



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA
(INGENIERÍA MECÁNICA) – (DISEÑO MECÁNICO)

PROPUESTA DE DISEÑO DE UNA MÁQUINA FORMADORA DE CAJAS DE
CARTÓN.

TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRO EN INGENIERÍA

PRESENTA:
MONTES MÁXIMO ENRIQUE EDUARDO

TUTOR (ES) PRINCIPAL(ES)
Dr. LEOPOLDO A. GONZÁLEZ GÓNZÁLEZ

COMITÉ TUTOR (DE EXISTIR)
NOMBRE, APELLIDO, APELLIDO, ADSCRIPCIÓN
NOMBRE, APELLIDO, APELLIDO, ADSCRIPCIÓN

MÉXICO, D. F. (MES EN QUE SE REALIZÓ EL EXAMEN) 2016

Agradecimientos.

A Dios, ser maravilloso que me dio fuerza y fe para creer en mí y me dio la perseverancia para realizar lo que parecía imposible.

A mis padres Margarita Máximo y Enrique Montes, por educarme, ayudarme, aconsejarme a lo largo de toda mi vida y más en esta etapa de mi vida.

A mi esposa Susana César, por su apoyo incondicional, por su amor, comprensión e impulso para poder lograr este gran sueño.

A mis hijas Sofía y Mariana, por ser mis pequeños motores, con su cariño, ternura, inocencia y ocurrencias.

Al Dr. Leopoldo A. González por su tiempo, paciencia, consejos, confianza y amistad.

Índice General.

ÍNDICE GENERAL.....	I
ÍNDICE DE FIGURAS.....	III
ÍNDICE DE TABLAS.....	VI
CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES.....	1
1.1 JUSTIFICACIÓN.....	1
1.2 OBJETIVO.....	1
1.3 ALCANCE.....	1
1.4 MÁQUINAS DE ENVASADO.....	2
1.4.1 Embandejadoras.....	2
1.4.2 Encajadoras en caja de solapas.....	2
1.4.3 Envolvedoras (Wrap Around).....	3
1.4.4 Armado de charolas.....	3
1.4.5 Formado de Cajas de solapa.....	7
1.5 IDENTIFICACIÓN DE SUBSISTEMAS QUE CONFORMAN UNA MÁQUINA FORMADORA DE CAJAS.....	8
1.5.1 Sistema de acumulación de materia prima.....	8
1.5.2 Sistema de dosificado de materia prima.....	9
1.5.3 Sistema de pegado.....	10
1.5.4 Sistema de desplazamiento de cartón.....	11
1.5.5 Sistema de formado.....	12
1.5.6 Sistema de desplazamiento de caja.....	13
CAPITULO 2 DISEÑO CONCEPTUAL.....	13
2.1 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN.....	13
2.2 IDENTIFICACIÓN DE LA NECESIDAD.....	17
2.3 ESPECIFICACIONES OBJETIVO.....	19
2.4 PROPUESTA DE CARACTERÍSTICAS.....	20
2.5 PRIORIZACIÓN DE LAS ESPECIFICACIONES.....	21
2.6 CONCLUSIONES.....	24
CAPITULO 3.....	25
DISEÑO DE CONFIGURACIÓN.....	25
3.1 ARQUITECTURA DE LA PROPUESTA DE DISEÑO.....	25
3.2. DESCRIPCIÓN DE FUNCIONAMIENTO.....	26
3.2.1 Sistema para corte de cartón proveniente de la bobina (SC).....	26
3.2.2 Sistema para transporte de láminas de cartón (STLC).....	26
3.2.3 Sistema para acumulación de cartón (SAC).....	26
3.2.4 Sistema para dosificación de cartón (SDC).....	26
3.2.5 Sistema para suaje de cartón (SCS).....	27
3.2.6 Sistema para desplazar cartón hacia formado (STFC).....	27
3.2.7 Sistema para formado de caja (SFC).....	27
3.2.8 Sistema para desplazar caja hacia siguiente etapa (SDCC).....	27
3.3. GENERACIÓN DE CONCEPTOS.....	27
3.3.1 Sistema para corte de cartón proveniente de la bobina (SC).....	27
3.3.2 Sistema para transporte de láminas de cartón (STLC).....	28
3.3.3 Sistema para acumulación de cartón (SAC).....	29
3.3.4 Sistema para dosificado de cartón (SDC).....	30
3.3.5 Sistema para suaje de cartón (SCS).....	31
3.3.6 Sistema para desplazar cartón hacia formado (STFC).....	32

3.3.7 Sistema para formado de caja (SFC).....	33
3.3.8 Sistema para desplazar caja hacia siguiente etapa (SDCC)	34
3.4 EVALUACIÓN DE CONCEPTOS.	35
3.5 MATRIZ MORFOLÓGICA.....	41
3.6 SELECCIÓN DE CONFIGURACIÓN.	51
3.7 REFLEXIONES DEL CAPITULO.....	53
4. MEMORIA DE CÁLCULO.....	55
DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE CICLO.....	55
CÁLCULO DE LA VELOCIDAD ANGULAR PARA LA TRANSMISIÓN PRINCIPAL.	55
CÁLCULOS DE VELOCIDAD LINEAL, VELOCIDAD ANGULAR PARA LOS SISTEMAS SISTEMA DE TRANSPORTE DE LÁMINAS DE CARTÓN (STLC), SISTEMA PARA DESPLAZAR CARTÓN HACIA FORMADO (STFC) Y SISTEMA PARA DESPLAZAR CAJA HACIA SIGUIENTE ETAPA (SDCC).	57
Cálculo de velocidades lineales.	58
Cálculo de velocidades angulares.	58
Cálculo de la relación de velocidades angulares.	59
CÁLCULO DE LA POTENCIA NECESARIA PARA EL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE TRANSPORTE DE LÁMINAS DE CARTÓN (STLC), EL SISTEMA PARA DESPLAZAR CARTÓN HACIA FORMADO (STFC) Y EL SISTEMA PARA DESPLAZAR CAJA HACIA SIGUIENTE ETAPA (SDCC).	60
Selección del paso de las poleas.	62
Selección de poleas.....	66
CÁLCULO DE LA FUERZA PARA EL SISTEMA PARA FORMADO DE CAJA (SFC).	68
Análisis Cinemático.	75
Análisis Dinámico.	79
CÁLCULOS PARA EL SISTEMA DE DOSIFICADO DE CARTÓN (SDC).....	88
Propuesta de los rodillos para el dosificado.	88
Análisis del mecanismo de yugo escocés.	94
5 RESULTADOS.....	98
6 CONCLUSIONES.	99
7 BIBLIOGRAFÍA.	101

Índice de Figuras.

Figura 1 Embandeadora ,marca Gebo Cermex.....	2
Figura 2 Producto colocado en bandeja.	2
Figura 3 Máquina para encajado lateral, marca (Edson Packaging).....	2
Figura 4 Encajado Lateral.	2
Figura 5 Máquina para encajado superior, marca (Prodec).	2
Figura 6 Encajado superior.	2
Figura 7 Máquina para encajado inferior, marca Gebo Cemex.....	3
Figura 8 Encajado inferior.	3
Figura 9 Máquina para Wrap Around, marca IMA.	3
Figura 10 Formado Parcial.....	3
Figura 11 Máquina para Wrap Around.....	3
Figura 12 Formado completo.....	3
Figura 13 Máquina para formado de charolas tipo candado, marca Combi.....	3
Figura 14 Charola tipo candado.....	3
Figura 15 Máquina con sistema de pegado, marca COMBI.....	7
Figura 16 Charola sin tapa.....	7
Figura 17 Charola con tapa.....	7
Figura 18 Máquina para formar cajas, marca IMANPACK.....	7
Figura 19 Caja de solapas.....	7
Figura 20 Acumulación inclinada, marca COMBI.....	8
Figura 21 Acumulación Horizontal, marca SACMI PACKAGING.....	8
Figura 22 Acumulación Vertical.....	8
Figura 23 Acumulación Inclinada.....	8
Figura 24 Alimentación por rodillos.....	9
Figura 25 Alimentación Rotativa.....	9
Figura 26 Alimentación recíprocante.....	9
Figura 27 Equipo de pegamento en caliente (HOT MELT).	10
Figura 28 Ubicación típica del tanque de pegamento.....	10
Figura 29 Boquillas de aplicación.....	10
Figura 30 Cadena con cangilones.....	11
Figura 31 Empujador.....	11
Figura 32 Banda.....	11
Figura 33 Rodillos.....	11
Figura 34 Troquel neumático.....	12
Figura 35 Tipo Matriz -dado.....	12
Figura 36 Sistema neumático.....	12
Figura 37 Troquel recíprocante.....	12
Figura 38 Desplazamiento con 2 bandas laterales.....	13
Figura 39 Desplazamiento mediante rodillos muertos.....	13
Figura 40 Desplazamiento con una sola banda.....	13
Figura 41 Desplazamiento con empujador.....	13
Figura 42 Benchmark 1 de 6.....	13
Figura 43 Benchmark 2 de 6.....	14
Figura 44 Benchmark 3 de 6.....	14
Figura 45 Benchmark 4 de 6.....	15
Figura 46 Benchmark 5 de 6.....	15
Figura 47 Benchmark 6 de 6.....	16
Figura 48 Interpretación de la voz del cliente.....	18
Figura 49 Especificaciones Objetivo.....	19
Figura 50 Formato de la herramienta QFD.....	21
Figura 51 Prioridad de características.....	22

Figura 52 QFD aplicado a nuestro caso.	23
Figura 53 Modelo de caja negra.....	25
Figura 54 Funciones propuestas.....	25
Figura 55 SC-C1 (Cizalla).....	28
Figura 56 SC-C2 (Troquel).....	28
Figura 57 SC-C3 (Cuchillas).....	28
Figura 58 SC-C4 (Matriz -dado).....	28
Figura 59 SC-C5 (Cuchillas circular- recta).....	28
Figura 60 STLC-C1 (Rodillos).....	29
Figura 61 STLC-C2 (Rampa).....	29
Figura 62 STLC-C3 (Bandas).....	29
Figura 63 STLS-C4 (Banda-guía).....	29
Figura 64 STLC-C5 (Rodillos Tracción).....	29
Figura 65 STLC-C6 (Pisadores).....	29
Figura 66 SAC-C1 (Barrera -cangilón).....	30
Figura 67 SAC-C2 (Contenedor).....	30
Figura 68 SAC-C3 (Resorte).....	30
Figura 69 SDC (Banda).....	31
Figura 70 SDC-C2 (Rodillos).....	31
Figura 71 SDC-C3 (Cilindros - soportes).....	31
Figura 72 SDC-C4 (Ventosas).....	31
Figura 73 SDC-C5 (Banda dedos).....	31
Figura 74 SDC-C6 (Cilindro - rodillos).....	31
Figura 75 SCS-C1 (Troquel).....	32
Figura 76 SCS-C2 (Cilindros).....	32
Figura 77 (Troquel - Banda).....	32
Figura 78 SCS-C4 (2 Troqueles).....	32
Figura 79 STFC-C1 (Rodillos).....	33
Figura 80 STFC-C2 (Banda-Guía).....	33
Figura 81 STFC-C3 (Empujador).....	33
Figura 82 STFC-C4 (Bandas paralelas).....	33
Figura 83 STFC-C5 (Banda-cangilón).....	33
Figura 84 STFC-C6 (Ventosas).....	33
Figura 85 SFC-C1 (Troquel-guías).....	34
Figura 86 SFC-C2 (Laminas).....	34
Figura 87 SFC-C3 (Guías-cilindros).....	34
Figura 88 SDCC-C1 (Banda).....	35
Figura 89 SDCC-C2 (Empujador).....	35
Figura 90 SDCC-C3 (Rodillos muertos).....	35
Figura 91 SDCC-C4 (Bandas laterales).....	35
Figura 92 Matriz de selección del sistema SC.....	36
Figura 93 Matriz de selección del sistema STLC.....	36
Figura 94 Matriz de selección del sistema SAC.....	37
Figura 95 Matriz de selección del sistema SDC.....	37
Figura 96 Matriz de selección del sistema SCS.....	38
Figura 97 Matriz de selección del sistema STFC.....	38
Figura 98 Matriz de selección del sistema SFC.....	39
Figura 99 Matriz de selección del sistema SDCC.....	39
Figura 100 Primera propuesta de diseño.....	40
Figura 101 Matriz morfológica.....	42
Figura 102 Matriz morfológica con combinaciones propuestas.....	42
Figura 103 Resultados obtenidos con matriz morfológica.....	43
Figura 104 Combinación 1.....	43
Figura 105 Combinación 2.....	44
Figura 106 Combinación 3.....	45
Figura 107 Combinación 4.....	45

Figura 108 Combinación 5	46
Figura 109 Combinación 6	46
Figura 110 Combinación 7	47
Figura 111 Combinación 8	48
Figura 112 Combinación 9	48
Figura 113 Matriz de selección aplicada a las 10 combinaciones.....	49
Figura 114 Combinación seleccionada.	51
Figura 115 Configuración 1	51
Figura 116 Configuración 2	52
Figura 117 Configuración 3.....	52
Figura 118 Dimensiones generales de la propuesta de diseño.....	53
Figura 119 Dimensiones del rodillo.....	57
Figura 120 Longitudes de los transportadores.....	57
Figura 121 Diagrama de cuerpo libre Banda - Cartón.....	60
Figura 122 Tabla para selección de tipo de motor.....	63
Figura 123 Factor de servicio para máquinas impulsadas	64
Figura 124 Gráfica de selección del paso de la banda.....	65
Figura 125 Combinaciones disponibles de poleas para el sistema SDCC.....	66
Figura 126 Combinaciones disponibles de poleas para el sistema STFC	67
Figura 127 Combinaciones disponibles de poleas para el sistema STLC.....	67
Figura 128 Solapas a doblar	68
Figura 129 Distancias “d” consideradas.....	70
Figura 130 Huella para formado.....	71
Figura 131 Cortes considerados Dirección de Máquina y Dirección Transversal de láminas de cartón.....	72
Figura 132 Mecanismo manivela – biela – corredera propuesto	75
Figura 133 Lazo vectorial	75
Figura 134 Gráfica de la posición de la corredera (y_3).....	77
Figura 135 Gráfica de velocidad de la corredera (v_{y3})	78
Figura 136 Gráfica de la aceleración de la corredera (a_{y3}).....	78
Figura 137 Manivela.....	79
Figura 138 Biela	80
Figura 139 Corredera	81
Figura 140 Diagrama de cuerpo libre Mecanismo Manivela - biela - corredera	84
Figura 141 Magnitud del par requerido	87
Figura 142 Rodillos en contacto dependiendo el tipo de lámina	89
Figura 143 Esquema de rodillo de dosificado - lámina de cartón	89
Figura 144 Diagrama de cuerpo libre lámina de cartón	90
Figura 145 Lámina para el dosificado	91
Figura 146 Esquema de dosificado.....	91
Figura 147 Localización del yugo escocés en el sistema de dosificado.....	94
Figura 148 Esquema del yugo escocés	94
Figura 149 Resultados obtenidos para el elevador (R_1)	97
Figura 150 Resultados obtenidos para la corredera (R_3).....	97

Índice de Tablas

Tabla 1 Criterios de comparación.	13
Tabla 2 Criterios de evaluación.	35
Tabla 3 Escala de calificación.	35
Tabla 4 Mejores conceptos de cada sistema.	40
Tabla 5 Criterios de evaluación para combinaciones	49
Tabla 6 Resultados de la aplicación de selección a las 10 combinaciones.	50
Tabla 7 Velocidades lineales.	58
Tabla 8 Velocidades angulares	58
Tabla 9 Relaciones de velocidades.	59
Tabla 10 Potencias para sistemas de bandas en Watts.	61
Tabla 11 Potencias para sistemas de bandas en Hp.	62
Tabla 12 Potencias de diseño	64
Tabla 13 Potencia de diseño, velocidad angular y paso de las bandas.	65
Tabla 14 Combinaciones seleccionadas para los sistemas (SDCC, STLC y STFC).	67
Tabla 15 Distancias (d) del centro de solapa al centro de hedido.	70
Tabla 16 Dimensiones de huellas para el formado y espesores de láminas de cartón	71
Tabla 17 Momentos de Inercia Obtenidos para los cortes considerados.	73
Tabla 18 Valores Máximos de Esfuerzo a Tensión en dirección Longitudinal y Transversal.	73
Tabla 19 Fuerza mínimas en cada solapa.	73
Tabla 20 Fuerzas máximas en cada solapa	74
Tabla 21 Fuerzas mínimas y máximas de formado de cajas.	74
Tabla 22 Fuerzas máximas en cada solapa.	81
Tabla 23 Par de torsión y velocidad angular requeridos.	87
Tabla 24. Parámetros del motor comercial más cercano.	87
Tabla 25 Pesos mínimos y máximos de una columna de 500 láminas de cartón.	88
Tabla 26 Peso soportado por cada rodillo	89
Tabla 27 Fuerza de tracción para desplazar el cartón.	90
Tabla 28 Resumen de resultados para pares y potencias (min y max).	93

Capítulo 1. Antecedentes.

1.1 Justificación.

En la actualidad el proceso de embalaje de productos en cajas de cartón ha tomado una gran importancia pues con este tipo de envase además de ordenar el producto para su transporte también sirve como protección.

Para cubrir esta necesidad existen diferentes empresas que se dedican al desarrollo de tecnologías para la fabricación de cajas de cartón, según datos de INEGI actualmente en México existen solamente 29 empresas dedicadas al desarrollo de este tipo de máquinas, siendo insuficientes para cubrir la demanda nacional, debido a esto la importación de este tipo de máquinas o equipos incremento en un 10.5% en 2013 en comparación con el año 2012, lo cual representa un incremento de 115 MDD gastados en equipos provenientes de Estados Unidos según datos de la Asociación Mexicana de Envase y Embalaje (AMEE).

1.2 Objetivo.

Proponer el diseño de una máquina para formar cajas de cartón, a la cual, se le pueda suministrar el cartón corrugado (materia prima) en dos presentaciones diferentes: en bobina de cartón y/o láminas de cartón pre cortadas.

1.3 Alcance.

El presente trabajo comprenderá en la aplicación de una metodología de diseño (Dieter), aplicándola a una propuesta de diseño real, también se presentarán los cálculos de algunos de los sistemas, así como algunos de los planos y listas de materiales, de la propuesta de diseño.

1.4 Máquinas de envasado.

Se conoce como maquinaria de envasado a las líneas de producción destinadas a la introducción del producto dentro de su envase y a la introducción de los envases en sus embalajes.

La primera fase del envasado consiste en la introducción de manera efectiva del producto dentro de su envase: botellas, botes, latas, blíster, etc. Para la segunda fase, los envases son agrupados e introducidos en sus respectivos embalajes que finalmente son cerrados y paletizados.

Ejemplos de este tipo de máquinas se muestran a continuación.

1.4.1 Embandejadoras.

Este tipo de máquinas (Fig.1) coloca los envases en una bandeja, el proceso comienza desde el almacén de láminas de cartón, las láminas se deslizan una a una hasta un área de formado. Durante este proceso se aplica pegamento caliente (hot melt) en las solapas de cierre de la bandeja. Entonces, un molde desciende para formar la bandeja en tres de sus caras. En la siguiente etapa, los envases debidamente agrupados son empujados sobre la bandeja que finalmente se cierra (Fig.2).



Figura 1 Embandejadora, marca Gebo Cermex.



Figura 2 Producto colocado en bandeja.

1.4.2 Encajadoras en caja de solapas.

En este tipo de maquinaria, se introduce el producto previamente agrupado dentro de las cajas de solapas, esta operación puede realizarse de tres maneras:

- 1) Encajado lateral. En este tipo de máquinas (Fig.3) la caja de solapas es abierta en posición horizontal y el producto previamente agrupado es deslizado al interior de la caja (Fig.4).



Figura 3 Máquina para encajado lateral, marca (Edson Packaging).



Figura 4 Encajado Lateral.

- 2) Encajado superior: En este tipo de máquinas (Fig.5), el producto se introduce en la caja por medio de un equipo o mecanismo, por ejemplo un brazo robótico utilizado en el envasado de botellas. (Fig.6)



Figura 5 Máquina para encajado superior, marca (Prodec).



Figura 6 Encajado superior.

- 3) Encajado inferior. Con este tipo de máquinas (Fig.7), el producto es introducido en la caja por la parte inferior mediante un elevador (Fig.8).



Figura 7 Máquina para encajado inferior, marca Gebo Cemex.



Figura 8 Encajado inferior.

1.4.3 Envolvedoras (Wrap Around).

El envasado Wrap Around se realiza principalmente de dos formas:

- 1) Con máquinas de formado parcial (Fig. 9), estas solamente forman dos de las caras del embalaje mientras el producto es agrupado, una vez ordenado el producto es introducido lateralmente. Finalmente, la caja se cierra tanto en la cara superior como con las solapas laterales (Fig.10).



Figura 9 Máquina para Wrap Around, marca IMA.

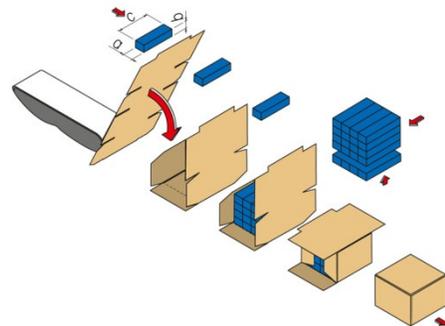


Figura 10 Formado Parcial.

- 2) Con máquinas de formado total (Fig.11), se forma por completo el embalaje y entonces se introduce el producto (Fig.12), ya sea mediante gravedad a granel o por medio de brazos robóticos mediante un sistema llamado pick and place.



Figura 11 Máquina para Wrap Around.

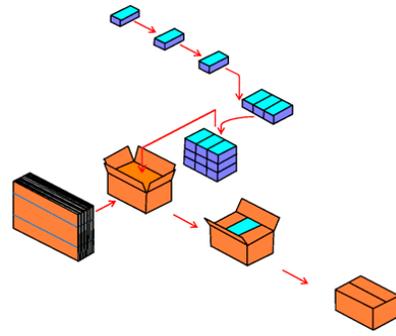


Figura 12 Formado completo

1.4.4 Armado de charolas.

Con este tipo de máquinas se fabrican charolas pre cortadas, las cuales pueden ser suministradas a otro equipo para el embasado. Teniendo principalmente 2 tipos de máquinas para el armado. (Fig. 13 y Fig.15).

a) Charolas con ensamble por candado.(Fig.14)



Figura 13 Máquina para formado de charolas tipo candado, marca Combi.

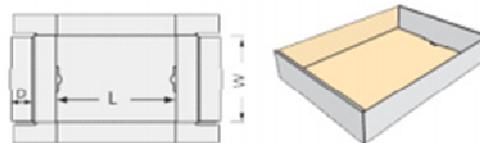


Figura 14 Charola tipo candado

b) Charolas pegadas.(Fig.16 y Fig. 17)



Figura 15 Máquina con sistema de pegado, marca COMBI.

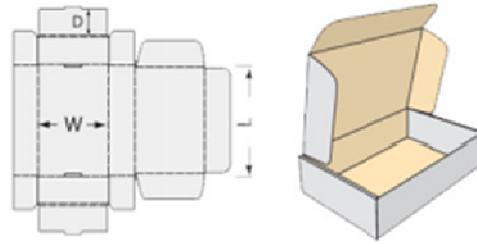


Figura 17 Charola con tapa.

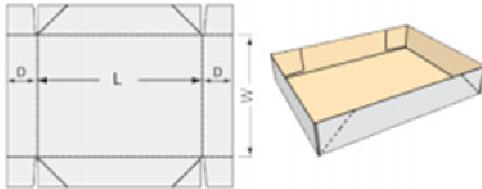


Figura 16 Charola sin tapa

1.4.5 Formado de Cajas de solapa.

Esta familia de máquinas (Fig.18). Se utiliza para el formado de cajas de solapa (Fig.19) a partir de láminas pre cortadas, hendidas y marcadas



Figura 18 Máquina para formar cajas, marca IMANPACK.



Figura 19 Caja de solapas.

1.5 Identificación de subsistemas que conforman una máquina formadora de cajas

1.5.1 Sistema de acumulación de materia prima.

Para comenzar el proceso de formado o de armado de cajas, es necesario poder acumular la materia prima, para cumplir esta función, se puede encontrar en 3 principales arreglos:

- 1) Horizontal (Fig.21).
- 2) Vertical. (Fig.22)
- 3) Inclinado. (Fig. 20 y Fig.23)



Figura 20 Acumulación inclinada, marca COMBI.

Figura 21 Acumulación Horizontal, marca SACMI PACKAGING.

1.5.1. Sistema para acumulación de materia prima (corrugado).



Figura 23 Acumulación Inclined.



Figura 22 Acumulación Vertical.

1.5.2 Sistema de dosificado de materia prima.

Otra característica encontrada en este tipo de máquinas es un sistema para el dosificado de la materia prima, el tipo de sistema utilizado en cada máquina dependía de la cantidad de cartón requerida, los mecanismos más comunes encontrados fueron los siguientes:

- 1) Rodillos. (Fig.24)
- 2) Alimentadores rotativos. (Fig.25)
- 3) Alimentador reciprocante. (Fig.26)



Figura 24 Alimentación por rodillos.

1.5.2.
Sistema de dosificado
de materia prima



Figura 26 Alimentación reciprocante.

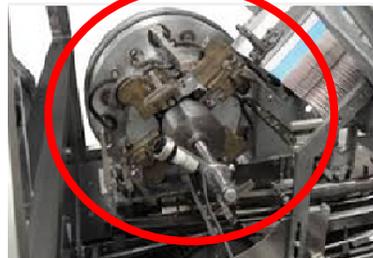


Figura 25 Alimentación Rotativa

1.5.3 Sistema de pegado.

En algunas máquinas se encontró que para el formado de la caja es necesario realizar la unión del cartón mediante diferentes medios, como pueden ser:

- 1) Medios mecánicos: cajas con algún tipo de candado o lock que no permite que se desarme.
- 2) Aplicación de pegamento. (Fig.27 a Fig.29)
- 3) Colocación de cinta adhesiva.



Figura 27 Equipo de pegamento en caliente (HOT MELT).

1.5.3.
Sistema de pegado

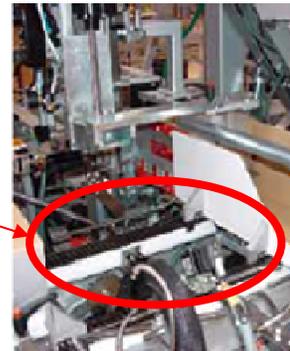


Figura 29 Boquillas de aplicación



Figura 28 Ubicación típica del tanque de pegamento.

1.5.4 Sistema de desplazamiento de cartón.

En este tipo de máquinas se encontró un sistema de desplazamiento para la lámina de cartón una vez que se encuentra en el interior de la máquina, dirigiéndola hacia la siguiente estación de trabajo, para lograr esta función se encontraron los siguientes medios:

- 1) Cadenas con cangilones. (Fig.30)
- 2) Rodillos. (Fig.33)
- 3) Bandas (Fig.32)
- 4) Empujadores. (Fig.31)



Figura 30 Cadena con cangilones

1.5.4.
Sistema para el desplazamiento de cartón

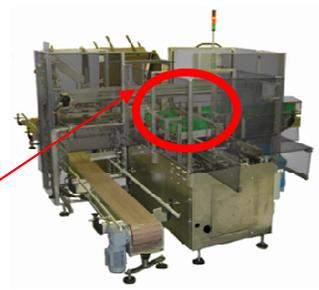


Figura 32 Banda



Figura 31 Empujador



Figura 33 Rodillos

1.5.5 Sistema de formado.

La característica principal de este tipo de máquinas es que cuentan con un sistema para el de formado, con este se transforma a la lámina de cartón en una caja. Las formas encontradas para el formado fueron las siguientes:

- 1) Troquel mecánico. (Fig.37)
- 2) Troquel neumático. (Fig.34)
- 3) Mecanismos neumáticos para el doblado de solapas. (Fig.36)
- 4) Matriz- dado. (Fig.35)



Figura 34 Troquel neumático.



Figura 36 Sistema neumático.



Figura 35 Tipo Matriz -dado



Figura 37 Troquel reciprocante.

1.5.5.
Sistema
para
formado
de caja

1.5.6 Sistema de desplazamiento de caja.

Otro sistema presente en esta clase de máquinas es uno que transporta a la caja terminada hacia afuera de la máquina para evitar la acumulación de cajas dentro y de este modo evitar atascamientos en el interior, los modos que se hallaron realizando esta función fueron mediante los siguientes mecanismos:

- 1) Bandas laterales. (Fig.38)
- 2) Rodillos muertos (Fig.39)
- 3) Transportadores. (Fig.40)
- 4) Empujadores. (Fig.41)

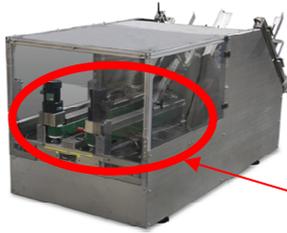


Figura 38 Desplazamiento con 2 bandas laterales



Figura 40 Desplazamiento con una sola banda.

1.5.6. Sistema de desplazamiento



Figura 39 Desplazamiento mediante rodillos muertos

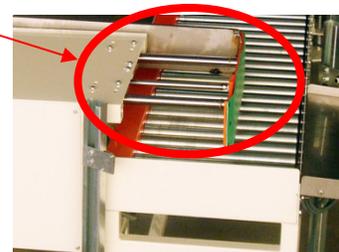


Figura 41 Desplazamiento con empujador

Capítulo 2 Diseño Conceptual.

2.1 Recopilación de información.

El Benchmark [12] es una herramienta que sirve para hacer estudio de productos y puede ser utilizada para comparar y recopilar información de productos existentes con funcionalidad similar a la del producto en desarrollo, para conocer el estado del arte de las máquinas formadoras de cajas de cartón existentes y presentadas en las siguientes figuras (Fig. 42 a Fig. 47) se muestra el Benchmark realizado a 30 máquinas diferentes, utilizando los criterios ilustrados en la Tabla 1.

Criterios	
1) Cantidad de cajas por minuto.	6)Tiempo para cambio de formato
2) Tipo de alimentación.	7) Tipo de Sellado de Caja.
3) Peso de la máquina.	8) Dimensiones mínimas de la caja.
4) Equipo adicional.	9) Dimensiones máximas de la caja.
5) Panel de Control.	10) Dimensiones de la máquina.

Tabla 1 Criterios de comparación.

No.						
		WEX XAR BEL WF30	WEX XAR BEL WF10	AFA CE-CEB	LEAD KR-80	AFA CF-DSS
1	Cantidad de cajas por minuto	Mn 30	10	Mn 14	Mn 20	Mn 20
2	Tipo de alimentación	Vertical	Angular	Angular	Angular	Vertical
3	Peso de la máquina [kg]	SI	S/I	SI	1300	Sin Información
4	Equipo adicional	Sellador de caja , Aplicador de	Mesa de acumulación ,	Sin Información	Formadora de charolas y	Sin Información
5	Touch Screen	SI	NO	NO	SI	NO
6	Tiempo para cambio de formato	10 min	5 mn	Sin Información	Sin Información	Opcional
7	Tipo de Sellado de caja	Cinta Adhesiva	Cinta Adhesiva	Cinta Adhesiva	Hot Melt	Hot Melt
8	Dimensiones Minimas de caja	150 mm L x 127 mm A x 127 mm	228mmL x 178 mm A x 127 mm	203 mm L x 152 mm A x 152 mm	200 mm L x 400 mm A x	127 mm L x 76 mm A x
9	Dimensiones Maximas de caja	610 mm L x 432 mm A x 407 mm	508 mm L x 381 mm A x 381 mm	508 mm L x 508 mm A x 406 mm	500 mm L x 400 mm A x 400 H	406 mm L x 254 mm A x 356 H
10	Dimensiones de la máquina	Sin Información	Sin Información	2438 mm L x 1250 mm A x	3555mm L x 2055 mm A x	Sin Información

1 2 3 4 5

Figura 42 Benchmark 1de 6

No.						
		WEX XAR BEL WF20H	CERMEX BC50	COMBI TF-2	ADCO CTF 440VX	LANTEC C2000
1	Cantidad de cajas por minuto	Mn 20	Mn 26	Max 10	Mn 40	Mn 25
2	Tipo de alimentación	Vertical	Angular	Vertical	Vertical	Vertical
3	Peso de la máquina [kg]	Sin Información	Sin Información	Sin Información	Sin Información	825
4	Equipo adicional	Selladora de Cajas	Sin Información	Sin Información	Sin Información	Sin Información
5	Touch Screen	SI	Sin Información	SI	SI	SI
6	Tiempo para cambio de formato	7 min	Cambios Automáticos	Sin Información	Sin Información	Sin Información
7	Tipo de Sellado de Caja	Sin	Hot Melt	Hot Melt	Hot Melt	Hot Melt /Cinta Adhesiva
8	Dimensiones Minimas de caja	184 mm L x 184 mm A x 150 mm H	Sin Información	216mm L x 216 mm A x 51 mm H	210 mm L x 180 mm A x 75 mm H	200 mm L x 150 mm A x 150 mm H
9	Dimensiones Maximas de caja	457 mm L x 356 mm A x 381 mm H	Sin Información	610 mm L x 406 mm A x 127 mm H	1015 mm x 660 mm A x 305 mm H	620 mm x 450 mm A x 650 mm H

Figura 43 Benchmark 2 de 6

6

7

8

9

10

No.						
		ADCO CTF 470V	ADCO CTFL 440V	ACEPACK CE	ACEPACK TF	LANTEC C1000
1	Cantidad de cajas por minuto	Mn 70	Mn 40	Mn 15	Mn 15	Mn 30
2	Tipo de alimentación	Vertical	Vertical	Horizontal	Horizontal	Vertical
3	Peso de la máquina [kg]	Sin Información	Sin Información	Sin Información	Sin Información	700
4	Equipo adicional	Sin Información	Sin Información	Sin Información	Sin Información	Sin Información
5	Touch Screen	SI	SI	SI	SI	SI
6	Tiempo para cambio de formato	Sin Información	Sin Información	Sin Información	Sin Información	Sin Información
7	Tipo de Sellado de Caja	Hot Melt	Hot Melt	Sin Información	Sin Información	Hot Melt /Cinta Adhesiva
8	Dimensiones Minimas de caja	210 mm x 180 mm A x 40 mm H	210 mm L x 180 mm A x 50 mm H	300 mm L x 200 mm A x 30 mm H	300 mm L x 200 mm A x 30 mm H	200 mm L x 150 mm A x 150 mm H
9	Dimensiones Maximas de caja	655 mm L x 455 mm A x 200 mm H	655 mm x 455 mm A x 200 mm H	500 mm L x 400 mm A x 100 mm H	600 mm L x 400 mm A x 200 mm H	500 mm x 325 mm A x 520 mm H
10	Dimensiones de la máquina	1880 mm L x 1372 mm A x	1524 mm L x 1330 mm A x	2476 mm L x 1050 mm A x	2600 mm L x 2126 mm A x	1955 mm L x 2280 mm A x

11

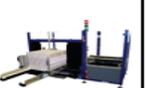
12

13

14

15

Figura 44 Benchmark 3 de 6.

						
No.		KLIPPENSTEIN KF403HM	KLIPPENSTEIN KF804HM	LANTECH C-300	LANTECH C-400	COMBI 2-EZ HS
1	Cantidad de cajas por minuto	Máx 14	Mín 14	Máx 10	Máx 8	Max 35
2	Tipo de alimentación	Horizontal	Horizontal	Vertical	Vertical	Vertical
3	Peso de la máquina [kg]	Sin Información	Sin Información	635	990	Sin Información
4	Equipo adicional	Sin Información	Sin Información	Sin Información	Sin Información	Sin Información
5	Touch Screen	SI	SI	NO	NO	SI
6	Tiempo para cambio de formato	Sin Información	Sin Información	Sin Información	Sin Información	Sin Información
7	Tipo de Sellado de Caja	Hot Melt	Hot Melt	Cinta Adhesiva	Cinta Adhesiva	Cinta Adhesiva
8	Dimensiones Mínimas de caja	Sin Información	Sin Información	200mm L x 149 mm A x 149 mm	200mm L x 149 mm A x 149 mm	203 mm L x 152 mm A x 127 mm
9	Dimensiones Máximas de caja	Sin Información	Sin Información	505 mm L x 349 mm A x 527 mm	619mm L x 451 mm A x 648 mm	610 mm L x 406 A x 457 mm H
10	Dimensiones de la máquina	3048 mm L x 1575 mm A x	6782 mm L x 2464 mm A x	Sin Información	Sin Información	2540 mm L x 2540 mm A x

16

17

18

19

20

Figura 45 Benchmark 4 de 6.

						
No.		LINKX TF-500	LINKX TF-750	ECONOSEAL Econoform	ECONOSEAL Econolock	COMBI 2-EZ SB
1	Cantidad de cajas por minuto	Mín 60	Mín 60	Mín 30	Mín 20	Max 17
2	Tipo de alimentación	Horizontal	Horizontal	Angular	Angular	Vertical
3	Peso de la máquina [kg]	500	500	180	540	Sin Información
4	Equipo adicional	Sin Información	Sin Información	Ninguno	Ninguno	Sin Información
5	Touch Screen	SI	SI	NO	No	SI
6	Tiempo para cambio de formato	Sin Información	Sin Información	Sin Información	Sin Información	Sin Información
7	Tipo de Sellado de Caja	Hot Melt	Hot Melt	Hot Melt	Hot Melt	Cinta Adhesiva
8	Dimensiones Mínimas de caja	Sin Información	Sin Información	102 mm L x 76 mm A x 25 mm H	203 mm L x 152 mm A x 25 mm H	203 mm L x 152 mm A x 127 mm
9	Dimensiones Máximas de caja	Sin Información	Sin Información	229 mm L x 178 mm A x 76 mm H	381 mm L x 304 mm A x 127 mm	610 mm L x 406 A x 457 mm H
10	Dimensiones de la máquina	Sin Información	2430 mm L x 1545 mm A x	1273mm L x 1575 mm A x	1956 mm L x 1575 mm A x	2540 mm L x 2540 mm A x

21

22

23

24

25

Figura 46 Benchmark 5 de 6.

No.						
		THIELE SWF VL480	THIELE TF 400V	Pears on CE25	Pears on CE15	FIBRE KING Laminator
1	Cantidad de cajas por minuto	Mn 25	Mn 60	Mn 25	Mn 15	Max 20
2	Tipo de alimentación	Vertical	Vertical	Vertical	Vertical	Horizontal
3	Peso de la máquina [kg]	Sin Información	Sin Información	Sin Información	Sin Información	Sin Información
4	Equipo adicional	Cambio de formato rápido	Transportadores para descarga	Sin Información	Sin Información	Sin Información
5	Touch Screen	SI	SI	SI	SI	SI
6	Tiempo para cambio de formato	Sin Información	Sin Información	Sin Información	Sin Información	Sin Información
7	Tipo de Sellado de Caja	Hot Melt	Hot Melt	Hot Melt o Cinta Adhesiva	Cinta Adhesiva	Hot Melt
8	Dimensiones Minimas de caja	248 mm L x 165 mm A x 38 mm H	178 mm L x 206 mm A x 50 mm H	203mm L x 140 mm A x 76mm H	191 mm Lx 191 mm A x 76 mm H	Sin Información
9	Dimensiones Maximas de caja	559 mm L x 406 mm A x 203 mm	864 mm L x 559 mm A x 178 mm	610 mm L x 406 mm A x 470 mm	610 mm L x 406 mm A x 470 mm	Sin Información
10	Dimensiones de la máquina	Sin Información	Sin Información	3962 mm L x 1524 mm A x	2438 mm L x 2438 mm A x	Sin Información

26

27

28

29

30

Figura 47 Benchmark 6 de 6.

Los resultados obtenidos con el Benchmark fueron los siguientes:

Criterio: Cantidad de cajas por minuto.
Promedio de 20 piezas por minuto.

Criterio: Tipo de alimentación.
En todas las máquinas, la alimentación es mediante cajas preformadas.

Criterio: Peso de la máquina.
Solamente 8 máquinas proporcionaban información correspondiente al peso, siendo 180 kg la más ligera y 990 la más pesada.

Criterio: Equipo adicional.
El siguiente equipo adicional encontrado en 6 de las 30 máquinas fue el siguiente :

- Transportadores de descarga.
- Selladores de cajas.
- Aplicadores de pegamento
- Mesa de acumulación.
- Formadoras de cajas y/o charolas.

Criterio: Touch Screen.
De las 30 máquinas 4 no tenían panel de control (Touch Screen).

Criterio: Tiempo para cambio de formato

Se encontro el tiempo promedio para cambio de formato de 3 maquinas, los tiempos que se encontraron fueron: 5 min , 7 min y 10 min.

Criterio: Tipo de sellado de caja.

Los tipos de sellado de cajas encontrados fueron los siguientes:

- Pegamento caliente (Hot Melt) (17 máquinas).
- Cinta adhesiva(11 máquinas).
- Sin informacion (2 máquinas)

Criterio: Dimensiones mínimas de caja.

Las dimensiones mínimas de la caja encontradas 203 mm x 152 mm x 127 mm.

Criterio: Dimensiones máximas de caja.

Las dimensiones máximas de la caja encontradas 610 mm x 406mm x 470 mm.

Criterio: Dimensiones de la máquina.

Dimensiones máximas de la máquina: 6782 mm x 2464 mm x 2845 mm.

Dimensiones mínimas de la máquina: 1273 mm x 1575 mm x 2012 mm.

Además con el Benchmark a 30 máquinas se identificaron las siguientes funciones que realizan las máquinas para formar una caja de cartón.

- 1) Acumulan Cartón
- 2) Dosifican Materia Prima (caja preformada).
- 3) Mueven materia prima hacia formado
- 4) Colocan pegamento
- 5) Forman caja
- 6) Desplazan cajas a la siguiente etapa.

2.2 Identificación de la necesidad.

En el sector lácteo se utilizan cajas de cartón corrugado para el embalaje de sus productos por ejemplo para los envases de leche TetraBrik de 250 ml y 1 lt. Las dimensiones, especificaciones y materiales para este elaborar este tipo de cajas estan definidas en la norma VST-DP-NR-020 rev. 6 de Liconsa. Como lo revelo el Benchmark ninguna máquina cuenta con 2 opciones diferentes de alimentación, solamente mediante cajas preformadas, también se encontró solamente una máquina capaz de formar 8 (cajas /min). Con esta propuesta se desea alcanzar a

cubrir el rango de máquinas con un volumen intermedio de formado de 12 a 15 (cajas/min).

Entonces se puede listar la necesidad de la siguiente manera mediante la técnica de la voz del cliente:

1. Se quiere una máquina modular de fácil operación capaz de formar al menos 12 cajas por minuto.
2. Se desea que la alimentación de la materia prima (cartón corrugado con flauta tipo B) pueda hacerse de 2 maneras diferentes.
3. Se requieren cortar 3 diferentes tamaños de láminas:
 - 3a) 647 mm x 503 mm,
 - 3b) 783 mm x 493 mm y
 - 3c) 845 mm x 532 mm.
4. Se quiere formar 3 diferentes tamaños de cajas:
 - 4a) 384+3 mm x 194+3 mm x 107+3 mm.
 - 4b) 384+3 mm x 196+3 mm x 167+3 mm y
 - 4c) 355+3 mm x 188+3 mm x 208+3 mm.
5. Voltaje de operación 220 [V] @ 60 [Hz].
6. Es deseable que las partes comerciales sean principalmente de producción nacional.
7. Es deseable que cuente con sistema de seguridad.
8. Se requiere que sea de fácil mantenimiento.
9. Es deseable que sea de fácil limpieza.
10. Es deseable que las dimensiones finales de la propuesta sean de 8.2 m x 2.1 m x 2.2 m.
11. Es deseable que el costo de la máquina máximo de 110000 USD.

Interpretando la voz del cliente se proponen las siguientes métricas mostradas en la Fig.48

No.	Voz del cliente	No	Métrica	Unidades
1	Facil operación	1	Tiempo destinado a recoger el material	min
		2	Tiempo Manipulación manual de materiales	min
		3	Altura para coloción de materia prima	m
		4	Cantidad de cajas formadas por minuto	pzas
		5	Constitución modular de los sistemas de la máquina	cant.
		6	Intensidad de iluminación adecuada	Luxes
2	Alimentacion de materia	7	Fácil cambio de bobina	min
		8	Facilidad de cambio de tipo de alimentacion de materia prima	min
3	Formar 3 Diferentes tamaños de cajas	9	Sencillez para cambio de tamaño de cajas	min
		10	Cantidad de piezas en los ensambles para cambio de formato	Piezas
		11	Peso de los ensambles para cambio de formato	kg
		12	Sencillez para cambio de tamaño de cajas	min
4	Facil mantto.	13	Tiempo necesario entre mantenimiento preventivo	hr.
5	Fácil limpieza	14	Periodos para limpieza de máquina	min
		15	Tiempo recomendado para limpieza	hr.
6	Tamaño final de máquina	16	Largo Final de la Propuesta	m
		17	Ancho Final del a propuesta	m
		18	Alto Final de la propuesta	m

Figura 48 Interpretación de la voz del cliente.

2.3 Especificaciones Objetivo.

Antes de comenzar con alguna propuesta de solución y para tener una guía para la propuesta de diseño, se establece un conjunto de especificaciones que explican, en detalle preciso y medible, lo que el producto debe de hacer. Las especificaciones objetivo deben de reflejar las necesidades del cliente, y representar las aspiraciones de la propuesta de diseño, es así que definiendo claramente las metas se aproxima de mejor manera la propuesta de diseño a la meta proyectada y de este modo cumplir satisfactoriamente la necesidad. El tener una extensa lista de especificaciones puede lograr una mayor afinidad al objetivo proyectado. Para definir las especificaciones hay que asignar valores (marginal e ideal) a las métricas mencionadas en la figura 48 a continuación se enlistan en la Fig. 49 las especificaciones objetivo.

No.	Metrica	Unidades	Valor marginal	Valor Ideal	Importancia
1	Tiempo destinado a recoger el material	minutos	15	10	3
2	Tiempo de manipulación manual de materiales	minutos	15	10	3
3	Altura para colocación de materia prima	metros	0.9	0.9	4
4	Cantidad de cajas formadas por minuto	piezas	12	15	5
5	Constitución modular de los sistemas de la máquina	cantidad	10	8	4
6	Intensidad de iluminación adecuada	luxes	200	500	4
7	Fácil cambio de bobina	minutos	15	10	5
8	Facilidad de cambio de tipo de alimentación de materia prima	minutos	15	10	5
9	Sencillez para cambio de tamaño de cajas	minutos	10	10	5
10	Cantidad de piezas en los ensambles para cambio de formato	piezas	5	9	4
11	Peso de los ensambles para cambio de formato	kilogramos	20	15	3
12	Sencillez para cambio de tamaño de cajas	minutos	10	10	5
13	Tiempo necesario entre mantenimiento preventivo	horas	4392	6576	4
14	Periodos para limpieza de máquina	minutos	450	450	4
15	Tiempo recomendado para limpieza	minutos	15	10	3
16	Largo final de la propuesta	metros	8	9	3
17	Ancho final de la propuesta	metros	2	3	3
18	Alto final de la propuesta	metros	2	3	3

Figura 49 Especificaciones Objetivo.

2.4 Propuesta de características.

Una vez definidas las necesidades mediante la técnica de la voz del cliente [3], ahora es necesario darles solución a cada una de estas, a continuación se muestran las características que se proponen para la propuesta de diseño como solución de las necesidades.

1. Sistema para corte de bobina de cartón en láminas.
2. Sistema para corte transversal de cartón.
3. Sistema de transporte de láminas de cartón.
4. Sistema para la acumulación de láminas de cartón.
5. Sistema para el dosificado de láminas.
6. Sistema para suaje de cartón.
7. Sistema para mover láminas de cartón hacia el formado.
8. Sistema de formado de caja.
9. Sistema para desplazar caja formada hacia la siguiente etapa.
10. Sensores.
11. Torrera sonora.
12. Circuito de seguridad.
13. Elementos de protección para elementos móviles.
14. Sujeción de cubiertas de acceso con cierres manuales.
15. Bloques de calibración para ajustes rápidos.

2.5 Priorización de las especificaciones.

Una vez propuestas las especificaciones objetivo mostradas en la figura 49, ahora es necesario asignar las prioridades a cada una de las características propuestas enlistadas en la sección 2.4, esto con el fin de orientar la propuesta de diseño según el sentido de importancia asignado, para así tener mejores resultados y obtener un diseño conveniente. Una herramienta útil para este fin es el QFD (Quality Function Deployment)[3], con esta herramienta se forma una matriz donde se puede relacionar las necesidades (voz del cliente "VOC") y la importancia atribuida a cada una de estas (Ic) esta puede adquirir valores de 0 a 10, y las características propuestas (Cp) tomar los siguientes valores 9=Satisfactoriamente, 3=Suficiente y 0=Nada. El formato de esta herramienta se muestra en la figura 50.

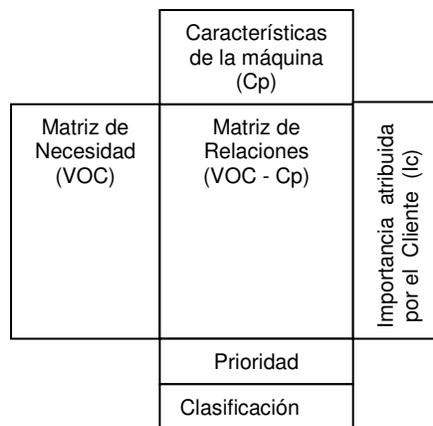


Figura 50 Formato de la herramienta QFD.

La importancia que tiene cada una de la características se calcula mediante la ecuación (1) y los resultados obtenidos se muestran en la Fig 51.

$$P_j = \sum_{i=1}^n I_{ci} \cdot P_{t_{ij}} \dots\dots\dots Ec. 1$$

De donde :

P_j = Prioridad total de la característica.

I_{ci} = Importancia "i" atribuida a la necesidad.

$P_{t_{ij}}$ = Evaluación de la característica.

Una vez que se obtuvieron los resultados de la prioridad para cada una de las características, se ordenan del mayor valor al menor, pues de este modo son ordenadas de acuerdo al nivel de impacto para el cliente, y con esto lograr un mayor nivel de satisfacción, en la Fig. 51. se muestra el resultado

Prioridad	Característica
1	Sistema para corte longitudinal de la bobina de carton
2	Sistema para corte transversal de carton
3	Sistema para disificado de láminas
4	Sistema para acumulación de cartón
5	Sujecion de cubiertas de acceso con cierres manuales
6	Sistema de transporte de láminas de cartón
7	Sistema para suajado de cartón
8	Sistema para formado de cajas
9	Sistema para mover láminas de cartón hacia formado
10	Sistema para desplazar caja formada hacia siguiente estapa
11	Bloques de calibración para ajustes rápidos
12	Torreta sonora
13	circuito de seguridad
14	Sensores
15	Elementos de protección para elementos móviles

Figura 51 Prioridad de características.

En la figura 52 se presenta el QFD aplicado a este caso de diseño, en el cual se realiza una definición más extensa de la necesidad.

		Características															
		Sistema para corte longitudinal de bobina de cartón.	Sistema para corte transversal de cartón.	Sistema de transporte de láminas de cartón.	Sistema para acumulación de láminas de cartón.	Sistema para dosificado de láminas.	Sistema para suajado de cartón.	Sistema para mover láminas de cartón hacia formado.	Sistema de formado de caja.	Sistema para desplazar caja formada hacia siguiente etapa.	Sensores.	Torreta sonora.	Circuito de seguridad.	Elementos de protección para elementos móviles.	Sujeción de cubiertas de acceso con cierres manuales.	Bloques de calibración para ajustes rápidos.	Importancia del cliente
Necesidades																	
1) Facilidad para el cambio de tamaño de láminas de cartón.	9	9	5	9	9	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10
2) Pocas modificaciones para el cambio de tamaño de las cajas.	9	9	5	9	9	9	3	9	0	0	0	0	0	0	0	0	10
3) Cantidad de cajas por minuto.	9	9	9	9	9	9	9	9	9	0	0	0	0	0	0	0	10
4) Altura para colocación de materia prima.	9	9	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8
5) Que emita una alerta por bajo nivel de corrugado.	0	0	0	9	0	0	0	0	0	9	9	0	0	0	0	0	7
6) Detectar presencia de producto en zona de formado.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	7
7) Deseable panel de control del equipo colocado a 1.6 metros del piso.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6
8) Fácil operación.	9	9	9	9	9	9	9	9	9	0	0	0	0	9	9	9	10
9) Tener pocas piezas para cambio de formato.	9	9	9	9	9	9	9	9	9	0	0	0	0	0	0	0	9
10) Fácil limpieza.	3	3	3	3	3	3	3	3	3	0	0	0	0	9	0	0	8
11) Que los ensambles para cambio de formato no sean pesados.	5	5	5	5	5	5	5	5	5	0	0	0	0	9	9	9	8
12) Nivel moderado de ruido.	3	3	3	3	3	3	3	3	3	0	9	0	3	0	0	0	8
13) Que tenga iluminación adecuada.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	8
14) Que no tenga filos ni aristas peligrosas.	3	3	3	3	3	3	3	3	3	0	0	0	9	0	0	0	8
15) Que se pueda suministrar materia prima de 2 distintas maneras.	9	9	9	9	9	9	9	9	9	3	0	0	0	0	0	0	10
16) Que tenga paro de emergencia.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	5	9	0	5	0	0	10
17) Que suene una alarma en caso de apertura de puertas.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	5	9	0	5	0	0	8
18) Que se detenga la máquina al abrir puertas.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	9	0	0	0	0	10
19) Rango de operación del equipo de -5 a 40°C.	5	5	5	5	5	5	5	5	5	0	0	0	0	0	0	0	8
20) Que sea de uso seguro para el operador.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	10
21) Deseable mantenimiento cada 4032 horas de funcionamiento.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	9	9	9	8
22) Que sea fácil de sincronizar después del mantenimiento.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	10
23) Que tenga fácil acceso a tensores de banda, cadenas, etc.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	10
24) Fácil acceso para lubricación.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	10
Prioridad	755	755	603	746	755	593	583	593	503	246	315	260	168	486	234		

Figura 52 QFD aplicado a nuestro caso.

2.6 Conclusiones.

Es importante realizar la definición del problema al que se le va a dar solución, para esto resulta bastante útil poder definir perfectamente los requerimientos.

Una de las herramientas que ayuda a no pasar por alto ningún requerimiento es el QFD, además con esta herramienta se puede visualizar mejor la interacción de una solución con los requerimientos, con lo que se puede jerarquizar la importancia de cada una de las soluciones para de este modo priorizar cada uno de los sistemas y soluciones generadas.

Con los resultados obtenidos del QFD se logro priorizar las características solución propuestas, lo que puede verse reflejado en el nivel satisfacción y de aceptación para la propuesta como se muestra en la figura 52.

También con esta herramienta se logro la definición de los sistemas más importantes que integran a la propuesta pues se puede conocer cuáles son los aspectos esenciales y cuáles son los aspectos superfluos para la propuesta donde no vale la pena invertir tiempo y dinero.

Capítulo 3.

Diseño de Configuración.

3.1 Arquitectura de la propuesta de diseño.

Para comenzar con la propuesta de diseño, ésta se modelara mediante una caja negra con el fin de poder visualizar los flujos de material y energía, tal como se muestra en la Fig. 53, con el fin de descomponer la propuesta en funciones y/ o sub-funciones con el fin de hacerlas más sencillas y realizables.

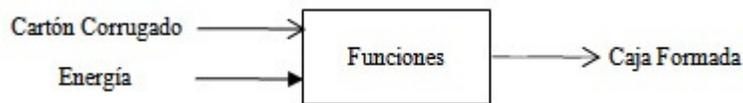


Figura 53 Modelo de caja negra.

De las funciones determinadas en la búsqueda de información (Benchmark) sección 2.1, se propone añadir dos funciones, la de corte de bobina de cartón en láminas (SC) y corte de cartón (SCS) tal y como se muestra en la Fig. 54, aplicándose a la propuesta de diseño.

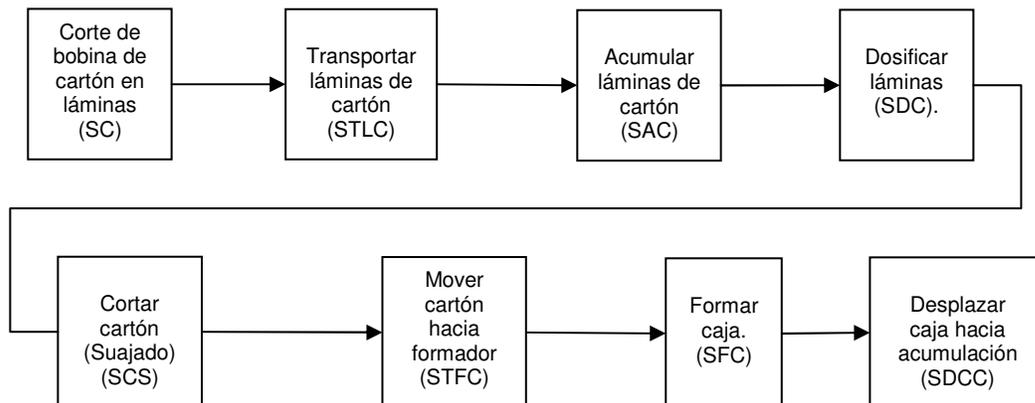


Figura 54 Funciones propuestas.

3.2. Descripción de funcionamiento.

El objetivo que se desea lograr con esta propuesta de diseño es generar una máquina capaz de formar cajas de cartón para embalaje de envases de leche.

Las cajas se formarán de cartón corrugado de flauta tipo B con gramaje de 90 a 156 [g/m²], el cartón podrá ser alimentado de dos formas diferentes:

- 1) De una bobina de cartón.
- 2) De láminas de cartón acumuladas.

Mediante cambios de formato rápidos con diferentes dimensiones se formarán las cajas para las diferentes presentaciones de los envases de leche listados a continuación:

- 1) Envase Tetra pack TM presentación de 250 [ml]
- 2) Envase Tetra pack TM presentación de 1 [lt] y
- 3) Envase Tetra pack TM presentación Slim de 1 [lt]

Las funciones principales de los sistemas de la propuesta de diseño, se enlistan a continuación:

3.2.1 Sistema para corte de cartón proveniente de la bobina (SC).

Este sistema se encarga del corte longitudinal y transversal del cartón proveniente de la bobina para obtener las láminas de acuerdo al formato de caja a armar.

3.2.2 Sistema para transporte de láminas de cartón (STLC).

Mediante este sistema se transporta el cartón proveniente del sistema de corte (SC) dirigiéndolo hacia la zona de acumulación.

3.2.3 Sistema para acumulación de cartón (SAC).

Mediante este sistema se almacena el material para trabajar la máquina de manera continua.

3.2.4 Sistema para dosificación de cartón (SDC).

Con este sistema se suministra las láminas de cartón que han de transformarse en las etapas posteriores.

3.2.5 Sistema para suaje de cartón (SCS).

Con este sistema se realiza el corte a cada una de las láminas para obtener las solapas y los hendidos que facilita los dobleces, así como el punteado (ranurado) de la tapa que facilita la apertura de la caja una vez que fue llenada y cerrada (pegada).

3.2.6 Sistema para desplazar cartón hacia formado (STFC).

Con ayuda de este sistema se transporta el cartón desde la salida del sistema de suajado hacia el área donde se transforma la lámina en una caja.

3.2.7 Sistema para formado de caja (SFC).

Mediante este sistema se realiza los dobleces de solapas para formar la caja, dejándola abierta de la parte superior para permitir su llenado.

3.2.8 Sistema para desplazar caja hacia siguiente etapa (SDCC).

Con este sistema se dirige la caja formada fuera de la máquina, con dos finalidades principales, una para evitar la acumulación y otra para suministrar cajas a otro equipo que realice el llenado con los envases de leche.

3.3. Generación de conceptos.

A continuación se muestran los conceptos de solución para cada uno de los sistemas que integran a la propuesta de diseño de la máquina formadora de cajas de cartón.

3.3.1 Sistema para corte de cartón proveniente de la bobina (SC).

Para este sistema se generaron 5 conceptos.

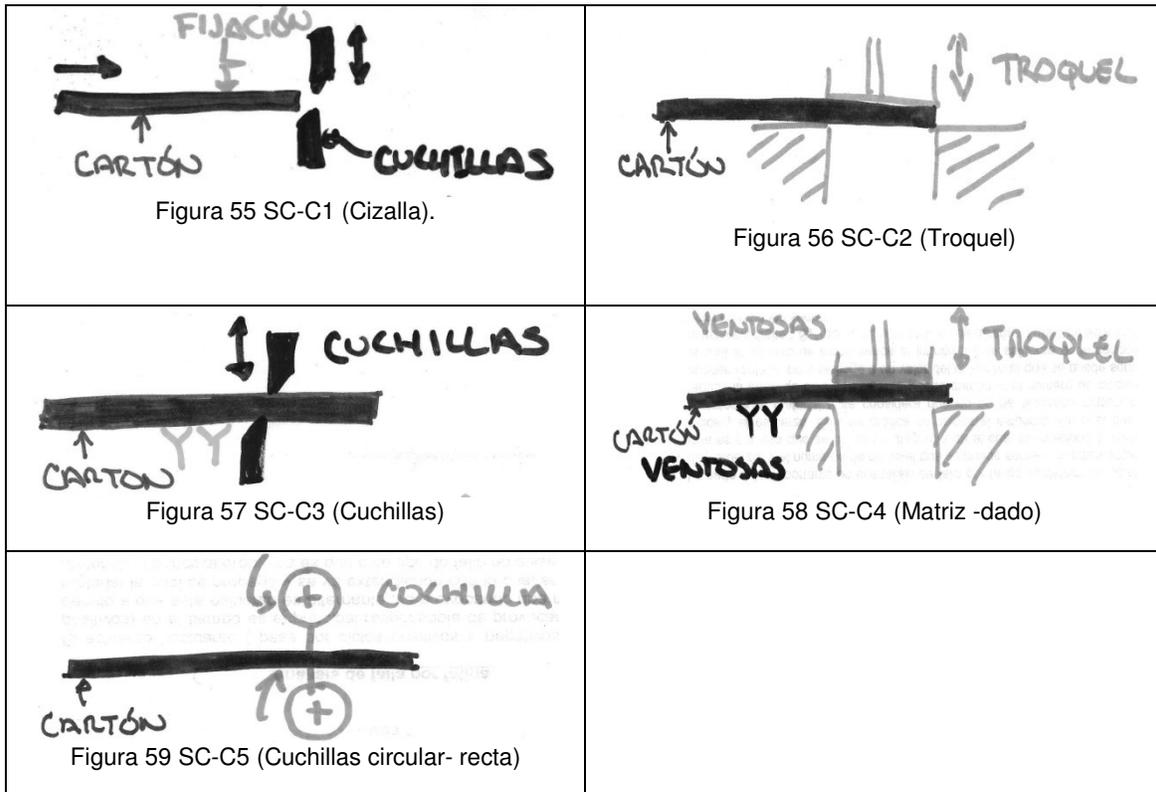
El primer concepto (Fig. 55) cuenta con dos cuchillas rectas una superior y otra fija en la parte inferior, el corte del cartón proveniente de la bobina va avanzando cuando llega a la longitud deseada, la cuchilla superior desciende realizando el corte tanto longitudinal como transversal.

El segundo concepto (Fig. 56) efectúa el corte del cartón mediante un troquel, provisto con cambios rápidos para poder obtener las diferentes dimensiones de las láminas.

El tercer concepto (Fig. 57) cuenta con cuchillas rectas y ventosas de vacío, la longitud del corte estaría determinada por la detención de las ventosas.

El cuarto concepto (Fig. 58) cuenta con un troquel similar al concepto 2, en el cual el posicionamiento del cartón se efectúa mediante ventosas de vacío.

El quinto concepto (Fig. 59), cuenta con cuchillas circulares y rectas para realizar el corte de la materia prima de manera continua, regulando las longitudes con la velocidad del eje.



3.3.2 Sistema para transporte de láminas de cartón (STLC).

Este sistema es el encargado de desplazar la materia prima hacia la siguiente etapa del proceso.

Para este sistema se generaron 6 conceptos de solución.

El primer concepto (Fig. 60) cuenta con un transportador de rodillos muertos y la materia prima cae por gravedad.

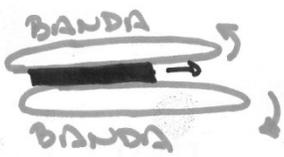
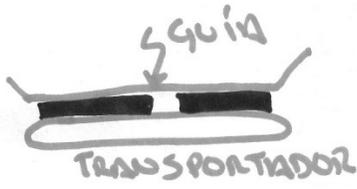
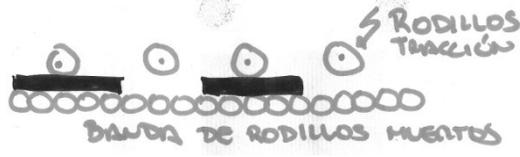
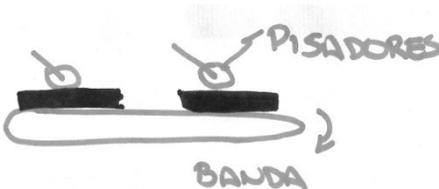
El segundo concepto (Fig. 61) cuenta con un tobogán que permite que las láminas de cartón caigan por gravedad.

El tercer concepto (Fig. 62) cuenta con dos bandas transportadoras, una superior y otra inferior mediante las cuales se impulsa la lámina.

El cuarto concepto (Fig. 63) cuenta con una banda transportadora inferior y una guía superior con la cual se mantiene a la lámina en contacto con la banda.

El quinto concepto (Fig. 64) cuenta con un transportador de rodillos muertos y las láminas de cartón son impulsadas por una serie de rodillos de tracción ubicados en la parte superior.

El sexto concepto (Fig. 65) cuenta con una banda transportadora inferior y una serie de rodillos de presión los cuales mantienen a las láminas en contacto con la banda.

 <p>Figura 60 STLC-C1 (Rodillos)</p>	 <p>Figura 61 STLC-C2 (Rampa)</p>
 <p>Figura 62 STLC-C3 (Bandas)</p>	 <p>Figura 63 STLS-C4 (Banda-guía)</p>
 <p>Figura 64 STLC-C5 (Rodillos Tracción)</p>	 <p>Figura 65 STLC-C6 (Pisadores)</p>

3.3.3 Sistema para acumulación de cartón (SAC).

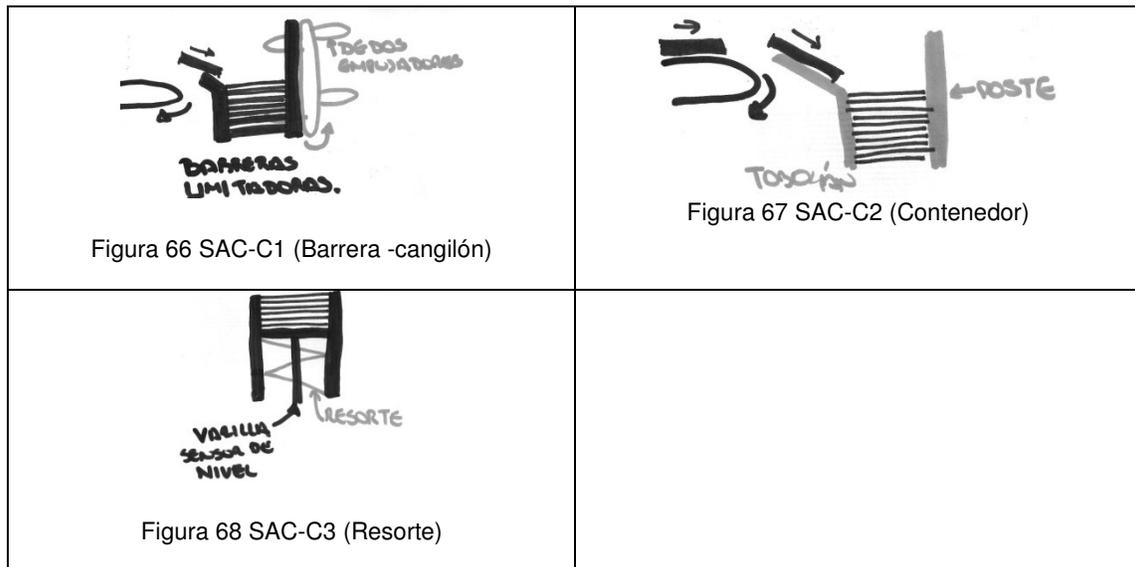
Con este sistema se almacenan las láminas de cartón para poder asegurar un suministro constante de láminas de cartón durante un cierto periodo de tiempo.

Para este sistema se generaron 3 conceptos de solución.

El primer concepto (Fig. 66) es un contenedor que tiene barreras en la cual se coloca un transportador con cangilones o dedos los cuales bajan las láminas hasta un nivel determinado impidiendo que se atore en la parte superior.

El segundo concepto (Fig. 67) es un contenedor ajustable al cual pueden caer las láminas mediante un tobogán.

El tercer concepto (Fig. 68) es un contenedor el cual se ajusta la altura de recepción de las láminas mediante un resorte, el cual, al caer cierta cantidad de laminas se comprime.



3.3.4 Sistema para dosificado de cartón (SDC).

Mediante este sistema se suministran las láminas de cartón para el formado en etapas posteriores.

Para este sistema se generaron 6 conceptos de solución.

En el primer concepto (Fig. 69), se propone colocar una banda transportadora, con la cual mediante fricción se dosifiquen las láminas.

Para el segundo concepto (Fig. 70) se propone rodillos motrices para dosificar las láminas de cartón.

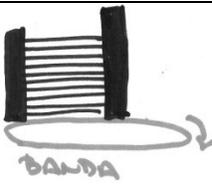
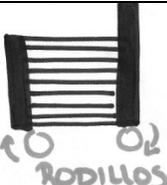
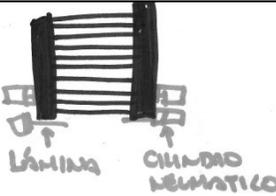
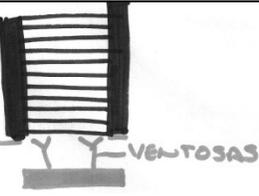
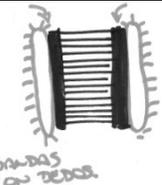
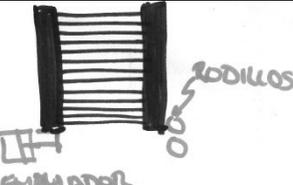
El tercer concepto (Fig. 71) consta de una serie de cilindros neumáticos con los cuales se pretende controlar la apertura de 4 láminas soportes, 2 en la parte superior con los cuales se pretende detener la columna de láminas de cartón y con

los 2 de la parte inferior se dosificara para permitir el descenso de las láminas cayendo estas en una banda transportadora.

El cuarto concepto (Fig. 72) contiene un brazo el cual tiene una serie de ventosas de vacio con las cuales se retira la lámina del contenedor.

El quinto concepto (Fig. 73) tiene un par de bandas con guías (dedos), con los que se sujetan las láminas y regulando la velocidad de los ejes de entrada a las bandas se regula la velocidad de dosificado.

El sexto concepto (Fig. 74) tiene un cilindro neumático, el cual tiene un empujador mediante el cual se mueve la lámina inferior hacia un par de rodillos con los cuales se pretende impulsar las láminas a dosificar.

 <p>Figura 69 SDC (Banda)</p>	 <p>Figura 70 SDC-C2 (Rodillos)</p>
 <p>Figura 71 SDC-C3 (Cilindros - soportes)</p>	 <p>Figura 72 SDC-C4 (Ventosas)</p>
 <p>Figura 73 SDC-C5 (Banda dedos)</p>	 <p>Figura 74 SDC-C6 (Cilindro - rodillos)</p>

3.3.5 Sistema para suaje de cartón (SCS).

Con este sistema se realizan los cortes finales de la lámina de cartón con los que se obtendrá la caja de cartón en el formado.

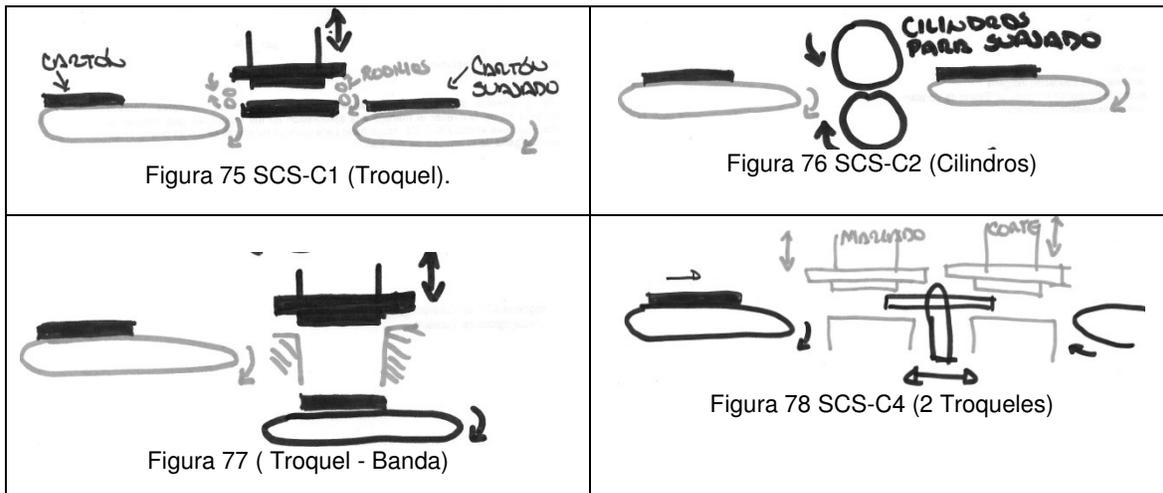
En este sistema se generaron 4 conceptos de solución.

En el primer concepto (Fig. 75) se propone un troquel con el cual se realiza el suajado del cartón (corte y marcado), además se emplean unos rodillos, con los cuales se desplaza el cartón tanto de entrada como de salida.

En el segundo concepto (Fig. 76) se considera un par de cilindros para realizar un suajado rotativo.

En el tercer concepto (Fig. 77) se propone un troquel con el cual se realiza el corte y el marcado de la lámina posteriormente el material cortado cae a un transportador que lo desplaza a la siguiente etapa.

En el cuarto concepto (Fig. 78) se presenta un sistema integrado por 2 troqueles, en uno se realiza el corte y en otro el marcado, para mover la lámina de uno a otro se usa un brazo con el cual se toma de uno y se coloca en el otro (Pick and Place).



3.3.6 Sistema para desplazar cartón hacia formado (STFC).

Este sistema permite que las láminas de cartón sean desplazadas hacia el área de formado.

Para este sistema se generaron 6 conceptos de solución.

Para el primer concepto (Fig. 79) se proponen rodillos de tracción tanto en la parte superior como en la inferior, con lo que se impulsa la lámina de cartón.

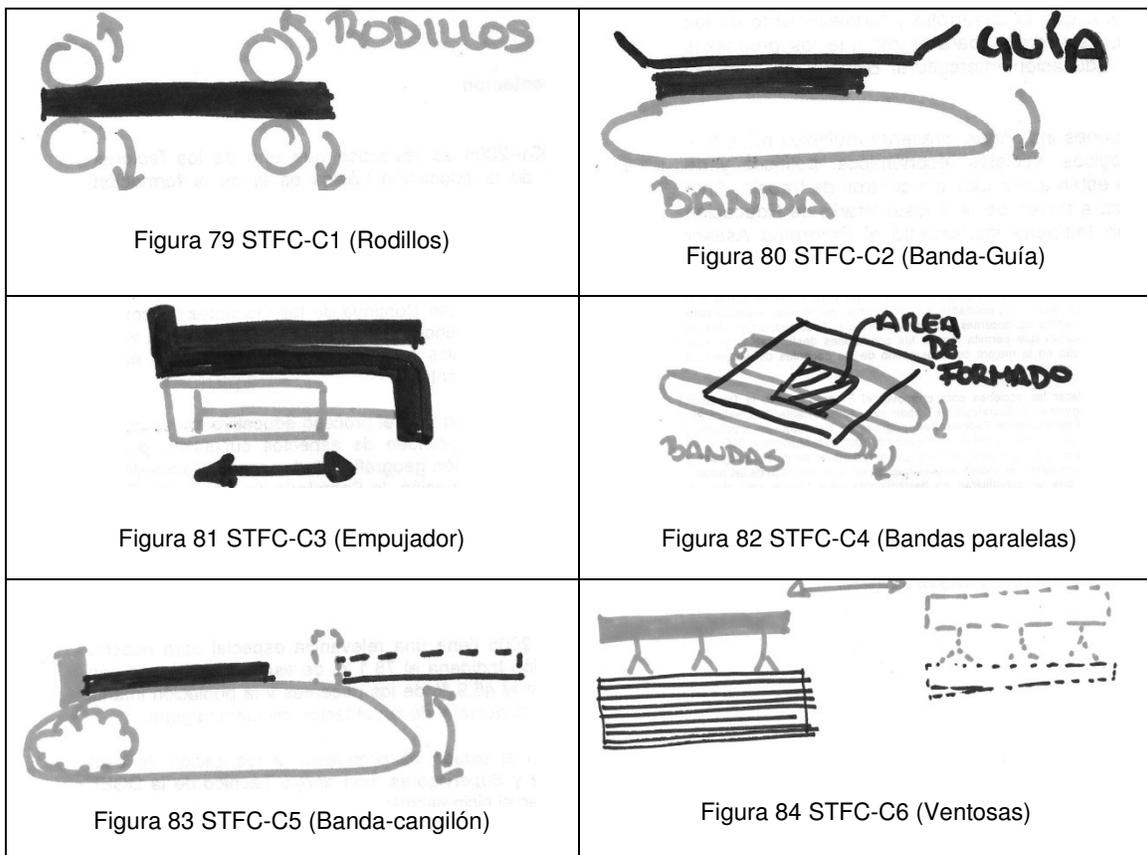
El segundo concepto (Fig. 80) está integrado por una banda y una guía superior.

El tercer concepto (Fig. 81) es un cilindro neumático el cual tiene en un extremo una pieza con la cual se puede desplazar la lámina hacia la siguiente etapa.

El cuarto concepto (Fig. 82) contiene un par de bandas mediante las cuales se puede ajustar la velocidad angular para adecuarse al tamaño de la lámina, las bandas llegan al área de formado, sin interferir en la operación.

El quinto concepto (Fig. 83) se propone un transportador en el cuál la banda tiene un bloque mediante el cual se empuja a la lámina de cartón.

El sexto concepto (Fig. 84) está integrado por un brazo mecánico el cual cuenta con una serie de ventosas en el extremo, mediante las cuales se sujeta a la lámina mientras el brazo avanza al área de formado.



3.3.7 Sistema para formado de caja (SFC).

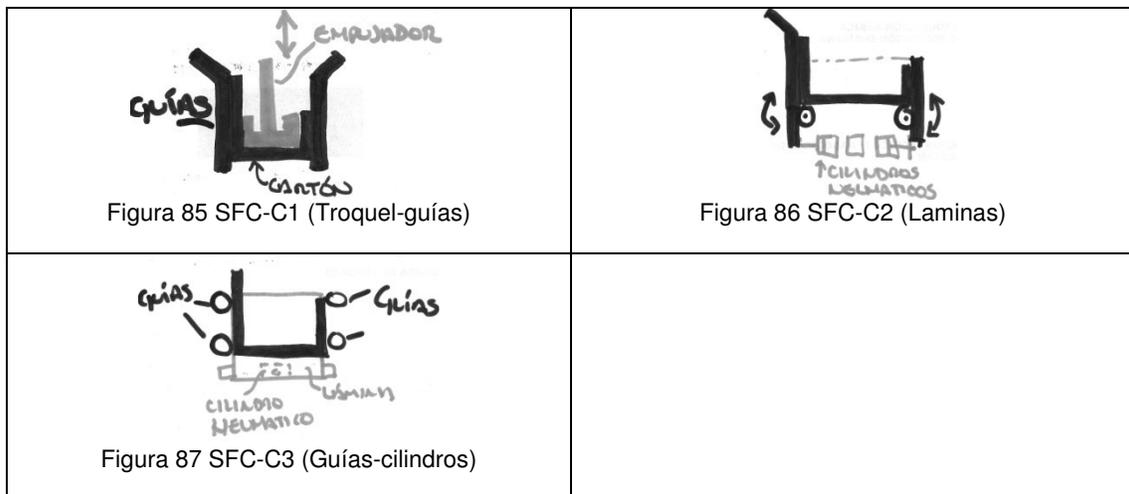
Con este sistema se realiza la transformación de la lámina en una caja de cartón.

Para este sistema se generaron 3 conceptos de solución.

Para el primer concepto (Fig. 85) se tiene un mecanismo de troquel con un conjunto de guías laterales ajustable con las cuales se puede generar las dimensiones deseadas.

El segundo concepto (Fig. 86) está integrado por una serie de láminas articuladas, las cuales realizan los dobleces de la lámina de cartón, el accionamiento es mediante cilindros neumáticos.

El tercer concepto (Fig. 87) consta de una serie de varillas laterales para cerrar 2 solapas, las solapas restantes son formadas por 2 láminas laterales accionadas por cilindros neumáticos.



3.3.8 Sistema para desplazar caja hacia siguiente etapa (SDCC).

Una vez formada la caja es necesario desplazarla fuera de la máquina para evitar la acumulación de producto, para esto, es necesario un sistema que desplace el producto terminado hacia la siguiente etapa.

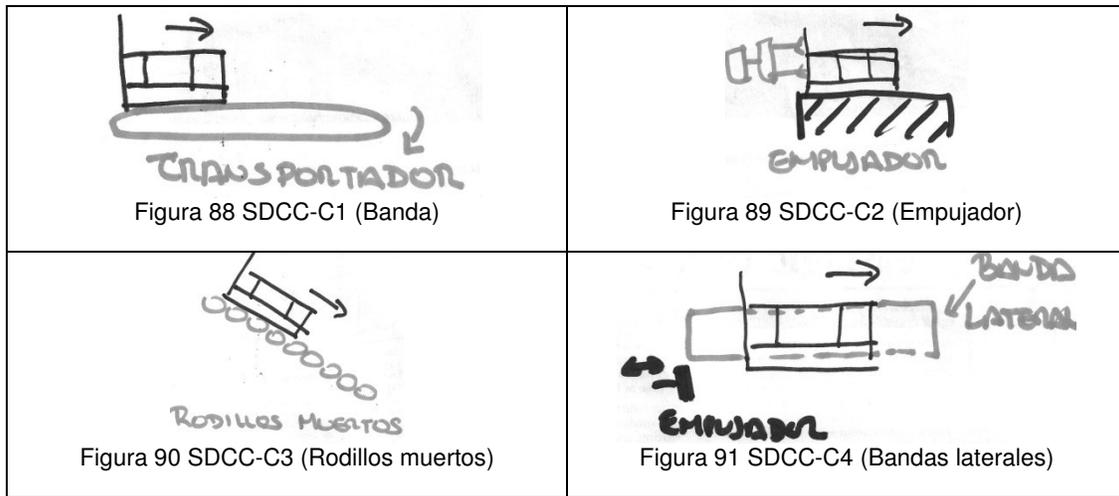
Para este sistema se generaron 4 conceptos de solución.

Para el primer concepto (Fig. 88) se propone una banda transportadora la cual permite desplazar al producto terminado (caja de cartón).

El segundo concepto (Fig. 89) está integrado por un sistema neumático, el cual desplaza la caja hacia afuera de la máquina.

El tercer concepto (Fig. 90) está definido por un transportador de rodillos muertos, el cual funciona por efecto de la gravedad.

El cuarto concepto (Fig. 91) está constituido por dos bandas laterales, las cuales arrastran la caja hacia afuera de la máquina.



3.4 Evaluación de conceptos.

Una vez generados los conceptos de solución para cada uno de los sistemas de la propuesta de diseño, se realizó la evaluación de los conceptos por sistema mediante el uso de las matrices de selección (fig. 92 a fig. 99), para poder utilizar las matrices de selección se consideraron los criterios de evaluación mostrados en la Tabla 2, así como la escala de calificación mostrada en la Tabla 3.

Criterio de evaluación	Peso (%).
Fácil Operación.	25
Mínimo de piezas para realizar cambio de formato.	25
Diferencias claras en piezas para cambio de formatos.	5
De fácil acceso para limpieza	15
De fácil mantenimiento	20
Protección para elementos móviles	10

Tabla 2 Criterios de evaluación.

Desempeño Relativo	Calificación.
Mucho peor que la referencia.	1
Peor que la referencia.	2
Igual que la referencia.	3
Mejor que la referencia.	4
Mucho mejor que la referencia.	5

Tabla 3 Escala de calificación.

La evaluación de cada concepto se puede obtener mediante la ecuación 2.

$$S_j = \sum_{i=1}^n w_i \times r_{ij} \dots\dots\dots \text{Ec. 2}$$

De donde

S_j = Evaluación total del concepto.

w_i = peso asignado al criterio.

r_{ij} =evaluación de la fila del concepto j para el i-ésimo criterio.

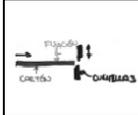
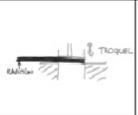
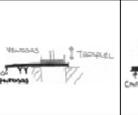
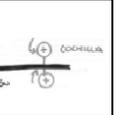
											
		C1		C2		C3		C4		C5	
Criterios de selección	Peso	Calif.	Evaluación Ponderada	Calif.	Evaluación Ponderada	Calif.	Evaluación Ponderada	Calif.	Evaluación Ponderada	Calif.	Evaluación Ponderada
Fácil operación	0.25	5	1.25	5	1.25	5	1.25	5	1.25	5	1.25
Mínimo de piezas para realizar cambio de formato	0.25	3	0.75	3	0.75	3	0.75	3	0.75	5	1.25
Diferencias Claras en pzas para cambio de formatos.	0.05	4	0.2	5	0.25	4	0.2	4	0.2	3	0.15
De fácil acceso para limpieza	0.15	4	0.6	3	0.45	4	0.6	3	0.45	4	0.6
De fácil mantenimiento	0.2	4	0.8	4	0.8	4	0.8	3	0.6	4	0.8
Protección para elementos móviles	0.1	4	0.4	4	0.4	4	0.4	4	0.4	3	0.3
		4.00		3.9		4.00		3.65		4.35	

Figura 92 Matriz de selección del sistema SC

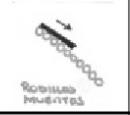
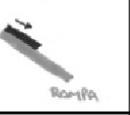
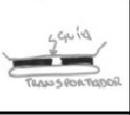
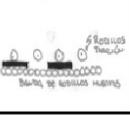
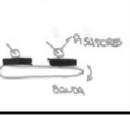
													
		C1		C2		C3		C4		C5		C6	
Criterios de selección	Peso	Calif.	Evaluación Ponderada	Calif.	Evaluación Ponderada	Calif.	Evaluación Ponderada	Calif.	Evaluación Ponderada	Calif.	Evaluación Ponderada	Calif.	Evaluación Ponderada
Fácil operación	0.25	3	0.75	3	0.75	4	1	5	1.25	4	1	4	1
Mínimo de piezas para realizar cambio de formato	0.25	5	1.25	5	1.25	4	1	4	1	4	1	4	1
Diferencias Claras en pzas para cambio de formatos.	0.05	4	0.2	4	0.2	4	0.2	4	0.2	4	0.2	4	0.2
De fácil acceso para limpieza	0.15	4	0.6	4	0.6	4	0.6	5	0.75	4	0.6	5	0.75
De fácil mantenimiento	0.2	4	0.8	4	0.8	4	0.8	5	1	4	0.8	5	1
Protección para elementos móviles	0.1	3	0.3	3	0.3	4	0.4	4	0.4	4	0.4	4	0.4
		3.90		3.90		4.00		4.60		4.00		4.35	

Figura 93 Matriz de selección del sistema STLC.

							
		C1		C2		C3	
Criterios de selección	Peso	Calif.	Evaluación Ponderada	Calif.	Evaluación Ponderada	Calif.	Evaluación Ponderada
Fácil operación	0.25	5	1.25	5	1.25	3	0.75
Mínimo de piezas para realizar cambio de formato	0.25	3	0.75	4	1	4	1
Diferencias Claras en pzas para cambio de formatos.	0.05	4	0.2	5	0.25	4	0.2
De fácil acceso para limpieza	0.15	4	0.6	4	0.6	4	0.6
De fácil mantenimiento	0.2	4	0.8	4	0.8	4	0.8
Protección para elementos móviles	0.1	4	0.4	4	0.4	4	0.4
		4.00		4.30		3.75	

Figura 94 Matriz de selección del sistema SAC.

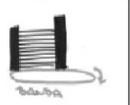
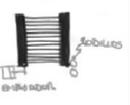
													
		C1		C2		C3		C4		C5		C6	
Criterios de selección	Peso	Calif.	Evaluación Ponderada	Calif.	Evaluación Ponderada	Calif.	Evaluación Ponderada	Calif.	Evaluación Ponderada	Calif.	Evaluación Ponderada	Calif.	Evaluación Ponderada
Fácil operación	0.25	5	1.25	5	1.25	3	0.75	3		3	0.75	4	1
Mínimo de piezas para realizar cambio de formato	0.25	5	1.25	5	1.25	2	0.5	3	0.75	2	0.5	4	1
Diferencias Claras en pzas para cambio de formatos.	0.05	4	0.2	4	0.2	3	0.15	4	0.2	4	0.2	4	0.2
De fácil acceso para limpieza	0.15	4	0.6	4	0.6	3	0.45	3	0.45	3	0.45	4	0.6
De fácil mantenimiento	0.2	4	0.8	4	0.8	3	0.6	3	0.6	3	0.6	4	0.8
Protección para elementos móviles	0.1	3	0.3	4	0.4	3	0.3	3	0.3	3	0.3	4	0.4
		4.40		4.5		2.75		2.30		2.80		4.00	

Figura 95 Matriz de selección del sistema SDC.

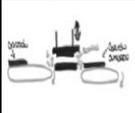
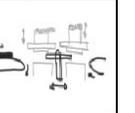
									
		C1		C2		C3		C4	
Criterios de selección	Peso	Calif.	Evaluación Ponderada	Calif.	Evaluación Ponderada	Calif.	Evaluación Ponderada	Calif.	Evaluación Ponderada
Fácil operación	0.25	4	1	5	1.25	4	1	3	0.75
Mínimo de piezas para realizar cambio de formato	0.25	3	0.75	4	1	2	0.5	2	0.5
Diferencias Claras en pzas para cambio de formatos.	0.05	3	0.15	4	0.2	4	0.2	4	0.2
De fácil acceso para limpieza	0.15	3	0.45	4	0.6	3	0.45	3	0.45
De fácil mantenimiento	0.2	3	0.6	4	0.8	3	0.6	3	0.6
Protección para elementos móviles	0.1	3	0.3	4	0.4	3	0.3	3	0.3
		3.25		4.25		3.05		2.80	

Figura 96 Matriz de selección del sistema SCS.

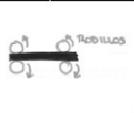
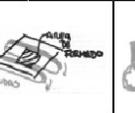
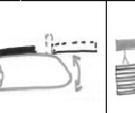
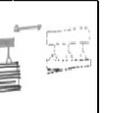
													
		C1		C2		C3		C4		C5		C6	
Criterios de selección	Peso	Calif.	Evaluación Ponderada	Calif.	Evaluación Ponderada	Calif.	Evaluación Ponderada	Calif.	Evaluación Ponderada	Calif.	Evaluación Ponderada	Calif.	Evaluación Ponderada
Fácil operación	0.25	5	1.25	5	1.25	3	0.75	5	1.25	5	1.25	4	1
Mínimo de piezas para realizar cambio de formato	0.25	5	1.25	5	1.25	2	0.5	3	0.75	4	1	3	0.75
Diferencias Claras en pzas para cambio de formatos.	0.05	4	0.2	5	0.25	3	0.15	4	0.2	4	0.2	4	0.2
De fácil acceso para limpieza	0.15	4	0.6	4	0.6	3	0.45	4	0.6	4	0.6	4	0.6
De fácil mantenimiento	0.2	4	0.8	4	0.8	3	0.6	4	0.8	4	0.8	4	0.8
Protección para elementos móviles	0.1	3	0.3	4	0.4	3	0.3	4	0.4	4	0.4	4	0.4
		4.40		4.55		2.75		4.00		4.25		3.75	

Figura 97 Matriz de selección del sistema STFC.

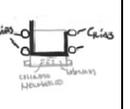
							
		C1		C2		C3	
Criterios de selección	Peso	Calif.	Evaluación Ponderada	Calif.	Evaluación Ponderada	Calif.	Evaluación Ponderada
Fácil operación	0.25	5	1.25	5	1.25	3	0.75
Mínimo de piezas para realizar cambio de formato	0.25	3	0.75	3	0.75	4	1
Diferencias Claras en pzas para cambio de formatos.	0.05	4	0.2	5	0.25	4	0.2
De fácil acceso para limpieza	0.15	4	0.6	3	0.45	4	0.6
De fácil mantenimiento	0.2	4	0.8	4	0.8	4	0.8
Protección para elementos móviles	0.1	4	0.4	4	0.4	4	0.4
		4.00		3.9		3.75	

Figura 98 Matriz de selección del sistema SFC.

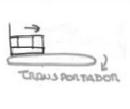
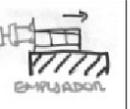
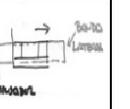
									
		C1		C2		C3		C4	
Criterios de selección	Peso	Calif.	Evaluación Ponderada	Calif.	Evaluación Ponderada	Calif.	Evaluación Ponderada	Calif.	Evaluación Ponderada
Fácil operación	0.25	5	1.25	5	1.25	3	0.75	4	1
Mínimo de piezas para realizar cambio de formato	0.25	5	1.25	4	1	5	1.25	4	1
Diferencias Claras en pzas para cambio de formatos.	0.05	5	0.25	4	0.2	4	0.2	4	0.2
De fácil acceso para limpieza	0.15	5	0.75	4	0.6	4	0.6	4	0.6
De fácil mantenimiento	0.2	5	1	4	0.8	4	0.8	3	0.6
Protección para elementos móviles	0.1	4	0.4	4	0.4	4	0.4	4	0.4
		4.90		4.25		4.00		3.80	

Figura 99 Matriz de selección del sistema SDCC.

El resumen de los resultados obtenidos de las evaluaciones para cada sistema se muestra en la tabla 4.

Sistema	Mejores Conceptos.
Cortar (SC)	C5
Mover (STLC).	C4
Acumular (SAC).	C2
Dosificar (SDC).	C2
Cortar (SCS)	C2
Transportar (STFC)	C2
Formar (SFC)	C1
Desplazar (SDCC)	C1

Tabla 4 Mejores conceptos de cada sistema.

Con los resultados de la tabla 4, se genera una combinación para la propuesta de diseño (ver figura 100), la cual está integrada por los mejores conceptos obtenidos con las matrices de selección.

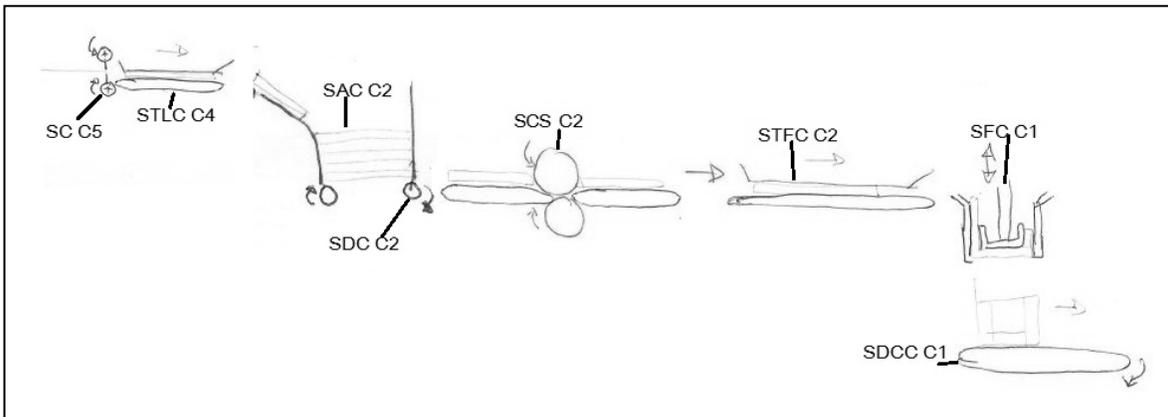


Figura 100 Primera propuesta de diseño.

3.5 Matriz morfológica.

Una matriz morfológica es una herramienta que se puede utilizar para generar una gran variedad de soluciones mediante la combinación de los principios de solución.

La base de cada combinación es la de establecer la estructura de funciones que reflejan lógicamente y/o físicamente posible o asociaciones útiles de las sub-funciones.

El problema principal con cada combinación es asegurar la compatibilidad tanto geométrica como física de los principios a ser combinados, con los cuales se debe garantizar el flujo suave de energía, material y/o señales. (Pahl & Beitz, 2007)

Si este esquema es utilizado para generar soluciones, entonces al menos un principio de solución ha de seleccionarse de cada función.

A continuación se enlistan los pasos que facilitan la generación de la Matriz Morfológica.

1. Enlistar las funciones de acuerdo a como van ocurriendo de acuerdo a la estructura funcional, con lo que se permitirá el flujo de energía, material y señales.
2. Los principios de solución están arreglados deseablemente con la ayuda de una columna adicional de parámetros, por ejemplo el tipo de energía.
3. Los principios de solución no necesariamente pueden expresarse con palabras también pueden expresarse con dibujos (croquis).
4. También registrar las características y propiedades más importantes de los principios de solución.

En la fig. 101 se muestra el arreglo de los conceptos de solución en forma de matriz.

		CONCEPTOS					
Funciones	Sist.	C1	C2	C3	C4	C5	C6
Cortar	SC						
Mover	STLC						
Acumular	SAC						
Dosificar	SDC						
Cortar	SCS						
Transportar	STFC						
Formar	SFC						
Desplazar	SDCC						

Figura 101 Matriz morfológica.

Con la matriz morfológica mostrada en la figura 101, se pueden generar de manera rápida diferentes configuraciones mediante una combinación de conceptos de solución. Las configuraciones propuestas se presentan en la matriz morfológica mostrada en la Fig. 102 identificando cada combinación con un color diferente considerándose solamente 9 combinaciones posibles.

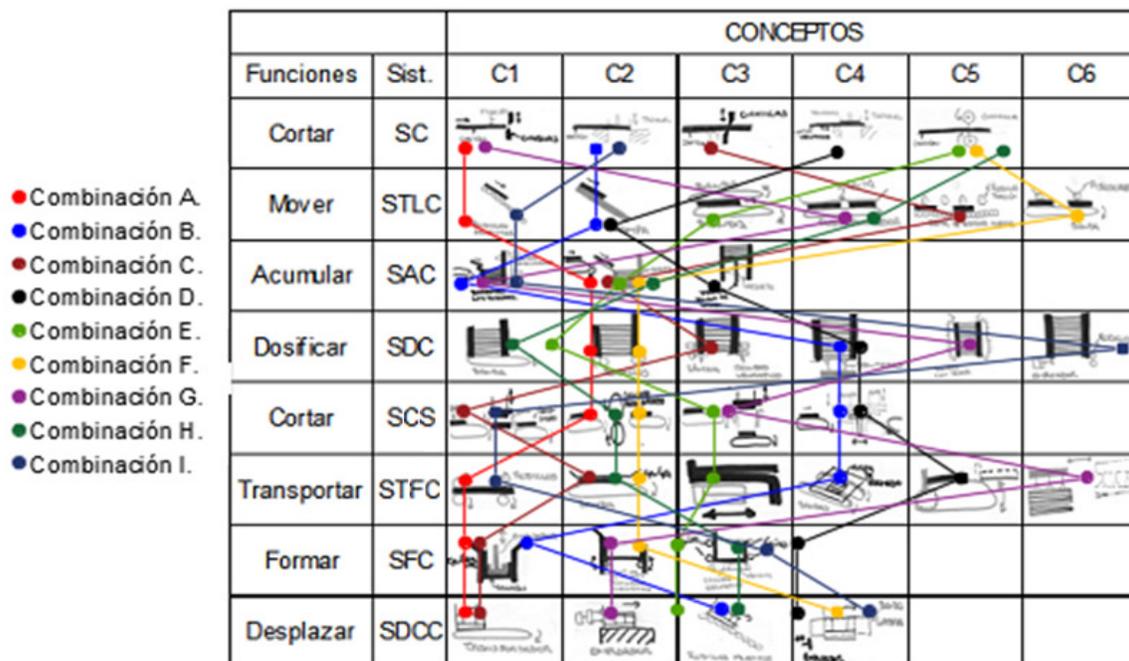


Figura 102 Matriz morfológica con combinaciones propuestas.

El resumen de las combinaciones generadas mediante la matriz morfológica se enlista en la Fig. 103.

		Combinaciones								
Funciones	Sist.	COMB.1	COMB.2	COMB.3	COMB.4	COMB.5	COMB.6	COMB.7	COMB.8	COMB.9
Cortar	SC	C1	C2	C3	C4	C5	C5	C1	C5	C2
Mover	STLC	C1	C2	C5	C2	C3	C6	C4	C4	C1
Acumular	SAC	C2	C1	C2	C3	C2	C2	C1	C2	C1
Dosificar	SDC	C2	C4	C3	C4	C1	C2	C5	C1	C6
Cortar	SCS	C2	C4	C1	C4	C2	C2	C3	C2	C1
Transportar	STFC	C1	C4	C2	C5	C2	C2	C6	C2	C1
Formar	SFC	C1	C1	C1	C3	C3	C2	C2	C3	C3
Desplazar	SDCC	C1	C3	C1	C3	C3	C4	C2	C3	C4

Figura 103 Resultados obtenidos con matriz morfológica.

A continuación se muestran en las Fig. 104 a Fig. 112 las combinaciones obtenidas con la matriz morfológica.

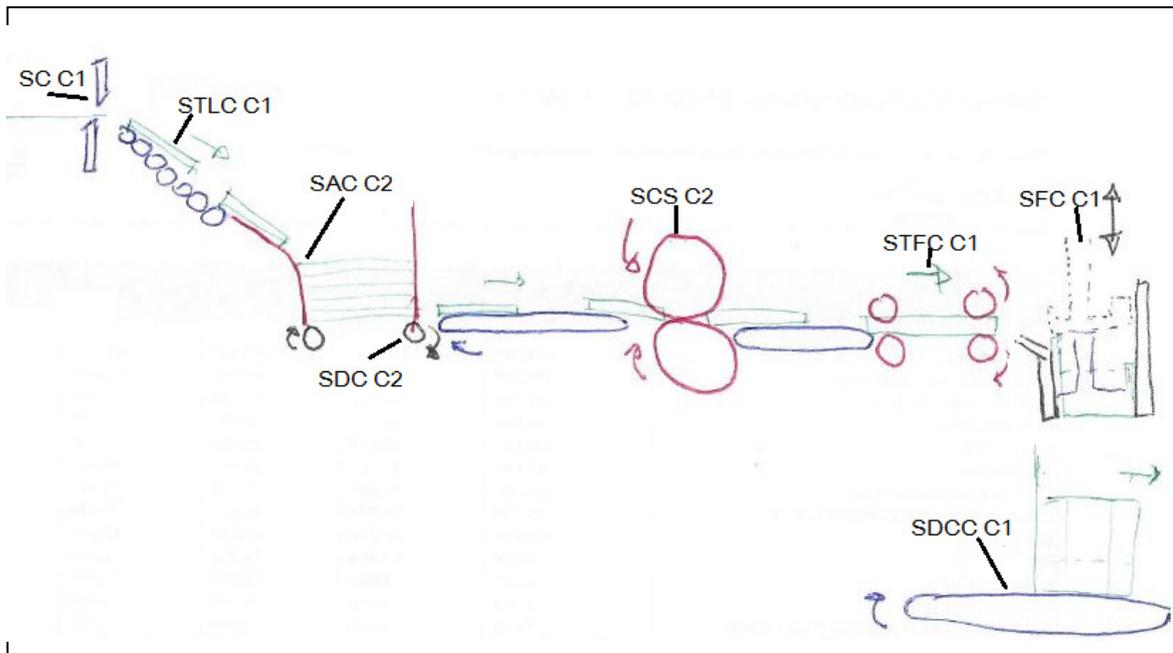


Figura 104 Combinación 1

En la combinación mostrada en la Fig. 104, se realiza el corte de la bobina mediante una cizalla (SC C1), posteriormente la lámina de cartón cae en una banda de rodillos muertos (STLC C1), con la cual se dirige a la lámina hacia un contenedor para acumularse (SAC C2), las laminas de cartón son dosificadas mediante unos rodillos (SDC C2), hacia el sistema de suaje (SCS C2), una vez

que ya se tiene la forma y marcados se dirigen hacia la zona de formado mediante un transportador (STFC C1) , el formado se realiza mediante un sistema de troquel con guías (SFC C1) finalmente se desplaza la caja formada hacia la siguiente etapa mediante una transportador (SDCC C1).

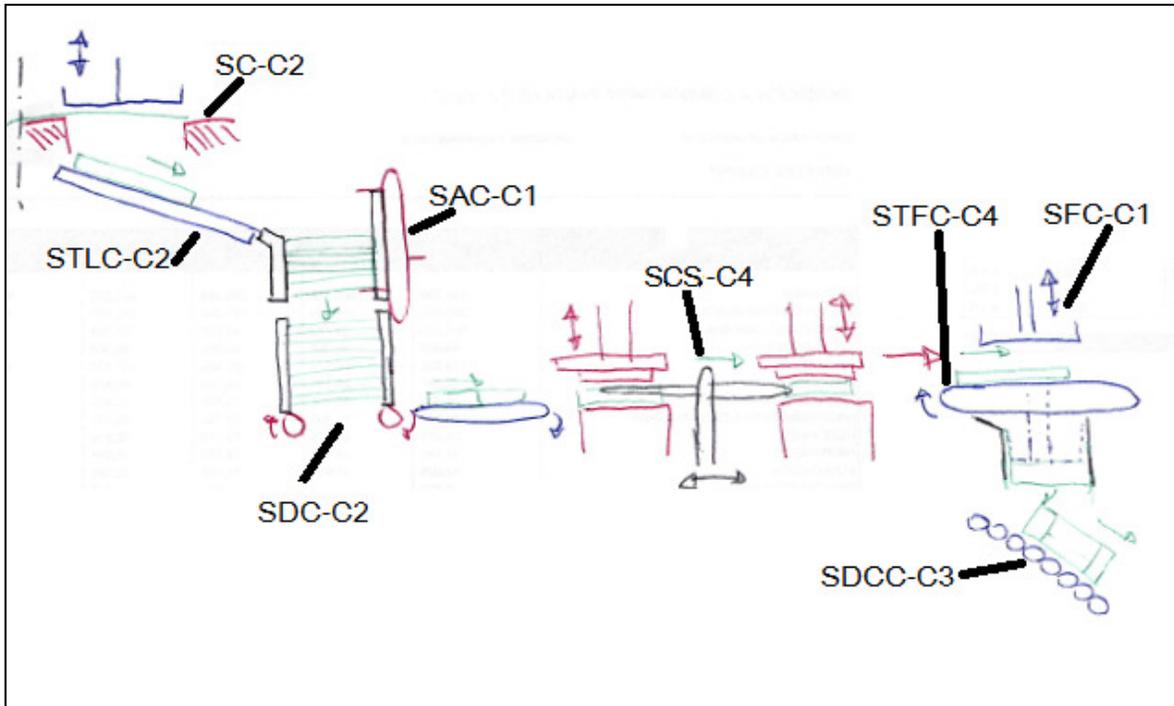


Figura 105 Combinación 2

En la combinación mostrada en la Fig. 105, se realiza el corte de la bobina mediante un troquel (SC C2), posteriormente la lámina de cartón se desliza en una rampa (STLC C2), con la cual se dirige a la lámina hacia un contenedor el cual tiene una barrera ajustable así como una banda con cangilones para desplazar a las laminas hacia el fondo (SAC C1), las laminas de cartón son dosificadas mediante unos rodillos (SDC C2),hacia el sistema de suaje (SCS C4), una vez que ya se tiene la forma y marcados se dirigen hacia la zona de formado mediante dos bandas (STFC C4) , el formado se realiza mediante un sistema de troquel con guías (SFC C1) finalmente se desplaza la caja formada hacia la siguiente etapa mediante una transportador de rodillos muertos (SDCC C3).

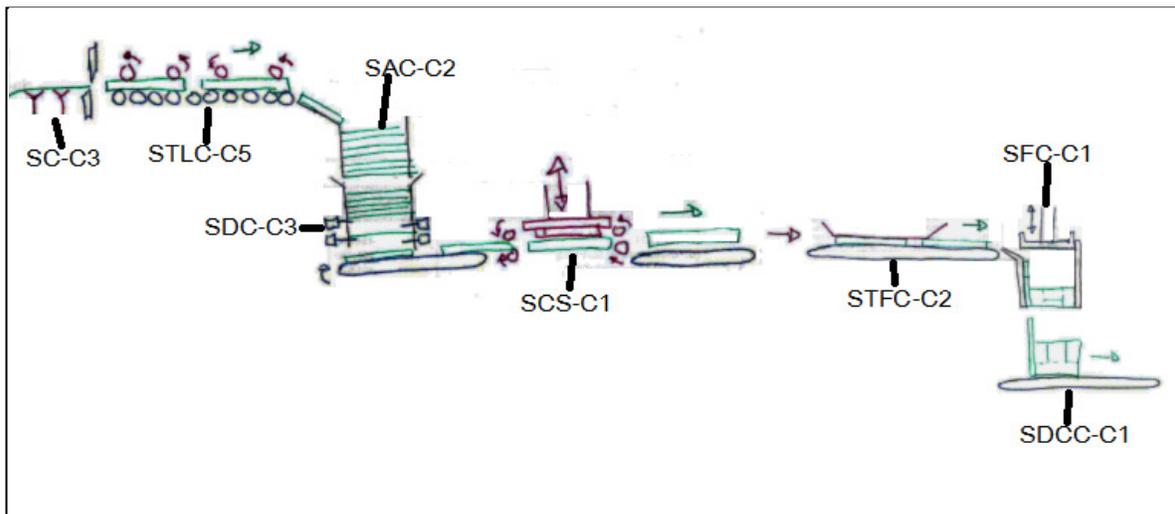


Figura 106 Combinación 3

En la combinación mostrada en la Fig. 106, se realiza el corte de la bobina mediante una cizalla y ventosas (SC C3), posteriormente la lámina de cartón se transporta mediante una serie de rodillos de tracción y banda de rodillos muertos (STLC C5), con la cual se dirige a la lámina hacia un contenedor para acumularse (SAC C2), las laminas de cartón son dosificadas mediante un sistema conformado por cilindros y soportes (SDC C3), el sistema de suaje consta de un troquel (SCS C1), una vez que ya se tiene la forma y marcados se dirigen hacia la zona de formado mediante una banda con guías (STFC C2) , el formado se realiza mediante un sistema de troquel con guías (SFC C1) finalmente se desplaza la caja formada hacia la siguiente etapa mediante una transportador (SDCC C1).

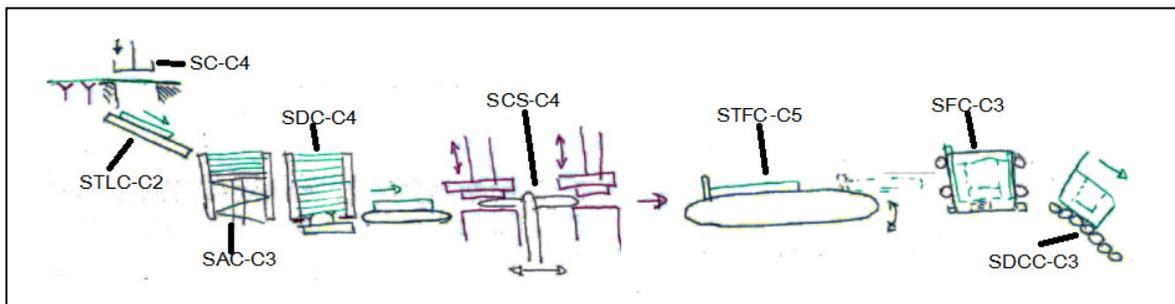


Figura 107 Combinación 4

En la combinación mostrada en la Fig. 107, se realiza el corte de la bobina mediante un troquel y ventosas (SC C4), posteriormente la lámina de cartón se transporta mediante una rampa (STLC C2), con la cual se dirige a la lámina hacia un contenedor para acumularse (SAC C3), las laminas de cartón son dosificadas mediante un sistema que consta de un brazo con ventosas neumáticas (SDC C4), el sistema de suaje consta de un par de troqueles (SCS C4) y un sistema de pick and place (STFC C5) finalmente se desplaza la caja formada hacia la siguiente etapa mediante una transportador (SDCC C3).

(SCS C4), una vez que ya se tiene la forma y marcados se dirigen hacia la zona de formado mediante una banda con un cangilón (STFC C5) , el formado se realiza mediante un sistema de guías y cilindros neumáticos (SFC C3) finalmente se desplaza la caja formada hacia la siguiente etapa mediante una transportador de rodillos muertos (SDCC C3).

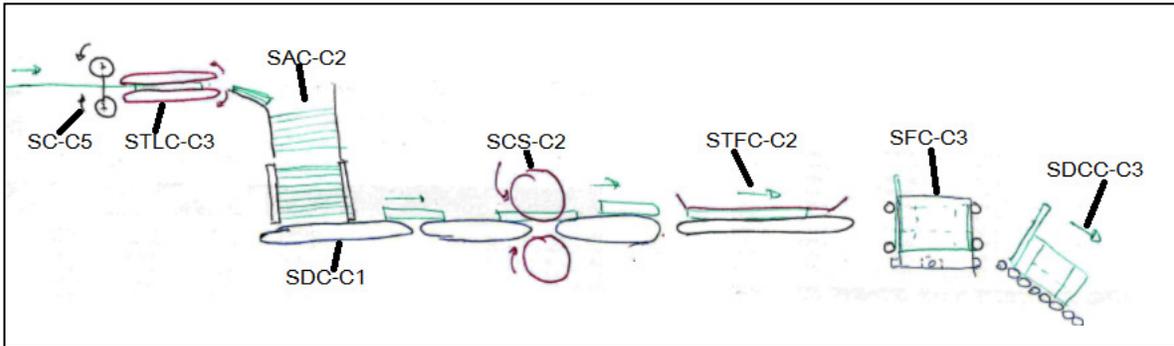


Figura 108 Combinación 5

En la combinación mostrada en la Fig. 108, se realiza el corte de la bobina mediante cuchillas circulares y rectas (SC C5), posteriormente la lámina de cartón se transporta mediante dos bandas las cuales presionan a la lámina (STLC C3), con la cual se dirige a la lámina hacia un contenedor para acumularse (SAC C2), las laminas de cartón son dosificadas mediante un sistema conformado por una banda (SDC C1), el sistema de suaje consta de un par de cilindros (SCS C2), una vez que ya se tiene la forma y marcados se dirigen hacia la zona de formado mediante una banda con guías (STFC C2) , el formado se realiza mediante un sistema con guías y cilindros neumáticos (SFC C3) finalmente se desplaza la caja formada hacia la siguiente etapa mediante una transportador de rodillos muertos (SDCC C3).

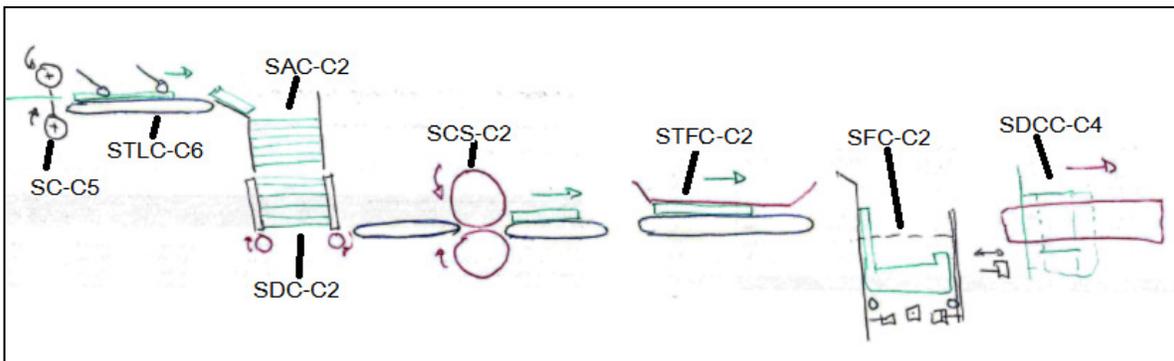


Figura 109 Combinación 6

En la combinación mostrada en la Fig. 109, se realiza el corte de la bobina mediante cuchillas circulares y rectas (SC C5), posteriormente la lámina de cartón se transporta mediante una bandas con pisadores los cuales mantienen a la lámina en contacto con la banda (STLC C6), para dirigir a la lámina hacia un contenedor para acumularse (SAC C2), las laminas de cartón son dosificadas mediante un sistema conformado por una serie de rodillos (SDC C2), el sistema de suaje consta de un par de cilindros (SCS C2), una vez que ya se tiene la forma y marcados se dirigen hacia la zona de formado mediante una banda con guías (STFC C2) , el formado se realiza mediante un sistema con una serie de láminas y cilindros neumáticos (SFC C2) finalmente se desplaza la caja formada hacia la siguiente etapa mediante un par de bandas laterales (SDCC C4).

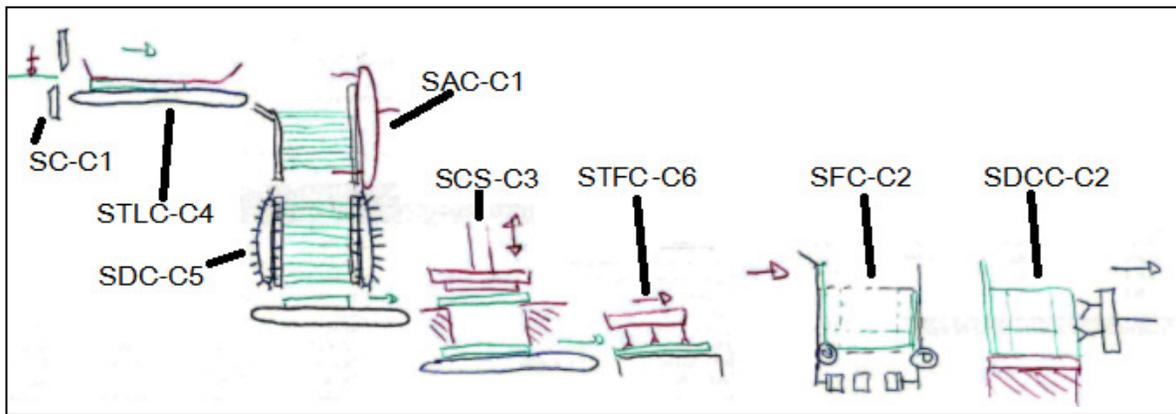


Figura 110 Combinación 7

En la combinación mostrada en la Fig. 110, se realiza el corte de la bobina mediante una cizalla (SC C1), posteriormente la lámina de cartón se transporta mediante una banda con una guía superior para mantener en contacto a la lámina con la banda (STLC C4), para transportar a la lámina hacia un contenedor con barreras ajustables y una banda con canchales para llevar a fondo a la lámina (SAC C1), las laminas de cartón son dosificadas mediante un sistema conformado por una par de bandas con canchiones (SDC C5), el sistema de suaje consta de un troquel (SCS C3), una vez que ya se tiene la forma y marcados se dirigen hacia la zona de formado mediante un brazo con ventosas neumáticas (STFC C6) , el formado se realiza mediante un sistema con láminas y cilindros neumáticos (SFC C2) finalmente se desplaza la caja formada hacia la siguiente etapa mediante un empujador (SDCC C2).

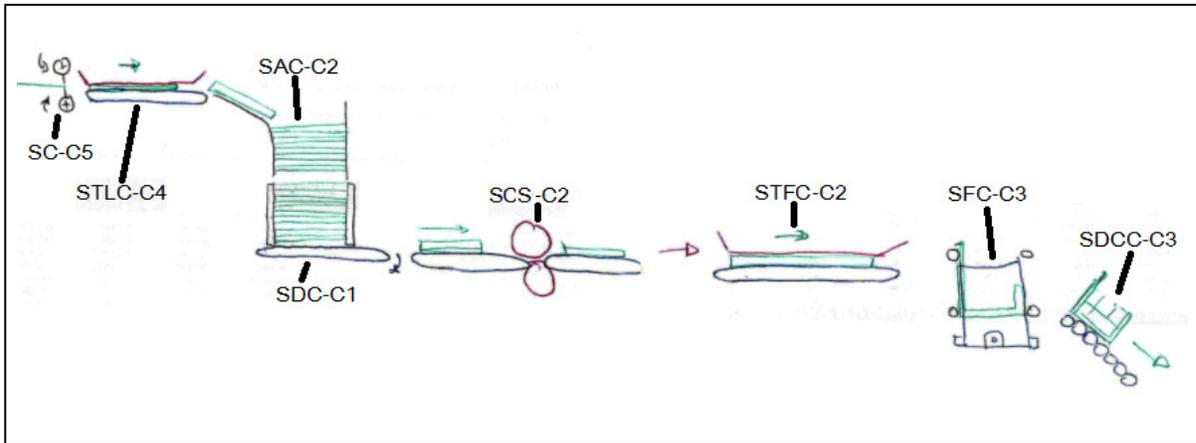


Figura 111 Combinación 8

En la combinación mostrada en la Fig. 111, se realiza el corte de la bobina mediante cuchillas circulares y rectas (SC C5), posteriormente la lámina de cartón se transporta mediante una banda con una guía superior para mantener en contacto a la lámina con la banda (STLC C4), para transportar a la lámina hacia un contenedor (SAC C2), las laminas de cartón son dosificadas mediante un sistema conformado por una par de bandas (SDC C1), el sistema de suaje consta de un par de cilindros (SCS C2), una vez que ya se tiene la forma y marcados se dirigen hacia la zona de formado mediante una banda y una guía la cual mantiene en contacto a la lámina con la banda (STFC C2), el formado se realiza mediante un sistema con guías y cilindros neumáticos (SFC C3) finalmente se desplaza la caja formada hacia la siguiente etapa mediante un transportador de rodillos muertos (SDCC C3).

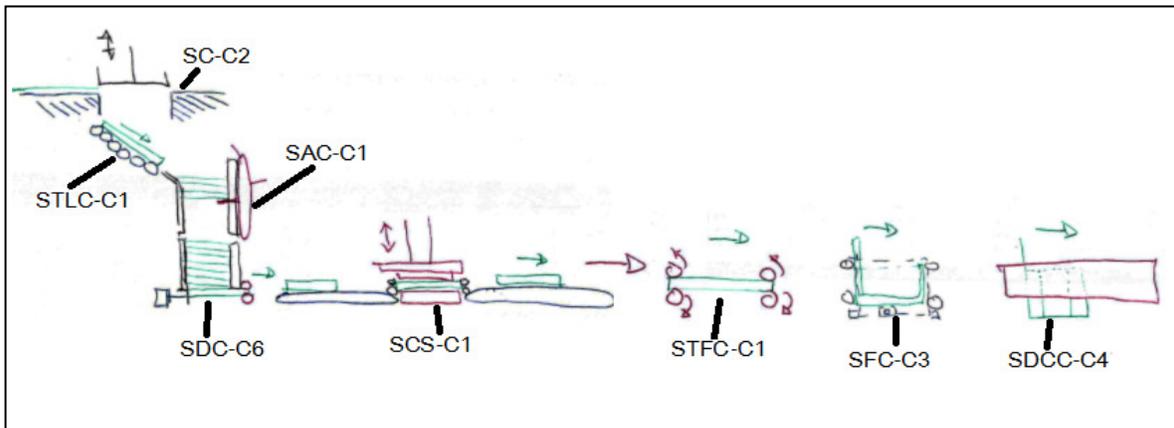


Figura 112 Combinación 9

En la combinación mostrada en la Fig. 112, se realiza el corte de la bobina mediante un troquel (SC C2), posteriormente la lámina de cartón se transporta mediante un transportador de rodillos muertos (STLC C1), para transportar a la lámina hacia un contenedor con barras ajustables y una banda con canchales los

cuales mueven a las laminas de cartón hacia el fondo(SAC C1), las laminas de cartón son dosificadas mediante un sistema formado por un empujador y un par de rodillos (SDC C6), el sistema de suaje consta de un troquel (SCS C1), una vez que ya se tiene la forma y marcados se dirigen hacia la zona de formado mediante una serie de rodillos (STFC C1) , el formado se realiza mediante un sistema con guías y cilindros neumáticos (SFC C3) finalmente se desplaza la caja formada hacia la siguiente etapa mediante dos bandas laterales (SDCC C4).

Con la matriz de selección y con la matriz morfológica se generaron 10 combinaciones diferentes, las cuales se evalúan nuevamente mediante una matriz de selección, con los criterios de evaluación de la Tabla 5 y la misma escala de calificación mostradas en la Tabla 3.

Criterio	Peso (%).
Fácil Flujo de material	20
Menor uso de energía.	20
Fácil cambio de formato.	15
Fácil operación.	10
Trabajo continuo	15
Menor uso de espacio	15
Menor cantidad de piezas para cambio de formato	5

Tabla 5 Criterios de evaluación para combinaciones

A continuación se muestra la matriz de selección aplicada a las 10 combinaciones generadas. (fig. 113).

Criterios de selección	Matriz Morfológica																				M. Selección	
	Peso	COMB.1		COMB.2		COMB.3		COMB.4		COMB.5		COMB.6		COMB.7		COMB.8		COMB.9		COMB-A		
		Calif	Evaluación Ponderada																			
Fácil flujo de material	0.2	4	0.8	3	0.6	4	0.8	3	0.6	4	0.8	5	1	4	0.8	4	0.8	3	0.6	4	0.8	
Menor uso de energía	0.2	4	0.8	3	0.6	3	0.6	3	0.6	4	0.8	4	0.8	3	0.6	4	0.8	3	0.6	4	0.8	
Fácil cambio de formato	0.15	3	0.45	2	0.3	3	0.45	3	0.45	5	0.75	4	0.6	2	0.3	4	0.6	2	0.3	4	0.6	
Fácil operación	0.1	4	0.4	3	0.3	4	0.4	4	0.4	5	0.5	4	0.4	3	0.3	4	0.4	3	0.3	5	0.5	
Trabajo continuo	0.15	4	0.6	3	0.45	4	0.6	4	0.6	5	0.75	4	0.6	3	0.45	4	0.6	3	0.45	5	0.75	
Menor uso de espacio	0.15	4	0.6	2	0.3	3	0.45	3	0.45	4	0.6	4	0.6	2	0.3	4	0.6	2	0.3	5	0.75	
Menos cant. de pzas.	0.05	4	0.2	2	0.1	3	0.15	3	0.15	4	0.2	3	0.15	2	0.1	4	0.2	2	0.1	5	0.25	
			3.85		2.65		3.45		3.25		4.40		4.15		2.85		4.00		2.65		4.45	

Figura 113 Matriz de selección aplicada a las 10 combinaciones.

A continuación se muestra en la Tabla 6 se muestran los valores obtenidos de la evaluación ordenados de manera descendente.

Lugar	Combinación.	Evaluación Total.
1	COMBINACIÓN A	4.45
2	COMBINACIÓN 5	4.40
3	COMBINACIÓN 6	4.15
4	COMBINACIÓN 8	4.00
5	COMBINACIÓN 1	3.85
6	COMBINACIÓN 3	3.45
7	COMBINACIÓN 4	3.25
8	COMBINACIÓN 7	2.85
9	COMBINACIÓN 9	2.65
10	COMBINACIÓN 2	2.65

Tabla 6 Resultados de la aplicación de selección a las 10 combinaciones.

Se puede observar en la Fig.113 y en la tabla 6 que la combinación con la que se puede tener mejor flujo de material es la combinación 6 y que las combinaciones que tienen menor flujo son 2,3,4, 7 y 9.

También se puede percibir que las combinaciones con la que se podría utilizar menor cantidad de energía son las combinaciones 1,5,6,8 y A, del mismo modo se puede observar que las combinaciones con las cuales se podría utilizar más energía son las combinaciones 3,4,7 y 9.

De la misma manera se puede hallar que la combinación con las cual se puede podría tener un cambio de formato rápido es la combinación 5, y las combinaciones que el cambio puede resultar no tan sencillo son las combinaciones 2,7 y 9.

Las combinaciones que pueden tener una operación más sencilla son la combinación 5 y A, las combinaciones que podrían tener una operación más complicada son las combinaciones 2,7 y 9.

Se puede advertir que las combinaciones que permitirían un trabajo continuo son la combinación 5 y A, y las combinaciones en las que se percibe discontinuidades son las combinaciones 2,7 y 9.

Dependiendo de las dimensiones finales de cada uno de los sistemas, se puede esperar que la combinación que puede ser más compacta y utilizar menos espacio es la combinación A , por otro lado las combinaciones que podrían utilizar más espacio son la combinación 2 ,7 y 9.

Al analizar los resultados correspondientes al número de piezas para realizar los cambio de formato la combinación que tiene menos piezas para el cambio de formato es la combianación A, las combinaciones que cuentan con mayor numero de piezas son combinación 2, 7 y 9.

La combinación seleccionada es la Combinación A, debido a que obtuvo el mejor de la evaluación, en la Fig. 114 se muestra la combinación seleccionada.

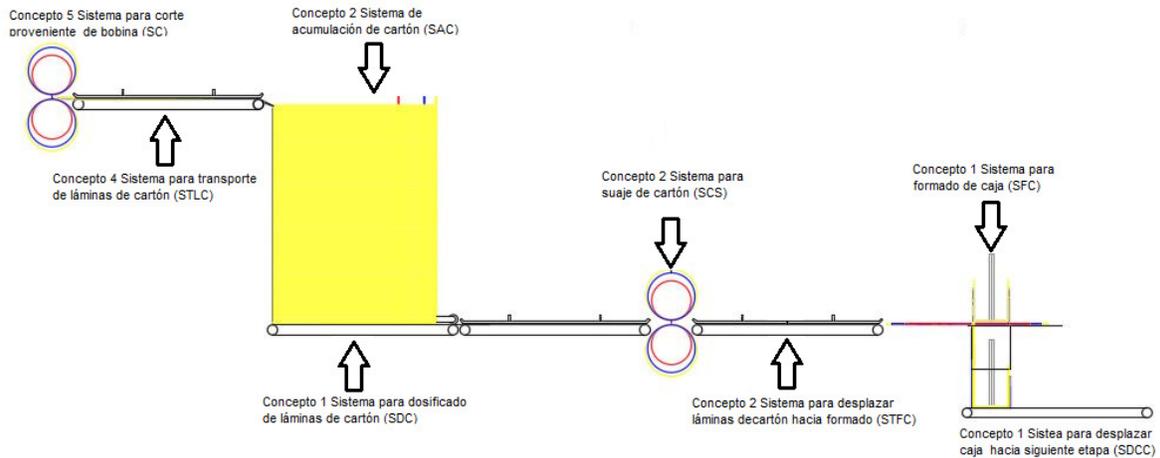


Figura 114 Combinación seleccionada.

3.6 Selección de configuración.

Una vez seleccionada la combinación, se propone un arreglo de los sistemas que permita realizar cada una de las tareas de la mejor manera, procurando que exista un mejor flujo de material, energía, etc.

El arreglo de sistemas de la combinación seleccionada se muestra en la Fig.115.

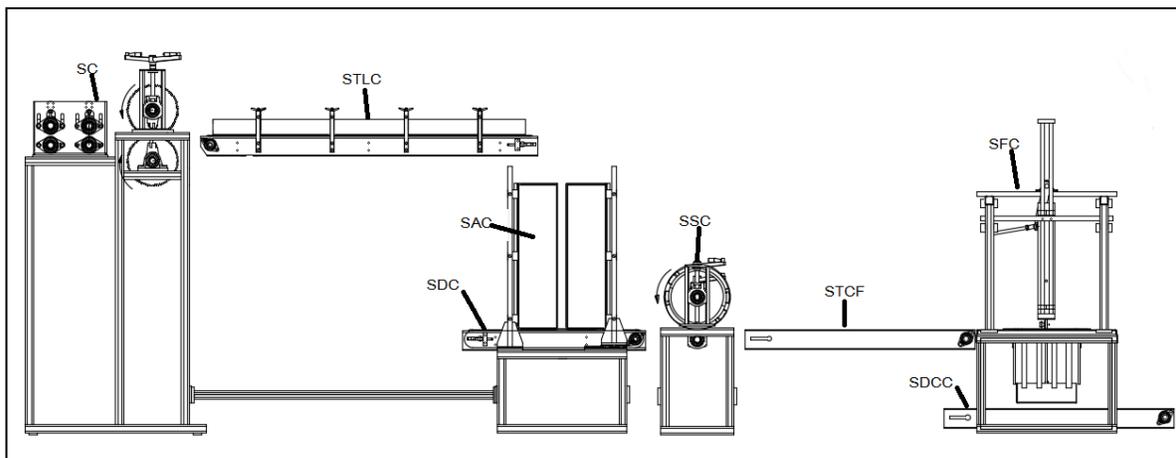


Figura 115 Configuración 1

En la configuración 1 se tiene el inconveniente que la entrada del cartón proveniente de la bobina está más elevada que el resto de la máquina, debido a esto, es necesario modificar la altura para la recepción del material, una vez modificada ésta, se obtiene la configuración mostrada en la Fig. 116.

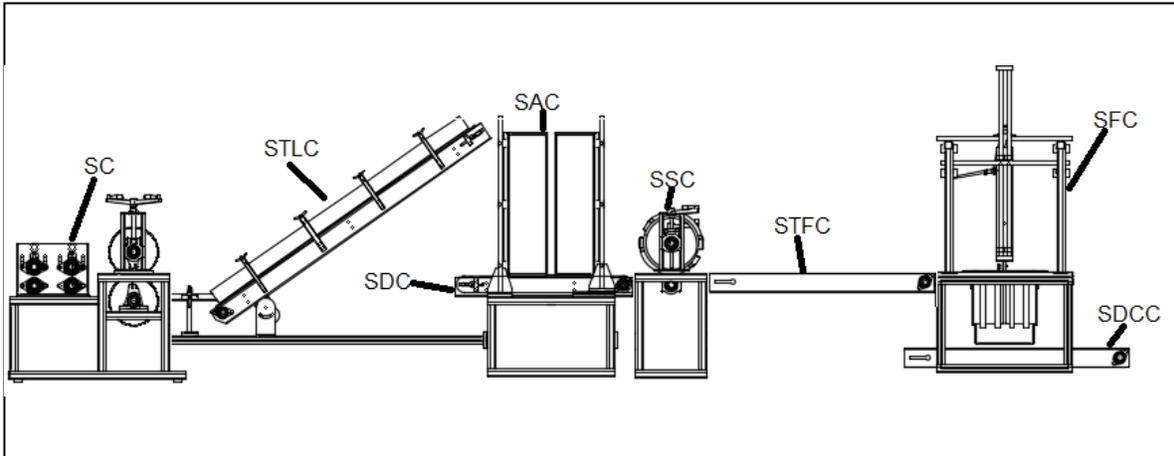


Figura 116 Configuración 2

Con la configuración 2 se resolvió el problema de la altura, pero al tener al sistema SCS, después del sistema SDC, podrían provocarse cortes y/o marcados no deseados en las láminas pre-suajadas, colocadas en el sistema SAC, perjudicando la admisión de una de las 2 formas de suministro, por este motivo se decide mover el sistema SSC junto al sistema SC, para poder realizar los cortes y marcado en el cartón antes de acumularlo, en la Fig. 117, se muestra la modificación.

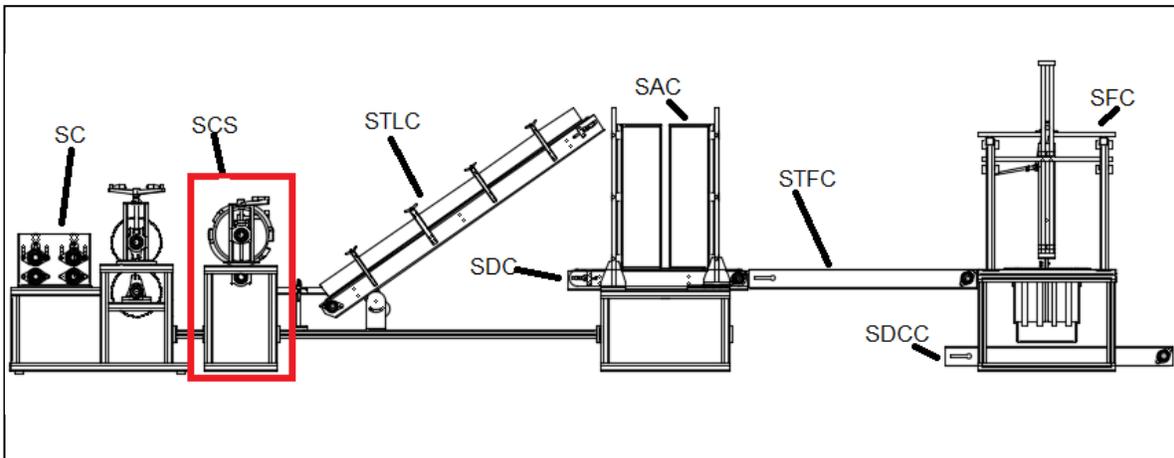


Figura 117 Configuración 3

Las dimensiones de la propuesta de diseño se muestra en la (Fig.118).

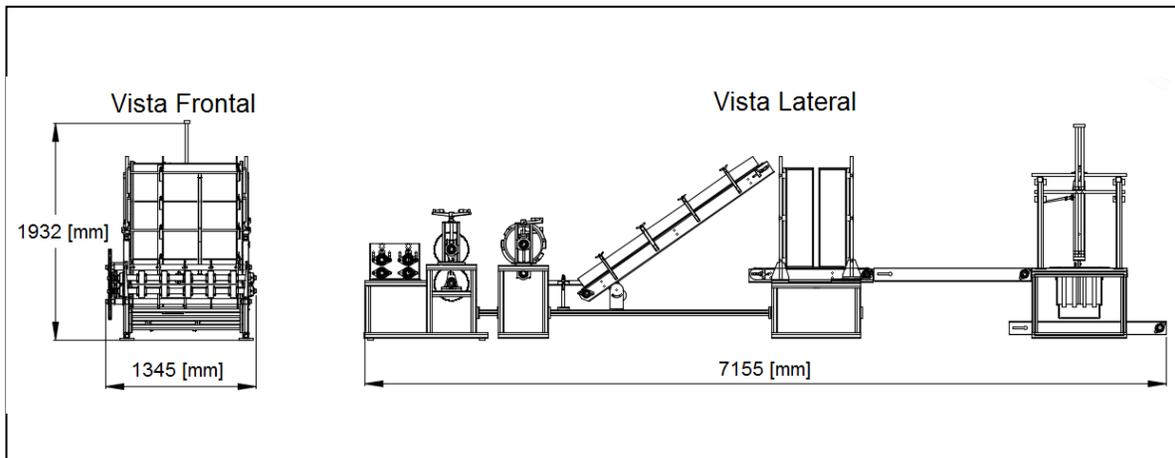


Figura 118 Dimensiones generales de la propuesta de diseño

3.7 Reflexiones del Capítulo.

El generar diferentes conceptos de solución para cada sistema de la propuesta, no fue suficiente para poder lograr una propuesta de diseño, es por esto que fue necesario explorar diferentes posibilidades combinando los diferentes conceptos.

Una vez que se obtuvo una combinación a esta se le realizaron diferentes acomodados de los sistemas para poder provocar un mejor flujo de material.

En este capítulo se presentaron dos métodos mediante los cuales se generaron combinaciones.

1) La Matriz Morfológica, mediante esta herramienta se organizo una matriz que incluía a todos los conceptos de solución por sistema, y de este modo fue posible realizar combinaciones entre los sistemas, procurando que la combinación fuera realizable, de este modo se generaron de manera rápida y sencilla diferentes combinaciones de conceptos.

2) Matriz de selección, con esta herramienta se evaluaron los conceptos de solución para cada uno de los sistemas de acuerdo a un conjunto de criterios, y una escala de calificación establecida, con los cuales se le asigno calificación a cada uno de los conceptos, es así que con los conceptos con mejor calificación se genero una sola combinación.

Posteriormente al tener las combinaciones resultantes con ambas herramientas, se realizó nuevamente una evaluación de 10 posibles combinaciones, seleccionando y de este modo a la mejor combinación.

Al utilizar estas dos herramientas, se puede resaltar que con la Matriz Morfológica la generación de combinaciones es sencilla además de que se puede obtener una

mayor variedad, sin embargo no todas las combinaciones son realizables debido a que los sistemas pueden combinarse aleatoriamente, en ocasiones se puede tener un concepto que brinde una excelente solución y posteriormente tener un sistema que proporcione una solución muy buena pero que no puedan acoplarse.

Por otro lado, al utilizar la matriz de selección, se pretende asegurar mediante la evaluación de cada uno de los conceptos se genere una sola combinaciones integrada con los mejores conceptos de cada sistema y de este modo asegurar el cumplimiento de los requerimientos.

4. Memoria de cálculo.

En el presente capítulo se presentan las consideraciones que se tomaron durante el desarrollo de este trabajo con el cual se dio solución a los sistemas de la propuesta de diseño.

Se considero un factor de diseño de 0.4 debido a las variaciones en las propiedades que tiene el cartón así como al desgaste de las piezas como pueden ser rodillos y bandas así como en el modelado de los sistemas presentados a continuación.

Determinación del tiempo de ciclo.

Para el cálculo de los sistemas se considero que el número de cajas por minuto fuera de 15 piezas, con lo que el tiempo de ciclo por sistema se estimo mediante la ecuación 3

$$t_c = \frac{60}{(NMC)(1+fd)} \quad \text{Ec.3}$$

De donde:

t_c = Tiempo de ciclo [s].

NMC = Número de cajas por minuto.

fd = Factor de diseño.

Sustituyendo los valores considerados en la ecuación 3, se obtiene el Tiempo de ciclo (t_c) siguiente:

$$t_c = \frac{60}{(15)(1+0.4)} = 2.8571 \approx 2.86 \quad [s]$$

Cálculo de la velocidad angular para la transmisión principal.

Al haber estimado el tiempo de ciclo, ahora es posible determinar la velocidad angular a la cual deberán girar los ejes motrices que suministrarán la potencia a cada una de las bandas del Sistema de Transporte de Láminas de Cartón (STLC), así como del Sistema para desplazar cartón hacia formado (STFC) y del Sistema para desplazar caja hacia siguiente etapa (SDCC), mediante la ec.4

$$\omega_{em} = \frac{2\pi}{tc} \quad \text{Ec. 4.}$$

De donde.

ω_{em} =velocidad angular del eje motriz [rad/s]
 tc =tiempo de ciclo [s]

Empleando el tiempo de ciclo estimado con la ec.3, y sustituyendo en la ec.4 se obtiene.

$$\omega_{em} = \frac{2\pi}{2.86} = 2.1969 \left[\frac{rad}{s} \right]$$

Mediante la ec.5 se puede efectuar la conversión de [rad/s] a RPM.

$$RPM = \omega \times \frac{60}{1} \left[\frac{s}{min} \right] \times \frac{1}{2\pi} \left[\frac{rev}{rad} \right] \quad \text{Ec. 5}$$

De donde:

ω = velocidad angular [rad/s]

Sustituyendo el valor de ω_{em} en la ec.5 se obtiene:

$$\omega_{em} = 2.1969 \left[\frac{rad}{s} \right] \times \frac{60}{1} \left[\frac{s}{min} \right] \times \frac{1}{2\pi} \left[\frac{rev}{rad} \right] = 20.979 \approx 21 [RPM]$$

Cálculos de velocidad lineal, velocidad angular para los sistemas Sistema de Transporte de Láminas de Cartón (STLC), Sistema para desplazar cartón hacia formado (STFC) y Sistema para desplazar caja hacia siguiente etapa (SDCC).

Los sistemas STLC, STFC y SDCC, constan de una banda transportadora cada uno, en la fig. 119 se muestra un esquema de la polea y la banda.

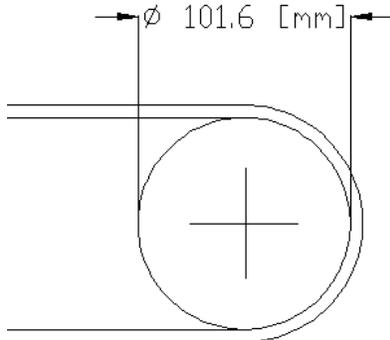


Figura 119 Dimensiones del rodillo.

Las distancias que tiene que recorrer las láminas (STLC y STFC) y la caja (SDCC), se ilustran en la fig.120.

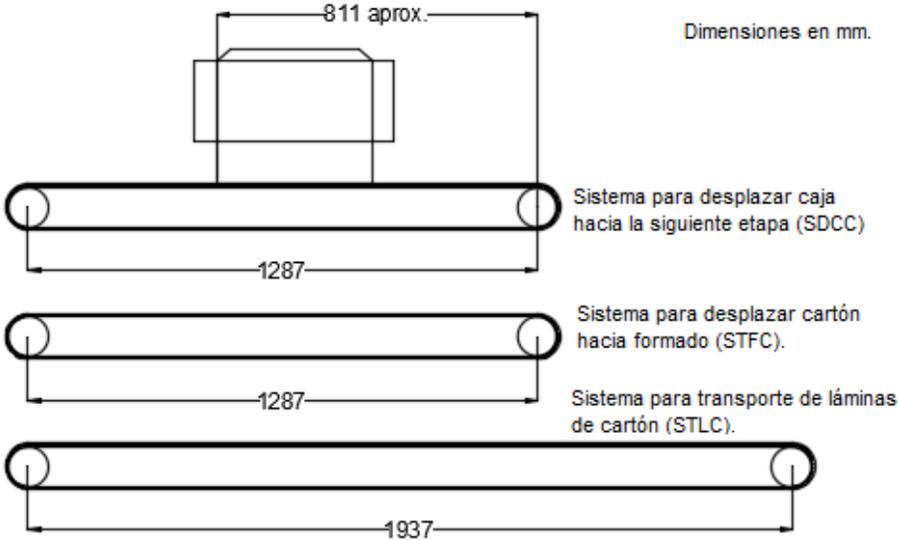


Figura 120 Longitudes de los transportadores

Cálculo de velocidades lineales.

Mediante la ecuación 6, se calcularon las velocidades lineales en la parte superior de cada banda.

$$V = \frac{d}{t_c} \quad \text{Ec. 6}$$

De donde:

V = velocidad lineal [m/s]

d = distancia [m]

t_c = tiempo de ciclo [s]

Sustituyendo los valores de las distancias de recorrido y un tiempo de ciclo de 2.86 [s] en la ec.6, se obtienen los resultados enlistados en la tabla 7.

Sistema	STLC	STFC	SDCC
Velocidad [m/s]	0.677	0.45	0.284

Tabla 7 Velocidades lineales

Cálculo de velocidades angulares.

Una vez determinada la velocidad lineal se obtiene la velocidad angular del rodillo motriz mediante la ec.7

$$\omega_{rm} = \frac{V}{r} \quad \text{Ec. 7}$$

De donde:

ω_{rm} = velocidad angular del rodillo motriz [rad/s]

V = velocidad lineal [m/s]

r = distancia del centro a la parte superior de la banda [m]

En la tabla 8, se presentan los resultados de las velocidades angulares para los rodillos de tracción de cada sistema.

Sistema	STLC	STFC	SDCC
Velocidad			
rad/s	11.92	7.92	4.99
RPM	113.82	75.6	47.67

Tabla 8 Velocidades angulares

Cálculo de la relación de velocidades angulares.

Como se determinó anteriormente el eje motriz que suministra la potencia a cada sistema gira a 21 RPM, ahora se puede estimar la relación de velocidades angulares mediante la ec.8

$$\text{rel.vel.} = \frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{N_1}{N_2} \quad \text{Ec. 8.}$$

De donde:

ω_1 = velocidad angular de entrada [RPM]
 ω_2 = velocidad angular de salida [RPM]
 N_1 = Número ranuras de la polea impulsora.
 N_2 = Número ranuras de la polea seguidora.

Sustituyendo los valores de las velocidades angulares de cada sistema mostrados en la tabla 8 se muestran la relación de velocidad para cada uno de los sistemas en la Tabla.9.

STLC	STFC	SDCC
$\text{rel.vel.} = \frac{113.82 \text{ RPM}}{21 \text{ RPM}} = 5.42$	$\text{rel.vel.} = \frac{75.6 \text{ RPM}}{21 \text{ RPM}} = 3.6$	$\text{rel.vel.} = \frac{47.67 \text{ RPM}}{21 \text{ RPM}} = 2.27$

Tabla 9 Relaciones de velocidades

Cálculo de la potencia necesaria para el funcionamiento del Sistema de Transporte de Láminas de Cartón (STLC), el Sistema para desplazar cartón hacia formado (STFC) y el Sistema para desplazar caja hacia siguiente etapa (SDCC).

En la fig.121 se muestra el diagrama de cuerpo libre de la banda y el cartón, el coeficiente de fricción entre el material de la banda es de $\mu=0.3$

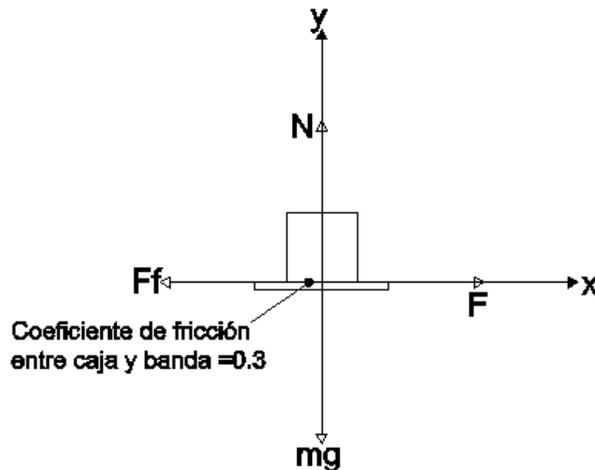


Figura 121 Diagrama de cuerpo libre Banda - Cartón.

De acuerdo a la segunda ley de Newton y con ayuda del diagrama de cuerpo libre, se tienen las ecuaciones 9 y 10.

$$\sum F_x = F - F_f = ma_x \quad \text{Ec. 9}$$

$$\sum F_y = N - mg = ma_y \quad \text{Ec.10}$$

Considerando que las velocidades de las bandas de los sistemas STLC, STFC y SDCC son constantes, las ecuaciones 9 y 10 resultan.

$$\sum F_x = F = F_f \quad \text{Ec.11}$$

$$\sum F_y = N = mg \quad \text{Ec. 12}$$

La fuerza de fricción (F_f) se define con la ecuación 13.

$$F_f = \mu N \quad \text{Ec. 13}$$

De donde:

μ =Coeficiente de fricción.

N =Fuerza normal [N].

Sustituyendo la ec.12 en la ec.13, se tiene:

$$F = \mu mg \quad \text{Ec.14}$$

Considerando los valores de $m=10$ [kg], $g=9.81$ [m/s], y un coeficiente de fricción de 0.3 (cartón – nitrilo) y sustituyéndolos en la ecuación 14, se tiene una fuerza F de:

$$F = (0.3)(10)(9.81) = 29.43 \text{ [N]}$$

El par de torsión se define mediante la ec.15

$$T = Fd \quad \text{Ec.15}$$

De donde:

T= Par de torsión [N-m]

F= Fuerza [N]

d= distancia de la aplicación de la fuerza al centro de la polea [m].

Sustituyendo el valor de F y empleando una distancia de 0.0568 m, en la ec. 15, se tiene:

$$T = 29.43 \text{ [N]} \times 0.0568 \text{ [m]} = 1.6716 \text{ [N-m]}$$

La potencia necesaria para generar este par se obtiene con la ec.16

$$P = T\omega \quad \text{Ec.16}$$

De donde:

P= Potencia [W]

T=Par de torsión [N-m]

ω =velocidad angular [rad/s]

Empleando los valores de las velocidades angulares de la tabla 8 y el valor del par de torsión (T) obtenido con la ec.15, se obtuvieron las potencias necesarias para cada una de los sistemas, los resultados se muestran en la tabla 10.

P [W] STLC	P [W] STFC	P [W] SDCC
$1.6716 \times 11.92 = 19.925$	$1.6716 \times 7.92 = 13.239$	$1.6716 \times 4.99 = 8.341$

Tabla 10 Potencias para sistemas de bandas en Watts.

Empleando la ec.17 se convirtió las potencias de los sistemas de Watts a Hp, en la tabla 11 se muestra el resumen de resultados.

$$Hp = \frac{W}{746.2} \quad \text{Ec.17}$$

De donde:

W= potencia en [Watts].

P [HP] STLC	P [HP] STFC	P [HP] SDCC
0.0267	0.0177	0.0112

Tabla 11 Potencias para sistemas de bandas en Hp.

Selección del paso de las poleas.

Para comenzar con la selección del paso de las poleas de los diferentes sistemas es necesario determinar una potencia de diseño para cada sistema, la cual se puede determinar mediante la ec.18.

$$P_d = (P)(f.s) \quad \text{Ec.18}$$

De donde:

P_d = Potencia de diseño [Hp]

P = Potencia nominal [Hp]

f.s = Factor de servicio.

Con ayuda de la fig. 122, donde se muestran diferentes tipos de motores, del cual se selecciona un motor de Clase II, debido a que se utilizará un motor NEMA (Jaula de ardilla) a 1750 RPM y la potencia del motor principal es de 5.5 Hp.

Unidad Motriz (impulsor primario)

Clase de Unidad Motriz	Clase I	Clase II	Clase III
Picos de carga momentáneos % de la capacidad de carga	149%	150 a 249%	250 a 400%
Motores Eléctricos AC Monofásicos			Todos
Jaula de Ardilla NEMA Diseño A 3450 RPM 1750 RPM 1160 RPM 870 RPM	Arriba de 40 HP Arriba de 100 HP Arriba de 15 HP Arriba de 5 HP	1½ a 30 HP 5 a 75 HP ¾ a 10 HP ½ a 3 HP	1 a 3 HP
NEMA Diseño B 3450 RPM 1750 RPM 1160 RPM 870 RPM		Arriba de 5 HP Arriba de 5 HP Arriba de 5 HP Arriba de 2 HP	1½ a 3 HP 1 a 3 HP ¾ a 3 HP ½ a 1½ HP
NEMA Diseño C 1750 RPM 1160 RPM 870 RPM		Arriba de 15 HP Arriba de 7½ HP Todos	5 a 10 HP 3 a 5 HP
NEMA Diseño D			Todos
NEMA Diseño F	Todos		
Rotor Devanado 1750 RPM 1160 RPM 870 RPM		20 HP 15 HP 7½ HP	2 a 15 HP 2 a 10 HP 1 a 5 HP
Sincrónico		Torque Normal	Torque Alto
MOTORES ELÉCTRICOS D.C.	Derivación	Compuesto	Serie
MOTORES Combustión Interna	Arriba de 8 cil	6 cil	4 cil o menos
MOTORES HIDRÁULICOS, EJES DE LÍNEA			Todos

Figura 122 Tabla para selección de tipo de motor.

El factor de servicio el cual varía dependiendo del tipo de máquina a impulsar, en la fig. 123 se muestra el factor de servicio para los diferentes tipos de máquinas. Para el Sistema para transporte de lámina de cartón (STLC), el Sistema para desplazar cartón hacia formado (STFC) y el Sistema para desplazar caja hacia siguiente etapa (SDCC), se consideraron transportadores de banda con carga ligera, con lo que se selecciona un factor de servicio de 1.5.

	Clase I	Clase II	Clase III
agitadores, mezcladoras líquido	1.4	1.6	1.8
(paletas o propulsor) semilíquido	1.5	1.7	1.9
maquinaria de panadería			
batidoras de masa	1.4	1.6	1.8
maquinaria para ladrillos y arcilla			
sinfines, mezcladoras, granuladoras	1.5	1.7	1.9
mezclador de arcilla	1.8	2.0	2.2
centrifugas	1.7	1.9	—
compresores reciprocantes	2.0	2.2	2.4
centrifugos	1.6	1.7	1.8
transportadores banda, empaque ligero	1.3	1.5	1.7
banda para homo; para minerales,	1.6	1.7	1.8
carbón, arena,	1.6	1.7	1.8
placa de deflexión, elevador de cangilones, charolas,	1.7	1.8	1.9
helicoidales	1.7	1.9	2.0
ventiladores, sopladores			
centrifugos, extractor de tiro inducido	1.6	1.8	2.0
ventiladores para minas,	1.8	2.0	2.2
sopladores positivos	1.8	2.0	2.2
generadores y excitadores	1.6	1.8	2.0
molinos de martillos	1.7	1.9	2.1
grúas, elevadores	1.6	1.8	2.0
maquinaria para lavandería general	1.5	1.6	1.7
extractores, lavadoras	1.6	1.8	2.0
ejes de línea	1.5	1.7	1.9
máquinas herramientas			
taladros, tornos,	1.4	1.6	1.8
pulidoras,	1.5	1.7	1.9
fresadoras	1.5	1.7	1.9
molinos de bolas, de barras, de guijarros	—	2.2	2.5
maquinaria para papel			
agitadores, calandrias, secadores	1.4	1.6	1.8
batidoras, Jordan, bombas Nash,	1.7	1.9	2.1
pulpers			
maquinaria para imprentas			
prensas; para periódicos, grabado			
rotatorio, cama plana, para revistas;	1.4	1.6	1.8
linotipos, cortadoras y dobladoras			
bombas centrifugas, de engranes,	1.5	1.7	1.9
rotatorias	2.0	2.2	2.4
reciprocantes			
maquinaria para hule	1.6	1.8	2.0
maquinaria para aserraderos	1.6	1.8	2.0
cribas vibradoras,	1.5	1.7	—
de tambor, cónicas	1.4	1.5	—
maquinaria textil			
telares, bastidores, cordeleros	1.6	1.8	2.0
carretes, urdimbre	1.5	1.7	—
maquinaria para trabajar madera			
tornos, serruchos de banda	1.3	1.4	—
sierras circulares, cepillos	1.4	1.6	—

Figura 123 Factor de servicio para máquinas impulsadas

Sustituyendo los valores estimados de las potencias nominales para cada sistema calculadas anteriormente y el factor de servicio, se obtuvieron las potencias de diseño siguientes mostrados en la tabla 12.

Sistema	STLC	STFC	SDCC
Potencia de diseño [Hp]	0.12	0.079	0.049

Tabla 12 Potencias de diseño

Ahora para determinar el paso de las bandas que se requieren en cada sistema se tiene la gráfica mostrada en la figura 124 y los valores estimados de velocidad angular y potencia de diseño de cada sistema, los resultados se enlistan en la tabla 13.

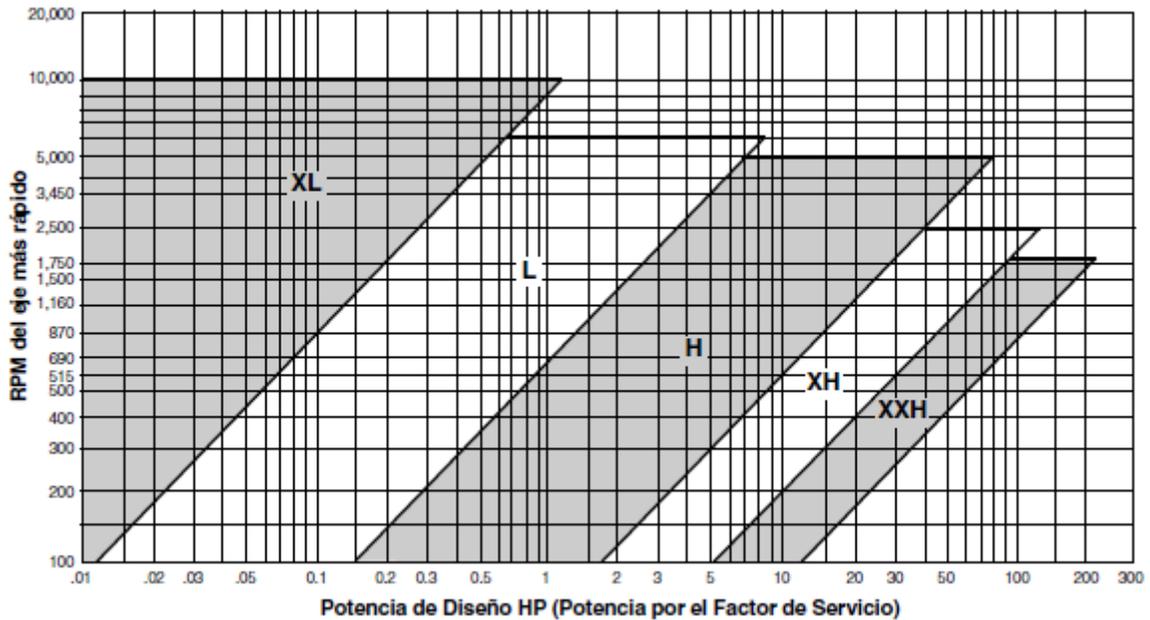


Figura 124 Gráfica de selección del paso de la banda.

Sistema	STLC	STFC	SDCC
Potencia de diseño (Pd) [Hp]	0.12	0.079	0.049
RPM	113.82	75.6	47.67
Paso	L(3/8")	L(3/8")	L(3/8")

Tabla 13 Potencia de diseño, velocidad angular y paso de las bandas.

Selección de poleas.

La relación de las poleas, se puede obtener mediante la ec.19

$$N_1 = N_2 \left(\frac{\omega_2}{\omega_1} \right) \quad \text{Ec.19}$$

De donde:

- ω_1 = velocidad angular de entrada [RPM]
- N_1 = Número de ranuras de la polea impulsora
- ω_2 = velocidad angular de salida [RPM]
- N_2 = Número de ranuras de la polea impulsada

En la fig. 125, se ilustran las combinaciones de poleas para el Sistema para desplazar caja hacia la siguiente etapa (SDCC), disponibles.

Relación de Velocidad	Combinación de Poleas				Velocidad Impulsada y Capacidad de HP					
	Motriz		Impulsada		3500 RPM Velocidad de Motriz		1750 RPM Velocidad de Motriz		1160 RPM Velocidad de Motriz	
	Código: Número de Ranuras	Diámetro de Paso Pulgadas	Código: Número de Ranuras	Diámetro de Paso Pulgadas	Velocidad Impulsada RPM	HP por 1" de Banda	Velocidad Impulsada RPM	HP por 1" de Banda	Velocidad impulsada RPM	HP por 1" de Banda
2.20	20 L	2.387	44 L	5.252	1590	3.46	795	1.80	527	1.20
2.22	18 L	2.149	40 L	4.775	1575	3.15	788	1.62	522	1.08
2.25	32 L	3.820	72 L	8.594	1556	5.10	778	2.83	516	1.91
	16 L	1.910	36 L	4.297	1556	2.83	778	1.45	516	.97
2.29	21 L	2.507	48 L	5.730	1531	3.62	766	1.89	507	1.26
	14 L	1.671	32 L	3.820	1531	2.49	766	1.27	507	.85

Figura 125 Combinaciones disponibles de poleas para el sistema SDCC

Como se puede ver en la fig.125, no existen combinaciones disponibles de poleas para obtener una relación de velocidades de 2.27, por lo que se selecciona una relación de 2.29, escogiendo las poleas 14L y 32L.

Del mismo modo se busca una combinación para la relación del Sistema para desplazar cartón hacia formado (STFC), en el cual se tiene una relación de velocidades de 3.6, en la figura 126 se muestran las combinaciones disponibles.

Relación de Velocidad	Combinación de Poleas				Velocidad Impulsada y Capacidad de HP					
	Motriz		Impulsada		3500 RPM Velocidad de Motriz		1750 RPM Velocidad de Motriz		1160 RPM Velocidad de Motriz	
	Código: Número de Ranuras	Diámetro de Paso Pulgadas	Código: Número de Ranuras	Diámetro de Paso Pulgadas	Velocidad Impulsada RPM	HP por 1" de Banda	Velocidad Impulsada RPM	HP por 1" de Banda	Velocidad impulsada RPM	HP por 1" de Banda
3.16	19 L	2.268	60 L	7.162	1108	3.31	554	1.71	367	1.14
3.23	26 L	3.104	84 L	10.027	1084	4.35	542	2.32	359	1.56
3.27	22 L	2.626	72 L	8.594	1069	3.77	535	1.98	354	1.32
3.33	18 L	2.149	60 L	7.162	1050	3.15	525	1.62	348	1.08
	12 L	1.432	40 L	4.775	1050	—	525	1.09■	348	.72
3.43	21 L	2.507	72 L	8.594	1021	3.62	510	1.89	338	1.26
	14 L	1.671	48 L	5.730	1021	2.49■	510	1.27	338	.85
3.50	24 L	2.865	84 L	10.027	1000	4.06	500	2.15	331	1.44
3.53	17 L	2.029	60 L	7.162	992	2.99	496	1.54	329	1.03
3.60	20 L	2.387	72 L	8.594	972	3.46	486	1.80	322	1.20

Figura 126 Combinaciones disponibles de poleas para el sistema STFC

Para este sistema si existe una combinación disponible la cual es 20L y 72L.

Por último se muestra en la figura 127, las combinaciones disponibles para el Sistema para transporte de láminas de cartón (STLC), el cual tiene una relación de velocidades de 5.42.

5.00	12 L	1.432	60 L	7.162	700	—	350	1.09■	232	.72
5.14	14 L	1.671	72 L	8.594	681	2.49■	340	1.27	226	.85
5.25	16 L	1.910	84 L	10.027	667	2.83	333	1.45	221	.97
6.00	14 L	1.671	84 L	10.027	583	2.49■	292	1.27	193	.85
	12 L	1.432	72 L	8.594	583	—	292	1.09■	193	.72
7.00	12 L	1.432	84 L	10.027	500	—	250	1.09■	166	.72

Figura 127 Combinaciones disponibles de poleas para el sistema STLC

Como se puede observar no existe combinación disponible para la relación estimada, por lo que se selecciona una relación inmediata superior, la cual es de 6, con lo que las poleas seleccionadas son 14L y 84L, en la tabla 14 se muestra el resumen de las combinaciones seleccionadas.

Sistema	STLC	STFC	SDCC
Polea Impulsora (N ₁)	32L	72L	84L
Polea Impulsada (N ₂)	14L	20L	14L

Tabla 14 Combinaciones seleccionadas para los sistemas (SDCC, STLC y STFC).

Cálculo de la Fuerza para el Sistema para formado de caja (SFC).

Para determinar de la fuerza necesaria para doblar las solapas, se realizó las siguientes consideraciones, las fuerzas aplicadas a cada solapa se concentran en el centro de las mismas, las solapas de la lámina de cartón están sometidas a flexión pura, en la flexión pura el eje neutro para por el centroide de la sección, en la figura 128 se muestran las solapas que se deformarán para poder formar la caja al doblar el cartón.

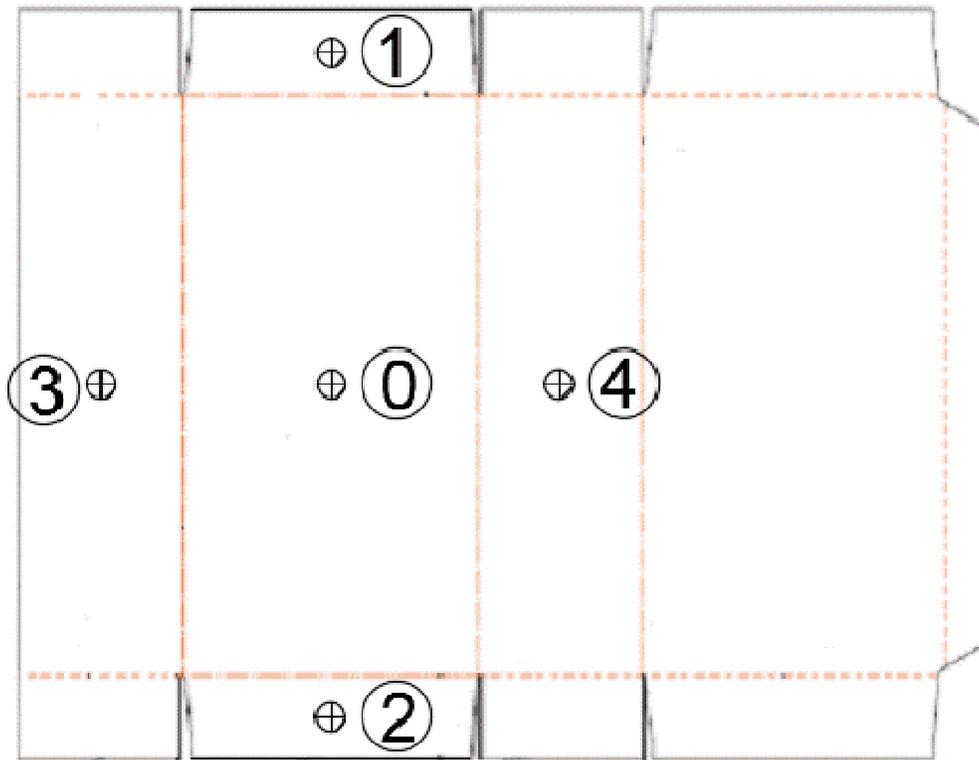


Figura 128 Solapas a doblar

En la ecuación 20 se muestra la ecuación de flexión elástica, y el esfuerzo normal σ_x ocasionado por la flexión.

$$\sigma_x = -\frac{Mc}{I} \quad \text{Ec. 20}$$

De donde:

σ_x = Esfuerzo normal a cualquier distancia "c" del eje neutro [MPa]

M = Par interno [N-m]

c = Distancia perpendicular del eje neutro al punto más alejado [m]

I = Momento de inercia de la sección transversal calculado respecto al eje neutro $[m^4]$

Para obtener el valor del par interno se despeja de la ecuación 20, quedando:

$$M = \frac{\sigma_x I}{c} \quad \text{Ec. 21}$$

Igualando la ecuación 15 (definición de par) con la ecuación 21 se tiene lo siguiente:

$$F d = \frac{\sigma_x I}{c} \quad \text{Ec. 22}$$

Despejando de la ecuación 22 la fuerza resulta:

$$F = \frac{\sigma_x I}{c d} \quad \text{Ec. 23}$$

De donde:

F = Fuerza equivalente generadora del par $[N]$

σ_x = Esfuerzo normal a cualquier distancia "c" del eje neutro $[MPa]$

I = Momento de inercia de la sección transversal calculado respecto al eje neutro $[m^4]$

c = Distancia perpendicular del eje neutro al punto más alejado $[m]$

d = Distancia de la marca de hendido al centro de la solapa $[m]$

Para poder determinar la fuerza equivalente es necesario determinar primero los momentos de inercia, distancias de la marca de hendido al centro de cada solapa y la distancia perpendicular al eje neutro, con el fin de poder utilizar la ecuación 23. A continuación en la figura 129 se muestran las distancias consideradas del hendido al centro de las solapas a doblar.

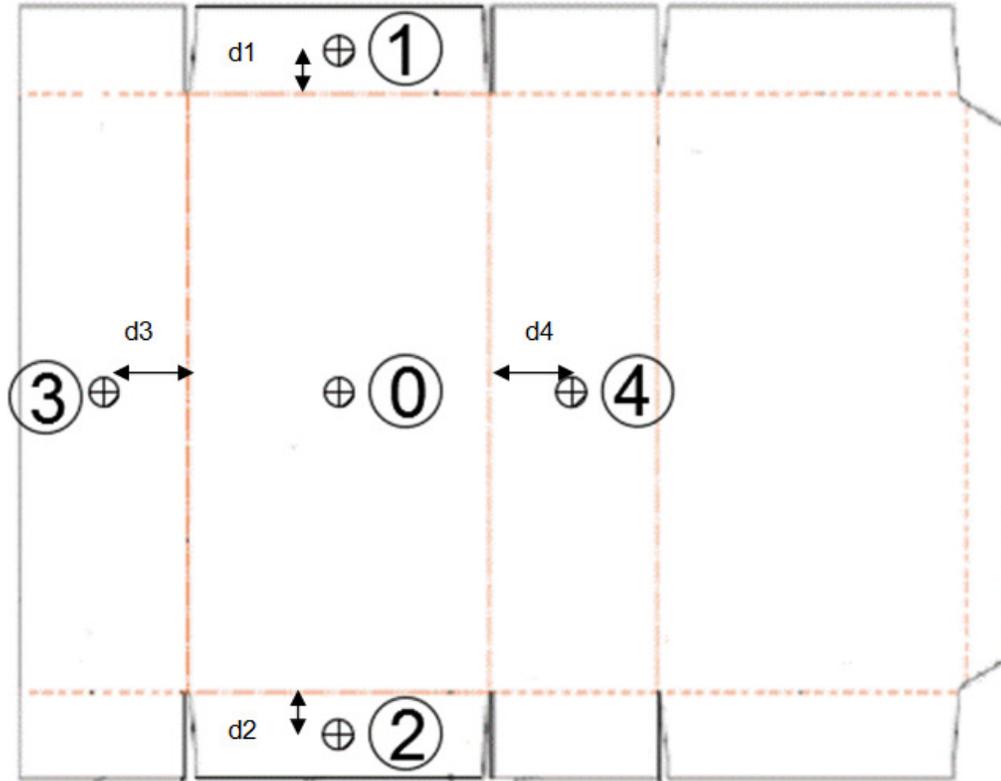


Figura 129 Distancias “d” consideradas

En la tabla 15 se muestran las distancias desde el centro de hendido al centro de cada una de las solapas para cada uno de los tamaños de láminas de cartón en donde se ubico la fuerza para el doblado.

Lámina para	Distancias de la línea de hendido al centro de la solapa [m]			
	d1	d2	d3	d4
Caja para envase de 250 ml	0.0275	0.275	0.05425	0.05525
Caja para envase de 1 lt	0.025	0.025	0.0845	0.0855
Caja para envase slim de 1 lt	0.042	0.042	0.1045	0.1055

Tabla 15 Distancias (d) del centro de solapa al centro de hedido.

Debido a que se tienen 2 direcciones principales en el cartón (Dirección Máquina y Dirección Transversal), es necesario determinar las propiedades de esas secciones, para poder realizar el doblado empujando la huella mostrada en la figura 130.

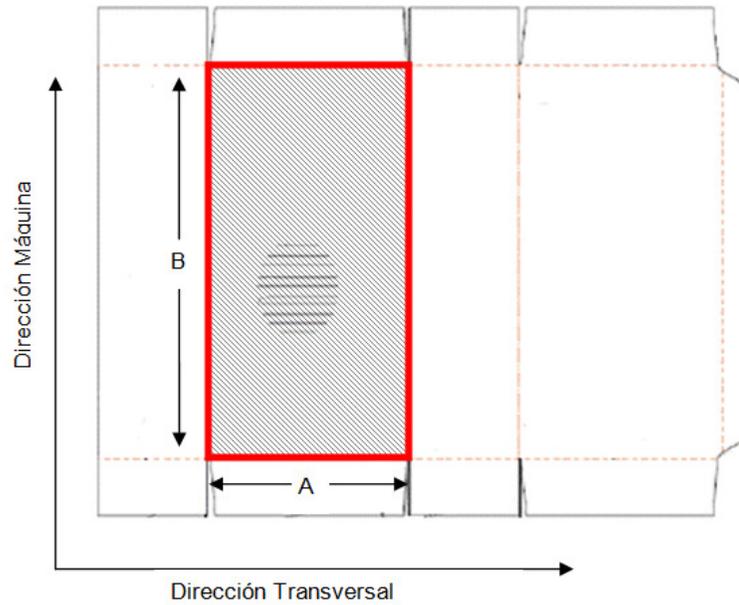


Figura 130 Huella para formado

Las dimensiones de las huellas para el formado así como los espesores máximos y mínimos de las láminas de cartón de acuerdo a la Norma VST-DPNR-020 se muestran en la tabla 16.

Lámina para	Huella para formado		Espesor de lámina	
	DIM A [m]	DIM B [m]	DIM C _{max} [m]	DIM C _{min} [m]
Caja para envase de 250 ml	0.198	0.393	0.0038	0.0022
Caja para envase de 1 lt	0.200	0.393	0.0038	0.0022
Caja para envase slim de 1 lt	0.191	0.364	0.0038	0.0022

Tabla 16 Dimensiones de huellas para el formado y espesores de láminas de cartón

En la figura 131 se muestran los cortes considerados para las láminas tanto en la Dirección de Máquina como en la Dirección Transversal que se utilizarán para determinar el momento de inercia.

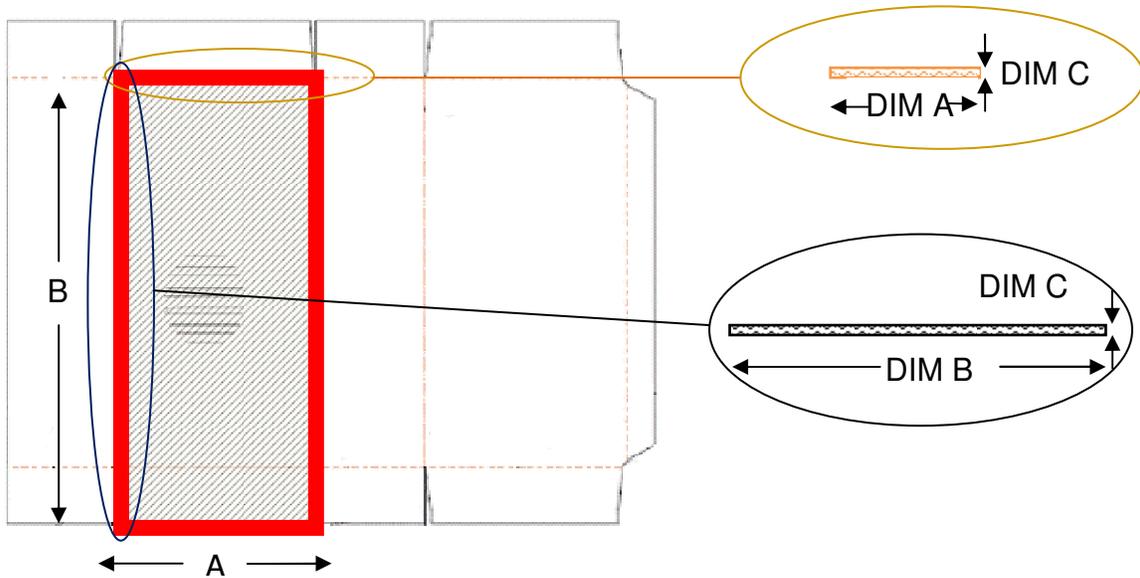


Figura 131 Cortes considerados Dirección de Máquina y Dirección Transversal de láminas de cartón

El cálculo del momento de inercia de los cortes considerados se realizó mediante las Ec. 24, 25, 26 y 27.

Para el caso de la dirección transversal:

$$I_{DT\max} = \frac{1}{12} \text{DIM A} \times (\text{DIM C}_{\max})^3 \quad \text{Ec.24}$$

$$I_{DT\min} = \frac{1}{12} \text{DIM A} \times (\text{DIM C}_{\min})^3 \quad \text{Ec.25}$$

De manera similar para la dirección de Máquina:

$$I_{DM\max} = \frac{1}{12} \text{DIM B} \times (\text{DIM C}_{\max})^3 \quad \text{Ec.26}$$

$$I_{DM\min} = \frac{1}{12} \text{DIM B} \times (\text{DIM C}_{\min})^3 \quad \text{Ec. 27}$$

Sustituyendo los valores de DIM A, DIM B, DIM C_{max} y DIM C_{min} en las ecuaciones 24, 25, 26 y 27 se obtienen los valores para los momentos de inercia mostrados en la tabla 17.

Lámina para	Dirección Transversal		Dirección Máquina	
	$I_{DT\ max} [m^4]$	$I_{DT\ min} [m^4]$	$I_{DM\ max} [m^4]$	$I_{DM\ min} [m^4]$
Caja para envase de 250 ml	9.05E-10	1.76E-10	1.80E-09	3.49E-10
Caja para envase de 1 lt	9.15E-10	1.77E-10	1.80E-09	3.49E-10
Caja para envase slim de 1 lt	8.73E-10	1.69E-10	1.66E-09	3.23E-10

Tabla 17 Momentos de Inercia Obtenidos para los cortes considerados

En la tabla 18 se muestran las magnitudes de esfuerzos obtenidos experimentalmente por [Harryson] antes de comenzar la fluencia, reportando los esfuerzos a compresión y también los esfuerzos a tensión en la Dirección de Máquina y Dirección Transversal.

Dirección Transversal		Dirección Máquina	
$\sigma_{DT\ t} [MPa]$	$\sigma_{DT\ c} [MPa]$	$\sigma_{DM\ t} [MPa]$	$\sigma_{DM\ c} [MPa]$
3	3	7	4

Tabla 18 Valores Máximos de Esfuerzo a Tensión en dirección Longitudinal y Transversal.

Sustituyendo los valores de los esfuerzos de la tabla 18, los momentos de inercia, las distancias de y los valores de las distancias en la ecuación 31 se obtuvieron valores de fuerzas mostrados en la tabla 19.

	Fuerza Mínima [N]			
	Dirección Transversal		Dirección Máquina	
	Solapa 1	Solapa 2	Solapa 3	Solapa 4
Caja para envase de 250 ml	2.139	2.139	8.275	8.221
Caja para envase de 1 lt	2.185	2.185	6.873	6.836
Caja para envase slim de 1 lt	2.063	2.063	5.873	5.843

Tabla 19 Fuerza mínimas en cada solapa.

En la tabla 20 se muestran los valores obtenidos de la fuerza máxima en cada solapa

	Fuerza Máxima [N]			
	Dirección Transversal		Dirección Máquina	
	Solapa 1	Solapa 2	Solapa 3	Solapa 4
Caja para envase de 250 ml	6.382	6.382	43.202	42.922
Caja para envase de 1 lt	6.519	6.519	35.885	35.691
Caja para envase slim de 1 lt	6.156	6.156	30.661	30.508

Tabla 20 Fuerzas máximas en cada solapa

En la tabla 21 se muestran las fuerzas totales tanto máximas como mínimas necesarias para realizar el formado de los diferentes tipos de caja.

	Fuerza Mínima para formado [N]	Fuerza Máxima para formado[N]
Caja para envase de 250 ml	20.8	98.9
Caja para envase de 1 lt	18.1	84.6
Caja para envase Slim de 1 lt	15.8	73.5

Tabla 21 Fuerzas mínimas y máximas de formado de cajas

Análisis Cinemático.

Para llevar a cabo el formado de las cajas de cartón, se propone utilizar un mecanismo manivela – biela – corredera, para el análisis se proponen los siguientes parámetros:

Longitud de manivela, $x_1 = 0.3$ [m]

Longitud de biela, $x_2 = 0.329$ [m]

y una velocidad angular, $\omega_1 = 21$ RPM ≈ 2.20 rad/s. (valor obtenido en la ec.4)

En la fig.132, se muestra el mecanismo en donde y_3 es la incógnita a calcular.

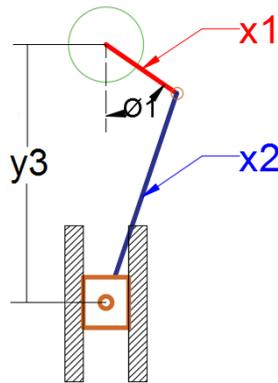


Figura 132 Mecanismo manivela – biela – corredera propuesto

En la fig.133 se muestran los vectores del mecanismo propuesto, se establece la ecuación 28 de lazo vectorial para la posición del mecanismo.

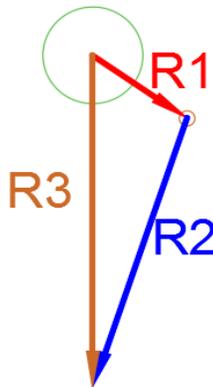


Figura 133 Lazo vectorial

$$R_3 = R_1 + R_2$$

Ec. 28

Definiendo los vectores R_1 , R_2 y R_3 en las ecuaciones 29, 30 y 31

$$R_1 = R_z[\theta_1]r_1 \quad \text{donde } r_1 = \{0, x_1, 0\}^T \quad \text{Ec. 29}$$

$$R_2 = R_z[\theta_2]r_2 \quad \text{donde } r_2 = \{0, x_2, 0\}^T \quad \text{Ec. 30}$$

$$R_3 = \{0, y_3, 0\}^T \quad \text{Ec. 31}$$

De donde:

$$R_z[\theta] = \begin{bmatrix} \text{Cos}\theta & -\text{Sen}\theta & 0 \\ \text{Sen}\theta & \text{Cos}\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Derivando la ec.28 para obtener la velocidad del mecanismo, se tiene:

$$\frac{d}{dt}(R_3) = \frac{d}{dt}(R_1 + R_2)$$

$$V_3 = V_1 + V_2 \quad \text{Ec.32}$$

Definiendo los vectores V_1 , V_2 y V_3 en las ecuaciones 37, 38 y 39 respectivamente.

$$V_1 = \omega_1 \times R_1; \quad \text{donde } \omega_1 = \{0, 0, \omega_1\}^T \quad \text{Ec. 33}$$

$$V_2 = \omega_2 \times R_2 \quad \text{donde } \omega_2 = \{0, 0, \omega_2\}^T \quad \text{Ec. 34}$$

$$V_3 = \{0, v_{y_3}, 0\}^T \quad \text{Ec.35}$$

Derivando la ec.32, se obtiene la aceleración

$$\frac{d}{dt}(V_3) = \frac{d}{dt}(V_1 + V_2)$$

$$A_3 = A_1 + A_2 \quad \text{Ec. 36}$$

Definiendo los vectores A_1 , A_2 y A_3 en las ecuaciones 37, 38 y 39, se tiene:

$$A_1 = \alpha_1 \times R_1 - \omega_1^2 R_1 \quad \text{donde} \quad \alpha_1 = \{0, 0, \alpha_1\}^T \quad \text{Ec. 37}$$

$$A_2 = \alpha_2 \times R_2 - \omega_2^2 R_2 \quad \text{donde} \quad \alpha_2 = \{0, 0, \alpha_2\}^T \quad \text{Ec. 38}$$

$$A_3 = \{0, a_{y3}, 0\}^T \quad \text{Ec. 39}$$

Resolviendo las ecuaciones de posición (ec.28), velocidad (ec.32) y aceleración (ec.36) para la corredera, se obtienen las siguientes gráficas mostradas en las figuras. 134, 135 y 136.

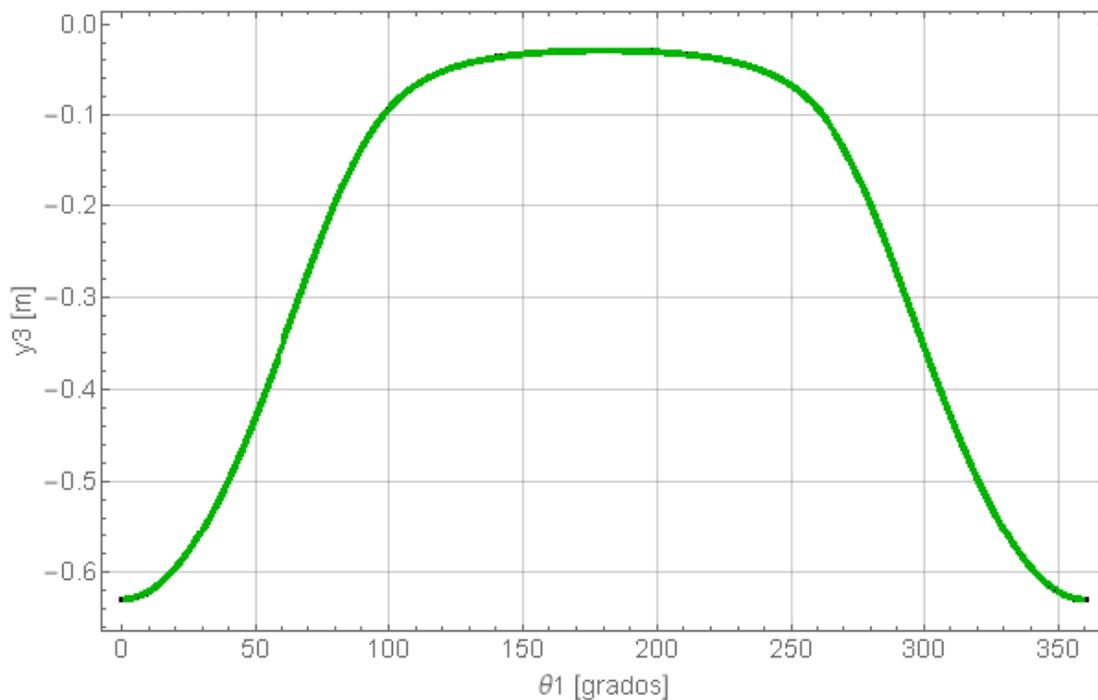


Figura 134 Gráfica de la posición de la corredera (y_3)

Como se puede observar en la Fig.134 la posición vertical de la corredera en función de la posición de la manivela, también se puede observar que la corredera tiene una carrera de 0.6 m.

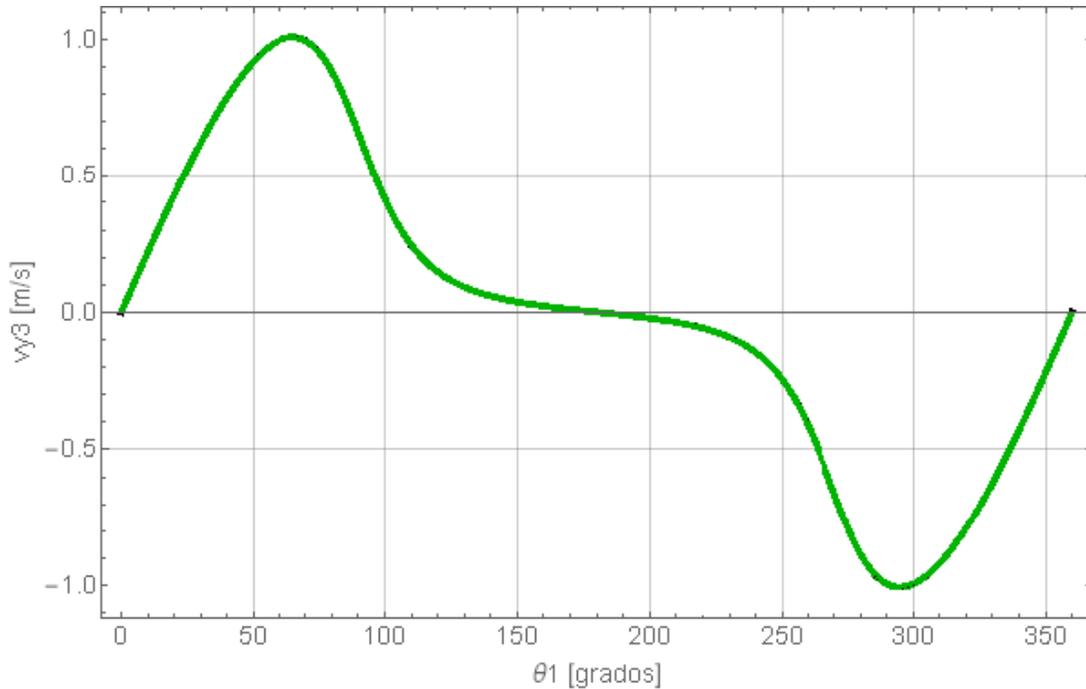


Figura 135 Gráfica de velocidad de la corredera (v_{y3})

En la Fig.135 se puede observar la gráfica de la velocidad de la corredera en la cual se puede notar que para la posición de 180° de la manivela la corredera se encuentra a 0.029 m del eje de la manivela y a las posiciones de 0° y 360° la corredera se encuentra a la máxima extensión del mecanismo el cual llega a 0.629 m .

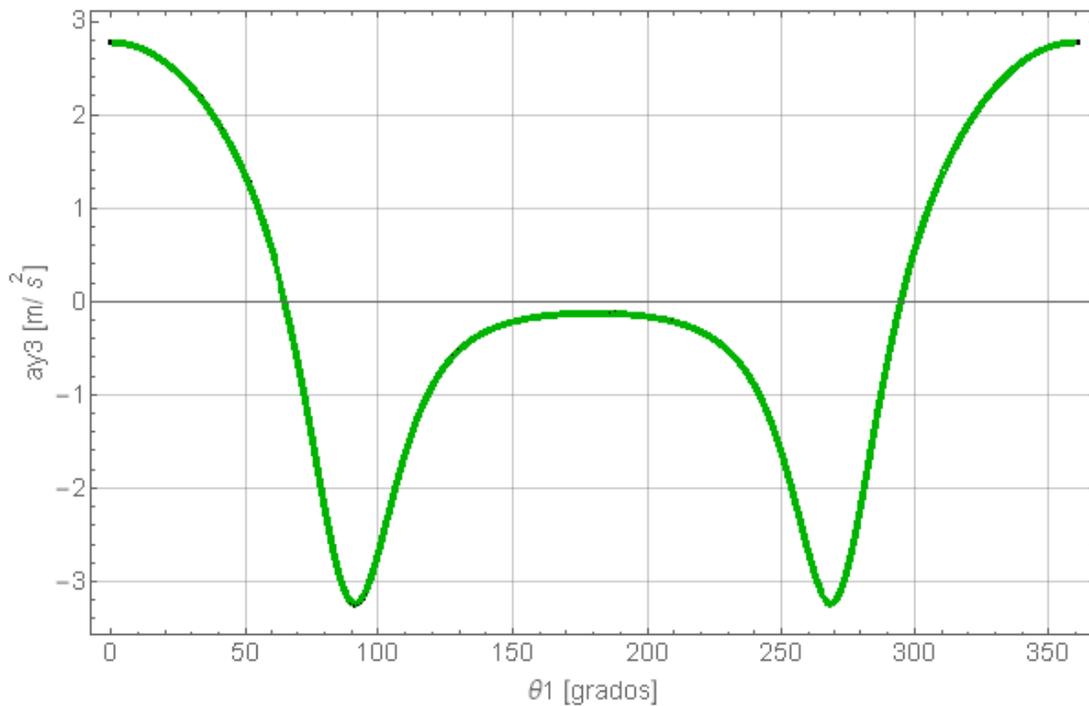


Figura 136 Gráfica de la aceleración de la corredera (a_{y3})

En la Fig.136 se puede notar que en las posiciones de la manivela en las cuales la velocidad de la corredera es máxima son 65° y 295° .

Análisis Dinámico.

Los resultados de posición, velocidad y aceleración del análisis cinemático, se utilizan para realizar el análisis dinámico, para este caso además son necesarios los siguientes datos del mecanismo, masa y momentos de inercia, así como la fuerza necesaria para el formado de la caja.

La orientación de los ejes de la manivela y el centro de masa se muestran en la figura 137.

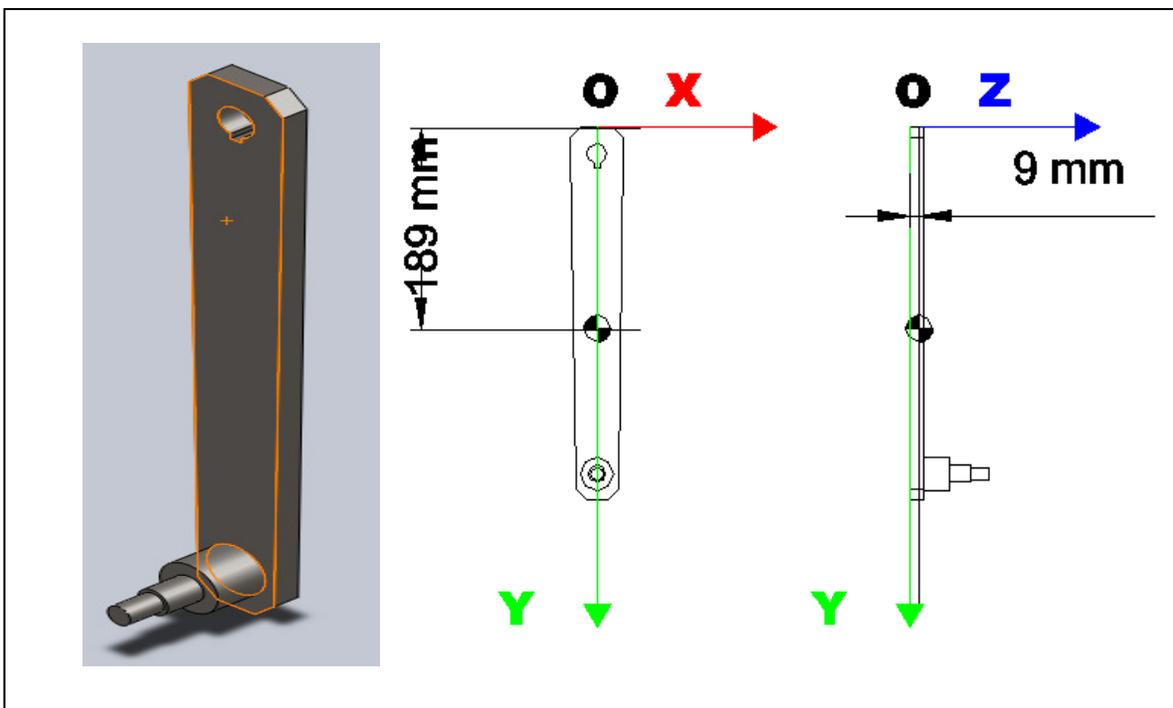


Figura 137 Manivela

De la misma manera se puede observar en la figura 138 la orientación de los ejes de así como el centro de masa de la biela.

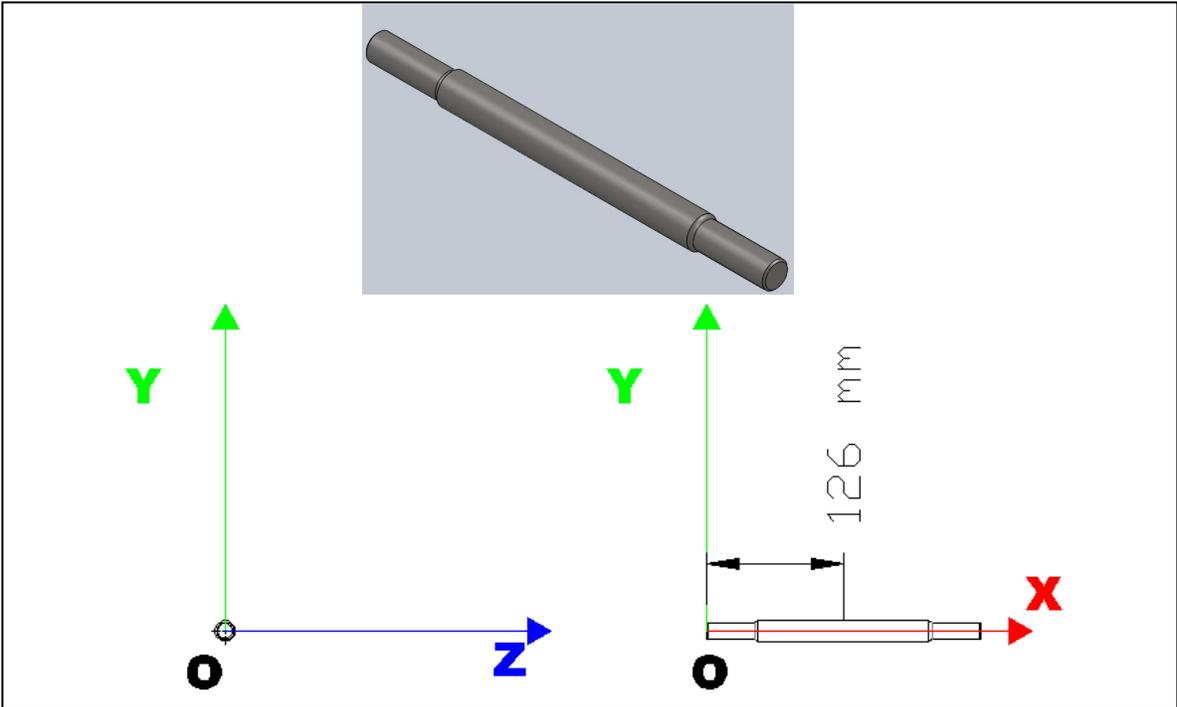


Figura 138 Biela

De manera similar como se puede observar en la figura 139 la orientación de los ejes de así como el centro de masa de la corredera.

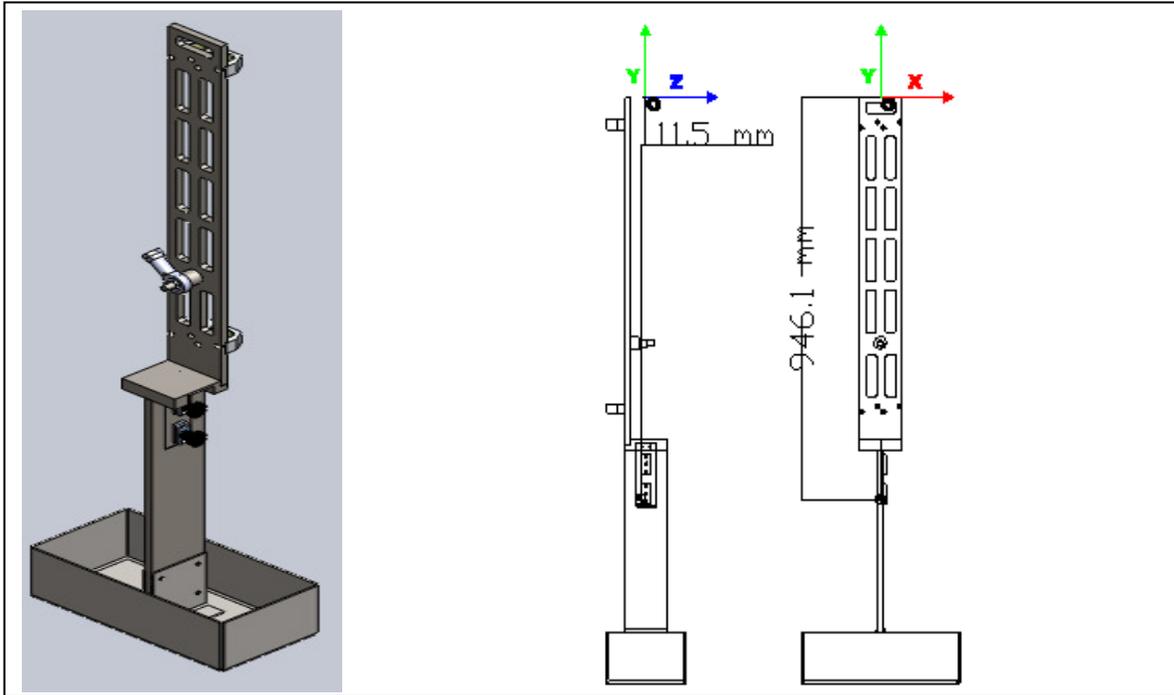


Figura 139 Corredera

Una vez asignados los materiales a cada una de las piezas fue posible determinar las masas y los momentos de inercia con ayuda del paquete SolidWorks™, los resultados se muestran en la tabla 22.

Elemento	masa [kg]	I_{xx} [kg * m ²]	I_{yy} [kg * m ²]	I_{zz} [kg * m ²]
Manivela (m_1)	1.714	0.0190	4.436×10^{-4}	0.0191
Biela (m_2)	0.506	0.2086×10^{-4}	23.697×10^{-4}	23.697×10^{-4}
Corredera (m_3)	19.170	3.2780	0.1371	3.3264

Tabla 22 Fuerzas máximas en cada solapa.

De la Tabla 21 se empleo la fuerza máxima necesaria para el formado, teniendo una magnitud de $F_{fc} = 98.9 \sim 99$ [N], otro valor necesario para poder realizar el análisis dinámico es el de la aceleración de la gravedad $g = 9.81$ (m/s²).

Las ecuaciones e incógnitas de este mecanismo se determinan de la siguiente manera:

Para determinar el número de ecuaciones que tiene este mecanismo, se considero que el movimiento se realiza en el plano, de este modo, cada uno de los cuerpos en movimientos tiene 3 ecuaciones (2 de fuerzas y 1 de momentos), es así que el número de ecuaciones se puede determinar cómo se muestra mediante la ecuación 44:

$$\text{CNM} \times 3 \text{ ecuaciones} = \text{TEM}$$

Ec. 40

De donde:

CNM = Cuerpos en movimiento.

TEM = Total de ecuaciones del mecanismo.

El mecanismo cuenta con 3 cuerpos en movimiento (Manivela, biela y corredera), sustituyendo el número de cuerpos en la ec 40, se determina el número de ecuaciones para este mecanismo.

$$3 \times 3 \text{ ecuaciones} = 9 \text{ ecuaciones}$$

El número de incógnitas se determina de la siguiente manera:

Para la unión de los cuerpos en movimiento se requieren 3 pernos, en los cuales se desconocen los componentes horizontal y vertical de las fuerzas internas y debido a que el momento interno en el perno es cero, solamente existen 2 incógnitas, entonces el número de incógnitas presentes en los pernos se pueden determinar mediante la ec 41.

$$\text{NP} \times 2 \text{ incógnitas} = \text{TIP.}$$

Ec. 41

De donde:

NP = Número de pernos.

TIP = Total de incógnitas en los pernos.

Como se mencionó, el mecanismo cuenta con 3 pernos que unen a los cuerpos, sustituyendo este número en la ec.45, se determina el número de incógnitas en los pernos unión.

$$3 \times 2 \text{ incógnitas} = 6 \text{ incógnitas en los pernos unión.}$$

Como en el mecanismo existe una corredera, es necesario determinar el número de incógnitas presentes. En una corredera se restringe uno de los desplazamientos mediante la guía de la corredera, entonces restan solamente 2 incógnitas (un desplazamiento y el momento interno), mediante la ec.42, se puede estimar el número de incógnitas debido a la presencia de una corredera.

$$\text{NC} \times 2 \text{ incógnitas} = \text{TIC}$$

Ec. 42

De donde:

NP = Número de pernos.

TIC = Total de incógnitas en las correderas.

Como se mencionó, el mecanismo cuenta con 1 corredera, sustituyendo este número en la ec 42, se determina el número de incógnitas en la corredera.

$$1 \times 2 \text{ incógnitas} = 2 \text{ incógnitas en la corredera.}$$

Las últimas incógnitas se atribuyen al número de actuadores que mueven el mecanismo, para determinar el número necesario de actuadores, es necesario determinar los grados de libertad del mecanismo, los cuales se obtienen mediante la fórmula de Groubuer - Kuzt bach ec 43.

$$GDL = 3(L - 1) - 2J_1 - 1J_2 \quad \text{Ec. 43}$$

De donde:

GDL= Grados de libertad.

L= Número de cuerpos del mecanismo.

J₁= Juntas con 1 movimiento.

J₂= Juntas con 2 movimientos.

En total se tienen 4 cuerpos además 3 pernos (junta con 1 movimiento) y 1 corredera (junta con 1 movimiento), sustituyendo los valores en la Ec. 47, se obtiene:

$$GDL = 3(4 - 1) - 2(4) - 1(0) = 9 - 8 = 1 \text{ GDL.}$$

Entonces el número de incógnitas a la presencia de un actuador se pueden determinar mediante la ec 44.

$$NAC \times 1 \text{ incógnitas} = TIAC. \quad \text{Ec. 44}$$

De donde:

NA = Número de actuadores.

TIAC = Total de incógnitas de los actuadores.

Como se determinó mediante la ec.43, el mecanismo cuenta con 1 GDL, por lo que es necesario un solo actuador para moverlo, sustituyendo este número en la ec 44, se determina el número de incógnitas de los actuadores.

$$1 \times 1 \text{ incógnitas} = 1 \text{ incógnita de los actuadores.}$$

Por lo tanto, para este mecanismo se tienen 9 ecuaciones proporcionadas por los cuerpos en movimiento, las cuales sirven para resolver las 9 incógnitas, 6 en los pernos, 2 en la corredera y 1 en el actuador.

Las incógnitas son: F_{41x} , F_{41y} , F_{12x} , F_{12y} , F_{23x} , F_{23y} , F_{34x} , T_{41z} y M_{34z} , como se puede observar en el diagrama de cuerpo libre de la fig.140

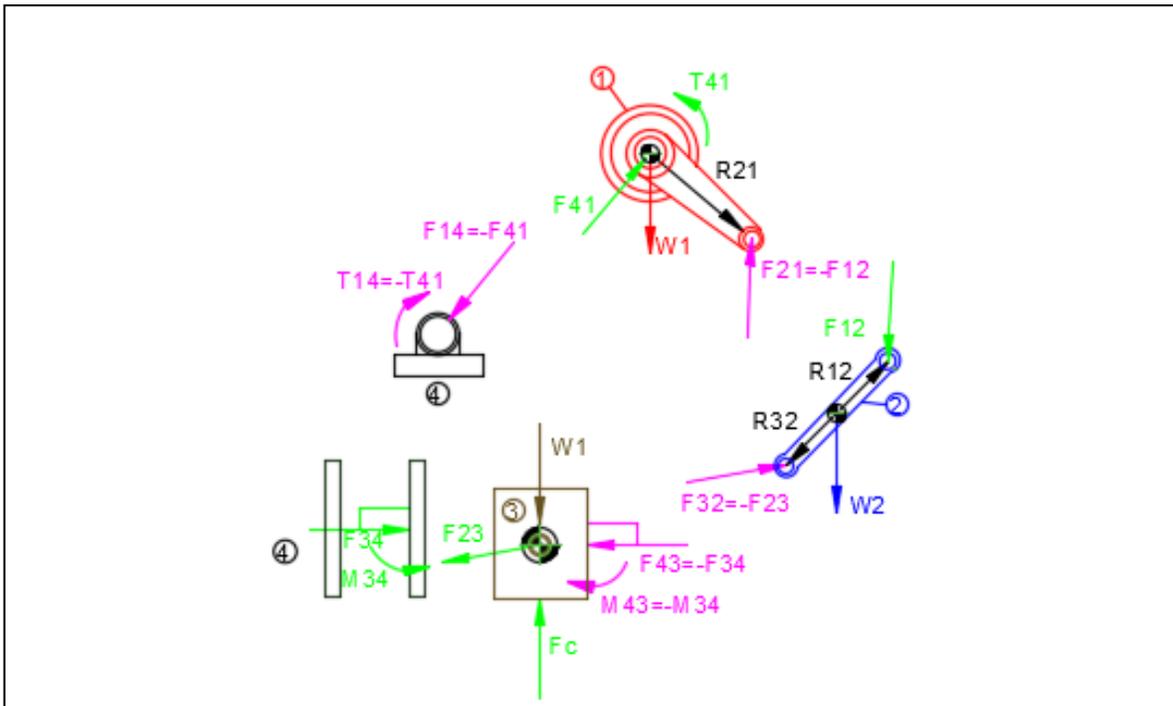


Figura 140 Diagrama de cuerpo libre Mecanismo Manivela - biela - corredera

Las ecuaciones dinámicas para cada uno de los cuerpos en movimiento se describen a continuación:

Manivela (cuerpo 1)

$$\sum F = m_1 A_{G1}$$

$$\sum F = \begin{bmatrix} F_{41x} \\ F_{41y} \\ 0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} F_{12x} \\ F_{12y} \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ -m_1 g \\ 0 \end{bmatrix} = m_1 \begin{bmatrix} A_{G1x} \\ A_{G1y} \\ A_{G1z} \end{bmatrix} \quad \text{Ec. 45}$$

$$\sum M_{G1} = I_{G1} \alpha_1$$

$$\sum M_{G1} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ T_{41} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} i & j & k \\ x_{21} & y_{21} & 0 \\ F_{12x} & F_{12y} & 0 \end{bmatrix} = I_{G1} \alpha_1 \quad \text{Ec.46}$$

Biela (cuerpo 2)

$$\sum F = m_2 A_{G2}$$

$$\sum F = \begin{bmatrix} F_{12x} \\ F_{12y} \\ 0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} F_{23x} \\ F_{23y} \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ -m_2 g \\ 0 \end{bmatrix} = m_2 \begin{bmatrix} A_{G1x} \\ A_{G1y} \\ A_{G1z} \end{bmatrix} \quad \text{Ec. 47}$$

$$\sum M_{G2} = I_{G2} \alpha_2$$

$$\sum M_{G2} = \begin{bmatrix} i & j & k \\ x_{21} & y_{21} & 0 \\ F_{12x} & F_{12y} & 0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} i & j & k \\ x_{32} & y_{32} & 0 \\ F_{x23} & F_{y23} & 0 \end{bmatrix} = I_{G2} \alpha_2 \quad \text{Ec.48}$$

Corredera (cuerpo 3)

$$\sum F = m_3 A_{G3}$$

$$\sum F = \begin{bmatrix} F_{23x} \\ F_{23y} \\ 0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} F_{34x} \\ F_{34y} \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ F_c \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ -m_3 g \\ 0 \end{bmatrix} = m_3 \begin{bmatrix} A_{G3x} \\ A_{G3y} \\ A_{G3z} \end{bmatrix} \quad \text{Ec.49}$$

$$\sum M_{G3} = I_{G3} \alpha_3$$

$$\sum M_{G3} = - \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ M_{34} \end{bmatrix} = I_{G3} \alpha_3 \quad \text{Ec.50}$$

El vector de posición del centro de gravedad para el cuerpo 1 se define en la ec 51

$$R_{G1} = 0 \quad \text{Ec. 51}$$

De manera similar en la Ec. 56 se define para el cuerpo 2.

$$R_{G2} = R_1 + R'_{G2} \quad \text{donde} \quad R'_{G2} = R_z(\theta_2) r_{G2}$$

$$r_{G2} = \left[\frac{x_2}{2}, 0, 0 \right]^T$$

Ec. 52

Para el cuerpo 3 el vector del centro de gravedad se describe en la ec.57

$$R_{G3} = R_3$$

Ec. 53

De manera similar se definen los vectores para las aceleraciones de los centros de gravedad en las Ec. 58 ,59 y 60.

$$A_{G1} = 0$$

Ec. 54

$$A_{G2} = A_1 + A'_{G2} \quad \text{donde} \quad A'_{G2} = \alpha_2 \times R'_{G2} - \omega_2^2 R'_{G2}$$

Ec. 55

$$A_{G3} = A_3$$

Ec. 56

Los vectores para momentos se definen en las ecuaciones 61,62 y 63.

$$R_{21} = R_1$$

Ec. 57

$$R_{12} = -R'_{G2}$$

Ec. 58

$$R_{32} = R_2 - R'_{G2}$$

Ec. 59

El resultado del análisis dinámico se muestra en la fig 141, en donde se muestra el par necesario que requiere el mecanismo del sistema para el formado de las cajas de cartón.

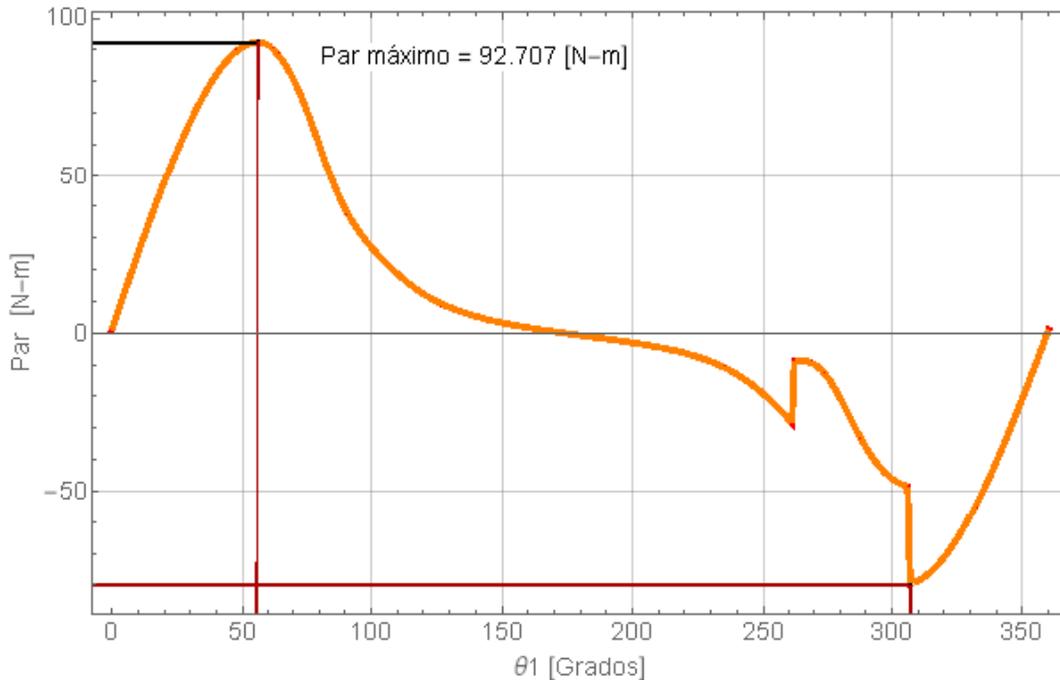


Figura 141 Magnitud del par requerido

De acuerdo a los resultados obtenidos para el par requerido (T_{41z}), se requiere un par máximo de 92.71 [N-m], redondeando el valor a 93 [N-m] y empleando la ec.16 con los valores de la Tabla 23.

Par Requerido [N-m]	Velocidad Angular [RPM]
92.71	21

Tabla 23 Par de torsión y velocidad angular requeridos.

Se obtiene una potencia para el motor de 0.410 [HP]

Se busca el valor comercial más cercano, en la tabla 24, se muestran los valores comerciales del motor.

Potencia Std [HP]	Par [lb-in]	Par [N-m]
0.500	1049	119.38

Tabla 24. Parámetros del motor comercial más cercano.

Por lo que se selecciona un motor de 1/2 de Hp @ 1750 RPM con un moto - reductor con una relación de reducción de 83.3, para el Sistema de Formado de Caja (SFC).

Cálculos para el Sistema de Dosificado de Cartón (SDC).

Propuesta de los rodillos para el dosificado.

La altura que tiene el contenedor que se encuentra en la parte superior del sistema de dosificado es de 1.5 m y el espesor promedio de cada lámina de cartón corrugado de flauta tipo B es de 3 mm, el número máximo de láminas se puede determinar con la ec 60.

$$N.L = \frac{H.C}{E_{prom}} \quad \text{Ec. 60}$$

De donde:

N.L = Número de láminas en el contenedor [pzas].

H.C= Altura del contenedor. [m]

E_{prom.}=Espesor promedio de la lámina [m/pza.].

Sustituyendo los valores en la ec.64, se obtiene que el contenedor será capaz de acumular 500 láminas de cartón corrugado, en la tabla 25 se muestran las dimensiones de las láminas de cartón, así como sus respectivas densidades y pesos tanto mínimos y máximos.

Tipo de Lamina	Ancho [m]	Largo [m]	Area [m ²]	gramaje minimo [kg/m ²]	gramaje maximo [kg/m ²]	Peso _{min} 500 láminas [N]	Peso _{max} 500 laminas [N]
1	0.647	0.503	0.325	0.436	0.532	696	849
2	0.783	0.493	0.386	0.436	0.532	826	1007
3	0.845	0.532	0.450	0.436	0.532	961	1173

Tabla 25 Pesos mínimos y máximos de una columna de 500 láminas de cartón.

En la fig. 142, se muestra el arreglo propuesto de rodillos para el Sistema de Dosificado de Cartón (SDC) así como las dimensiones de los diferentes tamaños de las láminas de cartón.

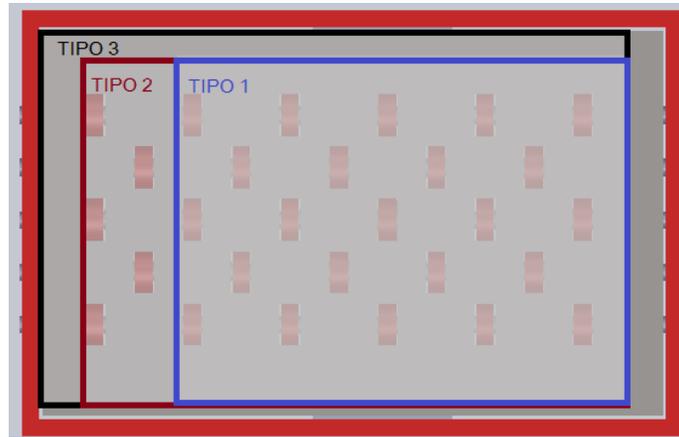


Figura 142 Rodillos en contacto dependiendo el tipo de lámina

En la tabla 26 se muestra la cantidad de rodillos que están en contacto al comenzar con el dosificado dependiendo del tipo de lámina, así como el peso de la columna de cartón (W_{cc}) que estaría soportando cada rodillo.

Tipo de Lamina	Rodillos en contacto	$W_{cc/rmin}$ por rodillo [N]	$W_{cc/rmax}$ por rodillo [N]
1	23	30.26	36.92
2	28	29.48	35.98
3	28	34.33	41.89

Tabla 26 Peso soportado por cada rodillo

En la fig. 143 se muestra el esquema considerado por cada rodillo para el dosificado del cartón.

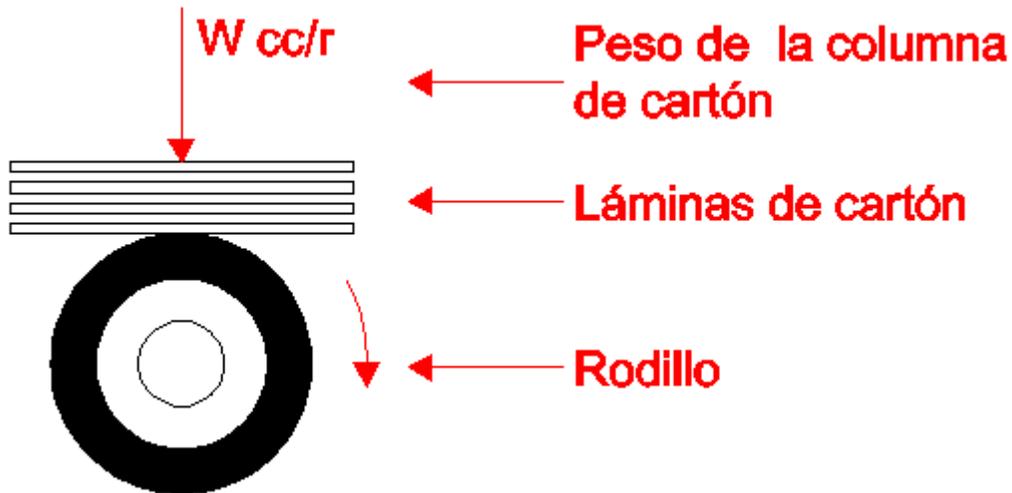


Figura 143 Esquema de rodillo de dosificado - lámina de cartón

A continuación se muestra en la fig.144 el diagrama de cuerpo libre de la lámina de cartón del fondo del contenedor.

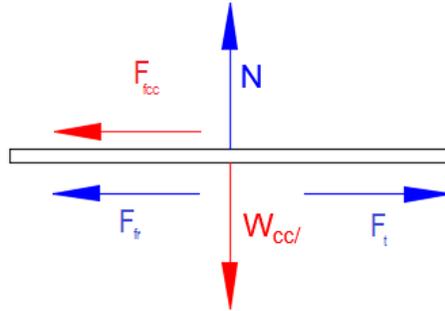


Figura 144 Diagrama de cuerpo libre lámina de cartón

De donde se obtienen las siguientes ecuaciones dinámicas.

$$\sum F_x = F_t - F_{fr} - F_{fcc} = 0 \quad \text{Ec. 61}$$

$$\sum F_y = N - W_{cc/r} = 0 \quad \text{Ec. 62}$$

$$N = W_{cc/r}$$

De donde:

F_t = Fuerza de tracción [N]

F_{fr} = Fuerza de fricción entre el rodillo y el cartón [N]

F_{fcc} =Fuerza de fricción de la columna de cartón [N]

N = Fuerza normal ejercida por el rodillo [N]

$W_{cc/r}$ =Peso de la columna de cartón soportada por cada rodillo [N]

En la ec. 13 se definió la fuerza de fricción, para este caso utilizando los siguientes valores de coeficiente de fricción $\mu_{fcc}=0.39$ (cartón-cartón) y, $\mu_{fr}=0.9$ (Goma – cartón) la ec.61 queda de la siguiente manera:

$$\sum F_x = F_t - 0.9N - 0.39N = 0 \quad \text{Ec. 63}$$

$$= F_t = 1.29 N$$

Utilizando la ec.62 y sustituyendo los valores de $W_{cc/rmin}$ y $W_{cc/rmax}$ de la tabla 26 para cada tipo de lámina, en la tabla 27 se muestran los resultados de la fuerza de tracción.

Tipo lámina	N_{min} [N]	N_{max} [N]	F_{tmin} [N]	F_{tmax} [N]
1	30.26	36.92	39.0354	47.6268
2	29.48	35.98	38.0292	46.4142
3	34.33	41.89	44.2857	54.0381

Tabla 27 Fuerza de tracción para desplazar el cartón

El sistema de dosificado cuenta con una lámina dosificadora como se muestra en la fig. 145

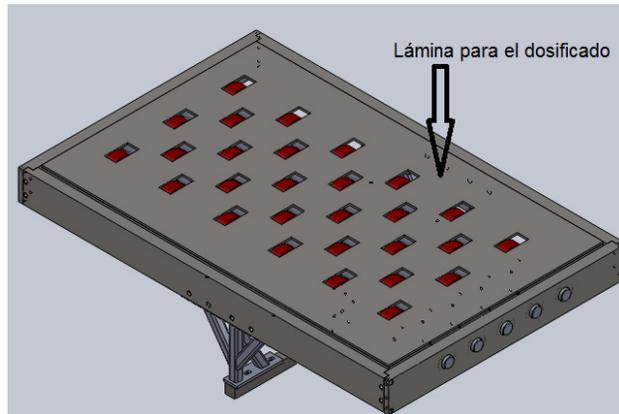


Figura 145 Lámina para el dosificado

La lámina para el dosificado realiza un movimiento armónico en un tiempo de 2.86 [s], de este tiempo se define a continuación con ayuda de la fig.146 el tiempo en que los rodillos tienen contacto con la lámina de cartón (t_{dc}).

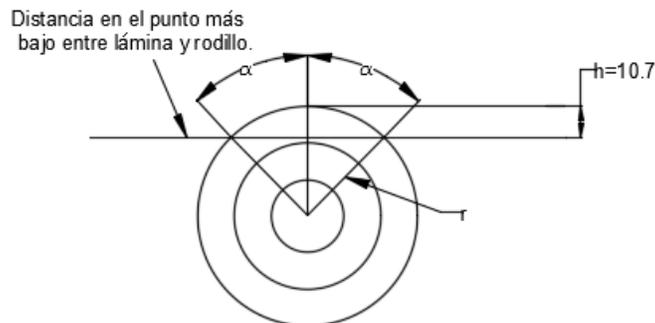


Figura 146 Esquema de dosificado

El ángulo de trabajo se obtiene de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} \cos \alpha &= \frac{r-h}{r} \\ \alpha &= \cos^{-1}\left(\frac{r-h}{r}\right) \end{aligned} \quad \text{Ec. 64}$$

De donde:

r = radio de la polea [mm].

h = distancia máxima entre la lámina de dosificado y el rodillo [mm].

Sustituyendo los valores de $r= 38.1$ mm y $h=10.7$ mm en la Ec. 64, se tiene

$$\cos \alpha = \frac{38.1 - 10.7}{38.1}$$

$$\alpha = \cos^{-1}\left(\frac{38.1 - 10.7}{38.1}\right) = 44.01^\circ \approx 44^\circ$$

Para determinar el tiempo en el cual el elevador asciende y ocasiona que la lámina de cartón deje de tener contacto, es necesario convertir el valor de α a radianes mediante la ec.65.

$$\beta = \left(\frac{\gamma}{360}\right) \times (2 \times \pi) \quad \text{Ec. 65}$$

De donde:

β = Ángulo en radianes.

γ = Ángulo en grados.

Sustituyendo el valor de $\gamma = 2\alpha$ en la ec. 65, se obtiene.

$$\beta = \left(\frac{2 \times 44}{360}\right) \times (2 \times \pi) = 1.5359 \text{ rad.}$$

Mediante la ec.66 se determina el tiempo que toma realizar una rotación de 88° .

$$t_{sc} = \left(\frac{\beta \times tc}{2\pi}\right) \quad \text{Ec. 66}$$

De donde:

t_{sc} = tiempo en el cual la lámina de dosificado realiza el ascenso [s]

β = Ángulo en radianes.

tc = tiempo de ciclo [s]

Sustituyendo los valores de β y el tiempo de ciclo en la ec.65, se obtiene el valor tiempo en el cual la lámina dosificadora realiza un ciclo.

$$t_{sc} = \left(\frac{1.5359 \times 2.86}{2\pi}\right) = 0.6991 \text{ [s]}$$

Para determinar el tiempo en el que los rodillos están en contacto con la lámina de cartón se puede determinar mediante la ec 67.

$$t_{dc} = t.c - t_{sc} \quad \text{Ec. 67}$$

De donde:

t_{dc} = tiempo para dosificado de lámina de cartón [s].

t.c= tiempo de ciclo [s]

Sustituyendo el valor de t_{sc} en la ec 67, se tiene:

$$t_{dc} = 2.86 - 0.6991 = 2.1609 \text{ [s]}$$

Empleando la ec.15 y los datos de la tabla 27 es posible calcular el par de torsión que se requiere en los rodillos, considerando una distancia igual al radio exterior de los rodillos para dosificado (38.1 mm).

Mediante la ec 16, el tiempo de ciclo y el valor obtenido de t_{dc} se determino la potencia, en la tabla 28 se muestra el resumen de resultados.

Tipo lámina	T_{min} / rodillo [N- m]	T_{max} /rodillo [N-m]	T_{min} /rodillo [N-m] (total)	T_{max} /rodillo [N-m] (total)	Potencia min [HP]	Potencia max[HP]
1	1.487	1.815	34.207	41.735	0.133	0.163
2	1.449	1.768	40.570	49.515	0.158	0.193
3	1.687	2.059	47.244	57.648	0.184	0.225

Tabla 28 Resumen de resultados para pares y potencias (min y max).

Análisis del mecanismo de yugo escocés.

Dado que el sistema de dosificado tiene una lámina que realiza un movimiento armónico como se muestra en la fig.147 se propone utilizar un mecanismo de yugo escocés (ver fig. 148) para realizar este movimiento.

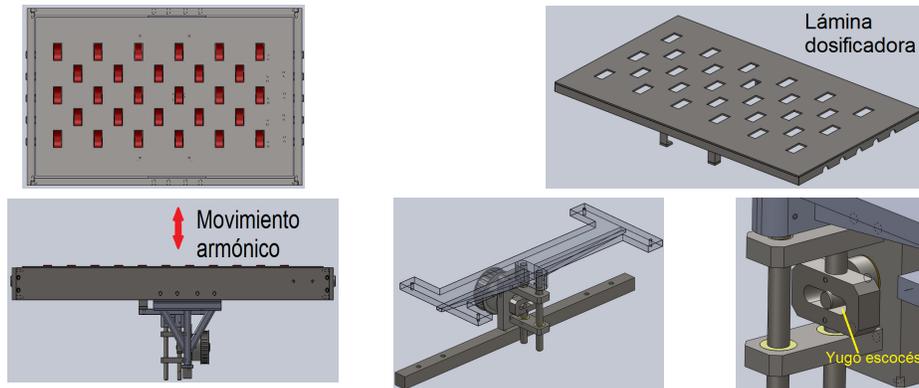


Figura 147 Localización del yugo escocés en el sistema de dosificado

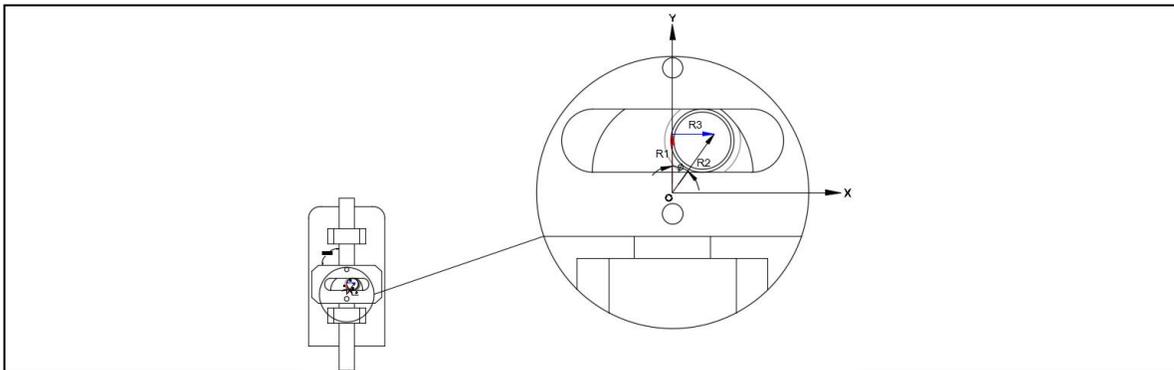


Figura 148 Esquema del yugo escocés

En primer lugar, se establece la ecuación de lazo vectorial para la posición del mecanismo tal como se muestra en la ec 68.

$$R_2 = R_1 + R_3 \quad \text{Ec. 68}$$

Donde, se define en la ec. 69 el vector R_1 , en la ec. 70 se define el vector R_3 y en la ec. 71 el vector R_2 .

$$R_1 = \{0, y_1, 0\}^T \quad \text{Ec. 69}$$

$$R_3 = \{x_3, 0, 0\}^T \quad \text{Ec. 70}$$

$$R_2 = R_z[\theta_2]r_2 \quad \text{Ec. 71}$$

En la ecuación 76 esta la definición del vector local r_2 .

$$r_2 = \{x_2, 0, 0\}^T \quad \text{Ec. 72}$$

Derivando la ec 72 para obtener la velocidad del mecanismo, se tiene:

$$\frac{d}{dt}(R_2) = \frac{d}{dt}(R_1 + R_3)$$

En la ec 73 se muestra el resultado que representa a la ecuación de lazo vectorial de velocidad .

$$V_2 = V_1 + V_3 \quad \text{Ec.73}$$

De donde, se define en la ec 74 el vector V_1 , en la ec 75 se define al vector V_3 y en la ec 76 al vector V_2 .

$$V_1 = \{0, v_{y_1}, 0\}^T \quad \text{Ec. 74}$$

$$V_3 = \{v_{x_3}, 0, 0\}^T \quad \text{Ec. 75}$$

$$V_2 = \omega_2 \times R_2 \quad \text{Ec. 76}$$

A continuación, se define ω_2 en la ec 77.

$$\omega_2 = \{0, 0, \omega_2\}^T \quad \text{Ec. 77}$$

Derivando la ec 73 para obtener la aceleración del mecanismo, se tiene:

$$\frac{d}{dt}(V_2) = \frac{d}{dt}(V_1 + V_3)$$

En la ec 78 se muestra el resultado que representa la ecuación de lazo vectorial de aceleración .

$$A_2 = A_1 + A_3 \quad \text{Ec.78}$$

Definiendo en la ec 79 al vector A_1 , en la ec 80 se define al vector A_3 y en la ec 81 al vector A_2

$$A_1 = \{0, a_{y_1}, 0\}^T \quad \text{Ec. 79}$$

$$A_3 = \{a_{x_3}, 0, 0\}^T \quad \text{Ec. 80}$$

$$A_2 = \alpha_2 \times R_2 - \omega_2^2 R_2 \quad \text{Ec. 81}$$

A continuación, se define α_2 en la ec 82.

$$\alpha_2 = \{0, 0, \alpha_2\}^T \quad \text{Ec. 82}$$

Utilizando el programa Mathematica para resolver las ecuaciones 68 (Posición), 73 (Velocidad) y 70 (Aceleración) en el cuál se emplearon los siguientes parámetros para el mecanismo de yugo escocés:

$$x_2 = 6.5 \text{ [mm]}$$

$$\omega_2 = 2.19 \text{ [rad/s]}$$

$$\alpha_2 = 0 \text{ (se considera que } \omega_2 = \text{cte.)}$$

En la fig.149 se presentan los resultados obtenidos para el elevador (R_1) y en la fig.150 se muestran los resultados para la corredera (R_3).

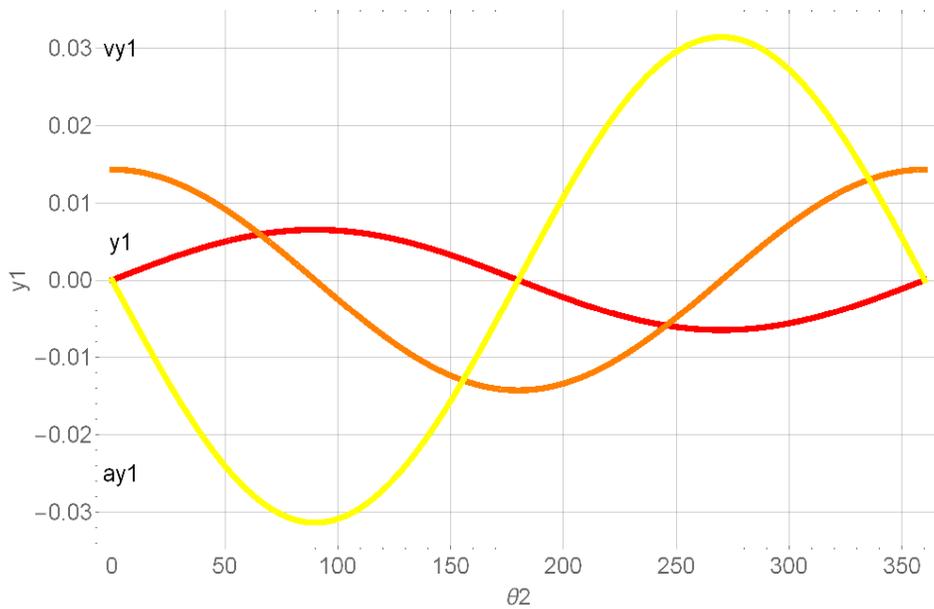


Figura 149 Resultados obtenidos para el elevador (R_1)

Como se puede observar en la fig 149, que la gráfica de posición generada por el elevador realiza un movimiento sinusoidal, en el cuál no se presentan cambios bruscos de signo y durante un ciclo solamente presenta un pico de la velocidad y no presenta muchos cortes al eje de las ordenadas, por lo que las gráficas son aceptables.

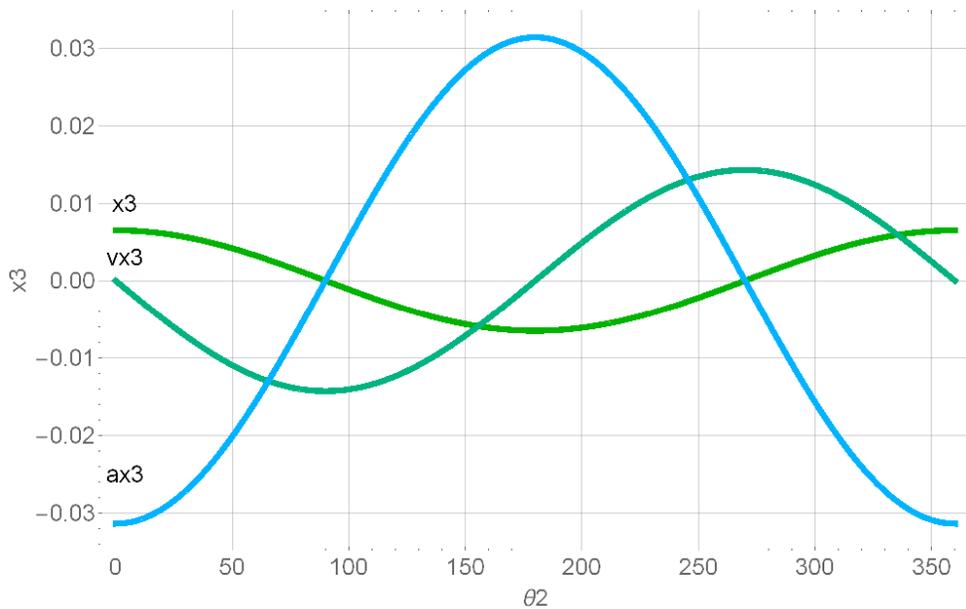


Figura 150 Resultados obtenidos para la corredera (R_3)

De manera similar se puede observar en la fig 150, la corredera realiza un movimiento armónico en el cuál no se presentan cambios bruscos de signo y durante un ciclo solamente presenta un pico de la velocidad y no presenta muchos cortes al eje de las ordenadas, por lo que las gráficas descritas por la corredera también son aceptables.

5 Resultados.

Después de comparar maquinas para formar cajas de cartón se encontró que la cantidad de cajas por minuto promedio es de 20 piezas, también no se encontró ningún tipo de alimentación mixto en el cual permitiera suministrar el cartón de dos formas diferentes las máquinas actuales solamente cuentan con un sistema para acumular cajas preformadas, además se encontró que las máquina que se comercializan actualmente tienen equipo adicional como pueden ser transportadores de carga, selladores de cajas, aplicadores de pegamento, etc.

Esta información fue de utilidad para poder definir la propuesta de diseño, es así que con ayuda de la Norma VST-DP-NR-020 de Liconsa se pudieron definir 3 tamaños diferentes.

El presente trabajo se oriento para cubrir el rango de formado de 8 a 12 cajas por minuto, para poder realizar esta oferta se definió que la materia prima a utilizar es cartón corrugado de flauta tipo B, con el que se formaran 3 tamaños de lámina 647 mm x 503 mm, 783 mm x 493 mm y 845 mm x 532 mm, con las cuales se formaran los siguientes tamaños de cajas respectivamente 384 x 194 x 107 ,384 x 196 x 167 y 355 x 188 x 208.

Para ser posible esto se propusieron 8 sistemas principales con los cuales se realizarán diferentes tareas, para cada uno de estos sistemas se realizaron diferentes conceptos, con los cuales se generaron diferentes combinaciones mediante 2 herramientas la primera fue mediante la matriz de selección con la cual se evaluaron cada uno de los conceptos por sistema y con estos se genero la primera combinación, otra herramienta que se utilizó fue la matriz morfológica con esta herramienta se generaron diferentes combinaciones de las cuales se seleccionaron solamente 9, posteriormente se evaluaron estas 10 combinaciones mediante una matriz de selección para seleccionar la mejor combinación.

Una vez seleccionada la combinación se generaron diferentes configuraciones, con las que se busco tener un mejor flujo del material , al tener la configuración se realizo el análisis de algunos de los mecanismos con los que se pretende cumplir la función principal de cada uno de los sistemas, los sistemas analizados fueron el sistema de formado (SFC), para el sistema de dosificado (SDC) , el sistema de transporte de láminas (STLC), el sistema para desplazar cartón hacia formado (STFC) , el sistema para desplazar la caja hacia siguiente etapa (SDCC).

Como resultado de estos análisis fue posible generar diferentes partes así como seleccionar partes de línea, para cada una de las partes diseñadas se genero su dibujos de detalle así como también el dibujo de ensamble de cada uno de los sistemas.

6 Conclusiones.

El uso de una metodología de trabajo para realizar la propuesta de una máquina formadora de cajas de cartón, fue una parte fundamental para enfocar las soluciones generadas de una manera ordenada y resolver la necesidad planteada.

Durante el desarrollo de esta propuesta se pudieron aplicar diferentes herramientas de diseño durante las diferentes etapas.

En la etapa de Diseño Conceptual se recopiló la información del sector industrial, se revisó el estado del arte de máquinas formadoras de cajas de cartón, se realizó un benchmark identificando las diferencias para definir claramente el problema a resolver.

Como resultado del Benchmark se determinó la lista de necesidades mediante la voz del cliente, definiendo las características con las métricas a cubrir con la propuesta de diseño.

Para evaluar el impacto de cada especificación se utilizó la llamada QFD para priorizar y tomar mejores decisiones.

La matriz morfológica es una herramienta que ayudó a generar diferentes combinaciones de arreglos utilizando las diferentes alternativas de solución para los sistemas que integran la propuesta de diseño, generándose 10 propuestas de combinaciones diferentes.

Mediante una matriz de decisión se evaluaron las diferentes propuestas procurando que el flujo del material fuera continuo.

Una vez definida la propuesta de diseño de la máquina formadora de cartón, algunos de los sistemas se modelaron y simularon con el software comercial Mathematica para observar su funcionamiento y determinar cargas de funcionamiento y poder determinar dimensiones y potencias de los diferentes componentes de algunos sistemas.

Como resultado de esta propuesta de diseño se generó una propuesta modular para cada uno de los 8 sistemas principales que la integran.

Al contar con un sistema modular permite primeramente poder probar de manera individual cada uno de los sistemas antes de integrarlos, además de que si se requiere algún cambio de dimensiones de caja es más sencillo y económico generar las piezas de cambio rápido “herramientales” que tener que comprar otra máquina.

Otra de las ventajas que se quiere ofrecer es tener dos diferentes opciones para el suministro de cartón , de acuerdo a los resultados del Benchmark no hay en el mercado ninguna máquina que lo ofrezca.

Otro aspecto que se pretende cubrir con esta propuesta es ofrecer otra opción para el mercado nacional, debido a que principalmente se compran este tipo de máquinas a Estados Unidos.

7 Bibliografía.

- [1] Anders Harryson, M. R. (2008). Large strain elasto-plastic model of paper and corrugated board. *International Journal of Solids and Structures* , 3334-3352.
- [2]Chevalier (2002), Dibujo Industrial. México: Limusa.
- [3] Cohen,L. Quality Function Deployment,
- [4]David, U.(2010), *The Mechanical Design Process*. New York: Mc Graw Hill (2010).
- [5]Dieter,G. (2000), *Engineering Design*. United States of America: McGraw-Hill.
- [6]French, M.(1999), *Conceptual Design for Engineers*. Berlin: Springer.
- [7]J.R. Hauser and D. Clausing (1988), *The house of quality*, Harvard Business Review.
- [8]Mott,R.(2006),Diseño de elementos de máquinas. México :Pearson Educación
- [9]Norton, R.(2011), Diseño de Máquinas un enfoque integrado. México:Pearson Educación.
- [10]P. Isaksson, R. H. (2005), A mechanical model of damage and delamination in corrugated board during folding. *Engineering Fracture Mechanics* , 2299-2315.
- [11]Pahl & Beitz.(2007), *Engineering Design A Systematic Approach*. London: Springer-Verlag.
- [12]Stapenhurst, T. (2009), *The Benchmarking Book: A how – to – guide to best practice for managers and practitioners*.United Kingdom: Elsevier.
- [13]Ulrich & Eppinger. (2013), *Diseño y desarrollo de productos*. México: McGraw Hill.
- [14]Zwicky, F. (1976/1971). *Entdecken, Erfinden, Forschen im Morphologischen Weltbild*. Munich, Zurich: Droemer-Knaur.