$$

$$i_{m/rd} = \frac{110}{114,36}$$

$$i_{m/rd} = 0,96$$

Ahora se calcula el número de dientes que debe tener la catarina del rodillo dosificado:

$$i_{m/pc} = \frac{Z_{rd}}{Z_m}$$

$$Z_{rd} = 0,96 \times 21$$

$$Z_{rd} = 20,16 \text{ dientes}$$

No se encuentra número de dientes fraccionarios, por lo que se lo aumenta al inmediato superior que es 21 dientes.

Este mismo procedimiento se lo realizará con las demás catarinas de cada elemento.

Número de dientes de la catarina del rodillo de contra impresión:

$$w_{ci} = 132,42 \text{ RPM}$$

$$i_{m/ci} = \frac{110}{132,42}$$

$$i_{m/ci} = 0,83$$

Entonces:

$$i_{m/ci} = \frac{Z_{rd}}{Z_m}$$

$$Z_{ci} = 0,83 \times 21$$

$$Z_{ci} = 17,43 \text{ dientes}$$

No se encuentra número de dientes fraccionarios, por lo que se lo aumenta al inmediato superior que es 18 dientes a la catarina del rodillo contra impresión.

Número de dientes de la catarina de eje de alimentación:

$$w_{ar} = 220,60 \text{ RPM}$$

$$i_{m/ar} = \frac{110}{220,60}$$

$$i_{m/ar} = 0,50$$

Entonces:

$$i_{m/ar} = \frac{Z_{ar}}{Z_m}$$

$$Z_{ar} = 0,50 \times 21$$

$$Z_{ar} = 10,5 \text{ dientes}$$

No se encuentra número de dientes fraccionarios, por lo que se lo aumenta al inmediato superior que es 11 dientes a la catarina de los rodillos de alimentación.

#### 4.4.2 Selección de la cadena de transmisión.

Para la selección de la cadena parte desde el dato de la potencia nominal ( $P_m$ ) en kW, y de la velocidad de la catarina motriz en RPM. Esto nos permite ubicarnos en las tablas de proveedor. El procedimiento indica que se debe definir una potencia corregida.

$$P_{\text{corregida}} = f \times P_m$$

### Ecuación 15. Potencia corregida

Donde:

$P_{\text{corregida}}$  = Potencia corregida (kW).

$f$  = Factor de trabajo.

$P_m$  = Potencia nominal del motor (kW).

(Joresa, 2016)

De acuerdo al tipo de carga, las máquinas impresoras tienen un factor de trabajo ( $f$ ) igual a 1. La tabla de selección de factor se encuentra en el ANEXOF

$$P_m = 1,5 \text{ HP ( 1.12 kW) ; } f = 1$$

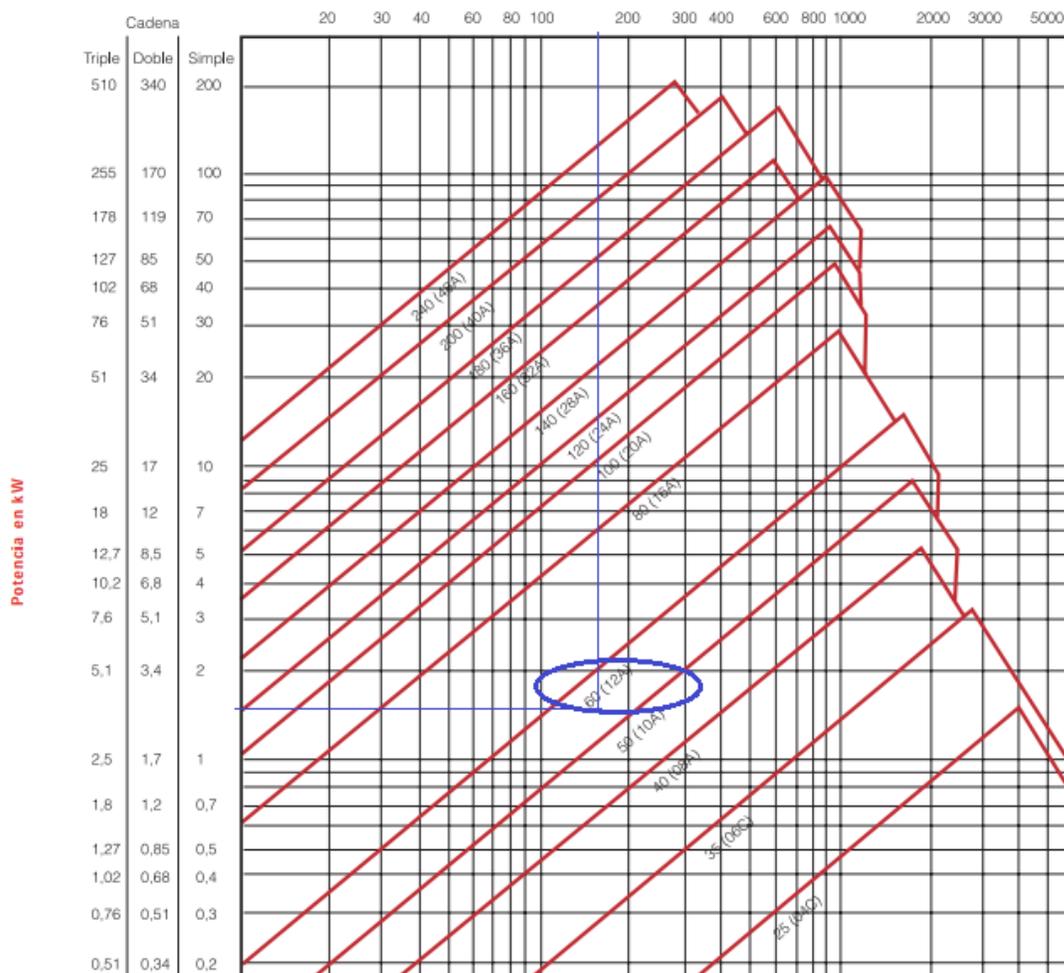
Aplicando la ecuación 13 tenemos:

$$P_{\text{corregida}} = 1 \times 1,12$$

$$P_{\text{corregida}} = f \times P_m$$

$$P_{\text{corregida}} = 1,12 \text{ kW}$$

Como vemos el factor que correspondió no modifico el valor de la potencia nominal. Con estos valores seleccionamos



**Figura 31.** Gráfico para la selección de cadenas Norma ISO 606 (Serie americana). (Joresa, 2016)

La intersección en la gráfica corresponde a una cadena con especificación número 60, por lo que está tiene un paso igual a 3/4 de pulgada. Esto significa que cuando se escoja las catarinas se lo debe hacer con las especificaciones de número de dientes son el paso.

Numero de cadena: # 60.

Paso: 3/4 de pulgada.

#### 4.4.3 Longitud de cadena.

Como la distribución de las catarinas se la hace por conforme a la ubicación de los elementos, no se puede aplicar la formula básica para hallar la longitud de la cadena. Lo que se hace es trazar trayectoria de la cadena, realizando un sumatorio total de las longitudes rectas y las longitudes de arco, este procedimiento se lo realiza mediante la siguiente formula:

$$L_{cadena} = \frac{1}{p} \sum_{i=1}^{i=n} L_{Ti} + \sum_{i=1}^{i=n} \frac{\beta_i \cdot Z_i}{360}$$

Ecuación 16. Longitud de cadena

Donde:

$L_{cadena}$  = Longitud de la cadena (pulg.)

$p$  = Paso de la cadena (pulg.)

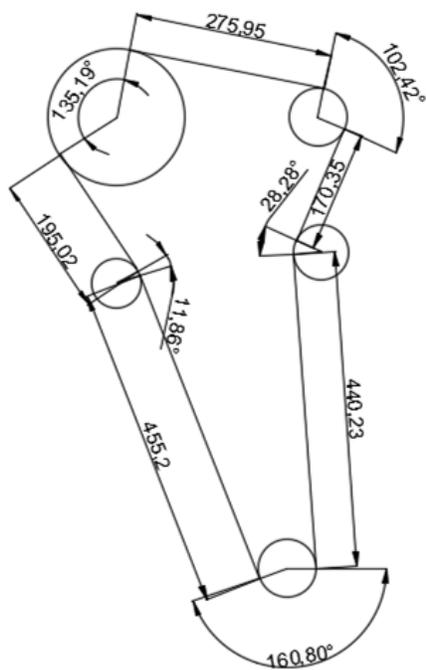
$L_{Ti}$  = Longitud parcial de cada tramo recto (pulg.)

$\beta_i$  = Angulo de contacto (grados)

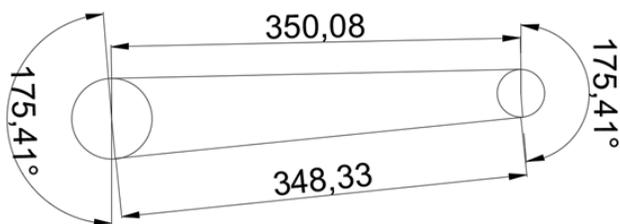
$Z_i$  = Número de dientes.

Entonces:

Se analiza las siguientes gráficas donde está la ubicación de las catarinas, y la trayectoria de la cadena de las dos etapas de transmisión.



**Figura 32.** Trayectoria sistema de cadena etapa 1



**Figura 33.** Trayectoria sistema de cadena etapa 2.

Para los dos esquemas se utiliza la ecuación 14. El cálculo se lo hace por separado para cada una.

$$L_1 = \frac{4}{3}(17,33 + 6,70 + 10,86 + 7,67 + 17,92) +$$

$$\left[ \left( \frac{160,8 \times 21}{360} \right) + \left( \frac{28,28 \times 20}{360} \right) + \left( \frac{102,42 \times 21}{360} \right) + \left( \frac{135,19 \times 48}{360} \right) + \left( \frac{11,86 \times 18}{360} \right) \right.$$

$$\left. + \left( \frac{175,41 \times 18}{360} \right) + \left( \frac{175,41 \times 11}{360} \right) \right]$$

$$L_1 = 116,6 \text{ pulg}$$

La longitud de cadena de la primera etapa de transmisión es aproximadamente 2962 mm

$$L_2 = \frac{4}{3}(13,76 + 13,71) + \left[ \left( \frac{175,41 \times 18}{360} \right) + \left( \frac{175,41 \times 11}{360} \right) \right]$$

$$L_2 = 50,4 \text{ pulg}$$

La longitud de cadena de la segunda etapa de transmisión es aproximadamente 1280 mm

#### 4.5 Fuerzas en catarinas.

Para que cada elemento rotativo tenga el movimiento es necesario que exista una fuerza que genere el torque necesario para que se produzca este efecto. Esta magnitud de fuerza se traslada directamente al elemento donde está montado la catariana.

La ecuación para analizar las fuerzas en cada catarina es la siguiente:

$$F = \frac{T}{\left(\frac{D}{2}\right)}$$

Ecuación 17. Fuerza tangencias en catarina

Donde:

$F$  = Fuerza tangencial en catarina (N)

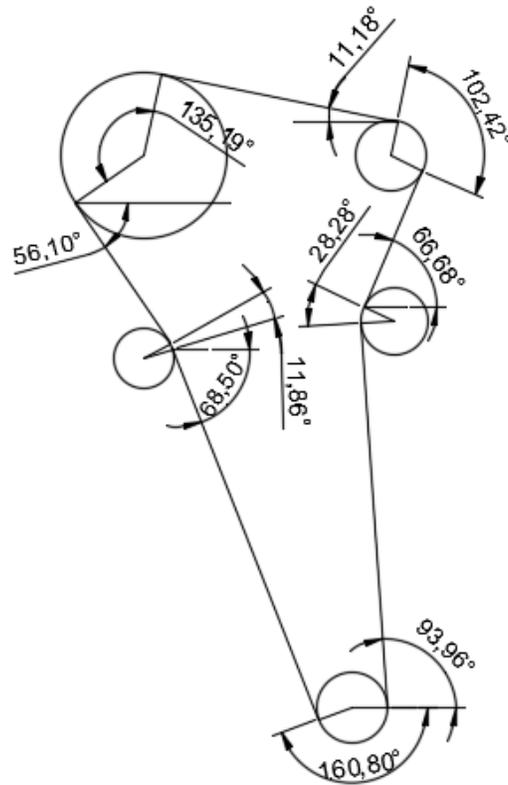
$T$  = Torque (Nm)

$D$  = Diámetro de paso de la Catarina (m)

Las dos configuraciones del sistema de transmisión presentan diferentes ángulos de contacto para la aplicación de la fuerza, esto representa que las fuerzas flexionantes en los ejes tienen dos componentes.

Las fuerzas se encontrarán a base del torque necesario para romper la inercia de cada rodillo y de los diámetros de paso de cada catarina.

La distribución de las catarinas en las dos etapas es la siguiente:



**Figura 34.**Ángulos de contacto etapa 1.

- Catarina 1 es la motriz, es la que mueve a las demás catarinas.
- Catarina 2 es móvil, esta cumplirá la función de templador.
- Catarina 3 transmite el movimiento al rodillo dosificador.
- Catarina 4 transmite el movimiento al cilindro porta cliché.
- Catarina 5 y 6 transmite el movimiento al rodillo contra impresión.

Catarina 7 transmite el movimiento al eje de alimentación.

#### 4.5.1 Cálculo de fuerza en catariana del r. d.

$$T_{rd} = 10,29 \text{ Nm}$$

$$D_{c3} = 127,81 \text{ mm}$$

Aplicando la ecuación 17

$$F = \frac{T}{\left(\frac{D}{2}\right)}$$

$$F_{t3} = \frac{10,29 \text{ Nm}}{\left(\frac{0,127 \text{ m}}{2}\right)}$$

$$F_{t3} = 162,05 \text{ N}$$

$$(F_{t3})_y = 162,05 \times \text{sen}(11,18^\circ)$$

$$(F_{t3})_y = 31,42 \text{ N}$$

$$(F_{t3})_z = 162,05 \times \text{cos}(11,18^\circ)$$

$$(F_{t3})_z = 158,97 \text{ N}$$

#### 4.5.2 Cálculo de fuerza en catariana del cilindro p.c.

$$T_{pc} = 36,92 \text{ Nm}$$

$$D_{c4} = 291,26 \text{ mm}$$

Aplicando la ecuación 17

$$F = \frac{T}{\left(\frac{D}{2}\right)}$$

$$F_{t4} = \frac{36,70 \text{ Nm}}{\left(\frac{0,291 \text{ m}}{2}\right)}$$

$$F_{t4} = 252,23 \text{ N}$$

$$(F_{t4})_y = 252,23 \times \text{sen}(56,1^\circ)$$

$$(F_{t4})_y = 209,35 \text{ N}$$

$$(F_{t4})_z = 252,23 \times \text{cos}(56,1^\circ)$$

$$(F_{t4})_z = 140,68 \text{ N}$$

#### 4.5.3 Cálculo de fuerza en catariana del cilindro c.i.

$$T_{ci} = 10,81 \text{ N}$$

$$D_{c5} = 109,70 \text{ mm}$$

Aplicando la ecuación 17

$$F = \frac{T}{\left(\frac{D}{2}\right)}$$

$$F_{t5} = \frac{10,81Nm}{\left(\frac{0,1097 m}{2}\right)}$$

$$F_{t5} = 197,08 N$$

$$(F_{t4})_y = 197,08 x \text{ sen } (68,5^\circ)$$

$$(F_{t4})_y = 183,36 N$$

$$(F_{t4})_z = 197,08 x \text{ cos } (68,5^\circ)$$

$$(F_{t4})_z = 72,93N$$

#### 4.5.3 Cálculo de fuerza en catariana del e.a.

$$T_{rd} = 1,98 Nm$$

$$D_{c7} = 67,57 mm$$

Aplicando la ecuación 17

$$F = \frac{T}{\left(\frac{D}{2}\right)}$$

$$F_{t7} = \frac{1,98Nm}{\left(\frac{0,06757 m}{2}\right)}$$

$$F_{t7} = 58,61 N$$

$$(F_{t7})_y = 58,57 x \text{ sen } (9^\circ)$$

$$(F_{t7})_y = 9,16 \text{ N}$$

$$(F_{t7})_z = 58,57x \text{ cos } (9^\circ)$$

$$(F_{t7})_z = 57,89 \text{ N}$$

#### 4.6 Dimensionamiento del eje del cilindro porta cliché.

El cilindro porta cliché está configurada como muestra la figura. El eje soporta el peso del cilindro. En una de las puntas del eje está montado una de las catarinas, por lo que también se debe tomar en cuenta al momento del análisis.

El peso total del cilindro es de 110.75 kg, y de la catarina 7,85 kg.

#### Diagrama de fuerza y momento plano X-Y

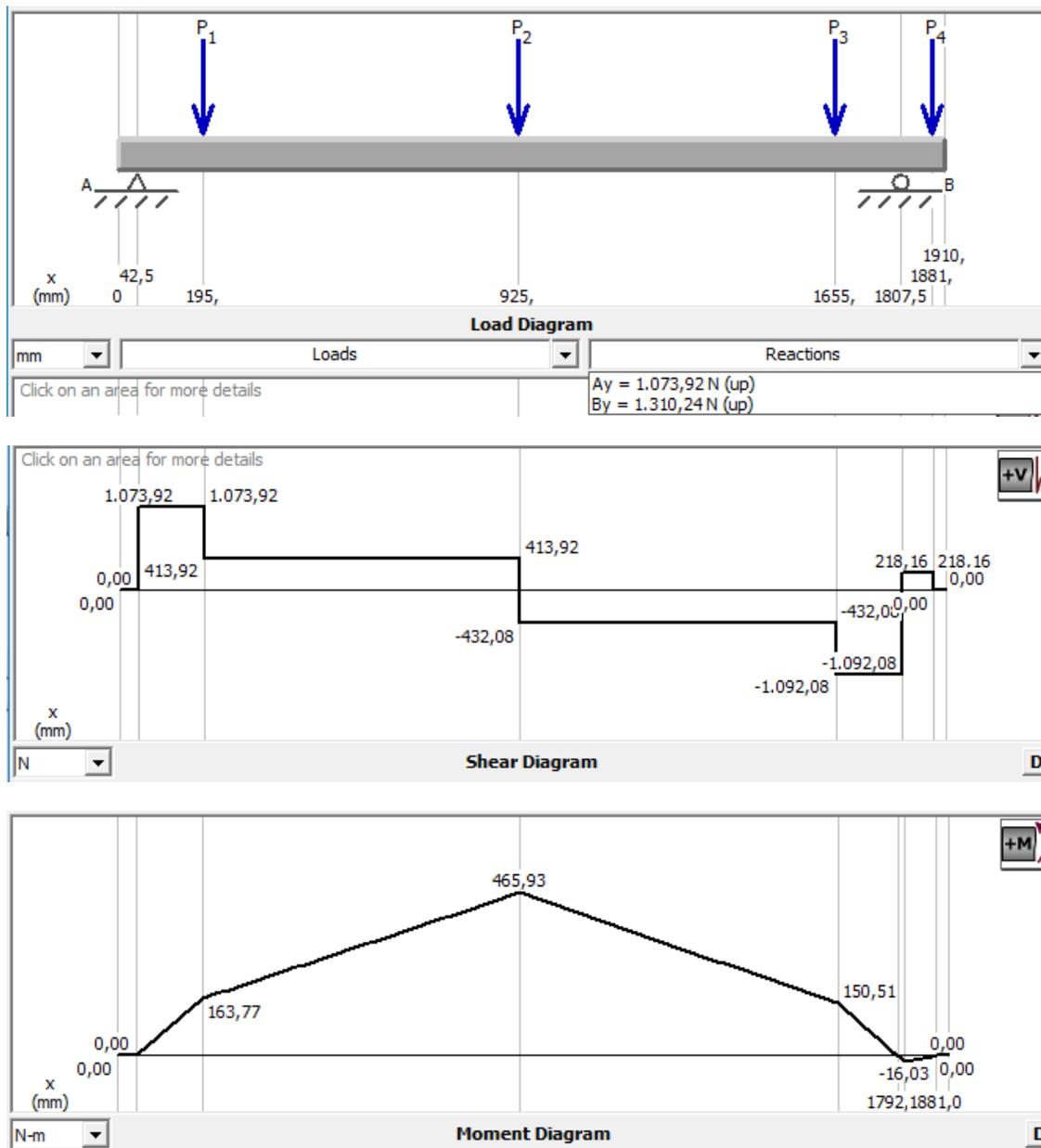
Las cargas que soporta el eje en este plano son las siguientes:

Mitad del peso del cilindro porta cliché:  $W_{PC} = P_1 = P_3 = 539 \text{ (N)}$

Peso del eje porta cliché :  $W_{\text{eje PC}} = P_2 = 845,15 \text{ (N)}$

Peso de caratina:  $W_{C4} = P_3 = 76,93 \text{ (N)}$

Fuerza de catarina en eje Y:  $F_{C4Y} = P_4 = 186,36 \text{ (N)}$



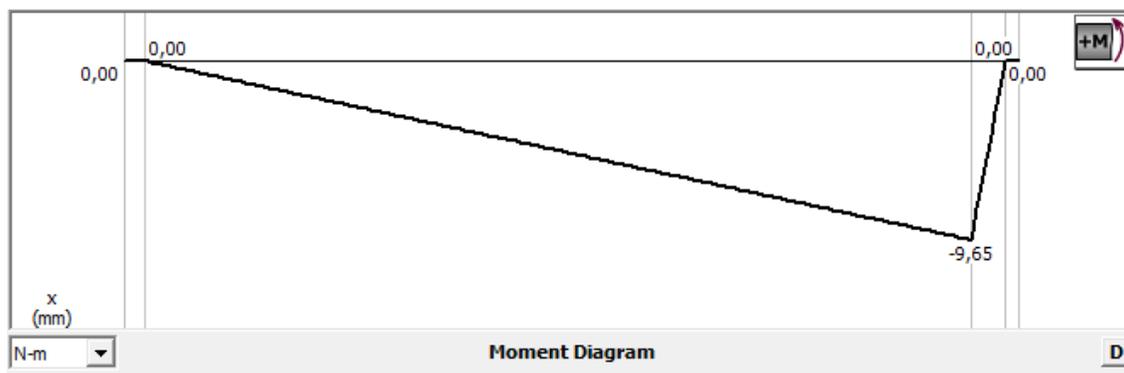
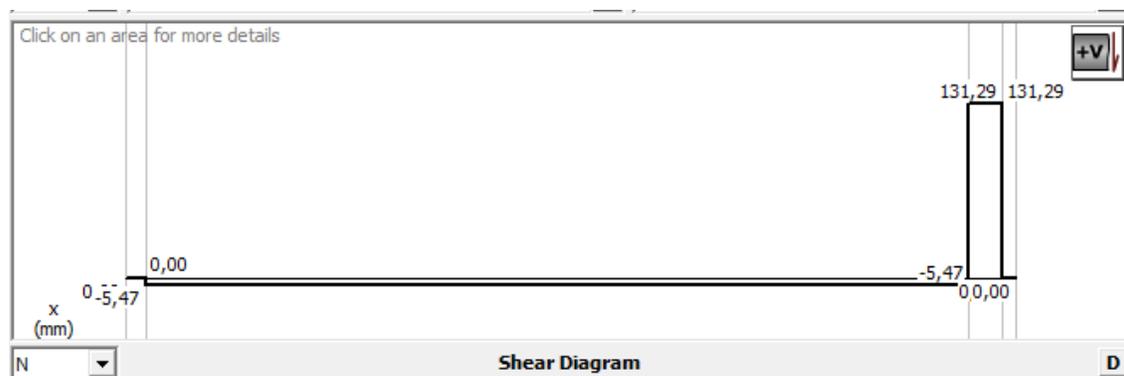
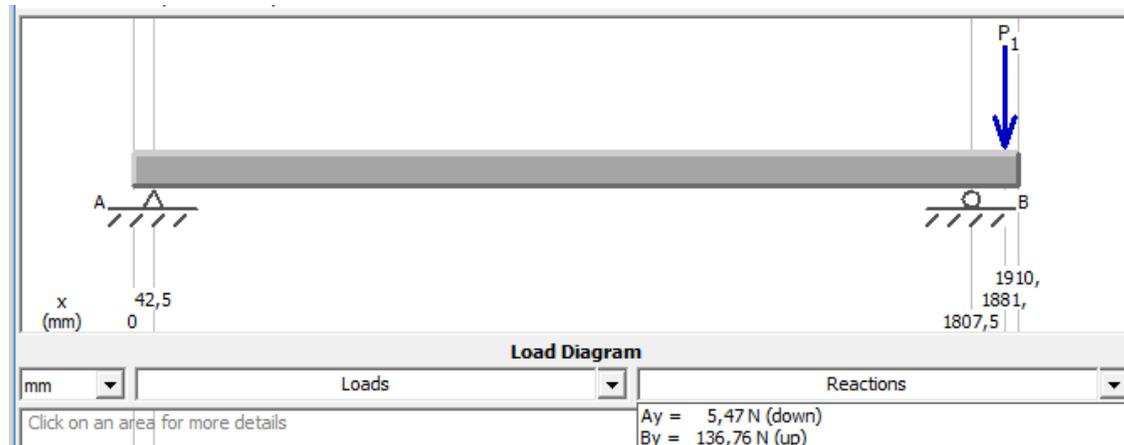
**Figura 35.** Diagramas de fuerza y momento plano X-Y

El mayor momento en el plano X-Y se da en la mitad del eje y es de 465,93 Nm.

### Diagrama de fuerza y momento plano X-Z

Las cargas que soporta el eje en este plano son las siguientes:

Fuerza de catarina en eje Z :  $F_{C4Z} = P_1 = 131,29 \text{ (N)}$



**Figura 36.** Diagrama de fuerza y momento plano X-Z

El momento máximo en este plano se da en el soporte de del rodamiento y es de  $9,65 \text{ Nm}$ .

## Diseño estático

Para aplicar cualquier teoría de falla estática se debe conocer tanto el esfuerzo flexionante y torsional.

$$\sigma = \frac{32 M}{\pi d^3}$$

Ecuación 18.Esfuerzo flexionante

Donde:

$\sigma$ = Esfuerzo flexionante ( $MP_a$ )

$M$ = Momento flector (Nm)

$d$ = Diámetro del punto analizado (m)

$$\tau = \frac{T r}{J}$$

Ecuación 19.Esfuerzo torsional

Donde:

$\tau$ = Esfuerzo torsional ( $MP_a$ )

$T$ = Par de torsión (Nm)

$r$ = Radio del punto analizado (m)

$J$ = Segundo momento polar del área ( $m^4$ )

$$J = \frac{\pi d^4}{32}$$

Ecuación 20. Segundo momento polar del área.

El análisis estático se la hará en base a la teoría de la energía de la distorsión.

$$\sigma' = \frac{S_y}{n}$$

Ecuación 21. Energía de la distorsión.

Donde:

$\sigma'$  = Esfuerzo de von Mises ( $MP_a$ )

$S_y$  = Resistencia a la fluencia ( $MP_a$ )

$n$  = Factor de seguridad estático (Nm)

El análisis se hará en la mitad del eje donde se encuentra el momento máximo.

Aplicando la ecuación 18

$$\sigma = \frac{32 ( 465,93 Nm)}{\pi (0,0889 m)^3}$$

$$\sigma = 7099885,7 \frac{N}{m^2}$$

$$\sigma = 7,2 MP_a$$

Aplicando la ecuación 20

$$J = \frac{\pi (0,0889 m)^4}{32}$$

$$J = 0,0000061 m^4$$

Aplicando la ecuación 19

$$\tau = \frac{(36,92 Nm) (0,0445 m)}{(0,0000061 m^4)}$$

$$\tau = 269334,42 \frac{N}{m^2}$$

$$\tau = 0,27 MP_a$$

El material del eje es acero de transmisión AISI 1018, sus propiedades son:

$$S_y = 220 \text{ MPa}$$

$$S_{ut} = 400 \text{ MPa}$$

Aplicando la ecuación 19

$$(\sigma_x^2 + \tau_{xy}^2)^{1/2} = \frac{S_y}{n}$$

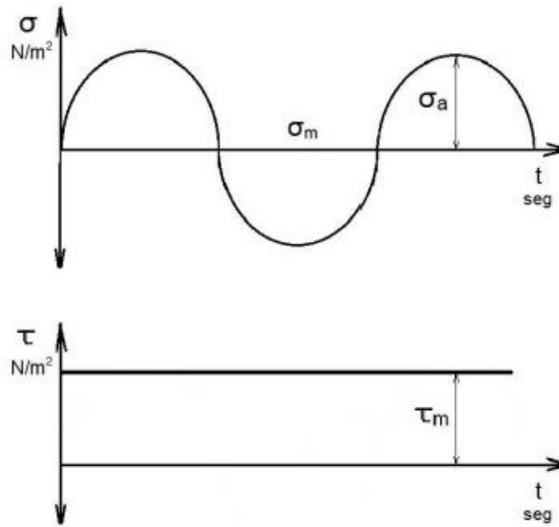
$$n = \frac{(220 \text{ MPa})}{[(7,1 \text{ MPa})^2 + (0,27 \text{ MPa})^2]^{1/2}}$$

$$n = 30$$

### Diseño por fatiga

El eje genere esfuerzos de torsión constante y esfuerzo de flexión variables (Esfuerzos invertidos).

Se hace un estudio de esfuerzos alternantes.



**Figura 37.** Gráfica de esfuerzos alternantes

$$\sigma_m = 0, \tau_a = 0$$

El análisis de fatiga se lo hace en base del criterio de falla por fatiga de Soderberg.

$$\frac{\sigma_a'}{S_e} + \frac{\sigma_m'}{S_y} = \frac{1}{n}$$

Ecuación 22. Factor de seguridad Soderberg

Donde:

$\sigma_a'$  = Esfuerzo de amplitud equivalente ( $MP_a$ )

$\sigma_m'$  = Esfuerzo medio equivalente ( $MP_a$ )

$S_e$  = Limite de resistencia a la fatiga ( $MP_a$ )

$S_y$  = Resistencia a la tención ( $MP_a$ )

$n$  = Factor de seguridad

$$\sigma_a' = \sqrt{(k_f \sigma_a)^2 + 3(k_{fs} \tau_a)^2}$$

Ecuación 23. Esfuerzo de amplitud flexionante

Donde:

$\sigma_a$  = Componente de esfuerzo de amplitud flexionante ( $MP_a$ )

$\tau_a$  = Componente de esfuerzo de amplitud torsional ( $MP_a$ )

$k_f$  = Factor de concentración de esfuerzos por fatiga

$k_{fs}$  = Factor de concentración de esfuerzos por fatiga.

$$\sigma_m' = \sqrt{(k_f \sigma_m)^2 + 3(k_{fs} \tau_m)^2}$$

Ecuación 24. Componente de esfuerzo medio flexionante

Donde:

$\sigma_m$  = Componente de esfuerzo medio flexionante ( $MP_a$ )

$\tau_m$  = Componente de esfuerzo medio torsional ( $MP_a$ )

Para hallar el límite de resistencia a la fatiga se aplica la ecuación de Marín.

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e S_e'$$

Ecuación 25. Límite de resistencia a la fatiga

Donde:

$S_e'$  = Límite de resistencia a la fatiga en viga rotatoria ( $MP_a$ )

$k_a$  = Factor de modificación de la condición superficial

$k_b$  = Factor de modificación del tamaño

$k_c$  = Factor de modificación de la carga

$k_d$  = Factor de modificación de la temperatura

$k_e$  = Factor de modificación de confiabilidad

Todas las tablas para la selección de factores por fatiga se encuentran en el ANEXO G

Aplicamos la ecuación 23

$$3\tau_a^2 = 0$$

$$\sigma_a' = \sqrt{(7,1 MP_a)^2}$$

$$\sigma_a' = 7,1 MP_a$$

Aplicamos la ecuación 24

$$\sigma_m^2 = 0$$

$$\sigma_m' = \sqrt{3(0,27 MP_a)^2}$$

$$\sigma_m' = 0,47 MP_a$$

Aplicamos la ecuación 24

$$S_e' = 0,5 S_{ut}$$

$$S_e' = 0,5 (400 MP_a)$$

$$S_e' = 200 MP_a$$

Se aplica los factores modificadores

$$k_a = 0,92 \text{ (Acabado superficial maquinado)}$$

$$k_b = 0,75 \text{ (} 51\text{mm} < d \leq 254 \text{ mm)}$$

$$k_c = 1 \text{ (Combinación de carga de flexión y torsión)}$$

$$k_d = 1 \text{ (Temperatura ambiente)}$$

$$k_e = 1 \text{ (Confiabilidad del 50 \%)}$$

$$S_e = (0,92)(0,75)(1)(1)(1)(200 \text{ MP}_a)$$

$$S_e = 138 \text{ MP}_a$$

Aplicamos 22

$$\frac{(7,1 \text{ MP}_a)}{(138 \text{ MP}_a)} + \frac{(0,47 \text{ MP}_a)}{(220 \text{ MP}_a)} = \frac{1}{n}$$

$$n = 18,45$$

El proceso se puede repetir con los demás elementos rotativos.

## SELECCIÓN DE RODAMIENTOS

El eje que soporta el cilindro porta cliché está ubicado sobre dos cojinetes, uno en el punto A y otro en el punto B. Con las reacciones encontradas en cada punto se

establece una reacción resultante en el de mayor magnitud, con este se cubrirá las necesidades de carga de los dos puntos de apoyo.

Para el cálculo se considera los siguientes datos:

Vida de diseño = 30000 horas

Velocidad de giro = 50 (rpm)

Confiabilidad = 90%

$$R_{By} = 849,11 \text{ N}$$

$$R_{Bz} = 137,89 \text{ N}$$

Diámetro interno de cojinete= 40 (mm)

La reacción resultante en el punto B es:

$$R_b = \sqrt{(849,11)^2 + (137,89)^2}$$

$$R_b = 860,23 \text{ N}$$

Para la selección del rodamiento se lo hace en base a la vida nominal básica en horas:

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

Ecuación 26. Vida nominal en horas de servicio.

La fórmula utilizada se la saca del catálogo general de rodamientos SKF, la referencia se le encuentra en el ANEXO H

Donde:

$L_{10h}$  = Vida nominal en horas de servicio (h)

$n$  = Velocidad constante de rotación (rpm)

$C$  = capacidad de carga dinámica (N)

$P$  = Carga dinámica equivalente sobre el rodamiento (N)

$p$  = Exponente de la ecuación de la vida

$p = 3$  , para rodamientos de bolas

Se asume que las cargas dinámicas son constantes en magnitud y sentido, y actúan radialmente.

Despejamos la capacidad de carga dinámica de la ecuación

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

Aplicamos la ecuación 29 despejada

$$C = 860.23 N \left( \frac{30000 \cdot 60 \cdot 50}{1000000} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$C = 3853,69 N$$

Se verificas en tablas el rodamiento la capacidad de carga dinámica que tiene un rodamiento de bolas para un diámetro interior de 60 mm, este no debe ser menor que se ha calculado.

El rodamiento seleccionado en el catálogo satisface la capacidad de carga dinámica. La tabla se encuentra en el ANEXO H

#### **4.7 Análisis mediante elementos finitos.**

Se realiza un análisis de esfuerzos con el software de Inventor. Esté se hace todos los elementos. El objetivo es tener una mayor compresión y seguridad de los resultados de análisis de esfuerzos

Lo que verifica es :

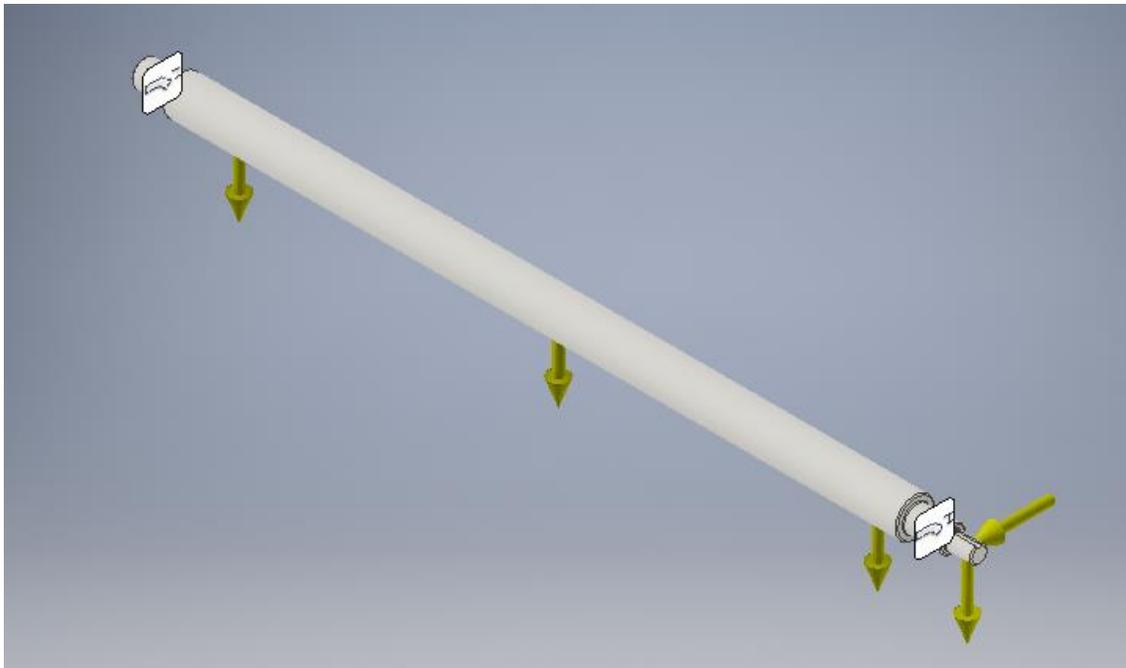
- Esfuerzo de von mises.
- Desplazamiento máximo.
- Factor de seguridad.

#### 4.7.1 Análisis de eje porta cliché.

El eje tiene una longitud total de 1854 mm, el diámetro mayor es de 88,9 mm. El material utilizado es el acero AISI 1018.

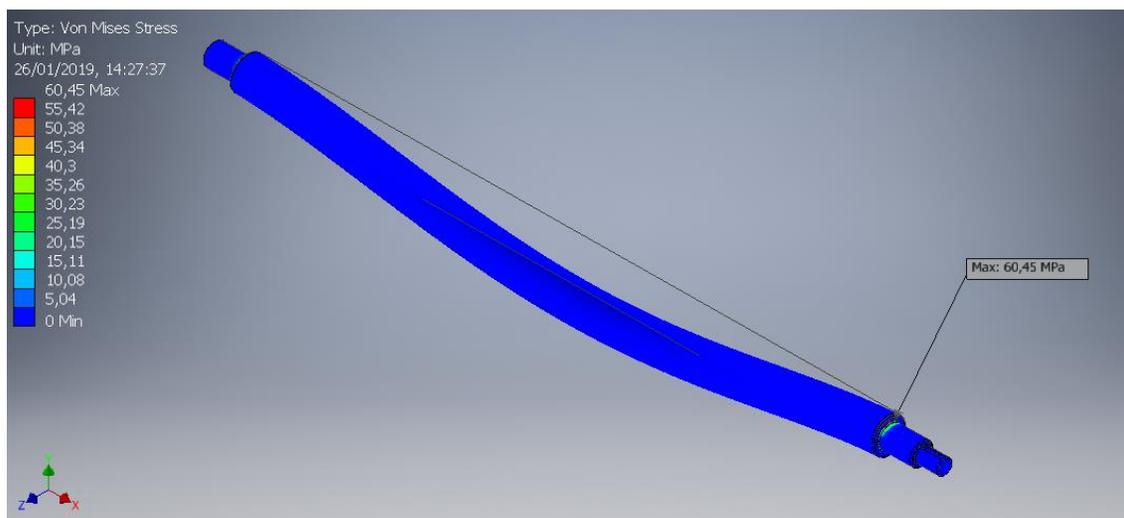
Las cargas que se consideran son:

- Peso del cilindro porta cliché:  $W_{PC} = 1078 \text{ (N)}$
- Peso del eje porta cliché :  $W_{\text{eje PC}} = 845,15 \text{ (N)}$
- Peso de caratina:  $W_{C4} = 76,93 \text{ (N)}$
- Fuerza de catarina en eje Y:  $(F_{t4})_y = P_4 = 186,36 \text{ (N)}$
- Fuerza de catarina en eje Z :  $(F_{t4})_z = P_1 = 131,29 \text{ (N)}$



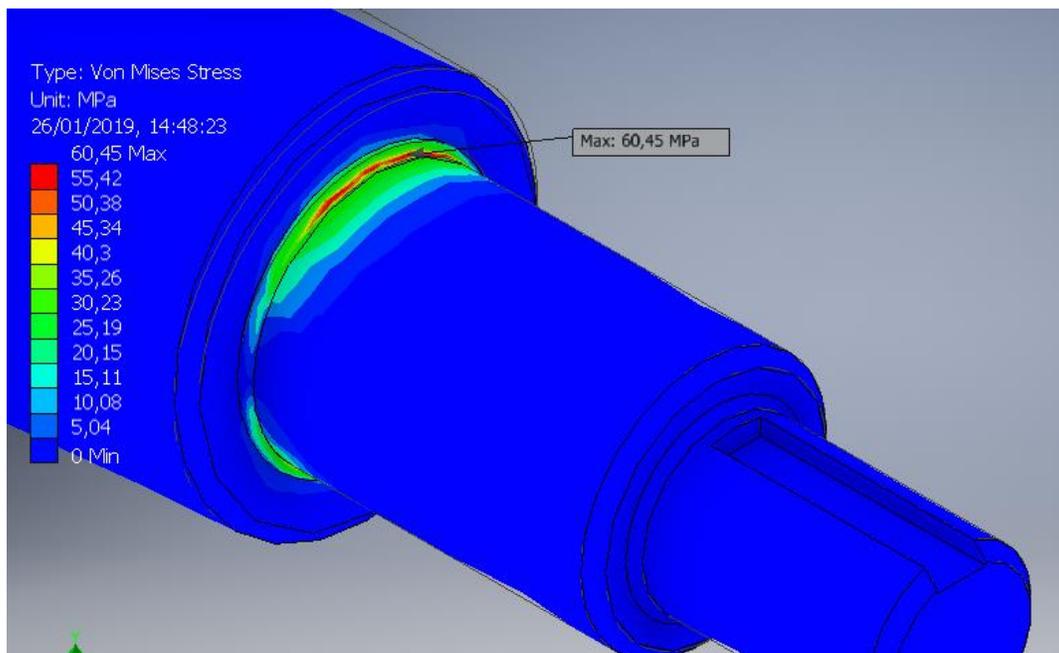
**Figura 38.** Diagrama de Cuerpo libre para el cilindro portacliché.

El programa arroja los resultados. Lo primero que se ve es el área donde se genera el mayor esfuerzo, este está ubicado en la zona pintada de rojo.



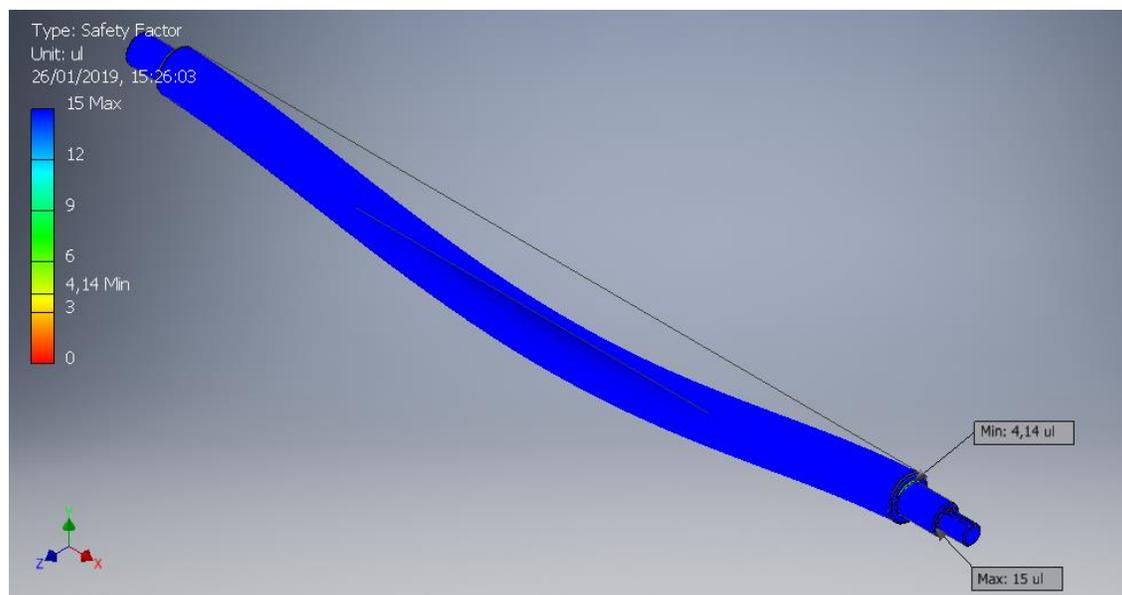
**Figura 39** Esfuerzos Von Mises para el cilindro portacliche.

La zona de cambio de sección donde se encuentra el hombro para el rodamiento, con un diámetro de 60 mm se genera el esfuerzo mayor de 60,45 MPa. Esto se da principalmente por que la carga de todo el eje y el cilindro porta cliché se apoya sobre esta sección donde va ubicado los rodamientos.



**Figura 40.** Esfuerzos V.M. para el cilindro portacliche alojamiento del rodamiento

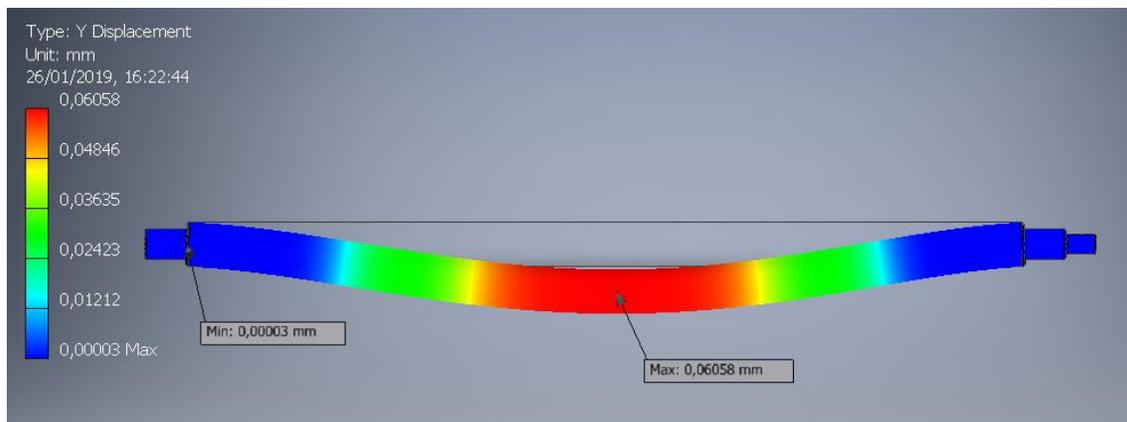
El factor de seguridad en la zona de mayor esfuerzo es de 4, y de 15 en la mayoría de zonas del eje. Básicamente esto quiere decir que todos los esfuerzos generados en el elemento no sobrepasan la resistencia a la fluencia del material seleccionado.



**Figura 41.** Factor de seguridad para el cilindro portacliche.

El desplazamiento del eje en la dirección Y es el factor importante para la selección del diámetro adecuado para el eje porta cliché. El mayor desplazamiento es de 0,061 mm y se da en la mitad del eje. En este punto el diámetro del eje es de 88,9 mm con un factor de seguridad de 15, se lo puede considerar alto, pero se justifica por:

- La longitud total del eje que es 1910 mm, que es considerable.
- No puede haber desplazamientos que puedan afectar la impresión, esto puede ocurrir si se considera diámetros menores.
- Se debe considerar los cambios de sección, en uno de ellos se encuentra el mayor esfuerzo, con un factor de seguridad 4.



**Figura 42.** Desplazamiento en Y para el cilindro portacliché.

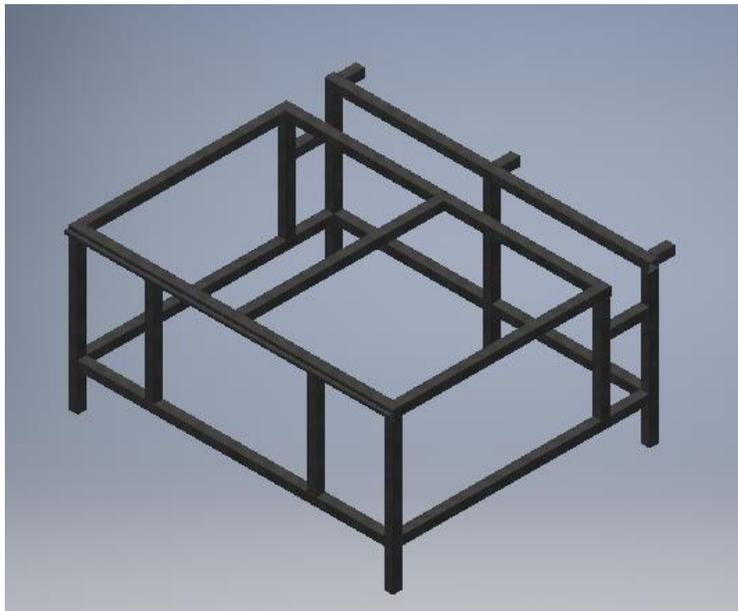
#### 4.7.2 Análisis de estructura de alimentación.

Para el diseño de la estructura, se hace un análisis mediante el programa de inventor. Mediante programa se podrá establecer:

- Geometría de la estructura de alimentación.
- Selección de perfiles y materiales para cada elemento de la estructura.
- Restricciones.
- Ubicación de fuerzar en en los puntos donde se encuentra cada carga.
- Analisis de resultados.en este caso se verificara los elementos en donde haya mayor desplazamiento y esfuerzos.

### Geometría de la estructura

En función de aspectos como: ubicación de elementos, ergonomía, dimensiones de material de producción se estableció la siguiente configuración de la estructura:



**Figura 43.** Estructura para el módulo de alimentación

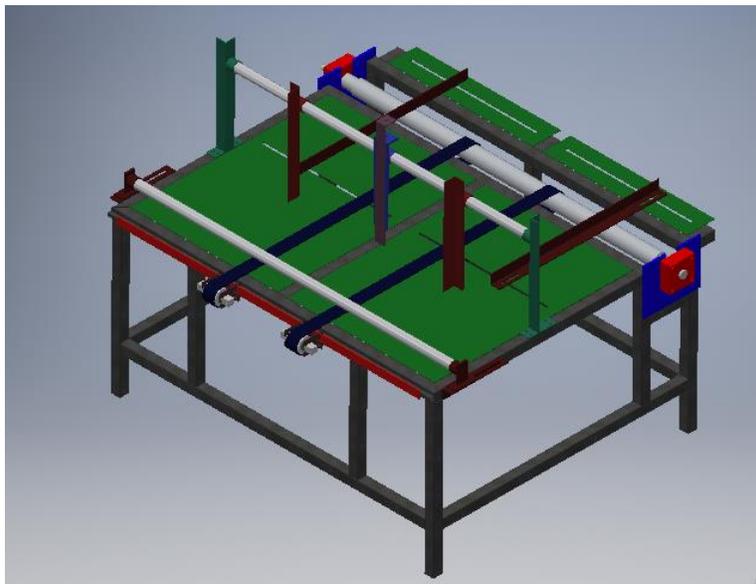
Las dimensiones de la estructura son: largo = 1710 mm, ancho = 1520 mm, altura = 850 mm, y un peso aproximado de 63,45 Kg.

### Selección de perfiles y materiales

La selección del perfil se lo hace en base al material que existe en el mercado, uno de los más utilizados es tubo cuadrado. El que se propone para esta estructura es de las dimensiones (50 x 50 x 2) mm de acero estructural ASTM A36.

### Restricciones y ubicación de fuerzas

Sobre la estructura se encuentran varios elementos que generan fuerzas puntuales sobre los elementos. Cada uno de estos tienen su y ubicación y son las siguientes:



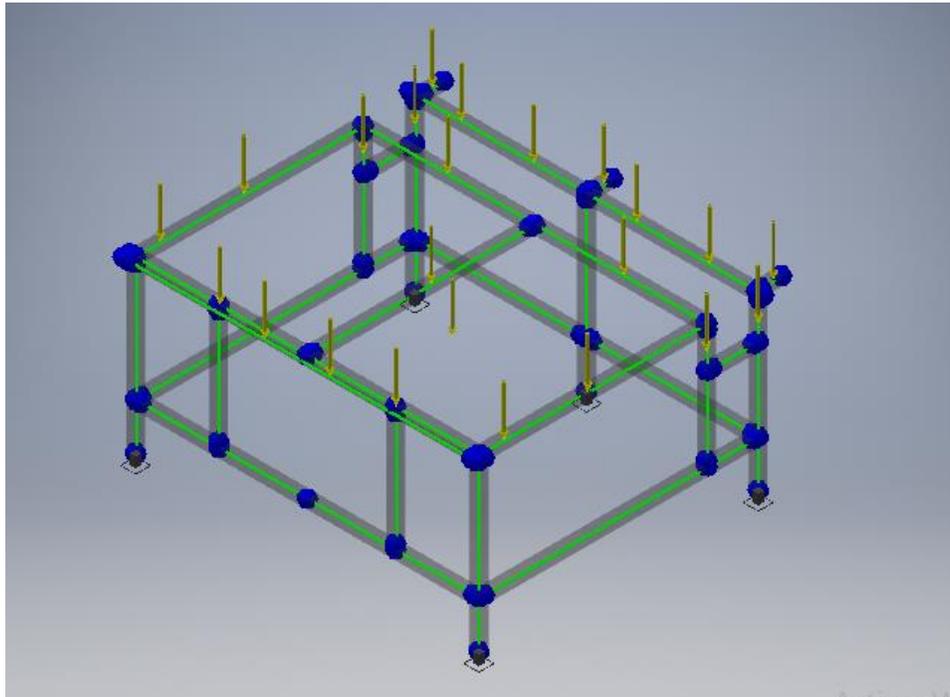
**Figura 44.** Módulo de alimentación

- Plancha soporte de rueda: 0,5 Kg
- Rueda: 0,3 Kg

- Barra guía para calibración: 19,65 Kg
- Guía para calibración de espesor: 1,97 Kg
- Placa reguladora de espesor: 1,2 Kg
- Soportes laterales: 2,3 Kg
- Topes laterales: 1,48 Kg
- Barra para apoyo de láminas: 21,72 Kg
- Soportes laterales para láminas: 0,73 Kg
- Eje de alimentación: 61,78 Kg
- Placa para soportar el eje de alimentación: 5,1 Kg
- Placas delanteras para mesa delantera: 13,72 Kg
- Placas delanteras para mesa delantera: 1,77 Kg

La sumatoria de peso de todos estos elementos es de 158.12 Kg, es decir que el peso total de la mesa y los elementos es de 221,57 Kg.

Todos estos pesos generan fuerzas sobre la estructura y se las ubica de la siguiente manera:

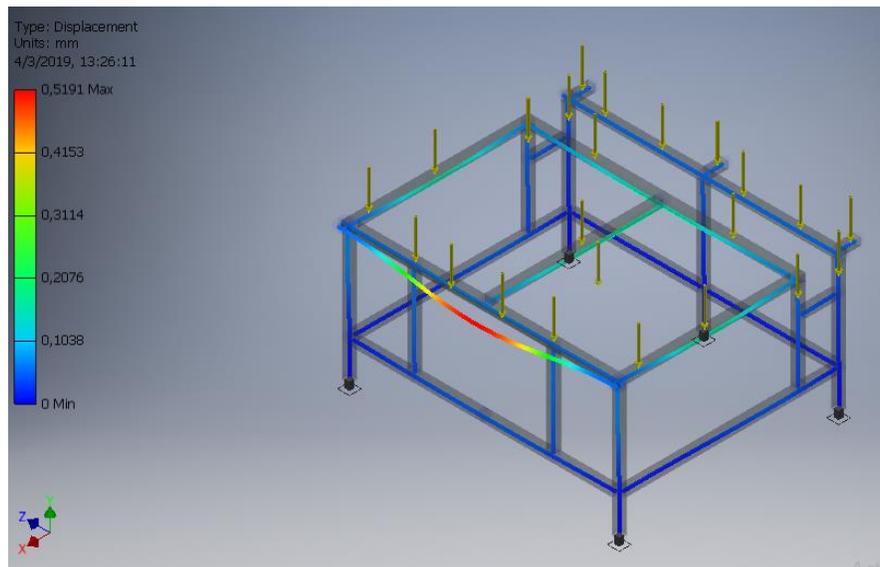


**Figura 45.**D.C.L. para el módulo de alimentación

### **Análisis de resultados**

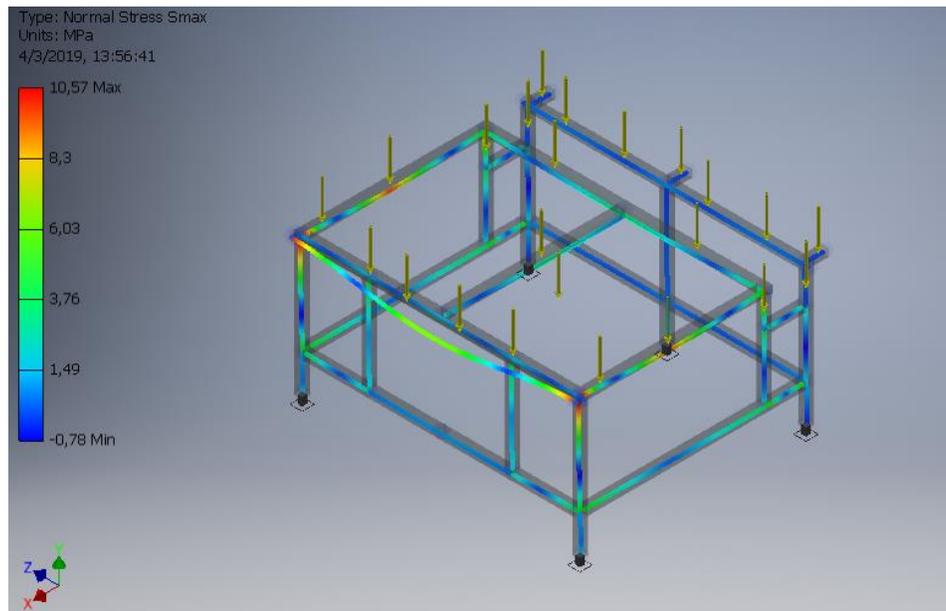
Hay dos principales aspectos que afectan a los elementos de esta estructura: elementos que resultan con la mayor deformación, y elementos con esfuerzo mayor generado.

Según la norma AISC hay una limitación de deformación en función de la longitud del elemento en este caso se utilizará la relación  $L/240$ . La longitud del elemento más largo es de 1710 mm por lo tanto la deflexión permisible es de 7,125 mm.



**Figura 46.**Desplazamientos para el módulo de alimentación

Como podemos ver en la gráfica el elemento que está pintado de rojo posee la deflexión máxima que corresponde al valor de 0,52 mm, este valor se lo considera aceptable ya que está por debajo de la deformación permisible.



**Figura 47.** Esfuerzos normales para el módulo de alimentación

La gráfica muestra las zonas de los elementos en donde se genera los mayores esfuerzos, siendo el de 10,57 MPa el de mayor valor, siendo este valor muy bajo para provocar deformación permanente.

Se concluye de la configuración y el perfil seleccionado es el adecuado para la estructura de alimentación.

#### **4.7.3 Análisis de estructura de impresión.**

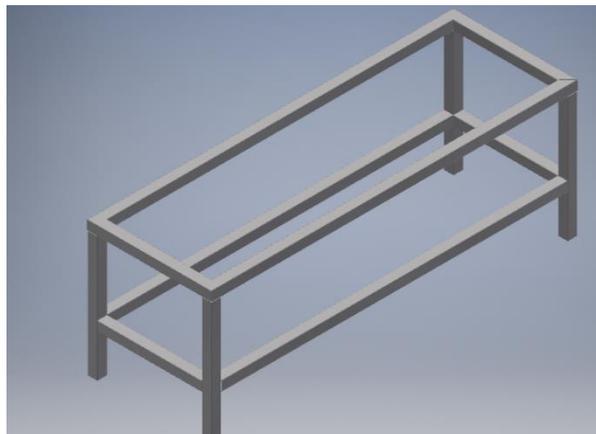
Para el diseño de la estructura, se hace un análisis mediante el programa de inventor. Mediante programa se podrá establecer:

- Geometría de la estructura de alimentación.
- Selección de perfiles y materiales para cada elemento de la estructura.
- Restricciones.

- Ubicación de fuerzar en en los puntos donde se encuentra cada carga.
- Analisis de resultados.en este caso se verificara los elementos en donde haya mayor desplazamiento y esfuerzos.

### Geometría de la estructura

En función de aspectos como: ubicación de elementos, ergonomía, dimensiones de material de producción se estableció la siguiente configuración de la estructura:



**Figura 48.**Estructura para el módulo de impresión

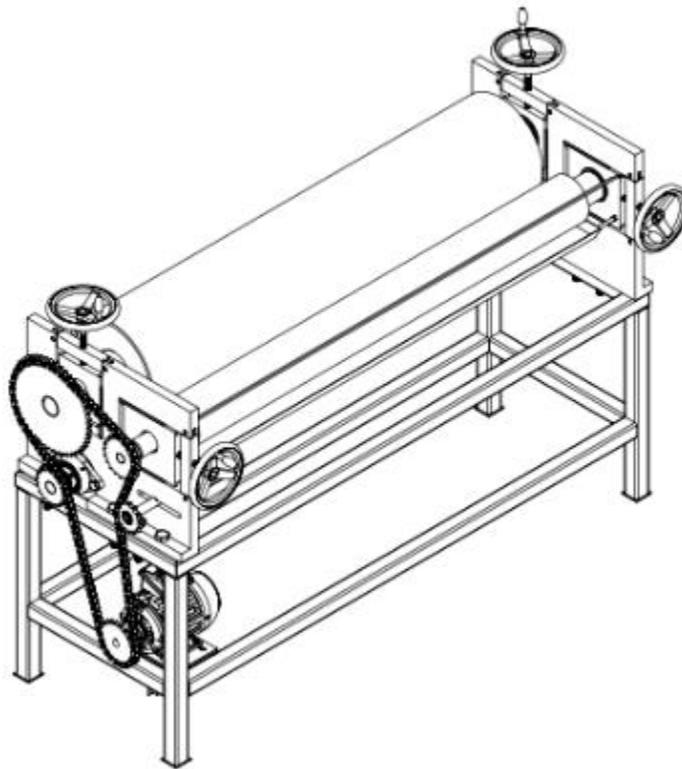
Las dimensiones de la estructura son: largo = 1823 mm, ancho = 619 mm, altura = 672 mm, y un peso aproximado de 34,33 Kg.

### Selección de perfiles y materiales

La selección del perfil se lo hace en base al material que existe en el mercado, uno de los más utilizados es tubo cuadrado. El que se propone para esta estructura es de las dimensiones (50 x 50 x 2) mm de acero estructural ASTM A36.

### Ubicación de fuerzas

En la placa soporte se alojan todos los elementos del módulo de impresión. La placa transmite toda la fuerza sobre la estructura, al final está carga será distribuida.

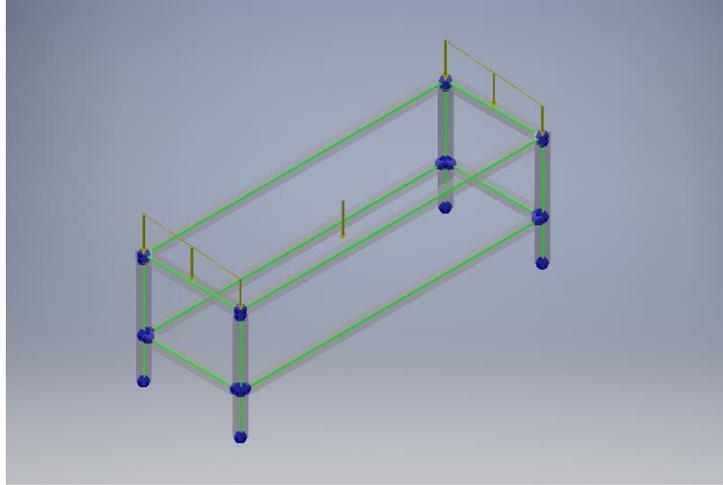


**Figura 49.** Módulo de impresión

- Cilindro porta cliché: 110,75 Kg
- Nervio: 9,75Kg (2)
- Eje contra impresión: 162,39 Kg
- Eje dosificador: 160,69 Kg
- Placa soporte: 47,22 Kg (2)
- Buje: 2,54 Kg (2)
- Eje desplazador: 0,53 Kg
- Placa para ajuste horizontal: 6,36 Kg (2)
- Placa para ajuste vertical: 3,86 Kg (2)
- Guía: 0,54 Kg (4)
- Tope roscado: 1,93 Kg (4)
- Rasqueta: 2,96 Kg
- Bandeja: 4,30 Kg

La sumatoria de peso de todos estos elementos es de 677,19 Kg, es decir que el peso total del módulo de alimentación y los elementos es de 711,52 Kg.

La carga distribuida se ubica en los elementos de la estructura.

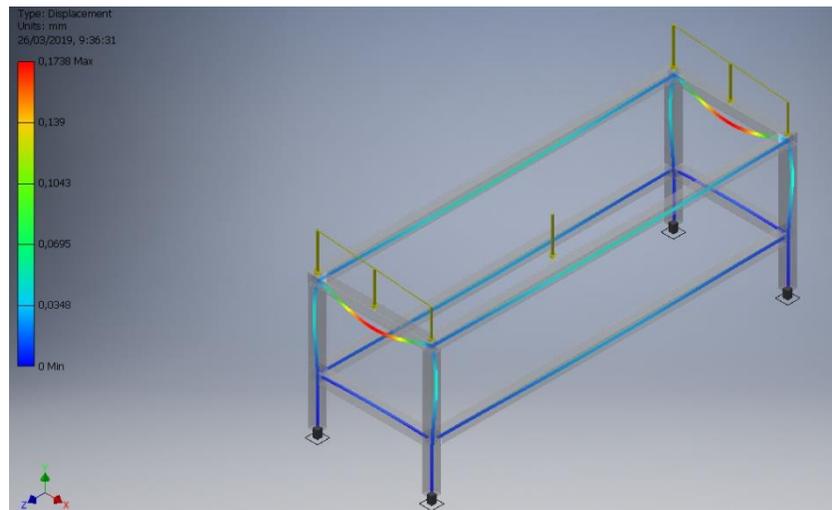


**Figura 50.**D.C.L.del módulo de impresión

### **Análisis de resultados**

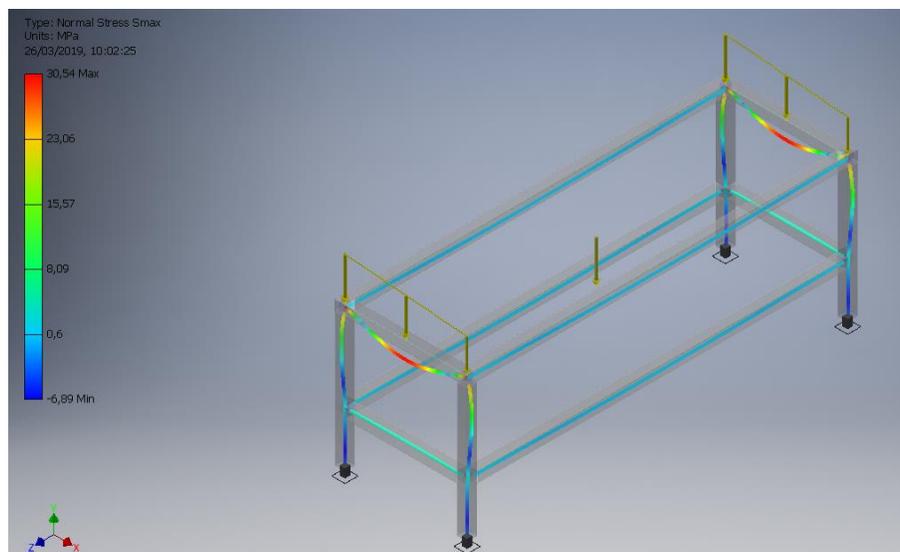
La carga distribuida afecta principal a dos de los elementos.

Según la norma AISC hay una limitación de deformación en función de la longitud del elemento en este caso se utilizará la relación  $L/240$ . La longitud del elemento donde se va ubicar la carga distribuida es de 619 mm por lo tanto la deflexión permisible es de 2,58 mm.



**Figura 51.** Desplazamientos para el módulo de impresión.

Como podemos ver en la gráfica el elemento que está pintado de rojo posee la deflexión máxima que corresponde al valor de 0,1738 mm, este valor se lo considera aceptable ya que está por debajo de la deformación permisible.



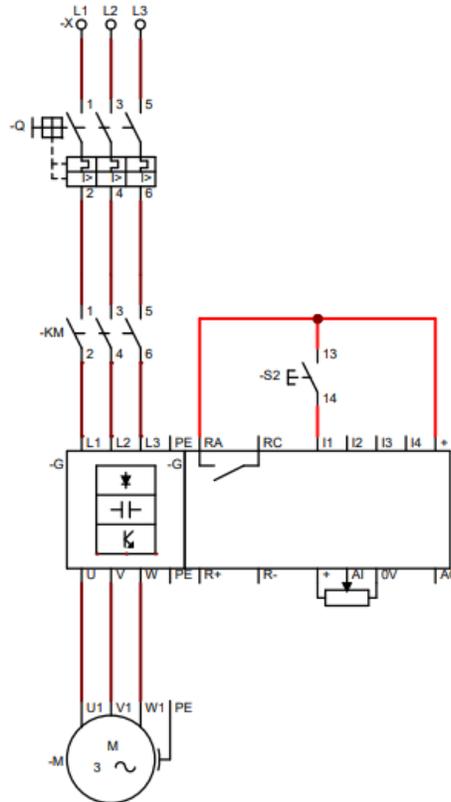
**Figura 52.** Esfuerzos normales para el módulo de impresión

La gráfica muestra las zonas de los elementos en donde se genera los mayores esfuerzos, siendo el de 30,54 MPa el de mayor valor, este valor muy bajo para provocar deformación permanente.

Se concluye de la configuración y el perfil seleccionado es el adecuado para la estructura de alimentación.

#### **4.8 Diseño de circuito eléctrico.**

Para el funcionamiento eléctrico de la impresora flexográfica, este debe contar con un circuito de potencia y de control, estas se los presenta a continuación:

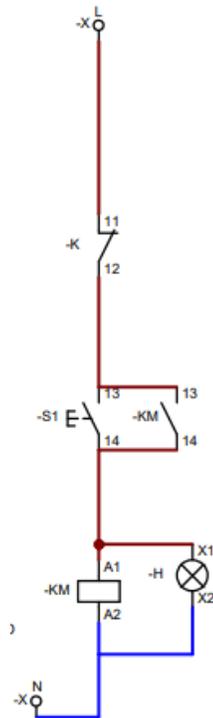


**Figura 53.** Circuito de potencia y control

El circuito de potencia tiene los siguientes elementos:

- Variador de frecuencia para motor 1,5 hp.
- Motor trifásico 1,5 hp.
- Breker 10 A.
- Contactador LCD10.
- Rele de fases.

Para poner en funcionamiento se debe contar con un circuito de control:



**Figura 54.** Circuito de potencia y control puesto a marcha

Este circuito consta de :

- Pulsador NA marcha.
- Pulsador NC ( Paro de emergencia).
- Potenciometro.
- Piloto de marcha.

## CAPÍTULO 5

### ANÁLISIS DE COSTOS

#### 5.1 Introducción.

Este capítulo estudia el costo monetario que implica el diseño y construcción de la Impresora Flexográfica. Hay varios rubros que deben ser tomados en cuenta para obtener el valor total, para esto se analiza los costos directos y costos indirectos.

Para el Costo total Directo se toma en cuenta:

- Materia prima.
- Elementos normalizados.
- Costos de fabricación.
- Costos de montaje.

Para el Costo total Indirecto se toma en cuenta:

- Materiales indirectos.
- Costos de ingeniería
- Gastos imprevistos.

## 5.2 Análisis de costos directos.

### 5.2.1 Costos de materia prima.

Los costos de la materia prima involucran a todos los materiales para la fabricación de todos los elementos que compone la máquina de impresión flexográfica. La siguiente tabla muestra los costos mencionados.

**Tabla 28.**  
*Costos de materia prima*

MATERIAL	CANTIDAD	VALOR	VALOR
		UNITARIO (USD)	TOTAL (USD)
Tubo de acero ASTM A-36; Øe= 323,85 ; Øi= 304,8 ; L=1500mm	1	337,95	337,95
Eje de acero SAE 1018; Ø= 88,9 (3,5 pulg.); L=1900mm	1	137,52	137,52
Eje de acero SAE 1018; Ø= 127 (5 pulg.); L=2000mm	2	259,82	519,64
Eje de acero SAE 1018; Ø= 76,2 (3 pulg.); L=1940mm	1	98,83	98,83
Tubo cuadrado de acero ASTM A-36; 50 X 2 pul.; L= 6000mm	6	15,93	95,58
Plancha de acero ASTM A-36 A= 1200 X 870mm; e= 30mm	1	267,6	267,6
Plancha de acero ASTM A-36 A= 1200 X 500mm; e= 10mm	1	45	45
Eje hueco de acero ASTM A-36; Ø= 114,3 (4,5 pulg.); L=90mm	1	32	32
Eje de acero AISI 1020; Ø= 25,4 (1 pulg.); L=670mm	1	6,78	6,78

CONTINÚA 

Eje de acero AISI 1020; Ø= 12,7 (1/2 pulg.); L=170mm	1	3,86	3,86
Pletina de acero ASTM A-36 A= 700X 500mm; e= 5 mm	1	14,38	14,38
Plancha de acero inox AISI 304 A= 1640X 145 mm; e= 1,5 mm	1	94,7	94,7
Plancha de acero AISI 1020 A= 860X 1110 mm; e= 2 mm	2	16,18	32,37
Plancha de acero AISI 1020 A= 670X 70 mm; e= 3 mm	1	8,34	8,34
Eje de acero AISI 1020; Ø= 30mm ; L=240mm	1	5,23	5,23
Eje de duralon PA Tipo 6; Ø= 76,2 (3 pulg.) ; L=170mm	1	21,45	21,45
Angulo de acero ASTM A-36; 50 X 4 pul.; L= 6000mm	1	13,89	13,89
Varilla redonda Ø= 50,8 (2 pulg.) ; L=170mm	2	6,12	6,12
Recubrimiento de caucho Nitrilo, e=5mm, L=1500	1	1014	1014
Banda corrugada; e=5mm; Ancho= 50mm; L=1700	2	118.89	237,78
		<b>SUBTOTAL</b>	<b>2993,02</b>

### 5.2.2 Costos de elementos normalizados.

Estos son elementos que se utilizan en máquina, se basan en una especificación de una norma y su compra se la hace mediante catálogo.

**Tabla 29.**  
*Costos de elementos normalizados.*

MATERIAL	CANTIDAD	VALOR	VALOR
		UNITARIO (USD)	TOTAL (USD)
<b>MOTOR 4 POLOS 1800RPM 1.5 HP SIEMENS</b>	1	149,04	149,04
<b>Variador de frecuencia para 1,5 hp</b>	1	277,2	277,2
<b>Pulsador verde</b>	1	26,59	26,59
<b>Pulsador rojo</b>	1	26,59	26,59
<b>Potenciómetro Compacto</b>	1	107,05	107,05
<b>Borneras</b>	<b>12</b>	<b>16,42</b>	<b>16,42</b>
<b>Breaker 2P X25 AMP</b>	1	32,76	32,76
<b>Material menudo</b>	1	80	80
<b>Gabinete 80X60X30</b>	1	169,56	169,56
<b>Rodamiento rígido de bolas , Di= 60 mm.</b>	2	19,94	39,88
<b>Rodamiento rígido de bolas , Di= 55 mm</b>	2	22,45	44,9
<b>Chumacera de pared, Di= 50 mm</b>	4	28,37	56,74
<b>Chumacera de pared, Di= 40 mm</b>	2	20,07	40,14
<b>Catarina paso 3/4, # Dientes= 21</b>	2	24,56	49,12
<b>Catarina paso 3/4, # Dientes= 48</b>	1	161, 53	161,53
<b>Catarina paso 3/4, # Dientes= 18</b>	2	21,72	43,4

CONTINÚA 

<b>Catarina paso 3/4, # Dientes= 11</b>	1	10,05	10,05
<b>Catarina paso 3/4, # Dientes= 15</b>	1	17,64	17,64
<b>Cadena paso 3/4, N60, L= 3000mm</b>	2	50,04	100,08
<b>Elementos de sujeción (Varios)</b>	1	25	25
<b>SUBTOTAL</b>			<b>1473,69</b>

### 5.2.3 Costos de maquinado.

Este costo se basa en todo lo relacionado con la mano de obra directa para la manufactura de los elementos que componen la máquina.

**Tabla 30.**  
*Costos de maquinado.*

MÁQUINA	COSTO HORA MÁQUINA ( USD/h)	TIEMPO MÁQUINADO ( h)	COSTO TOTAL ( USD )
Torneado	10	20	200
Soldadura Eléctrica	8	40	320
Oxicorte	10	11	110
Cortadora de disco	4	5	20
<b>SUBTOTAL</b>			<b>1147,5</b>

### 5.2.4 Costos de montaje.

El costo del montaje conlleva todo lo que se refiere al armado, conectado de los elementos de la máquina de impresión flexográfica.

**Tabla 31.**  
*Costos de montaje*

PERSONAL	CANTIDAD	TIEMPO	COSTO	COSTO
			HORA ( USD / h )	TOTAL ( USD)
<b>Electromecánico</b>	1	15	5	75
<b>Ayudante</b>	1	15	2,5	37,5
			<b>SUBTOTAL</b>	<b>112,5</b>

#### 5.2.4 Costos directo total.

**Tabla 32.**  
*Costos directo total*

RUBRO	VALOR USD
<b>MATERIA PRIMA</b>	2993,02
<b>ELEMENTOS NORMALIZADOS</b>	1463,37
<b>MAQUINADO</b>	1147,5
<b>MONTAJE</b>	112,5
<b>SUBTOTAL</b>	<b>5716,39</b>

### 5.3 Análisis de costos indirectos.

#### 5.3.1 Costos materiales indirectos.

Es el costo de todos los materiales que ayudan a la construcción de la máquina de impresión flexográfica.

**Tabla 33.**  
*Costos materiales indirectos*

MATERIAL	CANTIDAD	VALOR UNITARIO ( USD)	VALOR TOTAL ( USD)
Disco de corte	4	5,3	21,2
Solución Desengrasante- Desoxidante (lt)	3	6,3	18,9
Electrodo 6011 (1kg)	5	4,56	22,8
Pintura Anticorrosiva ( Galon)	1	28,5	28,5
Thinner ( lt)	2	5	10
		<b>SUBTOTAL</b>	<b>101,4</b>

#### 5.3.2 Costos de ingeniería.

Son los costos del tiempo invertido en el diseño de la máquina de impresión flexográfica.

**Tabla 34.**  
*Costos de ingeniería*

ACTIVIDAD	TIEMPO (h)	COSTO (USD)
Estudio de campo	10	100
Definición del problema	2	
Investigación del tema a tratar	3	
Búsqueda de alternativas	3	800
Selección de alternativa	3	
Diseño y selección de los componentes	40	
Realización de planos	50	350
Memoria técnica	40	100
	<b>SUBTOTAL</b>	<b>1350</b>

### 5.3.3 Costos imprevistos.

**Tabla 35.**  
*Costos imprevistos*

RUBRO	VALOR USD
MOVILIZACIÓN	40
TRANSPORTE DE MATERIAL	40
PLOTEO DE PLANOS	30
IMPRESIÓN DE DOCUMENTOS	30
VARIOS	30
SUBTOTAL	<b>170</b>

### 5.3.4 Costos indirecto total.

**Tabla 36.**

*Costos indirectos totales*

RUBRO	VALOR
	<b>USD</b>
<b>MATERIAL INDIRECTO</b>	101,4
<b>IMPREVISTOS</b>	170
<b>INGENIERÍA</b>	1350
<b>SUBTOTAL</b>	<b>1621,4</b>

### 5.4 Costo total de impresora flexográfica.

**Tabla 37.**

*Costo total*

RUBRO	VALOR
	<b>USD</b>
<b>COSTO DIRECTO TOTAL</b>	5716,39
<b>COSTO INDIRECTO TOTAL</b>	1621,4
<b>SUBTOTAL</b>	<b>7337,79</b>

## CAPÍTULO 6

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 6.1 Conclusiones

- Se consigue el objetivo del diseño efectivo de la impresora flexográfica. Fue importante establecer un procedimiento de recopilación de información para poder entender el proceso de impresión obteniendo así unas especificaciones de máquina adecuadas para el inicio del diseño.
- Fue importante obtener información en base a la entrevista, en función de esta y con investigación se pudo establecer alternativas para el diseño. Estas alternativas se enfocaron más hacia el área de alimentación de láminas ya que la configuración del proceso de impresión flexográfica es único.
- El diseño mecánico de cada elemento de máquina se lo hizo conforme a procedimientos ya establecidos. Cada uno de estos debe cumplir con requisitos de dimensionamiento y resistencia, cabe mencionar que en el proceso de impresión no se genera mayor esfuerzo sobre los elementos rotativos, es por esta razón que se enfocó el análisis en los elementos en los cuales se genera mayores esfuerzos, en este caso es el eje que soporta al cilindro porta cliché.
- Se realizó análisis de esfuerzos mediante software de Inventor, éste es importante ya que se pudo contrastar resultados y poder observar las ubicaciones precisas donde se genera las mayores deflexiones y esfuerzos.

- Todos los elementos normalizados y materiales se lo escogieron en base a lo existe en el mercado nacional.
- Los planos están realizados en base a la norma, cada uno de ellos contiene la información necesaria para el entendimiento de su configuración y medidas.
- El análisis de costos indica el valor que cuesta la fabricación de la Impresora Flexográfica, con este se comparó con los costos de las cotizaciones de Impresoras en el mercado, se concluyó que se ahorra hasta un 60% del costo total de máquina.

## 6.2 Recomendaciones.

- Para establecer las preguntas de la entrevista para la recopilación de información es necesario investigar sobre el tema; a más que las preguntas no deben inducir a una respuesta específica.
- En el proceso de diseño no tomar en cuenta el esfuerzo que se realizaría en los elementos rotativos, este es muy bajo, ya que el material con el que se trabaja es cartón y en el proceso de impresión necesita a penas el mínimo contacto entre por ejemplo el cilindro porta cliché y la lámina de cartón.
- Al momento de selección de material verificar si existe en el mercado nacional. Por ejemplo, en el diseño de la impresora se pudo escoger tubos en vez de ejes sólidos, con esto se podría haber evitado tener mayor peso total de la máquina, pero los tubos se los debe comprar en longitud en bruto, esto repercute en el costo de la máquina.
- Cuando se realiza el análisis de esfuerzos de los elementos con software inventor, procurar que las fuerzas y restricciones estén bien ubicadas, ya que de esto dependo una variación considerable en los resultados finales.

## BIBLIOGRAFÍA

- Accsa. (22 de 02 de 2017). *Formas de Corrugado*. Obtenido de Accsa:  
[http://www.corrugando.com/index.php?option=com\\_content&view=article&id=158:i-fasciculo-manual-de-impresion-flexografica-sobre-el-carton-corrugado&catid=16:edicion-16&Itemid=18](http://www.corrugando.com/index.php?option=com_content&view=article&id=158:i-fasciculo-manual-de-impresion-flexografica-sobre-el-carton-corrugado&catid=16:edicion-16&Itemid=18)
- Agusgrafica. (30 de 05 de 2014). *Impresión flexográfica*. Obtenido de Awesome Inc.:  
<http://agusgrafica13.blogspot.com/2013/05/impresion-flexografia.html>
- Amo, G. (04 de 11 de 2014). *Interempresas.net*. Obtenido de Interempresas.net:  
(<http://www.interempresas.net/Graficas/Articulos/115479-Las-tintas-de-impresion.html>)
- Aracri Silvani, F. (09 de 05 de 2016). *La Ciencia del envase y enbalaje*. Obtenido de La Ciencia del envase y enbalaje.:  
<http://consultoresfca.blogspot.com/2009/04/calculando-la-longitud-y-deformacion-de.html>
- Aromi, J. (26 de 02 de 2016). *Producción Flexográfica*. Obtenido de Jordiaromi:  
<http://www.jordiaromi.com/fotopolimeros-costes-iniciales-en-la-produccion-flexografica>
- Bernal, M. (04 de 03 de 2016). *Los Rodillos de Grabado*. Obtenido de Los Rodillos de Grabado.: <https://tecnicasdegrabado.es/2010/los-rodillos-de-grabado>
- Boada. (21 de 11 de 2018). *Industria de la gráfica*. Obtenido de Slideres.com:  
[http://userscontent2.emaze.com/images/cd67c307-0a3d-46c4-bca3-ce32ff3dce6d/Slide32\\_Pic1\\_636048141934528111.jpeg](http://userscontent2.emaze.com/images/cd67c307-0a3d-46c4-bca3-ce32ff3dce6d/Slide32_Pic1_636048141934528111.jpeg)
- Eskarton. (12 de 01 de 2019). *Industria del cartón*. Obtenido de Eskarton:  
<http://eskarton.com.mx/wp-content/uploads/2011/11/Flexo.jpg>
- Flinn, T. (2017). *Association Of European Cartonboard Manufactures*. BOSTON: PRO CARTON.
- Gonzáles. (03 de 04 de 2018). *Procesos de Corrugado*. Obtenido de Cartonera S.A.:  
[http://www.corrugando.com/edicion14/foto\\_045.jpg](http://www.corrugando.com/edicion14/foto_045.jpg)

- impresión, S. b. (11 de 2 de 2018). *Técnicas de empaquetado*. Obtenido de Blogs Bp:  
<http://2.bp.blogspot.com/-by5r4eTITHc/VZb-EJN2g0l/AAAAAAAAAcEY/G8eyjYky708/s400/cajas%2Bde%2Bcarton.jpg>
- Joresa. (23 de 11 de 2016). *Cálculo de una transmisión por cadena*. Obtenido de Cálculo de una transmisión por cadena:  
[http://m.joresa.com/1/upload/cadena\\_transmision\\_calculo.pdf](http://m.joresa.com/1/upload/cadena_transmision_calculo.pdf)
- Juarézimpresiones. (18 de 06 de 2018). *La preimpresión*. Obtenido de Juarézimpresiones: <http://www.juarezimpresores.com/blog/2018/07/16/que-es-la-preimpresion/>
- Makropack. (23 de 02 de 2016). *Makropack*. Obtenido de Macropack cia.ltda.:  
[http://imigra.com.ec/pichincha/quito/cajas\\_corrugadas/716a46/macropack\\_cia.\\_It da](http://imigra.com.ec/pichincha/quito/cajas_corrugadas/716a46/macropack_cia._It da)
- Mantilla. (13 de 10 de 2016). *Sistemas y Técnicas*. Obtenido de Sistemas y Técnicas:  
<http://sistemasytecnicas.blogspot.com/>
- Martínez. (11 de 05 de 2018). *Industria del Carton*. Obtenido de Industria del cartón S.A.:  
[https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/e/e1/Imprenta\\_offset.svg/220px-Imprenta\\_offset.svg.png](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/e/e1/Imprenta_offset.svg/220px-Imprenta_offset.svg.png)
- Martinez, M. (11 de 08 de 2013). *Diseño y construcción de una maquina plegadora*. Obtenido de Repositorio Biblioteca EPN:  
<https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/6650>
- Norton, R. L. (2004). *Diseño de Maquinaria*. México: Mac Graw Hil.
- Olexandr, C. (8 de 11 de 2017). *Relieve-Flexografía*. Obtenido de Relieve-Flexografía:  
<http://olexandrchebanov03.blogspot.com/>
- Reece. (25 de 01 de 2018). *Materiales para impresión*. Obtenido de Incarpan:  
<http://3.bp.blogspot.com/-x5LAFibXjc/VG0qvSYH3sl/AAAAAAAAAFPY/6NT0XmyYzok/s1600/materiales.jpg>
- Robles. (30 de 03 de 2017). *Resistencia en el cartón*. Obtenido de Induandes:  
<http://www.quiminet.com/imagen/carton1.gif>
- Shigley, J. (2016). *Diseño en Ingeniería mecánica de Shigley*. México: Mc Graw Hill.

simples, M. (2017). *Máquinas simples y operadores mecánicos*. Santiago de Chile: TECMAQUINAOPERADOR.

Ulrich, K. T. (2013). *Diseño y desarrollo de productos*. México: McGrawHill.

Upcommons. (15 de 11 de 2018). *Diseño Concurrente*. Obtenido de Diseño Concurrente:

<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.3/36754/9788498800746.pdf?sequence=1&isAllowed=y>