

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO PARA EL LLENADO DE
PILAS EN BANDEJAS DE CARTÓN**

Tesis para optar por el título de Ingeniero Mecánico, que presenta el bachiller

CESAR ERNESTO COASACA APAZA

ASESOR

Ing. Benjamín Barriga Gamarra

Lima, abril de 2013

© 2013, CESAR ERNESTO COASACA APAZA

Ninguna parte de la tesis puede reproducirse o transmitirse bajo ninguna forma o procedimiento, sin el permiso escrito otorgado por el autor.



RESUMEN

En el presente trabajo se detalla el proceso que llevó a la solución de un problema técnico de la industria aplicando los principios básicos de ingeniería, particularmente en el área de la automatización y a través de la metodología de diseño basada en la norma VDI 2225, se diseñaron los diversos componentes y sistemas mecánicos de tres máquinas de funciones complementarias; la primera y segunda para el ordenamiento y agrupación de pilas secas acabadas modelo UM-1 procedentes de una línea de fabricación y pre-empacadas en film termo contraíble en pares, en seis filas de pilas juntas y compactas para finalmente ser colocadas en tres diferentes tipos de bandeja de cartón por la tercera máquina, la que sufre modificaciones menores en su configuración para poder realizar la tarea según sea el caso y dependiendo de la producción del día en la planta industrial.

Se inicia el trabajo con una investigación de los antecedentes y tecnologías similares aplicadas en otros lugares, pasando por los requerimientos particulares de la planta y siguiendo con un procedimiento de selección de las mejores alternativas para la solución del problema. La primera máquina (ordenadora) toma las pilas de la línea de fabricación y las separa en seis filas, seguidamente, la segunda máquina (faja puente) las une en un solo bloque compacto que es dividido a su vez en bloques pequeños que ingresan a las bandejas con la presentación final en la tercera máquina (llenadora).

Finalmente se calculan y dimensionan los elementos de máquinas necesarios para transmitir la energía y variar los movimientos del producto a través de las máquinas y la geometría de sus piezas móviles. Se elaboran los planos de ensamble y despiece para su construcción y a continuación se hace un estimado del costo del material necesario y la mano de obra para después contrastarlo con el costo real de construcción: 31923.85 USD.


 PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
 FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA

TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

TÍTULO : DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO PARA EL
 LLENADO DE PILAS EN BANDEJAS DE CARTÓN
 ÁREA : Diseño # 226
 PROPUESTO POR : Ing. Benjamín Barriga Gamarra
 ASESOR : Ing. Benjamín Barriga Gamarra
 TESISTA : César Ernesto Coasaca Apaza
 CÓDIGO : 20052044
 FECHA : 16 de agosto de 2012


DESCRIPCIÓN Y OBJETIVOS:

Panasonic Peruana S.A. (empresa perteneciente a Panasonic Co.), tiene una planta de manufactura de pilas secas en la cual se ensamblan los tipos D (Pila grande) y tipo AA (tipo mediano). La presentación de las pilas tipo D es de 24 unidades en bandejas de cartón. En la línea de acabado de la pila tipo D se hace el proceso de llenado de las cajas en forma manual a una velocidad de 550 pilas por minuto. Para este trabajo se requieren 2 a 3 operarios.

El objetivo del presente trabajo es automatizar el proceso de llenado de manera que manteniendo la velocidad de la línea se llene de manera efectiva las pilas dentro de las bandejas de cartón; con presentaciones de bandejas con 12, 20 y 24 pilas. El proyecto implicará fundamentalmente el diseño de la maquinaria y selección de equipos necesarios; se deberá desarrollar los planos de ensamble y despiece, además de elaborar el metrado correspondiente.

La empresa a través del departamento de mantenimiento hará el presupuesto en base al metrado y ejecutará el proyecto en base a los planos de ensamble y despiece que se presentarán.



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA

DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO PARA EL LLENADO DE PILAS EN
BANDEJAS DE CARTÓN

Introducción

1. Preliminares y estado de la tecnología
2. Concepto de solución
3. Diseño de componentes
4. Listas de planos
5. Metrado y registro de la construcción

Conclusiones y Recomendaciones

Bibliografía

Anexos

Máximo: 100 páginas



Ing. Benjamín Barriga Gamarra
Asesor



Panasonic

Panasonic Peruana S.A.

Av. Alfredo Mendiola 1600 - Independencia
(Panamericana Norte Km. 14.5)
Telf.: 614-0000 Fax: 614-0001 / 614-0002
Inscrita en Partida 11017527 de Reg. Públicos



Señores:

Pontificia Universidad Católica del Perú

Facultad de Ciencias e Ingeniería.

Sección Ingeniería Mecánica

Presente.

A través del presente documento, Panasonic Peruana S. A. autoriza el uso de la información que produjo el señor César Ernesto Coasaca Apaza durante el año 2011 en el desarrollo del conjunto de maquinaria denominado SISTEMA AUTOMÁTICO PARA EL LLENADO DE PILAS EN BANDEJAS DE CARTÓN para la compañía. Se autoriza el uso de la misma solamente con fines académicos.

El señor Coasaca laboró desde el 01 de febrero al 31 de diciembre de 2011, tiempo en el que realizó una labor de investigación y diseño en las instalaciones de la planta de pilas, obteniendo como resultado planos y memorias descriptivas. Las mismas que sirvieron para el desarrollo de su tesis en la Pontificia Universidad Católica del Perú, esto es de nuestro completo conocimiento y contaba con nuestra aprobación durante todo el período.

Se autoriza el uso de los principios de funcionamiento producto de la investigación desarrollada, así como la geometría específica de los componentes que entran en contacto con los productos de la fábrica y la configuración de los sistemas electromecánicos que interactúan durante todo el proceso.

PANASONIC PERUANA S.A.

ALBERTO MORISAKI V.
GERENTE
OPTO PLANIFICACION



A mis padres, y en especial a la memoria de mi madre, quien vio y alentó el desarrollo de este trabajo, pero no pudo estar presente físicamente para verlo concluido. Dedicado a ellos, quienes tuvieron la paciencia de formarme y darme un amor incomparable, además del ejemplo de trabajo, temor a Dios y actitud hacia el prójimo.

AGRADECIMIENTOS

Al personal del departamento de Mantenimiento e ingeniería de Panasonic Peruana S.A. por sus valiosos aportes y experiencia durante el desarrollo de este proyecto:

- Rubén Márquez: Montaje de maquinaria y fabricación de componentes soldados
- Luis Portella: Automatización y electrónica de potencia
- Jorge Carrión: Fabricación y acabado por fresadora
- Luis Ríos: Trabajo de banco y ajustes
- Luis Cuadros: Trabajo de matricería y ajustes de precisión
- Miguel Chira: Fabricación de piezas torneadas diversas
- Fernando Arias: Torneado de precisión
- Moisés Aguilar: Electrónica de potencia, guardas de seguridad y pintura
- Raúl Castro: Transmisiones mecánicas y sincronización
- Edgar Cerrón: Rectificado y ajustes de precisión de componentes móviles
- Merce Morales: Almacén
- Hugo Salomé: Control de suministros del proyecto
- Max Rondán: Logística y compras
- César Valero: Planteamiento del problema y contacto inicial.

A la sección Ingeniería Mecánica de la Pontificia Universidad Católica del Perú, quienes supieron impartir y compartir conocimiento y experiencias diversas que me han servido en muchos otros aspectos de la vida y estoy seguro de que no solamente a mí, sino también a todos mis compañeros y amigos.

A Ana Lucía Paredes Doig, por toda la fuerza y ánimos que me dió durante uno de los momentos más difíciles en mi vida.

Índice de contenido

Índice de contenido.....	vii
Índice de tablas	x
Índice de figuras	x
Lista de símbolos	xiv
Introducción.....	1
Capítulo 1	2
Preliminares y estado de la tecnología	2
1.1 Producto principal.....	2
1.1.1 Presentación inicial del producto.....	4
1.1.2 Máquina formadora de bandejas.....	4
1.1.3 Dimensiones de las pilas	5
1.2 Algunas patentes encontradas de dispositivos que realizan funciones similares.....	5
1.2.1 Máquina encajonadora de latas (Can boxing machine) [1]	5
1.2.2 Dispositivo de apilamiento y encajonado (Stacking and boxing apparatus) [2]	7
Capítulo 2	8
Concepto de solución	8
2.1 Lista de exigencias.....	8
2.2 Determinación de la secuencia de operaciones.....	14
2.2.1 Parámetros del sistema	14
2.2.2 Parámetros de entrada.....	14
2.2.3 Parámetros de salida	14
2.3 Estructura de funciones y esquema de caja negra.....	15

2.4	Matriz morfológica	18
2.5	Proyectos preliminares.....	19
2.5.1	Alternativa 1	19
2.5.2	Alternativa 2	20
2.5.3	Alternativa 3	21
2.5.4	Alternativa 4	22
2.6	Evaluación técnico-económica	23
Capítulo 3		27
Diseño de componentes		27
3.1	Diseño del prototipo de llenadora.....	27
3.2	Diseño del primer módulo, ordenadora	29
3.2.1	Dimensionamiento de carriles de circulación.....	29
3.2.2	Ángulo de división de carriles y distancia a recorrer por estación de división 31	
3.2.3	Redimensionamiento de estaciones de división en modelo giratorio.....	34
3.2.4	Principio básico del mecanismo de estrellas	35
3.2.5	Estación de división 1-1	36
3.2.6	Estación de división 1-2	37
3.2.7	Estación de división 1-4	38
3.2.8	Desarrollo de la geometría de las estrellas	39
3.2.9	Soporte de estrellas.....	43
3.2.10	Conservación de la materia en la máquina	46
3.2.11	Elementos motrices	47
3.2.12	Estructura principal.....	50
3.3	Diseño del segundo módulo, faja puente	53

3.3.1	Guías de acomodo	53
3.3.2	Transmisión de potencia.....	54
3.3.3	Estructura y modelo final	55
3.4	Diseño del tercer módulo, llenadora de bandejas	56
3.4.1	Sistema de división del bloque compacto de pilas	56
3.4.2	Sistema de transporte de bandejas	58
3.4.3	Sistema de expulsión de bandejas llenas	64
3.4.4	Esquema neumático.....	66
3.4.5	Lógica de control.....	67
Capítulo 4	.....	70
Listas de planos	.....	70
4.1	Lista de planos de máquina ordenadora.....	70
4.2	Lista de planos de máquina faja puente.....	72
4.3	Lista de planos de máquina llenadora.....	73
4.4	Vista general del proceso.....	74
Capítulo 5	.....	75
Metrado y registro de la construcción	.....	75
5.1	Metrado y costos.....	75
5.2	Registro de construcción de máquinas.....	78
Conclusiones y recomendaciones	.....	91
Conclusiones	.....	91
Recomendaciones	.....	93
Bibliografía	.....	96

Índice de tablas

Tabla 2-1: Lista de exigencias	9
Tabla 2-2: Funciones de la máquina.....	16
Tabla 2-3: Matriz morfológica	18
Tabla 2-4: Evaluación técnica	23
Tabla 2-5: Evaluación económica	24
Tabla 3-1: Cilindros neumáticos usados en la máquina llenadora	66
Tabla 5-1: Lista de materiales y costos.	75

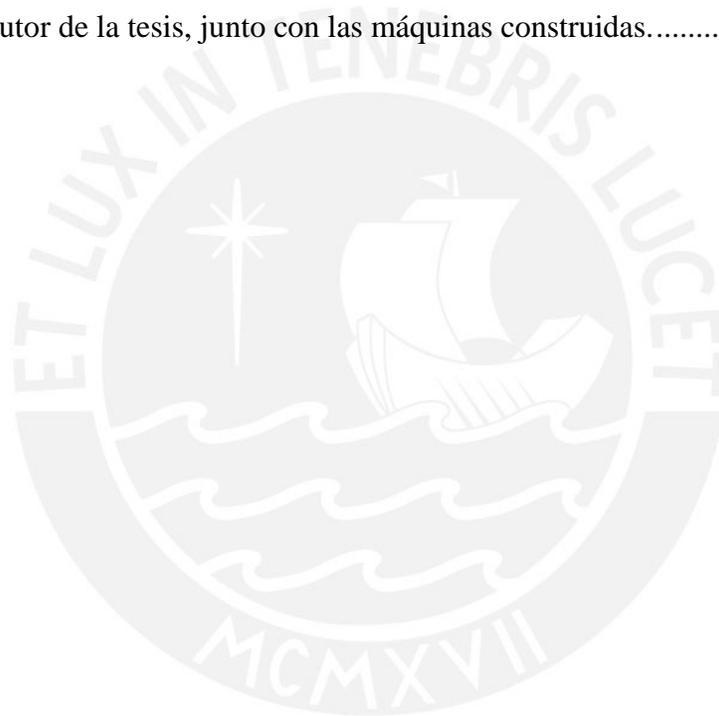
Índice de figuras

Figura 1-1: Bandejas de 12 y 20 pilas	2
Figura 1-2: Bandeja de 24 pilas.....	2
Figura 1-3: Diferentes presentaciones comerciales de las pilas.	3
Figura 1-4: Modelo 3D de la bandeja de cartón de 24 unidades	3
Figura 1-5: Presentación típica de pilas UM-1	4
Figura 1-6: Formadora a punto de plegar cartón	5
Figura 1-7: Dimensiones de las pilas.....	5
Figura 1-8: Dispositivo para encajonar latas o similares y detalle de palancas divisoras	6
Figura 1-9: Vista superior de máquina encajonadora.....	7
Figura 1-10: Vista frontal de máquina encajonadora	7
Figura 2-1: Esquema de caja negra del sistema.....	17
Figura 2-2: Alternativa 1	19
Figura 2-3: Alternativa 2	20
Figura 2-4: Alternativa 3	21
Figura 2-5: Alternativa 4	22
Figura 2-6: Evaluación sin pesos ponderados	25
Figura 2-7: Evaluación con pesos ponderados	26
Figura 3-1: Modelo en CAD del prototipo	27
Figura 3-2: Prototipo construido para pruebas del sistema de llenado.....	28
Figura 3-3: Esquema primigenio del flujo de pilas	29

Figura 3-4: Variación de la distancia entre los brazos al girarse un ángulo “a”	30
Figura 3-5: Flujo de pilas a través de la ordenadora.....	31
Figura 3-6: Flujo de pilas y agrupación final	32
Figura 3-7: Puntos de pivote para los desviadores	32
Figura 3-8: Detalles geométricos de la ordenadora	33
Figura 3-9: Modelo inicial de la ordenadora	34
Figura 3-10: Principio de funcionamiento del mecanismo de estrellas imantadas.....	36
Figura 3-11: Par de estrellas de seis puntas sincronizadas en disposición 1-1.....	37
Figura 3-12: Par de estrellas de seis puntas sincronizadas en disposición 1-2.....	38
Figura 3-13: Par de estrellas de cinco puntas sincronizadas en disposición 1-4	39
Figura 3-14: Geometría de la estrella de seis puntas en CAD.....	40
Figura 3-15: Modelo 3D de la estrella de seis puntas y descripción de la geometría completa	41
Figura 3-16: Dibujo del conjunto de estrellas en disposición 1-1	42
Figura 3-17: Dibujo del conjunto de estrellas en disposición 1-2	42
Figura 3-18: Dibujo del conjunto de estrellas en disposición 4-1	43
Figura 3-19: Características del rodamiento 6002.....	44
Figura 3-20: Sección del soporte de estrellas	44
Figura 3-21: Disposición de estaciones de división en la faja central.....	45
Figura 3-22: Conservación de materia en guías de pilas, primera variante.....	46
Figura 3-23: Conservación de materia en guías de pilas, segunda variante	46
Figura 3-24: Transmisión de potencia a las tres fajas	47
Figura 3-25: Sistema de distribución de potencia en máquina ordenadora.....	47
Figura 3-26: Esquema de fuerzas y momentos aplicados sobre el árbol de poleas.....	48
Figura 3-27: esquema de las fuerzas descompuestas en los planos XY y ZX.....	49
Figura 3-28: Captura de pantalla con resultados de la herramienta calculadora de ejes de Aitodesk Inventor	49
Figura 3-29: Estructura principal de la máquina en vista dibujo antes del análisis	50
Figura 3-30: F.E.A. de la estructura principal, esfuerzos equivalentes de Von Mises.....	51
Figura 3-31: F.E.A. de la estructura principal, deformaciones.....	52
Figura 3-32: Vista en CAD de la máquina Ordenadora completa.....	53

Figura 3-33: Bloque de guías en faja puente	54
Figura 3-34: Vista en CAD de la Faja Puente completa.....	55
Figura 3-35: Vista superior de plataforma con bandeja retráctil	57
Figura 3-36: Guías circulares de plataforma y deslizamiento	58
Figura 3-37: Geometría básica del gancho retráctil.....	59
Figura 3-38: Bloque deslizante.....	59
Figura 3-39: Cilindro neumático reciprocante y bloques deslizantes.....	60
Figura 3-40: Detalle de las barras de unión y ganchos.....	60
Figura 3-41: Gráficas según el método europeo para la verificación al pandeo	61
Figura 3-42: Vista en CAD del sistema de transporte de bandejas.	62
Figura 3-43: Vista en alambre de sistema de transporte y llenado de bandejas	63
Figura 3-44: Dibujo de bandeja asegurada	63
Figura 3-45: Sistema de expulsión de bandejas llenas	65
Figura 3-46: Vista en CAD de la máquina Llenadora de Bandejas completa.....	66
Figura 3-47: Sistema neumático en máquina llenadora.....	67
Figura 3-48: programación en ladder	69
Figura 5-1: Esquema general del proceso.....	79
Figura 5-2: Estructura de máquina ordenadora con soportes de guías siendo ensamblados	80
Figura 5-3: Montaje de polines motrices, de retorno y de cabeza en máquina ordenadora .	81
Figura 5-4: Detalle de estrellas divisoras y de guías terminadas.....	81
Figura 5-5: Pilas atravesando un par de estrellas divisoras 1-1.....	82
Figura 5-6: Primeras máquinas terminadas y en preparación para las pruebas con pilas. ...	82
Figura 5-7: Estructura de llenadora lista para ensamblaje.....	83
Figura 5-8: Conjunto de fajas auxiliares acopladas a máquinas centrales, pruebas con pilas.	83
Figura 5-9: Mecanismo de salida de bandejas llenas.	84
Figura 5-10: Ingreso de aire comprimido al conjunto: válvula manual 3/2 con enclavamiento y FRL.....	84
Figura 5-11: Distribuidor de potencia en máquina ordenadora, nótese el detalle de las poleas tensoras.	85
Figura 5-12: Vista del ingreso de pilas y su salida a través de la faja auxiliar 3.....	85

Figura 5-13: Faja auxiliar 1, ingreso de pilas desde la línea de producción.....	86
Figura 5-14: Detalle del cilindro neumático de elevación de plataforma en máquina llenadora	86
Figura 5-15: Rack de válvulas neumáticas solenoide 5/2, con reguladores de caudal para controlar la velocidad de los cilindros neumáticos.....	87
Figura 5-16: Tablero de control electrónico, fuente, PLC y contactores.	87
Figura 5-17: Vista del proceso de llenado de bandejas, se muestra el ingreso y salida.	88
Figura 5-18: Vista del tablero de mando; botones, luces indicadoras, selectores de modo manual/automático y hongos de emergencia.....	89
Figura 5-19: El autor de la tesis, junto con las máquinas construidas.....	90



Lista de símbolos

α : Ángulo de giro de brazos de desvío en estudio geométrico de máquina ordenadora.

a_1 y a_2 : Constantes de la recta de aproximación.

A_s : Área de la sección de las barras de unión.

C_{1c} : Factor de servicio.

C_{1f} : Factor de servicio.

C_{20} : Caudal de aire en válvula solenoide 5/2 de los C.N. DSNU-20-160-P.

C_{32} : Caudal de aire en válvula solenoide 5/2 de los C.N. DNG-32-xx-PPV-A.

C_{aire} : Caudal total de aire máximo en máquina llenadora.

C_{carg} : Factor de influencia del tipo de carga

C_s : Factor de influencia del acabado superficial

C_t : Factor de influencia del tamaño.

C_{temp} : Factor de influencia de la temperatura

D_{ec} : Longitud desarrollada de la cadena en mm.

d_b : Distancia entre brazos de desvío en estudio geométrico de máquina ordenadora.

d_{bfp} : Distancia aproximada del buffer en faja puente.

d_e : Diámetro de émbolo

d_p : Diámetro de paso en las poleas de mayor diámetro.

d_s : Diámetro primitivo del sprocket solidario al árbol de poleas.

d_{w1} : Diámetro de polea pequeña.

d_{w2} : Diámetro de polea grande.

- d : Diámetro del árbol de poleas resultado del cálculo.
- D : Distancia entre guías laterales en estudio geométrico de máquina ordenadora
- E : Módulo de elasticidad del acero AISI-SAE 1045.
- F_1 : Fuerza de tracción sobre el árbol de poleas debida a una de las fajas trapecoidales.
- F_{1y} : Componente de la fuerza F_1 en el eje y
- F_{1z} : Componente de la fuerza F_1 en el eje z
- F_2 : Fuerza de tracción sobre el árbol de poleas debida a la cadena de transmisión.
- F_{2y} : Componente de la fuerza F_2 en el eje y
- F_{2z} : Componente de la fuerza F_2 en el eje z
- FS_f : Factor de seguridad a la fatiga.
- FS_p : Factor de seguridad al pandeo
- FS_r : Factor de seguridad a resistencia mecánica.
- F_c : Fuerza de compresión en cada una de las barras de unión.
- F_{emb20r} : Fuerza del pistón de los cilindros neumáticos DNG-32-xx-PPV-A en el retorno.
- F_{emb20s} : Fuerza del pistón de los cilindros neumáticos DNG-32-xx-PPV-A en la salida.
- F_{emb32r} : Fuerza del pistón de los cilindros neumáticos DNG-32-xx-PPV-A en el retorno.
- F_{emb32s} : Fuerza del pistón de los cilindros neumáticos DNG-32-xx-PPV-A en la salida.
- F_{max} : Fuerza máxima admisible de compresión en las barras de unión.
- f_{max} : Deflexión lineal máxima.
- FS : Factor de seguridad recomendado en pandeo.
- I_g : Momento de inercia de las barras de unión.

i_{ct} : Relación de transmisión fajas trapezoidales.

i_g : Radio de giro

k : Constante de longitud equivalente.

L_b : Longitud de las barras de unión.

L_{c20} : Longitud del cilindro neumático DSNU-20-160-P.

$L_{c32.1}$: Longitud del cilindro neumático DNG-32-260-PPV-A

$L_{c32.2}$: Longitud del cilindro neumático DNG-32-50-PPV-A

L_{cad} : Longitud de cadena en eslabones redondeada al inmediato par superior.

L_p : Longitud de pandeo equivalente.

L : Longitud del árbol de poleas.

m_{pila} : Masa promedio de una pila

$mass$: masa del árbol de poleas.

n_{ap} : rpm árbol de poleas.

n_m : rpm motor eléctrico de ordenadora

n_{pp} : rpm polea pequeña o conducida.

P_{aire} : Presión de aire en el caso crítico.

P_m : Potencia estimada por sobredimensionamiento en motor eléctrico de ordenadora

P_{selc} : Potencia de selección de cadena.

Pas : Paso de la cadena.

r_{cn} : Recorridos de cilindros neumáticos sumados para completar un ciclo.

r_{prl} : Recorrido de pilas en receptáculo.

t_{lr} : Tiempo de llenado del receptáculo.

T_p : Torque en cada una de las poleas de mayor diámetro.

T_s : Torque en el sprocket solidario al árbol de poleas.

t_{ac} : Tiempo para actuadores.

t_{ab} : Tiempo de acumulación en buffer.

v_{min} : Velocidad mínima para satisfacer tiempos.

v_6 : Velocidad de las pilas a la salida de la ordenadora.

W_{plat} : Peso de la plataforma de elevación.

Z_{p1} : Número de dientes del sprocket conducido.

Z_{p1} : Número de dientes del sprocket motriz.

β_K : Factor de influencia de concentración de esfuerzos.

φ_{vast32} : Diámetro del émbolo en los cilindros neumáticos DNG-32-xx-PPV-A

φ_{vast20} : Diámetro del émbolo en los cilindros neumáticos DSNU-20-160-P.

φ_{emb32} : Diámetro del émbolo en los cilindros neumáticos DNG-32-xx-PPV-A

φ_{emb20} : Diámetro del émbolo en los cilindros neumáticos DSNU-20-160-P.

φ : Mayor valor de deflexión angular.

\varnothing_{pila} : Diámetro de una pila.

λ_e : Factor de esbeltez.

σ_{red} : Máximo esfuerzo reducido.

σ_b : Máximo esfuerzo flector.

σ_{mc} : Esfuerzo medio de carga.

σ_a : Esfuerzo alternante

σ_{F2} : Esfuerzo a la fluencia del acero AISI-SAE 1045.

σ_F : Esfuerzo de fluencia en el acero AISI-SAE 4340

σ_B : Límite de fluencia del acero AISI-SAE 4340.

σ_{Alt} : Límite de fatiga del material.

σ_A : Amplitud del esfuerzo para vida infinita

τ_S : Máximo esfuerzo cortante.



Introducción

La propuesta de este tema de tesis nace a partir de la necesidad de la planta de pilas de Panasonic Peruana S. A. de automatizar parte del proceso de embalaje de producto terminado de la línea de fabricación de pilas modelo UM-1, más conocida en el mercado como “Pilas D”. El producto final consta de un par de pilas pre-empacadas en una película de plástico termo contraído de 0.03mm de espesor, las cuales se toman manualmente y se colocan en bandejas de cartón que son previamente formadas en una máquina ubicada en las cercanías que alimenta una faja transportadora que actúa como almacén temporal. Paralelamente y dependiendo del pedido, dos a tres empleados toman el producto y lo colocan en las bandejas que pasan luego a una máquina de plastificado para finalmente ser encajonadas y embaladas para su transporte hacia el consumidor.

El diseño y posterior implementación de esta máquina permitirá trasladar a los empleados hacia otros procesos que requieran labores manuales o trabajos de mayor complejidad y que además no involucren acciones repetitivas que han producido problemas de salud en los trabajadores. Finalmente y no menos importante es que se evitará una manipulación brusca del producto que es fuente de mermas.

El objetivo de esta tesis es diseñar los sistemas mecánicos para poder suplir la necesidad mencionada, lo cual incluye realizar los cálculos que sean necesarios para dimensionar los componentes, elaborar los planos de ensamblaje y despiece para su construcción (la cual está fuera del alcance de la tesis) y finalmente realizar la estimación de materiales, a partir de la cual la empresa solicitará cotizaciones a proveedores externos.

Capítulo 1

Preliminares y estado de la tecnología

1.1 Producto principal

Se procederá inicialmente a describir las características de las pilas UM-1 conocidas comúnmente en el mercado como pilas tipo “D”. Se utilizan bandejas de cartón con tres configuraciones distintas correspondientes a los tres tipos de presentación del producto y que son: 12, 20 y 24 unidades.



Figura 1-1: Bandejas de 12 y 20 pilas



Figura 1-2: Bandeja de 24 pilas

Como se puede observar en las Figuras 1-1 y 1-2, estas tres presentaciones presentan varias características en común, lo que se puede aprovechar para el ordenamiento de las pilas y el posterior llenado de las bandejas de cartón. Básicamente se pueden agrupar y ordenar en

filas verticales, de tal manera que intercambiando algunos componentes o moviendo un determinado número de guías en la máquina resultante se pueda obtener el tipo de configuración deseada tal como se muestra en la Figura 1-3.

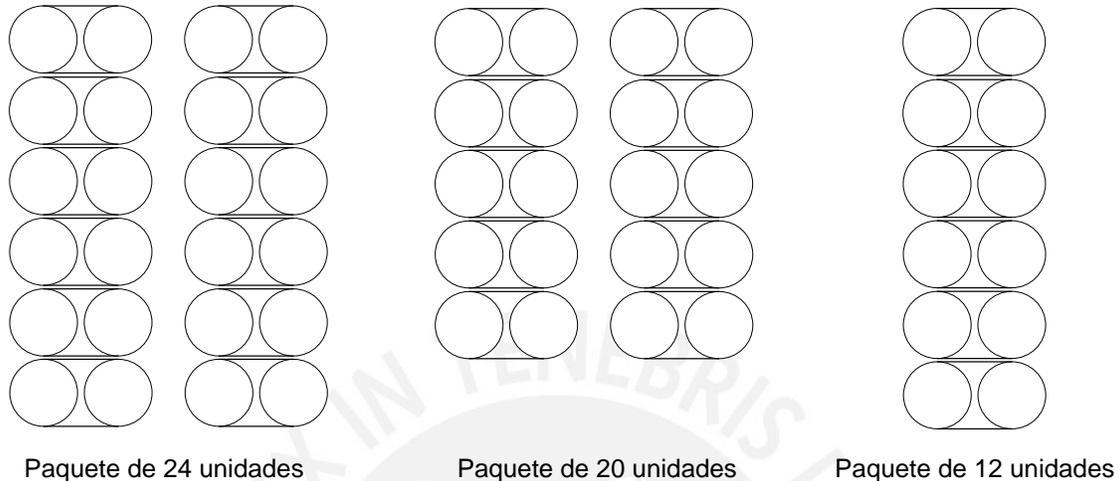


Figura 1-3: Diferentes presentaciones comerciales de las pilas.

Obsérvese que la presentación de 20 unidades se obtiene eliminando una de las filas horizontales (4 pilas), mientras que la de 12 unidades se obtiene eliminando una de las verticales (12 pilas). Puede identificarse que la forma básica a tomar para el desarrollo del proyecto será la correspondiente a una bandeja de 24 pilas que se presenta en la Figura 1-4.

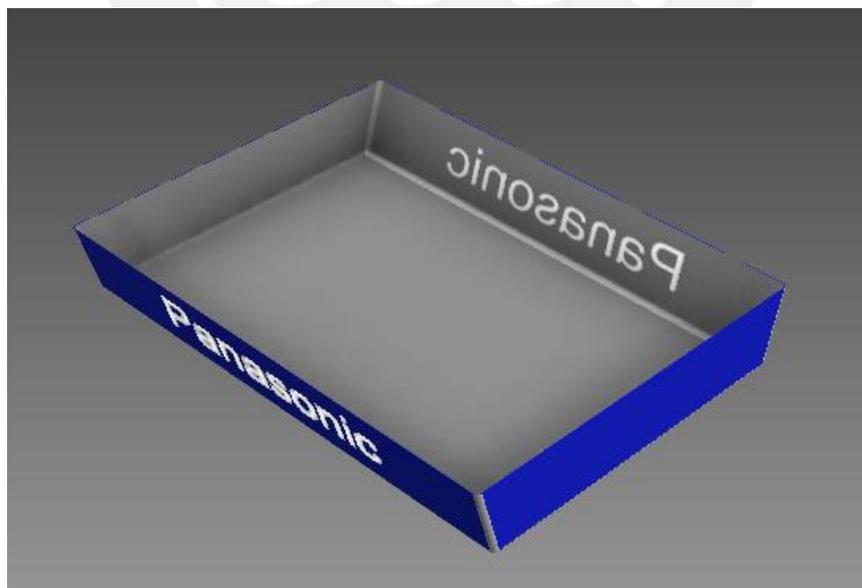


Figura 1-4: Modelo 3D de la bandeja de cartón de 24 unidades

1.1.1 Presentación inicial del producto

El producto debería llegar a la máquina envuelto en una película plástica de film termocontraído (de espesor 0.03mm) en pares a una razón variable según el tipo de producción del día¹. Se extrae a partir de mediciones in situ y una posterior confirmación en el departamento de producción que el número de unidades que se deberá manipular que es en promedio 580 pilas por minuto, ver Figura 1-5 en la que se muestra la presentación típica de un par de pilas UM-1.



Figura 1-5: Presentación típica de pilas UM-1

1.1.2 Máquina formadora de bandejas

El formador de bandejas (Figura 1-6) está constituido por un sistema electro neumático que toma trozos de cartón (llamados blanks) por medio de ventosas de vacío y un mecanismo de palancas accionado por un cilindro neumático. Luego, a través de un sistema compuesto por dos cilindros neumáticos adicionales, pliega los bordes de los blanks que están precortados añadiendo además unas gotas de silicona fundida en las alas laterales para asegurar que la nueva bandeja conserve su forma. Existen dos troqueles para formar las bandejas de 20 y 24 unidades respectivamente y son intercambiados según el requerimiento de la producción; por otro lado las bandejas de 12 unidades se forman a mano a partir de plantillas preformadas adquiridas a un proveedor externo. El sistema a diseñar debe mantener la máquina formadora y sus troqueles, así como permitir el ingreso de bandejas de 12 unidades formadas manualmente.

¹ Fuente: Oficina de producción , planta de pilas Panasonic Peruana



Figura 1-6: Formadora a punto de plegar cartón

1.1.3 Dimensiones de las pilas

Las dimensiones de las pilas se muestran en la Figura 1-7, cada pila tiene una masa promedio de 56g:

$$m_{pila} = 56 * 10^{-3} kg$$

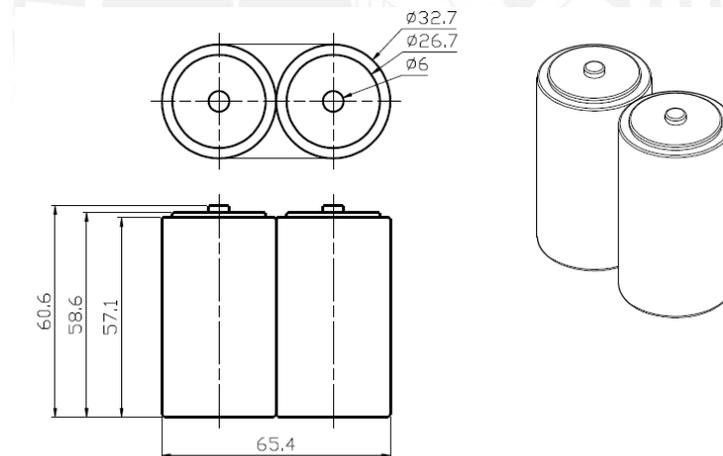


Figura 1-7: Dimensiones de las pilas

1.2 Algunas patentes encontradas de dispositivos que realizan funciones similares

1.2.1 Máquina encajonadora de latas (Can boxing machine) [1]

Se utiliza para el encajonado de productos enlatados o similar geometría en filas dentro de cajas de cartón o de algún material parecido, de tal forma que las latas que ingresan tienen necesariamente que salir luego de un tiempo sin el requisito de tener una cantidad que actúe como buffer (es decir teniendo un número de productos al interior con el objeto de

compensar intermitencias en la producción) al interior de la máquina. Esto se debe a que en la mayoría de líneas de productos enlatados se suele almacenar latas sin etiquetar por un tiempo prolongado hasta que se presente un pedido o para tenerlas en cuarentena. Cuando se encajonan debe hacerse en bloque y siguiendo preferentemente un orden definido por el número de lote y la fecha de producción.

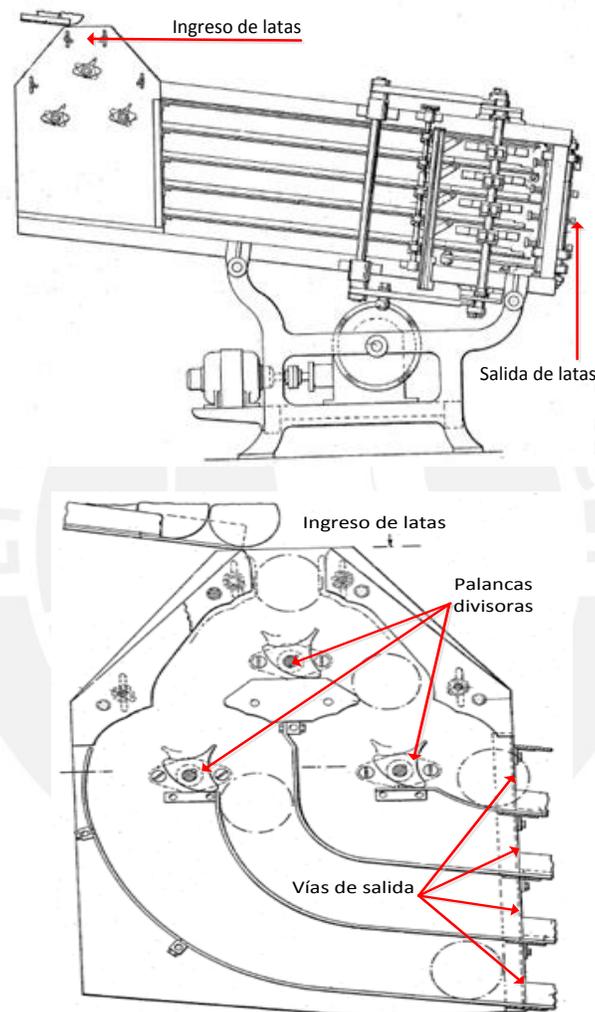


Figura 1-8: Dispositivo para encajonar latas o similares y detalle de palancas divisoras

Se destaca el hecho de que las latas son cilíndricas al igual que las pilas y para efectos del proceso de empaque pueden tratarse en forma similar, especialmente por el uso de las pequeñas palancas divisoras de flujo que son accionadas solamente por la gravedad. Se bloquea la primera vía al pasar la primera lata, abriendo la segunda vía y, al pasar la segunda lata, la primera vía es abierta a la vez que se cierra la segunda.

1.2.2 Dispositivo de apilamiento y encajonado (Stacking and boxing apparatus) [2]

Es una máquina que sirve para encajonar productos en presentaciones regulares de forma de paralelepípedo rectangular, tales como cajas de jabón o cajas conteniendo conservas. El funcionamiento de este dispositivo está basado en una sincronización mecánica de seis sistemas de cadenas con varios accesorios adosados a los eslabones. Estos eslabones están distanciados de tal forma que se logra la sincronización cinemática de los seis sistemas. El conjunto permite manipular el producto alineándolo en primer lugar en forma vertical a partir de una sola fila horizontal y luego introduciéndolo en las cajas grandes utilizando un mecanismo de dedos de arrastre. Los detalles pueden ser apreciados con mayor detenimiento en las figuras 1-9 y 1-10.

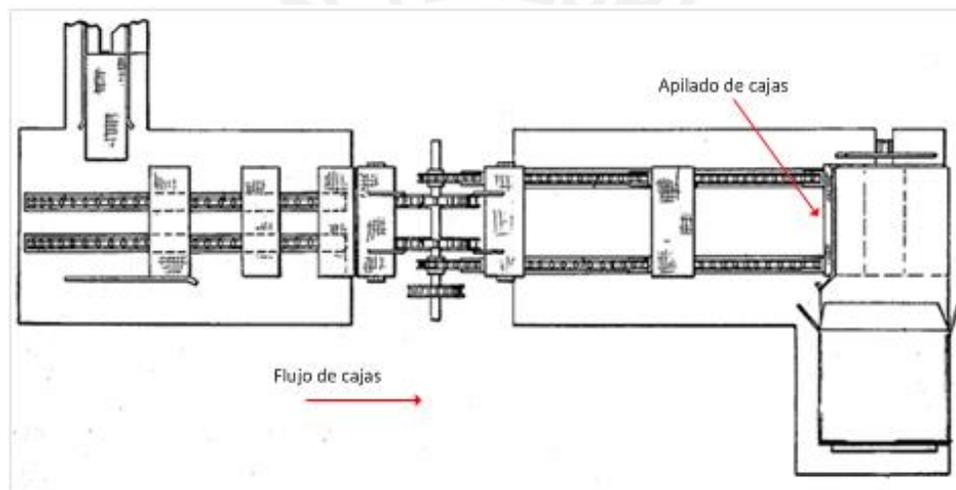


Figura 1-9: Vista superior de máquina encajonadora

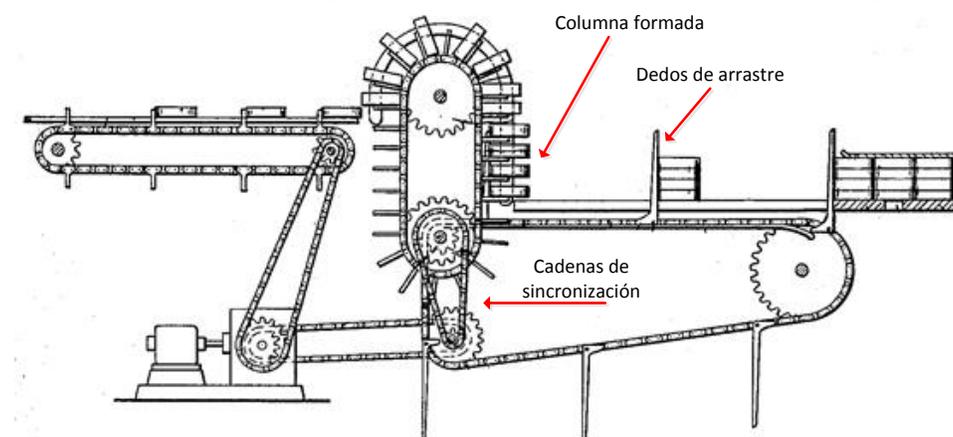


Figura 1-10: Vista frontal de máquina encajonadora

Capítulo 2

Concepto de solución

2.1 Lista de exigencias

La lista de exigencias resume los requerimientos de la necesidad y es el documento en base al cual se realiza el diseño y hace las veces de contrato entre el diseñador y el cliente, pues registra con aprobación de ambas partes las especificaciones solicitadas por este último. Se detallan los alcances que tendrá el proyecto y pone por escrito que el diseñador ha comprendido las necesidades que deberá satisfacer.

En el encabezado de la lista de exigencias se coloca el nombre del cliente para diferenciar esta lista de otras que se pudieran estar realizando en paralelo. Los diferentes conceptos que se analizan se presentan en los cuatro campos que se explican a continuación:

- Fecha de modificación: Registro a lo largo del tiempo de las variaciones realizadas en los ítems de la lista a lo largo de las reuniones periódicas entre el diseñador y el cliente.
- Deseo o exigencia: aquí se enfatiza si el ítem tratado es una exigencia que debe cumplirse de todas maneras o si es solamente algo deseable pero no esencial en la futura máquina. En la tabla se especifica deseo o exigencia a través de las letras D para deseo o E para exigencia según sea el caso.
- Descripción: Se pormenorizan las características por cada ítem que deberá considerarse durante el diseño y deberá poseer la máquina (o las máquinas), ya sea durante el montaje o en operación. La elección de los títulos de este campo depende directamente del diseñador, pues es quien debe evaluar de antemano las diferentes áreas del conocimiento que intervendrán durante el desarrollo del proyecto.
- Responsable: Se menciona a la persona responsable de que la característica (sea deseo o exigencia) sea transmitida al diseño.

Tabla 2-1: Lista de exigencias

LISTA DE EXIGENCIAS			Edición: Rev2
PROYECTO	Diseño de una máquina empacadora automática de pares de pilas modelo UM-1 en presentaciones de 12, 20 y 24 unidades		Fecha: 29/04/10
			Revisado: B.B.-C.V.
Cliente: PANASONIC PERUANA S.A.			Elaborado: C.E.C.A.
Fecha (Cambios)	Deseo o exigencia	Descripción	Responsable
28/04/10	E	<p>FUNCIÓN PRINCIPAL:</p> <p>Empacar automáticamente, solo con la supervisión esporádica de un operario, pares de pilas en film termo-contraído modelo UM-1 en presentaciones de bandejas de cartón de 12, 20 y 24 unidades</p>   	C.E.C.A.

13/04/10	E	<p>GEOMETRÍA:</p> <p>El equipo deberá poder ser instalado en el actual espacio destinado para el llenado manual de bandejas, permitiendo el tránsito de los operarios y no interfiriendo con la disposición y procesos de la planta. Adicionalmente, el equipo deberá ser lo suficientemente compacto y robusto como para asegurar un costo razonable y una adecuada resistencia mecánica en uso continuo. Por otro lado, la geometría de las pilas y de las bandejas de cartón utilizadas, está completamente definida y controlada por la compañía; por lo que el diseño debe adaptarse a estas especificaciones. Los distintos procesos deben realizarse de preferencia en forma modular para facilitar su transporte y labores de mantenimiento</p>	C.E.C.A.
09/04/10	E	<p>CINEMÁTICA:</p> <p>Básicamente, se presentarán movimientos de traslación de los paquetes de pilas a través de las distintas partes del equipo, desde y hacia otros procesos a una razón de 580 pilas por minuto. Se desea además obtener velocidades que permitan seguir el ritmo de trabajo del resto de la línea de producción, el equipo no debería constituir en ningún caso un cuello de botella al momento de acoplarse a línea.</p>	C.E.C.A.
09/04/10	E	<p>FUERZAS:</p> <p>El proceso deberá tener la suficiente fuerza como para transportar el peso de las pilas (aproximadamente 56g por cada una) a una velocidad adecuada. Las máquinas deben soportar las distintas deformaciones producidas por cambios</p>	C.E.C.A.

		de temperatura y esfuerzos mecánicos inherentes a los componentes como motores eléctricos y elementos de transmisión. Se deben evitar los golpes bruscos a las pilas. En caso de utilizar actuadores neumáticos, se cuenta con suministro de aire en planta a una presión máxima de 8 bar y una mínima de 5 bar	
09/04/10	E	ENERGÍA: La máquina será accionada mediante energía eléctrica y la energía disponible en un circuito de aire comprimido. Los elementos de rodadura deberán permitir una baja fricción para evitar pérdidas por rozamiento. La tensión a utilizar para la selección de motores debe ser 220 V a 60 Hz en un circuito trifásico.	C.E.C.A.
09/04/10	E	MATERIAL: El material fundamental utilizado por el equipo será un paquete pre-embalado de dos pilas UM-1 D en film de PVC termocontraído de 0.3mm de espesor. Adicionalmente se tendrá una alimentación constante de bandejas de cartón que variará de acuerdo a la producción deseada. Las guías a usar para transportar los paquetes no deberán dañar la película protectora y deberán ser resistentes a un uso continuo. Se recomienda el uso de barras de acero inoxidable de 20 x 5 mm de sección.	C.E.C.A.
09/04/10	D	SEÑALES (DESEOS): Los controles deberán ser entendibles por cualquier persona, de tal manera que un operario no muy entrenado pueda utilizar la maquina con facilidad. Además deberá contar con una señal de parada de emergencia visible y que el	C.E.C.A.

		<p>mecanismo asociado pueda ser accionado por cualquier persona, sea entrenada o no.</p>	
	E	<p>SEÑALES (EXIGENCIAS):</p> <p>Deberán existir indicadores de los parámetros fundamentales con tableros de lectura o luces indicadoras. El tablero eléctrico de control deberá ser de fácil acceso, además de contar con controles similares a los demás que se usan en planta y siguen un patrón estandarizado:</p> <p>AUTO: Modo automático INCH: da un paso del proceso OFF: Apagado MANUAL: Modo manual</p> <p>Se contará también con una señalización de tres colores que indique que la máquina se encuentra operando, en Stand By y detenida. Se deberá también mostrar un diagrama de la máquina para su operación.</p>	C.E.C.A.
13/04/10	E	<p>SEGURIDAD:</p> <p>El sistema deberá ofrecer las medidas mínimas de seguridad para el o los operarios que lo manipulen. Se deberán cumplir las normas de seguridad industrial utilizadas en planta.</p> <p>Los componentes neumáticos deben ser seleccionados adecuadamente para evitar accidentes o golpes muy fuertes que puedan poner en riesgo a los operarios o a máquinas adyacentes.</p> <p>El sistema debe poder ser controlado y supervisado desde una posición</p>	

		ergonómica que evite cualquier complicación en la salud de los operarios.	
13/04/10	E	MANTENIMIENTO: La máquina deberá poder ser desarmada para labores de mantenimiento sin que se deban realizar maniobras complejas, esto incluye un adecuado diseño de las guardas y carcasas	C.E.C.A.
13/04/10	D	USO: Se deberá evitar ruidos molestos, el mayor nivel de ruido estará por debajo de 60 Db, el diseño deberá incluir medidas preventivas ante la corrosión. Además las guías de las pilas deben estar hechas de acero inoxidable pues cualquier traza de óxido puede influir en el tiempo de duración de las pilas en anaqueles.	C.E.C.A.
13/04/10	E	FECHA DE ENTREGA: El diseño se entregará en Mayo de 2011	C.E.C.A.
13/04/10	E	COSTO: El precio no deberá superar los 45 000 dólares, el costo será dividido en dos áreas: Costo de diseño con un máximo de 10000 dólares Costo de máquina, con un máximo de 35000 dólares Costo total máximo presupuestado: 45000 dólares	C.E.C.A.

2.2 Determinación de la secuencia de operaciones

Con el objetivo de solucionar el problema se han estudiado los pasos a seguir para lograr colocar las pilas en las bandejas de cartón. Se presenta a continuación una lista con la secuencia de operaciones necesarias para completar el proceso, iniciando desde la salida de pilas pre empacadas desde la línea de producción, con las bandejas de pilas ya formadas ingresando por otro lado y finalmente las bandejas de cartón llenas con pilas saliendo por el otro extremo:

- Recibir pilas
- Ordenar pilas
- Entregar pilas
- Recibir bandejas
- Alinear bandejas
- Llenar bandejas
- Despachar bandejas llenas

2.2.1 Parámetros del sistema

El proceso técnico que es inherente a la solución contempla tres parámetros básicos, materia, energía y señales.

2.2.2 Parámetros de entrada

- Señales: Activación y control: Iniciados por el operario, se tiene también un modo de funcionamiento automático.
- Energía: Eléctrica: Se suministrará electricidad a los motores de las máquinas y aire comprimido para los sistemas neumáticos
- Materia: Paquetes de pilas de dos unidades pre-empacadas en film termo-contraído, bandejas en tres presentaciones de 10, 20 y 24 unidades. Alimentadas a una razón de 24 unidades por minuto

2.2.3 Parámetros de salida

- Señales: Señales de encendido, apagado y de estado, que indiquen si las máquinas se encuentran inactivas, además de indicadores de las distintas variables

- Energía: Vibraciones debido al movimiento de las máquinas, calor producido por el motor de la máquina, el rozamiento entre las distintas partes mecánicas y ruido debido a los mecanismos, el motor de la máquina y los actuadores neumáticos
- Materia: Aire residual utilizado por los sistemas neumáticos, pares de pilas colocadas en sus respectivas bandejas de cartón y listas para ser embolsadas en la siguiente máquina de la línea de producción.

2.3 Estructura de funciones y esquema de caja negra

Para esta fase del proyecto se ha seguido un proceso de abstracción tomando los problemas individualmente, clasificándolos, agrupándolos y respondiendo a ellos a través de la definición de funciones de la máquina, una vez planteadas estas funciones, se propuso alternativas de solución para cada función. Seguidamente y con la ayuda de una matriz morfológica de Zwicky, se combinaron las alternativas de solución a cada una de las funciones y se escogieron cuatro combinaciones, las cuales han sido comparadas objetivamente con criterios técnicos y económicos comunes con puntajes asignados siguiendo el procedimiento según la norma VDI 2225 y el manual de Métodos de diseño en ingeniería mecánica [3] para encontrar la solución óptima.

- Estructura de Funciones y Concepto de Solución
- Parte del estado de la Tecnología en base a la cual se establecen los procesos

En base al primer punto de la lista de exigencias del proyecto (Función Principal), es que se establece el esquema de caja negra que a su vez deberá satisfacer completamente los requerimientos a los que se someterá a la máquina cuando entre en funcionamiento.

Tomando en cuenta a la secuencia de operaciones se fijan los procesos técnicos (pasos necesarios para cumplir el objetivo). El campo de fase del proceso técnico está en función a la etapa del proceso a la cual pertenece cada secuencia, se identifican siete fases, que son definidas en orden lógico según la secuencia de operaciones.

El Tipo de proceso da cuenta de las limitaciones y alcances de la máquina, así como del principio de accionamiento de cada operación, ya sea éste mecánico, eléctrico o manual. En este caso, al requerirse un diseño totalmente automático, todos los accionamientos son mecánicos.

Tabla 2-2: Funciones de la máquina

Función:	Fase del proceso técnico	Tipo de proceso	Comentarios
Recibir pilas	Recepción	Mecánico	Las pilas serán entregadas en una faja transportadora alineadas, por lo que el mecanismo deberá adaptarse a este hecho
Ordenar pilas	Preparación	Mecánico	Las pilas deberán ser ordenadas para ser colocadas en las diferentes presentaciones
Entregar pilas	Recepción	Mecánico	Las pilas una vez ordenadas deberán ser entregadas a algún dispositivo que las retenga hasta el siguiente proceso.
Alimentar bandejas	Recepción	Mecánico	Las bandejas se entregarán ya formadas, actualmente la planta tiene una máquina formadora con troqueles para las presentaciones de 20 y 24 pilas, las bandejas de 12 se alimentan manualmente
Alinear bandejas	Preparación	Mecánico	Las bandejas deberán ser situadas en una forma que facilite la colocación de las pilas
Llenar bandejas	Llenado	Mecánico	Se colocan las pilas dentro de la bandeja
Despachar bandejas llenas	Despacho	Mecánico	Se envían las bandejas con pilas hacia el siguiente proceso de planta.

Se muestra el diseño en un esquema de caja negra, realizado en base a la estructura de funciones y al flujo de materia, energía y señales.

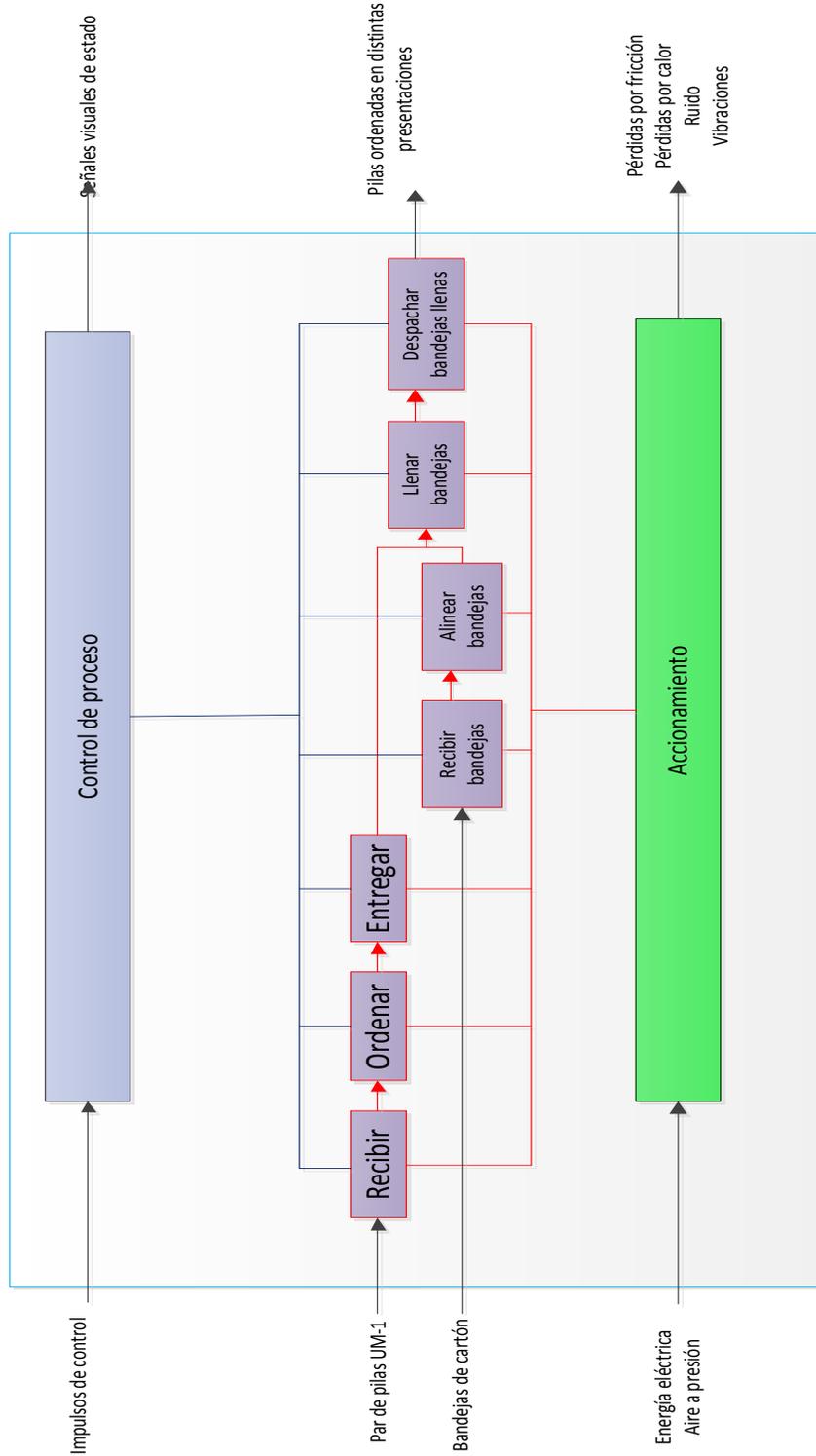
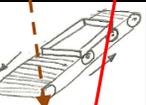
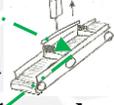
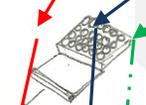
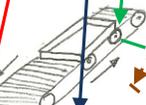


Figura 2-1: Esquema de caja negra del sistema

2.4 Matriz morfológica

Tabla 2-3: Matriz morfológica

MATRIZ MORFOLÓGICA				
Diseño de una máquina empacadora automática de pares de pilas modelo UM-1 en presentaciones de 12, 20 y 24 unidades				
Funciones	PORTADORES DE FUNCIONES (Alternativas de efectos y/o de principios de solución)			
	1 Recibir pilas	 Carril + faja		
2 Ordenar pilas	 En líneas	 En escalones	 En filas horizontales	
3 Recibir bandejas	 Solo con faja transportadora	 Elevador neumático		
4 Alinear bandejas	 Separador común	 Separadores + faja		
5 Llenar bandejas	 Bandeja retráctil	 Electroimán		
6 Despachar bandejas llenas	 Faja transportadora			
	CONCEPTO DE SOLUCIÓN N° 1	CONCEPTO DE SOLUCIÓN N° 2	CONCEPTO DE SOLUCIÓN N° 3	CONCEPTO DE SOLUCIÓN N° 4

2.5 Proyectos preliminares

En base a la matriz morfológica, se procede a dibujar a mano alzada los proyectos preliminares resultantes, los cuales se muestran a continuación.

2.5.1 Alternativa 1

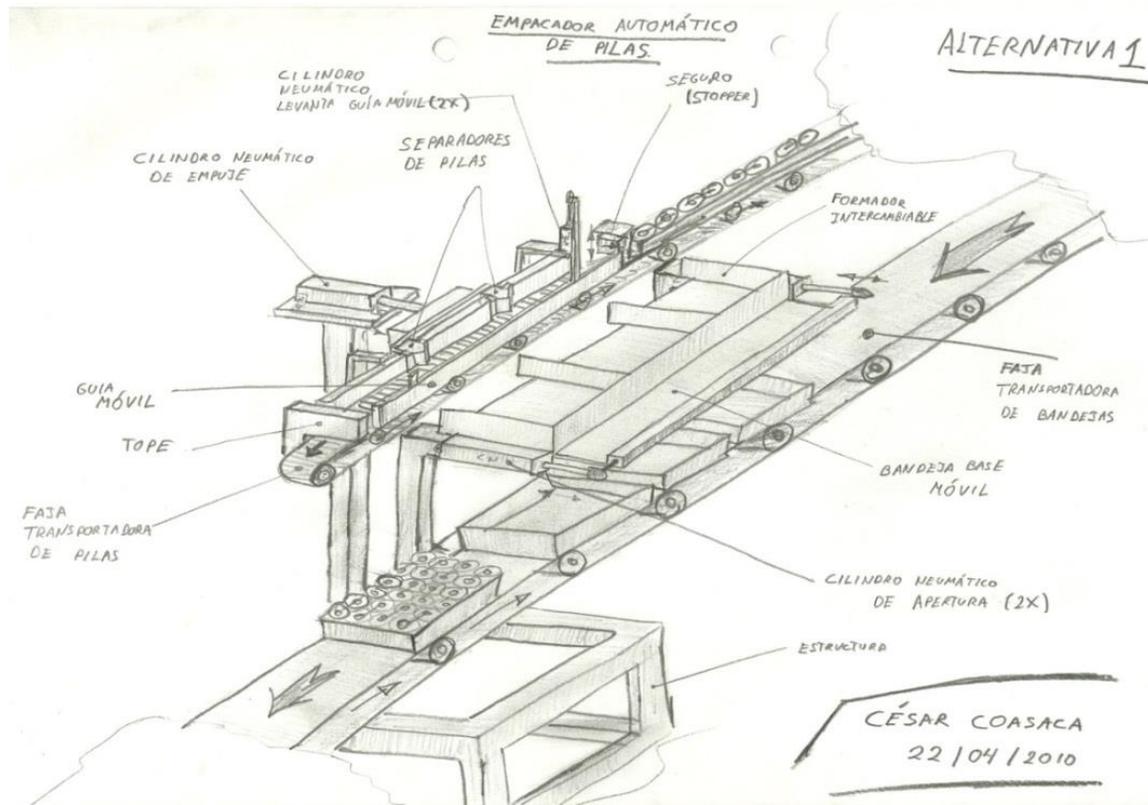


Figura 2-2: Alternativa 1

Descripción: Las pilas llegan a través de la faja con carriles laterales hasta el tope de la faja. Una vez lleno el carril, el dispositivo de parada (stopper) detiene el flujo de pilas por un tiempo muy corto, el cual comprende la duración de la salida del vástago del cilindro neumático de empuje que tiene una carrera pequeña, pues solo debe desplazar los bloques de pilas la distancia equivalente a un diámetro de pila. Una vez lleno el formador intercambiable, se baja la guía móvil con un pequeño cilindro neumático auxiliar destinado a este propósito. Una vez cerrados los formadores, se desliza la bandeja base móvil y las pilas caen hacia las bandejas de cartón que son aseguradas individualmente (lo cual no se muestra en la Figura 2-2 para facilitar la comprensión del mecanismo principal). Entre tanto se llena nuevamente la faja con carriles laterales y se repite el proceso.

2.5.2 Alternativa 2

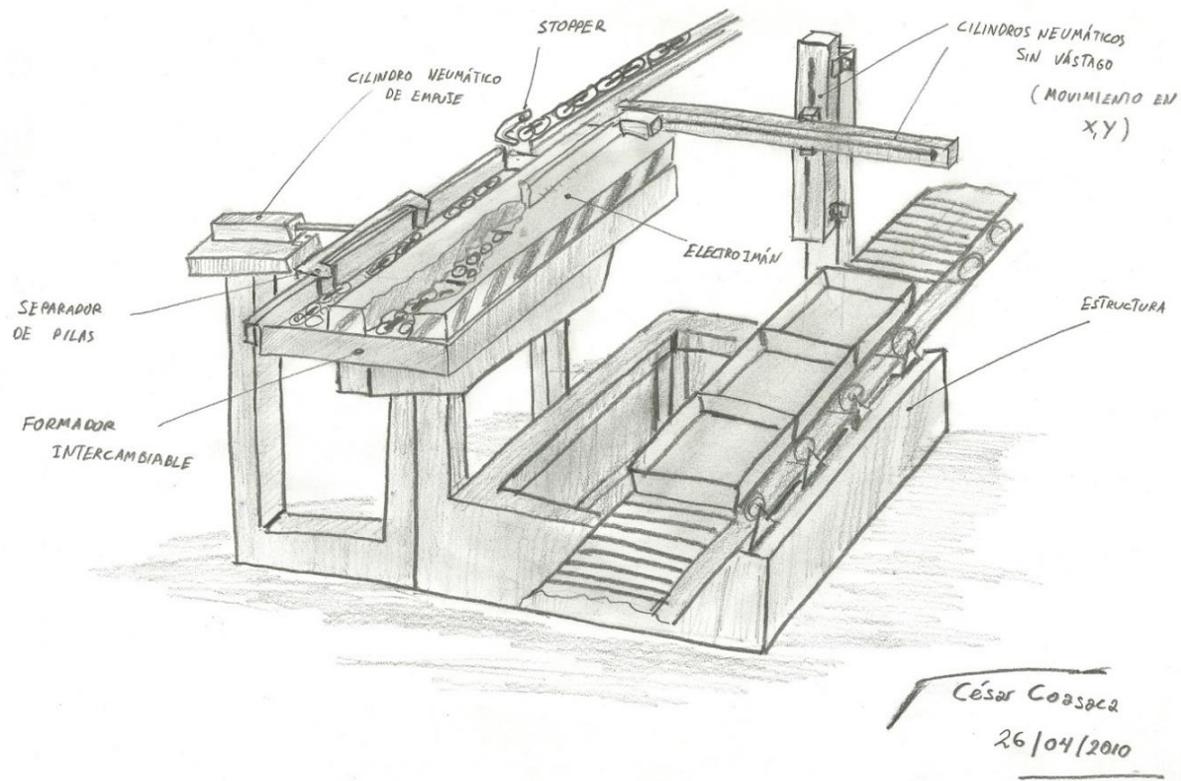


Figura 2-3: Alternativa 2

Descripción: Esta propuesta tiene un funcionamiento similar al de la alternativa 1 en lo que respecta a la alimentación de producto. Difiere en el mecanismo de llenado de las bandejas por el uso de un electroimán y un sistema de coordenadas X-Y formado por dos cilindros neumáticos sin vástago, el electroimán levanta el paquete de pilas y las desplaza hacia sus respectivas bandejas, que tienen un modo de aseguramiento también similar al de la alternativa 1.

Lo que podría ser un problema con esta solución sería que el tiempo de respuesta de los actuadores se vería incrementado por el hecho de tener que realizar tres movimientos para primero, levantar las pilas; segundo, moverlas lateralmente y tercero, bajarlas hacia las bandejas, recorriendo el camino inverso con un total de seis movimientos para completar un ciclo de trabajo.

2.5.3 Alternativa 3

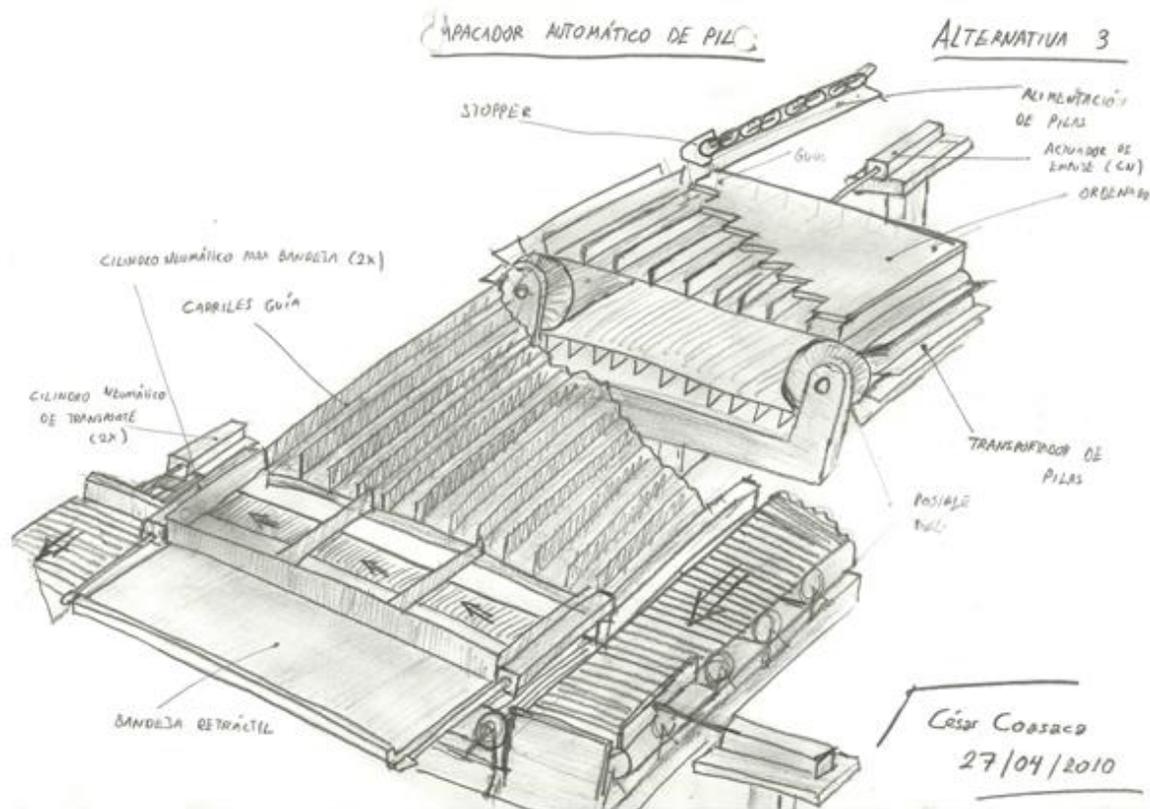


Figura 2-4: Alternativa 3

Descripción: Las pilas se alimentan de la misma manera que en las alternativas 1 y 2, también se cuenta con un dispositivo de detención del flujo de pilas o stopper. Las pilas pasan de la faja de ingreso hacia una banda con carriles laterales, se introducen seis pares de pilas por tanda. Seguidamente se accionan los rodillos de la banda para hacerla avanzar un paso. Mientras, el ordenador escalonado empuja otros seis pares de pilas hacia los carriles guía que los llevan hasta los ordenadores que tienen como en la alternativa 1 una bandeja retráctil para permitir la salida de las pilas. Este es un proceso continuo. La principal ventaja de este sistema es que el ordenado de las pilas es completamente mecánico y accionado solamente por un pistón neumático reciprocante.

2.5.4 Alternativa 4

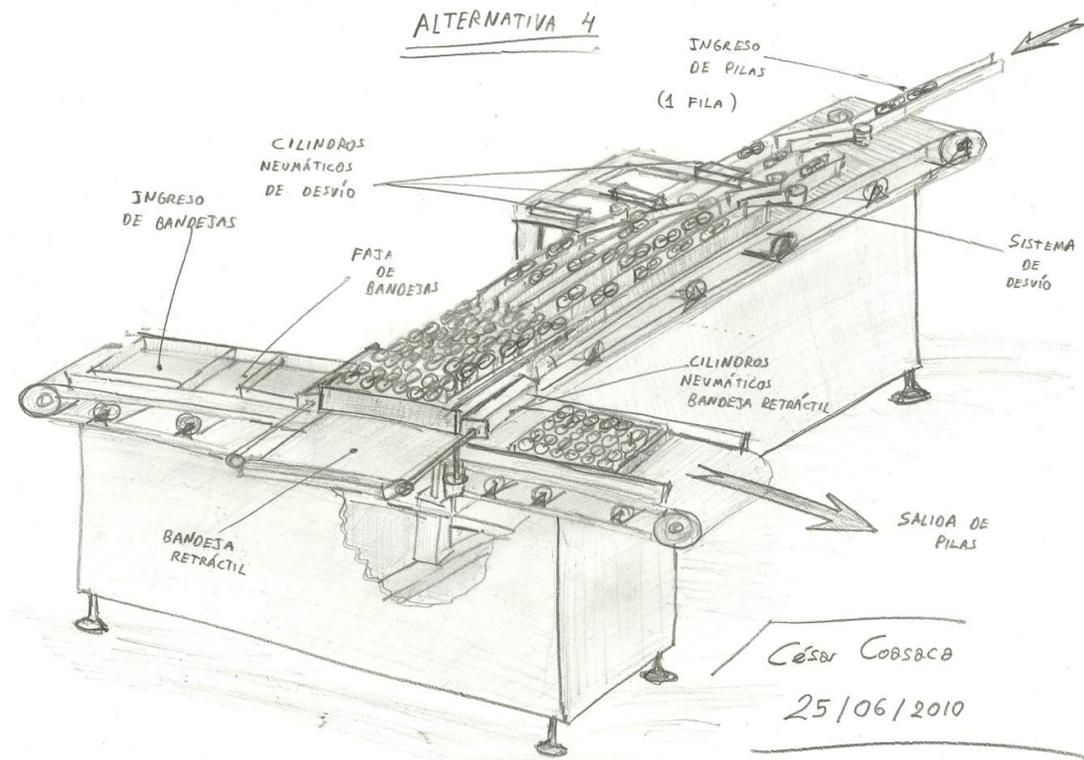


Figura 2-5: Alternativa 4

Descripción: En este caso el problema se soluciona en dos etapas, apelando al requerimiento del diseño modular de la máquina, se tendría entonces una fase de ordenamiento y otra de empaque, ambas situadas a 90° una de la otra. La ordenadora divide el flujo de pilas en 6 y en la siguiente fase, utilizando una bandeja retráctil (se retira la base) se liberan las pilas sobre la bandeja de cartón ya correctamente posicionada; el problema quedaría resuelto. Las pilas ingresan por el lado derecho en una fila así como se muestra en la Figura 2-5 para luego aparecer en seis filas e ingresar ya con la forma de la caja a la llenadora. Terminado este procedimiento, la llenadora daría paso a una nueva bandeja de cartón vacía y la ordenadora tendría también a su vez un nuevo grupo de pilas listas para ser empacadas y así el ciclo se inicia de nuevo.

Aquí cabe destacar que ambos módulos funcionan en base a fajas transportadoras que son el principal elemento motriz tanto de pilas como de bandejas de cartón. Dichas fajas se detienen y se posicionan a través de micro actuadores neumáticos que bloquean su paso mientras la faja, que ha sido pensada con una textura bastante lisa, resbala por debajo.

2.6 Evaluación técnico-económica

A continuación se realiza una evaluación técnico-económica por el método de evaluación de proyectos mecánicos según VDI 2225

Tabla 2-4: Evaluación técnica

Diseño Mecánico - Evaluación de Proyectos										Proyecto de tesis	
Valor Técnico (Xi)											
Proyecto: Automatización del llenado de pilas en bandejas de cartón											
p : puntaje de 0 a 4 (Escala de valores según VDI 2225) 0 = No satisface, 1 = Aceptable a las justas, 2 = Suficiente, 3 = Bien, 4 = Muy bien (ideal) g : es el peso ponderado y se da en función de la importancia de los criterios de evaluación.											
Criterios de evaluación para diseños en fase de conceptos o proyectos											
Variantes de Concepto/Proyectos			Solución 1		Solución 2		Solución 3		Solución 3		
			S1		S2		S3		S4		
Nro	Criterios de Evaluación	g	p	gp	p	gp	p	gp	p	gp	
1	Buen uso de la fuerza o energía	4	4	16	3	12	4	16	4	16	
2	Seguridad	4	4	16	4	16	4	16	4	16	
3	Rapidez	4	3	12	2	8	4	16	4	16	
4	Estabilidad	4	3	12	3	12	3	12	4	16	
5	Rigidez	3	3	9	3	9	3	9	3	9	
6	Manipulación	3	3	9	3	9	4	12	4	12	
7	Confiabilidad	4	1	4	1	4	4	16	4	16	
8	Complejidad	4	2	8	1	4	3	12	4	16	
9	Automatización	4	4	16	3	12	4	16	4	16	

10	Fabricación	4	3	12	3	12	3	12	3	12
11	Mantenimiento	4	3	12	3	12	3	12	3	12
12	Montaje	4	3	12	3	12	3	12	3	12
13	Diseño	4	2	8	2	8	2	8	3	12
14	Ergonomía	4	3	12	3	12	3	12	3	12
15	Influencia del medio ambiente	4	2	8	2	8	2	8	3	12
Puntaje máximo Σp ó Σgp		58	43	166	39	150	49	189	53	205
Valor Técnico X_i			0.72	0.72	0.65	0.65	0.82	0.81	0.88	0.88

Tabla 2-5: Evaluación económica

Diseño Mecánico - Evaluación de Proyectos Valor Económico (Y_i)									Proyecto de tesis		
Proyecto: Automatización del llenado de pilas en bandejas de cartón											
<p>p : puntaje de 0 a 4 (Escala de valores según VDI 2225) 0 = No satisface, 1 = Aceptable a las justas, 2 = Suficiente, 3 = Bien, 4 = Muy bien (ideal) g : es el peso ponderado y se da en función de la importancia de los criterios de evaluación.</p>											
Criterios de evaluación para diseños en fase de conceptos o proyectos											
Variantes de Concepto/Proyectos			Solución 1 S1		Solución 2 S2		Solución 3 S3		Solución 3 S4		
Nro	Criterios de Evaluación		g	p	gp	p	gp	p	gp	p	gp
1	Número de piezas		4	3	12	3	12	3	12	3	12

2	Fácil adquisición de los materiales de fabricación	4	2	8	1	4	4	16	4	16
3	Productividad	4	3	12	3	12	3	12	3	12
4	Costos diversos	4	2	8	2	8	3	12	3	12
5	N° de operarios	4	4	16	4	16	4	16	4	16
6	Costo de tecnología	4	3	12	1	4	3	12	4	16
7	Fac. de montaje	4	3	12	3	12	3	12	3	12
8	Fácil mantenimiento	4	3	12	3	12	4	16	4	16
9	Costos de operación	3	3	9	2	6	3	9	4	12
10	Transporte	3	2	6	2	6	3	9	3	9
Puntaje máximo Σp ó Σgp		58	43	166	39	150	49	189	53	205
Valor Técnico Y_i			0.72	0.72	0.65	0.65	0.82	0.81	0.88	0.88

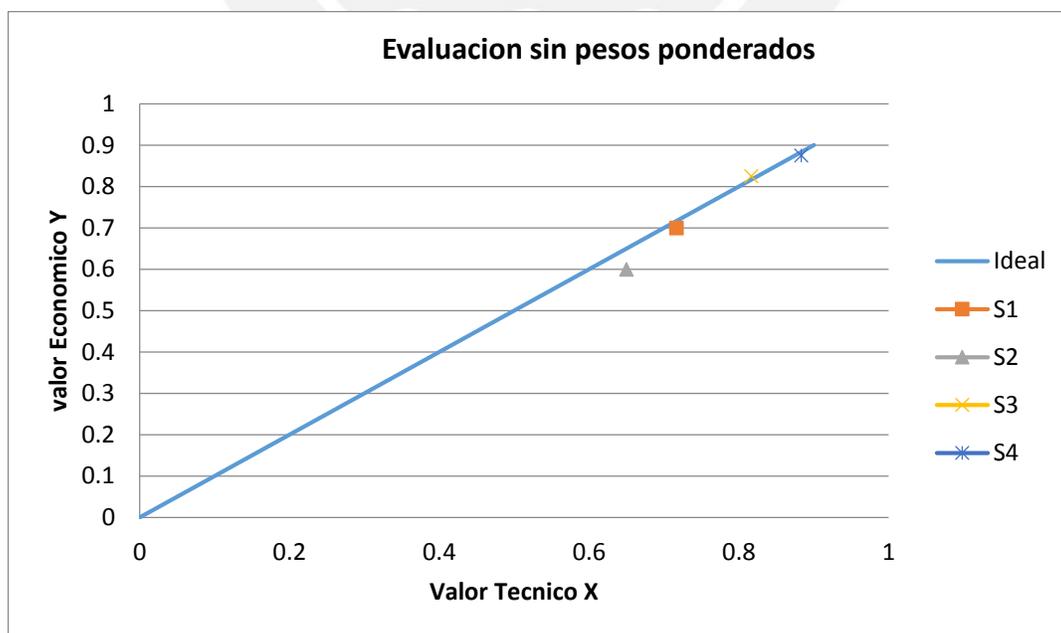


Figura 2-6: Evaluación sin pesos ponderados

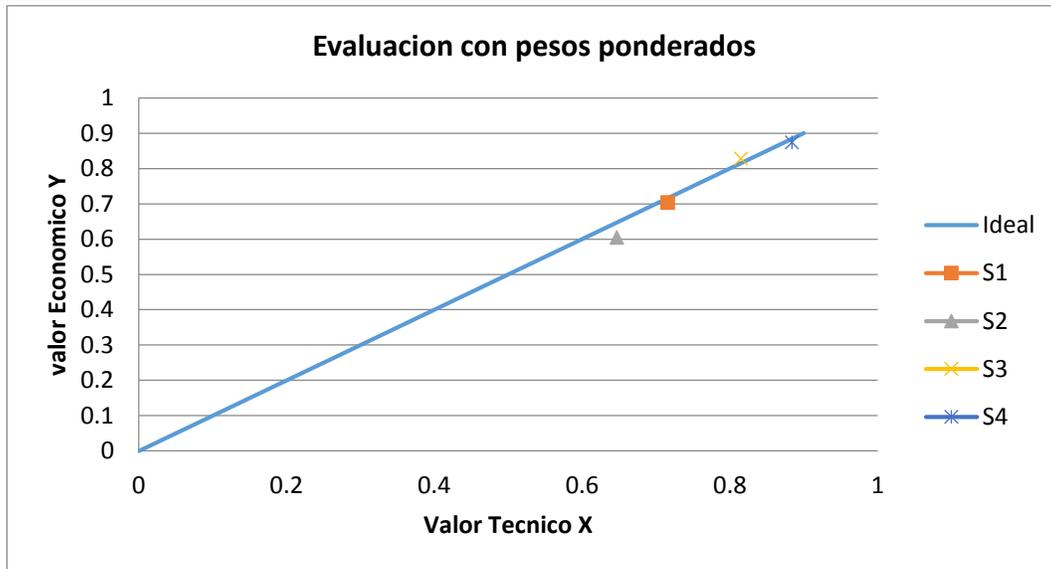


Figura 2-7: Evaluación con pesos ponderados

La comparación entre las cuatro posibilidades sin los pesos ponderados se hace en la Figura 2-6 y la comparación con pesos ponderados de las cuatro opciones con la línea media que es el ideal, puesto que sus pesos en el aspecto económico y en el técnico están equilibrados. La mejor opción es en consecuencia la que más cercana esté de la línea recta y ubicada hacia arriba y a la derecha. Se escoge finalmente la alternativa cuatro como el proyecto preliminar óptimo, por estar el punto correspondiente a esta alternativa mucho más cercano a la línea de equilibrio entre valores económicos y técnicos, además de presentar una mayor cercanía a la esquina superior derecha que es la región que sintetiza las características ideales.

Capítulo 3

Diseño de componentes

3.1 Diseño del prototipo de llenadora

El prototipo constituye una construcción experimental realizada para probar el mecanismo de bandeja retráctil utilizado en el proyecto definitivo, pues en ninguna parte de la planta existe algún sistema similar. Se construye también para evaluar qué inconvenientes podrían aparecer al usar este sistema y si existen pérdidas de producto por atascamiento o rasgadura de la cobertura de plástico termo contraído.

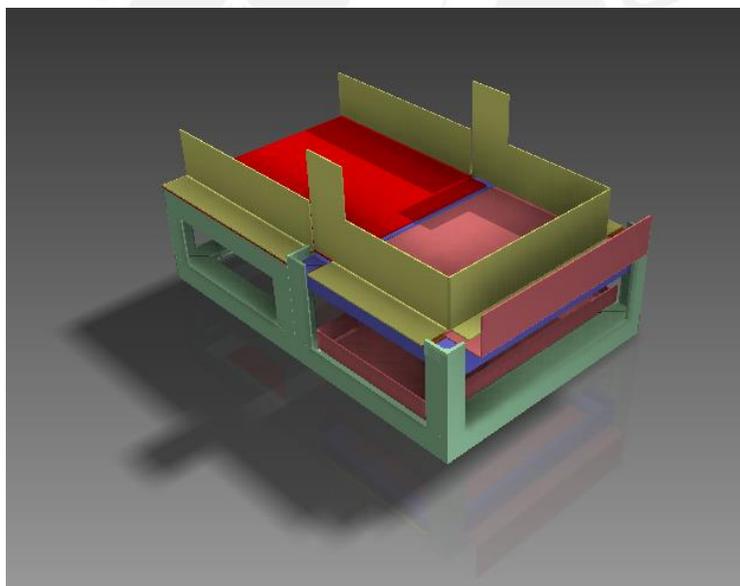


Figura 3-1: Modelo en CAD del prototipo

Como puede apreciarse en la Figura 3-1, los componentes del prototipo han sido diseñados tomando como material base perfiles estructurales pequeños que quedaban de sobrante en el almacén del departamento de mantenimiento e ingeniería de planta.



Figura 3-2: Prototipo construido para pruebas del sistema de llenado

Una vez que se construyó el prototipo se probó que era posible utilizar el sistema de bandeja retráctil como método para colocar las pilas en las bandejas de cartón.

El resultado fue alentador, puesto que de cada diez pruebas, nueve eran satisfactorias. Esto tomando en cuenta que la estructura y los componentes habían sido hechos con materiales y acabados bastos y reciclados de los sobrantes de la chatarra del departamento de mantenimiento e ingeniería de la planta. En el diseño de la máquina final, se tienen columnas cilíndricas con bocinas deslizantes que permiten que el bloque de pilas se posicione correctamente sobre la bandeja de cartón.

Se tenía la impresión de que al retirarse rápidamente (tomando en cuenta que la velocidad de trabajo máxima de un actuador neumático ronda los 3m/s dependiendo del modelo y la regulación) de la base que soporta las pilas, se pudieran producir rasgaduras en la envoltura de PVC por el golpe de las pilas con la base de la caja, afortunadamente esto no se dió por el hecho de que la distancia de caída de las pilas es mínima y corresponde únicamente a la altura de la bandeja de cartón (30mm) , sin embargo, para garantizar que no suceda se ha tomado en cuenta que el acabado superficial de la plancha base de la bandeja retráctil sea liso y ésta esté lubricada constantemente con un compuesto a base de silicona (líquido que se usa con bastante frecuencia en otros procesos de la planta). Para ver los planos del prototipo ver Anexo N°4

3.2 Diseño del primer módulo, ordenadora

3.2.1 Dimensionamiento de carriles de circulación.

Se empezará con un estudio geométrico del flujo de pilas, pues si bien no están involucradas grandes fuerzas (y vale la pena decir que en ninguna de las máquinas diseñadas en esta tesis), existe la posibilidad de que el producto se dañe al engancharse con salientes filosos o que quede apretado entre dos piezas de la máquina que al girar no permitan el libre paso de las pilas, principalmente debido al hecho que la película de PVC que recubre el par de pilas es muy delicada. Es importante que las guías laterales paralelas no presenten bordes filosos, ni sitios en los que se pueda estrangular al producto de tal forma que la envoltura de PVC sea arrancada. En la Figura 3-3 se muestran los esquemas iniciales que dan idea de cómo podrían estar dispuestas las guías y los desviadores.

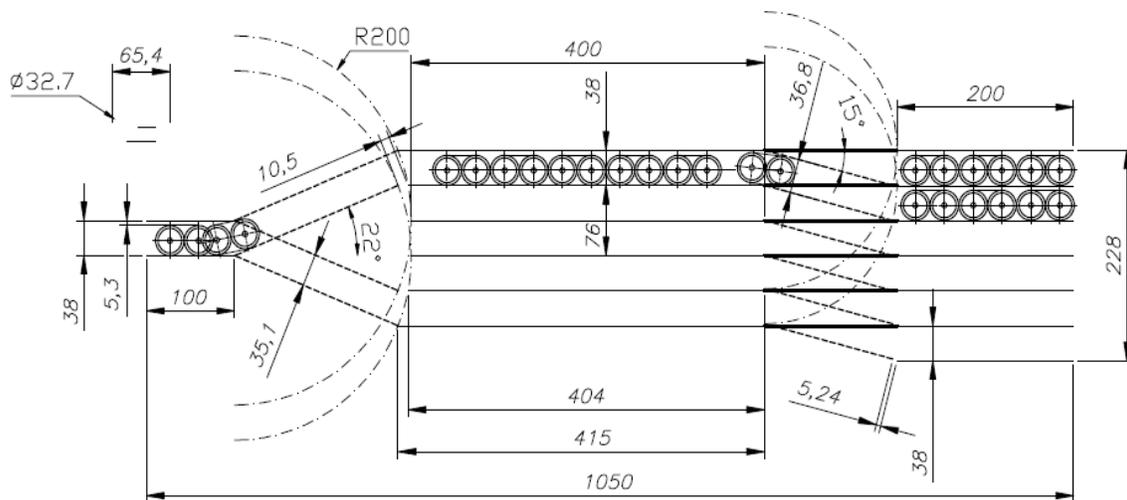


Figura 3-3: Esquema primigenio del flujo de pilas

En la Figura 3-3 se ha colocado una longitud asociada a un número asumido de pilas igual a la capacidad de dos bandejas de 24 unidades, solamente para comenzar el diseño de la geometría necesaria, el criterio aplicado es que se debe tener un acumulado de pilas que actúe como buffer para contrarrestar los tiempos muertos acumulados de los actuadores neumáticos. Se ha asumido la longitud de 1050 mm como una longitud inicial para la máquina bastante aceptable

Geométricamente se presenta un problema al girar los brazos para desviar las pilas, la distancia entre las paredes que guían el flujo de pilas se acorta y las estrangula, pudiendo

esto ocasionar un gran atascamiento si es que el ángulo supera un valor máximo. Por otro lado, la longitud de los brazos es determinante en el ángulo, puesto que a mayor longitud del brazo, menor será el ángulo y en consecuencia será también menor el riesgo de estrangulamiento en el flujo de pilas, mientras que a mayor longitud de los brazos de desvío, el tiempo de reacción de los actuadores se incrementa. En la Figura 3-4 se observa con mayor detalle esta particularidad.

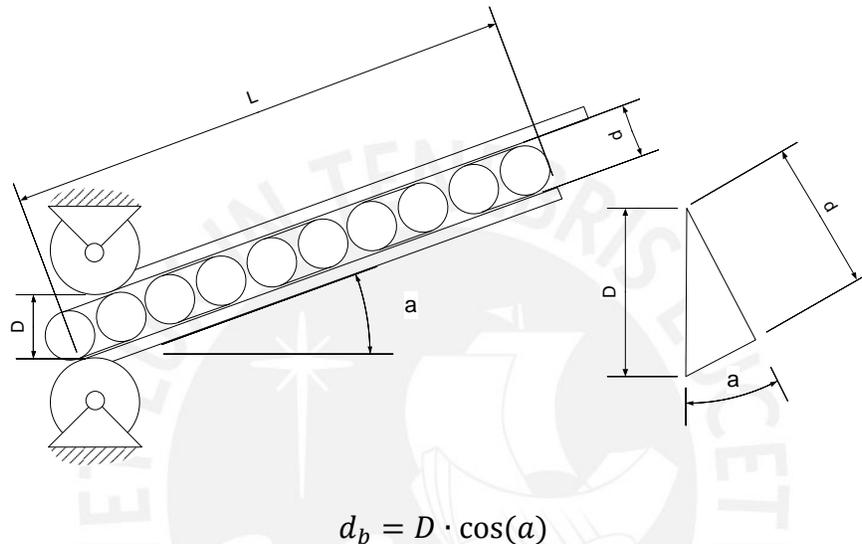


Figura 3-4: Variación de la distancia entre los brazos al girarse un ángulo “a”

Las dos variables importantes en el diseño de los brazos de desvío son el ángulo “a” y la longitud L. Ya que el problema aquí es dividir el flujo de pilas de una a seis filas para posteriormente obtener un bloque compacto de 24 unidades, se ha considerado que la distancia entre las guías paralelas debe ser la menor posible y que las divisiones al final del recorrido deben ser lo suficientemente delgadas como para permitir que la transición de las pilas desde el tramo guiado hasta el tramo sin guías y de bloque compacto sea muy suave y no dañe ni sacuda el producto. Por otro lado el flujo de pilas en cada uno de los seis carriles debe ser constante puesto que si se tiene acumulación de pilas en alguno de ellos, el flujo de pilas se vería afectado y en corto tiempo se producirían atascamientos por aglomeramiento que obligarían a detener completamente la máquina para liberar las pilas excedentes, situación que se repetiría constantemente durante el funcionamiento de las máquinas y resultaría que en vez de solucionar el problema, se estaría generando uno adicional

3.2.2 Ángulo de división de carriles y distancia a recorrer por estación de división

Mediante pruebas geométricas utilizando software CAD, se ha llegado a la conclusión de que el ángulo de 16° es adecuado para evitar el estrangulamiento de las pilas, con el diámetro de las mismas se puede calcular la longitud adecuada de los brazos en relación a su centro de giro o punto donde pivotarían una vez construidos, esta longitud es 290 mm para los brazos de la primera estación de división (tipo 1) y 150 mm para la segunda (tipo 2, en total son tres de este tipo).

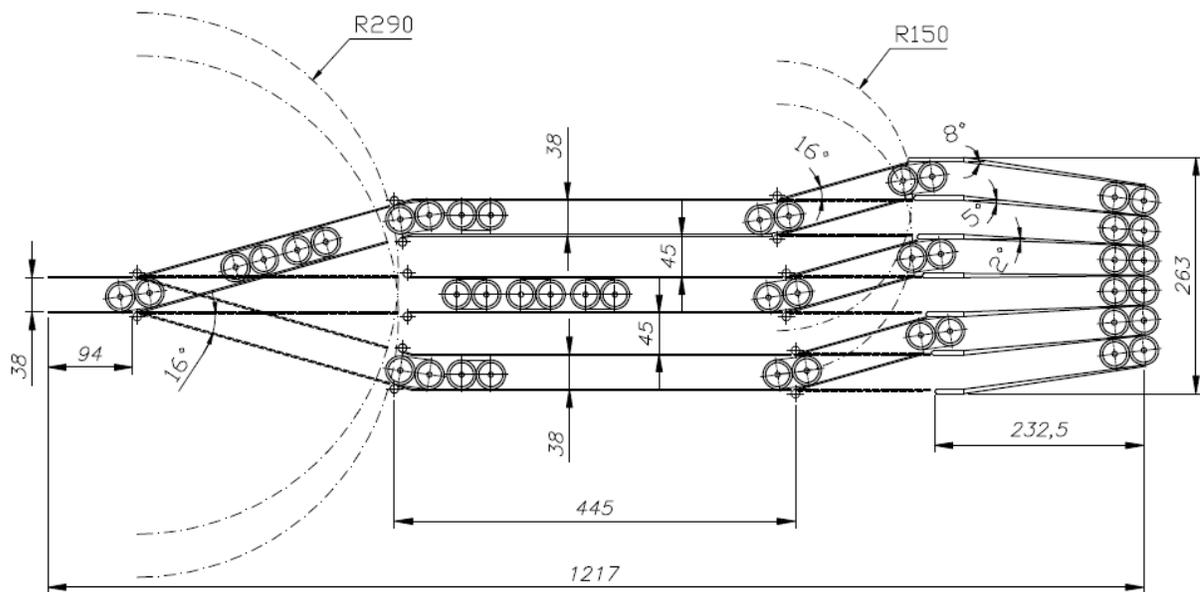


Figura 3-5: Flujo de pilas a través de la ordenadora

En la Figura 3-5 se muestra una segunda etapa del bosquejo geométrico en que se toma en cuenta el espacio que se debe asignar a los elementos pivotantes de los desviadores. Esto en función de las dos variables, el ángulo de giro del desviador y la longitud de los brazos que llevan las pilas hacia los siguientes carriles. Se muestra también que la longitud inicial asumida en función de un número de pares de pilas se ha modificado para satisfacer los requerimientos geométricos y en esta fase es 1217 mm

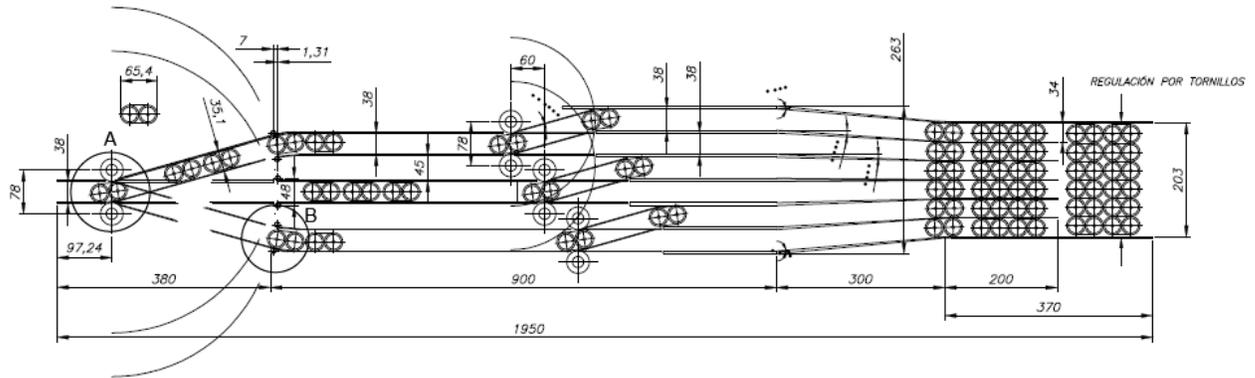


Figura 3-6: Flujo de pilas y agrupación final

La Figura 3-6 muestra el ángulo adecuado para lograr la división y posterior ordenamiento de las pilas, como se dijo, será de 16° en las dos fases que comprende el proceso, la primera fase dividirá al flujo en tres filas, para posteriormente pasar a la segunda que dividirá a cada una de esas filas en dos, completando así el ordenamiento del producto.

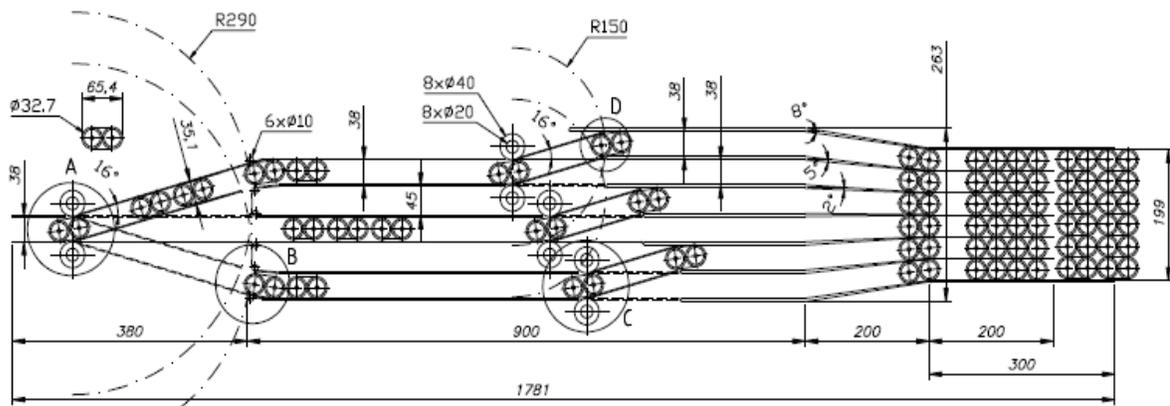


Figura 3-7: Puntos de pivote para los desviadores

La Figura 3-7 muestra los principales detalles geométricos que debería cumplir el diseño final para evitar atascamientos en los carriles paralelos de la máquina, cabe mencionar que la distancia entre cada par de guías paralelas de 39 mm es la mínima necesaria para evitar que el producto se desgarre o maltrate antes de llegar a su posición final en la bandeja de cartón. Existe un juego considerable en relación al diámetro de las pilas que es 32.7 mm

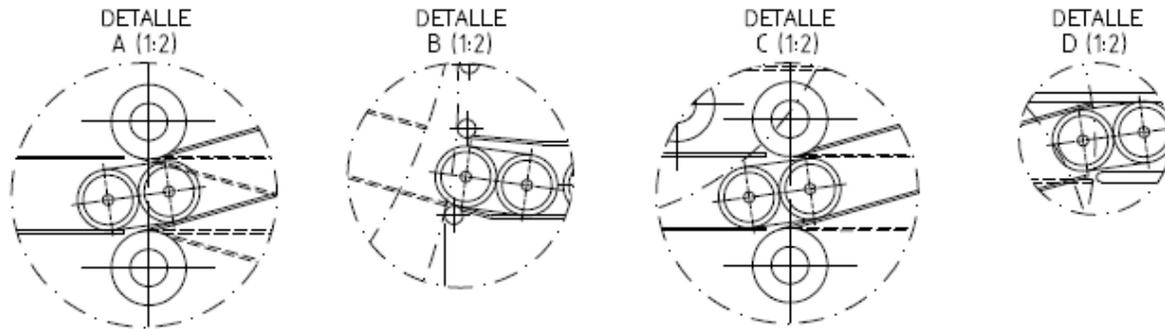


Figura 3-8: Detalles geométricos de la ordenadora

En la Figura 3-8 se muestran mayores detalles de las dimensiones de los distintos cambios de sección de los carriles de la máquina ordenadora:

Detalle A: Ángulo para desvío de las pilas hacia dos carriles laterales, esto en la primera etapa de la división de pilas en tres filas, se muestran en líneas punteadas las tres posiciones.

Detalle B: Modo en que se asegura que las pilas al ingresar a un carril lateral, luego de la estación de desvío tipo 1, no sufran desgarramientos, mediante guías con terminaciones cilíndricas.

Detalle C: Salida de los desviadores secundarios (a dos filas), se mantiene el mismo (16°)

Detalle D: Geometría de llegada de las pilas a los carriles laterales luego de la estación de desvío tipo 2, la geometría se repite en todos los casos.

Entonces, con la geometría ya terminada, se pudo elaborar un modelo tridimensional en Autodesk Inventor (Figura 3-9), que básicamente consistió en una faja transportadora con aditamentos estructurales para el sostén de los carriles y puentes que permitirían sostener las vías por donde transitarían las pilas durante el funcionamiento del equipo, en base a la geometría desarrollada y descrita anteriormente.

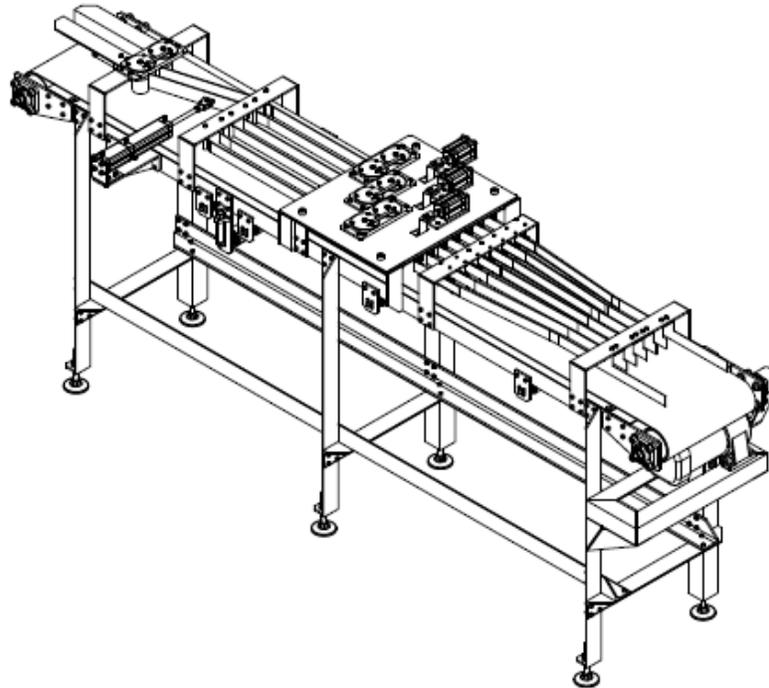


Figura 3-9: Modelo inicial de la ordenadora

3.2.3 Redimensionamiento de estaciones de división en modelo giratorio

El diseño de la máquina ordenadora resultó ser bastante convincente por la sencillez del principio de funcionamiento. Luego de muchas pruebas y razonamientos en base a las medidas finales del modelo y visitas adicionales a la planta, es que se encuentra un mecanismo alternativo para solucionar el problema del ordenamiento de las pilas. Manteniendo el concepto de partir el flujo de una sola fila de pares de pilas en seis flujos paralelos cada uno de $1/6$ del inicial. La principal razón del cambio en el diseño es la ausencia de una certeza al 100% de que el sistema neumático seleccionado vaya a responder satisfactoriamente ante la rapidez de la línea, pues se sabe que los actuadores tienen un tiempo de respuesta que depende de su regulación manual de caudal, presión, su antigüedad entre otros factores. El problema con el primer diseño y modelo tridimensional (Figura 3-9) es que se necesita un actuador particular por cada uno de los pares de brazos de desvío para detener el flujo de pilas y evitar que al girar el brazo se dañe la película de film termocontraído que protege a las pilas. Con la velocidad de la línea de 580 pilas por minuto y con 4 estaciones de división, la probabilidad que tienen los brazos de desvío de incrustarse en el paquete de pilas es muy alta y es una exigencia que el producto llegue intacto al consumidor final. Cabe mencionar que la probabilidad de atascamientos de la máquina

puede ser reducida considerablemente mediante el uso de sensores de presencia y la adición de actuadores para detener el flujo de pilas en instantes determinados, todo esto puede implicar un gasto bastante grande y aun así seguiría existiendo la posibilidad de parar la máquina en plena producción

Entonces se hizo evidente que se debía mejorar el sistema de desvío de pilas y garantizar una absoluta confiabilidad, por lo que se continuó con la investigación de otros posibles modos de separar el flujo de pilas y es así que siguiendo el razonamiento de que si se tiene una gran velocidad de producto, el tiempo de respuesta de los actuadores debe ser el menor posible, luego de realizar muchos bocetos se concluyó que lo más lógico era una rueda que sea tangente al flujo de producto y que lo vaya separando en forma intermitente mediante el uso de algún tipo de artilugio mecánico; así se conseguiría un tiempo de respuesta mínimo y se evitaría un gasto innecesario en componentes eléctricos y de automatización, sin mencionar la lógica de funcionamiento del equipo que se tornaría sumamente engorrosa.

3.2.4 Principio básico del mecanismo de estrellas

Es en base a lo expuesto que se decide descartar totalmente el diseño inicial de la máquina ordenadora, pues en ese punto era mejor empezar de nuevo con el conocimiento de las variables involucradas y el estudio geométrico descrito en la sección 3.2.1. Lo que se rescata es el concepto de solución de separar las pilas en flujo continuo a través de carriles paralelos para formar los bloques de 20 y 24 unidades

Para asegurar la continuidad y eliminar el riesgo de que las pilas queden estranguladas al ponerse en funcionamiento los actuadores, se ha considerado utilizar un sistema rotatorio, que simule una rueda tangente al flujo de pilas y las separe por medios físicos. Como se puede apreciar en la Figura 3-10, se tiene un par de hexágonos A y B que giran sincronizadamente al ingresar las pilas en forma tangencial a cada una de las circunferencias que los rodean. La estación de división unitaria que simula un par de ruedas que se adaptan a la forma de las pilas y dividen el flujo mediante la fuerza de atracción de unos imanes localizados en sus caras. Unas guías laterales se encargan de mantener esta disposición mientras una faja sinfín lleva las pilas hacia la siguiente estación de división.

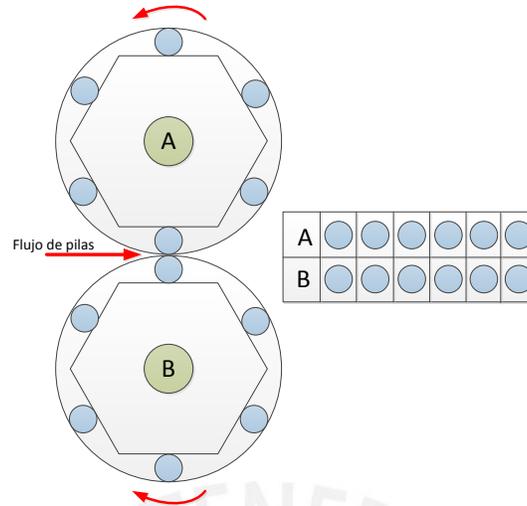


Figura 3-10: Principio de funcionamiento del mecanismo de estrellas imantadas

La parte derecha de la Figura 3-10 muestra el comportamiento que tendría el producto al atravesar la estación de división. Para comprender el concepto, imagínese que la circunferencia superior gira en sentido anti horario y no existe deslizamiento en el punto de tangencia con la circunferencia inferior; cada uno de los círculos en las caras de los hexágonos representa un imán. El recuadro de la derecha muestra las dos filas en que se separaría el flujo de pilas junto con la secuencia de aparición de los imanes en la zona de tangencia entre ambas circunferencias. En este caso particular se tienen caras con imanes frente a frente, pero es sólo con fines explicativos, el concepto se comprenderá mejor más adelante. De existir simetría geométrica en lo que se refiere a los imanes, la sumatoria de fuerzas en el par de pilas abrazado por cada par de caras entre estrellas sería igual a cero. Las figuras 3-11, 3-12 y 3-13 muestran las variaciones de este mecanismo y la forma en la que se tendrían que disponer los imanes para el correcto funcionamiento del mecanismo.

3.2.5 Estación de división 1-1

La Figura 3-11 se muestra la primera variación del mecanismo mostrado en la sección anterior. Se tiene imanes intercalados en las caras del hexágono que al girar sincronizadamente mantiene la disposición de los imanes. El recuadro de la derecha explica el comportamiento del producto al atravesar la estación de desvío; por ejemplo si ingresan seis pares de pilas, el hexágono A llevará para su lado solamente tres, mientras que el hexágono B llevará también tres para su lado. A lo largo del tiempo se verá un comportamiento A, B, A, B, A, B, A, B... llamándose a este arreglo disposición 1-1 por el

hecho de mandar un par de pilas hacia el lado A y seguidamente un par de pilas hacia el lado B.

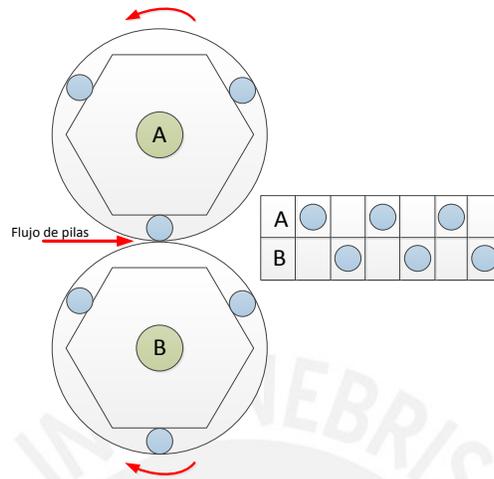


Figura 3-11: Par de estrellas de seis puntas sincronizadas en disposición 1-1

$$C(n) = 2^n$$

Dónde:

C=Número de carriles al final de la máquina usando estaciones de división tipo 1-1

n=Número de filas de estaciones de división transversales al flujo de producto

Es así que siguiendo este patrón se tendría después de la primera estación de división dos carriles, los cuales pasarían por la segunda fila de estaciones de división resultando esta vez en 4 carriles y luego la siguiente y última fila se tendrían 8 carriles con flujos másicos de producto similares, aquí nace la necesidad de cambiar la configuración de algunas estrellas para lograr seis filas al final de la máquina.

3.2.6 Estación de división 1-2

Al ser el número de carriles deseado igual a seis, se ve que el modelo no se adapta a los requerimientos, puesto que luego de la primera división del flujo másico de pilas, se tendría dos carriles llenos de igual cantidad de pilas y de colocar otra estación de división en cada uno de estos carriles, luego cuatro filas y si se continúa con la progresión, 8 filas, esto es dos filas adicionales a las necesarias, se hace necesario en este punto del desarrollo una modificación en la disposición y geometría de las estaciones de división separando el flujo másico de pilas ya no de forma simétrica. En la Figura 3-11 se corrige este inconveniente

partiendo con la función $C(n)$ teniendo ya tres carriles de forma que cada uno de ellos al dividir el flujo en dos se obtenga a la salida el número de carriles deseado que es seis.

Ahora para adaptar el mecanismo descrito en la Figura 3-12, se debe cambiar la disposición de los imanes en las caras de los hexágonos a una forma complementaria y enviar hacia el lado A cuatro pares de pilas, mientras que al lado B sólo le correspondería dos, o lo que es lo mismo dos pares de pilas hacia el lado A y un par de pilas hacia el lado B.

El recuadro de la derecha sigue la secuencia A, B, A, A, B, A, A y sucesivamente dando cuatro pares de pilas en el carril correspondiente a “A” y dos pares de pilas en el carril “B”. Se denomina a esta variante 1-2 por el hecho de que se envían ese número de pares de pilas a cada carril respectivamente.

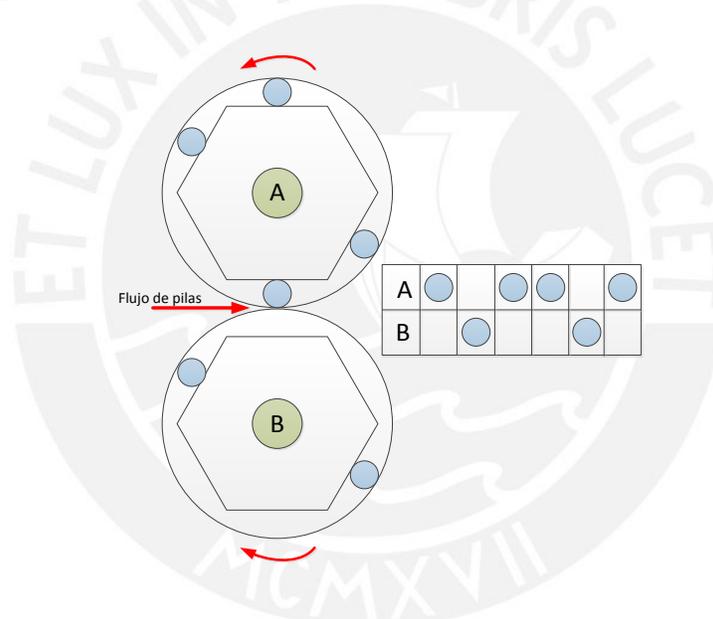


Figura 3-12: Par de estrellas de seis puntas sincronizadas en disposición 1-2

3.2.7 Estación de división 1-4

Es también parte de las exigencias de la máquina que esta se pueda adaptar a las bandejas de 20 unidades y esto se logra bloqueando una de las vías de la máquina ordenadora para conseguir cinco filas de pilas en vez de seis, vale decir que se hace necesaria una nueva adaptación del mecanismo para mantener el flujo másico de las pilas en la máquina ordenadora para la configuración de bandejas de 20 unidades. El concepto mostrado en la Figura 3-13 parte del principio de la estación 1-2 sólo que se le resta una cara al polígono convirtiéndose en un pentágono. En el recuadro de la derecha, los imanes se disponen de tal forma que las pilas al pasar sigan la secuencia A, A, A, A, B, A, A, A, A, B... es decir

cuatro pares de pilas hacia el lado A y un par de pilas hacia el lado B, denominándose secuencia 1-4. Las circunferencias tangentes deben cambiar su diámetro para adaptarse a la disminución de una cara en el hexágono.

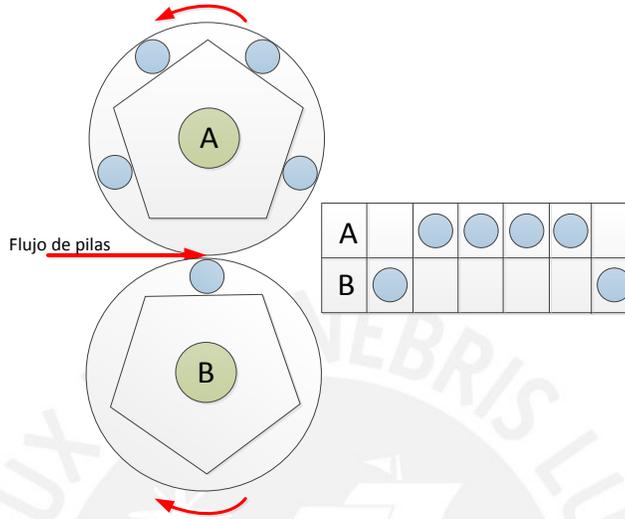


Figura 3-13: Par de estrellas de cinco puntas sincronizadas en disposición 1-4

3.2.8 Desarrollo de la geometría de las estrellas

Ahora se puede establecer la geometría de las estrellas, pues el principio de funcionamiento de cada variación está completamente definido. Según las exigencias, no se debe permitir que el producto se arañe o se enganche con salientes o bordes filosos, por lo que cada estrella debe tener redondeos y chaflanes en toda su periferia para permitir el paso continuo de las pilas. En la Figura 3-14 se muestra cómo para obtener la forma de las estrellas se toma como referencia principal al diámetro externo de las pilas (32.7mm), tomando en cuenta la cantidad de puntas, se define el diámetro de paso o PCD (Pitch Center Diameter) que resulta en 145mm en el caso de las estrellas de 6 puntas y 125 mm para las estrellas de 5 puntas. Estos valores se eligen tomando en cuenta el espacio que debe existir entre los centros de las estrellas, el mismo que debe permitir la colocación de elementos de rodadura como también mantener las dimensiones de la estructura que sostiene a la faja transportadora y sus respectivos polines (90mm). Es importante mencionar que en el diseño de esta máquina se ha tratado de hacer el sistema lo más compacto posible, pues si la distancia entre los carriles y guías paralelas crece mucho, también tendría que crecer la distancia para formar el bloque compacto de 24 pilas por el hecho de que el ángulo existente en la unión de vías en la faja puente (máquina siguiente) se estima será pequeño.

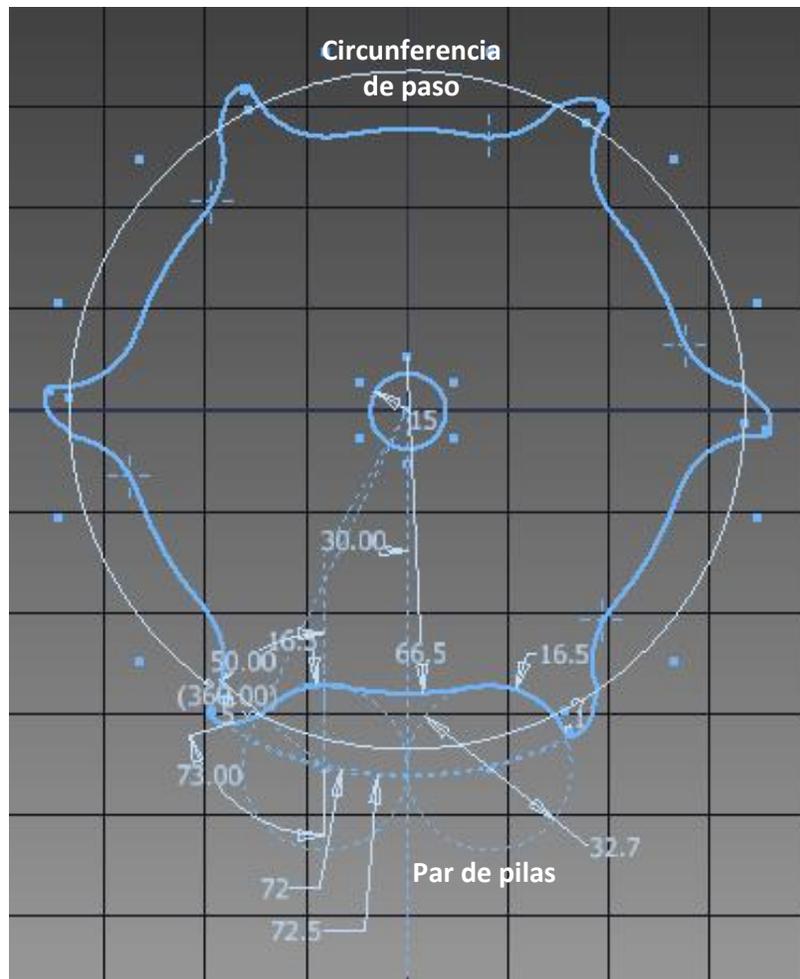


Figura 3-14: Geometría de la estrella de seis puntas en CAD

La Figura 3-14 muestra la geometría que se obtuvo a partir de la forma y dimensiones del par de pilas pre empacadas, se pueden notar los centros de los diámetros de 33.7 mm correspondientes a cada pila, la circunferencia de paso define la distancia que existe entre los centros de los diámetros de las pilas al centro de rotación del elemento.

El dibujo en Autodesk Inventor permitió definir parámetros para variar toda la geometría en función del diámetro PCD, esto debido a que estas dimensiones dependían de la estructura que sostendría todo, la cual a su vez dependía de los materiales disponibles y de la distancia necesaria para lograr acomodar las cinco estaciones de desvío de la forma más compacta posible. Los diámetros PCD resultantes tanto para la estación 1-2 como para la 1-4 se redondearon al múltiplo de 5 más próximo.

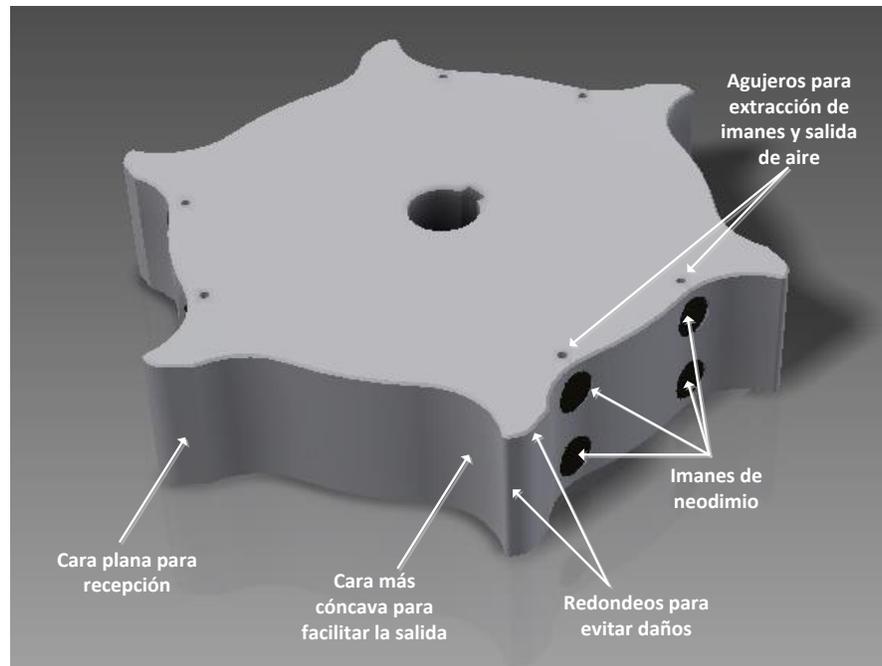


Figura 3-15: Modelo 3D de la estrella de seis puntas y descripción de la geometría completa

Por otro lado cada una de las estrellas, al ser elementos que estarían en contacto con miles de pilas al día, tendrían que tener una geometría suave para permitir una rotación fluida y natural al paso del flujo de producto en forma tangencial a la circunferencia de paso para evitar el desgaste. Es por esta razón que las puntas tienen una cara plana para recibir el impacto, y redondeos en todas las caras paralelas al eje de rotación para evitar incrustaciones en la delgada lámina de film. Adicionalmente se generó una cara más cóncava de lo necesario para facilitar la salida de las pilas de la estación de división, esto se puede verificar con el diámetro de 33mm del receptáculo de cada pila que facilita su salida tras la separación de las caras de la pila y los imanes incrustados en la estrella (dos imanes por cada pila, cuatro en cada receptáculo y doce en cada estrella 1-1). A continuación se muestran las estrellas con la geometría ya completa en sus diferentes variantes.

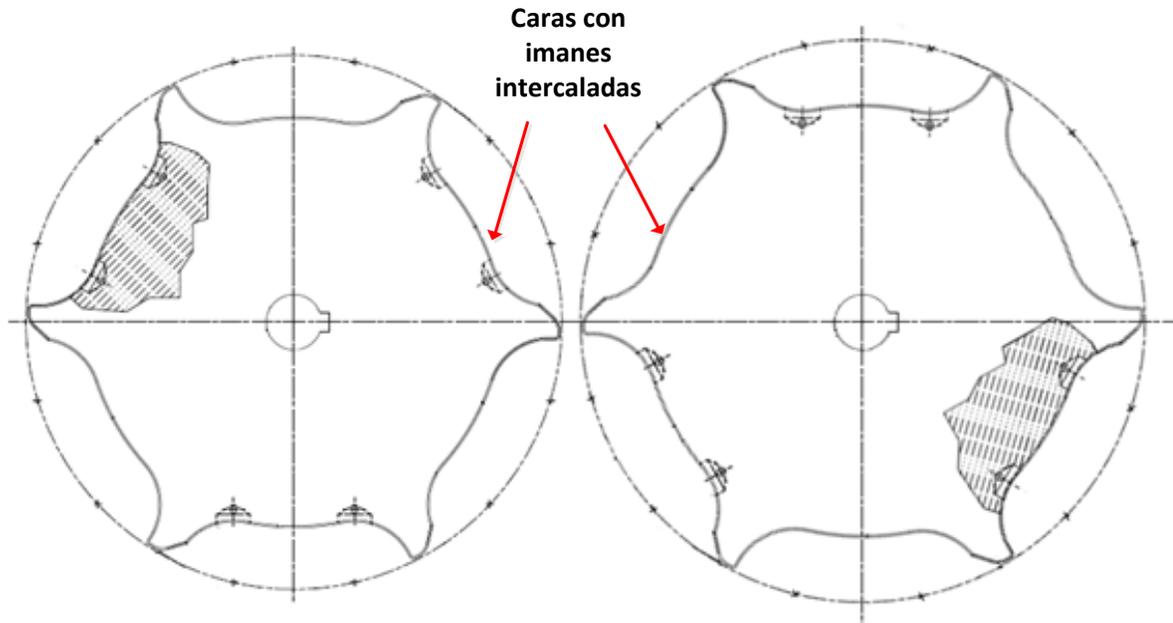


Figura 3-16: Dibujo del conjunto de estrellas en disposición 1-1

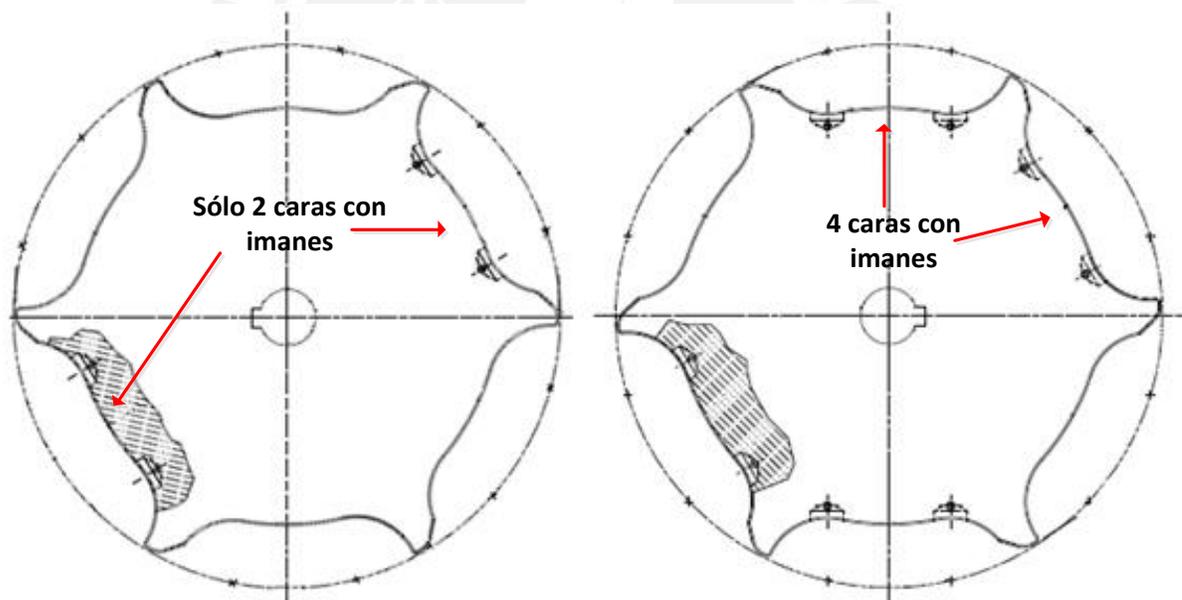


Figura 3-17: Dibujo del conjunto de estrellas en disposición 1-2

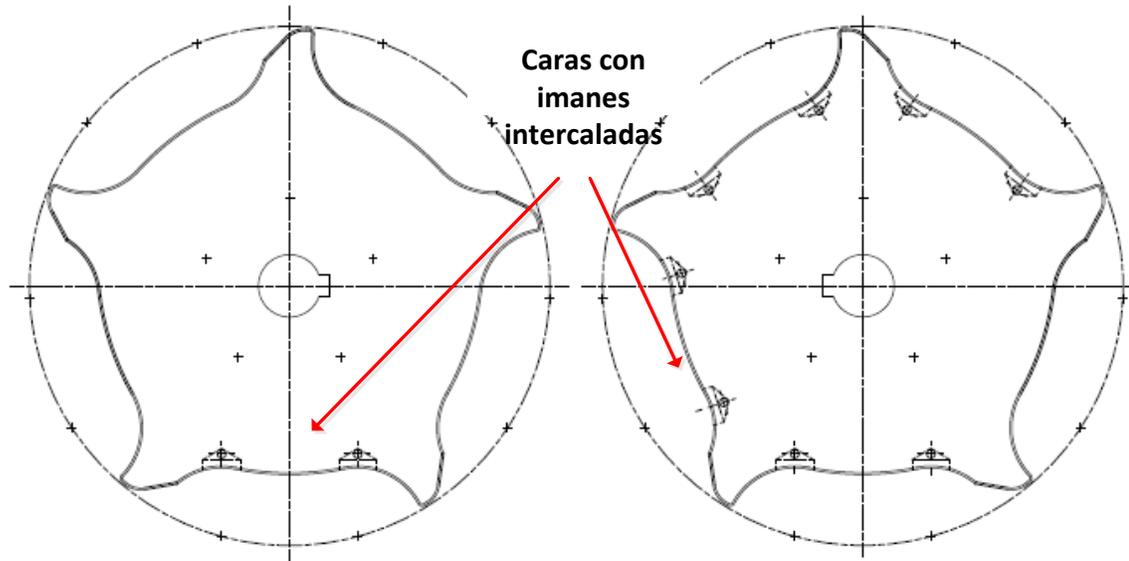


Figura 3-18: Dibujo del conjunto de estrellas en disposición 4-1

3.2.9 Soporte de estrellas

El soporte de las estrellas debe alojar a los rodamientos y debe ir apoyado en la estructura principal de cada faja debido a que cada una de las tres está apoyada únicamente en sus patas, las cuales transfieren el peso al soporte general. Esto es por el sistema modular que se ha solicitado al comenzar a realizar el trabajo, pues se quiere que cada una de las fajas pueda ser extraída con facilidad y ser susceptible a labores de mantenimiento independientemente. El soporte de los rodamientos puede apreciarse en la Figura 3-20. El soporte consta de un eje central que posee dos canales chaveteros, tres ranuras para anillos de retención y un asiento escalonado para un rodamiento rígido de bolas 6002. Se han utilizado dos rodamientos rígidos de bolas para compensar el momento generado por el efecto de los engranajes de sincronización. En la tabla de datos de SKF [4] (Figura 3-19) puede apreciarse que tan resistentes son estos rodamientos al ver las cargas dinámicas y estáticas máximas: 5.85 kN y 2.85 kN respectivamente. Se escogieron por ser los de mayor uso en la planta, estar siempre en stock en el almacén de la planta y ser económicos.

Capacidades de carga dinámica	estática	Carga límite de fatiga	Velocidades Velocidad de referencia	Velocidad límite
C	C_0	P_u		
kN		kN	rpm	
5,85	2,85	0,12	50000	26000

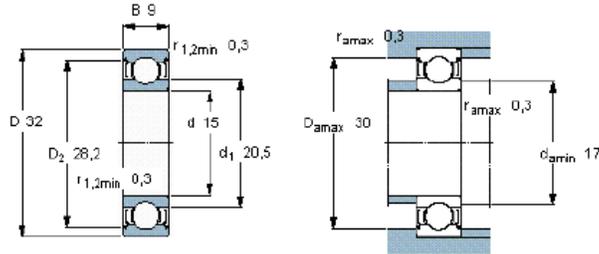


Figura 3-19: Características del rodamiento 6002

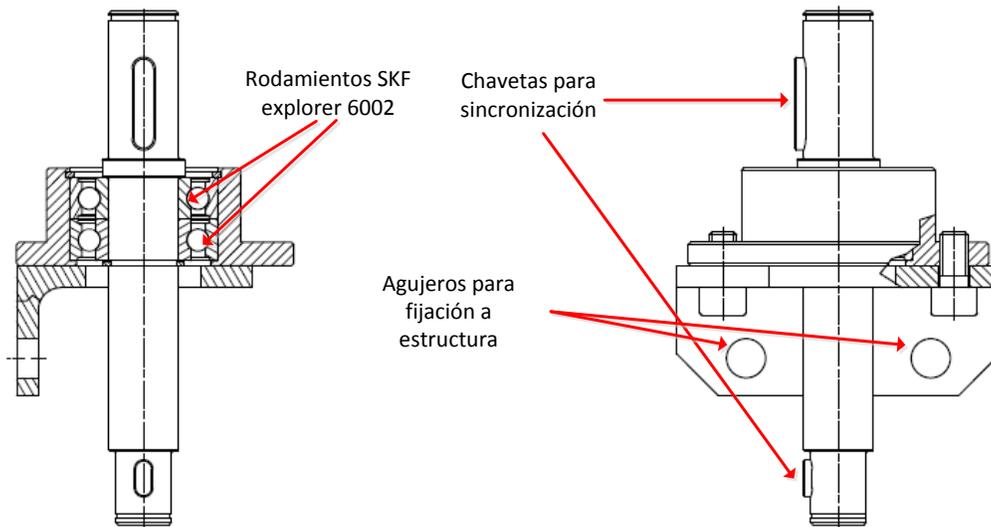


Figura 3-20: Sección del soporte de estrellas

Entonces se tiene ya completa la geometría de las estaciones de desvío y la longitud de los carriles por lo que se procede a dimensionar la estructura principal de la máquina ordenadora en base a las longitudes estimadas por métodos geométricos y cuyas conclusiones se muestran en la Figura 3-7. Volviendo a los elementos motrices de las fajas transportadoras y siendo éstas tres de distintos tamaños en paralelo y con guías a lo largo del recorrido, no habría sido conveniente tener un motor separado para cada una de ellas, puesto que además del precio adicional para obtener la misma potencia, se necesitaría mucho espacio y soportes adicionales en la estructura. Es así que se decide centralizar la

fuelle motriz de la máquina y tener un distribuidor de potencia que mueva las tres fajas transportadoras utilizando solamente un motor.

La configuración geométrica resultante es bastante compacta y desde el punto de vista de fabricación se repiten los mismos módulos sólo que con diferente longitud lo cual facilita su manufactura. No se requieren procesos de fabricación complejos ni materiales especiales en ninguna de las piezas.

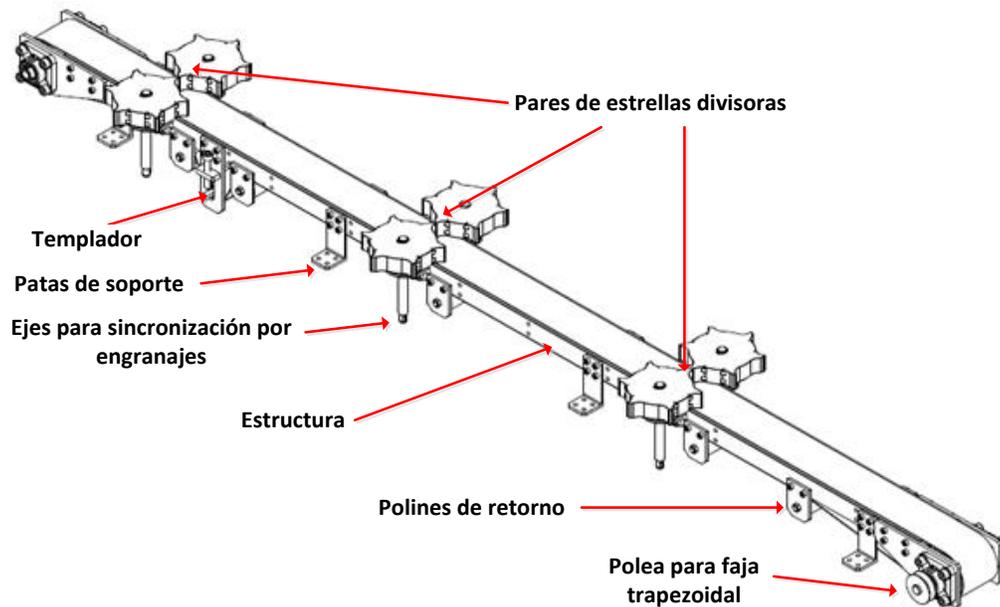


Figura 3-21: Disposición de estaciones de división en la faja central

En la Figura 3-21 se muestra la disposición básica de las estrellas a lo largo de las fajas transportadoras que tienen elementos básicos propios de ellas, esto es polines motrices, de cabeza, de retorno y el templador respectivo. Adicionalmente se adosan a los laterales de cada faja patas con agujeros en la base para asegurarlas a la estructura principal de la máquina. Los engranajes de sincronización tienen un espacio entre la estructura principal de cada faja y la estructura principal de la máquina, esto se puede apreciar mejor en el plano de ensamble de la máquina ordenadora identificado con el código ORD - A0 - 2.

Mayores detalles constructivos pueden encontrarse en los planos ORD - A2 - 27, ORD - A2 - 28 y ORD - A2 - 29, en los que se muestra la forma en que los diferentes componentes interactúan en las tres fajas transportadoras.

3.2.10 Conservación de la materia en la máquina

En la Figura 3-22 se muestra un ejemplo numérico de la conservación de materia a través de los diferentes carriles de la máquina, si ingresan 600 pares de pilas por el lado izquierdo de la máquina y en el sentido que muestran las flechas, al pasar por la primera estación de división (par de estrellas 1-2), se envían 400 hacia el carril superior y 200 hacia el carril inferior, luego de que la proporción se ha establecido, las siguientes estaciones de división son estrellas 1-1 y se obtiene a la salida 100 pares de pilas en cada carril. La Figura 3-23 muestra la segunda variante de la máquina al intercambiar las estrellas y adicionar una guía en el último carril para bloquearlo.

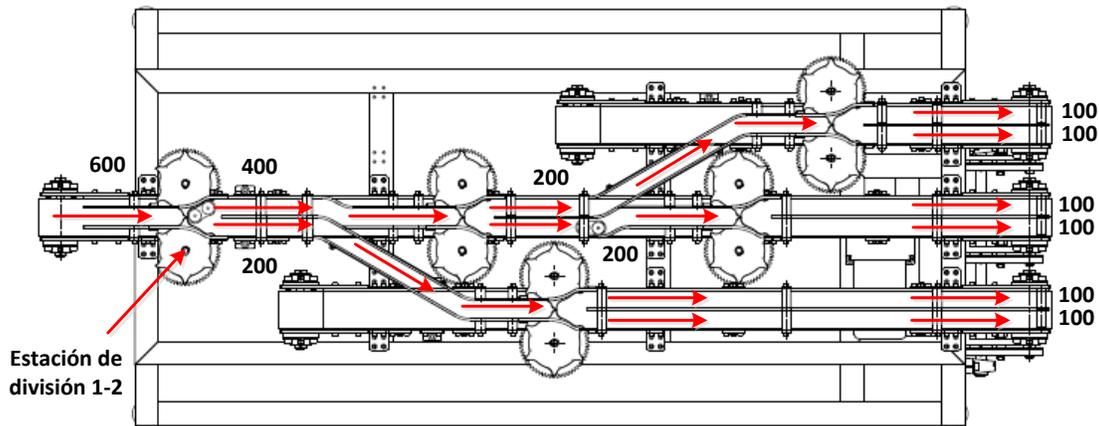


Figura 3-22: Conservación de materia en guías de pilas, primera variante

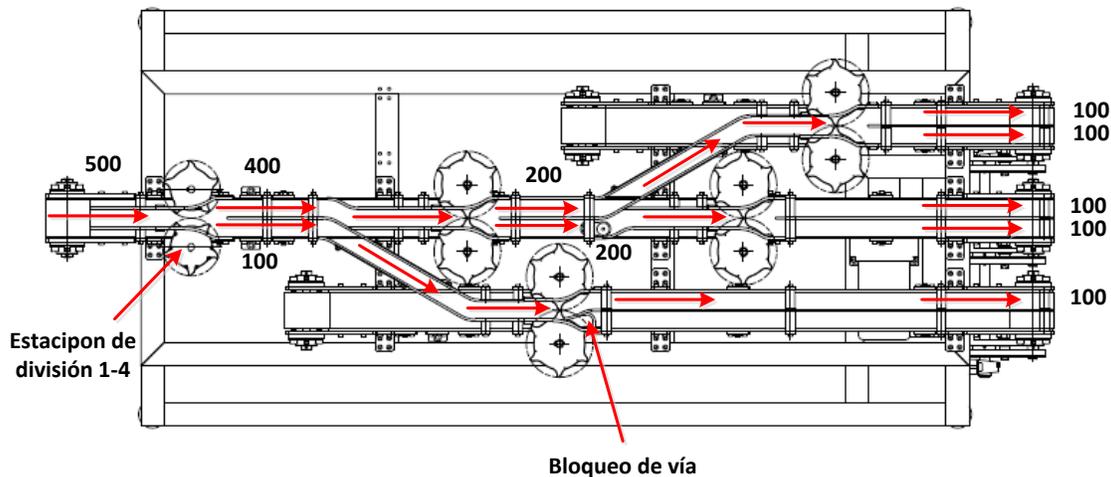


Figura 3-23: Conservación de materia en guías de pilas, segunda variante

3.2.11 Elementos motrices

El moto reductor eléctrico Panasonic 0.25 kW a 36 rpm provee potencia al árbol de poleas, el que a su vez mueve las tres fajas trapezoidales (V-Belt) que mueven las poleas de las fajas transportadoras de la máquina ordenadora.

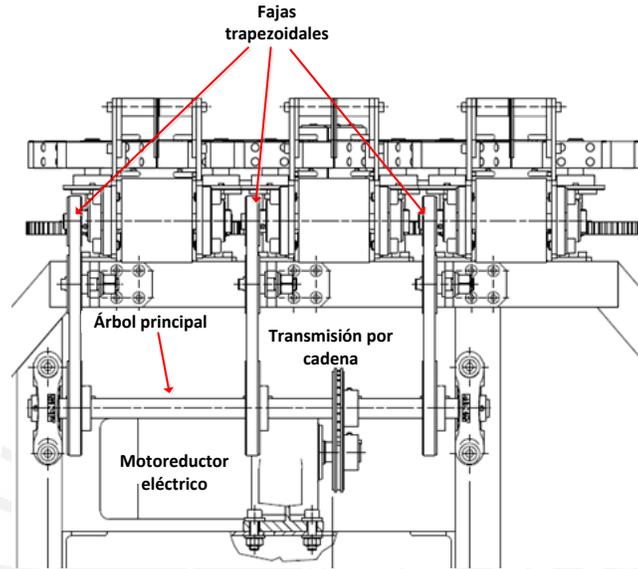


Figura 3-24: Transmisión de potencia a las tres fajas

La Figura 3-24 muestra un dibujo de la parte frontal de la máquina con las tres fajas transportadoras, la Figura 3-25 muestra el modelo 3D y algunas dimensiones. Los motores fueron tomados del almacén de mantenimiento e ingeniería de la planta al ser sobrantes de un pedido anterior y estar mucho tiempo en desuso.

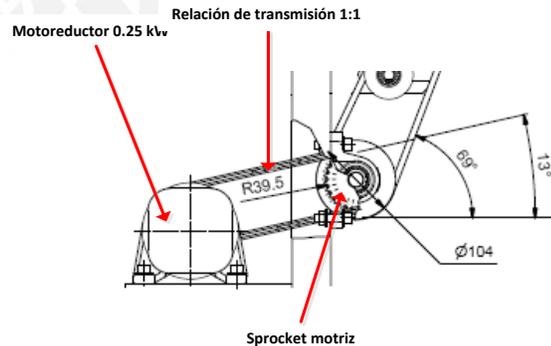
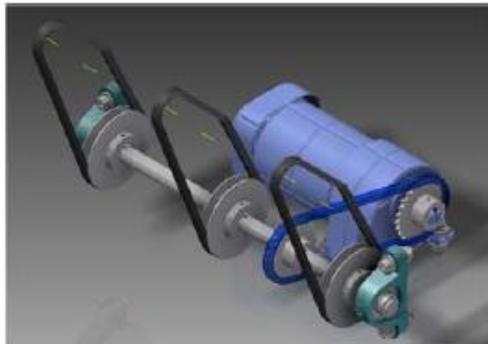


Figura 3-25: Sistema de distribución de potencia en máquina ordenadora

A continuación en la Figura 3-26 se presentan las fuerzas que intervienen en el árbol con las poleas ensambladas y los apoyos, luego la magnitud de cada una de estas fuerzas en base a la potencia que se estima suministrará el motor. En ningún momento están

involucradas grandes fuerzas y muchos de los componentes están sobredimensionados y presentan sus características para garantizar que las deformaciones sean mínimas en todos los casos.

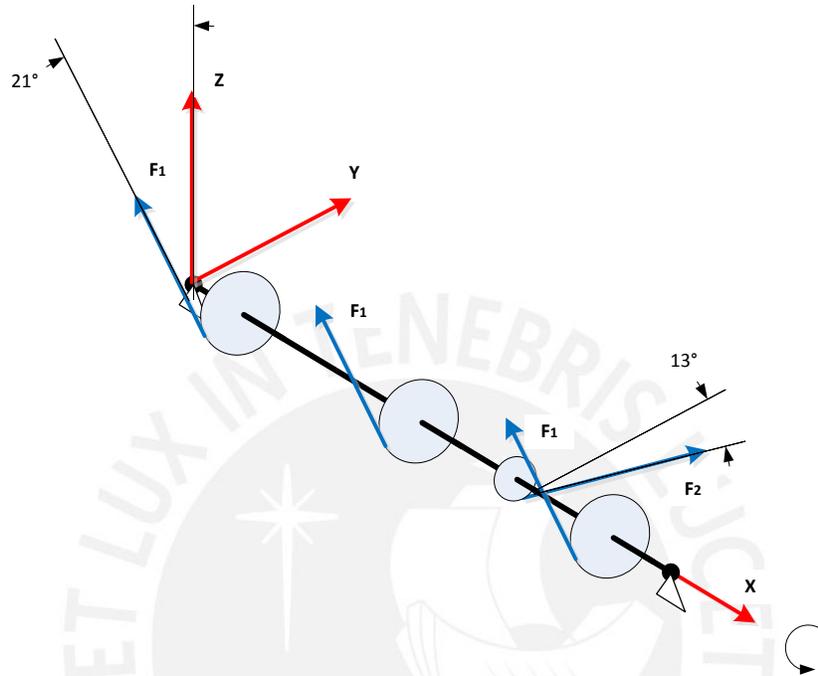


Figura 3-26: Esquema de fuerzas y momentos aplicados sobre el árbol de poleas

Las cargas a las que está sometido el árbol de poleas se calculan a partir de la mitad de la capacidad del motor, Se hizo el cálculo inicial partiendo del peso de todas las pilas que pueden entrar en las vías y tomando en cuenta la fricción de la faja con el soporte, resultando una fuerza despreciable tomando en cuenta que el motor disponible en almacén de planta era el de 0.25 kW.

Fuerzas descompuestas en los ejes Y & Z de la Figura 3-26:

$$\text{Fuerza } F_{2y}: \quad F_{2y} = F_2 * \cos(13^\circ) = 817.703 \text{ N}$$

$$\text{Fuerza } F_{2z}: \quad F_{2z} = F_2 * \text{sen}(13^\circ) = 188.782 \text{ N}$$

$$\text{Fuerza } F_{1y}: \quad F_{1y} = F_1 * \text{sen}(21^\circ) = 79.217 \text{ N}$$

$$\text{Fuerza } F_{1z}: \quad F_{1z} = F_1 * \cos(21^\circ) = 206.367 \text{ N}$$

Se grafica la descomposición de estas fuerzas en los planos ortogonales en la Figura 3-27:

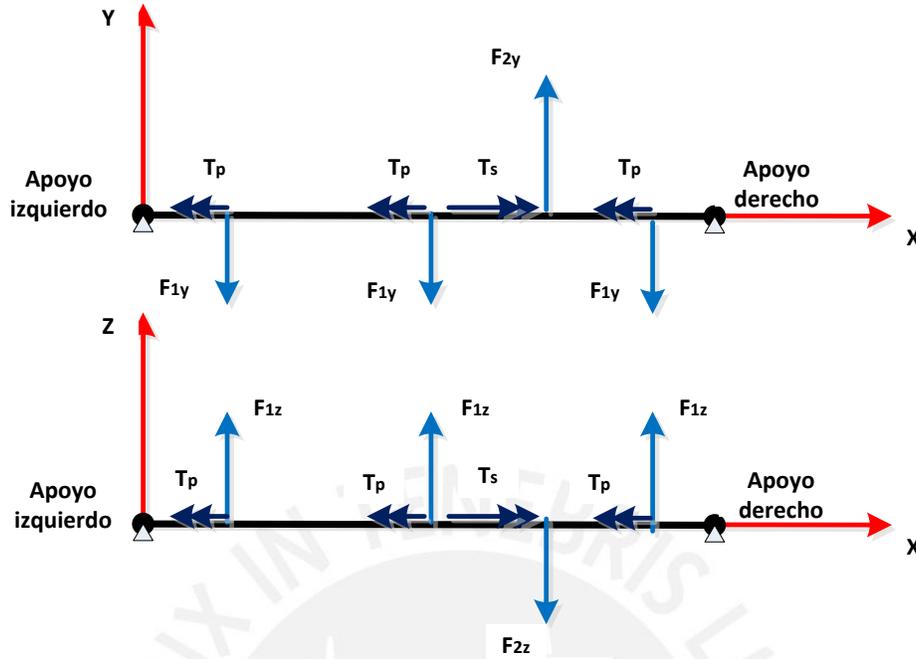


Figura 3-27: esquema de las fuerzas descompuestas en los planos XY y ZX

Con la geometría del elemento modelada en 3D, las propiedades del acero AISI-SAE 4340 se obtienen los siguientes resultados a través de la herramienta calculadora de ejes de Autodesk Inventor:

Longitud	L	320.000 mm
Massa	Mass	1.517 kg
Máximo esfuerzo flexor	σ_b	69.548 MPa
Máximo esfuerzo cortante	τ_S	1.544 MPa
Máximo esfuerzo torsor	τ	10.572 MPa
Máximo esfuerzo reducido	σ_{red}	72.710 MPa
Deflexión lineal máxima	f_{max}	546.947 micrón
Mayer valor de deflexión angular	ϕ	0.10 °

Figura 3-28: Captura de pantalla con resultados de la herramienta calculadora de ejes de Autodesk Inventor

Los cálculos detallados, así como las gráficas de fuerza cortante y momento flexor en cada uno de los puntos del eje x, así como la verificación de la resistencia a la fatiga pueden consultarse con mayor detalle en el Anexo 1.

3.2.12 Estructura principal

La estructura principal de la máquina no soporta cargas considerables y al estar hecha de perfiles estructurales de acero ASTM A-36 L 2 x 2 x 3/16", presenta una gran resistencia a la sollicitación, puesto que el peso en conjunto de todas las fajas, estrellas y sus soportes, además de elementos de sujeción tanto de las mismas estrellas como de las guías de acero inoxidable AISI 304, no superan en su totalidad los 200 kg (calculado en base a datos proporcionados por el software de modelación). Adicionalmente podría soportar el peso de un hombre adulto que se suba a hacer reparaciones o utilice la máquina para alcanzar una luminaria ubicada sobre ésta, entonces redondeando la fuerza total que debería soportar la estructura a 3000 N, divididos en forma equitativa y puestos en forma normal a cada una de las barras transversales de la estructura. Se realizó un análisis “rápido” (denominado así por el programa) por el método de los elementos finitos en Autodesk Inventor (Finite Elements Analysis o F.E.A.), los resultados se muestran en la Figura 3-30, (esfuerzos normales equivalentes de Von Mises) y en la Figura 3-31 se puede observar la deformación que presentaría la estructura.

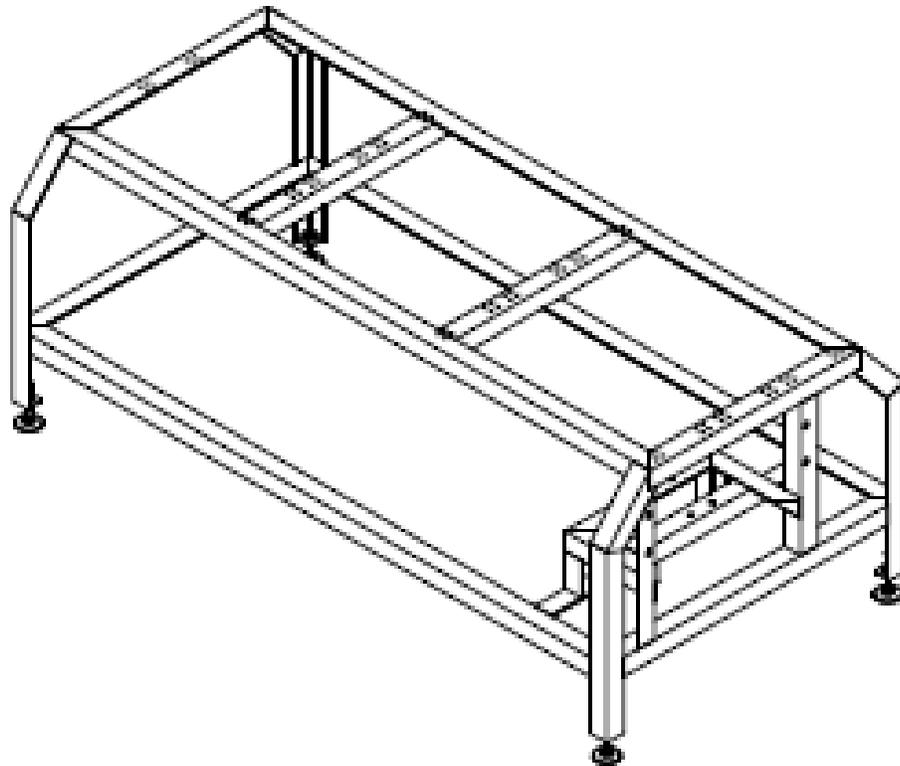


Figura 3-29: Estructura principal de la máquina en vista dibujo antes del análisis

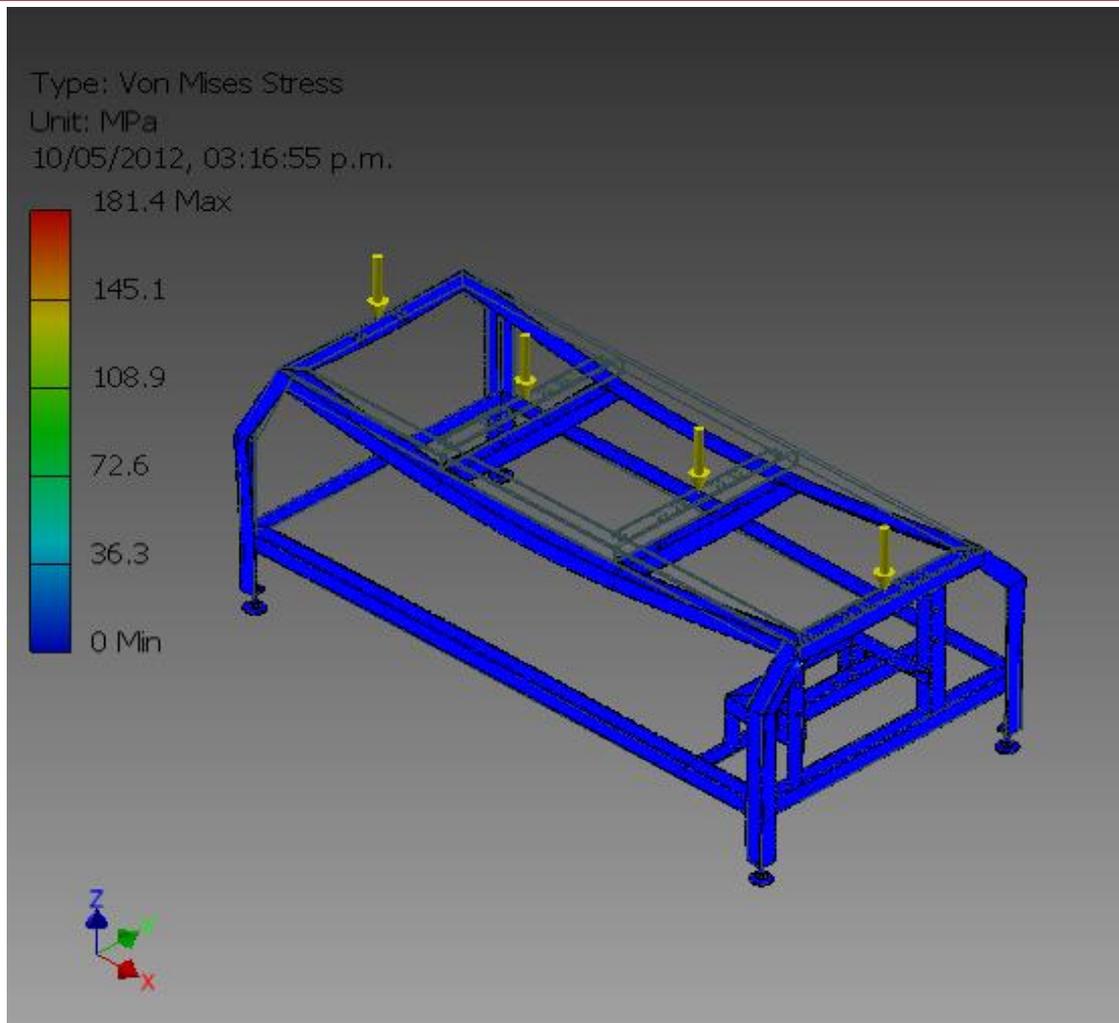


Figura 3-30: F.E.A. de la estructura principal, esfuerzos equivalentes de Von Mises

El límite elástico del acero ASTM A-36 bordea los 520 MPa [1] y si se toma el mayor esfuerzo presente en el análisis, es decir 101.4 MPa, se puede decir que la estructura en el caso más crítico soportaría la carga, teniéndose así un factor de seguridad de 5.12, lo cual no sugiere problema alguno con la carga asumida. Por otro lado la deformación máxima es de 2.057 mm, para la función que desempeña y teniendo en cuenta que las fajas transportadoras rigidizarán aún más la estructura (ver plano ORD - A0 - 2 o Figura 3-32) no se refuerza más este elemento.

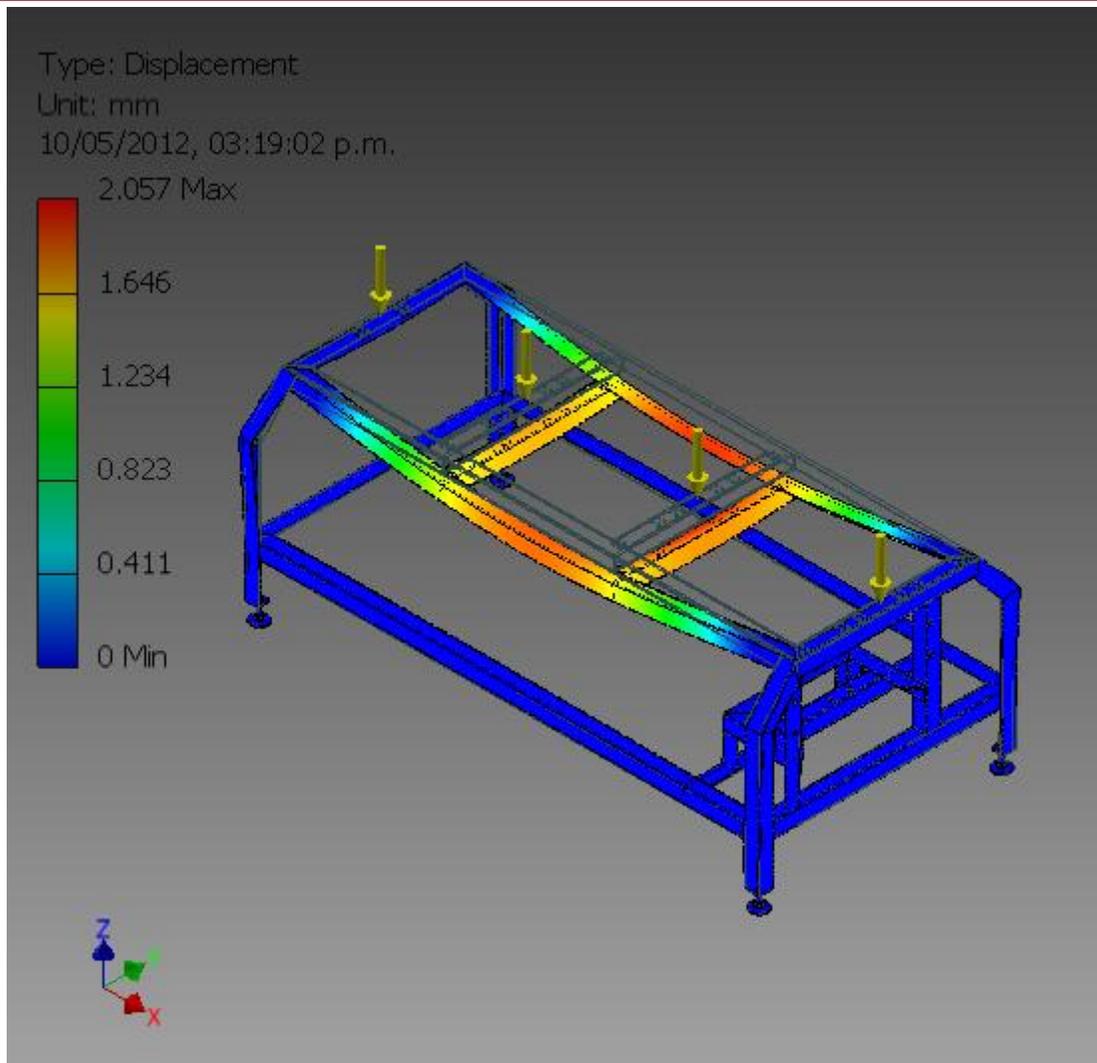


Figura 3-31: F.E.A. de la estructura principal, deformaciones

Finalmente y luego de dimensionar y acomodar todos los componentes en el espacio más reducido posible, por las exigencia de que las máquinas debían ser compactas, se tiene un reacomodo de las guías superiores y dimensionamiento adecuado de las patas de las fajas transportadoras para permitir la sincronización de las estrellas mediante engranajes y a su vez estos actuar de tal forma que no exista ningún problema con cualquier deshilachamiento de las telas y goma de las fajas. Por otro lado, se han adicionado puentes de unión y anclaje para las guías de acero inoxidable, todas unidas con pernos de cabeza cilíndrica y dada la naturaleza de los dobleces y curvaturas efectuadas sobre las guías, se tiene que al momento de ajustar los pernos se introducen esfuerzos de deformación adicionales en las guías, los cuales contribuyen a rigidizar aún más la estructura.

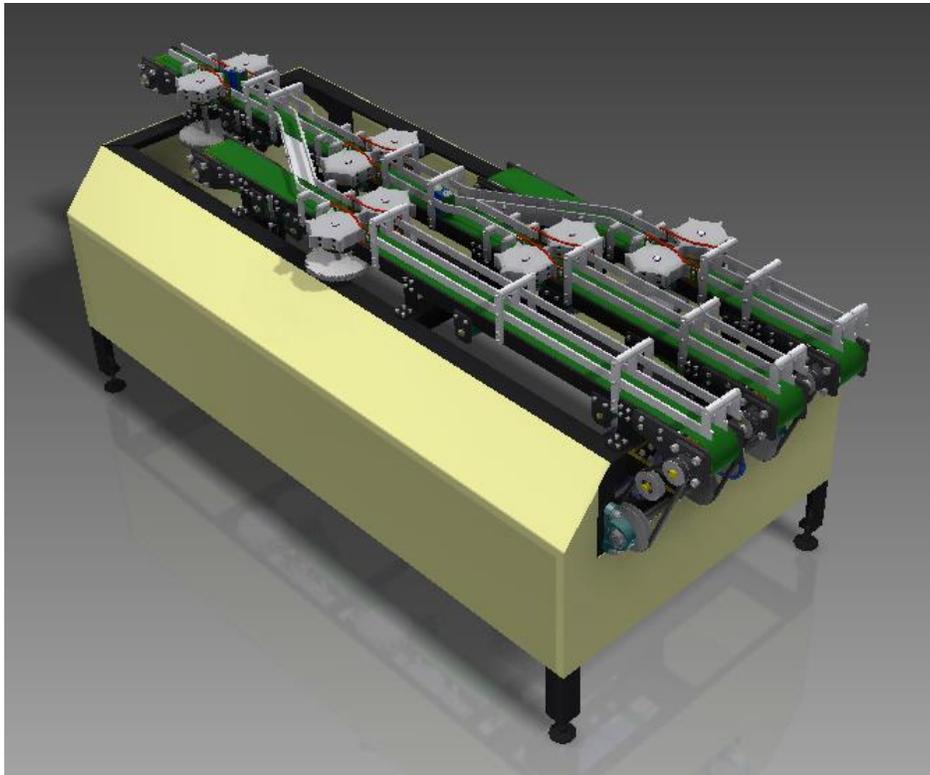


Figura 3-32: Vista en CAD de la máquina Ordenadora completa

La Figura 3-32 muestra el modelo completo de la máquina, en un renderizado. Se pueden distinguir todas las estaciones de desvío. Las fajas transportadoras y los puentes por los que pasan las pilas mientras forman el bloque de seis filas de pilas que pasará a la siguiente máquina. La Ordenadora al igual que todas las demás máquinas tiene patas regulables que permiten la adaptación de todo el sistema al suelo de la planta que puede llegar a ser bastante irregular. Se ha pensado en guardas de acrílico alrededor de toda la máquina para evitar que alguien pueda introducir sus manos o algún objeto que obstruya los carriles y evite el buen funcionamiento del sistema. Esta guarda de acrílico sería en todo caso construida por los técnicos del departamento de Mantenimiento e Ingeniería bajo la supervisión de la coordinadora del área de seguridad industrial de la planta.

3.3 Diseño del segundo módulo, faja puente

3.3.1 Guías de acomodo

La función principal de esta máquina es de unir las filas de pilas ordenadas provenientes de la máquina anterior y formar un bloque compacto de seis filas de pilas que será posteriormente dividido en la máquina llenadora y dada la naturaleza de los movimientos

del producto a lo largo de los carriles de esta máquina, no se necesita nada más que guías que eliminen la distancia existente entre carril y carril. El principio de funcionamiento es bastante simple y consta de una faja transportadora muy lisa y una geometría de guías no paralelas que se detalla en la que es obtenida a partir nuevamente de un análisis gráfico en software CAD (como se hizo en la sección 3.2.1). Las guías laterales y los puentes de unión han sido concebidos de acero AISI 304 de sección transversal 5 x 20 mm, mientras que las terminaciones de las guías han sido pensadas con el mismo acero pero de espesor 0.8 mm. Todos los elementos van soldados y las guías conforman un bloque sólido que se emperna en seis puntos distintos a puentes adosados a los laterales de estructura principal de la faja transportadora.

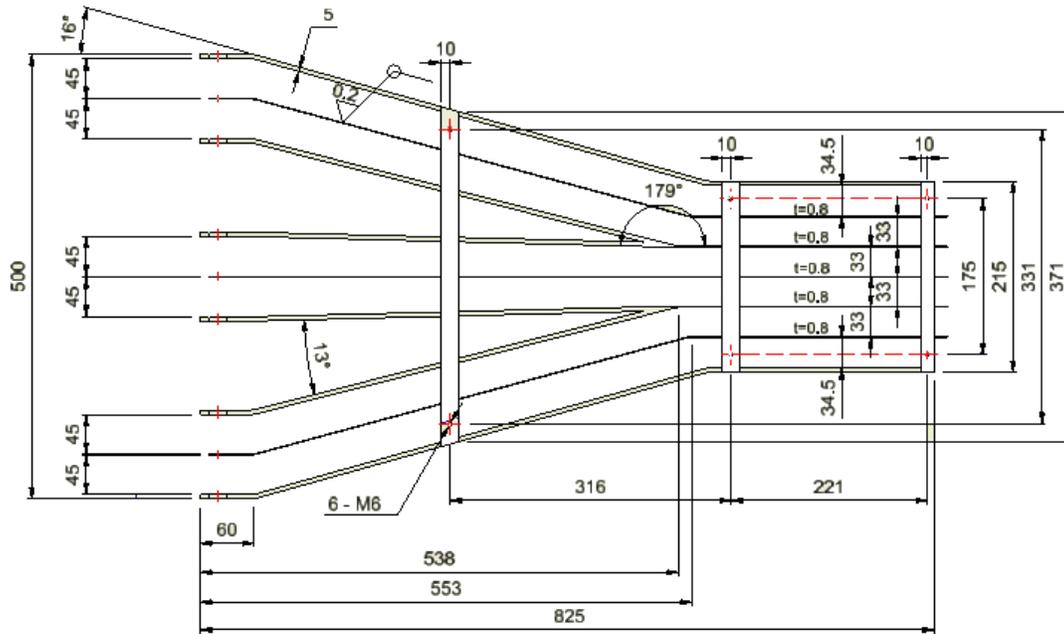


Figura 3-33: Bloque de guías en faja puente

3.3.2 Transmisión de potencia

Como se puede verificar en el Anexo 1 en el que se detalla la transmisión de energía en la máquina ordenadora, una vez hecho el cálculo y teniendo ya una geometría definida en la sección anterior, y sabiendo que en planta existen motores nuevos de 0.2 kW residuales de un pedido de ya hace bastante tiempo, se procede a utilizar componentes de transmisión con las mismas características que en el diseño de la máquina ordenadora. Las patas de la

estructura son similares en el conjunto de máquinas con el objetivo de construirlas todas a la vez y que la persona que deba regular las alturas de las máquinas utilice solamente una llave de boca N°18 para todas ellas y evitarse el trabajo adicional de cambiar las llaves dependiendo de cada máquina.

3.3.3 Estructura y modelo final

La estructura principal de esta máquina se ha diseñado del mismo material que la estructura de la primera máquina (ordenadora), con el objetivo de uniformizar las máquinas, otorgarles suficiente rigidez estructural y al momento de hacer el pedido de material, obtener todos los perfiles necesarios para las estructuras de todas las máquinas en la primera compra y de un solo proveedor, y fabricarlas con las mismas técnicas de soldadura. La estructura posee adicionalmente cuatro puentes de los cuales se sujeta el bloque de guías de acero AISI 304 mediante pernos de cabeza cilíndrica. La Figura 3-34 muestra el modelo en CAD de la máquina y todos sus aditamentos.

Las guías de acero inoxidable forman una sola pieza suspendida por pletinas de acero estructural dobladas y aseguradas a la estructura principal a través de pernos y tuercas M6.

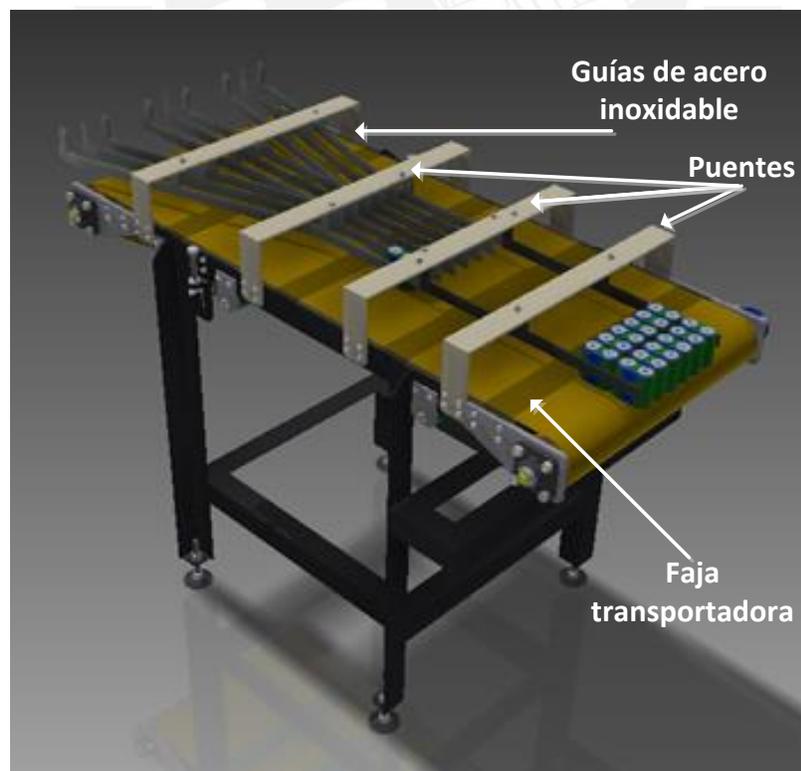


Figura 3-34: Vista en CAD de la Faja Puente completa

3.4 Diseño del tercer módulo, llenadora de bandejas

El tercer y último módulo del conjunto de máquinas cumple la función de dividir el bloque de seis o cinco filas según sea el caso y colocar cuatro columnas de pilas dentro de la bandeja de cartón descrita en el primer capítulo, todo esto mientras que dos sistemas en paralelo alimentan las bandejas vacías y expulsan las que ya han sido llenadas con el producto. Esta máquina para sus movimientos utiliza energía proveniente de un sistema neumático provisto de cinco pistones accionados por también válvulas 5/2 de solenoide que sincronizadas por un PLC, y en base a la información recogida por sensores inductivos y procesada por un PLC, accionan dichos pistones durante un ciclo de la máquina. La máquina también puede sufrir alteraciones para adaptarse a la producción de bandejas de 12 y 20 unidades, esto se logra adicionando un bloque de baquelita o nylon en el mismo lado en el que se anula un carril de la máquina ordenadora.

3.4.1 Sistema de división del bloque compacto de pilas

El sistema de división en la máquina actúa como si fuera un cuchillo sobre una gran torta y es que el bloque compacto de pilas es movido por la faja lisa de la máquina previa llenando rápidamente y de una sola vez el receptáculo de la plataforma, luego de esto un sensor inductivo le indica al PLC la presencia de las pilas. El sensor a su vez acciona un pistón neumático que baja la plataforma que está apoyada en columnas de acero AISI SAE 4340, las mismas que están protegidas del desgaste por una capa de nitrurado (Figura 3-36). Estas columnas permiten un fácil descenso de la plataforma. En la parte superior de la plataforma se encuentran adosados en forma perpendicular al flujo de pilas dos rodillos apoyados en rodamientos (Figura 3-35), los mismos que empujan las pilas debajo de ellos hacia abajo y a la vez detienen el bloque de pilas que mantiene su fuerza de empuje debida a la faja transportadora lisa de la máquina anterior (faja puente). Una vez que la plataforma se encuentra en su posición inferior, el sensor de final de carrera del cilindro de descenso le indica mediante un pulso eléctrico al PLC el estado de la plataforma. Mientras, un sensor fotoeléctrico en el carril alimentador de las bandejas confirma la presencia de una bandeja de cartón, seguidamente se accionan los cilindros neumáticos de diámetro de émbolo 20 mm redondos adosados a la plataforma para retirar la base que sirve de soporte a las pilas que se encuentran en el receptáculo. Debido a la velocidad de estos cilindros, las pilas caen

una distancia de 30 mm hacia las bases de las bandejas de cartón depositándose sin sufrir daño alguno.

En la Figura 3-36 se muestra el detalle de las bocinas de bronce por donde deslizan las guías circulares que actúan a modo de columnas guía en una matriz de corte. El soporte de plataforma está fijo a la estructura de la máquina y se produce un movimiento relativo alrededor de este componente. Las deformaciones posibles en la pieza denominada base de plataforma 1 (Figura 3-36) son pequeñas y permiten que las guías deslicen con la suficiente holgura como para no atascarse. Los cilindros neumáticos circulares retiran la placa de acero inoxidable, para luego depositarlas en el fondo de las bandejas de cartón. La geometría se ha basado en el prototipo de llenadora descrito en la sección 3.1.

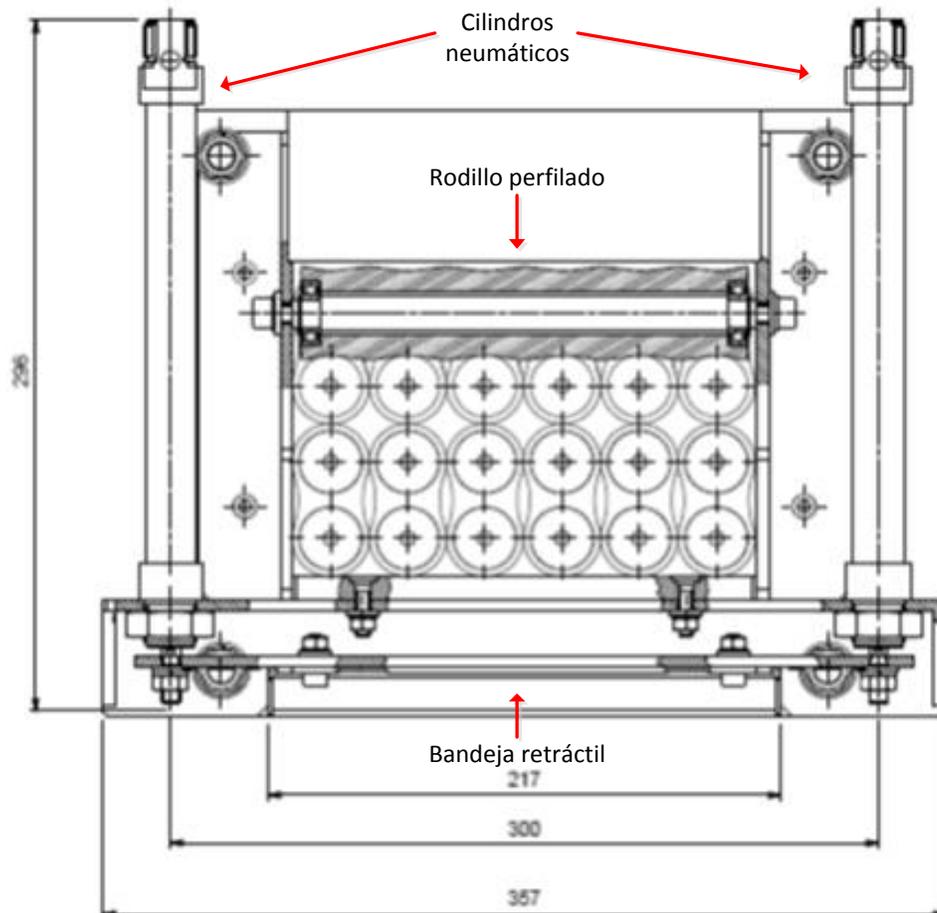


Figura 3-35: Vista superior de plataforma con bandeja retráctil

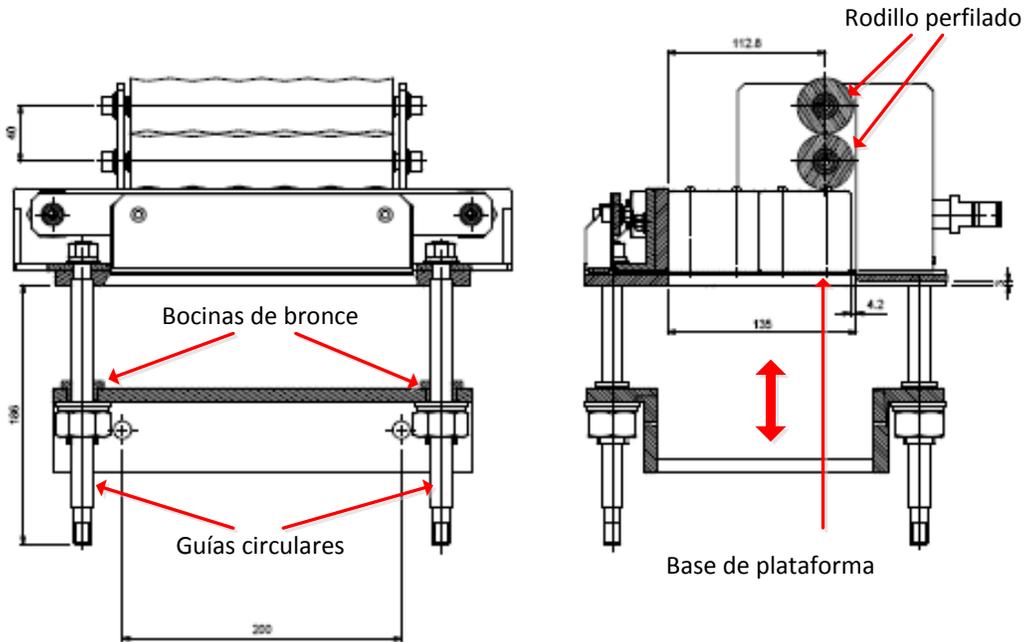


Figura 3-36: Guías circulares de plataforma y deslizamiento

3.4.2 Sistema de transporte de bandejas

Para el transporte de bandejas se ha optado por un sistema inspirado en un mecanismo de trinquete pero adaptado a un trabajo lineal y a un accionamiento mediante un pistón neumático, el gancho retráctil (Figura 3-37) tiene la particularidad de poder pasar por debajo de las bandejas de cartón sin moverlas de su posición a pesar de rozarlas en la base. Luego de posicionarse detrás de ellas, las empuja hacia la siguiente posición, todo en un movimiento recíprocante.

Para esto, se ha planteado la geometría del gancho como se muestra en la Figura 3-37, partiendo de un trapecio con las dimensiones del alojamiento y brindándole 10 mm de apoyo en la cara posterior de la bandeja de cartón, con un área de contacto de 10mm x 10mm, mediante pruebas de desgaste con las bandejas se determinó que esta área de contacto no daña el cartón ni siquiera con la mayor fuerza del pistón. Es así que en base al trapecio y los radios de giro de los vértices se hace los recortes geométricos para que al momento de empujar la bandeja, se auto bloquee sin necesidad de algún otro actuador.

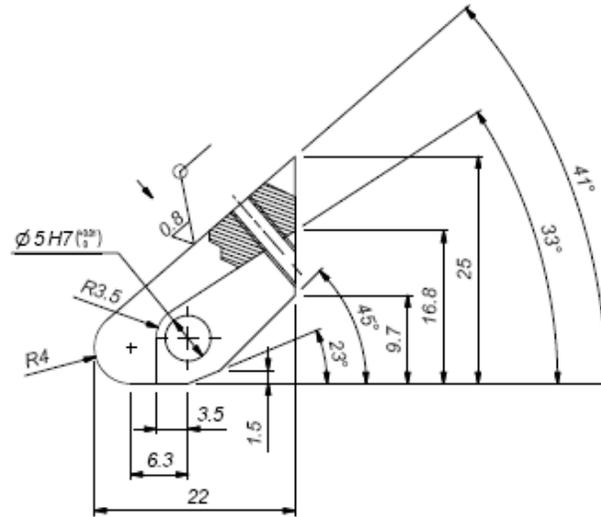


Figura 3-37: Geometría básica del gancho retráctil

También es necesario el espacio para el alojamiento de un resorte en el interior del gancho que le permita volver a su posición original una vez que haya pasado por debajo de la bandeja de cartón. Para esto se tenía dos opciones, el resorte lineal y el resorte de torsión. Con el objeto de acomodarlos de la mejor manera. Se escogió el resorte de torsión por la facilidad que tenía para instalarse y la seguridad que brindaba al no salirse en ningún momento por estar el eje del gancho en el centro de las tres vueltas del resorte y resultando físicamente imposible retirar el resorte sin sacar también el eje.

En la Figura 3-38 se observa la sección del bloque deslizante y la posición de bloqueo del gancho retráctil, el eje también está cortado y se puede ver la disposición del resorte de torsión que asegura que el gancho regrese siempre a su posición.

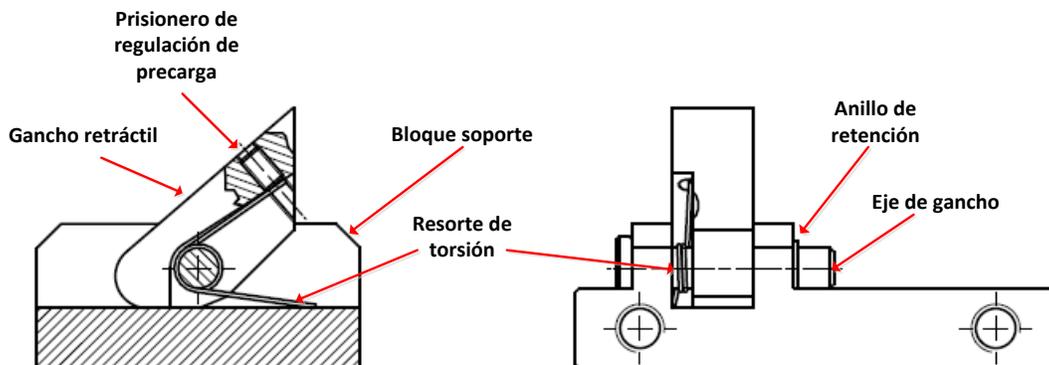


Figura 3-38: Bloque deslizante

Por otro lado en la Figura 3-39 se muestra una vista en mordedura de dos ganchos retráctiles consecutivos y la unión del último bloque con el cilindro neumático de doble efecto. Ambos bloques están unidos por piezas de conexión que permiten a los siete bloques moverse al mismo tiempo accionados por el mismo cilindro neumático.

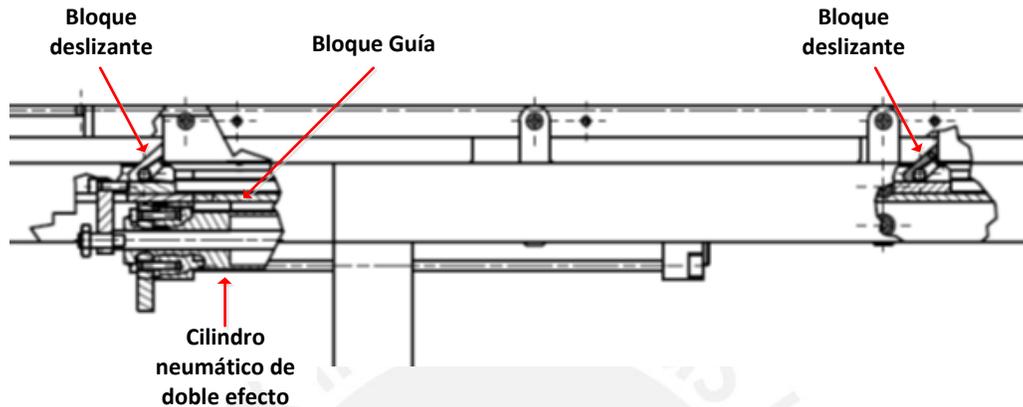


Figura 3-39: Cilindro neumático reciprocante y bloques deslizantes

Todo el sistema de transporte de bandejas está montado sobre la estructura principal de la máquina llenadora. Los bloques deslizantes se mueven a lo largo de cinco piezas empernadas a la estructura y entre sí, de tal forma que forman un gran bloque que en la parte posterior presenta una geometría que permite a una pieza de unión llamada Acople Pistón-Bloque deslizante unir el vástago del cilindro neumático con la cara posterior del primer bloque deslizante, el detalle puede observarse en el centro de la Figura 3-40, por debajo del primer gancho retráctil (en rojo).

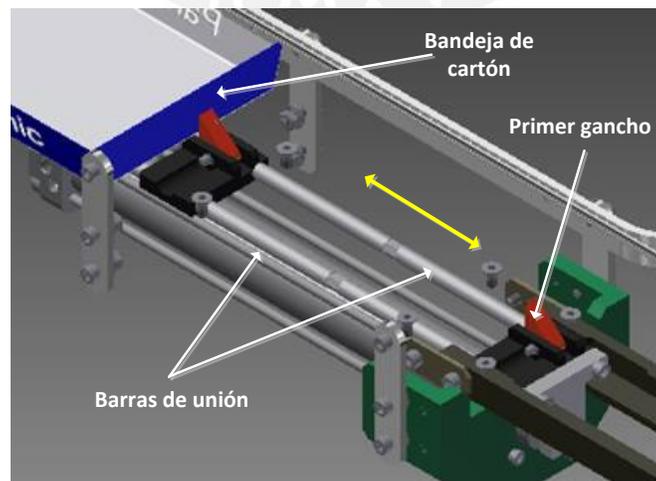


Figura 3-40: Detalle de las barras de unión y ganchos

Las barras de unión conectan los siete bloques deslizantes permitiendo que se muevan solidariamente a lo largo de las guías, soportan la fuerza que les imprime el pistón neumático situado en la parte posterior de la máquina y debajo de las guías finales² ($F_c = 321.7 N$). Su factor de esbeltez $\lambda_e = 43.2$ puesto en la gráfica de esfuerzo máximo admisible según el método europeo³ (Figura 3-41) para el caso particular con las propiedades del material y características geométricas y con un factor de seguridad de 3 se obtiene que la fuerza máxima aplicable por cada una de las barras es $F_{max} = 6283 N$ por lo que se puede inferir que las barras de unión soportarían los esfuerzos de compresión de forma segura. Se marca la abscisa correspondiente al factor de esbeltez λ_e y en la recta de aproximación le corresponde un punto en el tramo inicial de la gráfica, en una zona muy segura, lo cual se comprueba con el factor de seguridad resultante que es 19.53 Para ver el cálculo de pandeo completo, remítase al Anexo 3

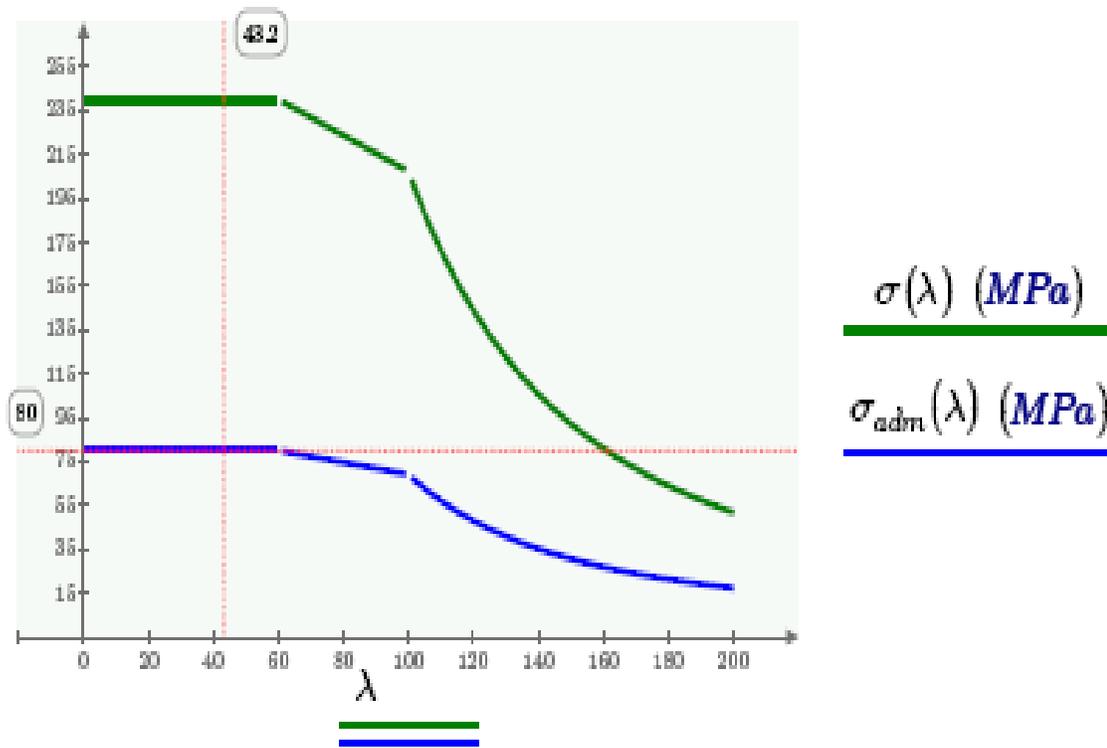


Figura 3-41: Gráficas según el método europeo para la verificación al pandeo

² El cálculo de las fuerzas y el factor de esbeltez se muestra completo en el Anexo 2

³ La verificación al pandeo de las barras de unión se muestra completa en el Anexo 3

Cabe destacar que las bandejas se mantienen en su posición mediante fricción con las paredes laterales (Figura 3-42), las cuales las presionan deformándolas de tal modo que a la vez que las retienen, configuran la forma exacta como para que las pilas puedan caer sin rozar el borde de la bandeja, esto gracias a la propiedad de las bandejas de ser más anchas en los bordes de las paredes que en la base, lo cual se aprovechó para que al deformarlas en las guías de la llenadora, rigidizarlas ligeramente y que se pueda introducir pilas en ellas sin correr el riesgo de que se doblen al depositar las pilas en ellas.

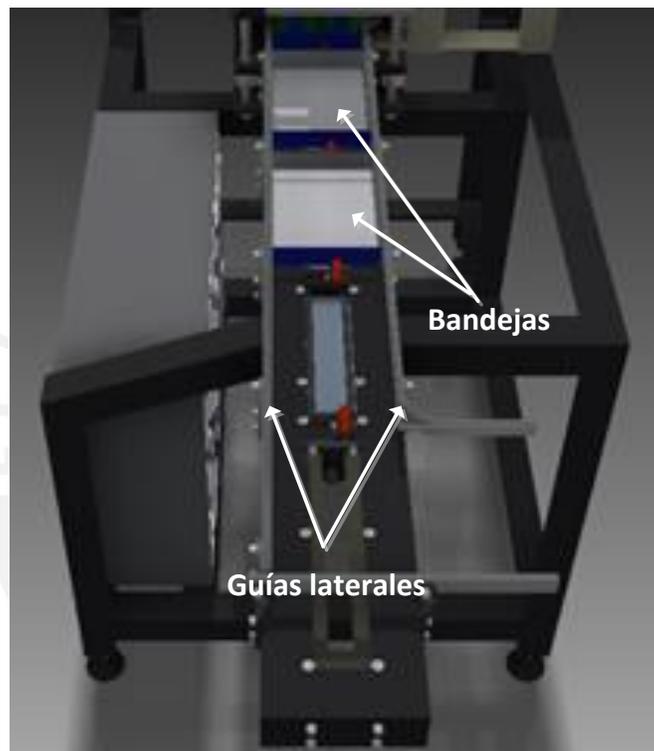


Figura 3-42: Vista en CAD del sistema de transporte de bandejas.

Con el fin de explicar mejor el sistema de transporte de bandejas se muestra una vista en wireframe (o de alambre) del mismo (Figura 3-43), a la izquierda el cilindro neumático y los bloques deslizantes solidarios, todo esto debajo de la superficie por donde se mueven las bandejas para que las piezas de unión de los bloques deslizantes no interfieran en transporte. A la derecha se muestra la plataforma con el bloque de pilas formado en la ordenadora en la parte superior y está en espera, mientras que justo debajo de este se muestra el bloque separado con los rodillos ya puesto en las bandejas.

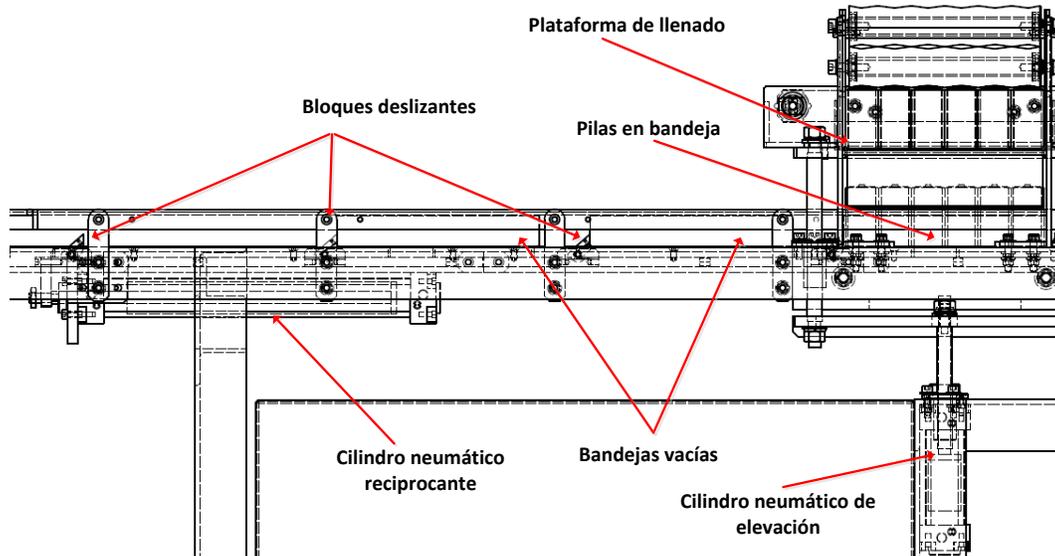


Figura 3-43: Vista en alambre de sistema de transporte y llenado de bandejas

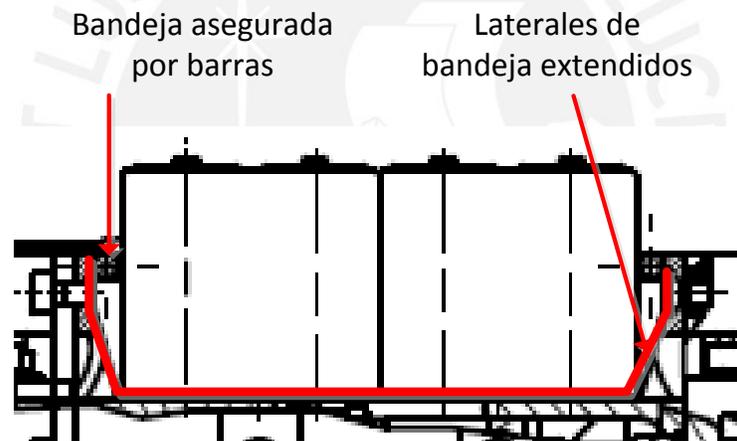


Figura 3-44: Dibujo de bandeja asegurada

La Figura 3-44 muestra la forma en la que se aseguran las caras laterales de las bandejas mediante barras circulares en la parte superior de las mismas, dejando el espacio justo para el ingreso de las pilas desde la plataforma de llenado. Para el llenado de bandejas de 12 unidades, se mueve la guía lateral izquierda reduciendo el espacio a la mitad conservando la altura. Por esta razón el gancho retráctil se coloca más hacia el lado derecho del sistema de transporte de bandejas; para asegurar que también pueda mover las bandejas de 12 unidades una vez alterada la disposición de guías laterales de las mismas.

En esta máquina se ha destinado el espacio para el tablero de control eléctrico de todo el sistema. Desde antes de empezar el modelamiento de la estructura principal se consultó a

los técnicos electricistas por el tamaño adecuado del tablero y se destinó un espacio de 650 x 400 x 200 mm en la parte frontal de la máquina, en un lugar accesible para labores de mantenimiento.

La velocidad mínima de los pistones es 6.54 cm/s, (ver Anexo 2) velocidad con la que se dimensiona la unidad de mantenimiento y las válvulas 5/2.

Los principales resultados se muestran a continuación:

Recorridos de cilindros neumáticos en plataforma de elevación y bandeja retráctil:

$$r_{cn} = 160 \text{ mm} + 50 \text{ mm} = 210 \text{ mm}$$

Tiempo de llenado de receptáculo: $t_{lr} = 2.48 \text{ s}$

Tiempo para actuadores: $t_{ac} = 3.21 \text{ s}$

Velocidad mínima requerida: $v_{min} = 6.54 \text{ cm/s}$

Relación entre la fuerza del cilindro neumático de elevación y el peso de la plataforma de elevación:

$$\frac{F_{emb32}}{W_{plat}} = 1.99$$

Caudal máximo de aire necesario en válvula solenoide 5/2 de un cilindro neumático de 32mm de diámetro:

$$C_{32} = 48.26 \text{ l/min}$$

Caudal máximo de aire necesario en válvula solenoide 5/2 de un cilindro neumático de 20mm de diámetro:

$$C_{20} = 18.85 \text{ l/min}$$

Caudal total de aire máximo: $C_{aire} = 241.27 \text{ l/min}$

En base a estos datos se escoge la unidad de mantenimiento integrada AC20 que tiene muy poca caída de presión a medida que el caudal se incrementa. Las válvulas son modulares adaptadas a un manifold tipo 20 según el catálogo de SMC *Pneumatics*.

3.4.3 Sistema de expulsión de bandejas llenas

El sistema de expulsión de bandejas llenas consta de un cilindro neumático DSNU-20-160-P empotrado en una estructura de acero con una cara rectificadas y tres agujeros taladrados con referencia en esta. Se tienen así tres ejes paralelos entre sí. En los agujeros laterales se instalan dos bocinas de bronce para el deslizamiento de barras cilíndricas de refuerzo, las

que son instaladas para evitar una carga excesiva por torsión en el vástago del cilindro neumático y darle mayor rigidez a la estructura móvil de expulsión.

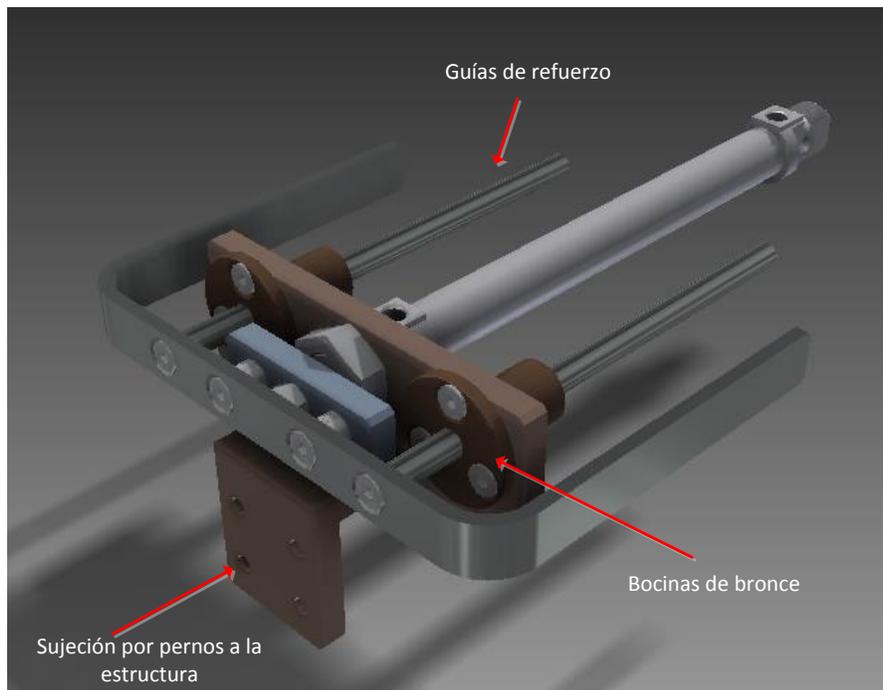


Figura 3-45: Sistema de expulsión de bandejas llenas

El sistema de expulsión de bandejas vacías (Figura 3-45) se acopla lateralmente a la estructura principal a través de pernos, lo que facilita las labores de mantenimiento y en caso de ser necesario el reemplazo del cilindro neumático.

Las guías de refuerzo se fijan a la pieza de acero inoxidable en forma de C a través de pernos de cabeza avellanada para evitar los bordes que se presentarían si se usaran pernos hexagonales o de cabeza cilíndrica. Esto elimina la posibilidad de que se deje cualquier tipo de huella en las bandejas de cartón salientes.

La Figura 3-46 muestra el modelo 3D terminado en Autodesk Inventor 2011

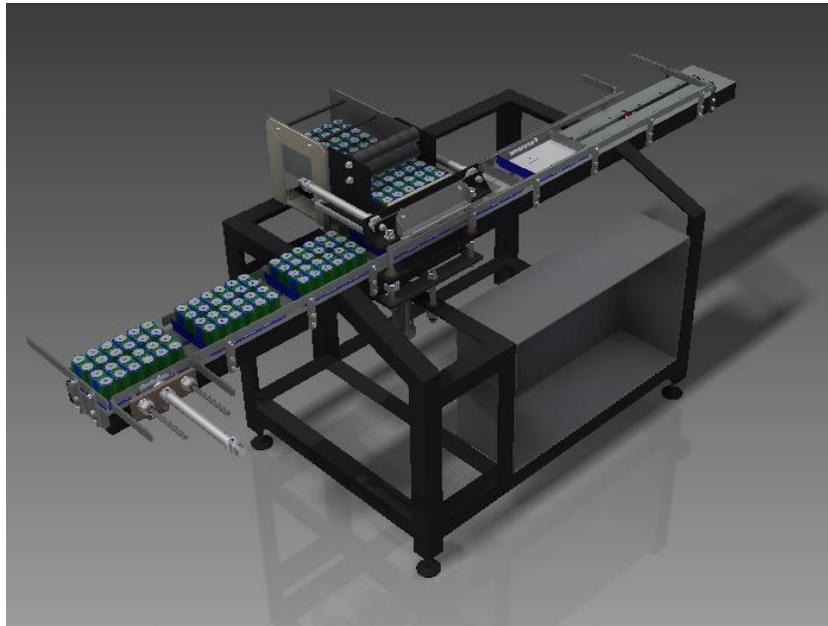


Figura 3-46: Vista en CAD de la máquina Llenadora de Bandejas completa

3.4.4 Esquema neumático

La máquina llenadora posee un sistema neumático para realizar los movimientos necesarios para colocar las pilas en las bandejas de cartón. En la siguiente tabla se muestran los 5 cilindros neumáticos utilizados con ese fin.

Tabla 3-1: Cilindros neumáticos usados en la máquina llenadora

Modelo:	Designación	Cantidad	Aplicación
Cilindro neumático DSNU (ISO 6432)	DSNU-20-160-P	3	Bandeja retráctil y expulsor
Cilindro neumático DNG (ISO 6431)	DNG-32-50-PPV	1	Elevación de plataforma
Cilindro neumático DNG (ISO 6431)	DNG-32-260-PPV	1	Reciprocante, sistema de transporte de bandejas

En la Figura 3-47 se muestra un esquema general del sistema neumático de la máquina llenadora, son en total 3 cilindros neumáticos de diámetro de émbolo 20 mm y 160 mm de carrera, uno para sistema de expulsión y dos para la bandeja retráctil; un cilindro neumático de diámetro de émbolo 32 mm y 50 mm de carrera para la plataforma de llenado y finalmente un cilindro neumático de 32 mm de diámetro de émbolo y 260 mm de carrera

para el sistema reciprocante de transporte de bandejas, (ver resumen en la Tabla 3-1). Cada uno de ellos está controlado por una válvula solenoide 5/2 monoestable con accionamiento manual auxiliar. La unidad de mantenimiento ha sido seleccionada en función al caudal total de los cilindros neumáticos. Los cilindros neumáticos tienen todas válvulas reguladoras de caudal para poder calibrar en campo la velocidad necesaria para su funcionamiento.

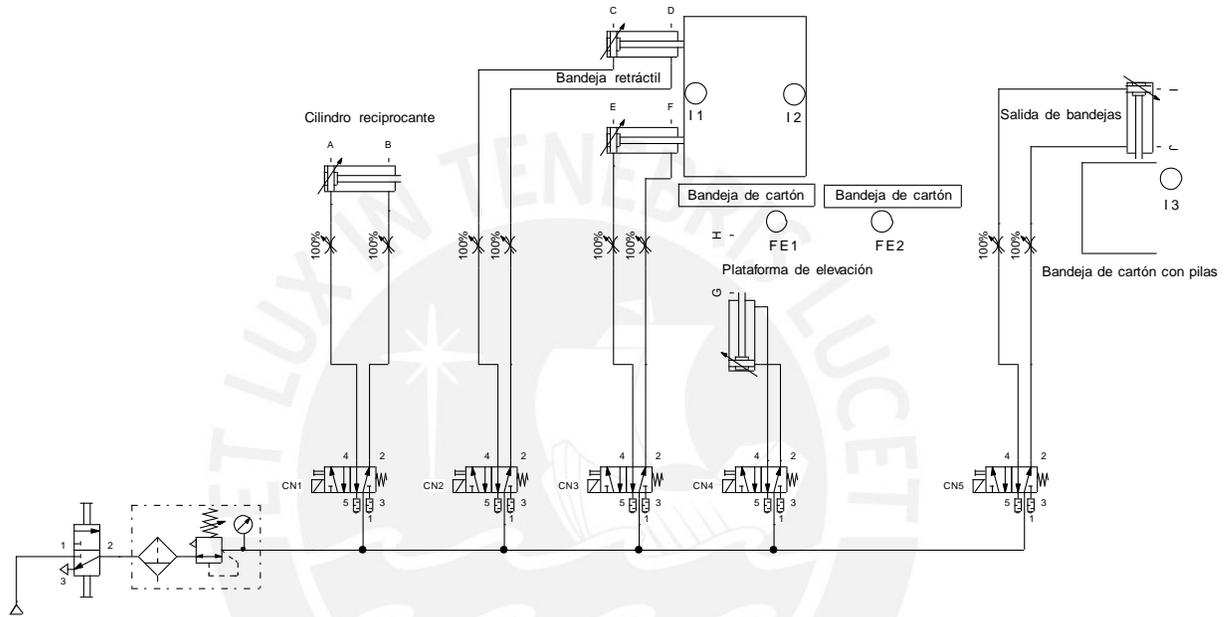


Figura 3-47: Sistema neumático en máquina llenadora

3.4.5 Lógica de control

La lógica de control se basa en tener un PLC central del sistema que controla una cadena de eventos que dependen entre sí. Esto permite que se cumplan ciertas condiciones a lo largo del tiempo que hacen que el ciclo se cierre y repita hasta una señal de detención. Como todo circuito de control presenta sensores y actuadores, se tienen sensores inductivos para indicar la presencia de las pilas en los diferentes tramos de las máquinas, esto es a la entrada a la llenadora (I1), en el momento en que el receptáculo de la plataforma de llenado está con pilas (I2), y en el pistón de salida de la llenadora (I3). Por otro lado un sensor fotoeléctrico de corte indica si hay una bandeja de cartón puesta debajo del bloque de pilas listo a depositarse (FE1) mientras que uno similar indica si hay más bandejas vacías en cola esperando para continuar el proceso (FE2).

El ciclo inicia al pulsarse el botón Start (Figura 3-48), seguidamente y luego del enclavamiento respectivo (línea 2 Figura 3-48), se acciona la marca M1 que acciona a su vez el circuito de la cuarta línea de comandos, pero no generará movimiento alguno si es que los requisitos que exige no se cumplen, esto es que los sensores inductivos I1 e I2 y que el sensor fotoeléctrico FE1 tengan una señal, esto se traduce en que haya pilas en todo el receptáculo de la plataforma de llenado, que haya pilas en el bloque proveniente de la ordenadora y que el sensor fotoeléctrico (FE1) indique que hay una bandeja vacía y lista debajo de la plataforma. Si estas condiciones se satisfacen, el circuito activa el solenoide del cilindro neumático número 4 (CN4), que hace que la plataforma de llenado baje con todo su contenido, la señal del solenoide CN4 se autoenclava mediante el circuito auxiliar de la línea de comandos número cinco.

A continuación el final de carrera inferior del CN 4 (G) cierra el circuito de la línea de comandos número cinco, pues hasta ahora todas las condiciones previas se están cumpliendo, esto es I2 y FE2 (una bandeja de cartón vacía atrás de la que se está llenando) con señal. Al activarse el final de carrera G, los cilindros neumáticos accionados por los solenoides CN2 y CN3 se despliegan moviendo la bandeja retráctil y dejando caer las pilas en la bandeja de cartón vacía, la señal del solenoide del CN2 enclava acto seguido su propio circuito.

El final de carrera D del cilindro neumático accionado por el solenoide CN2 activa la marca M2 que desenclava al solenoide CN4 a la vez que envía una señal instantánea al circuito de la línea de comandos número ocho accionando el solenoide CN1 y enclavándolo a través del circuito paralelo de la línea diez, el final de carrera B desenclava este circuito haciendo que el cilindro neumático monoestable vuelva a su posición original.

Finalmente el sensor inductivo I3 al registrar la presencia de una bandeja llena al final de la línea, acciona el solenoide CN5 que controla al cilindro neumático correspondiente y enclavándose a continuación, el circuito es solamente interrumpido cuando el final de carrera J envía su señal. El ciclo inicia nuevamente cuando el final de carrera B correspondiente al solenoide CN1 envía la señal respectiva.

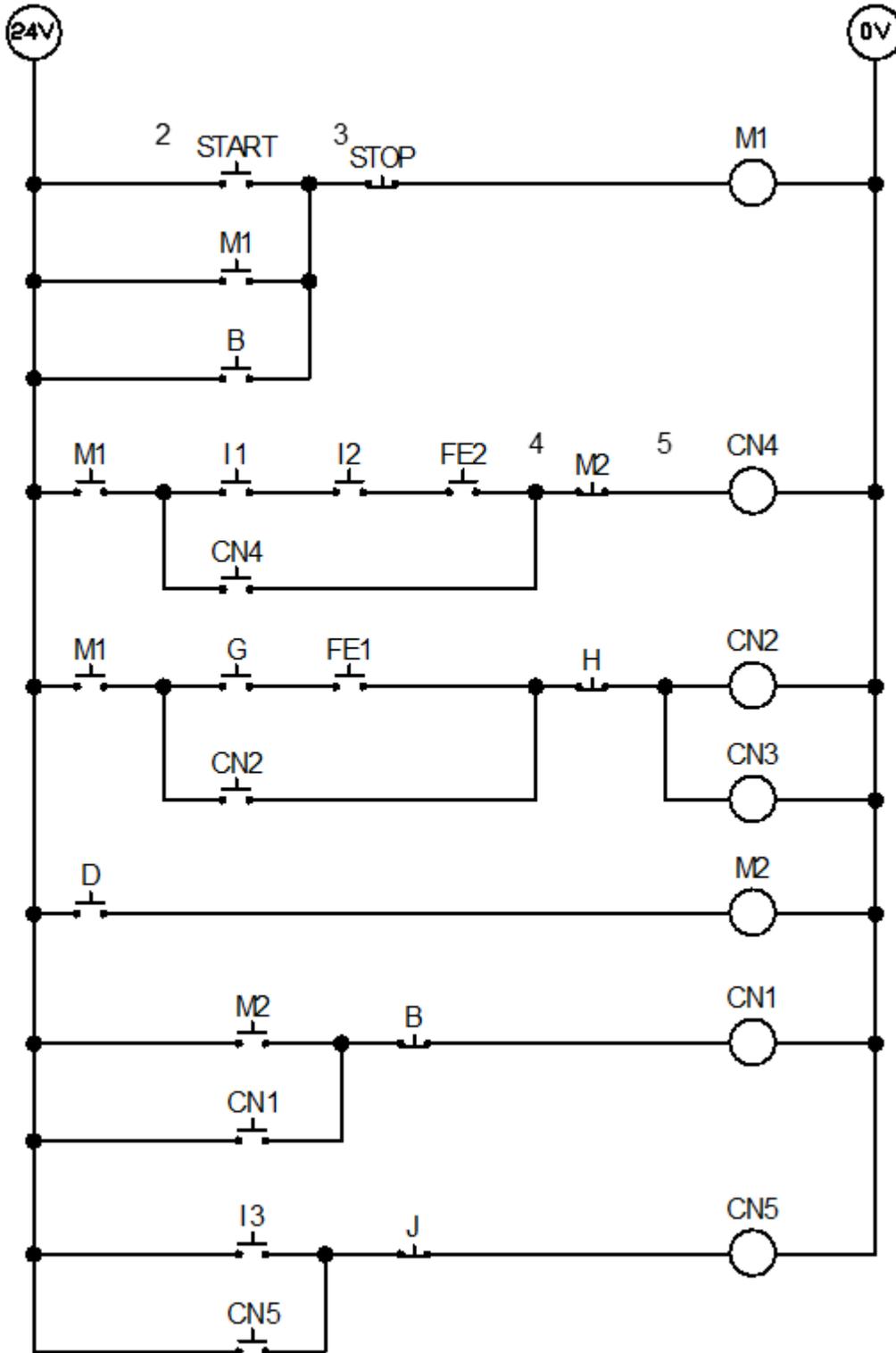


Figura 3-48: programación en ladder

Capítulo 4

Listas de planos

4.1 Lista de planos de máquina ordenadora

Código del plano	Título
ORD - A3 - 1	Ordenadora, perspectivas
ORD - A0 - 2	Ordenadora, ensamble general
ORD - A3 - 3	Estrella de 5 puntas
ORD - A3 - 4	Estrella de 6 puntas
ORD - A3 - 5	Estrella 1-1
ORD - A3 - 6	Estrella 1-2 (2)
ORD - A3 - 7	Estrella 1-2 (1)
ORD - A3 - 8	Estrella 4-1 (1)
ORD - A3 - 9	Estrella 4-1 (1)
ORD - A3 - 10	Soporte general
ORD - A3 - 11	Estructura principal Faja 3
ORD - A3 - 12	Estructura principal Faja 2
ORD - A3 - 13	Estructura principal Faja 3
ORD - A4 - 14	Soporte de fajas
ORD - A4 - 15	Pletina P
ORD - A4 - 16	Pletina C
ORD - A4 - 17	Tubo de polines motriz y cabeza
ORD - A4 - 18	Árbol de polín motriz
ORD - A4 - 19	Eje polín de cabeza
ORD - A4 - 20	Tapa de polines motriz y de cabeza
ORD - A4 - 21	Tubo de polín de retorno
ORD - A4 - 22	Eje de polín de retorno
ORD - A4 - 23	Eje de polín de retorno tensor

ORD - A4 - 24	Polín de cabeza, detalles constructivos
ORD - A4 - 25	Polín de cabeza, ensamble
ORD - A4 - 26	Polín de retorno tensor, ensamble
ORD - A2 - 27	Faja 1, ensamble
ORD - A3 - 28	Faja 2, detalles constructivos
ORD - A3 - 29	Faja 2, detalles constructivos
ORD - A3 - 30	Soporte de estrellas, ensamble
ORD - A4 - 31	Soporte de guías (3)
ORD - A4 - 32	Soporte de guías (2)
ORD - A4 - 33	Soporte de separador
ORD - A4 - 34	Soporte de templador V-belt
ORD - A4 - 35	Soporte de separador 4-1
ORD - A3 - 36	Ordenadora, detalles de transmisión
ORD - A4 - 37	Polea 1
ORD - A4 - 38	Polea 2
ORD - A3 - 39	Polea 3
ORD - A4 - 40	Guía 1
ORD - A4 - 41	Guía 2
ORD - A4 - 42	Guía 3
ORD - A4 - 43	Guía 4
ORD - A4 - 44	Guía 5
ORD - A4 - 45	Guía 6
ORD - A3 - 46	Guía 7
ORD - A3 - 47	Guía 8
ORD - A3 - 48	Guía 9
ORD - A4 - 49	Guía 10
ORD - A4 - 50	Guía 11
ORD - A3 - 51	Guía 12
ORD - A3 - 52	Guía 13
ORD - A3 - 53	Guía 14
ORD - A4 - 54	Guía 15
ORD - A3 - 55	Guía 16

ORD - A3 - 56	Guía 17
ORD - A4 - 57	Guía 18
ORD - A4 - 58	Guía 19
ORD - A4 - 59	Separador 3-M
ORD - A4 - 60	Separador 3-H
ORD - A4 - 61	Separador 3-Final-M
ORD - A4 - 62	Separador 3-Final-H
ORD - A3 - 63	Junta
ORD - A4 - 64	Soporte de rodamientos
ORD - A4 - 65	Soporte de rodamientos 4-1
ORD - A3 - 66	Soporte de templador
ORD - A3 - 67	Templador de fajas, detalles constructivos
ORD - A4 - 68	Templador V-belt, detalles constructivos
ORD - A4 - 69	Eje de templador V-belt
ORD - A3 - 70	Árbol de poleas
ORD - A3 - 71	Eje de estrellas
ORD - A4 - 72	Eje de estrellas 2
ORD - A4 - 73	Separador (2)
ORD - A4 - 74	Separador (3)
ORD - A4 - 75	Separador (3) Final
ORD - A3 - 76	Ordenadora, disposición de guías
ORD - A4 - 77	Engranajes de sincronización
ORD - A4 - 78	Cubo de sprocket

4.2 Lista de planos de máquina faja puente

Código del plano	Título
FP - A3 - 1	Faja puente, perspectiva
FP - A2 - 2	Faja puente, ensamble general
FP - A3 - 3	Estructura base
FP - A3 - 4	Conjunto de guía
FP - A4 - 5	Guía final regulable 1
FP - A4 - 6	Guía final regulable 2

FP - A4 - 7	Puente 1
FP - A4 - 8	Puente 2
FP - A4 - 9	Puente 3
FP - A4 - 10	Puente 4
FP - A4 - 11	Estructura base, detalle de agujeros
FP - A3 - 12	Polín motriz
FP - A3 - 13	Polín de cabeza
FP - A4 - 14	Tubo de polín de retorno
FP - A4 - 15	Eje de polín de retorno
FP - A4 - 16	Eje de polín de retorno tensor
FP - A4 - 17	Pata roscada

4.3 Lista de planos de máquina llenadora

Código del plano	Título
LLEN - A3 - 1	Llenadora, perspectivas
LLEN - A0 - 2	Llenadora, ensamble general
LLEN - A1 - 3	Plataforma, ensamble
LLEN - A3 - 4	Bloque de arrastre, ensamble
LLEN - A4 - 5	Rodillo perfilado, ensamble
LLEN - A3 - 6	Pistón de salida, ensamble
LLEN - A3 - 6	Soporte de plataforma
LLEN - A3 - 8	Tope frontal
LLEN - A4 - 9	Bocina de plataforma
LLEN - A3 - 10	Base de plataforma
LLEN - A3 - 11	Base de plataforma 2
LLEN - A4 - 12	Rodillo perfilado
LLEN - A3 - 13	Tope izquierdo
LLEN - A3 - 14	Tope derecho
LLEN - A4 - 15	Bocina de pistón final
LLEN - A4 - 16	Soporte de actuador
LLEN - A3 - 17	Bloque deslizante
LLEN - A3 - 18	Gancho

LLEN - A4 - 19	Resorte de torsión de retorno
LLEN - A4 - 20	Eje de gancho
LLEN - A4 - 21	Barra de unión
LLEN - A3 - 22	Bloque guía 1
LLEN - A3 - 23	Bloque guía 2
LLEN - A4 - 24	Eje de rodillo
LLEN - A4 - 25	Guía circular
LLEN - A4 - 26	Guía circular 2
LLEN - A4 - 27	Guía de pistón de salida
LLEN - A4 - 28	Bandeja retráctil
LLEN - A4 - 29	Chapa base
LLEN - A3 - 30	Guía lateral derecha
LLEN - A4 - 31	Guía de salida
LLEN - A4 - 32	Refuerzo c
LLEN - A3 - 33	Guía lateral izquierda
LLEN - A4 - 34	Soporte de guías
LLEN - A4 - 35	Acople pistón-bloque deslizante
LLEN - A3 - 36	Soporte de chapa
LLEN - A2 - 37	Soporte general
LLEN - A4 - 38	Soporte de pistón de salida

4.4 Vista general del proceso

GEN - A0 - 1	Vista en perspectiva del proceso completo, incluye las fajas auxiliares
--------------	---

Capítulo 5

Metrado y registro de la construcción

5.1 Metrado y costos

Se listan a continuación (Tabla 5-1) los materiales utilizados para la fabricación de los diferentes sistemas mecánicos y estructuras de soporte en las tres máquinas en las que se centra esta tesis, también se muestran los precios estimados por el área de logística y compras de la compañía, basados en cotizaciones a diferentes empresas proveedoras.

Tabla 5-1: Lista de materiales y costos.

Materiales utilizados en la fabricación del proyecto de llenado automático de pilas UM-1 en bandejas de cartón					
Descripción	Material y características	Unidad	Cantidad	Costo unitario (soles, inc IGV)	Costo total (soles, inc IGV)
Perfil estructural	ASTM A-36, L 2 x 2 x 3/16 "	Barra x 6m	13	75	975
Barra rectangular	ASTM A-36, 2 x 3/16 "	Pletina x 6m	2	34	68
Barra rectangular	ASTM A-36, 4 x 3/8 "	Pletina x 6m	1	50	50
Barra rectangular	AISI 304, 5 x 20 mm	Pletina x 2.2m	15	120	1800
Barra circular	AISI-SAE 1045-H, d=20mm	Barra x 6m	0.75	90	67.5
Barra circular	AISI-SAE 1045-H, d=16mm	Barra x 6m	1	85	85

Barra circular	AISI 304, d=18.5mm	Barra x 6m	1	90	90
Varilla circular	AISI 304, d=6mm	Barra x 6m	0.2	45	9
Tubo Laminado en caliente	ASTM A-53, Schedule 80, 3"	Tubo x 6m	3	80	240
Tubo Laminado en caliente	ASTM A-53, Schedule 80, 1 1/4"	Tubo x 6m	0.1	46	4.6
Tubo Laminado en caliente	ASTM A-53, Schedule 80, 1 1/2"	Tubo x 6m	0.1	42	4.2
Plancha de acero galvanizado LAF	ASTM A-1008 t=2mm	Plancha 1020 x 2400 mm	1	650	650
Plancha de acero galvanizado LAF	ASTM A-1008 t=1.5mm	Plancha 1020 x 2400 mm	3	630	1890
Chumacera de pared D=17	FY 17-TF	Unidad	24	60	1440
Chumacera de pie D=20	SKY 20-TF	Unidad	2	80	160
Rodamiento rígido de bolas	6002	Unidad	28	8	224
Rodamiento rígido de bolas	6301	Unidad	36	8	288
Faja trapezoidal	A-26	Unidad	3	25	75
Imán cilíndrico	Fe-Nd, D=9 x t=2	Unidad	150	0.75	112.5
Imán rectangular	Ferrita, 1/2 x 1 x 2"	Unidad	36	6.2	223.2
Cilindro neumático DSNU (ISO 6432)	DSNU-20-160-P	Unidad	1	250	250
Cilindro neumático DSNU (ISO 6432)	DSNU-20-160-P	Unidad	2	250	500
Cilindro neumático DNG (ISO 6431)	DNG-32-50-PPV	Unidad	1	320	320

Cilindro neumático DNG (ISO 6431)	DNG-32-260-PPV	Unidad	1	480	480
Electroválvula 5/2, Monoestable	Rosca 1/4"	Unidad	5	290	1450
Electroválvula 3/2 de corredera, Biestable	Rosca 1/2"	Unidad	1	120	120
Unidad de mantenimiento	Rosca 1/2"	Unidad	1	385	385
Válvula reguladora de caudal	Rosca 1/4"	Unidad	10	210	2100
Silenciador de bronce sinterizado	Rosca 1/4"	Unidad	10	40	400
Racores en codo (90°)	Rosca 1/4", d=6mm	Unidad	30	60	1800
Manguera de aire de poliuretano	d=6mm	m	15	7	105
Manguera de aire de poliuretano	d=8mm	m	5	10	50
Estrellas divisoras	Nylon, Mecanizado+material	Orden	1	3058.41	3058.41
Plataforma de llenado	Mecanizado+material	Orden	1	2700	2700
Mecanismo de alimentación	Mecanizado+material	Orden	1	1600	1600
Faja de transporte	L=4550, w=80 mm, alta rugosidad	Unidad	1	600	600
Faja de transporte	L=3500, w=80 mm, alta rugosidad	Unidad	1	530	530
Faja de transporte	L=2350, w=80 mm, alta rugosidad	Unidad	1	480	480
Faja de transporte	L=2560, w=495, lisa	Unidad	1	300	300
Faja de transporte	L=3630, w=45, lisa	Unidad	1	560	560
Faja de transporte	L=10600, w=200. lisa	Unidad	1	900	900

pernos, tuercas, etc	Estimado	-	1	250	250
				Total	27394.4 1

Costo de materia prima en dólares (Tipo de cambio: 2.7) 10146.08

Costo de diseño y supervisión de fabricación y ensamblaje en dólares⁴: 12444.44

Costo de mano de obra en fabricación (777.77 USD mensuales)⁵: 9333.33

Costo total del proyecto en dólares: 31923.85

5.2 Registro de construcción de máquinas

Las máquinas fueron construidas durante el transcurso del año 2011, empezando con el diseño de máquina ordenadora y continuando en paralelo con la supervisión de fabricación y montaje de las diferentes partes de las máquinas. Cuando se terminó y probó la ordenadora ya se tenía un plan de trabajo para fabricar la segunda y tercera máquina, es decir, la faja puente y la llenadora de bandejas; mientras estas máquinas estaban en la fase de pruebas, se empezó con la fabricación de las fajas transportadoras auxiliares de todo el sistema. A continuación se muestran los registros fotográficos de la construcción de las diferentes máquinas, empezando con la ordenadora y sus sistemas de desvío.

⁴ Fuente: Oficina de mantenimiento e ingeniería, Panasonic Peruana S.A. (Estimado en el sueldo del diseñador multiplicado por doce meses.)

⁵ Fuente: Oficina de contabilidad y recursos humanos, Panasonic Peruana S.A. (Estimado en el pago de en promedio 70 horas hombre semanales dedicadas a la construcción de los componentes)

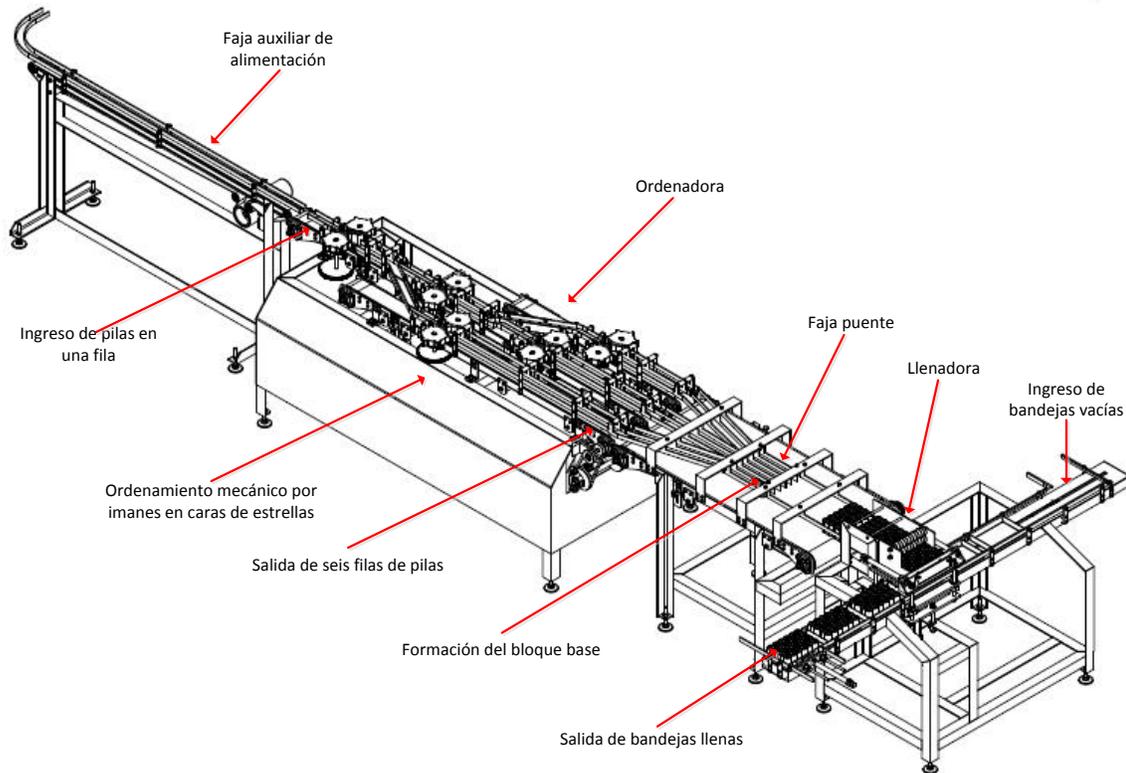


Figura 5-1: Esquema general del proceso

El esquema general del proceso se muestra en la Figura 5-1, a las tres máquinas diseñadas se ha adicionado en este dibujo una de las tres fajas auxiliares que permiten comunicar el sistema con los procesos de planta. Estas fajas no son parte del desarrollo de esta tesis y sus planos no han sido incluidos. Se diseñaron con componentes estandarizados y usando motores más pequeños que los de la ordenadora y faja puente.

La Figura 5-2 muestra la estructura principal de la máquina ordenadora y las estructuras base de cada una de las fajas transportadoras adosadas, cada una de las cuales tiene en los laterales los soportes de las guías laterales de acero inoxidable. Así mismo se observan algunos soportes de las chumaceras de pared que cumplen la función de sostener los ejes de los polines motrices y de retorno.



Figura 5-2: Estructura de máquina ordenadora con soportes de guías siendo ensamblados

La Figura 5-3 muestra las chumaceras de pared puestas en su posición y no totalmente ajustadas, dicho ajuste al ser dependiente del alineamiento final de los ejes se hizo luego de situar los polines de cabeza y motrices en sus posiciones finales. Nótese el color de los polines en la fotografía, estos no tuvieron un tratamiento térmico posterior al torneado pero se les practicó un pavonado para evitar su corrosión al estar expuestos constantemente al medio ambiente. El mismo procedimiento se practicó con todas las piezas que no debían ser pintadas, tales como los templadores de las fajas y sus respectivos pernos de ajuste. (Los polines de retorno se muestran debajo de cada una de las estructuras base de las fajas transportadoras).

Las Figura 5-4 y Figura 5-5 muestran las estrellas de la segunda y tercera estaciones de desvío, nótese los imanes puestos en las caras laterales de las estrellas, son dos para cada pila como se especificó en el diseño original. Debajo de las estrellas pueden apreciarse los engranajes de sincronización de las estrellas, los separadores de guías en acero inoxidable y las barras guía a los lados de cada estrella, dobladas en campo acorde a la geometría resultante.



Figura 5-3: Montaje de polines motrices, de retorno y de cabeza en máquina ordenadora

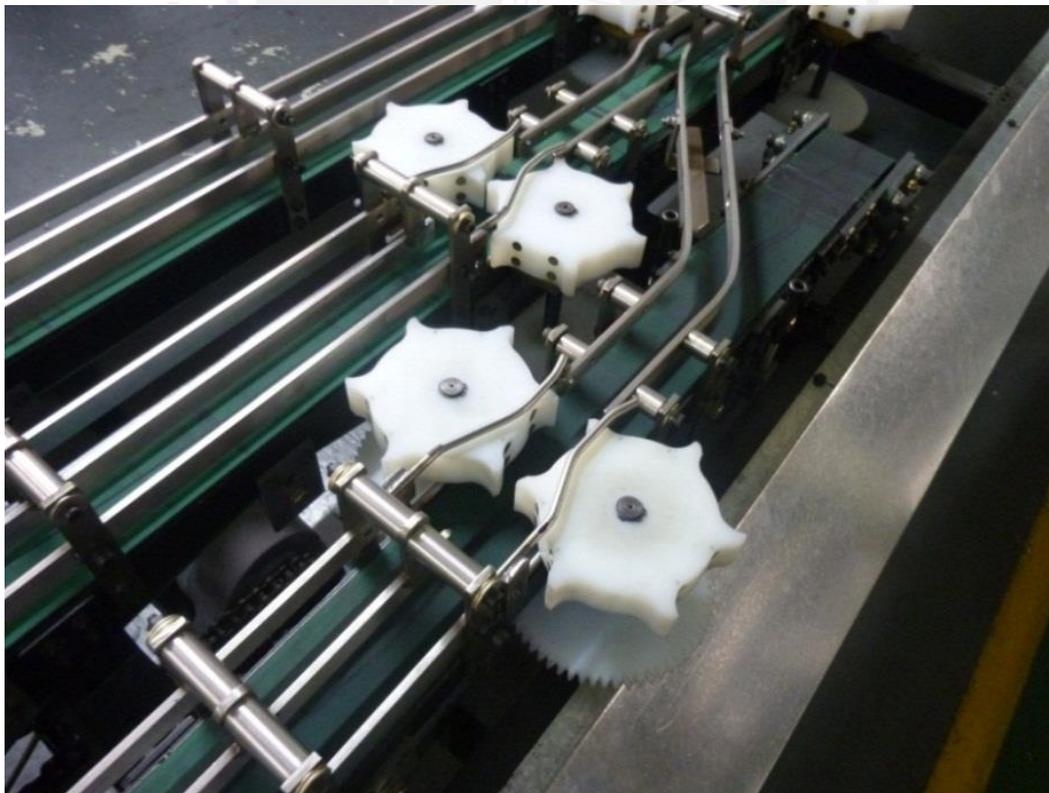


Figura 5-4: Detalle de estrellas divisoras y de guías terminadas

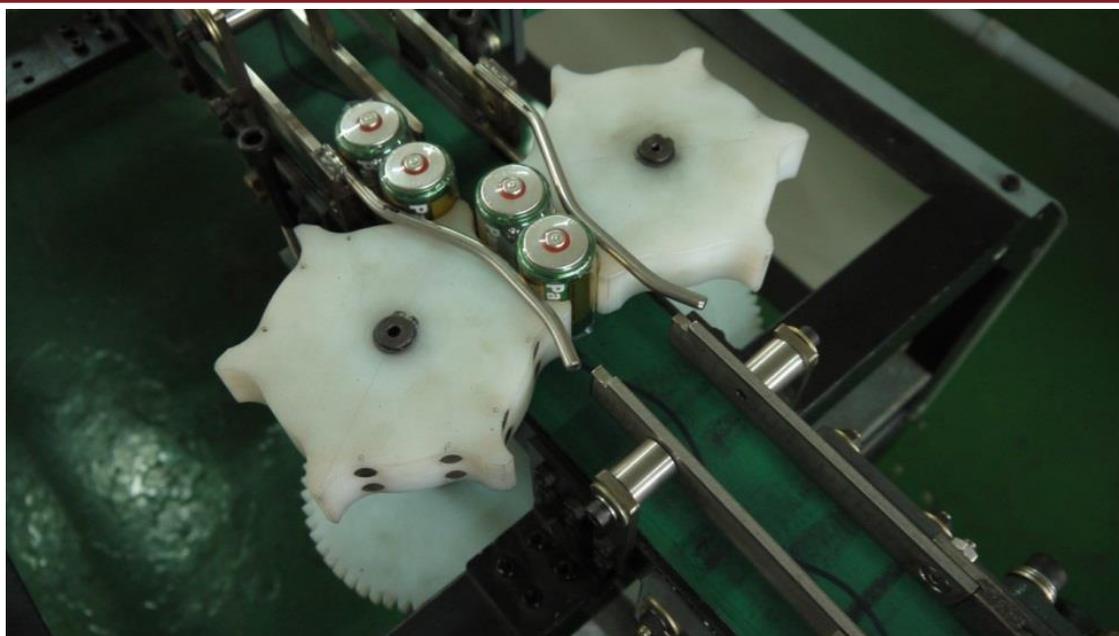


Figura 5-5: Pilas atravesando un par de estrellas divisoras 1-1

La Figura 5-6 muestra las dos primeras máquinas terminadas en el taller de mantenimiento de matrices de la planta, lugar donde se realizó el ensamble final.



Figura 5-6: Primeras máquinas terminadas y en preparación para las pruebas con pilas.

La Figura 5-7 muestra la estructura principal de la llenadora de bandejas antes de colocarle los demás aditamentos y el tablero de control eléctrico.



Figura 5-7: Estructura de llenadora lista para ensamblaje.

La Figura 5-8 muestra las tres máquinas ya ensambladas en conjunto con las fajas auxiliares ya acopladas al sistema, esto antes de las primeras pruebas del sistema completo.



Figura 5-8: Conjunto de fajas auxiliares acopladas a máquinas centrales, pruebas con pilas.

A continuación se muestran algunos detalles adicionales de los componentes electro neumáticos y de la máquina llenadora de bandejas, en la Figura 5-9 y Figura 5-10 se muestran el pistón de salida de bandejas llenas y la conexión con la toma de aire de la planta del sistema, se notan la unidad de mantenimiento y la válvula de seguridad 2/2 manual en rojo.



Figura 5-9: Mecanismo de salida de bandejas llenas.



Figura 5-10: Ingreso de aire comprimido al conjunto: válvula manual 3/2 con enclavamiento y FRL.

La Figura 5-11 muestra el distribuidor de potencia en la máquina ordenadora.



Figura 5-11: Distribuidor de potencia en máquina ordenadora, nótese el detalle de las poleas tensoras.

La Figura 5-12 y la Figura 5-13 muestran la salida de pilas ya empacadas y el ingreso al sistema a través de la faja auxiliar 1 respectivamente. Nótese los contenedores azules para transportar masivamente las pilas desde la salida hacia el ingreso y así poder simular manualmente la producción de pilas en planta.



Figura 5-12: Vista del ingreso de pilas y su salida a través de la faja auxiliar 3



Figura 5-13: Faja auxiliar 1, ingreso de pilas desde la línea de producción

La Figura 5-14 muestra el cilindro neumático de elevación de la plataforma de llenado de pilas junto con sus sensores inductivos finales de carrera y los cables respectivos.

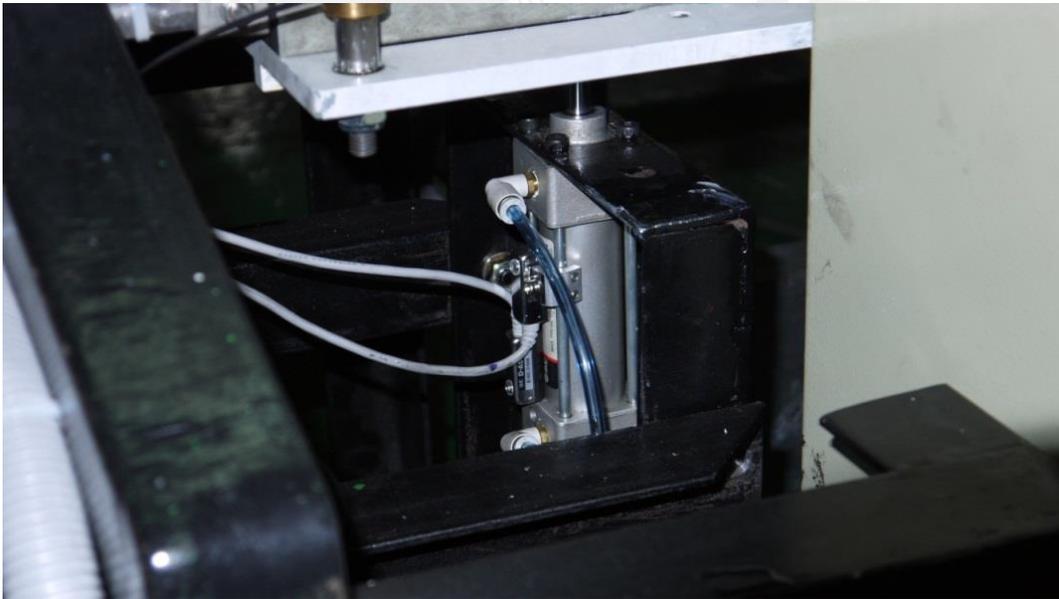


Figura 5-14: Detalle del cilindro neumático de elevación de plataforma en máquina llenadora

En la Figura 5-15 se aprecian las válvulas solenoide 5/2 que controlan todos los cilindros neumáticos del sistema, todas en un rack ISO para tener un mayor orden y ahorrar espacio, cabe mencionar que las salidas de aire están centralizadas en el rack, el cual posee 4 silenciadores para todo el sistema.

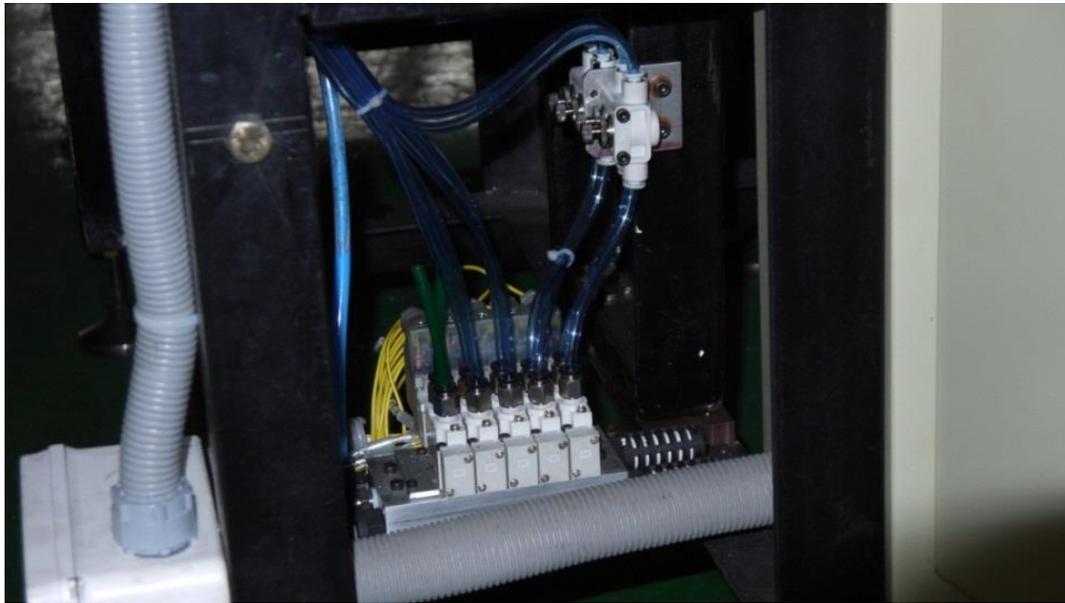


Figura 5-15: Rack de válvulas neumáticas solenoide 5/2, con reguladores de caudal para controlar la velocidad de los cilindros neumáticos

En la Figura 5-16 se muestra el tablero de control eléctrico de todo el sistema, incluso el PLC, la fuente de poder del mismo y los diferentes contactores que controlan las válvulas 5/2 y los motores.

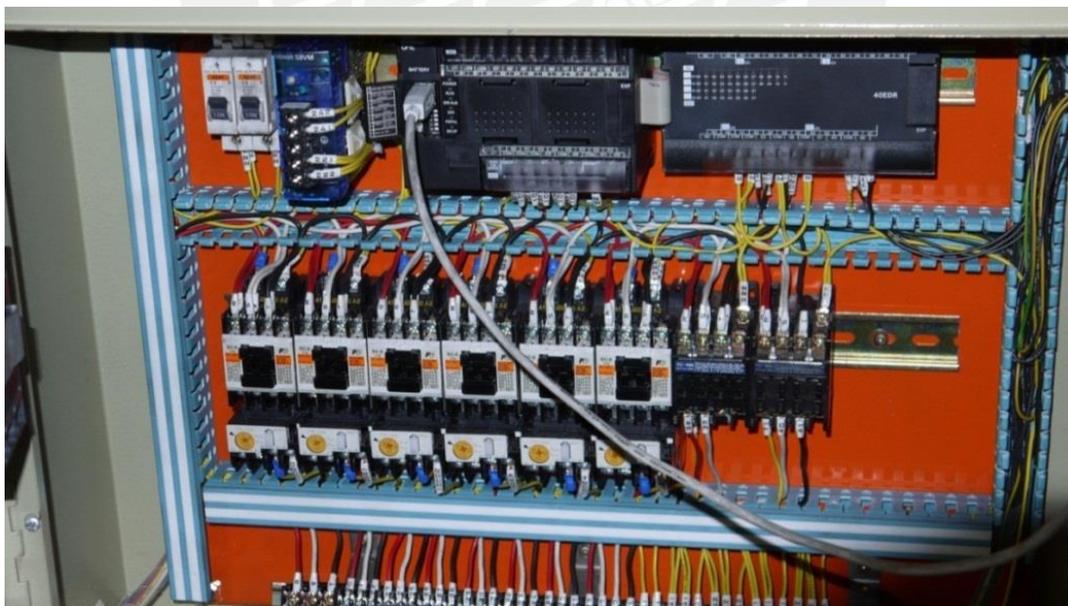


Figura 5-16: Tablero de control electrónico, fuente, PLC y contactores.

La Figura 5-17 y la Figura 5-18 muestran el proceso completo de la máquina llenadora de bandejas, así como la salida de pilas ya empacadas. Nótese el pequeño tablero de mando al cual le fueron añadidos tres hongos de emergencia independientes, cada uno de los cuales

controlaba un subsistema del complejo; esto es uno para el sistema de transporte de pilas (desde el ingreso a la faja auxiliar 1 hasta la faja puente), otro para sistema de transporte de bandejas (desde la faja auxiliar 2 hasta la faja auxiliar 3) y finalmente el tercer hongo de seguridad servía para detener todo el sistema. Dado que estos sistemas son dependientes el uno del otro, al detenerse uno, el otro lo hacía también. La idea de redundar en la seguridad fue porque así como los sistemas son dependientes entre sí a través de sensores, son independientes en lo que respecta a la alimentación eléctrica y por seguridad se estimó que lo mejor sería utilizar tres hongos de seguridad distintos para evitar daños a los operadores ante cualquier eventualidad.

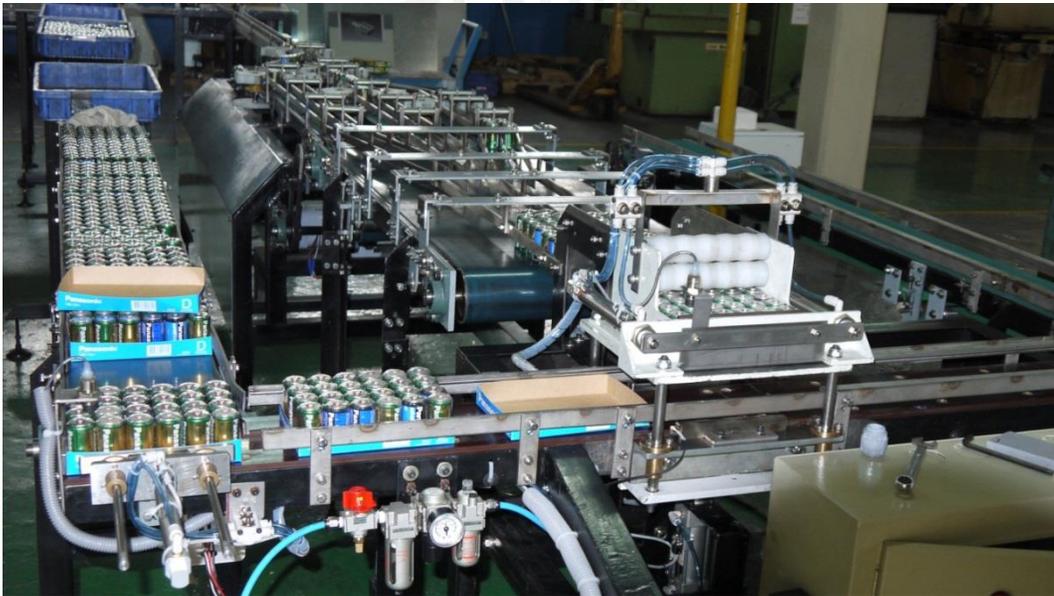


Figura 5-17: Vista del proceso de llenado de bandejas, se muestra el ingreso y salida.

Los componentes electrónicos como los contactores y dispositivos de protección de los motores (por su baja potencia) fueron escogidos por el personal especializado entre los de uso común dentro de la fábrica por la potencia y número de conexiones. El uso de los mismos elementos que otras máquinas dentro de la fábrica permite tener un stock mínimo en almacén en caso de mantenimiento correctivo y permite hacer pedidos más sencillos a proveedores al planificarse el mantenimiento preventivo.



Figura 5-18: Vista del tablero de mando; botones, luces indicadoras, selectores de modo manual/automático y hongos de emergencia

La Figura 5-19 es la fotografía de la culminación del trabajo de programación en lenguaje Ladder a través del software CX-PRO de OMRON Electronics, se muestra la computadora en la que se hizo el software que luego se pasó al PLC. El autor de la tesis en ese momento despejaba las guías de la faja auxiliar de las bandejas llenadas anteriormente para iniciar las pruebas con el sistema completo.

Como se dijo en la presentación de los alcances del presente trabajo, la construcción y montaje de las máquinas estuvo a cargo del departamento de mantenimiento e ingeniería de Panasonic Peruana. El autor, realizó todos los diseños y cálculos necesarios para el dimensionamiento de los diferentes componentes, posteriormente elaboró todos los planos necesarios para su fabricación en las instalaciones de la planta o enviando los planos a terceros. También se supervisó el montaje y puesta en marcha de cada una de las máquinas, el registro de estos trabajos no está dentro de los alcances de este documento, pero las fotos pueden dar una idea de la real magnitud del trabajo realizado durante un año. Mientras se redactaba lo último de este documento, las máquinas estaban ya listas para ser colocadas en la línea de producción.



Figura 5-19: El autor de la tesis, junto con las máquinas construidas.

Por tradición de la planta, los componentes neumáticos y electrónicos fueron enteramente de marcas japonesas como OMRON y SMC, los seis motores eléctricos utilizados fueron seleccionados entre los motores de repuesto nuevos disponibles en el almacén del departamento de mantenimiento e ingeniería y muchos de los cuales tienen una capacidad nominal mayor que la potencia real que entregarían a las fajas transportadoras. Por otro lado algunos cilindros neumáticos tienen una fuerza mayor que la necesaria para mover las bandejas de cartón, esta decisión se tomó porque al ser las fuerzas necesarias tan pequeñas, era más importante la rigidez del conjunto para evitar deformaciones que pudieran traer inconvenientes en elementos deslizantes como las bocinas de bronce, en conclusión, muchos de los componentes fueron sobredimensionados adrede para evitar problemas con las deformaciones que si bien son pequeñas, se van sumando y generan errores grandes que pueden influir en el buen funcionamiento de las máquinas o incrementar el tiempo de respuesta de los actuadores y a su vez retardando la sincronización de todo el conjunto.

Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

- Se ha cumplido el objetivo principal de esta tesis, que es encontrar a partir de una metodología ordenada [3] y el conocimiento adquirido a lo largo de un poco más de cinco años dar solución a un problema de automatización de la industria.
- En lo relacionado a la disposición del sistema en planta, las máquinas diseñadas ocupan sólo parte del espacio destinado al empaque manual y una parte del espacio no usado entre el empaque y la vía peatonal en un área de 6 x 3 m, que es menor a lo estipulado.
- La geometría planteada en la alternativa N° 4 sufrió una modificación considerable durante el desarrollo del proyecto, lo que demuestra que el diseño puede adaptarse a los requerimientos que surgen a medida que se avanza en el desarrollo.
- Se han conseguido que los movimientos que efectúa el producto a lo largo de las vías de las diferentes máquinas sean suaves y a una velocidad máxima de 580 pilas por minuto a través de guías lisas y movimientos circulares; esto según lo establecido en la lista de exigencias.
- Se exigió en un inicio que las máquinas tengan deformaciones mínimas, las mismas que se pueden lograr mediante la verificación constante de la rigidez de los elementos diseñados y su interacción, esto se hizo durante todo el desarrollo del proyecto.
- Las máquinas utilizan una tensión trifásica de 220V a 60 Hz para su funcionamiento, como se estipuló en la lista de exigencias, se han usado rodamientos y bocinas de bronce para los elementos rodantes y partes deslizantes. Se concluye que es posible obtener maquinaria eficiente energética y mecánicamente partiendo desde el estudio de las fuerzas que intervienen en sus procesos.
- Es posible diseñar un sistema de control electrónico para un sistema neumático centralizado en un tablero de control con tres circuitos independientes: Uno para el transporte de pilas, otro para el transporte de bandejas y el último para el sistema neumático de llenado. Todos los controles se hicieron en base a la configuración de los demás controles de la planta.
- El costo final del proyecto fue inferior al presupuestado en un inicio en 13076.15 USD.
- El diseño de las máquinas se entregó para la primera revisión el 16 de mayo de 2011, a partir de esa fecha se empezaron a construir los diversos componentes, terminando el

sistema para la segunda semana de diciembre de 2011, las pruebas se hicieron hasta fines de ese mes. La duración de la construcción fue siete meses, tomando en consideración que el tiempo que dedicaron los técnicos a la fabricación de los componentes era aproximadamente 70 horas hombre por semana, repartidas entre 12 técnicos realizando labores diversas.

- Se pueden lograr niveles de ruido aceptables al utilizar motores eléctricos y actuadores neumáticos pequeños. Por otro lado, las máquinas fueron pintadas con aditivos anticorrosivos para evitar la aparición de óxido durante su operación.



-

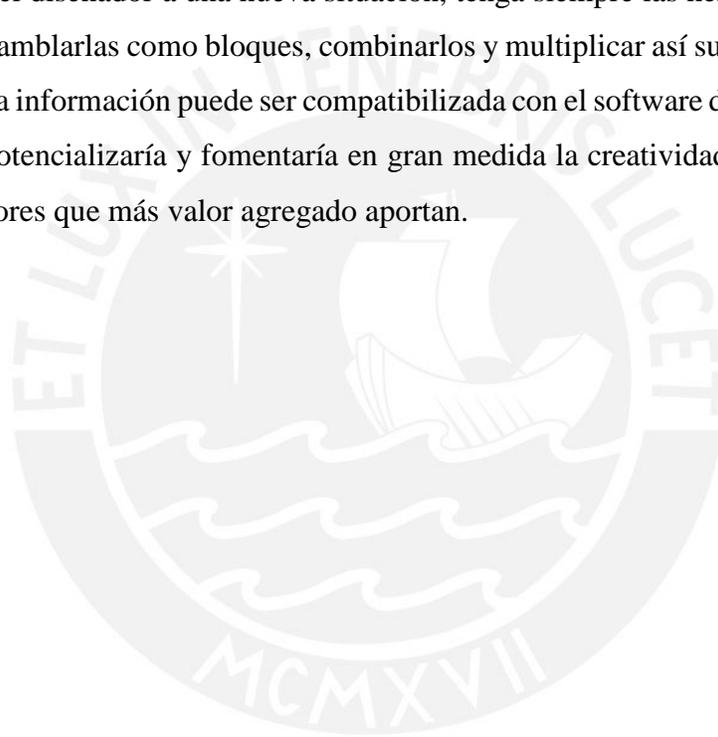
Recomendaciones

- Es sumamente conveniente, una vez obtenido el concepto de solución con mayor puntaje en la evaluación técnico económica, dibujar todo lo que se pueda de los detalles constructivos con el objetivo de disminuir el tiempo utilizado en buscar configuraciones geométricas adecuadas ya en el software CAD. También en base al presente trabajo se puede recomendar realizar bosquejos iniciales de sistemas eléctrico y neumático que den una idea clara de cómo trabajará la máquina, pues durante el desarrollo del modelo se debe destinar espacio para el tablero de control, sensores, cables, mangueras y válvulas neumáticas. Muchas modificaciones del modelo implican reacomodo y posterior redimensionamiento de componentes; por ejemplo al variar una altura, puede también variar la carrera de un pistón neumático y el tipo de apoyo de este, modificando los parámetros de selección.
- Se recomienda también preparar plantillas de partes, ensamble y dibujos dentro del programa CAD que se use, pues el uso de estas herramientas ahorra un tiempo considerable y evita trabajos repetitivos innecesarios, como también revisiones en datos redundantes en la documentación como materiales de fabricación (que aparecen tanto en planos de despiece, como en la lista de materiales de los planos de ensamble). Por ejemplo en las plantillas de modelado de piezas se define el material base para la fabricación (presentación en bruto, tipo y norma del material, etc.), tratamientos térmicos y demás detalles que se tienen a la mano mientras el diseñador se concentra en definir la geometría y otras propiedades del elemento. Es una buena práctica acostumbrarse a asignar estos datos en el momento de modelarlos para evitar tener que buscar entre los archivos o apuntes cuando es necesario citarlos en otro documento que no sea su respectivo plano de despiece. Por otro lado al hacer notas y comentarios en los campos asignados para tal efecto por el programa mientras se diseña, facilita la comprensión del funcionamiento e interacción entre componentes y mejora el flujo de la información.
- Se sugiere realizar los cálculos en un software que permita su revisión y actualice automáticamente los datos a medida que se avanza con el desarrollo del proyecto. Es así que se pueden hacer plantillas de cálculo para diferentes situaciones, como por

ejemplo para pandeo, fatiga y selección de fajas trapezoidales. Muchas situaciones requieren cálculos similares, por lo que es muy conveniente tener plantillas con variables compatibles entre sí de tal forma que puedan ser ensambladas como bloques en los cálculos generales, permitiendo combinarlas y ampliando de esta forma la cantidad de sus posibilidades de aplicación. Es también conveniente tener tablas de resumen con los resultados de los cálculos. Por ejemplo en MathCAD se puede asociar los cálculos a una hoja de Excel matriz para tener una visión global de los parámetros del diseño, y estos a su vez pueden ser utilizados – Esta vez en caso de diseñar productos muy parecidos – para definir las dimensiones del modelo 3D.

- Otra recomendación es revisar los planos de fabricación y ensamble entre dos personas para asegurar que la información brindada a los técnicos especialistas sea la adecuada y no se pierda tiempo y dinero en modificaciones de última hora. Es importante recordar que los planos son el principal medio de comunicación y que la calidad de estos es de vital importancia, puesto que determinan también la calidad de los componentes y del funcionamiento de la máquina en sí.
- Cabe mencionar también que muchas veces los componentes normalizados que se adecuan perfectamente a los cálculos no están disponibles en los almacenes de proveedores locales o que al ser demasiado pequeños o presentar ciertas particularidades, su precio se incrementa considerablemente. En esos casos se recomienda dependiendo de la situación y las solicitudes a las que está sometido el componente, escoger el inmediato superior o inferior que se adecúe correctamente a las exigencias y que tenga en el mercado local un precio razonable.
- Algo importante que se ha identificado después de todo el tiempo que ha llevado el desarrollo del proyecto es el trabajo en equipo vs el trabajo en solitario. Diseñar máquinas en solitario es una tarea bastante tediosa, pues la cantidad de información que se maneja es muy grande y el proceso constante de búsqueda de nuevos componentes estandarizados genera tiempos muertos, como los períodos de descarga de archivos CAD de internet. El trabajo con especialistas en diferentes áreas del conocimiento permite ahorrar tiempo y crear sinergia entre todos los involucrados, pues el diseño se enriquece con perspectivas diferentes del mismo problema. Por ejemplo, la labor en conjunto de un ingeniero mecánico y uno electrónico es mucho más completa y llevadera que el trabajo en solitario de cualquiera de ellos.

- Si se considera que algunos cálculos son repetitivos, se puede recomendar convertirlos en programas de computadora o plantillas de algún software de cálculo que necesiten datos de entrada para arrojar resultados precisos a la salida. Esto debe hacerse con mucho cuidado, pues si bien es cierto que dichas herramientas agilizan tremendamente el trabajo, pueden con la introducción de datos correctos e incorrectos, entregar tanto información verídica y confiable, como falsa y peligrosa respectivamente. Por consiguiente es conveniente que los módulos de cálculo sean pequeños y compatibles entre sí (con variables estandarizadas en todas las plantillas) de tal forma que al enfrentarse el diseñador a una nueva situación, tenga siempre las herramientas a mano y pueda ensamblarlas como bloques, combinarlos y multiplicar así su utilidad. Además, si es que esta información puede ser compatibilizada con el software de CAD, el proceso de diseño potencializaría y fomentaría en gran medida la creatividad y el ingenio, que son los factores que más valor agregado aportan.



Bibliografía

- [1] J. H. C. I. B. J. a. G. P. S. Wallace D. Kimball, "Can Boxing Machine". Bronx N.Y. U.S.A. Patent 2127924, 17 August 1936.
- [2] Curt G. Joa, "Stacking and Boxing Apparatus". Sheboygan Falls, Wisconsin U.S.A. Patent 2324930, 2 August 1940.
- [3] E. B. Barriga Gamarra, Métodos de diseño en ingeniería mecánica, Lima: Sección Ingeniería Mecánica, Pontificia Universidad Católica del Perú, 2009.
- [4] SKF, «Catálogo de productos, Rodamientos rígidos de bolas, de una hilera, obturadas con protecciones en ambos lados,» 2011.
- [5] I. I. Artobolevsky, Mecanismos en la técnica moderna Vol 2, Moscú: MIR, 1980.
- [6] O. Industrial, *Solution Selection Guide*, Schaumburg IL, 2011.
- [7] J. Rodriguez Hernandez, Resistencia de Materiales 2, P. p. I. docencia, Ed., Lima, Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, 2008.