



**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 Y SIMULACIÓN DE UNA MÁQUINA TROQUELADORA DE  
CILINDROS PARA EL PROCESAMIENTO DE LÁMINAS DE CARTÓN  
CORRUGADO EN LA EMPRESA CORRUGADORA NACIONAL CRANSA  
S.A.”**

**AUTOR: MALDONADO TAPIA, PEDRO DAVID**

**DIRECTOR: ING.: NARANJO GUATEMALA, CARLOS RODRIGO.**

**SANGOLQUÍ**

**2020**



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

**CERTIFICACIÓN**

Certifico que el trabajo de titulación, ***“DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA MÁQUINA TROQUELADORA DE CILINDROS PARA EL PROCESAMIENTO DE LÁMINAS DE CARTÓN CORRUGADO EN LA EMPRESA CORRUGADORA NACIONAL CRANSA S.A.”*** fue realizado por el señor ***Maldonado Tapia. Pedro David***, el mismo que ha sido revisado 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, 12 de Diciembre de 2019,

Director del trabajo de titulación

Ing. Carlos Rodrigo Naranjo Guatemala  
C.C. 1707087084



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

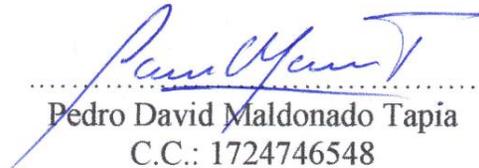
**AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD**

Yo, *Maldonado Tapia, Pedro David*, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: ***“DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA MÁQUINA TROQUELADORA DE CILINDROS PARA EL PROCESAMIENTO DE LÁMINAS DE CARTÓN CORRUGADO EN LA EMPRESA CORRUGADORA NACIONAL CRANSA S.A.”*** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

Sangolquí, 28 de Enero del 2020,

**Autor**

  
Pedro David Maldonado Tapia  
C.C.: 1724746548



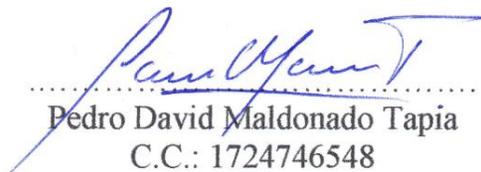
**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**AUTORIZACIÓN**

Yo, *Maldonado Tapia, Pedro David*, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: ***“DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA MÁQUINA TROQUELADORA DE CILINDROS PARA EL PROCESAMIENTO DE LÁMINAS DE CARTÓN CORRUGADO EN LA EMPRESA CORRUGADORA NACIONAL CRANSA S.A.”*** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad, salvo aquella información que al momento de su exposición pondría en desventaja competitiva a la empresa relacionada.

Sangolquí, 28 de Enero del 2020,

**Autor**



Pedro David Maldonado Tapia  
C.C.: 1724746548

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo de titulación está dedicado a mi familia, amigos y profesores, quienes acompañaron día a día mi proceso de formación complementándolo con enseñanzas, consejos y correcciones, gracias totales.

Pedro Maldonado Tapia.

## **AGRADECIMIENTOS**

A mis Padres y hermanos quienes con su apoyo continuo e incondicional me han sabido guiar para lograr mis objetivos. A Cristina por sus consejos y aprendizaje mutuo a lo largo de la carrera. A mis amigos y compañeros que hicieron del día a día una convivencia jovial y sencilla. Al Ing. Carlos Naranjo por todos sus consejos durante la realización del presente proyecto no solo aplicables en la academia si no en la vida profesional. Y finalmente mis más sinceros agradecimientos a Corrugadora Nacional CRANSA S.A. al Ing. Andrey Burgos por abrir sus puertas, compartir sus conocimientos y permitir el desarrollo de este proyecto de titulación.

Pedro Maldonado Tapia.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN .....	i
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD.....	ii
AUTORIZACIÓN.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTOS .....	v
NOMENCLATURA .....	xvi
Resumen .....	xxi
Abstract .....	xxii
CAPITULO 1: GENERALIDADES.....	1
1.1. INTRODUCCIÓN. ....	1
1.2.ANTECEDENTES: Corrugadora Nacional CRANSA S.A.....	2
1.2.1.Historia. ....	2
1.2.2.Marco Institucional. ....	3
1.3.JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA. ....	4
1.3.1.Aumento de la capacidad de Producción/Oferta. ....	4
1.3.2.Apertura de nuevas estrategias de Ventas .....	5
1.3.3.Realización de Muestras.....	5
1.4.ALCANCE. ....	7
1.5.OBJETIVOS.....	8
1.5.1.Objetivo General .....	8
1.5.2.Objetivos Específicos.....	8
CAPITULO 2: PROCESAMIENTO DE LÁMINAS DE CARTÓN CORRUGADO.....	9
2.1.Estructura del Cartón Corrugado.....	9
2.1.1.Cara Interna o Liner Interno. ....	9

2.1.2.Corrugado Medio. ....	9
2.1.3.Cara externa o Liner Externo. ....	10
2.2.Propiedades del cartón corrugado. ....	10
2.2.1.Gramaje o Peso Base.....	10
2.2.2.Flauta.....	10
2.2.3.Calibre.....	11
2.2.4.Resistencia a la compresión .....	11
2.3.Especificación del cartón corrugado. ....	12
2.4.Proceso de elaboración de láminas de cartón corrugado.....	13
2.5.Proceso de troquelado de láminas de cartón corrugado. ....	14
2.5.1.Troqueladoras Planas. ....	14
2.5.2.Troqueladoras Rotativas.....	14
2.6.Muestras de Cartón corrugado. ....	16
2.7.PRINCIPIOS DE DISEÑO .....	19
2.7.1.Velocidad Tangencial.....	19
2.7.2.Velocidad Angular .....	20
2.7.3.Mecanismo de 4 Barras .....	20
2.7.4.Fuerzas que actúan en el troquelado .....	21
<b>CAPITULO 3: ALTERNATIVAS Y SELECCIÓN DE LAS SECCIONES DE LA MÁQUINA TROQUELADORA. ....</b>	<b>22</b>
3.1.Requerimientos de Corrugadora Nacional CRANSA S.A.....	22
3.1.1.Requerimientos de Diseño. ....	22
3.1.2.Requerimientos Funcionales. ....	22
3.1.3.Dimensiones de láminas a procesar .....	22
3.2.Tipos de máquinas troqueladoras existentes en el mercado.....	23
3.2.1.1.Troqueladora EMBA CASMAKER 170.....	23

3.2.2.Troqueladora Giratoria Ward Modelo: F3BZDC.....	24
3.2.3.Troqueladora Giratoria MaxPro.....	25
3.2.4.Troqueladora Rotativa LANGSTON GREENWOOD .....	26
3.3.Alternativas y selección de las secciones de la máquina troqueladora. ....	28
3.3.1.Sección de Troquelado.....	30
3.3.2.Sección de Alimentación.....	32
3.3.3.Sección de Arrastraderas.....	34
3.4.Secciones de la máquina troqueladora.....	35
3.5.Sistemas de transmisión de potencia: Alternativas y Selección.....	36
3.6.Secuencia de Transmisión de Potencia: Alternativas y Selección.....	39
CAPITULO 4: DISEÑO.....	41
4.1.Parámetros de Entrada.....	41
4.1.1.Dimensiones de láminas a procesar.....	41
4.1.2.Dimensiones Cilindros.....	41
4.1.3.Velocidad Angular del cilindro Troquel.....	44
4.1.4.Velocidad Tangencial.....	44
4.2.Velocidad Cilindro Yunke y Arrastraderas.....	45
4.2.1.Velocidad Cilindro Yunke.....	45
4.2.2.Velocidad de las Arrastraderas.....	45
4.3.Aceleración Angular .....	46
4.4.Masa e Inercia de los conjuntos de la máquina troqueladora.....	46
4.4.1.Masa e Inercia Conjunto Troquel.....	47
4.4.2.Masa e Inercia Conjunto Yunke.....	47
4.4.3.Masa e Inercia Conjunto Arrastraderas.....	47
4.5.Fuerza, Torque y Potencia requerida.....	48
4.5.1.Fuerza Tangencial.....	48

4.5.2.Fuerza Radial.....	49
4.5.3.Torque.. ..	50
4.5.4.Potencia Requerida.....	51
4.5.5.Potencia total requerida.....	51
4.5.6.Potencia Experimental de corte.....	52
4.5.7.Selección del Motor. ....	56
4.6.Sistema de Transmisión de Potencia.....	57
4.6.1.Cambio de sentido de giro.....	58
4.7.Determinación analítica de los diámetros en las secciones de los ejes. ....	61
4.7.1.Arrastradera Inferior.....	61
4.7.2.Arrastradera Superior. ....	63
4.7.3.Conjunto Yunke .....	64
4.7.4.Conjunto Troquel. ....	65
4.8.Diámetros reales de las secciones de los ejes.....	66
4.8.1.Arrastradera Inferior y Superior.....	66
4.8.2.Conjuntos Yunke y Troquel. ....	67
4.9.Selección de Rodamientos. ....	67
4.9.1.Rodamientos Cilindro Troquel y Yunke .....	68
4.9.2.Rodamientos Arrastraderas .....	68
4.10.Planchas Laterales. ....	69
4.11.Síntesis Mecanismo Alimentador.....	73
4.11.1.Corredera-Balancín. ....	73
4.11.2.Análisis de posición: Manivela-Balancín.....	75
4.12.Estructura Mecanismo Alimentador.....	76
4.12.1.Estructura Manivela-Balancín.....	76
4.12.2.Estructura Corredera-Balancín.....	78

4.12.3.Condiciones para el análisis CAE .....	80
4.12.4.Mesa de Alimentación.....	81
4.13.Placa Base .....	84
4.14.Junta Crítica.....	88
4.15.Análisis de velocidades. ....	91
<b>CAPITULO 5: ANÁLISIS FINANCIERO.....</b>	<b>94</b>
5.1.Sistema Motriz .....	94
5.2.Estructura Bastidor.....	95
5.3.Costo Total .....	95
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>96</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>97</b>
<b>Bibliografía.....</b>	<b>98</b>
<b>Anexos.....</b>	<b>100</b>

## LISTADO DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> <i>Test de Cartón Corrugado</i> .....	12
<b>Tabla 2</b> <i>Tiempos de procesos para elaboración de muestra</i> .....	18
<b>Tabla 3</b> <i>Análisis de dimensiones para muestras solicitadas</i> .....	23
<b>Tabla 4</b> <i>Secciones seleccionadas de cada máquina troqueladora</i> .....	27
<b>Tabla 5</b> <i>Selección de la Sección de Troquelado</i> .....	31
<b>Tabla 6</b> <i>Selección Sección de alimentación</i> .....	33
<b>Tabla 7</b> <i>Secciones a diseñar de la máquina troqueladora</i> .....	35
<b>Tabla 8</b> <i>Selección transmisión de potencia</i> .....	38
<b>Tabla 9</b> <i>Secuencia optima de transmisión de potencia</i> .....	40
<b>Tabla 10</b> <i>Dimensiones Cilindros tipo WARD</i> .....	41
<b>Tabla 11</b> <i>Masa e Inercia Conjunto Troquel</i> .....	47
<b>Tabla 12</b> <i>Masa e Inercia Conjunto Yunke</i> .....	47
<b>Tabla 13</b> <i>Masa e Inercia Conjunto Arrastraderas</i> .....	47
<b>Tabla 14</b> <i>Factor de Corte</i> .....	54
<b>Tabla 15</b> <i>Motores Disponibles</i> .....	56
<b>Tabla 16</b> <i>Dimensiones Cadenas</i> .....	58
<b>Tabla 17</b> <i>Dimensiones Engranés rectos Arrastraderas EMBA</i> .....	59
<b>Tabla 18</b> <i>Reacciones en el eje arrastradera inferior</i> .....	61
<b>Tabla 19</b> <i>Diámetros eje Arrastradera inferior</i> .....	62
<b>Tabla 20</b> <i>Reacciones en el eje arrastradera superior</i> .....	63
<b>Tabla 21</b> <i>Diámetros eje Arrastradera superior</i> .....	63
<b>Tabla 22</b> <i>Reacciones en el eje cilindro Yunke</i> .....	64
<b>Tabla 23</b> <i>Diámetros eje cilindro Yunke</i> .....	64
<b>Tabla 24</b> <i>Reacciones en el eje cilindro Troquel</i> .....	65
<b>Tabla 25</b> <i>Diámetros eje cilindro Troquel</i> .....	65
<b>Tabla 26</b> <i>Espesor plancha lateral</i> .....	71
<b>Tabla 27</b> <i>Condiciones para el análisis CAE</i> .....	80
<b>Tabla 28</b> <i>Fuerzas y momentos actuantes en junta crítica</i> .....	88
<b>Tabla 29</b> <i>Valores para el análisis de junta crítica</i> .....	89

<b>Tabla 30</b> <i>Velocidad Tangencial Real</i> .....	91
<b>Tabla 31</b> <i>Precios Elementos Motrices</i> .....	94
<b>Tabla 32</b> <i>Precios elementos estructurales</i> .....	95
<b>Tabla 33</b> <i>Precio total sistemas mecánicos</i> .....	95

## LISTADO DE ILUSTRACIONES

<b>Figura 1.</b> Caja Troquelada Tipo Flor Auto Armable.....	4
<b>Figura 2.</b> Tipos de Apilamientos.....	5
<b>Figura 3.</b> Almacenaje de cajas en container.....	6
<b>Figura 4.</b> Secciones de la máquina troqueladora.....	7
<b>Figura 5.</b> Estructura Láminas de Cartón Corrugado. ....	9
<b>Figura 6.</b> Tipos de Estructuras. ....	11
<b>Figura 7.</b> Proceso de elaboración cartón corrugado. ....	13
<b>Figura 8.</b> a) Troqueladora Plana b) troquel plano. ....	14
<b>Figura 9.</b> a) Troqueladora Rotativa b) Troquel rotativo.....	15
<b>Figura 10.</b> a) Caja tipo regular b) Caja tipo troquelada.....	16
<b>Figura 11.</b> Proceso actual para realización de muestras.....	16
<b>Figura 12.</b> Proceso estimado para la realización de muestras.....	17
<b>Figura 13.</b> Velocidades de los cilindros. ....	19
<b>Figura 14.</b> Diagrama de cuerpo libre para mecanismo de 4 barras.....	21
<b>Figura 15.</b> Fuerzas actuantes en el troquelado.....	21
<b>Figura 16.</b> Troqueladora EMBA CASMAKER 170.....	23
<b>Figura 17.</b> Troqueladora Giratoria Ward Modelo: F3BZDC.....	24
<b>Figura 18.</b> Troqueladora giratoria MaxPro. ....	25
<b>Figura 19.</b> Troqueladora Rotativa LANGSTON GREEN WOOD.....	26
<b>Figura 20.</b> Cilindro Troquel y Yunke troqueladoras WARD.....	30
<b>Figura 21.</b> Secciones de Cuchillas Troqueladora Langston. ....	31
<b>Figura 22.</b> Sistema de alimentación troqueladora WARD.....	32
<b>Figura 23.</b> Mecanismo Mecánico de alimentación tipo "patada".....	33
<b>Figura 24.</b> Selección de alternativas de las secciones de la maquina troqueladora. ....	34
<b>Figura 25.</b> Sistema de transmisión por Bandas y poleas.....	36
<b>Figura 26.</b> Sistema de transmisión por Piñón y Catalina. ....	37
<b>Figura 27.</b> Sistema de transmisión por engranes.....	38
<b>Figura 28.</b> Alternativa 1 secuencia de transmisión de movimiento. ....	39
<b>Figura 29.</b> Alternativa 2 secuencia de transmisión de movimiento. ....	39

<b>Figura 30.</b> Agujeros roscados en cilindro troquel. ....	42
<b>Figura 31.</b> Dimensiones Cilindro Troquel. ....	42
<b>Figura 32.</b> Longitud de Cilindros Yunke y Troquel. ....	42
<b>Figura 33.</b> Dimensiones Cilindros Arrastraderas. ....	43
<b>Figura 34.</b> DCL Cilindros: Yunque, Troquel y Arrastraderas. ....	48
<b>Figura 35.</b> DCL. Torque.....	50
<b>Figura 36.</b> Equipo Experimental determinación Ks. ....	52
<b>Figura 37.</b> Equipo Experimental determinación Ks. Vista Frontal.....	53
<b>Figura 38.</b> Área de corte experimental.....	53
<b>Figura 39.</b> Troquel con mayor número de cuchillas. ....	55
<b>Figura 40.</b> Dimensiones catalinas. ....	57
<b>Figura 41.</b> Cambio de sentido de giro por engranes rectos. ....	58
<b>Figura 42.</b> Diagrama de fuerzas Arrastradera Inferior. ....	61
<b>Figura 43.</b> Diagrama de fuerzas Arrastradera Superior .....	63
<b>Figura 44.</b> Diagrama de fuerzas Cilindro Yunke .....	64
<b>Figura 45.</b> Diagrama de fuerzas Cilindro Troquel .....	65
<b>Figura 46.</b> Dimensiones ejes Arrastraderas.....	66
<b>Figura 47.</b> Dimensiones ejes Cilindros .....	67
<b>Figura 48.</b> Columnas en planchas laterales .....	69
<b>Figura 49.</b> Diagrama para análisis de espesor de las planchas laterales. ....	70
<b>Figura 50.</b> Sección transversal plancha lateral. ....	71
<b>Figura 51.</b> Mecanismo Alimentador .....	73
<b>Figura 52.</b> Síntesis Mecanismo Corredera –Balancín. ....	73
<b>Figura 53.</b> Síntesis Mecanismo Manivela –Balancín. ....	75
<b>Figura 54.</b> DCL Fuerzas mecanismo manivela-balancín .....	76
<b>Figura 55.</b> Área de aplastamiento de los eslabones.....	77
<b>Figura 56.</b> DCL Mecanismo Corredera Balancín .....	79
<b>Figura 57.</b> Distribución de fuerzas en mesa de alimentación.....	81
<b>Figura 58.</b> Fuerza de apilamiento, mesa de alimentación .....	81
<b>Figura 59.</b> Fuerza del eslabón, mesa de alimentación.....	82

<b>Figura 60.</b> Desplazamiento alcanzado por la mesa de alimentación.....	82
<b>Figura 61.</b> Riel para corredera.....	83
<b>Figura 62.</b> Deformación riel para corredera.....	83
<b>Figura 63.</b> Esquematación de la distribución y dimensiones de una placa base.....	85
<b>Figura 64.</b> DCL Junta Crítica.....	88
<b>Figura 65.</b> Velocidad de giro disco mecanismo alimentador.....	92
<b>Figura 66.</b> Esquema Mecanismo Alimentador.....	92
<b>Figura 67.</b> Velocidad de entrada de la lámina.....	93

## NOMENCLATURA

<b>Símbolo</b>	<b>Descripción</b>
$^{\circ}, \alpha$	Ángulo de presión, engranaje
A	Coefficiente comparativo técnico
Acorte	Área que ocupa las cuchillas
Ae	Área de la sección transversal
B	Ancho de la placa base
b	Espesor del diente
Bc	Coefficiente comparativo del costo
BCT	Resistencia a la compresión de la caja
bf	Ancho del patín
C	Capacidad de Carga Dinámica del rodamiento
CAD-CAE	Diseño Asistido por Computadores - Ingeniería Asistido por Computadores
Cc	Coefficiente comparativo total
d	Peralte de la columna
De	Diámetro exterior, engranaje
dejes	Diámetros de ejes
Dp	Diámetro de paso, engranaje
dw	Diámetro de paso del piñón
e	Espesor

e	Espesor del diente, engranaje
E	Módulo de elasticidad para materiales
ECT	Resistencia a la compresión sobre el canto
F	Fuerza
F <sub>c</sub>	Fuerza de corte
f <sub>c</sub> '	Resistencia a la compresión del concreto
F <sub>MB</sub>	Fuerza manivela - balancín
F <sub>pa</sub>	Fuerza en la placa por ASD
F <sub>pu</sub>	Fuerza en la placa por LRFD
FS	Factor de seguridad
h	Altura
h	Altura del diente, engranaje
I	Inercia
k	Coefficiente para el tipo de sujeción de la columna
K <sub>ce</sub>	Factor de corte específico
K <sub>f</sub>	Factor de concentración de esfuerzos
K <sub>h</sub>	Factor de distribución de la carga
K <sub>o</sub>	Factor de sobrecarga
K <sub>s</sub>	Factor de tamaño
K <sub>v</sub>	Factor dinámico
L	Longitud

$L_{10}$	Vida nominal rodamientos
$m$	Módulo de paso
$M_{\text{máx}}$	Momento máximo
$n$	Factor de Seguridad
$N$	Largo de la placa base
$p$	Relación del tipo de rodamiento en la ec. de vida útil
$P_a$	Carga determinada por método ASD
$P_{\text{crit}}$	Carga Crítica
$P_d$	Potencia de diseño
$P_{\text{motor}}$	Potencia del motor
$P_p$	Carga de la placa base
$P_{\text{tr}}$	Potencia total requerida
$P_U$	Carga determinada por método LRFD
$Q$	Carga Dinámica del rodamiento
$R$	Reacción
$R_{\#}$	Eslabón
RPM	Revoluciones por minuto
RPM	Revoluciones por minuto
$S_n$	Resistencia a la fatiga
$S_y$	Resistencia a la fluencia, engranaje
$t_d$	Ancho del diente, engranaje

t	Tiempo
T	Torque
V	Velocidad tangencial
Wt	Carga tangencial
X	Factor de carga radial del rodamiento
Xc	Sumatoria de los costos para cada alternativa
Xi	Sumatoria de los costos para alternativas ideales
Y	Factor de carga axial del rodamiento
Z	Número de dientes, engranaje
U	Sumatoria de los puntajes técnicos de cada alternativa
U1	Factor geométrico de resistencia a la picadura
Ze	Coefficiente elástico
Zi	Sumatoria de los puntajes técnicos ideales
Zr	Factor de condición superficial
$\alpha$	Aceleración angular
$\beta$	Margen de fuerza de unión en transmisiones de fuerza
$\Theta$	Diámetro
$\theta_{\#}$	Ángulo
$\mu$	Coefficiente de rozamiento.
$\sigma$	Esfuerzo
$\tau$	Esfuerzo cortante

$\Phi_c$	Factor de reducción de resistencia al aplastamiento LRFD
$\omega$	Velocidad Angular
$\Omega_c$	Factor de reducción de resistencia al aplastamiento ASD

## **Resumen**

Este proyecto presenta el diseño mecánico de una máquina troqueladora de cilindros para la empresa Corrugadora Nacional CRANSA S.A. Este equipo troquea láminas de cartón corrugado que luego se transforman en cajas para almacenamiento.

El diseño de esta máquina se basó en tres procesos fundamentales: a) alimentación de láminas dado por mecanismos definidos con síntesis de posición; b) posicionamiento de láminas dados por dos ejes con recubrimiento de cauchos o arrastraderas los cuales evitan fallas en los registros del troquelado y mantienen la velocidad de entrada y c) troquelado de láminas dado por dos cilindros: uno porta herramientas o cilindro troquel y el otro un cilindro yunque o sufridera. El diseño tomó como referencia maquinaria existente en CRANSA S.A., principalmente la troqueladora rotativa WARD la cual orientó la determinación de las principales dimensiones; Además, por requerimiento de la empresa en el diseño de la máquina se consideró el uso de algunos elementos pertenecientes a equipos existentes. Todo el diseño se desarrolló con la ayuda de software de análisis de esfuerzos como de simulación cinemática logrando una mayor confiabilidad en los procesos de diseño. Finalmente se presenta una memoria de cálculo, planos de fabricación y montaje y un estudio del costo de implementación.

### **PALABRAS CLAVE:**

- **CARTÓN CORRUGADO**
- **TROQUELADORA**
- **POSICIÓN**
- **SIMULACIÓN**
- **VELOCIDAD**

## **Abstract**

The project presented below is about the mechanical design of a cylinder die cutting machine for the company Corrugadora Nacional CRANSA SA, which develops corrugated cardboard sheets for further processing, the design of the die cutting machine was based on three fundamental processes: feeding of sheets given by controlled mechanisms with synthesis of position, positioning of sheets given by two axes with rubble or drag coating which avoid failures in the die-cut registers and experienced the entry speed and finally the sheet die-cutting process given by two cylinders one tool holder or die cylinder and the yunke or “sufridera” cylinder, the design has as reference existing machinery in CRANSA SA mainly the WARD rotary die cutter from which the main dimensions were obtained, in addition some of the power transmission systems were recently in base also affected teams. All the design is developed by the help of simulations in both stress and position analysis software, achieving an iteration in the design processes, finally a calculation memory and a general guide for the assembly of the die cutting machine which is presented constants of dimensional and construction plans for parts that require it, anchor recommendations and operating conditions.

### **KEYWORDS:**

- **CORRUGATED CARDBOARD**
- **DIE CUTTING MACHINE**
- **POSITION**
- **SIMULATION**
- **VELOCITY**

## **CAPITULO 1: GENERALIDADES**

### **1.1. INTRODUCCIÓN.**

Corrugadora Nacional CRANSA S.A. es CARTONES AMÉRICA en Ecuador quien está dedicada al procesamiento de láminas de cartón corrugado con una amplia línea de productos para dar soluciones de empaques, al ser un producto personalizado para cada cliente surge la necesidad de realizar muestras pre-producción mediante el diseño de una máquina troqueladora para el desarrollo de las mismas.

El procesamiento del cartón corrugado ha ido variando a lo largo de los años y tomando varios caminos para su producción, estas variaciones se dan en parámetros como la exactitud del corte y la cantidad de corte en un determinado tiempo, por lo que se adoptó el concepto de que si se requiere mayor producción en menos tiempo la forma más eficiente es la del troquelado cilíndrico.

Como se mencionó la muestra que se entregará al cliente para su aprobación requiere de la mayor exactitud posible a la caja resultante de un tiraje de producción, razón por la cual es indispensable que esta sea elaborada mediante maquinaria de características similares a las de producción en serie.

De estas necesidades y requerimientos a continuación se describe el diseño de una máquina troqueladora con sus alternativas de selección y el dimensionamiento técnico para sus componentes y secciones.

El diseño priorizará la utilización de equipos existentes en CRANSA S.A. logrando con esto una reducción de costos y una homologación de repuestos y por ende de planes de

mantenimiento. Además, se centrará en las muestras más solicitadas dentro de un periodo de tiempo asegurando así tiempos de respuesta con el cliente más eficientes.

Con los parámetros obtenidos analíticamente del diseño se realizará un análisis de partes críticas de la máquina troqueladora con el fin de simular esfuerzos que actúan en el proceso y así garantizar que el diseño y su dimensionamiento sean correctos.

## **1.2. ANTECEDENTES: Corrugadora Nacional CRANSA S.A.**

### **1.2.1. Historia.**

CARTONES AMERICA es el grupo dedicado a la fabricación de cartones, cartulinas esmaltadas y soluciones integrales e innovadoras en productos de cartón corrugado con mayor cubrimiento regional, en: Colombia, Venezuela, Ecuador, Perú, Chile, Argentina.

Cuenta con más de 1000 colaboradores directos y genera alrededor de 500 empleos indirectos. Todas las plantas han obtenido la certificación ISO 9001 versión 2015. Esta certificación permite asumir retos del cambiante mercado con procesos certificados y de óptima calidad, una nueva estrategia para afianzar una posición en el mercado y proyectar los productos hacia nuevos mercados internacionales.

En Cartones América S.A. se producen las mejores soluciones de empaque, con autosuficiencia en el procesamiento de materias primas, dando vida a nuestra filosofía de progreso, en armonía con el medio ambiente.

Una cultura destinada a satisfacer las necesidades de empaque de cartón corrugado, para los clientes de la región. (CartonesAmérica, 2015)

### **1.2.2. Marco Institucional.**

- **Misión.**

CARTONES AMÉRICA S.A. tiene como misión la satisfacción oportuna de las necesidades del cliente, suministrando cartones, cartulinas esmaltadas y soluciones integrales e innovadoras en productos de cartón corrugado de óptima calidad, con la más avanzada tecnología, garantizando su eficiencia para mantener el liderazgo en servicio bienestar de nuestro personal, protección ambiental y rentabilidad. (CartonesAmérica, 2015)

- **Visión**

Para el 2020 el grupo CARTONES AMÉRICA S.A. continuará siendo el líder de la región por la confiabilidad en el suministro de soluciones de empaque de cartón corrugado y cartulinas, promoviendo un ambiente de trabajo óptimo para nuestros colaboradores, protegiendo y preservando el medio ambiente, manteniendo y mejorando los procesos que nos permiten ajustarnos a los cambios y exigencias de los clientes de la región. (CartonesAmérica, 2015)

- **Política de Calidad.**

CARTONES AMÉRICA S.A. está comprometida a:

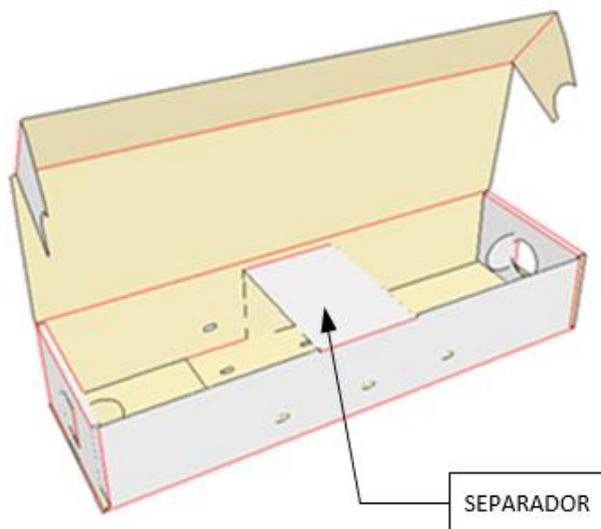
- Garantizarle a los clientes productos de buena calidad buscando su satisfacción.
- Capacitar y desarrollar a su personal para promover un clima laboral motivante.
- Buscar el mejoramiento continuo en sus procesos para ofrecer productos y servicios de calidad con precios competitivos y buscando el desarrollo de nuestros proveedores.
- Proteger y conservar el medio ambiente (CartonesAmérica, 2015).

### 1.3. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA.

#### 1.3.1. Aumento de la capacidad de Producción/Oferata.

Actualmente Corrugadora Nacional CRANSA S.A. produce cajas para flores auto armable, las cuales cuentan con diversos tipos de cavidades, perforaciones y separaciones para que el producto que al ser delicado en su almacenaje y transporte no sufra afectación alguna.

Como se observa en la Figura 1, existen componentes para este tipo de cajas como los son los separadores (láminas rectangulares troqueladas de cartón corrugado) que se producen posteriormente de las cajas, es decir, se troquela cierta cantidad de cajas tipo flores auto armables y luego se introducen láminas para troquelar los separadores. Con la implementación de un troqueladora de cilindros se busca una producción paralela. Es decir, que de manera simultánea se troquelen tanto la caja como los separadores optimizando el tiempo y aumentando la eficiencia al proceso de producción.



**Figura 1.** Caja Troquelada Tipo Flor Auto Armable  
Fuente: Departamento de Troqueles CRANSA S.A.

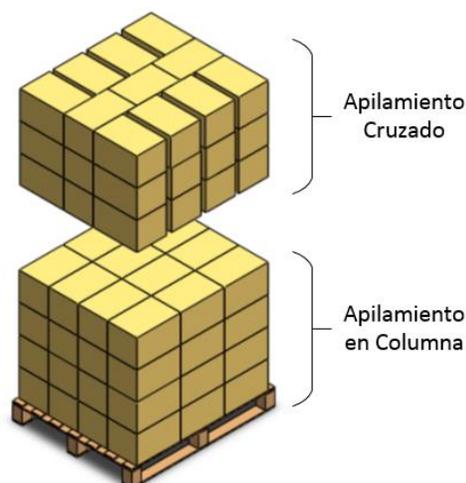
### 1.3.2. Apertura de nuevas estrategias de Ventas

Con la implementación de un troqueladora de cilindros, CRANSA S.A. busca abrirse paso en la venta de cajas de cartón corrugado por catálogo, este tipo de venta incurre en la utilización de referencias existentes, es decir utilización de troqueles existentes en CRANSA S.A.

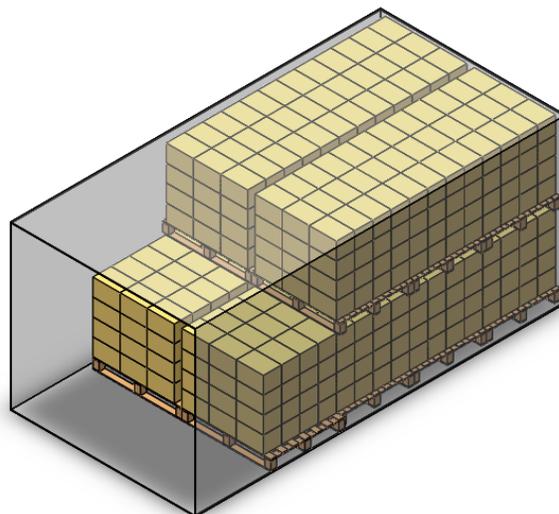
Dicha producción de referencias existentes será de pedidos de no más 500 cajas sin impresión.

### 1.3.3. Realización de Muestras

Corrugadora Nacional CRANSA S.A. produce muestras de cartón corrugado como estrategia de ventas tanto en cajas regulares como troqueladas previas a una orden de producción las cuales son presentadas directamente al cliente, esto hace que el cliente pueda evidenciar como será almacenado y transportado su producto, además de un apilamiento recomendado en bodega (Ver Figura 2) y para los productos que son exportados una óptima distribución dentro del container (Ver Figura 3).



*Figura 2.* Tipos de Apilamientos.



*Figura 3.* Almacenaje de cajas en container.

La necesidad de Corrugadora Nacional CRANSA S.A. de implementar una máquina troqueladora de cilindros para muestras de cartón corrugado se debe a que el desarrollo y procesamiento de las mismas incurre en tiempos de espera de 3 a 4 días (considerando tiempos administrativos y operativos).

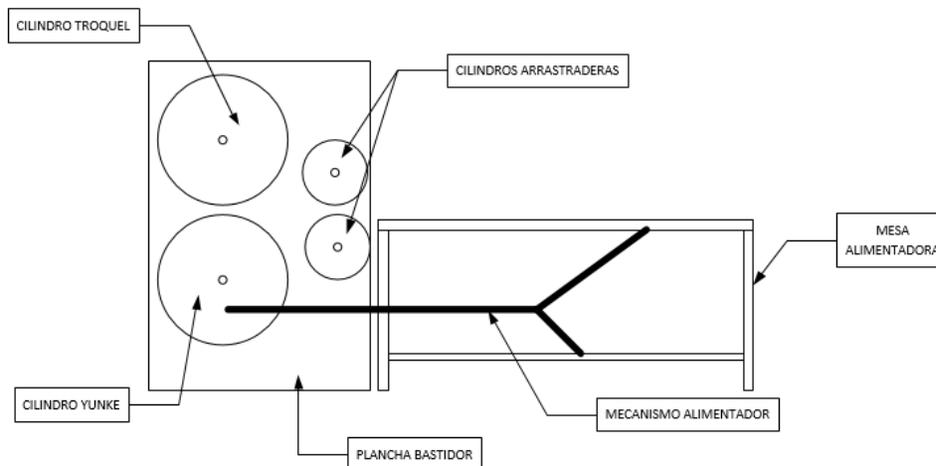
Acorde con la misión de la empresa “... satisfacer oportunamente las necesidades del cliente...”, se vuelve imprescindible un aumento en la competitividad frente al mercado además de una alta eficiencia en el tiempo de reacción hacia necesidades del cliente.

#### 1.4. ALCANCE.

El presente proyecto consiste en elaborar el diseño mecánico de una máquina troqueladora de cilindros mediante matrices de selección de alternativas las cuales deberán cumplir las necesidades y requerimientos de CRANSA S.A.

La selección de algunos componentes o mecanismos estarán limitados a los equipos existentes en CRANSA S.A. Como los son: motor, mecanismos de transmisión de potencia, cilindro troquel, etc., logrando así una homologación en partes y su plan de mantenimiento. Los componentes seleccionados deberán estar disponibles en mercados nacionales o regionales para que el tiempo de su implementación sea el menor conjuntamente con los costos.

La simulación se la realizará a través de softwares CAD-CAE, modelando los componentes de la máquina troqueladora para su posterior análisis y simulación de esfuerzos con el objetivo de comparar valores obtenidos por simulación con los valores obtenidos analíticamente y así generar un proceso iterativo de diseño. Las secciones de las que consta la máquina se muestran en la Figura 4.



**Figura 4.** Secciones de la máquina troqueladora.

Al ser un proyecto sujeto a una posterior implementación se determina una serie de entregables:

#### **Simulación CAD-CAE:**

- Simular y analizar esfuerzos presentes en el proceso para una posterior comparación con los parámetros obtenidos analíticamente.

#### **Diseño:**

- Memoria de cálculo.
- Se entregará planos de diseño y de construcción para los componentes pertinentes.
- Recomendaciones para el montaje.
- Análisis de costos tentativos para su implementación.

### **1.5. OBJETIVOS.**

#### **1.5.1. Objetivo General**

- Diseñar y simular una máquina troqueladora para el procesamiento de láminas de cartón corrugado.

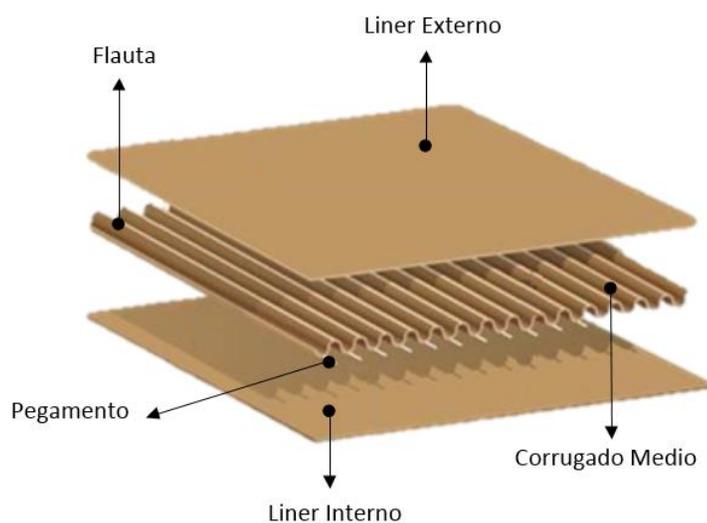
#### **1.5.2. Objetivos Específicos.**

- Realizar el diseño mecánico de las secciones de la máquina troqueladora evaluando equipos existentes en Corrugadora Nacional CRANSA S.A.
- Realizar una simulación CAD CAE de los esfuerzos existentes en los sistemas de la troqueladora y estructura de la misma.
- Realizar un análisis de costos tentativos para la implementación la máquina troqueladora.

## CAPITULO 2: PROCESAMIENTO DE LÁMINAS DE CARTÓN CORRUGADO

### 2.1. Estructura del Cartón Corrugado.

La estructura básica del cartón corrugado está dada por la Figura 5, de la cual su principal función es la resistencia a la compresión por parte del corrugado medio y resistencia a la humedad del liner externo.



**Figura 5.** Estructura Láminas de Cartón Corrugado.  
Fuente: 123RF.

#### 2.1.1. Cara Interna o Liner Interno.

Es el primer papel que se prepara para colocar el corrugado medio con pegamento, generalmente contiene parafina para aumentar la resistencia al agua, es de color *kraft* característico del cartón corrugado.

#### 2.1.2. Corrugado Medio.

Lámina de papel que toma la forma de la flauta deseada por medio de vapor de agua y deformación mecánica generada por la presión de dos rodillos corrugadores.

El corrugado medio tiene como funciones el proveer de un calibre a la lámina, provee de elasticidad y es donde se concentra la resistencia a la compresión de la caja.

### **2.1.3. Cara externa o Liner Externo.**

Papel que se coloca sobre el corrugado medio, puede ser de color kraft o blanco (Ver Figura 6) dependiendo de la aplicación y el requerimiento del cliente CRANSA S.A. puede ofrecer dos tipos de estructura:

## **2.2. Propiedades del cartón corrugado.**

La función principal de una caja de cartón corrugado es proteger al producto mediante una determinada resistencia, debido a que la vida útil de la caja abarca desde: el almacenaje del mismo, apilamiento de cajas, transporte hasta el desembalaje del producto, además, cabe recalcar que las cajas son para almacenaje secundario, así entonces esta resistencia depende de algunas propiedades de las láminas:

### **2.2.1. Gramaje o Peso Base.**

Técnicamente es el peso de la lámina, viene dado por: unidad de peso sobre unidad de área, en el mercado nacional se maneja el sistema internacional de medida. [ $\text{g}/\text{m}^2$ ].

### **2.2.2. Flauta.**

Se lo conoce como la lámina ondulada que da origen a la resistencia de la caja (Ver Figura 6), existen diversos tipos de flautas de las cuales CRANSA S.A. maneja dos tipos:

#### **2.2.2.1. Flauta C.**

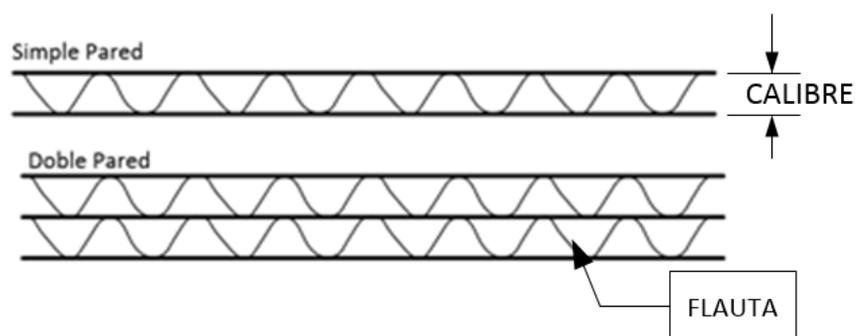
Es el tipo de flauta más común, tiene una altura de 3,2 a 4 [mm] tomada de cresta a valle y consta de aproximadamente 39 flautas por 300 [mm] lineales.

### 2.2.2.2. Flauta B.

Tiene una altura de cresta a valle de 2,1 a 3 [mm] y consta de 37 flautas por 300 [mm] lineales.

### 2.2.3. Calibre.

Este dado por la suma de la flauta con los espesores del liner interno y externo, este valor depende del tipo de test que se requiera, su unidad es dimensional lineal [mm] (Ver Figura 6).



*Figura 6.* Tipos de Estructuras.

### 2.2.4. Resistencia a la compresión

Se mide con un probador de compresión y los resultados se expresan en libras por pulgada lineal de cartón corrugado determinadas mediante ensayos según la norma TAPPI (Normas y métodos de contenedores corrugados). La prueba llamada Resistencia a la Compresión sobre el Canto (ECT), mide la resistencia del cartón corrugado a la compresión a lo largo del borde, que está relacionada directamente con la resistencia a la compresión de la caja (BCT) y con la resistencia inicial de la caja de cartón corrugado cuando está apilada. Es una característica importante del desempeño y la calidad. (ACCCSA, 2011).

### 2.3. Especificación del cartón corrugado.

Es necesario conocer la resistencia y el tipo de flauta de los cuales está compuesto el cartón corrugado debido a esto se estandarizó la identificación de las láminas a esta estandarización se la conoce como *test* (Propio de CRANSA S.A.), así se tiene por ejemplo: 464CB

Dónde:

- 464, Valor de la resistencia a la compresión [kgf/m]
- C, Tipo de flauta.
- B, Color del liner exterior.

Se puede tener también: 786BCK

- 786, Valor de la resistencia a la compresión [kgf/m]
- BC, Doble Pared con tipo de flauta B y C
- K, Color del liner exterior.

**Tabla 1.**

*Test de Cartón Corrugado*

Ítem	Test	Peso Base [g/m <sup>2</sup> ]	ECT [kgf/m]	CALIBRE [mm/100]	CALIBRE [mm]
1	464 CB	511	464	388	3,88
2	464 BB	490	464	285	2,85
3	464 BBB	493	464	285	2,85
4	572 CB	596	572	398	3,98
5	572 CBB	563	572	398	3,98
6	715 CB	676	715	408	4,08
7	786 CB	755	786	416	4,16
8	911 BCB	996	911	668	6,68
9	572 BB	524	572	285	2,85
10	411 CK	501	411	381	3,81

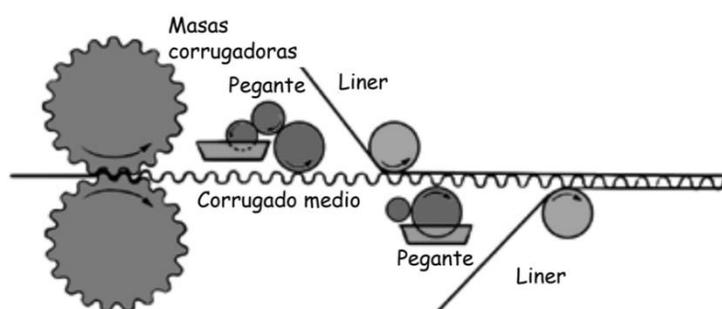
Continúa →

<b>11</b>	464BK	505	464	285	2,85
<b>12</b>	464 CIK	526	464	388	3,88
<b>13</b>	518 CIK	40	518	391	3,91
<b>14</b>	572 CK	626	572	398	3,98
<b>15</b>	572 CIK	596	572	398	3,98
<b>16</b>	715 CK	710	715	408	4,08
<b>17</b>	786 CK	780	786	416	4,16
<b>18</b>	786 BCK	831	786	630	6,3
<b>19</b>	840 BCK	920	840	658	6,58
<b>20</b>	911 BCK	961	911	668	6,68
<b>21</b>	1098 BCK	1170	1098	668	6,68

Fuente: Dpto. Control de Calidad CRANSA S.A.

#### 2.4. Proceso de elaboración de láminas de cartón corrugado.

La maquinaria para la elaboración se la denomina como Corrugador en el cual primero se moldea el corrugado medio de acuerdo al tipo de flauta deseado por medio de dos masas dentadas similares a un par de piñones los cuales proveen al corrugado medio de infinito número de flautas, posteriormente se coloca el pegamento y el liner externo y se repite el proceso para el liner interno la Figura 7 resume el proceso.



**Figura 7.** Proceso de elaboración cartón corrugado.

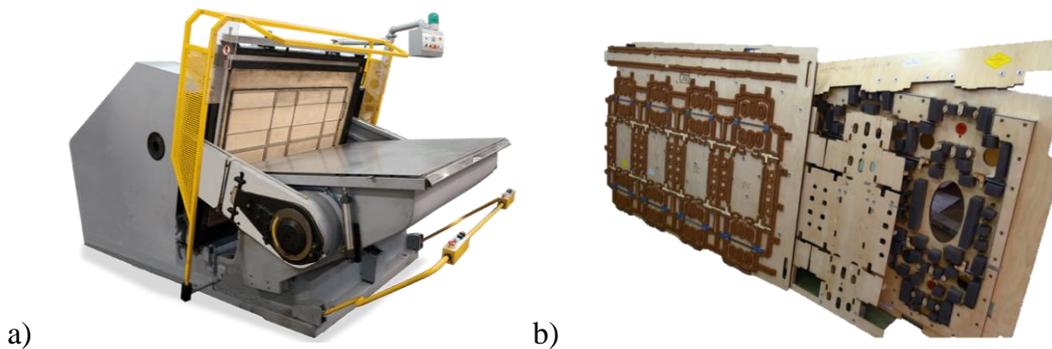
Fuente: Cartopel: Fabricación de cajas

## 2.5. Proceso de troquelado de láminas de cartón corrugado.

Una vez obtenidas las láminas de cartón corrugado estas pasan a un proceso de impresión y troquelado según sea el requerimiento, a continuación se presenta los tipos de máquinas troqueladoras que existen en la industria del cartón corrugado:

### 2.5.1. Troqueladoras Planas.

Se caracterizan por tener una mayor precisión de corte debido a que el troquel es plano tiene mayor presión de corte, se utiliza tanto para el procesamiento del cartón corrugado como para cajas de cartulinas (Ver Figura 8.a y Figura 8.b).



**Figura 8.** a) Troqueladora Plana b) troquel plano.

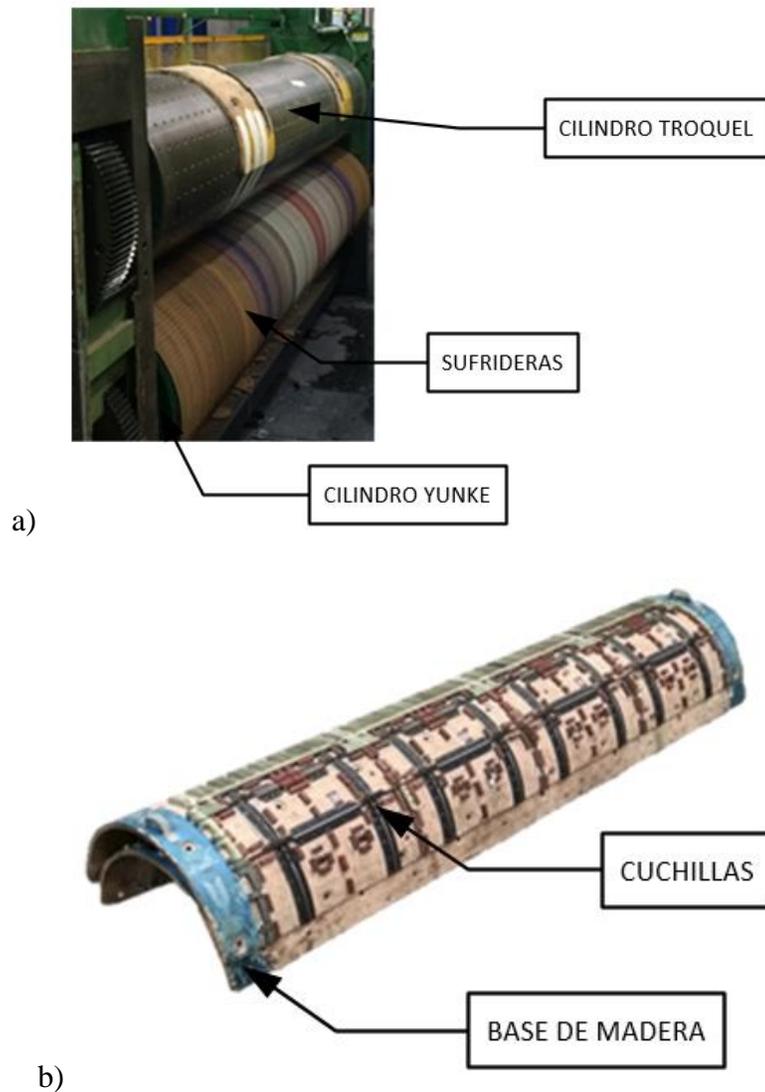
Fuente: Cartopel: Fabricación de cajas

### 2.5.2. Troqueladoras Rotativas.

Se caracteriza por tener una mayor capacidad de producción debido a que trabaja a altas velocidades generando mayor número de láminas troqueladas por unidad de tiempo.

El troquelado rotativo es el proceso por el cual en un ‘cilindro troquel’ se tiene un grupo de cuchillas colocadas sobre una base de madera con forma de semicircunferencia, estas cuchillas son hendidas sobre la lámina de cartón corrugado. Además, se tiene un ‘cilindro yunke’, cuya

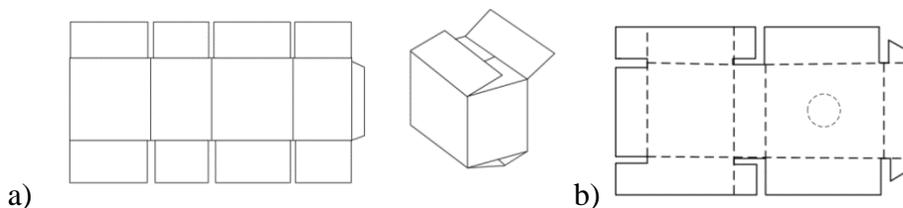
función es amortiguar el golpe de las cuchillas, sobre el cual se tiene una capa de poliuretano o 'sufridera', las partes mencionadas se visualizan en la Figura 9.a y Figura 9.b



**Figura 9.** a) Troqueladora Rotativa b) Troquel rotativo.  
Fuente: Dpto. Mnto. CRANSA S.A. / Cartopel: Cajeardo.com

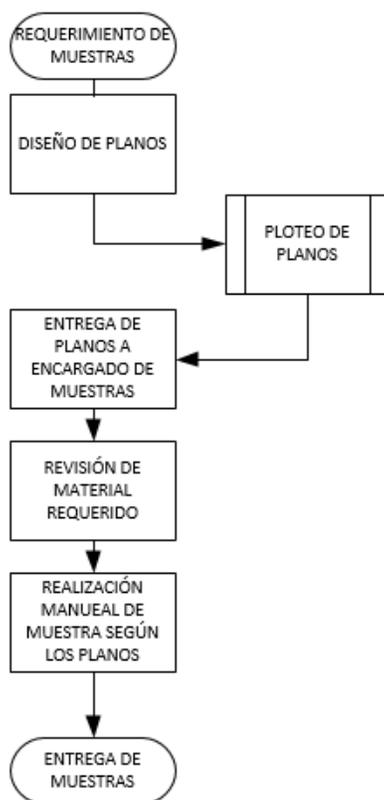
## 2.6. Muestras de Cartón corrugado.

Las muestras desarrolladas son de dos tipos: regulares y troqueladas (Ver Figura 10.a Figura 10.b) teniendo como diferencia en la caja troquelada el corte en alguna de sus caras.



**Figura 10.** a) Caja tipo regular b) Caja tipo troquelada

El proceso regular para la elaboración de muestras se indica en la Figura 11:



**Figura 11.** Proceso actual para realización de muestras

Tanto el diseño como el ploteo suelen tomar de uno a dos días debido a que la demanda para la realización de muestras es alta, a esto se suma uno o dos días en la realización de muestras por parte del operador teniendo como promedio 3 días de respuesta para la elaboración de muestras, la cantidad de muestras para este tiempo es de 5 unidades, cuando la cantidad solicitada de muestras aumenta el tiempo de respuesta tiende a duplicarse. Por lo que con la máquina troqueladora de cilindros se pretende reducir el tiempo según lo descrito en la tabla 1 y que el proceso sea como se indica en la Figura 12:



*Figura 12.* Proceso estimado para la realización de muestras

Para el proceso descrito en la Figura 12 se tiene que:

**Tabla 2.**

*Tiempos de procesos para elaboración de muestra*

<b>Descripción</b>	<b>[min]</b>
Revisión de troqueles	30
Preparación de material	10
Preparación de máquina y ajuste de dimensiones	15
Troquelado (10 unidades)	10
<b>TOTAL</b>	<b>65</b>

Fuente: Dpto. Aseguramiento de la calidad CRANSA S.A.

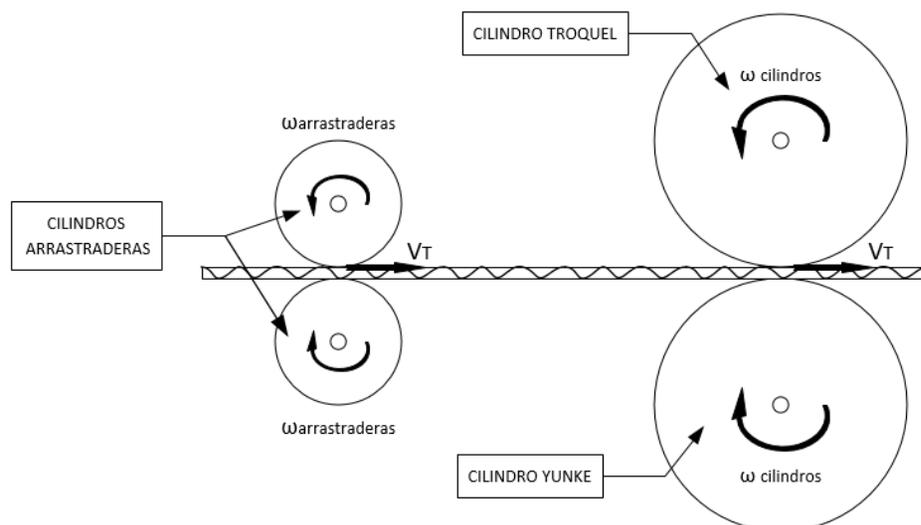
## 2.7. PRINCIPIOS DE DISEÑO

Se debe aclarar algunas consideraciones que fundamentarán el diseño de la máquina troqueladora, partiendo desde los requerimientos de CRANSA S.A. hasta las soluciones tangibles existentes dentro de la misma, es decir para la selección de mecanismos o elementos se tomaron como referencia maquinaria operativa dentro de CRANSA S.A. logrando con esto una homologación entre partes, disponibilidad de las mismas y eficiencia en planes de mantenimiento.

El dimensionamiento también hará referencia a parámetros críticos para el desarrollo del proceso, uno de estos será la velocidad tangencial y la velocidad angular.

### 2.7.1. Velocidad Tangencial

La velocidad tangencial deberá ser la misma durante todo el trayecto de la lámina para evitar aplastamientos o una mala sincronía de alimentación. (Ver Figura 13)



**Figura 13.** Velocidades de los cilindros.

Por temas constructivos y de diseño no se conseguirá tener exactamente la misma velocidad tangencial durante todo el trayecto por lo que se buscará que la velocidad de los cilindros troquel y yunque generen un efecto de tracción en la lámina de cartón corrugado para lograr el avance durante el trayecto, es decir considerar variaciones mínimas de la velocidad tangencial para que el sistema siguiente genere un efecto de tracción.

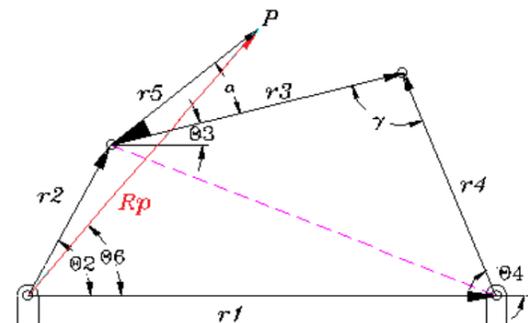
### **2.7.2. Velocidad Angular**

Esta velocidad angular incurre directamente en el corte de la lámina de cartón, es decir, debido a las masas que deberán girar para lograr el corte de las láminas si se tiene una velocidad de rotación alta el desgaste será mayor en sus componentes y podrán presentarse defectos como: Mala expulsión de sobrantes (descartonado), cortes parciales y aplastamiento de láminas.

Estas consideraciones se toman en cuenta a la hora de definir la velocidad de trabajo de la cual se considera también cuantas láminas serán cortadas por cada vuelta de los cilindros tomando como referencia un punto tangencial por lo que debido a que los componentes de corte como se describirán a continuación son parciales, la velocidad de trabajo se define con la relación de que por cada giro del cilindro se cortarán una sola lámina de cartón.

### **2.7.3. Mecanismo de 4 Barras**

La alimentación de las láminas de cartón corrugado deberá estar sincronizada de acuerdo al giro del cilindro troquel por lo cual es necesario realizar una síntesis de posición por medio de un mecanismo de 4 barras. A continuación, se presenta la síntesis de posición para un mecanismo de 4 barras (Ver Figura 14):



**Figura 14.** Diagrama de cuerpo libre para mecanismo de 4 barras

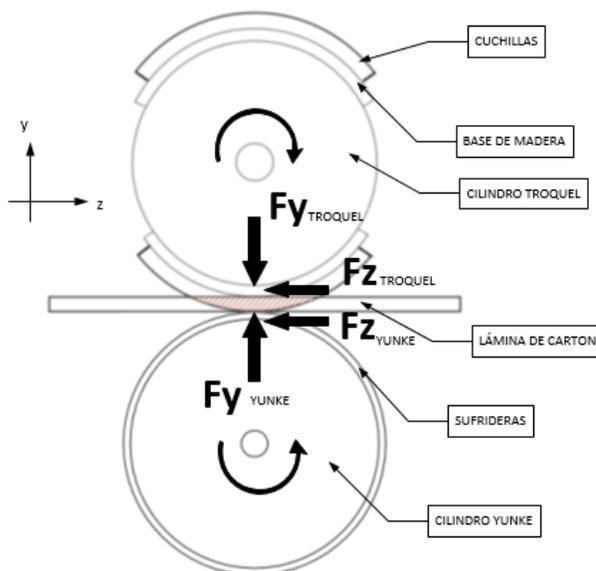
Fuente: Máquinas y Mecanismos, Olmedo J, Echeverría J.

Según la figura anterior se tiene la sumatoria con la que se determinarán las longitudes de los eslabones del mecanismo de 4 barras:

$$r_2 + r_3 = r_1 + r_4^1$$

#### 2.7.4. Fuerzas que actúan en el troquelado

En el proceso de troquelado se tiene dos fuerzas actuantes como se describe en la Figura 15:



**Figura 15.** Fuerzas actuantes en el troquelado

<sup>1</sup> Máquinas y Mecanismos, Olmedo J, Echeverría J, Cap. 2

## **CAPITULO 3: ALTERNATIVAS Y SELECCIÓN DE LAS SECCIONES DE LA MÁQUINA TROQUELADORA.**

### **3.1. Requerimientos de Corrugadora Nacional CRANSA S.A.**

#### **3.1.1. Requerimientos de Diseño.**

- *Cilindro troquel con un recorrido de 1676 [mm] y una longitud máxima de 2200 [mm].*
- *Láminas a procesar tipo Flauta C (4,08 a 4,16 mm de calibre).*
- *Tiempo de operación: 8 horas diarias, 5 días a la semana.*
- *Máquina solo para troquelado, sin impresión.*
- *Utilización de equipos existentes en stock de bodega: motores, mecanismos de transmisión de potencia.*

#### **3.1.2. Requerimientos Funcionales.**

- *Alimentador mecánico: Ajustable para las diferentes longitudes de láminas.*
- *El cilindro troquel estará ubicado en la parte superior para facilidad de montaje y desmontaje de troqueles.*
- *El cilindro yunque deberá tener el diámetro necesario para la utilización de sufrideras o láminas de poliuretano existentes.*

#### **3.1.3. Dimensiones de láminas a procesar**

Las dimensiones máximas y mínimas de las láminas a procesar están dadas por un análisis de pedidos de muestras realizado para el periodo Enero 2018-Septiembre 2018 del cual se obtuvo las siguientes dimensiones:

**Tabla 3.**

*Análisis de dimensiones para muestras solicitadas.*

No.	Fecha	LÁMINA [mm]		TEST	CALIBRE [mm]
		Largo	Ancho		
1	ENERO	1834	1214	464CIK	3,88
2	FEBRERO	1940	974	715CK	4,08
3	MARZO	1870	934	786CB	4,16
4	ABRIL	1520	1332	464BK	2,85
5	MAYO	1520	1332	464BK	2,85
6	JUNIO	1960	1004	786CB	4,16
7	JULIO	2190	1274	786CK	4,16
8	AGOSTO	2090	1114	786CK	4,16
9	SEPTIEMBRE	1550,47	650	715CB	4,08
<b>Valor max</b>		<b>2190</b>	<b>1274</b>		
<b>Valor min</b>		<b>1550,47</b>	<b>650</b>		

Fuente: Dpto. Aseguramiento y Control de Calidad CRANSA S.A.

### 3.2. Tipos de máquinas troqueladoras existentes en el mercado.

Las troqueladoras cilíndricas que se presentan a continuación cumplen con dos o más requerimientos planteados por CRANSA S.A., por lo que servirán como referencia para la elección de soluciones de diseño para las diferentes secciones de la máquina troqueladora.

#### 3.2.1.1. Troqueladora EMBA CASMAKER 170.



**Figura 16.** Troqueladora EMBA CASMAKER 170.

Fuente: Marquip Ward United.

- Hoja de troquelado mínima: 600 mm x 280 mm
- Hoja de troquelado máxima: 2400 mm x 1100 mm
- Calibre de hoja: 4 (mm) max.
- Velocidad: Hasta 200 hojas por minuto.
- Tipo de Alimentación: Por banda con aire comprimido accionado por servomotores.
- Sección troquelado: Cilindro Troquel robusto con agujeros alrededor, sistema yunke con recubrimiento de sufrideras y velocidad variable, mecanismo de accionamiento por medio de engranes. (BWPaperSystemCompany, 2019)

### 3.2.2. Troqueladora Giratoria Ward Modelo: F3BZDC



**Figura 17.** Troqueladora Giratoria Ward Modelo: F3BZDC.  
Fuente: Marquip Ward United.

Troqueladora giratoria WARD Modelo F3BZDC: 1676 mm x 2870 mm

- Hoja de troquelado mínima: 457 mm x 559 mm
- Hoja de troquelado máxima: 1549 mm x 2730 mm
- Calibre de hoja: 1 mm – 10 mm
- Velocidad de la máquina: Hasta 200 hojas por minuto

Continúa →

- Tipo de Alimentación: Correas alimentadoras de uretano una mesa de vacío, rodillos alimentadores de bajo aplastamiento, accionado por medio de servomotores.
- Sección troquelado: Cilindro Troquel robusto con agujeros alrededor, sistema yunke con recubrimiento de sufrideras y velocidad variable mecanismo de accionamiento por medio de engranes. (BWPaperSystemCompany, 2019)

### 3.2.3. Troqueladora Giratoria MaxPro.



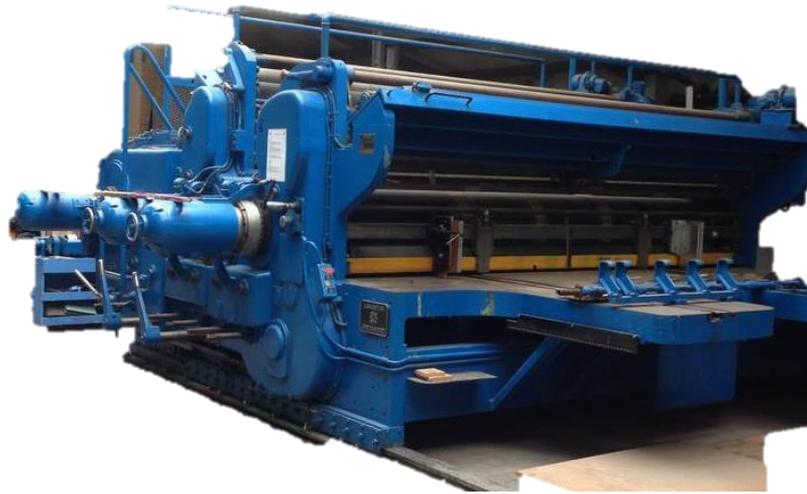
*Figura 18.* Troqueladora giratoria MaxPro.  
Fuente: Marquip Ward United.

#### Troqueladora giratoria MaxPro 16.28

- Dimensiones de los cilindros: 1676 mm x 2870 mm
- Hoja sin recortar mínima: 457 mm x 559 mm
- Hoja sin recortar máxima: 1549 mm x 2870 mm
- Troquelado con recorte lateral mínimo: 457 mm x 559 mm
- Troquelado con recorte lateral máximo: 1549 mm x 2743 mm
- Calibre de hoja máximo: 10 mm
- Velocidad nominal: hasta 200 hojas por minuto.
- Tipo de Alimentación: Correas alimentadoras de uretano en una mesa de vacío, rodillos alimentadores de bajo aplastamiento, accionado por medio de servomotores.

- Sección troquelado: Cilindro Troquel robusto con agujeros alrededor, sistema yunke con recubrimiento de sufrideras y velocidad variable mecanismo de accionamiento por medio de engranes. (BWPaperSystemCompany, 2019)

#### 3.2.4. Troqueladora Rotativa LANGSTON GREENWOOD



*Figura 19.* Troqueladora Rotativa LANGSTON GREEN WOOD.  
Fuente: Tecno Converting 2000

#### Troqueladora giratoria LANGSTON GREENWOOD CB-PS4

- Hoja de troquelado mínima: 600 mm x 368mm
- Hoja de troquelado máxima: 3000 mm x 1420 mm
- Velocidad de la máquina: Hasta 200 hojas por minuto
- Tipo de Alimentación: Mecanismo mecánico tipo “patada”
- Sección troquelado: 4 secciones de cuchillas. (TecnoConverting2000, 2017)

En la Tabla 4 se muestra las secciones que se tomaron de las diferentes máquinas troqueladoras existentes en el mercado las cuales servirán como referencia para las soluciones de diseño que cumplan con los requerimientos.

**Tabla 4.**  
*Secciones seleccionadas de cada máquina troqueladora*

		REQUERIMIENTOS DE DISEÑO				
		Recorrido de cilindro 1676 [mm]	Alimentador Mecánico	Cilindros arrastraderas	Velocidad 200 [cajas/min]	Calibre de lámina 4,08 a 4,16 [mm]
<b>Máquinaria</b>	EMBA CASMAKER 170			X	X	
	WARD Modelo:F3BZDC	X			X	X
	Giratoria Max PRO	X		X	X	X
	Lansgton Greenwood CB-PS4		X		X	X

### 3.3. Alternativas y selección de las secciones de la máquina troqueladora.

Al hablar de una maquinaria de operación moderadamente continua esta deberá cumplir algunos parámetros que garanticen el funcionamiento óptimo de la misma, parámetros que van desde su fabricación hasta su montaje y posteriormente su puesta a punto y funcionamiento final, así se considerará parámetros como:

- Vida útil.
- Eficiencia.
- Tamaño y/o peso.
- Facilidad de Construcción.
- Facilidad de Operación.
- Facilidad de Mantenimiento.
- Facilidad de montaje y desmontaje.
- Disponibilidad de materiales y/o equipos.

La forma en que serán evaluados estos parámetros será por medio de coeficientes que relacionen el fundamento técnico o práctico de la alternativa y el costo que tendrá la misma para su implementación entonces:

- $A$  = Coeficiente comparativo técnico.
- $B_C$  = Coeficiente comparativo del costo.
- $C_C$  = Coeficiente comparativo total.

El Coeficiente comparativo técnico ( $A$ ) tendrá una ponderación de 60%, garantizando así la eficiencia en el diseño, se lo obtiene por la expresión:

$$A = \frac{U}{U_i} \leq 1$$

Dónde:

- U: Sumatoria de los puntajes técnicos para cada alternativa.
- $U_i$ : Sumatoria de los puntajes técnicos ideales.
- Considerando al valor más cercano a 10 como el más óptimo.

El coeficiente comparativo del costo ( $B_c$ ) tendrá una ponderación del 40% restante, se lo obtiene por la expresión:

$$B_c = \frac{X_c}{X_i} \leq 1$$

Dónde:

- $X_c$ : Sumatoria de los puntajes de los costos para cada alternativa.
- $X_i$ : Sumatoria de los puntajes de costos para las alternativas ideales.
- Considerando que el valor más cercano a uno es el más conveniente para fabricar, es decir, el de menor costo de fabricación.

El coeficiente total será el 100% de los criterios técnicos y de costos, entonces así se tiene:

$$C_c = A + B_c \leq 1$$

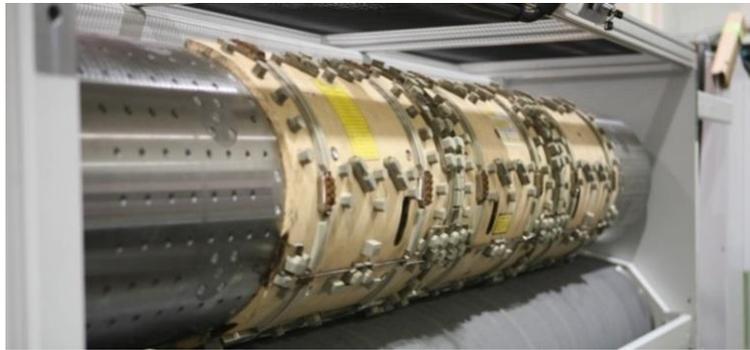
La alternativa a seleccionar será la más cercana al valor unitario, es decir al 100%.

Los valores están basados en catálogos y conocimiento operativo de maquinaria donde se describen capacidades de operación, planes de mantenimiento y una revisión de costos en el mercado.

### 3.3.1. Sección de Troquelado.

Esta sección está compuesta por dos cilindros: el porta herramientas o porta troquel que deberá ser lo suficientemente robusto para permitir el giro del troquel incluyendo el corte a las láminas y el cilindro yunke que estará revestido con camisas de poliuretano para reducir el desgaste de las cuchillas de corte, así se tiene dos alternativas:

#### **ALTERNATIVA 1: Cilindros Completos.**



**Figura 20.** Cilindro Troquel y Yunke troqueladoras WARD.  
Fuente: Marquip Ward United.

#### ***Ventajas:***

- Permite el uso de herramientas para cajas de tipo troqueladas y regulares

#### ***Desventajas:***

- Mayor peso

## ALTERNATIVA 2: Cilindros Seccionados.



**Figura 21.** Secciones de Cuchillas Troqueladora Langston.  
Fuente: Tecno Converting 2000.

### **Ventajas:**

- Menor Peso, menor potencia requerida para el giro del conjunto de cilindros.

### **Desventajas:**

- Solo producción de cajas tipo regulares.

**Tabla 5.**

*Selección de la Sección de Troquelado*

No.	Parámetros de Selección	Alternativa 1	Alternativa 2	Valor Ideal
1	Vida útil	8	8	10
2	Eficiencia	9	6	10
3	Tamaño y/o peso	6	8	10
4	Facilidad de construcción	8	7	10
5	Facilidad de operación	9	8	10
6	Facilidad de mantenimiento	8	6	10
7	Facilidad de montaje y desmontaje	8	7	10
8	Disp. De materiales y/o equipos	8	6	10
Sumatoria criterios técnicos (U)		64	56	80
Coeficiente técnico (A)		0,48	0,42	1
Costo (Xc)		1	0,60	1
Coeficiente de Costo (Bc)		0,40	0,24	1
<b>Coeficiente comparativo total ( Cc )</b>		<b>0,88</b>	<b>0,66</b>	<b>1</b>

### 3.3.2. Sección de Alimentación.

Esta sección tiene como función el ingreso de las láminas a procesar considerando una velocidad y una posición en la máquina, de las máquinas troqueladoras existentes en el mercado.

Se tiene las siguientes alternativas:

#### ALTERNATIVA 1: Correas de Uretano en una mesa de vacío.



*Figura 22.* Sistema de alimentación troqueladora WARD.  
Fuente: Marquip Ward United.

#### *Ventajas:*

- Mayor precisión de posicionamiento de lámina
- Garantiza que se envíe una sola lámina.
- Control variable de envío de láminas.

#### *Desventajas:*

- Costo alto de implementación.

## ALTERNATIVA 2: Mecanismo Mecánico tipo “patada”



**Figura 23.** Mecanismo Mecánico de alimentación tipo "patada".  
Fuente: SAUJADORA Modelo: 4612085230

### *Ventajas:*

- Grado de mantenimiento bajo.
- Bajo costo de implementación.

### *Desventajas:*

- No existe un control variable de láminas.

**Tabla 6.**

*Selección Sección de alimentación.*

No.	Parámetros de Selección	Alternativa 1	Alternativa 2	Valor Ideal
1	Vida útil	8	8	10
2	Eficiencia	9	7	10
3	Tamaño y/o peso	7	7	10
4	Facilidad de construcción	6	9	10
5	Facilidad de operación	7	9	10
6	Facilidad de mantenimiento	6	8	10
7	Facilidad de montaje y desmontaje	7	9	10
8	Disp. De materiales y/o equipos	7	9	10
Sumatoria criterios técnicos (U)		57	66	80
Coeficiente técnico (A)		0,43	0,50	1
Costo (Xc)		0,60	1	1
Coeficiente de Costo (Bc)		0,24	0,40	1
<b>Coeficiente comparativo total ( Cc )</b>		<b>0,67</b>	<b>0,90</b>	<b>1</b>

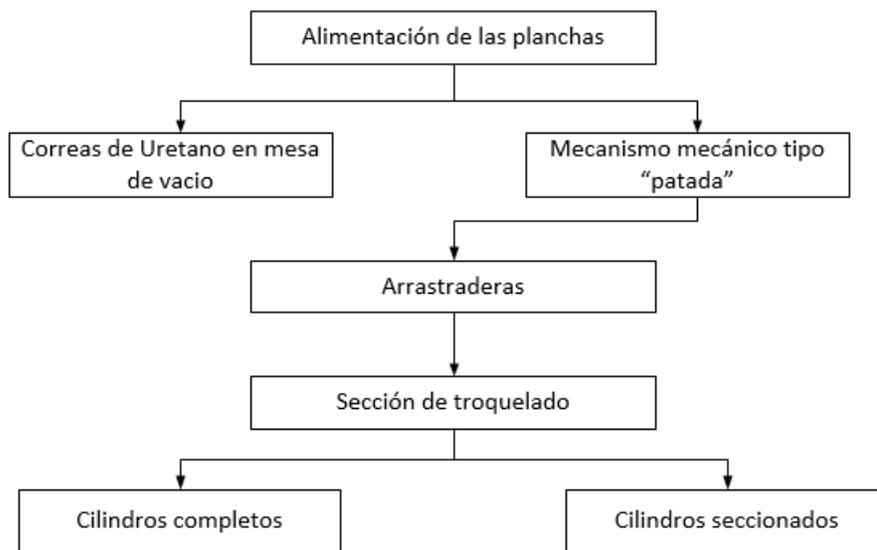
### 3.3.3. Sección de Arrastraderas.

De acuerdo con las máquinas troqueladoras existentes para este tipo de trabajo se tiene que la máquina troqueladora se dividirá en las siguientes secciones (Ver Figura 24):

- Sección de Troquelado.
- Sección de Alimentación

La sección de arrastraderas sirve como nexo entre las secciones de troquelado y de alimentación permitiendo que las láminas ingresen con la velocidad correcta y que no se sobrepongan unas con otras.

De acuerdo a los requerimientos de Corrugadora Nacional CRANSA S.A la sección de arrastraderas constará de dos cilindros de menor diámetro cubiertos de rodillos de caucho.



**Figura 24.** Selección de alternativas de las secciones de la máquina troqueladora.

### 3.4. Secciones de la máquina troqueladora.

De las tablas y criterios de selección se tiene que las secciones a diseñar están dadas por la tabla a continuación:

**Tabla 7.**

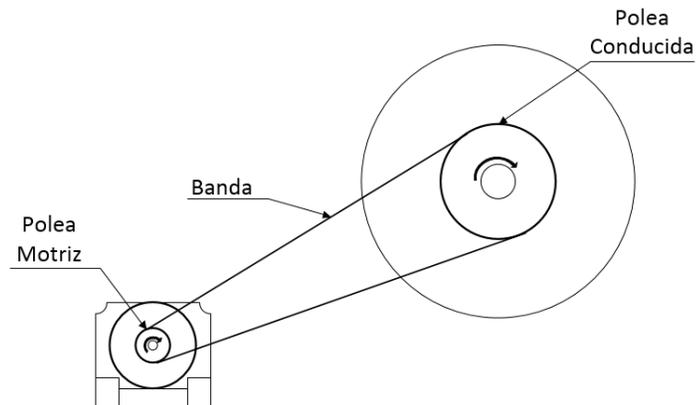
*Secciones a diseñar de la máquina troqueladora.*

SECCIÓN	DETALLE	DESCRIPCION
Cilindros	Requiere de dos cilindros giratorios.	-Cilindro Porta troquel: Cilindro troquel  -Cilindro Porta sufrideras: Cilindro Yunke
Alimentador	Mecanismo mecánico.	-Mecanismo 4 barras  -Mecanismo biela manivela  -Mecanismo balancín corredera
Arrastraderas	Requiere de dos cilindros giratorios	-Consta de dos ejes cilíndricos lo cuales hacen girar empaques de caucho que tienen como finalidad ser la conexión entre alimentador y sección cilindros.

### 3.5. Sistemas de transmisión de potencia: Alternativas y Selección.

Dentro de la práctica se tiene 3 grandes sistemas de transmisión de potencia los cuales se analizarán por medio de una selección cuantitativa:

#### ALTERNATIVA 1: Sistema de Bandas y Poleas.



*Figura 25.* Sistema de transmisión por Bandas y poleas.

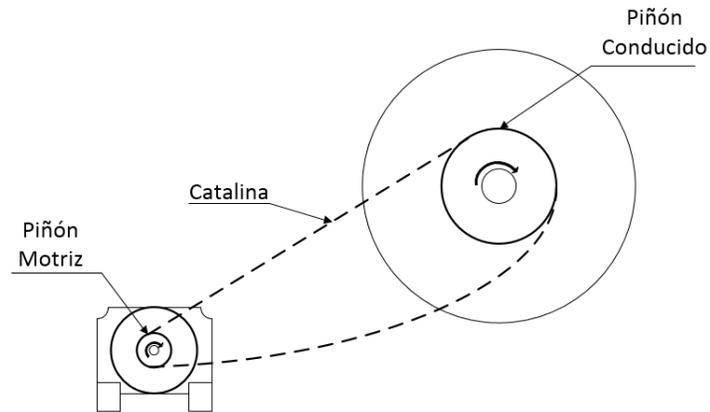
#### *Ventajas:*

- Bajo grado de mantenimiento.
- Bajo costo de implementación.
- Fácil montaje y desmontaje.

#### *Desventajas:*

- No transmite grandes potencias.
- Vida útil baja.
- Necesario equipos para tensión de bandas.

## ALTERNATIVA 2: Sistema de Catalinas y Piñones.



**Figura 26.** Sistema de transmisión por Piñón y Catalina.

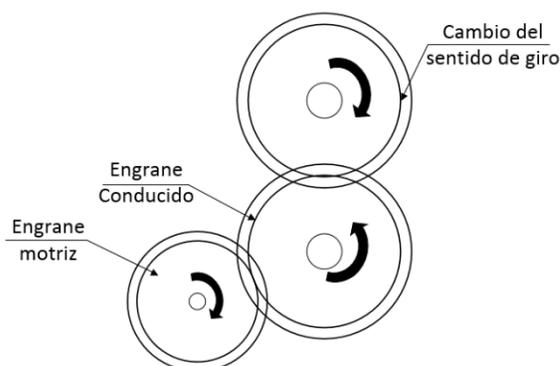
### ***Ventajas:***

- Grado de mantenimiento bajo.
- Bajo costo de implementación.
- Elevado capacidad de torque a bajas velocidades.
- Larga vida útil.
- Permite arranques y paradas continuas.

### ***Desventajas:***

- Necesaria continúa lubricación.
- Nivel de ruido medio.

### ALTERNATIVA 3: Sistema de Engranés.



**Figura 27.** Sistema de transmisión por engranes.

#### **Ventajas:**

- Alta eficiencia en la transmisión de potencia
- Cambio del sentido de giro.

#### **Desventajas:**

- Alto costo de implementación.
- Alto grado de mantenimiento.

**Tabla 8.**

*Selección transmisión de potencia*

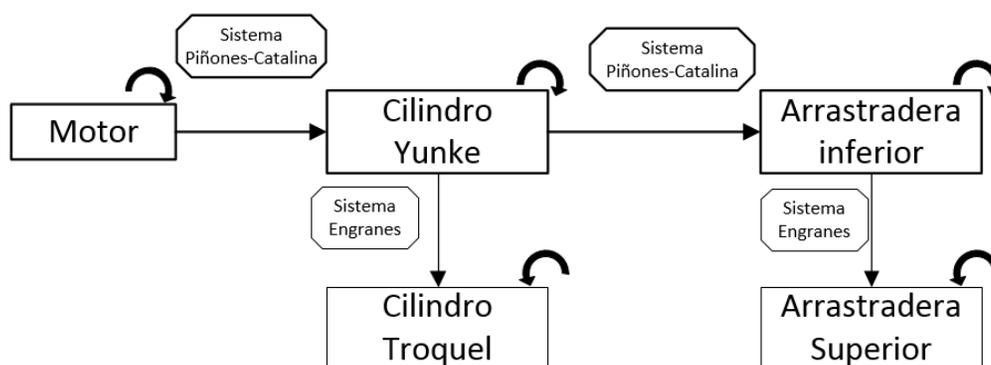
No.	Parámetros de Selección	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Valor Ideal
1	Vida útil	6	7	8	10
2	Eficiencia	6	8	9	10
3	Tamaño y/o peso	9	8	6	10
4	Facilidad de construcción	8	8	6	10
5	Facilidad de operación	6	8	7	10
6	Facilidad de mantenimiento	9	9	6	10
7	Facilidad de montaje y desmontaje	8	8	7	10
8	Disp. De materiales y/o equipos	9	9	6	10
Sumatoria criterios técnicos (U)		61	65	55	80
Coeficiente técnico (A)		0,46	0,49	0,41	1
Costo (Xc)		0,80	1	0,60	1
Coeficiente de Costo (Bc)		0,32	0,40	0,24	1
<b>Coeficiente comparativo total ( Cc )</b>		<b>0,78</b>	<b>0,89</b>	<b>0,65</b>	<b>1</b>

### 3.6. Secuencia de Transmisión de Potencia: Alternativas y Selección.

Se debe determinar la distribución óptima de los sistemas de transmisión, es decir, a que parte de las secciones de la máquina troqueladora se conectará el motor, como se invertirán los sentidos de giro, etc.

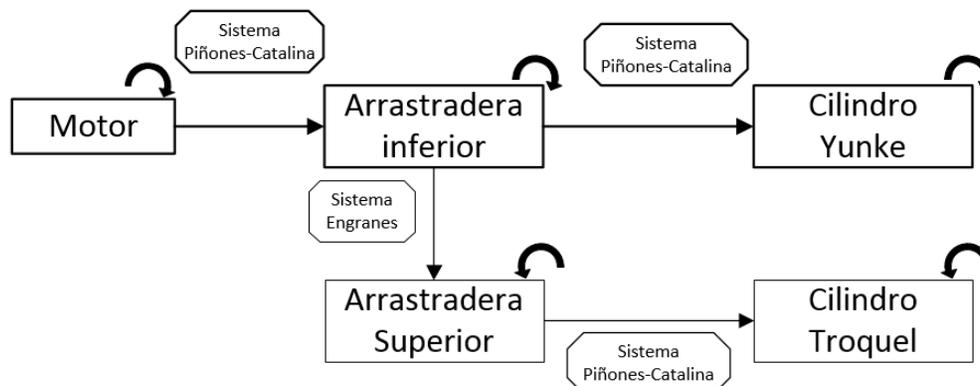
A continuación se muestran algunas alternativas de la secuencia de trasmisión de potencia para luego cuantificarlos y seleccionar la secuencia óptima, considerando la secuencia de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo.

#### ALTERNATIVA 1:



*Figura 28.* Alternativa 1 secuencia de transmisión de movimiento.

#### ALTERNATIVA 2:



*Figura 29.* Alternativa 2 secuencia de transmisión de movimiento.

**Tabla 9.***Secuencia optima de transmisión de potencia.*

No.	Parámetros de Selección	Alternativa 1	Alternativa 2	Valor Ideal
1	Vida útil	8	8	10
2	Eficiencia	8	8	10
3	Tamaño y/o peso	7	8	10
4	Facilidad de construcción	6	8	10
5	Facilidad de operación	7	8	10
6	Facilidad de mantenimiento	6	9	10
7	Facilidad de montaje y desmontaje	7	9	10
8	Disp. De materiales y/o equipos	6	8	10
	Sumatoria criterios técnicos (U)	55	66	80
	Coefficiente técnico (A)	0,41	0,50	1
	Costo (Xc)	0,50	1	1
	Coefficiente de Costo (Bc)	0,20	0,40	1
	<b>Coefficiente comparativo total ( Cc )</b>	<b>0,61</b>	<b>0,90</b>	<b>1</b>

Entonces se tiene que se deberá diseñar 3 sistemas de piñón-catalina y un sistema de engranes, logrando el menor costo de implementación y una alta eficiencia de transmisión de potencia.

## CAPITULO 4: DISEÑO.

### 4.1. Parámetros de Entrada.

#### 4.1.1. Dimensiones de láminas a procesar.

De acuerdo con el análisis de la Tabla 3., se trabajará para las siguientes consideraciones:

- Lámina Mínima: 1550 [mm] de largo x 650 [mm] de ancho.
- Lámina Máxima: 2200[mm] de largo x 1300 [mm] de ancho.

#### 4.1.2. Dimensiones Cilindros.

##### 4.1.2.1. Cilindros Yunke y Troquel

Las dimensiones de estos cilindros están sujetos a los requerimientos dados por parte de CRANSA S.A, por lo cual se tomó como referencia la máquina troqueladora rotativa WARD modelo: F3BZDC la cual tiene las siguientes dimensiones:

**Tabla 10.**

*Dimensiones Cilindros tipo WARD*

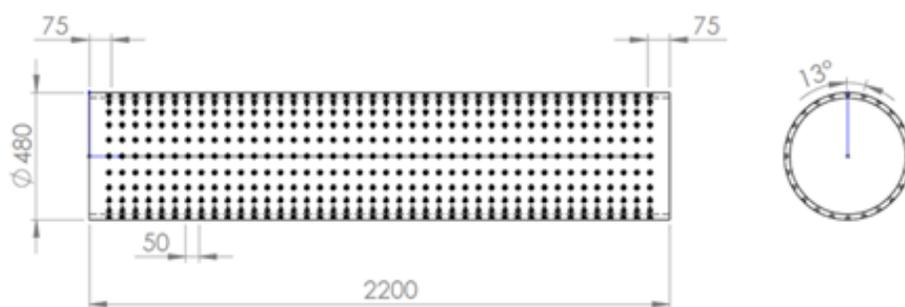
Elemento	Medida [mm]
Perímetro/ Recorrido cilindro troquel	1676
Diámetro cilindro troquel sin troquel	480
Espesor de pared cilindro troquel	15
Agujeros roscados	M8x15
Espesor troquel [ $e_{troquel}$ ]	13,5
Altura cuchillas [ $h_{cuchilla}$ ]	13,5
Diámetro troquel con herramienta [ $\emptyset_{troquel}$ ]	507
Espesor de pared cilindro yunke	15
Diámetro cilindro yunke sin sufridera	510

Continúa →

Espesor sufridera	15
Diámetro cilindro yunke con sufridera [ $\varnothing_{yunke}$ ]	525

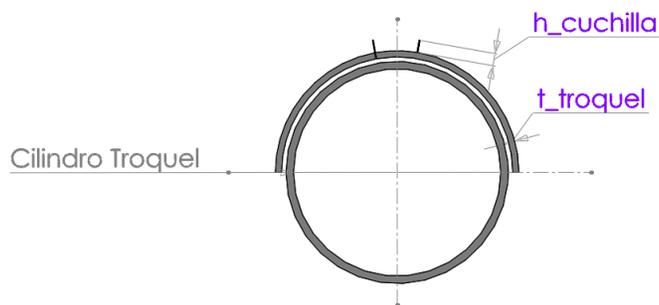
Fuente: Dpto. Mantenimiento CRANSA S.A.

Los agujeros del cilindro troquel se distribuyen según la figura a continuación:

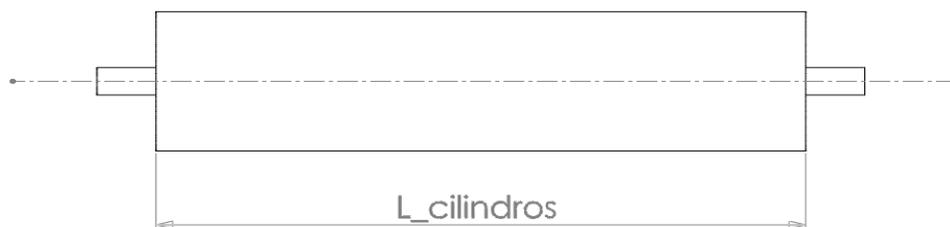


**Figura 30.** Agujeros roscados en cilindro troquel.

Fuente: Dpto. Mantenimiento Corrugadora Nacional CRANSA S.A.



**Figura 31.** Dimensiones Cilindro Troquel.



**Figura 32.** Longitud de Cilindros Yunke y Troquel.

$$L_{cilindros} = 2200 \text{ [mm]}$$

Los ejes para estos cilindros tendrán las siguientes dimensiones aproximadas tomadas como referencia de los ejes de la máquina troqueladora existente en CRANSA S.A. WARD modelo F3BZDC:

- Longitud: 2400 [mm]
- Diámetro: 100 [mm]

#### 4.1.2.2. Dimensiones Arrastraderas

Las arrastraderas se tomaron como referencia de la máquina troqueladora EMBA modelo CASMAKER 170 de la cual se tiene:



**Figura 33.** Dimensiones Cilindros Arrastraderas.  
Fuente: Dpto. Mantenimiento CRANSA S.A.

$$L_{arrastraderas} = L_{cilindros} = 2200 \text{ [mm]}$$

$$\phi_{arrastraderas} = 140 \text{ [mm]}$$

Los ejes para las arrastraderas tendrán las siguientes dimensiones:

- Longitud: 2400 aprox. [mm]
- Diámetro: 70 [mm]

### 4.1.3. Velocidad Angular del cilindro Troquel.

Como se mencionó en el punto 2.7.2, la velocidad de giro incurre directamente en la calidad de las láminas corrugadas debido a que a mayor velocidad aparecen defectos como:

- Mala expulsión de sobrantes (descartonado).
- Cortes parciales.
- Aplastamiento de láminas.

Por todo esto las máquinas troqueladoras operan para un valor nominal de 180 [cajas/min] y un máximo de 200 [cajas/min], valor que es equivalente a la velocidad angular por lo cual la velocidad angular de giro correspondiente al cilindro troquel para los cálculos posteriores será de:

$$\text{RPM}_{\text{cilindro\_troquel}} = 200 \text{ [rev/min]}$$

$$\omega_{\text{cilindro\_troquel}} = 20,94 \text{ [rad/s]}$$

Este valor solventa la capacidad de producción debido a que la máquina troqueladora tendrá la capacidad de producir 200 cajas por minuto.

### 4.1.4. Velocidad Tangencial.

$$V_{\text{cilindros}} = V_{\text{arrastraderas}} = v_T$$

$$v_T = \omega_{\text{cilindro\_troquel}} * \frac{\phi_{\text{troquel}}}{2} \text{ [m/s]} \quad (1)$$

$$v_T = 5,3 \text{ [m/s]}$$

## 4.2. Velocidad Cilindro Yunke y Arrastraderas.

### 4.2.1. Velocidad Cilindro Yunke.

La diferencia de velocidades angulares entre el cilindro troquel y el cilindro yunke se debe a que el cilindro yunke deberá girar más lento debido a que las cuchillas del troquel no pueden hacer contacto en el mismo punto, esto ocasionaría un desgaste no uniforme en las sufrideras, logrando esta diferencia de velocidades con un mayor diámetro del cilindro yunke.

$$\omega_{\text{troquel}} * \frac{\phi_{\text{troquel}}}{2} = \omega_{\text{yunke}} * \frac{\phi_{\text{yunke}}}{2} \quad (2)$$

De la expresión (2) se obtiene:

$$\text{RPM}_{\text{yunke}} = 193 \text{ [rpm]}; \omega_{\text{yunke}} = 20,18 \text{ [rad/s]}$$

### 4.2.2. Velocidad de las Arrastraderas.

Para que los cilindros arrastraderas cumplan con la velocidad tangencial deberán tener una velocidad angular equivalente a:

$$\omega_{\text{troquel}} * \frac{\phi_{\text{troquel}}}{2} = \omega_{\text{arrastraderas}} * \frac{\phi_{\text{arrastraderas}}}{2} \quad (3)$$

De la expresión (3) se obtiene:

$$\text{RPM}_{\text{arrastraderas}} = 724 \text{ [rpm]}; \omega_{\text{arrastraderas}} = 75,84 \text{ [rad/s]}$$

### 4.3. Aceleración Angular

Para determinar la aceleración angular se partirá de la relación (4):

$$\alpha = \frac{\omega}{t_{\text{arranque}}} \left[ \frac{\text{rad}}{\text{s}^2} \right] \quad (4)$$

Dónde:

- $t_{\text{arranque}}$  : Valor que el motor tarda en llegar a la velocidad nominal de operación partiendo desde el reposo este valor se lo considerará de 2 [s] (SIEMENS, Fabricante Del motor).

- $\omega$ : velocidad angular, para este caso se considerará para los cilindros yunke- troquel y para los cilindros arrastraderas como se determinó en los literales 4.1.3. Y 4.2.

Entonces se tiene como aceleraciones angulares:

$$\alpha_{\text{troquel}} = 10,47 \left[ \frac{\text{rad}}{\text{s}^2} \right]$$

$$\alpha_{\text{yunke}} = 10,10 \left[ \frac{\text{rad}}{\text{s}^2} \right]$$

$$\alpha_{\text{arrastraderas}} = 37,92 \left[ \frac{\text{rad}}{\text{s}^2} \right]$$

### 4.4. Masa e Inercia de los conjuntos de la máquina troqueladora.

La inercia y masa se determinó mediante el software SOLIDWORKS considerando las dimensiones establecidas previamente, la inercia se consideró en el eje de giro (eje axial).

#### 4.4.1. Masa e Inercia Conjunto Troquel.

**Tabla 11.**

*Masa e Inercia Conjunto Troquel.*

<b>Elemento Inercia</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Material</b>	<b>Masa [kg]</b>	<b>Inercia [kgm<sup>2</sup>]</b>
Cilindro Troquel	1	ASTM 283	189,35	12,5
Troquel	1	Madera de Maple	24,65	0,16
Eje troquel	1	SAE 4340	160,3	0,2
<b>Total</b>	3	-	374,3	12,86

#### 4.4.2. Masa e Inercia Conjunto Yunke.

**Tabla 12.**

*Masa e Inercia Conjunto Yunke.*

<b>Elemento Inercia</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Material</b>	<b>Masa [kg]</b>	<b>Inercia [kgm<sup>2</sup>]</b>
Cilindro Yunke	1	ASTM 283	162	10,69
Sufridera	1	Poliuretano	30	1,84
Eje yunke	1	SAE 4340	160,3	0,2
<b>Total</b>	3	-	352,3	12,73

#### 4.4.3. Masa e Inercia Conjunto Arrastraderas.

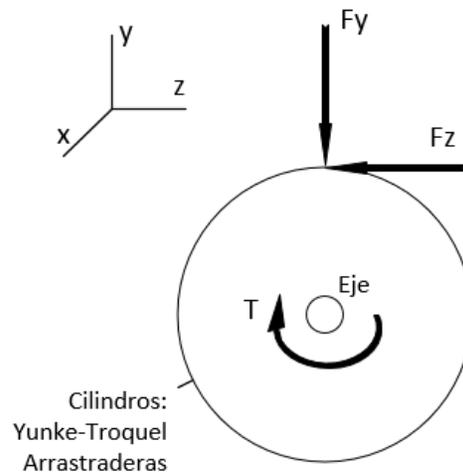
**Tabla 13.**

*Masa e Inercia Conjunto Arrastraderas.*

<b>Elemento Inercia</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Material</b>	<b>Masa [kg]</b>	<b>Inercia [kgm<sup>2</sup>]</b>
Arrastradera	2	Caucho	22,61	0,12
Eje Arrastradera	2	SAE 4340	78,54	0,05
<b>Total</b>	4	-	101,15	0,17

#### 4.5. Fuerza, Torque y Potencia requerida.

En los cilindros yunque y troquel como en las arrastraderas actúan fuerzas en los ejes radial y tangencial, es decir, las fuerzas en el eje axial son nulas por lo que se determinará la fuerza necesaria para mover cada uno de estos conjuntos.



*Figura 34.*DCL Cilindros: Yunque, Troquel y Arrastraderas.

##### 4.5.1. Fuerza Tangencial.

$$F_z = \frac{2 \cdot I_c \cdot \alpha_c}{\phi_c} \text{ [N]} \quad (5)$$

Dónde:

- $I_c$ : Inercia del conjunto a mover en  $[\text{kgm}^2]$ .
- $\alpha_c$ : Aceleración angular del conjunto a mover  $[\text{rad/s}^2]$ .
- $\phi_c$ : Diámetro externo del conjunto a mover  $[\text{m}]$ .

Con los valores de inercias, aceleraciones y diámetros determinados anteriormente se tiene:

$$F_{z\text{troquel}} = 531,3 \text{ [N]}$$

$$F_{zyunke} = 488,67 \text{ [N]}$$

$$F_{z\text{arrastraderas}} = 92 \text{ [N]}$$

#### 4.5.2. Fuerza Radial.

$$F_y = \frac{F_z \cdot \beta}{\mu} \text{ [N]} \quad (6)$$

Dónde:

- $\beta$ : Margen de fuerza de unión en transmisiones de fuerza, 1,5.
- $\mu$ : Coeficiente de rozamiento.

$$\mu_{\text{acero-uretano}} = 0,55^2$$

$$\mu_{\text{caucho-papel}} = 0,7^3$$

De las fuerzas tangenciales se tiene:

$$F_{y\text{troquel}} = 1449 \text{ [N]}$$

$$F_{y\text{yunke}} = 1333 \text{ [N]}$$

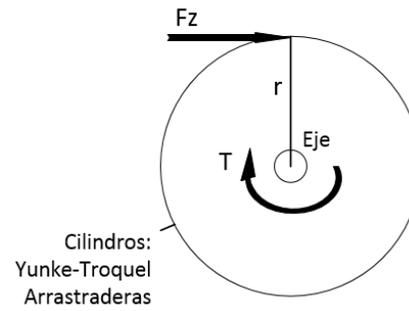
$$F_{y\text{arrastraderas}} = 197,14 \text{ [N]}$$

---

<sup>2</sup> AMC, MECANOCAUCHO, Ficha Técnica Poliuretano Sylomer

<sup>3</sup> Diseño y construcción de un prototipo de robot electro neumático escalador para inspección de lugares inaccesibles sobre superficies planas y lisas, Capitulo 3, Tabla 3.10 “Detalle de coeficientes de rozamiento entre ventosas y el material de las superficies”

### 4.5.3. Torque.



**Figura 35.**DCL. Torque

$$T = F_{z_c} \cdot \frac{\phi_c}{2} \text{ [N. m]} \quad (7)$$

Dónde:

- $F_{z_c}$ : Fuerza tangencial del conjunto [N].
- $\frac{\phi_c}{2}$ : radio del conjunto [m].

Se las fuerzas determinadas en 4.5.1 se tiene:

$$T_{\text{troquel}} = 134,68 \text{ [N. m]}$$

$$T_{\text{yunke}} = 128,3 \text{ [N. m]}$$

$$T_{\text{arrastraderas}} = 6,44 \text{ [N. m]}$$

#### 4.5.4. Potencia Requerida.

Para la selección del motor se calculará la potencia requerida por cada uno de los conjuntos, potencia dada por la siguiente expresión:

$$P = \frac{T_c \cdot \omega_c}{1000} \text{ [kW]} \quad (8)$$

Dónde:

- $T_c$ : Torque generado por cada conjunto [N.m].
- $\omega_c$ : Velocidad angular de cada conjunto [rad/s].

$$P_{\text{troquel}} = 2,821 \text{ [kW]}; P_{\text{yunke}} = 2,68 \text{ [kW]}; P_{\text{arrastraderas}} = 0,5 \text{ [kW]}$$

#### 4.5.5. Potencia total requerida.

Tomando en cuenta que el valor de la Potencia de las arrastraderas es para una sola se tiene la potencia total requerida:

$$P_{\text{tr}} = 6,5 \text{ [kW]}$$

#### 4.5.6. Potencia Experimental de corte.

Es necesario conocer si la potencia calculada analíticamente satisface la potencia real del corte de la lámina de cartón por lo que esta potencia se la determinará por medio de la fuerza específica de corte determinada a continuación.

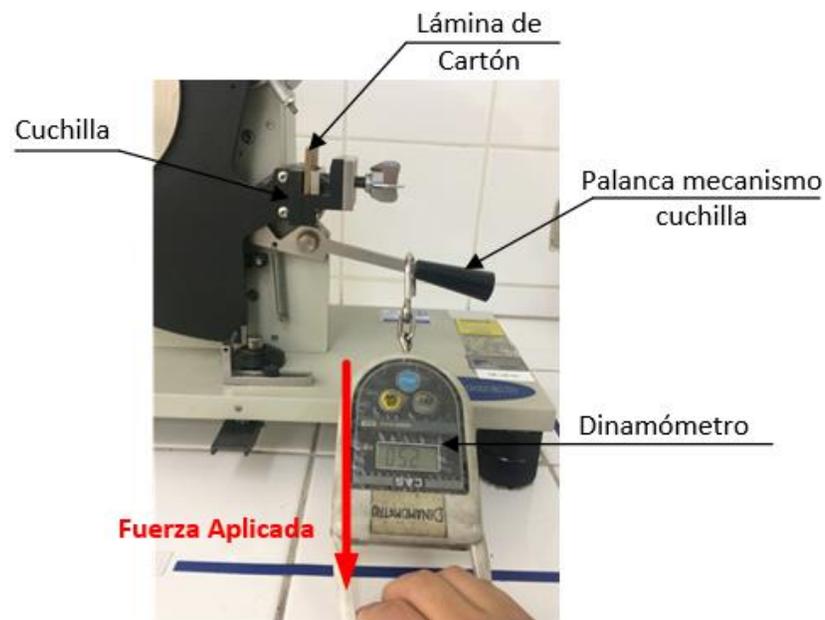
$$F_c = k_s \cdot A_{\text{corte}} \text{ [N]}^4 \quad (9)$$

Dónde:

$A_{\text{corte}}$ , corresponde al área que ocupa las cuchillas

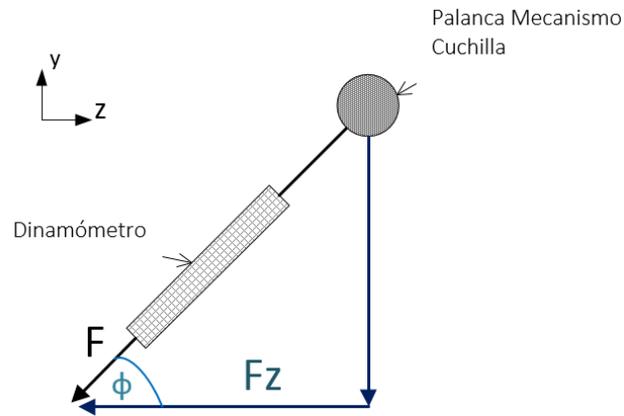
$k_s$ , Fuerza de corte específica.

Para determinar el valor de  $k_s$  se realizaron ensayos con 20 probetas de 75x30 [mm] en un Test de 786 CK (786 [kgf/mm] ; Tipo de flauta C ; Espesor 4,16 [mm]) correspondiente al mayor espesor de lámina a procesar, el procedimiento para el corte es como se observa en la Figura 36.



**Figura 36.** Equipo Experimental determinación  $K_s$ .

<sup>4</sup> BARTSCH, Herramientas máquinas de trabajo; Ed. Reverte; Pág. 22.

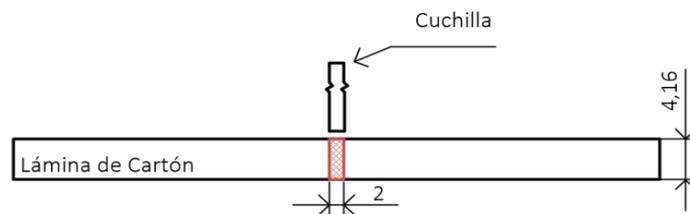


**Figura 37.** Equipo Experimental determinación  $K_s$ . Vista Frontal

De la Figura 37 se obtiene:

- $\Phi$ : Ángulo de aplicación de la fuerza el cual no es constante pero para el fin del procedimiento la variación es despreciable
- $Fz$ : Fuerza tangencial a la lámina.

El área de corte viene dada por la Figura 38:



**Figura 38.** Área de corte experimental

**Tabla 14.**  
*Factor de Corte*

SENTIDO DE LA PROBETA	LADO DE PROBETA	FUERZA			Fuerza de Corte Específica [N/mm <sup>2</sup> ]	
		No.	F [N]	Fz [N]		
Paralelo	Interno	1	4,30	3,29	0,40	
		2	4,60	3,52	0,42	
		3	4,30	3,29	0,40	
		4	4,30	3,29	0,40	
		5	4,30	3,29	0,40	
		<i>Promedio parcial</i>				<i>0,40</i>
	Externo	1	4,20	3,21	0,39	
		2	4,70	3,59	0,43	
		3	4,50	3,44	0,41	
		4	4,75	3,63	0,44	
		5	4,70	3,59	0,43	
		<i>Promedio Parcial</i>				<i>0,42</i>
	Transversal	Interno	1	4,50	3,44	0,41
			2	4,90	3,75	0,45
			3	4,75	3,63	0,44
4			4,70	3,59	0,43	
5			4,40	3,37	0,40	
<i>Promedio Parcial</i>				<i>0,43</i>		
Externo		1	4,60	3,52	0,42	
		2	5,00	3,82	0,46	
		3	5,20	3,98	0,48	
		4	5,10	3,90	0,47	
		5	5,05	3,86	0,46	
<i>Promedio parcial</i>				<i>0,46</i>		
<b>Fuerza Específica de Corte (Valor Máximo)</b>					<b>0,48</b>	

Para el área de corte  $A_{\text{corte}}$ , se tomó al troquel con mayor número de cuchillas en contacto con la lámina de cartón (Ver la Figura 39), el cual cuenta con un total de 32 cuchillas transversales.



**Figura 39.** Troquel con mayor número de cuchillas.  
Fuente: CRANSA S.A.

$$A_{\text{corte}} = A_{\text{corte\_exp}} \cdot \# \text{cuchillas} \text{ [mm}^2\text{]}$$

$$A_{\text{corte}} = 266,24 \text{ [mm}^2\text{]}$$

Este valor se lo reemplaza en la expresión (9).

$$F_{z_c} = 127,80 \text{ [N]}$$

La fuerza de corte experimental en las expresiones (7) y (8) se tiene:

$$T_{\text{exp}} = 32,07 \text{ [N.m]}$$

$$P_{\text{exp}} = 0,67 \text{ [kW]}$$

La potencia experimental de corte deberá ser menor que la potencia requerida por el cilindro troquel para así garantizar de que el sistema cumple con el corte de láminas, así con la potencia determinada en 4.5.4 para el cilindro troquel se tiene que:

$$P_{\text{troquel}} > P_{\text{exp}}$$

#### 4.5.7. Selección del Motor.

De los motores disponibles en Corrugadora nacional CRANSA S.A. se tiene:

**Tabla 15.**  
*Motores Disponibles*

MARCA	Potencia [HP]	Potencia [KW]	RPM
ASEA	4	3,0	1730
SIEMENS	5	3,7	1150
SIEMENS	7,5	5,6	1740
SIEMENS	5	3,7	3480
TEFC	5	3,7	1745
BALDOR	15	11,2	3450
SIEMENS	10	7,5	1750

Fuente: Dpto. Mantenimiento CRANSA S.A.

Entonces:

$$P_{\text{motor}} \geq P_{\text{tr}}$$

Por lo que el motor seleccionado tiene las siguientes características.

Marca: SIEMENS

Modelo: 1LA7-4YA70

Potencia: 7,5 [kW]

RPM: 1750

#### 4.6. Sistema de Transmisión de Potencia.

La selección de cadenas está dada por el catálogo de INTERMEC (Industria Colombiana), en el cual se indica todas las especificaciones requeridas.

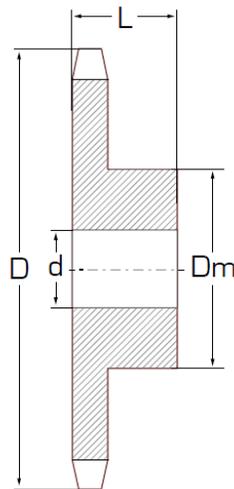
Dentro de las consideraciones se tiene un factor de servicio (FS) correspondiéndote a 1 debido a que el trabajo es uniforme con este valor se determina la potencia de diseño para los cálculos posteriores.

$$P_D = FS \cdot P \text{ [Hp]} \quad (10)$$

La potencia para el cálculo de las cadenas será la potencia real que requiere cada uno de los conjuntos, asegurando así evitar sobredimensionamiento de las partes con elementos disponibles.

$$P_D = 8,3 \text{ [Hp]}$$

El proceso de selección de las cadenas se lo determinó en el Anexo A, de donde se tiene las dimensiones de las catalinas como lo indica la Figura 40:



**Figura 40.** Dimensiones catalinas.  
Fuente: Catálogo INTERMEC “Piñones sencillos”

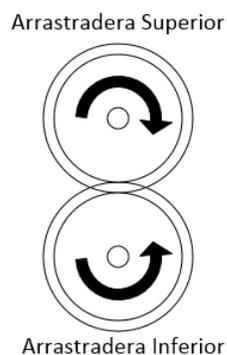
**Tabla 16.**  
*Dimensiones Cadenas*

TIPO	D [mm]	L[mm]	d [mm]/min	d [mm]/max
<b>MOTOR-ARRASTRADERA INFERIOR</b>				
40B17	75,7	25	15,88	36,51(1-7/16)
40B41	173,0	28	19,05	60,325(2-3/8)
<b>ARRASTRADERA INFERIOR-CILINDRO YUNKE</b>				
50B18	98,6	25	15,88	47,62(1-7/8)
50B67	346,9	32	25,4	63,5(2-1/2)
<b>ARRASTRADERA SUPERIOR-CILINDRO TROQUEL</b>				
50B18	98,6	25	15,88	47,62(1-7/8)
50B65	336,8	32	25,4	63,5(2-1/2)

Fuente: Catálogo INTERMEC.

#### 4.6.1. Cambio de sentido de giro.

El giro tanto del cilindro troquel como de la arrastradera superior tiene que ser en sentido contrario con el del cilindro yunke y la arrastradera inferior lo cual se determinó por medio de dos engranes rectos con una relación de 1:1 (Ver Figura 41).



**Figura 41.** Cambio de sentido de giro por engranes rectos.

Como las arrastraderas fueron tomadas en base a las existentes de la máquina troqueladora tipo EMBA los engranes rectos tendrán los siguientes parámetros.

**Tabla 17.**

*Dimensiones Engranes rectos Arrastraderas EMBA*

<b>Parámetro Engranes Rectos [mm]</b>	
Número de dientes, Z	48
Modulo, m.	3
Diámetro de paso, Dp.	144
Diámetro exterior, De.	149,63
Paso	9,42
Espesor del diente, e.	4,71
Ancho del diente, t.	30
Altura del diente, h.	6,75
Ángulo de presión [°], $\phi_p$	20
Material	AISI 1020
Resistencia a la Fluencia, $S_y$ [Mpa]	220
Dureza [HB]	111

Fuente: Dpto. Mantenimiento CRANSA S.A.

La relación que se requiere es de 1:1 la cual garantiza la velocidad requerida en el conjunto de arrastraderas, esta relación se cumple mediante la siguiente expresión para la distancia entre ejes:

$$d_{\text{ejes}} = \frac{mZ_1 + mZ_2}{2} \quad (11)$$

Al ser los piñones del mismo módulo y número de dientes se tiene:

$$d_{\text{ejes}} = 3(48) = 144 \text{ [mm]}$$

Según AGMA se tiene la expresión que determina la resistencia a la picadura (esfuerzo de contacto) a la cual estará sometido el engrane la cual implementa los números de esfuerzo o factores descritos en la expresión a continuación:

$$\sigma = Z_E \cdot \sqrt{W^t \cdot K_o \cdot K_v \cdot K_s \cdot \frac{K_H}{d_{w1} b} \frac{Z_R}{Z_I}} \text{ [Mpa]} \quad (12)$$

Dónde:

- $W^t$ , carga tangencial determinada en Anexo B, 89,4 [N].
- $K_o$ , Factor de sobrecarga, 1,25 (Ver Anexo E)
- $K_v$ , factor dinámico, 2,1 (Ver Anexo E)
- $K_s$ , factor de tamaño,  $1^5$
- $b$ , espesor del diente, 4,71 [mm].
- $d_{w1}$ , diámetro de paso del piñón, 144 [mm].
- $K_H$ , Factor de distribución de la carga, 1,52 (Ver Anexo E)
- $Z_E$ , Coeficiente elástico,  $191 \sqrt{\text{MPa}^6}$
- $Z_R$ , Factor de condición superficial, 1
- $Z_I$ , Factor geométrico de resistencia a la picadura, 0,16 (Ver Anexo E)

$$\sigma = 346,28 \text{ [Mpa]}$$

La resistencia a la fatiga por contacto a  $10^7$  ciclos con una confiabilidad de 0.99 para engranes de acero se define por:

$$\sigma_{adm} = 2,22H_B + 200\text{MPa}^7$$

$$\sigma_{adm} = 446,42 \text{ [MPa]}$$

$$n = \frac{\sigma_{adm}}{\sigma} = \frac{446,42}{346,28} = 1,3$$

<sup>5</sup> Factor de tamaño, “Diseño en Ingeniería Mecánica”, Shigley 9na Edición. Cap. 14 Pág. 730

<sup>6</sup> Coeficiente Elástico, “Diseño en Ingeniería Mecánica”, Shigley 9na Edición. Cap. 14 Pág. 728

<sup>7</sup> Resistencia a la fatiga por contacto “Diseño en Ingeniería Mecánica”, Shigley 9na Edición. Cap. 14 Pág. 721

#### 4.7. Determinación analítica de los diámetros en las secciones de los ejes.

Las reacciones fueron determinadas de acuerdo al proceso descrito en el Anexo C, del cual se obtuvieron las siguientes resultantes.

##### 4.7.1. Arrastradera Inferior.

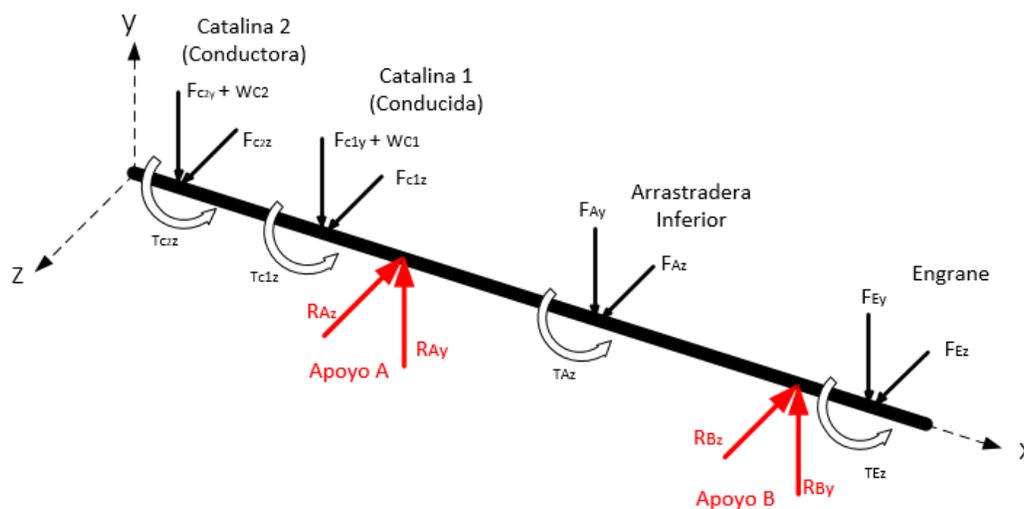


Figura 42. Diagrama de fuerzas Arrastradera Inferior.

Tabla 18.

Reacciones en el eje arrastradera inferior.

Apoyo	Reacción [N]
<b>Plano X-Y</b>	
RAy	744,71
RBy	632,32
<b>Plano X-Z</b>	
RAz	834,48
RBz	62,68
<b>Resultantes</b>	
RA	1118,46
RB	635,42

A continuación se presenta los diagramas Cortante y momento Flector de los cuales se obtendrá los momentos actuantes en los diferentes componentes del eje para así determinar el diámetro.

El diámetro viene dado por la expresión (13)

$$D = \left[ \left( \frac{32n}{\pi} \right) \left[ \left( \frac{k_f \cdot M_{\max}}{S_n} \right)^2 + \frac{3}{4} \left( \frac{T}{S_y} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right]^{\frac{1}{3}} \quad (13)^8$$

Dónde:

- D, diámetro del eje en [mm].
- n, factor de seguridad, 1.
- $k_f$ , factor de concentración de esfuerzos, definido en Anexo D.
- $M_{\max}$ , Momento resultante de la sección del eje [N.mm]
- $S_n$ , Resistencia a la fatiga, definido en Anexo D [ $\text{kg}/\text{mm}^2$ ].
- T, torque de la sección del eje [N.mm].
- $S_y$ , Fluencia del material, 67 [ $\text{kg}/\text{mm}^2$ ].

**Tabla 19.**

*Diámetros eje Arrastradera inferior.*

Punto	T [N.mm]	M [N.mm]	D [mm]
C2 (Conductora)	36328,18	0	16,63
C1 (Conducida)	2442,76	52085	22,47
Apoyo A	4449,90	183525,65	34,19
Arrast. Inferior	4449,90	654549,70	52,23
Apoyo B	4449,90	5037,93	10,72
Engrane	4621,72	0	8,37

<sup>8</sup> ANSI B106.1M, "Diseño de Ejes para Transmisión de potencia "

#### 4.7.2. Arrastradera Superior.

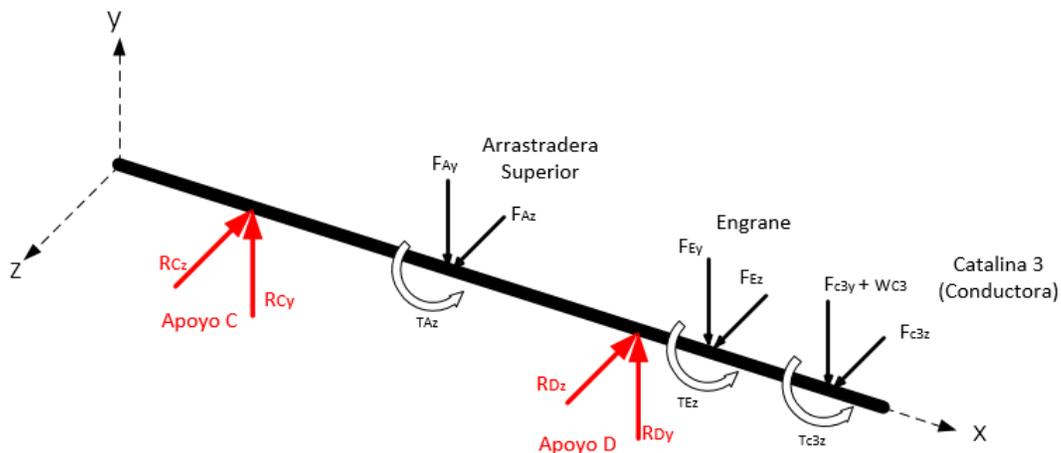


Figura 43. Diagrama de fuerzas Arrastradera Superior

Tabla 20.

Reacciones en el eje arrastradera superior.

Apoyo	Reacción [N]
<b>Plano X-Y</b>	
RCy	547,82
RDy	953,21
<b>Plano X-Z</b>	
RCz	(-),4,09
RDz	855,17
<b>Resultantes</b>	
RC	547,84
RD	1280,60

Tabla 21.

Diámetros eje Arrastradera superior.

Punto	T [N.mm]	M [N.mm]	D [mm]
Apoyo C	4449,90	0	8,26
Arrast. Superior	4449,90	630009,83	51,57
Apoyo D	4449,90	90291,60	26,99
Engrane	4621,73	46737,60	21,68
C3 (conductora)	35448,67	0	16,50

### 4.7.3. Conjunto Yunke

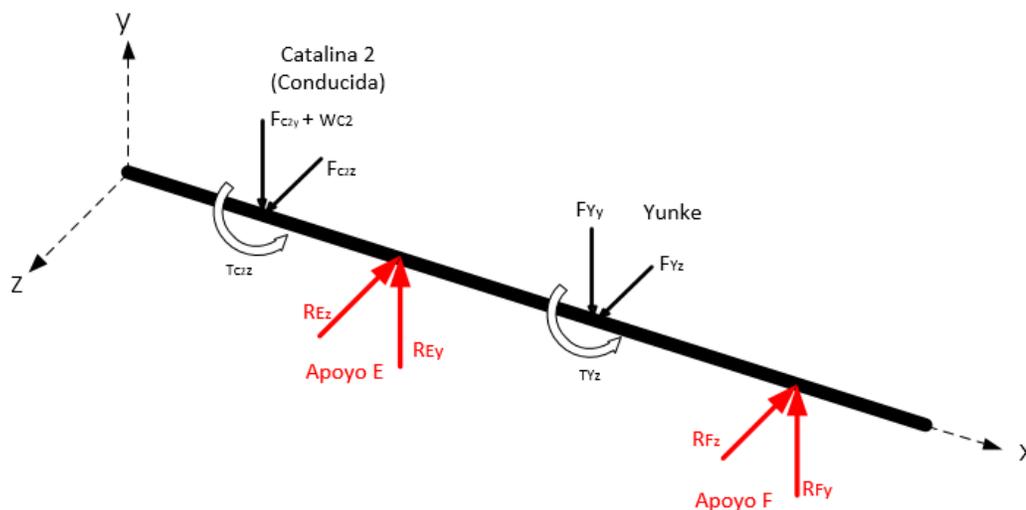


Figura 44. Diagrama de fuerzas Cilindro Yunke

Tabla 22.

Reacciones en el eje cilindro Yunke

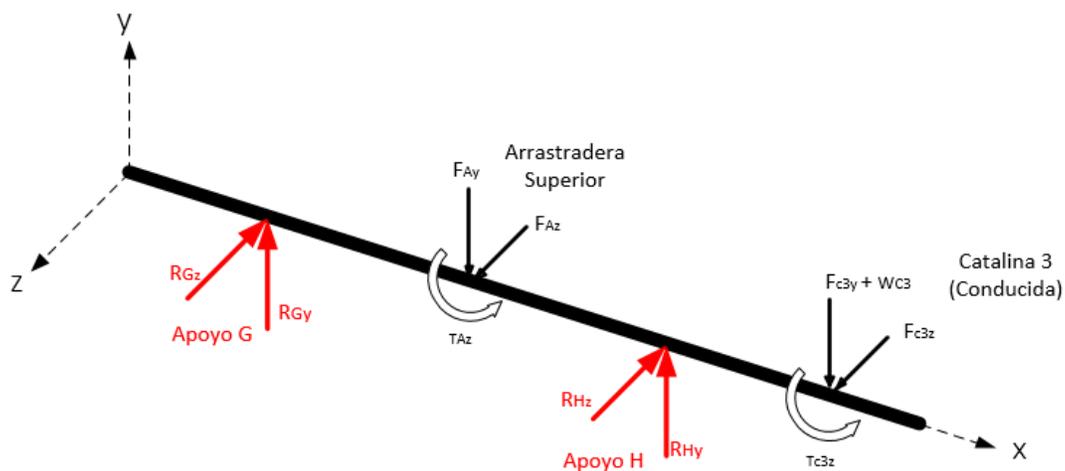
Apoyo	Reacción [N]
<b>Plano X-Y</b>	
REy	2501,86
RFy	2387,36
<b>Plano X-Z</b>	
REz	1019,66
RFz	205,89
<b>Resultantes</b>	
RE	2701,70
RF	2396,23

Tabla 23.

Diámetros eje cilindro Yunke

Punto	T [N.mm]	M [N.mm]	D [mm]
C2 (conducida)	128917,16	0	25,37
Apoyo E	128275,88	89296,92	29,37
Yunke	128275,88	2760174,12	84,40
Apoyo F	128275,88	0	25,33

#### 4.7.4. Conjunto Troquel.



**Figura 45.** Diagrama de fuerzas Cilindro Troquel

**Tabla 24.**

*Reacciones en el eje cilindro Troquel*

Apoyo	Reacción [N]
<b>Plano X-Y</b>	
RGy	2537,72
RHy	2979
<b>Plano X-Z</b>	
RGz	228,13
RHz	1022,20
<b>Resultantes</b>	
RG	2547,95
RH	3149,52

**Tabla 25.**

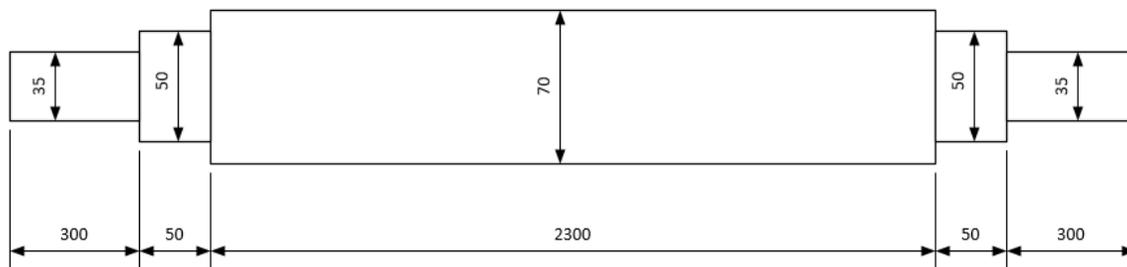
*Diámetros eje cilindro Troquel*

Punto	T [N.mm]	M [N.mm]	D [mm]
Apoyo G	134684,55	0	25,75
Troquel	134684,55	2931762,30	86,11
Apoyo H	134684,55	98714,04	30,16
C3(conducida)	121086,34	0	24,85

#### 4.8. Diámetros reales de las secciones de los ejes.

Previamente se determinaron los diámetros mínimos admisibles para el correcto funcionamiento de los ejes, en esta sección se establecerán los diámetros según a la maquinaria existente en CRANSA S.A. así como los diámetros óptimos para facilidad de construcción y montaje.

##### 4.8.1. Arrastradera Inferior y Superior.



*Figura 46.* Dimensiones ejes Arrastraderas

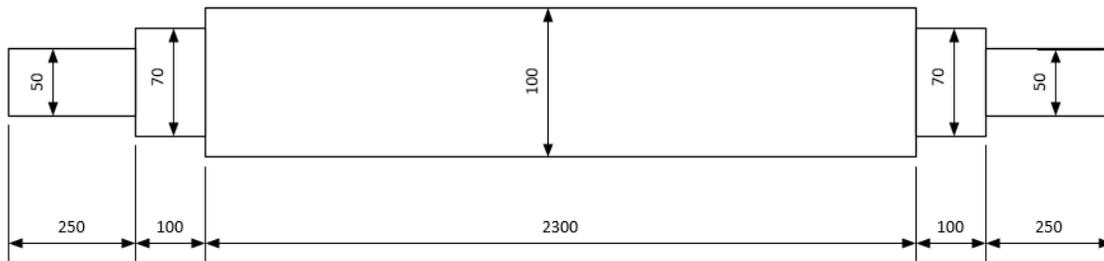
Como se muestra en la Figura 46 se tiene 3 secciones a lo largo del eje esta comparada con los diámetros determinados en las tablas Tabla 19 y Tabla 21 se tiene un factor de seguridad de:

$$n_{\phi 70} = \frac{70}{52,23} = 1,34$$

$$n_{\phi 50} = \frac{50}{34,19} = 1,46$$

$$n_{\phi 35} = \frac{35}{22,47} = 1,55$$

#### 4.8.2. Conjuntos Yunke y Troquel.



**Figura 47.** Dimensiones ejes Cilindros

$$n_{\phi 100} = \frac{100}{86,11} = 1,16$$

$$n_{\phi 70} = \frac{70}{30,16} = 2,32$$

$$n_{\phi 50} = \frac{50}{25,37} = 1,97$$

#### 4.9. Selección de Rodamientos.

Los rodamientos serán seleccionados en base al apoyo más crítico determinado en 4.7.

Determinación de Reacciones.

La carga a considerar es de tipo dinámica debido a que los rodamientos trabajarán con una carga. Según catálogos de rodamientos SKF, se tiene la expresión de capacidad de carga dinámica:

$$L_{10} = \left(\frac{C}{Q}\right)^p \quad (14)$$

Dónde:

- $L_{10}$ , Vida nominal del rodamiento para 1.000.000 de revoluciones según ISO281.
- C, capacidad de carga dinámica del rodamiento [kN].
- p, exponente de la ecuación de la vida útil,  $p=10/3$  para rodillos de cilindros.

- Q, Carga dinámica equivalente del rodamiento [kN].

La fuerza equivalente está representada por las cargas axiales y radiales que puedan estar presentes para el trabajo del rodamiento:

$$Q = X \cdot F_r + Y \cdot F_a \quad (15)$$

Dónde:

- X, factor de carga radial del rodamiento, 1.
- Y, factor de carga axial del rodamiento, 0.

#### 4.9.1. Rodamientos Cilindro Troquel y Yunke

De las Tablas 20 y 22 se tiene:

$$C = 198,72 \text{ [kN]}$$

Según la carga dinámica el rodamiento seleccionado es FYNT 70 L<sup>9</sup>

#### 4.9.2. Rodamientos Arrastraderas

De las tablas 16 y 18 se tiene:

$$C = 80,80 \text{ [kN]}$$

Según la carga el rodamiento seleccionado es FYNT 50 L<sup>10</sup>

---

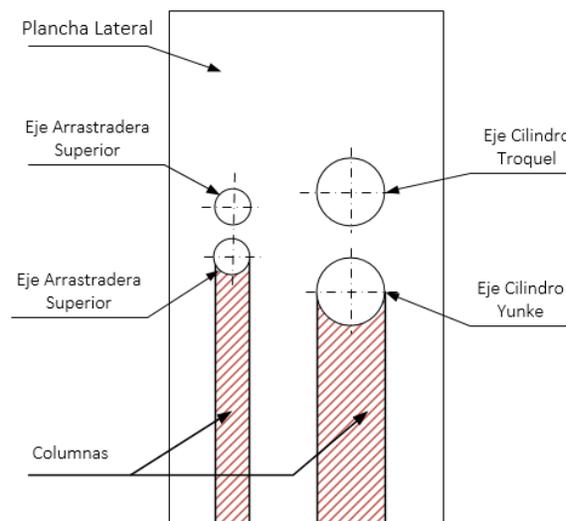
<sup>9</sup> Catálogo SKF

<sup>10</sup> Catálogo SKF

#### 4.10. Planchas Laterales.

Las planchas laterales serán las encargadas de soportar la carga de los cilindros: troquel, yunke y arrastraderas por lo cual se las considera como la estructura bastidor de la máquina troqueladora.

Se debe determinar el espesor necesario para soportar las cargas, para este cálculo se utilizará el principio de Euler para columnas, es decir se considerará una porción de la placa como columna como indica la figura a continuación:



**Figura 48.** Columnas en planchas laterales

La expresión (16) viene dado para la carga crítica que podrá soportar una columna.

$$P_{\text{crit}} = n \cdot \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{(kL)^2} \quad [\text{N}] \quad (16)$$

Dónde:

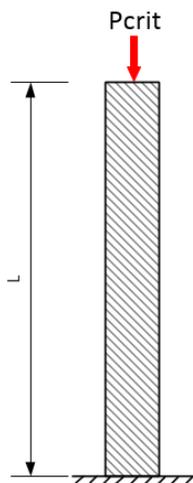
- E, módulo de elasticidad del acero A36 2E5 [N/mm<sup>2</sup>].
- I, Inercia de la sección transversal de la columna [mm<sup>4</sup>].

- $k$ , coeficiente para el tipo de sujeción de la columna,  $2^{11}$ .
- $L$ , longitud de la columna [mm].
- $n$ , factor de seguridad, 2, determinado en Anexo D.2.

Para el análisis se tendrán 4 casos, divididos en lado motor y lado operador, dónde el caso más crítico serpa el que determine el espesor de las planchas.

- CASO 1: Lado motor: Cilindros Troquel y Yunke,  $L=585$  [mm],  $a=100$  [mm].
- CASO 2: Lado Operador: Cilindros Troquel y Yunke,  $L=585$  [mm],  $a=100$  [mm].
- CASO 3: Lado motor: Arrastraderas,  $L=793$  [mm],  $a=70$  [mm].
- CASO 4: Lado operador: Arrastraderas,  $L=793$  [mm],  $a=70$  [mm].

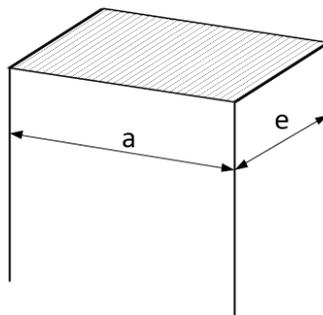
La Figura 49 muestra cómo se supondrá la carga que actúa para cada caso.



**Figura 49.** Diagrama para análisis de espesor de las planchas laterales.

<sup>11</sup> PEREZ J, Mecánica de Materiales, Pág. 4

La inercia de la sección transversal se define como la de un rectángulo como muestra la Figura 50 la cual viene dada por la expresión (17):



**Figura 50.** Sección transversal plancha lateral.

$$I = \frac{1}{12} \cdot a \cdot e^3 \text{ [mm}^4\text{]} \quad (17)$$

Con los valores obtenidos de las fuerzas de catalinas Anexo B, pesos en 4.4 y la expresión (17) en la expresión (16), se tiene:

**Tabla 26.**

*Espesor plancha lateral*

<b>CASO</b>	<b>Pcrit [N]</b>	<b>I [mm<sup>4</sup>]</b>	<b>t [mm]</b>
<b>1</b>	14319,76	10101,13	10,66
<b>2</b>	14339	10114,70	10,67
<b>3</b>	4102,28	5227,60	9,64
<b>4</b>	4161,08	5302,52	9,70

Entonces se tiene que el espesor de las planchas laterales será de 12 [mm].

Por motivos constructivos se necesita que el espesor en las zonas de los rodamientos sea mayor por lo cual se variará el espesor de las planchas con la implementación de placas cumpliendo con la condición de la expresión

$$I' \geq I \quad (18)$$

Dónde:

- $I'$ , Inercia de la plancha con las placas [ $\text{mm}^4$ ].

Para la columna de los cilindros troquel y yunke (CASO 2) se tiene dos placas de:

$$a = 170 \text{ [mm]}$$

$$e = 6 \text{ [mm]}$$

$$10386,67 \geq 10114,70$$

Para la columna de los cilindros arrastraderas (CASO 4) se tiene dos placas de:

$$a = 100 \text{ [mm]}$$

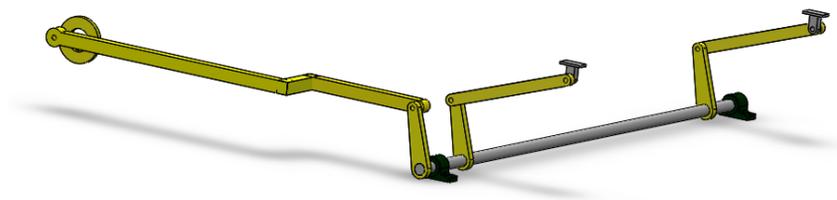
$$e = 6 \text{ [mm]}$$

$$6586,67 \geq 5302,52$$

Entonces se tendrá una plancha de 8 [mm] de espesor.

#### 4.11. Síntesis Mecanismo Alimentador.

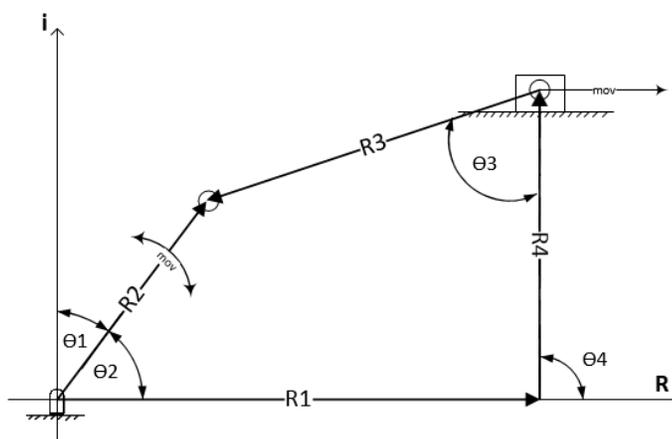
La síntesis del mecanismo alimentador partirá de medidas determinadas por la mesa de alimentación, el esquema de la mesa de alimentación se presenta en la figura a continuación:



*Figura 51.* Mecanismo Alimentador

##### 4.11.1. Corredera-Balancín.

Este mecanismo describirá la trayectoria proveniente del eje del Cilindro Yunke trasformando el movimiento rotacional del balancín en movimiento lineal de la corredera.



*Figura 52.* Síntesis Mecanismo Corredera –Balancín.

Según la Figura 52 se tiene:

$$R_2 - R_3 - R_4 - R_1 = 0^{12} \quad (19)$$

La expresión en números complejos:

$$R_2 e^{j\theta_2} + R_3 e^{j\theta_3} - R_4 e^{j\theta_4} - R_1 e^{j\theta_1} = 0$$

Para su equivalencia de Euler:

$$\begin{aligned} R_2(\cos\theta_2 + j\text{sen}\theta_2) - R_3(\cos\theta_3 + j\text{sen}\theta_3) \\ - R_4(\cos\theta_4 + j\text{sen}\theta_4) - R_1(\cos\theta_1 + j\text{sen}\theta_1) = 0 \end{aligned}$$

- Parte Real; para:  $\theta_1 = 0^\circ$

$$R_2 \cos\theta_2 - R_3 \cos\theta_3 - R_4 \cos\theta_4 - R_1 = 0 \quad (20)$$

- Parte Imaginaria; para:  $\theta_1 = 0^\circ$

$$R_2 \text{sen}\theta_2 - R_3 \text{sen}\theta_3 - R_4 \text{sen}\theta_4 = 0 \quad (21)$$

Operando las ecuaciones (20) y (21) se tiene:

$$\theta_{31} = \arcsen\left(\frac{R_2 \text{sen}\theta_2 - R_4}{R_3}\right) \quad (22)$$

$$\theta_{32} = \arcsen\left(-\frac{R_2 \text{sen}\theta_2 - R_4}{R_3}\right) + \pi \quad (23)$$

$$R_1 = R_2 \cos\theta_2 - R_3 \cos\theta_3 \quad (24)$$

---

<sup>12</sup> NORTON L. Robert, Diseño de Maquinaria, Pág. 169-170.

Las expresiones (22) y (23) dependen del sentido en el que se tome el ángulo, es decir, en contra las manecillas del reloj o para el mismo sentido.

Dónde las variables independientes vienen dadas por:

$$R_2 = 260 \text{ [mm]}$$

$$R_3 = 586 \text{ [mm]}$$

$$R_4 = 440 \text{ [mm]}$$

$$\theta_2 = 64^\circ$$

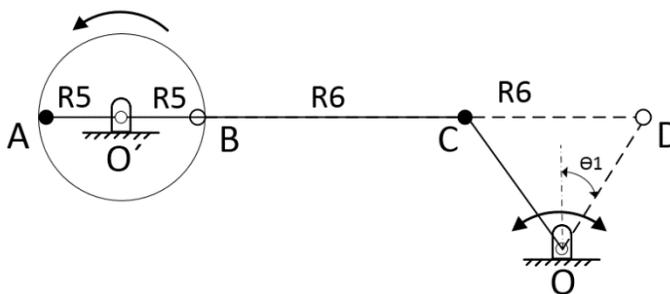
Reemplazando los valores en las ecuaciones, (22), (23) y (24):

$$R_1 = 663 \text{ [mm]}$$

$$\theta_3 = 20,6^\circ$$

#### 4.11.2. Análisis de posición: Manivela-Balancín.

Mecanismo que tiene su eje motriz en el eje del cilindro yunke, su sentido de giro se muestra en la Figura 53.



**Figura 53.** Síntesis Mecanismo Manivela –Balancín.

La síntesis se la realizará por medio de la generación de funciones:

$$R_5 + R_6 = \overline{AC} ; -R_5 + R_6 = \overline{BD}^{13} \quad (25)$$

<sup>13</sup> NORTON L. Robert, Diseño de Maquinaria, Pág. 90.

Dónde:

$$\overline{AC} = 1610 \text{ [mm]}$$

$$\overline{BD} = 1788 \text{ [mm]}$$

Entonces se obtiene:

$$R_5 = 90 \text{ [mm]}$$

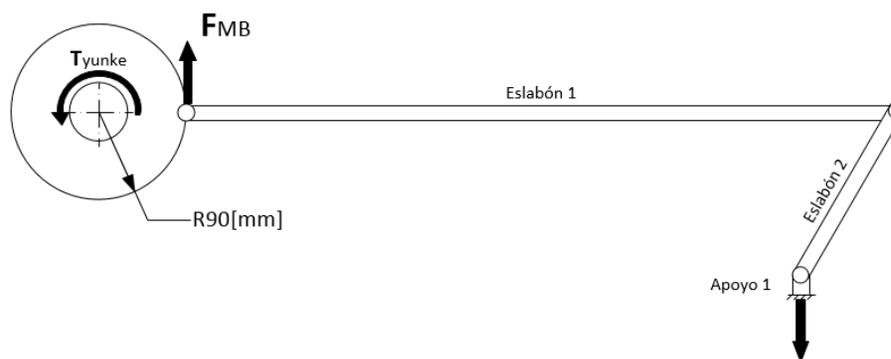
$$R_6 = 1700 \text{ [mm]}$$

#### 4.12. Estructura Mecanismo Alimentador.

##### 4.12.1. Estructura Manivela-Balancín.

Los eslabones del mecanismo estarán sometidos a esfuerzos de aplastamiento por lo que el espesor se determinará relacionando estos esfuerzos, se analizará el caso del eslabón más crítico.

Las fuerzas actuantes vienen dadas por el torque del cilindro yunke la cual se compensa con la fuerza de aplastamiento del apoyo como se indica en la Figura 54:



**Figura 54.** DCL Fuerzas mecanismo manivela-balancín

$$T_{yunke} = F_{MB} \cdot R_5 \quad (26)$$

$$F_{MB} = 142,55 \text{ [N]}$$

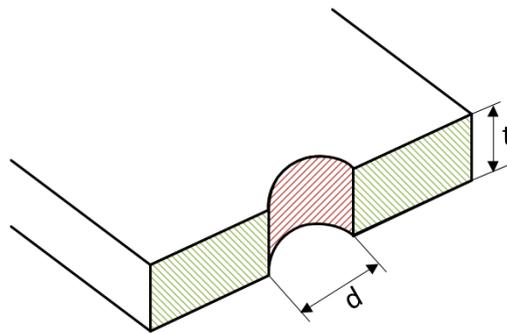
El esfuerzo de aplastamiento se lo define como:

$$\sigma_{\text{aplastamiento}} = \frac{F_{MB}}{A_E} \left[ \frac{N}{\text{mm}^2} \right] \quad (27)$$

Dónde:

- $A_E$ , área de la sección transversal del eslabón dada por la expresión (28) (Ver Figura 55)

$$A_E = d \cdot t \text{ [mm}^2\text{]} \quad (28)$$



**Figura 55.** Área de aplastamiento de los eslabones

El pasador estará bajo una fuerza cortante que relaciona su diámetro, por lo que el diámetro se determinará con la expresión (29) para el esfuerzo cortante máximo.

$$\tau_{\text{max}} = \frac{S_y}{2} = \frac{V}{A_p \cdot \# \text{caras}} \left[ \frac{N}{\text{mm}^2} \right] \quad (29)$$

Dónde:

- $S_y$ , Esfuerzo de fluencia ASTM A36 250 [N/mm<sup>2</sup>].
- $V = F_{MB}$ , Fuerza cortante que actúa en los eslabones [N].
- #caras, 1.
- $A_p$ , área transversal del pasador dado por:  $\frac{\pi}{4} \cdot d^2$  [mm<sup>2</sup>]

Desarrollado la expresión (29) se tiene:

$$d = 0,6 \text{ [mm]}$$

El valor del espesor en la expresión (28):

$$t = 0,5 \text{ [mm]}$$

Los valores del diámetro y espesor son las dimensiones mínimas que podrán tener el pasador y el eslabón, por lo que por temas constructivos y estéticos se selecciona platinas DIPAC PLT 50X10 de acero ASTM A 36.

#### 4.12.2. Estructura Corredera-Balancín

Según la conexión entre los mecanismos de manivela y corredera es por medio de un eje el cual estará sometido a un momento generado por la fuerza determinada en la expresión (26).

$$\sigma = \frac{32M}{\pi d^3} \quad (30)$$

Dónde:

- $\sigma$ , esfuerzo máximo para el Acero ASTM A36, 250 [N/mm<sup>2</sup>].
- M momento máximo generado entre la fuerza del eje de giro y el eslabón balancín [N.mm]
- d, Diámetro del eje.

$$d = 11,47 \text{ [mm]}$$

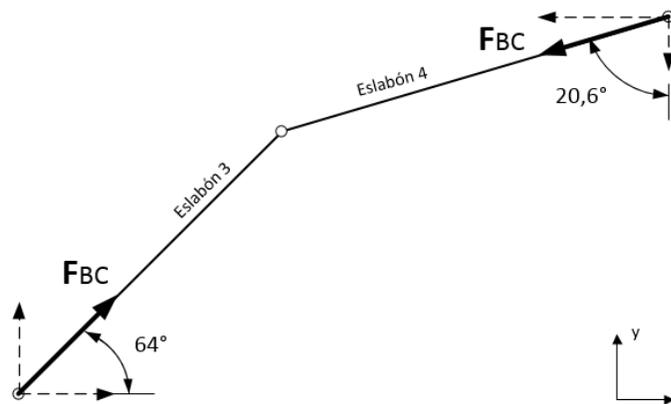
---

<sup>14</sup> SHIGLEY, Mechanical Engineering Design, Pag. 90.

De este valor se obtiene una inercia de la sección transversal de  $0,1 \text{ cm}^4$ , de lo cual según el catálogo de DIPAC se selecciona un eje hueco con una inercia de  $0,55 \text{ cm}^4$  de diámetro exterior de  $25,4 \text{ mm}$  y espesor de  $0,95 \text{ [mm]}$  en el material ASTM A-513.

La chumacera se la determinará con la expresión (14) y con la fuerza determinada (26), de la cual según el catálogo de SKF la chumacera seleccionada será: P25RM para una carga dinámica  $C=13,87 \text{ [kN]}$

Las fuerzas que actúan en los eslabones están dadas por el diagrama de la figura a continuación:



**Figura 56.** DCL Mecanismo Corredera Balancín

La fuerza  $F_{BC}$  es la fuerza necesaria para transportar una lámina de cartón hacia los rodillos alimentadores, esta fuerza viene dada por la aceleración que alcanzará el eslabón 4 y la masa de la lámina de cartón.

$$F_{BC} = m_L \cdot a_{E4} \text{ [N]} \quad (31)$$

Dónde:

- $m_L$ , Para una lámina de 2200x1300 [mm] (lámina Máx) y un gramaje de 961 [g/m<sup>2</sup>] para el TEST 911 BCK se tiene una masa de lámina de 2,75 [kg].
- $a_{E4}$ , La aceleración se la determinó con la simulación en Working Model de la cual se obtuvo una aceleración de 40,35 [m/s<sup>2</sup>].

$$F_{BC} = 111 \text{ [N]}$$

Los eslabones 3 y 4 serán de igual manera seleccionados según DIPAC PLT 50X10 de acero ASTM A 36, debido a que la fuerza que tiene que soportar es menor a la determinada en Estructura Manivela-Balancín.

#### 4.12.3. Condiciones para el análisis CAE

Para los cálculos posteriores se realizará un análisis en el software SOLIDWORKS 2017, para lo cual se determinaron algunas condiciones como lo describe la Tabla 27, para más información sobre las condiciones ver anexo F.1 y F.2:

**Tabla 27.**

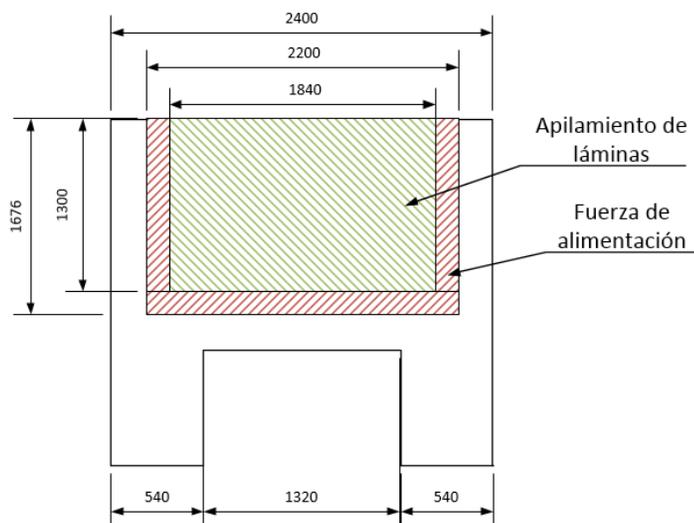
*Condiciones para el análisis CAE*

<b>Propiedades del material</b>	
Tipo de modelo	Isotrópico Elástico lineal
Criterio de Error	Tensión de Von Mises
<b>Información de Malla</b>	
Tipo de malla	Malla Sólida
Mallador utilizado	Malla Estándar
Tamaño de elemento mesa alimentador	11,36 [mm]
Relación a/b	1,5
Tamaño de elemento riel alimentador	3,16
Relación a/b	1,5

Fuente: SOLIDWORKS 2017

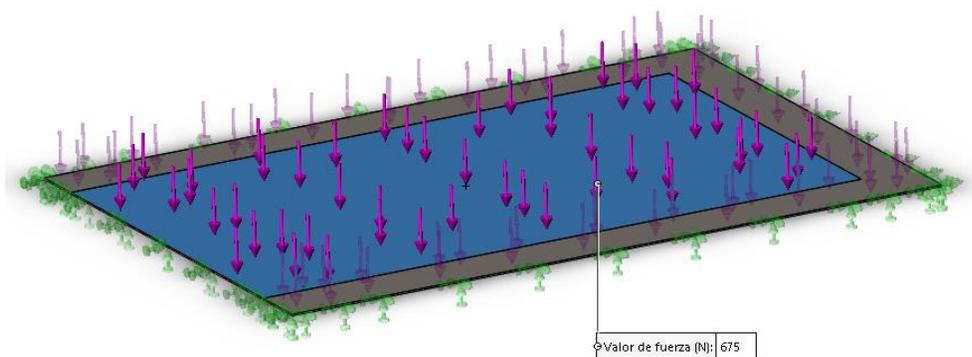
#### 4.12.4. Mesa de Alimentación

De la fuerza  $F_{BC}$  la componente radial para el eslabón 4 será la que determine además del peso por apilamiento de láminas el espesor de la mesa de alimentación, fuerzas que se distribuyen según la figura a continuación:



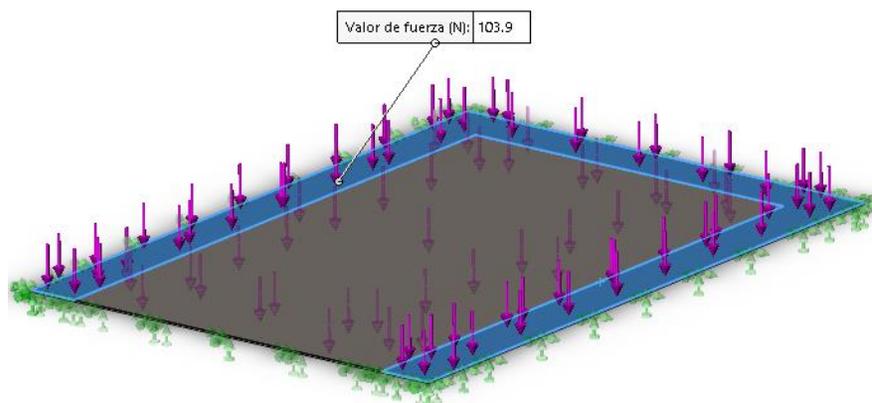
**Figura 57.** Distribución de fuerzas en mesa de alimentación

Para el peso por apilamiento se considera un apilamiento máximo de 25 láminas las cuales dan un peso de 675 [N] aproximadamente el cual estará distribuido en la mesa como indica la Figura 58:



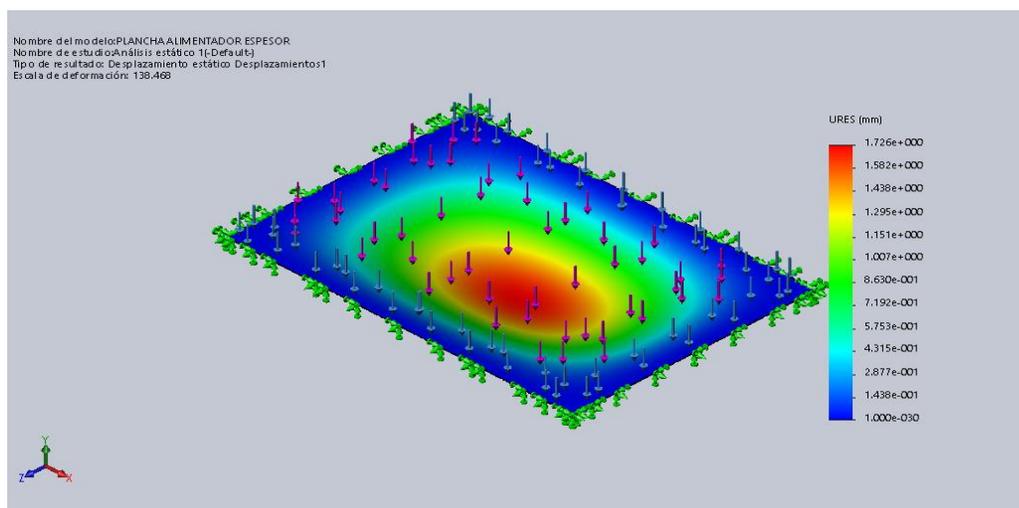
**Figura 58.** Fuerza de apilamiento, mesa de alimentación

La componente radial de la fuerza se la considerará alrededor el apilamiento de láminas como muestra la Figura 59:



**Figura 59.** Fuerza del eslabón, mesa de alimentación

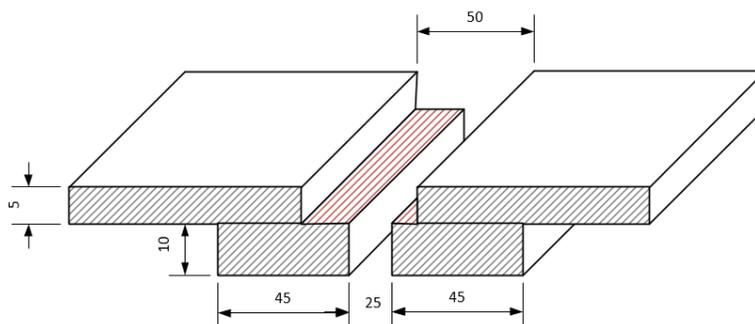
De estas fuerzas el desplazamiento máximo permitido para la plancha será de 2[mm], el cual asegurará una alimentación sincronizada (Ver Figura 60).



**Figura 60.** Desplazamiento alcanzado por la mesa de alimentación  
Fuente: SOLIDWORKS2017

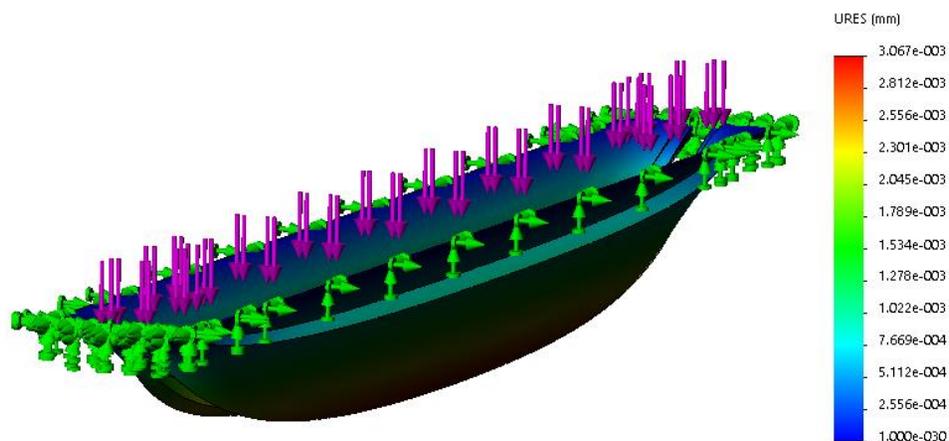
Entonces se tiene que para un acero ASTM A36 el espesor para lograr una máxima deformación es de 5 [mm].

Para las correderas es necesario generar un riel dentro de la plancha, por lo que el desplazamiento de la fuerza distribuida no deberá ser mayor a 1 mm, el riel se representa en la Figura 61.



**Figura 61.** Riel para corredera

En la Figura 62, se tiene una deformación menor a 1mm por lo que el riel estará compuesto por platinas de 45 mm de ancho por 10 mm de espesor soldados por el canal. Para las columnas que soportarán la plancha alimentadora se utilizará la expresión (16) con una  $P_{crit} = 995,94$  [N], lo cual es la suma de las fuerzas actuantes por apilamiento, por la corredera y el peso de la plancha misma así se tiene que los perfiles que se utilizarán para soportar el mecanismo alimentador es tubería estructural cuadrada de 30 x 2 [mm] en acero ASTM A 500.



**Figura 62.** Deformación riel para corredera

#### 4.13. Placa Base

La placa base se calcula a partir de los criterios descritos en American Institute of Steel Construction, 2011, 14va ed., para que resista las cargas generadas por la máquina troqueladora. Se calcula la carga requerida según los métodos LRFD<sup>15</sup> y ASD<sup>16</sup>.

LRFD	ASD
$P_u = 1.2 D + 1.6 L$ $= 1.2 (2375,31 \text{ Kg}) + 1.6 (0 \text{ Kg})$ $= 2850,37 \text{ Kg}$	$P_a = D + L$ $= 2375,31 \text{ Kg} + 0 \text{ Kg}$ $= 2375,31 \text{ Kg}$

$$A_{1 \text{ req}} = \frac{P_u}{2 \cdot \phi_c \cdot 0.85 \cdot f_c'} \quad (32)$$

Dónde:

- $\Phi_c$  = Factor de reducción de resistencia al aplastamiento (0.65)
- $f_c'$  = Resistencia a la compresión del concreto (280 Kg/cm<sup>2</sup>)

$$A_{1 \text{ req}} = 9,21 \text{ [cm}^2\text{]}$$

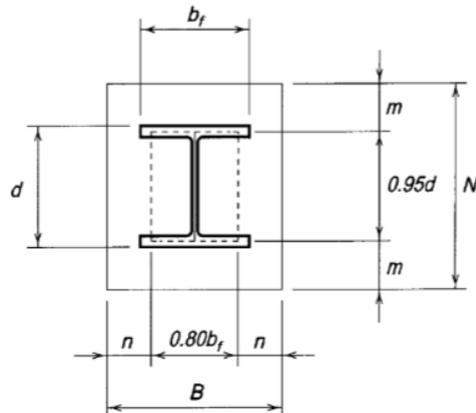
La placa base será cuadrada por lo que se tiene:

$$B_{\text{req}} = \sqrt{A_{1 \text{ req}}} = 3,035 \text{ [cm]}$$

Sin embargo, esta dimensión es menor al perfil por lo que se establece uno de mayor tamaño.

<sup>15</sup> Load and Resistance Factor Design

<sup>16</sup> Allowable Stress Design



**Figura 63.** Esquematzación de la distribución y dimensiones de una placa base

- $B =$  Ancho de la placa base = 100 [mm]
- $N =$  Largo de la placa base = 100 [mm]
- $d =$  Peralte de la columna = 50 [mm]
- $b_f =$  Ancho del patín de la columna = 50 [mm]

Así se determinan las demás dimensiones de la placa base:

$$m = \frac{N - 0.95 d}{2} = 26,25 \text{ [mm]}$$

$$n = \frac{B - 0.8 b_f}{2} = 30 \text{ [mm]}$$

$$n' = \frac{\sqrt{d b_f}}{4} = 12,5 \text{ [mm]}$$

El área de la placa base será de  $100 \text{ cm}^2$ , entonces:

$$P_p = f_c' \cdot 2 A_1 = 56000 \text{ [kg]} \quad (33)$$

LRFD

$$\phi_c = 0.6$$

$$\phi_c P_p = 0.6 (56000)$$

$$= 33600 \text{ Kg} > 2850,37 \text{ Kg}$$

ASD

$$\Omega_c = 2.5$$

$$P_p / \Omega_c = 56000 / 2.5$$

$$= 22400 \text{ Kg} > 2375,31 \text{ Kg}$$

$$X = \left[ \frac{4 d b_f}{(d + b_f)^2} \right] \frac{P_u}{\phi_c P_p} = 0,084$$

$$\lambda = \frac{2 \sqrt{X}}{1 + \sqrt{1 - X}} \leq 1$$

$$\lambda = 0,3$$

$$l = \text{máx}(m, n, \lambda n')$$

$$l = 30[\text{mm}]$$

Para el estado límite de fluencia, el espesor mínimo requerido en la placa base se calcula:

LRFD	ASD
$F_{pu} = Pu/A_{eff}$	$F_{pa} = Pa/A_{eff}$
$= 2850,57 \text{ Kg} / 100 \text{ cm}^2$	$= 2375,31 \text{ Kg} / 100 \text{ cm}^2$
$= 28,5 \text{ Kg} / \text{cm}^2$	$= 23,75 \text{ Kg} / \text{cm}^2$
$\phi_b = 0.90$	$\Omega_b = 1.67$
$e_{min} = l \sqrt{\frac{2f_{pu}}{\phi_b S_y}}$	$e_{min} = l \sqrt{\frac{2f_{pa}}{S_y / \Omega_b}}$
$e_{min} = 30 \sqrt{\frac{2 * 28,5}{0.9 * 2531}}$	$e_{min} = 30 \sqrt{\frac{2 * 23,75}{2531/1.67}}$
$e_{min} = 4.74 \text{ mm}$	$e_{min} = 5.31 \text{ mm}$

El espesor mínimo de la placa será de 6,35 mm (¼ in), de acero estructural ASTM A36

#### 4.14. Junta Crítica

El análisis de soldadura se lo hará en base a la junta del mecanismo alimentador en el cual como se describe en la Figura 64, las fuerzas y momentos son las que actúan en la mesa de alimentación.

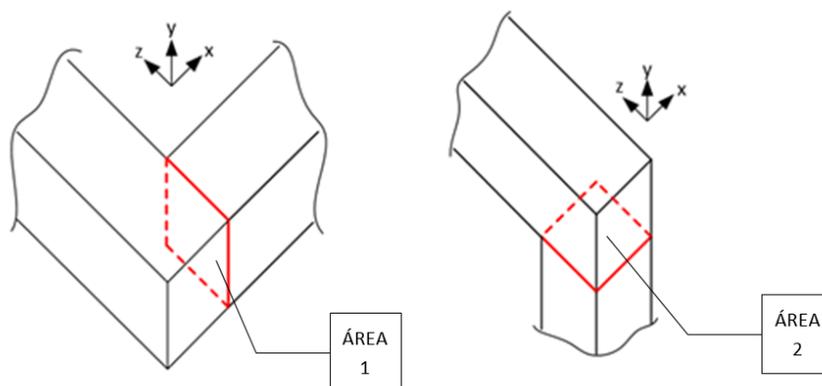


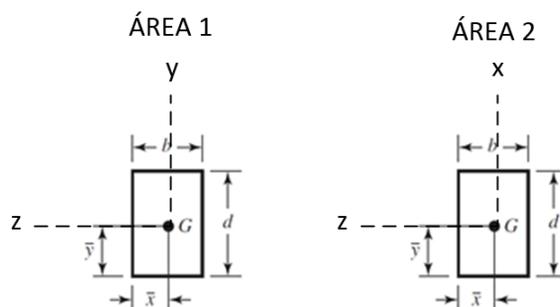
Figura 64. DCL Junta Crítica

Tabla 28.

Fuerzas y momentos actuantes en junta crítica

Área	$F_z$ [N]	$F_y$ [N]	$M_z$ [N.mm]	$M_y$ [N.mm]
1,2	0	99,76	0	54369,20
1,2	0	142,55	0	154239,10
1,2	48,66	0	18734,10	0
TOTAL	48,66	242,31	18734,10	208608,3

La soldadura a utilizar será a tope de filete con un cordón de 5 mm, los perfiles de la junta son rectangulares de 50x50 [cm], a continuación se presenta los valores para el análisis:



**Tabla 29.***Valores para el análisis de junta crítica<sup>17</sup>*

$\bar{x}$ [mm]	$\bar{y}$ [mm]	$\bar{z}$ [mm]	A [mm <sup>2</sup> ]	I [mm <sup>3</sup> ]	J [mm <sup>3</sup> ]
25	25	25	353,5	294583,32	166666,67

Con estos valores se determina el cortante primario:

$$\tau_{A_1} = \frac{M_z \cdot (d - \bar{y})}{I_z} + \frac{M_y \cdot (b - \bar{z})}{I_y} \pm \frac{F_x}{A} \quad (34)$$

$$\tau_{A_2} = \frac{M_x \cdot (d - \bar{z})}{I_x} + \frac{M_z \cdot (b - \bar{x})}{I_z} \pm \frac{F_y}{A}$$

$$\tau_{A_1} = 19,29 \text{ [MPa]}$$

$$\tau_{A_2} = 2,27 \text{ [MPa]}$$

Para el cortante secundario:

Para  $r = 385$  [mm]

$$\tau_{A_{1y}}' = \tau_x = \frac{M_x \cdot r}{J} + \frac{F_y}{A} = 0,68 \text{ [MPa]} \quad (35)$$

$$\tau_{A_{1z}}' = \tau_x = \frac{M_x \cdot r}{J} + \frac{F_z}{A} = 0,14 \text{ [MPa]}$$

Para  $r = 200$  [mm]

$$\tau_{A_{2x}}' = \tau_y = \frac{M_y \cdot r}{J} + \frac{F_x}{A} = 0,25 \text{ [MPa]}$$

$$\tau_{A_{2z}}' = \tau_y = \frac{M_y \cdot r}{J} + \frac{F_z}{A} = 0,39 \text{ [MPa]}$$

El cortante que determina el material de aporte está dado por la siguiente expresión:

$$\tau = \sqrt{\tau_{A_1}^2 + \tau_{A_{1y}}'^2 + \tau_{A_{1z}}'^2} = 19,3 \text{ [MPa]}$$

$$\tau = \sqrt{\tau_{A_2}^2 + \tau_{A_{2y}}'^2 + \tau_{A_{2z}}'^2} = 2,31 \text{ [MPa]}$$

<sup>17</sup> Propiedades de las juntas de soldadura, Tabla 92, Shigley, 8va edición.

De acuerdo al esfuerzo determinado el material de aporte es: ER60S-6

A continuación se presentará los esfuerzos permisibles según el código AISC para metal de aporte<sup>18</sup>

$$S_{ut \text{ aporte}} = 345 \text{ MPa}$$

$$\tau_{adm} = 0.3 * S_{ut \text{ aporte}}$$

$$\tau_{adm} = 0.3 * 345 \text{ MPa} = 103,5 \text{ MPa}$$

El esfuerzo permisible por cortante en el material base es:

$$\tau_{adm} = 0.4 * S_{y \text{ base}}$$

$$\tau_{adm} = 0.4 * 250 \text{ MPa} = 100 \text{ MPa}$$

$$n = 0.577 \frac{S_{ut \text{ aporte}}}{\tau} = 10,3$$

$$n_{\text{mín}} = \frac{0.577}{0.4} = 1.44$$

El factor de seguridad mayor a 1 garantiza una junta satisfactoria según la teoría de la distorsión.

---

<sup>18</sup> Propiedades mínimas del metal de aporte, Tabla 9-3, Shigley, 8va edición.

#### 4.15. Análisis de velocidades.

Como se indicó en el punto 4.1.4. La velocidad tangencial deberá ser igual para evitar defecto en el troquelado por lo que se analizará la velocidad tangencial real que se tendrá en los conjuntos una vez seleccionadas las catalinas, mediante la expresión

$$Z_{\text{motriz}} \cdot \text{RPM}_{\text{motriz}} = Z_{\text{conducido}} \cdot \text{RPM}_{\text{conducido}} \quad (36)$$

De la expresión (36), se conocerá los RPM reales con los que giran los ejes conducidos con los valores de Z (números de dientes) determinados en la selección de catalinas.

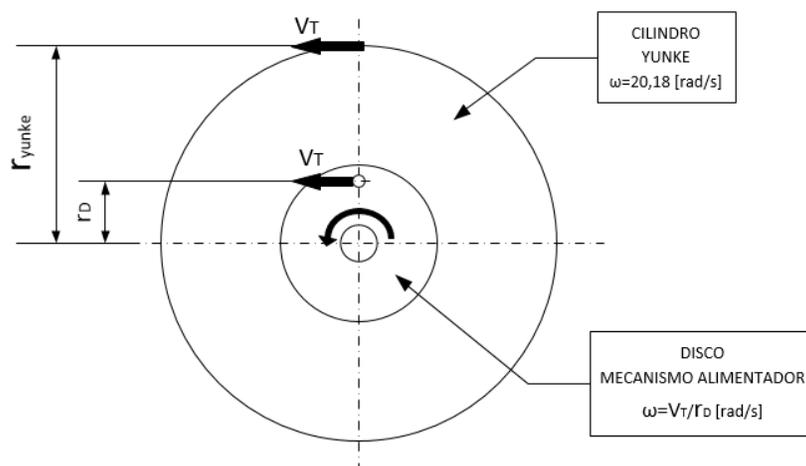
Con los RPM se obtendrán las velocidades tangenciales por medio de la expresión (1), así se tiene:

**Tabla 30.**  
*Velocidad Tangencial Real*

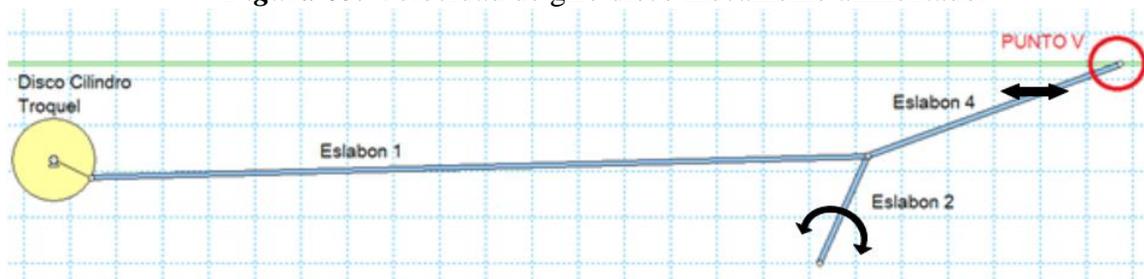
<b>Elemento</b>	<b>RPM</b>	<b>rad/s</b>	<b>m/s</b>
Arrastraderas	725,6	76	5,32
Yunke	195	20,4	5,36
Troquel	201	21,1	5,33

Para la velocidad del mecanismo alimentador se realizó una simulación en Working Model, dibujando esquemáticamente en un plano bidimensional los eslabones que componen el mecanismo alimentador como muestra la Figura 66 y tomando el punto V para el análisis de velocidad, donde se obtuvo una velocidad promedio de 5,27 [m/s] como se muestra en la Figura 67.

La velocidad de giro del disco se determinó por medio de la velocidad tangencial descrita en el punto 4.1.4, así como muestra la Figura 65 de donde se tiene  $r_{\text{yunke}} = 525$  [mm] y  $r_D = 90$  [mm], por lo que la velocidad de giro para el disco es de 58,85 [rad/s].

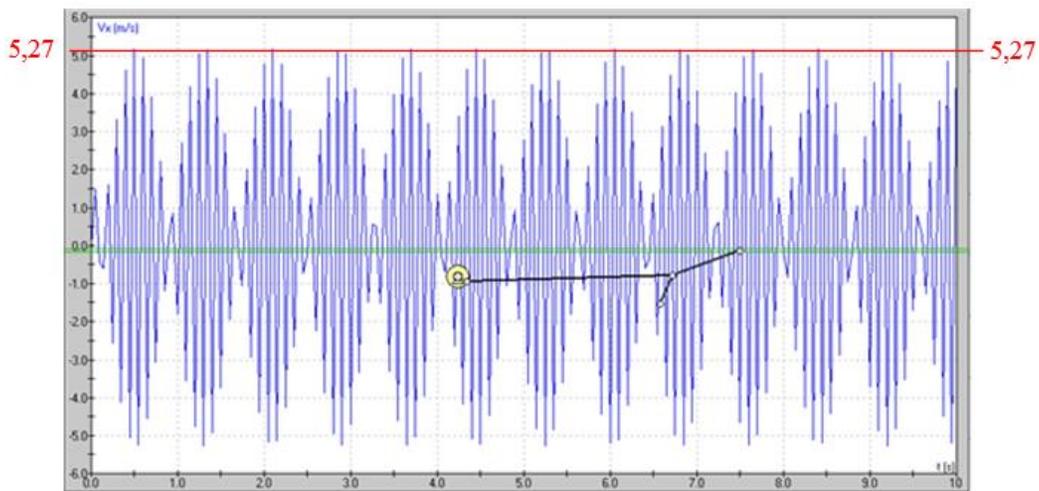


**Figura 65.** Velocidad de giro disco mecanismo alimentador



**Figura 66.** Esquema Mecanismo Alimentador

La velocidad de entrada para la lámina de cartón corrugado deberá generar un efecto de tracción, es decir la velocidad tangencial del mecanismo alimentador tendrá que ser menor que la velocidad tangencial de los cilindros arrastraderas. Con este efecto de tracción se evitará defectos en el troquelado como los descritos anteriormente: mala expulsión de sobrantes (descartonado), cortes parciales y aplastamiento de láminas.



**Figura 67.** Velocidad de entrada de la lámina

## CAPITULO 5: ANÁLISIS FINANCIERO

Para una posterior implementación de la máquina troqueladora a continuación se presenta costos de las diferentes secciones, partes y mano de obra y así definir la viabilidad de implementación.

### 5.1.Sistema Motriz

**Tabla 31.**

*Precios Elementos Motrices*

Ítem	Cant.	Descripción	Precio Unit.	Total	Proveedor
1	1	Piñón <b>40B17</b> , para cadena ANSI No. 40-1, con manzana tipo B y 17 dientes.	\$ 5	\$ 5	INTERMEC
2	1	Piñón <b>40B57</b> , para cadena ANSI No. 40-1, con manzana tipo B y 57 dientes.	\$ 32	\$ 32	INTERMEC
3	2	Piñón <b>50B18</b> , para cadena ANSI No. 50-1, con manzana tipo B y 18 dientes.	\$ 13	\$ 26	INTERMEC
4	1	Piñón <b>50B65</b> , para cadena ANSI No. 50-1, con manzana tipo B y 65 dientes.	\$ 73	\$ 73	INTERMEC
5	1	Piñón <b>50B67</b> , para cadena ANSI No. 50-1, con manzana tipo B y 67 dientes.	\$ 76	\$ 76	INTERMEC
6	1	Piñón <b>40B41</b> , para cadena ANSI No. 40-1, con manzana tipo B y 41 dientes.	\$ 21	\$ 21	INTERMEC
7	2	Cadena <b>RC 50-1 REM (X3.05MTS / 10 FT) – TRP</b>	\$ 22	\$ 43	INTERMEC
8	1	Cadena <b>RC 40-1 REM (X3.05MTS / 10 FT) – TRP</b>	\$ 14	\$ 14	INTERMEC
9	2	Eje AISI 4340 Diámetro 100 mm	\$ 640	\$ 1.280	Ferrotoll
10	2	Eje AISI 4340 Diámetro 70 mm	\$ 520	\$ 1.040	Ferrotoll
11	1	Maquinado de ejes	\$ 200	\$ 200	SAURUS
12	2	Rodamiento SKF FYNT 70L	\$ 125	\$ 250	Trocetti
13	2	Rodamiento SKF FYNT 50L	\$ 65	\$ 130	Trocetti
14	1	Cilindro Troquel 2300 mm x 66''	\$ 2.000	\$ 2.000	ContainerGraphics
15	1	Cilindro Yunke 2300 mm x 66''	\$ 1.500	\$ 1.500	ContainerGraphics
<b>TOTAL</b>				\$ 6.690	

## 5.2.Estructura Bastidor

**Tabla 32.**

*Precios elementos estructurales*

Ítem	Cant.	Descripción	Precio Unit.	Total	Proveedor
1	2	PLANCHA 8MM X 1220 X 6000	\$ 435,34	\$ 870,68	DIPAC
2	2	PLATINA 40mm x 9mm	\$ 23,03	\$ 46,06	DIPAC
3	3	TUBO CUAD. 50mm x 1.5mm (2)"	\$ 15,51	\$ 46,53	DIPAC
4	1	TUBO REDONDO 1 1/2 x 1.5mm"	\$ 9,03	\$ 9,03	DIPAC
5	2454,8 [kg]	Mano de obra (Corte, Armado y Soldadura)	\$ 0,51	\$ 1.251,54	SAURUS
6	28,38 [m2]	Pintura Primera Capa (Acabado de soldadura)	\$ 35,84	\$ 1.017,14	SAURUS
7	29,7 [m2]	Pintura Segunda Capa (Acabado de soldadura)	\$ 11,20	\$ 332,64	SAURUS
8	3	Tol galvanizado e=1,4 [mm]	\$ 35,40	\$ 14,00	Ferrotoll
<b>TOTAL</b>				<b>\$ 3.588</b>	

## 5.3.Costo Total

Como se muestra en la tabla se tiene que el costo para la implementación de los diferentes sistemas mecánicos es de aproximadamente 10.300 dólares.

**Tabla 33.**

*Precio total sistemas mecánicos*

Ítem	Descripción	Precio Total
1	Sistema Motriz	\$ 6.690,00
2	Estructural/Bastidor	\$ 3.588,00
<b>COSTO TOTAL</b>		<b>\$ 10.278,00</b>

## CONCLUSIONES

Las dimensiones generales de la máquina troqueladora se establecieron a partir del estudio de las láminas más solicitadas durante el periodo Enero-Septiembre del 2018, del cual se obtuvo que las medidas generales para el diseño son: 3220x2400x1600 [mm].

El diseño de la máquina troqueladora cuenta con equipos y soluciones existentes en CRANSA S.A los cuales representan el 20 % del diseño total, esto permitirá la utilización de herramientas troquel tipo WARD, logrando así que el costo de implementación se reduzca a 10.300 dólares.

La velocidad de operación es de 10 a 200 [rpm], logrando una velocidad de transporte de láminas de 5,34 [m/s], lo cual genera un efecto de tracción para evitar defectos en el troquelado.

La simulación CAD-CAE permitió reducir los espesores de las planchas que soportan los cilindros troquel, yunke y arrastraderas, el espesor reducido fue de 10 [mm] a 8 [mm] con una carga crítica de 111 [N], además se logró una interacción entre análisis experimentales, analíticos y de software.

La planeación y ejecución del diseño fue logrado gracias a conocimientos en las ramas de la ingeniería mecánica como: diseño de elementos de máquinas, soldadura, síntesis de mecanismos, simulaciones CAD-CAE, etc. Por lo cual el presente trabajo de titulación complementó la preparación académica de ingeniería mecánica.

## RECOMENDACIONES

Para complementar el diseño de la máquina troqueladora se deberá realizar un estudio eléctrico-electrónico para la implementación de mandos automatizados.

Según las cargas a soportar (Ver punto 4.13), se deberá comprobar que el área de suelo para la implementación de la máquina troqueladora tenga una resistencia a la compresión de 280 [Kg/cm<sup>2</sup>] para evitar grietas a lo largo de la operación y ruido.

Para la realización de planes de mantenimiento predictivo se recomienda el desarrollo de un análisis de vibraciones.

Con el fin de disminuir las dimensiones de la máquina troqueladora se recomienda realizar análisis de nuevos mecanismos de alimentación como por ejemplo alimentación por aire comprimido y bandas.

## Bibliografía

- ACCCSA. (2011). *corrugando.com*. Retrieved from  
[http://www.corrugando.com/index.php?option=com\\_content&view=article&id=20:el-a-b-c-de-la-calidad&catid=3:edicion-20&Itemid=18](http://www.corrugando.com/index.php?option=com_content&view=article&id=20:el-a-b-c-de-la-calidad&catid=3:edicion-20&Itemid=18)
- American Institute of Steel Construction. (2011, 14va ed.). *Steel Construction Manual*.
- American Society of Mechanical Engineers. (2008). *ASME B31.3: Tuberías de Proceso*.
- American Welding Society. (2010). *AWS D1.1, Código de soldadura estructural - acero*.
- BWPaperSystemCompany. (2019). *MarquipWardUnited*. Retrieved from  
<https://www.marquipwardunited.com/es/m%C3%A1quinas/hojeadoras>
- CartonesAmérica. (2015). *cartonesamerica.com*. Retrieved from  
<https://www.cartonesamerica.com/cartones-america>
- DIPAC. (n.d.). *Catálogo de productos en acero*.
- FESTO. (2000). *Fundamentos de Neumática*.
- NEC-SE-DS. (n.d.). *Cargas sísmicas, diseño sismoresistente*.
- Pérez, J. (2011). *Mecánica de materiales II*. Quito.
- Richard Budynas, K. N. (2008, 8va edición). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. McGraw Hill.
- SKF. (n.d.). *Catálogo de rodamientos*.
- TecnoConverting2000. (2017). *TC2000*. Retrieved from  
<https://www.tecnoconverting2000.com/es/equipo-usado/pc-1-corrugated-paperboard-machines/psc-3-dro-printer-sloters-flexo-rotary-die-cutters/pp-8016-langston-greenwood-troqueladora-rotativa/gallery.html>
- TLV. (n.d.). *TLV, Compañía especialista en vapor*. Retrieved from Eficiencia de la caldera:  
<https://www.tlv.com/global/LA/calculator/boiler-efficiency.html>

UNIT. (n.d.). *IEC 1157, Eficiencia.*

Yunus Cengel, J. C. (2006). *Mecánica de fluidos, fundamentos y aplicaciones.* Boston: Mc Graw Hill.

## **Anexos**