

DISEÑO DE UN MODELO DE UNA MÁQUINA DE EMPAQUE SECUNDARIO

**JUAN SEBASTIÁN
CHILAMACK BENAVIDES**

**DANIEL
RESTREPO MEJÍA**

**UNIVERSIDAD EAFIT – ESCUELA DE INGENIERÍA DE ANTIOQUIA
INGENIERÍA MECÁNICA – INGENIERÍA MECATRÓNICA
MEDELLÍN - ENVIGADO
2009-2**

DISEÑO DE UN MODELO DE UNA MÁQUINA DE EMPAQUE SECUNDARIO

**JUAN SEBASTIÁN
CHILAMACK BENAVIDES**

**DANIEL
RESTREPO MEJÍA**

**Trabajo de grado para optar a los títulos de Ingeniero Mecánico e Ingeniero
Mecatrónico**

**Asesor - EAFIT
Fabio Pineda Botero**

**Director de trabajo - EIA
León Darío Castaño**

**UNIVERSIDAD EAFIT - ESCUELA DE INGENIERÍA DE ANTIOQUIA
INGENIERÍA MECÁNICA - INGENIERÍA MECATRÓNICA
MEDELLÍN - ENVIGADO
2009-2**

DEDICATORIA

Dedicamos este trabajo especialmente a nuestros padres y familiares, cuyo esfuerzo y apoyo durante todos estos años han contribuido enormemente a nuestros logros y nos han permitido estudiar y optar al título de Ingenieros.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a León Darío Castaño por su ayuda, sus críticas constructivas y dirección durante todo este semestre. Sus colaboraciones no sólo se limitaron al presente trabajo. Sus consejos y lecciones también contribuyeron en aspectos laborales y personales.

También agradecemos a Fabio Pineda Botero por su asesoramiento durante las distintas etapas de este proyecto.

A todos los profesores, empresarios y contactos externos a las universidades, muchísimas gracias por su colaboración desinteresada.

También gracias a Jaime Barbosa por sus enseñanzas desde la primera clase de la carrera hasta el último día.

A los profesores que durante estos años de carrera nos brindaron su conocimiento y experiencia.

CONTENIDO

	pág.
RESUMEN	13
ABSTRACT	14
INTRODUCCIÓN	15
1. PROBLEMA.....	17
1.1. CONTEXTO Y CARACTERIZACIÓN DEL PROBLEMA	17
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	18
2. ANTECEDENTES	19
3. JUSTIFICACIÓN	21
4. OBJETIVOS DEL PROYECTO	22
4.1. OBJETIVO GENERAL	22
4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	22
5. MARCO CONCEPTUAL	23
5.1. CONCEPTOS BÁSICOS.....	23
5.1.1. Mecanismos	23
5.1.2. Elementos finitos.....	25
5.1.3. Automatización	26
5.1.4. Materiales	26
5.1.5. Diseño de máquinas	27
5.1.6. Mantenimiento	27
5.2. ESTADO DE LA TÉCNICA	29
5.2.1. Patente 1 (Bates, 1925)	29
5.2.2. Patente 2 (Craig, 1983)	30
5.2.3. Patente 3 (Basque & Knowers, 2004).....	31
5.2.4. Máquina 1: ENV-A-FLEX - DYN-A-FLEX (Ciudad de México, México)	32
5.2.5. Máquina 2: Tecnotok - MXT3000 (Jaraguá do Sul - Santa Catarina, Brasil) ...	32
5.2.6. Máquina 3: Solpak S.A. – Reembolsadora (Medellín, Colombia)	33

5.2.7.	Máquina 4: Propac Industrial Pty Ltd – AV X.X. (Sydney, Australia)	34
5.2.8.	Máquina 5: ULMA Packaging – Olympus (Garibai, España)	34
5.2.9.	Máquina 6: Triangle Package Machinery Co - Intermittent Motion VFFS Bagger (Chicago, USA)	35
5.3.	SISTEMAS COMUNES EN LAS MÁQUINAS CONOCIDAS.....	36
5.3.1.	Sistema de orientación y posición.....	36
5.3.2.	Sistema de arrastre y freno.	36
5.3.3.	Sistema de sellado y corte.	36
5.3.4.	Sistema de tensión y formado de película.	37
5.3.5.	Sistema electrónico de control y potencia.	37
6.	DESARROLLO DEL DISEÑO METÓDICO.....	38
6.1.	DESCRIPCIÓN DEL MODELO	38
6.2.	ESPECIFICAR Y CLARIFICAR LA TAREA.....	39
6.3.	DESARROLLAR UNA LISTA DE REQUERIMIENTOS O PDS (<i>PRODUCT DESIGN SPECIFICATION</i>).....	39
6.4.	DETERMINAR ESTRUCTURAS Y FUNCIONES.....	41
6.4.1.	Función principal.....	41
6.4.2.	Funciones secundarias.....	41
6.4.3.	Estructura funcional	45
6.5.	BÚSQUEDA DE PORTADORES	46
6.6.	MATRIZ MORFOLÓGICA	46
6.6.1.	Matriz morfológica inicial	47
6.6.2.	Depuración de portadores.....	49
6.6.3.	Matriz morfológica reducida con combinaciones.....	53
6.7.	EVALUACIÓN DE PRINCIPIOS DE SOLUCIÓN	55
6.7.1.	Determinación de alternativas.....	55
6.7.2.	Calificación	55
6.7.3.	Principio de solución final.....	57
7.	CÁLCULOS Y SELECCIÓN DE PARTES.....	58
7.1.	ESTRUCTURA	58
7.2.	BANDA TRANSPORTADORA Y ORIENTACIÓN DE LAS BOLSAS	58
7.2.1.	Velocidad de empaquetamiento.....	58

7.2.2.	Orientación de las bolsas	59
7.2.3.	Material	59
7.2.4.	Potencia del motor	60
7.2.5.	Motor	62
7.3.	SISTEMA DE LA BOBINA DE EMPAQUE	63
7.3.1.	Cuello formador	63
7.3.2.	Tensión de la película de polietileno	67
7.4.	SISTEMA DE SELLADO Y CORTE	69
7.4.1.	Sellado por calor.....	69
7.4.2.	Sistema de corte.....	71
7.5.	SISTEMA DE ARRASTRE Y FRENO.....	71
7.5.1.	Motor de arrastre para la película de empaque	71
7.6.	LISTA DE PARTES.....	76
8.	MODELACIÓN Y SIMULACIÓN.....	77
8.1.	PROGRAMACIÓN Y SIMULACIÓN DEL CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE (PLC) EN AUTOMATION STUDIO	77
8.1.1.	Secuencia realizada por la máquina	77
8.1.2.	Programación por <i>Sequential Function Chart</i> (SFC).....	82
8.2.	MODELACIÓN 3D DE LA MÁQUINA	89
9.	CONCLUSIONES	94
	BIBLIOGRAFÍA	96
	ANEXOS	99

LISTA DE FIGURAS

pág.

Figura 1 – Mecanismo de palanca	24
Figura 2 – Mecanismo con cilindro dirigido a la carga	24
Figura 3 – Mecanismo para el suministro de bolsa	24
Figura 4 – Definición de restricciones en COSMOSMotion.....	25
Figura 5 – Modelo Esfuerzo y Deformación realizado en COSMOS M	25
Figura 6 – Ejemplo de diagrama	28
Figura 7 – Patente: Proceso de llenado de bolsas.....	29
Figura 8 – Patente: Aparato y Método para empacar polvos.....	30
Figura 9 – Patente: Llenadora para bolsas grandes.....	31
Figura 10 – Enfardadora DYN-A-FLEX	32
Figura 11 – Enfardadora MXT30000	32
Figura 12 – Enfardadora Solpak S.A.	33
Figura 13 – Empacadora AV X.X.....	34
Figura 14 – Empacadora Olympus	34
Figura 15 – Enfardadora Intermitent motion VFFS	35
Figura 16 – Esquema de flujos de entrada y salida de la función principal	38
Figura 17 – Función principal (sólo flujo de material)	41
Figura 18 – Funciones secundarias	41
Figura 19 – Estructura Funcional	45
Figura 20 – Estructura básica de matriz morfológica	46
Figura 21 – Árbol de objetivos.....	55
Figura 22 – Evaluación de la Alternativa 1	57
Figura 23 – Banda con paletas.....	59
Figura 24 – Características de la banda	60
Figura 25 – Esquema de Cuello Formador	63
Figura 26 – Variables de diseño del cuello formador	64
Figura 27 – Relación h/r vs. θ_0	65
Figura 28 – Representación de los valores de variables de diseño	66
Figura 29 – Modelación aproximada del cuello determinado	67
Figura 30 – Ilustración del recorrido de la película por los rodillos	68
Figura 31 – Esquema con elementos del sellado por calor.....	69
Figura 32 – Tipos de sellos	71
Figura 33 – Cuchilla dentada	71
Figura 34 – Representación de la bobina de empaque	72
Figura 35 – Esquemático neumático.....	79

Figura 36 – Esquema eléctrico de motores y resistencias	79
Figura 37 – Esquema eléctrico de comando	80
Figura 38 – Entradas y salidas del PLC	81
Figura 39 – Niveles jerárquicos en un SFC	82
Figura 40 – SFC de fallos y paros de emergencia (SFC1).....	83
Figura 41 – SFC de arranques y paros en general (SFC2).....	84
Figura 42 – SFC para modo arranque (START)	85
Figura 43 – SFC para modo de paro al terminar ciclo (STOP)	85
Figura 44 – SFC para modo "un ciclo" (CICLO)	86
Figura 45 – SFC para contador de paquetes (CONTADOR).....	86
Figura 46 – SFC para condiciones iniciales (CONDICIONES).....	87
Figura 47 – SFC para operaciones a realizar (OPERACIONES).....	88
Figura 48 – Máquina Completa y Sistema de orientación y posición.....	89
Figura 49 – Sistemas de arrastre y freno, de tensión y formado.	90
Figura 50 – Recorrido de la película por la máquina	90
Figura 51 – Sistema de sellado: sello vertical.....	91
Figura 52 – Sistema de sellado: sello horizontal	91
Figura 53 – Actuadores para realizar bolsa tipo fuele	92
Figura 54 – Vista Frontal de la máquina	92
Figura 55 – Plano de ensamble con dimensiona generales	93

LISTA DE TABLAS

pág.

Tabla 1 – Lista de requerimientos	39
Tabla 2 – Matriz morfológica inicial.....	47
Tabla 3 – Evaluación de variantes de solución por criterios de selección.....	49
Tabla 4 – Matriz morfológica reducida con combinaciones de alternativas	53
Tabla 5 – Valoración obtenida.....	56
Tabla 6 – Evaluación de alternativas	56
Tabla 7 – Valores de variables de diseño.....	66
Tabla 8 – Lista de partes comerciales	76

LISTA DE ANEXOS

	pág.
ANEXO A – Propiedades de los aceros inoxidables	99
ANEXO B – Material banda.....	103
ANEXO C – Método de selección de banda transportadora	104

RESUMEN

En el presente trabajo se diseñó una máquina empacadora vertical cuya aplicación específica es la fabricación de fardos de bolsas de leche de un litro como parte de una necesidad planteada por la Cooperativa Lechera Colanta. Para tal efecto se presenta una máquina automática que realiza la labor de empaque posibilitando una reducción en los costos de mano de obra y los tiempos de empaçado.

El desarrollo de este diseño se fundamentó principalmente en la metodología de Pahl & Beitz, sin embargo, se incluyeron aportes propios y de otros autores para llegar al concepto y encontrar una posible solución.

Finalmente, se seleccionaron y calcularon los componentes de la cadena cinemática, se realizó un modelo CAD de la máquina, como también esquemas neumáticos, eléctricos y Graficets.

Palabras clave: maquinaria de empaçado, automatización, diseño metódico, vffs, cuello formador

ABSTRACT

The purpose of this Project is to design a vertical form fill seal machine to package one liter milk bags in order to respond to a need presented by the Milk Cooperative Colanta. For such purpose, it presents an automatic machine that performs the task of packaging allowing a reduction in labor costs as well as packaging time.

The development of this design was based mainly on the methodology of Pahl & Beitz, however, contributions from other authors and this project's authors were included in order to obtain the concept and find a possible solution.

Finally, the components of the kinematic chain were selected and calculated, a CAD model of the machine was prepared, as well as pneumatic schemes, electrical schemes and SFCs.

INTRODUCCIÓN

En el mercado actual una gran parte de los productos al alcance de los consumidores se agrupan, para ser vendidos en conjunto, dentro de algún tipo de empaque secundario o reempaque. En el caso de la leche, la presentación convencional consistía en las bolsas individuales, pero recientemente se encuentran los fardos que son presentaciones con varias bolsas de leche contenidas en ellos.

En la actualidad muchas empresas empacan estos fardos manualmente, por lo que se identificó una necesidad de la industria láctea de tener máquinas que hagan el trabajo automáticamente. Este tipo de máquinas se consigue en el mercado, pero generalmente deben ser importadas e instaladas por ingenieros extranjeros, con lo que su costo se incrementa considerablemente.

Con este trabajo se pretende crear un diseño de máquina empacadora automática que permita agrupar varias bolsas de leche de un litro dentro de un empaque resistente para que su manipulación y transporte sea más fácil.

La implementación de una máquina como la planteada posibilita la disminución de costos de mano de obra, el mejoramiento de la productividad de la empresa y de la calidad del producto.

En este proyecto se pretende identificar un modelo de máquina viable que cumpla con los requerimientos especificados por Colanta, analizando los principales sistemas que la componen.

No es objetivo todavía de este proyecto realizar la construcción de la máquina ni el diseño al detalle de partes. Lo que se pretende es encontrar un conjunto de componentes que realicen la función principal, después de haber analizado y evaluado las subfunciones del modelo.

Para llegar al objetivo se utilizó principalmente la metodología de Pahl & Beitz, incluyendo además aportes propios y de otros autores para llegar al concepto y encontrar una posible solución. Después se realizaron cálculos y la selección de los componentes de la cadena cinemática, un modelo CAD de la máquina, así como esquemas neumáticos, eléctricos y Graficets.

Este proyecto precede a la construcción de la máquina, encontrando diferentes alternativas y soluciones factibles para la industria colombiana. Dado que las partes se encuentran en el mercado colombiano, se podría realizar la máquina localmente y así el

costo disminuiría notablemente. El desarrollo de esta máquina no se limita a la industria láctea; con algunas modificaciones es posible adaptarla a diferentes productos de la industria de alimentos.

1. PROBLEMA

1.1. CONTEXTO Y CARACTERIZACIÓN DEL PROBLEMA

El poco interés de los trabajadores para efectuar tareas repetitivas, las consideraciones de salud y seguridad del trabajador, el aumento del precio de la mano de obra y de beneficios extras, junto con la capacidad de los ingenieros de diseñar herramientas y máquinas sofisticadas, han causado que la automatización aumente rápidamente. Las máquinas herramienta controladas por computador permiten fabricar piezas de manufactura compleja, los componentes electrónicos se instalan automáticamente en las placas de circuitos, máquinas especializadas inspeccionan detalladamente las partes fabricadas en un 100% y posteriormente las partes son posicionadas y verificadas automáticamente en la creación del ensamble sin que sean tocadas por la mano del hombre. Robots de todo tipo se han convertido en parte de la escena industrial. En comparación con las operaciones manuales de montaje, los beneficios derivados de la automatización incluyen: La reducción de costos unitarios, eliminación de sustancias peligrosas en las operaciones manuales, mayor capacidad de producción, etc. (Crowson, 2006).

La creciente necesidad de mejorar la productividad de los procesos de empaque y envasado en todo el mundo la afronta la industria aumentando cada vez más el grado de automatización de las líneas de empaque y envasado. El desarrollo de sistemas de producción y de distribución más rápidos, flexibles y menos delicados que los existentes tiende no sólo a reducir los costos sino también a aumentar la producción (Interempresas, 2009).

El empaque, aparte de proteger al producto durante su transporte y facilitar la logística de distribución, cumple una función esencial para la presentación de productos, ya que es la puerta de entrada ante el consumidor, y en muchas ocasiones puede determinar la compra. El empaque usualmente puede ser definido como un recipiente de estructura flexible como bolsas, costales y big-bags, elaborado en uno o varios materiales, con o sin impresos gráficos, para la exhibición y promoción de uno o varios productos líquidos, sólidos o gaseosos, estando o no en contacto directo con el contenido, destinados a la distribución comercial y facilitación al usuario final. Para algunos productos el empaque se constituye en embalaje (Jóvenes con Empresa, 2009).

Los supermercados en cadena, requieren que sus proveedores realicen promociones cada cierto tiempo con el fin de aumentar sus ventas, e incentivar la rotación de productos. Esto obliga a los proveedores a empaque sus productos de forma no convencional, ya que las promociones por lo general consisten en llevar varios productos a la vez, los cuales, salen más económicos que si se hubieran comprado individualmente. Habitualmente se empaque la promoción en una bolsa plástica o en film termoencogible (Chilamack, 2009).

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Algunos productos lácteos se empaican en fardos que contienen entre 4 y 6 bolsas individuales. El empaicado de algunos de estos fardos es manual, necesitando una gran cantidad de personas para igualar el ritmo de producción de bolsas. A esto se añade que la tarea de enfardado manual es repetitiva, rápida, con pesos relativamente altos y en largas jornadas. Todo lo anterior contribuye a que en el largo plazo se den enfermedades profesionales. (Chilamack, 2009)

Como consecuencia de esto, es necesario implementar una máquina que realice esta tarea mejorando los tiempos de enfardado, reduciendo costos y evitando lesiones en los trabajadores

2. ANTECEDENTES

La historia del empaque industrial para productos de consumo se remonta al año de 1910 en el cual aparecen los primeros ejemplares usados en productos farmacéuticos y perecederos. Con la influencia de la primera guerra mundial se empezó a tomarlos como un punto esencial para el transporte de víveres para las tropas las cuales tenían que llevar sus alimentos por varios días sin ningún tipo de refrigeración y sólo era conocida la salmuera (Ordoñez, 2009).

El empaque era realizado a mano por personas dentro de las fábricas de alimentos y en las industrias manufactureras, éstos eran de baja calidad y aunque aumentaban el tiempo de consumo de los alimentos no eran lo suficientemente desarrollados para que el producto no fuera perecedero a un largo plazo (Ordoñez, 2009).

Conforme la tecnología se desarrolló, los empaques fueron mejorando así como los sistemas de empaquetamiento los cuales se hacían más rápidos y asépticos, características que dieron un giro en su historia ya que permitió que los tiempos de preservación fueran mucho mayores, pero dependientes en un 100% de la manera en que éstos se empacaban y se almacenaban (Ordoñez, 2009).

Los distribuidores también requerían que los productos llegasen en cajas y además, en sub-empaques o empaques secundarios lo que les permitía vender cantidades menores que las de la caja. Con la aparición de los supermercados de cadena aparecieron las promociones y con éstas, el empaque de promoción. Como consecuencia de lo anterior, se incrementó la demanda de empaques secundarios ya que los productos se vendían por grupos. Para poder vender en estas presentaciones se requirió de maquinaria que los empacara (Chilamack, 2009).

Existen muchos tipos de empaques diferentes. Los ejemplos incluyen recipientes de aerosol, bolsas, blísteres, botellas, cajas de cartón y cajas, latas, cápsulas, cartuchos, tambores, barriles, y ampollas. Los métodos de cierre para maquinaria de empaque pueden usar tapones y tapas, corcho, adhesivo, sellos de calor, clavos o grapas, cinta de evidencia de alteración, técnicas de pliegue y envolturas de papel. Las aplicaciones para maquinaria de empaque incluyen sectores como el automovilístico, químico y petroquímico, cosméticos, equipos electrónicos y semiconductores, alimenticio, textil, militar, música, video, software y farmacéutico (Company, 2009).

También existen muchos tipos diferentes de maquinaria de empaque. Se encuentran equipos que forman, rellenan, sellan, envuelven, limpian y empacan en diferentes niveles de automatización. Tipos comunes de maquinaria son: acumuladores, máquinas de embolsado, máquinas de encintado, máquinas de envoltura, máquinas de cajas, máquinas de taponado. Entre la maquinaria de empaque también se incluye la utilizada para ordenar, contar y acumular (GlobalSpec).

Las máquinas empacadoras se dividen en dos grandes grupos: las de empaque vertical y las de empaque horizontal. Por lo general las enfardadoras son de tipo vertical, ya que es mucho más sencillo el manejo de las posiciones de las bolsas a agrupar en comparación con las de tipo horizontal (GlobalSpec).

En Medellín existe una empresa que realiza soluciones de empaque a petición de los clientes. Se especializan en máquinas empacadoras de líquidos, pero también realizan máquinas adicionales como enfardadoras, limpiadoras, envasadoras de granos, etc. Esta empresa ha tenido éxito con sus máquinas y ahora están exportando sus productos a Perú, Ecuador, Guatemala, entre otros (Chancy, 2009).

Existen además empresas dedicadas a la fabricación de máquinas para soluciones de empaque en Estados Unidos, Argentina, Brasil, España, Italia, México, entre otros.

3. JUSTIFICACIÓN

Para mejorar el proceso de enfardado la Cooperativa Lechera Colanta presenta la necesidad de una máquina que pueda realizar la función de empaque con unos tiempos de empaque predeterminados y que varíe sus condiciones según el tipo de producto que se esté empacando.

Este proyecto presenta un diseño que mejora los tiempos de enfardado de los paquetes de bolsas de leche, reduciendo costos y evitando lesiones en los trabajadores.

Teniendo este proyecto relación directa con áreas de la ingeniería como el diseño de máquinas, los mecanismos, el mantenimiento, la automatización y la programación industrial, pueden el ingeniero mecánico y el mecatrónico aplicar su conocimiento y experiencia desde la definición, diseño y selección de mecanismos, procesos y componentes, hasta la automatización y control óptimo de las variables del proceso. La investigación realizada en las anteriores áreas podrá determinar si el diseño es factible, económico, productivo, etc.

Este trabajo posiblemente servirá a los autores para llegar a un diseño que se pueda materializar y al cual se le pueda sacar provecho económico.

4. OBJETIVOS DEL PROYECTO

4.1. OBJETIVO GENERAL

Diseñar una máquina capaz de integrar bolsas de leche en un empaque secundario de forma automática usando un conjunto de sistemas mecánicos, eléctricos y de control.

4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar los parámetros y variables que definen cada uno de los sistemas de orientación y posición, de arrastre y freno, de sellado y corte, de tensión y formado de película y de control y potencia.
- Determinar posibles soluciones para los anteriores sistemas mediante el uso de una matriz morfológica.
- Seleccionar los principales componentes de los anteriores sistemas mediante el uso de principios de diseño conceptual.
- Modelar y simular el prototipo propuesto mediante la utilización de tecnologías CAD.

5. MARCO CONCEPTUAL

La automatización en los procesos de empaque es cada vez más común en las industrias, ya que permite mejorar los tiempos de empaque y reducen la cantidad de mano de obra por producto lo que reduce los costos del producto y le permite a la empresa competir con precio y calidad (Crowson, 2006).

Las enfardadoras se pueden dividir en dos tipos: las que agrupan productos en un empaque secundario (reempaque) y las usadas para reducción de volúmenes, ya sea para el acopio o traslado de los mismos, dando como resultado la reducción de espacios y abaratamiento de fletes (Company, 2009).

Las enfardadoras de reempaque pueden usar diferentes tipos de empaque tales como plástico termoencogible, film extensible, bolsa, etc. Los empaques conforman una barrera contra varios tipos de factores que pueden afectar al producto. Algunos factores son: oxígeno, dióxido de carbono, nitrógeno, vapor de agua, aromas y sabores, grasas y luz ultravioleta. La eficacia de estas barreras está determinada por el tipo del material, su espesor, etc (Piringer & Baner, 2000).

Los empaques se usan para todo tipo de productos por lo que características como número de capas, espesor, resistencia mecánica, sellabilidad, colores y opciones de impresión se convierten en factores importantes a la hora de su selección. Además, las presentaciones en las que vienen los diferentes materiales son también primordiales para su selección, por ejemplo la opción de tener una agarradera que facilite su manejo (Massey, 2004).

El diseño de la máquina empacadora requiere del análisis de los sistemas principales que componen la maquinaria y la aplicación de conceptos aprendidos durante el transcurso del pregrado en las dos instituciones involucradas: Universidades EAFIT y EIA.

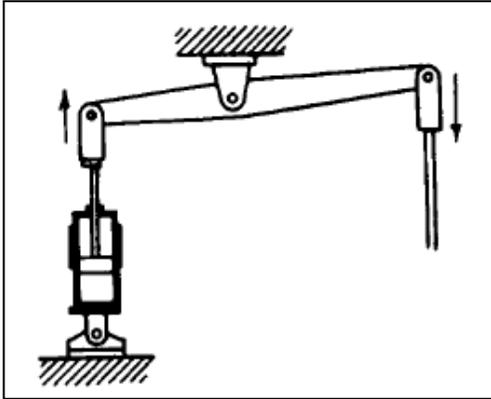
5.1. CONCEPTOS BÁSICOS

5.1.1. Mecanismos

La máquina empacadora está compuesta por una serie de mecanismos que regulan el movimiento de las partes y la manera en que la bolsa llega al punto de empaque, estos mecanismos son compuestos por partes mecánicas que realizan la función deseada. Existen varias soluciones para poder realizar estas actividades y con la síntesis de mecanismos se pretende encontrar al menos una solución que sea factible para el caso en estudio.

Las dimensiones encontradas en los componentes serán las básicas para trabajar en el momento de optimizar el tamaño de la pieza.

Figura 1 – Mecanismo de palanca

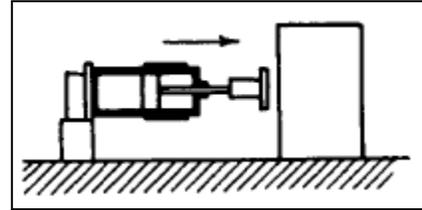


(Sclater & Chironis, 2001)

Los mecanismos de palanca son utilizados para la apertura de compuertas para el sistema de alimentación de la máquina y en el caso de desarrollar una cámara inferior donde se descarguen las bolsas será el que abra la cámara.

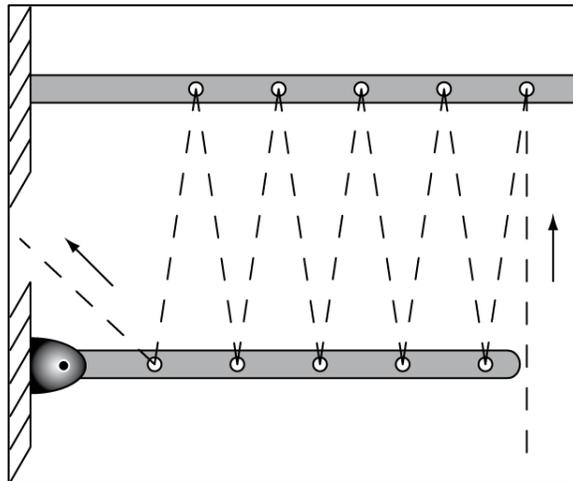
Los cilindros manejan cargas directas en los sistemas de cierre, sellado, corte y extrusión.

Figura 2 – Mecanismo con cilindro dirigido a la carga



(Sclater & Chironis, 2001)

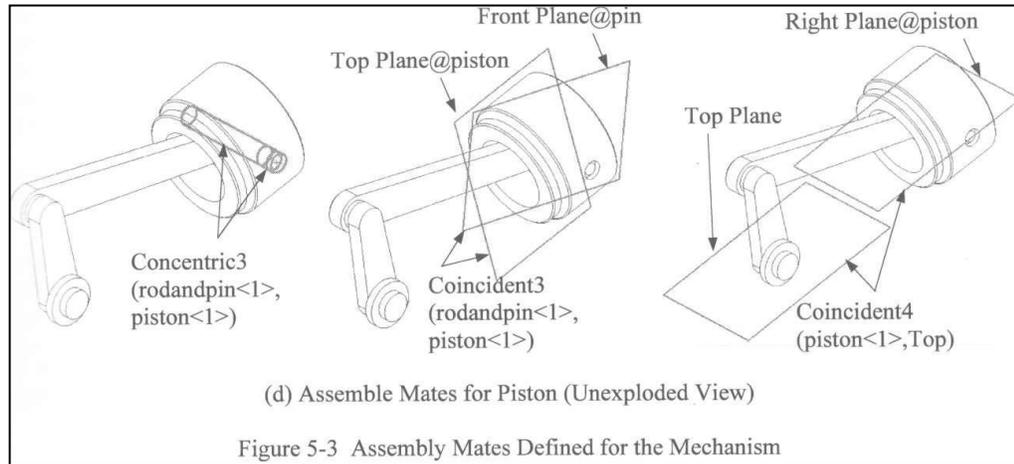
Figura 3 – Mecanismo para el suministro de bolsa



El mecanismo de poleas es utilizado para el suministro del material de empaque a la máquina, este mecanismo tiene la función de asegurar una cantidad y velocidad con la que llega a la máquina además de tener un sistema de freno en el caso de un paro.

El software SolidWorks y su extensión de COSMOSMotion, permiten desarrollar modelos de mecanismos y simular el movimiento de las partes en el ensamble final, este programa será utilizado para validar o contrastar los diseños previamente desarrollados.

Figura 4 – Definición de restricciones en COSMOSMotion



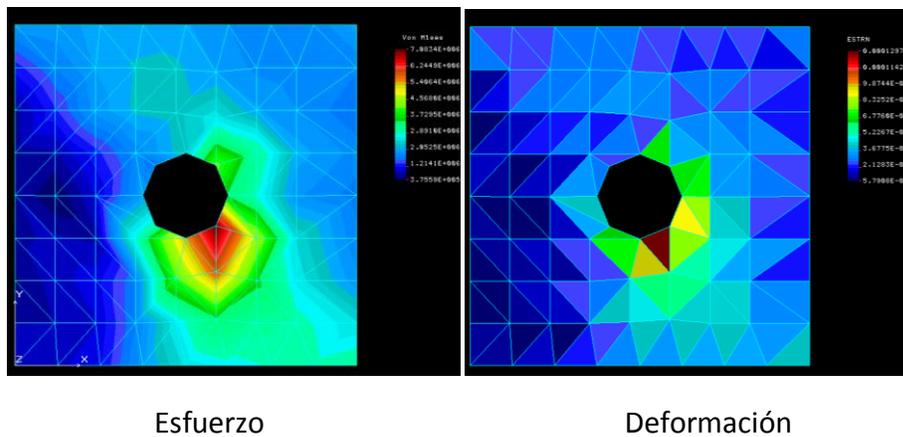
(Chang, 2007)

5.1.2. Elementos finitos

Las soluciones analíticas necesitan tener sus condiciones de frontera establecidas y además, se hacen suposiciones que por lo general no son idóneas en el desarrollo de los problemas más prácticos. En el caso de necesitar varios análisis o realizar cambios en las variables de diseño, se convierte en un trabajo dispendioso y puede generar errores, es por eso que el método de elementos finitos permite realizar cambios y obtener resultados inmediatos a las suposiciones.

El FEA es idóneo para la implementación informática. Se reconoce universalmente como el método de análisis preferido. Este método siempre debe ser contrastado con un ensayo real.

Figura 5 – Modelo Esfuerzo y Deformación realizado en COSMOS M



La universidad EAFIT cuenta con software como Cosmos M, Ansys, SolidWorks, y ProE los cuales permiten la implementación de este método y así poder obtener un resultado previo a la construcción. La Figura 6 muestra un modelo desarrollado en la asignatura de elementos finitos en la Universidad EAFIT, este modelo presenta los esfuerzos y deformaciones que sufre una placa cuadrada cuando recibe una carga en un punto específico en el agujero central.

5.1.3. Automatización

El uso de sistemas de control como controladores lógicos programables y otros sistemas industriales de control junto con la ayuda de las tecnologías de información permite a las industrias reducir la intervención humana en sus procesos.

El propósito de la automatización además de incrementar la productividad y reducir costos, consiste también en mejorar la calidad y la flexibilidad de los procesos de manufactura.

El uso de controladores lógicos programables permitirá controlar el flujo de señales de entrada (sensores) y el de salida (actuadores y eventos) de los procesos de la máquina.

5.1.4. Materiales

Los aceros inoxidable son los únicos permitidos en la construcción de la máquina para las partes que necesitan ciclos de limpieza rigurosos que contienen soda cáustica y vapor de agua a alta temperatura. Los aceros utilizados comúnmente son:

- SAE 304: acero inoxidable austenítico Cr-Ni. Posee mejor resistencia a la corrosión que el tipo 302. Aplicaciones en la industria alimenticia, quirúrgica, marina, entre otras. Resistente a la mayoría de ácidos oxidantes y sales. Alta ductilidad, excelentes propiedades de formado y rolado. Esencialmente no magnético, se vuelve ligeramente magnético cuando se trabaja en frío.
- SAE 316: características de fabricación similares a los tipos 302 y 304. Aplicaciones en la industria alimenticia y farmacéutica, marina, de implantes quirúrgicos, entre otras. Posee mejor resistencia a la corrosión que los tipos 302 y 304.
- SAE 316L: similar al tipo 316, pero con mejor resistencia a la corrosión y a la corrosión intergranular después de la soldadura o alivio de esfuerzos.
- SAE 630 (Cr17-Ni4): posee excelente resistencia a la corrosión atmosférica y química. Aplicaciones en moldeado de plásticos, ambientes húmedos, dados para extrusión de plásticos, entre otras.

Las propiedades más importantes de estos aceros se pueden encontrar en los Anexos (Ver Anexo A).

Otros materiales pueden ser utilizados en el diseño pero sólo si no están en contacto con los alimentos. Los materiales pueden ser aceros al carbono comunes o polímeros, pero éstos se corroen con el tiempo y no son asépticos.

5.1.5. Diseño de máquinas

La formulación de un plan para satisfacer la necesidad de un empaque secundario es el objetivo de este proyecto, es por eso que el diseño de máquinas es requerido.

Las tareas siguientes serán realizadas en el desarrollo del proyecto con el fin de identificar la mejor solución. (Shigley & Mischke, 2002)

- Inventar soluciones alternas.
- Por medio del análisis y de pruebas, simular y predecir el desempeño de cada alternativa.
- Seleccionar la mejor alternativa de acuerdo con los requisitos o parámetros establecidos y proceder a la optimización de la parte.
- Implementación del diseño.

5.1.6. Mantenimiento

La empacadora al igual que cualquier máquina que tiene componentes en movimiento, desgaste, vibraciones y esfuerzos, debe ser sometida a una serie de actividades programadas periódicamente, para garantizar la confiabilidad del equipo así como la seguridad para el operario o entorno.

El modelo final contiene un manual de mantenimiento donde están las actividades preventivas y predictivas a realizar con una frecuencia previamente estipulada. Los tipos de mantenimiento que se utilizan son:

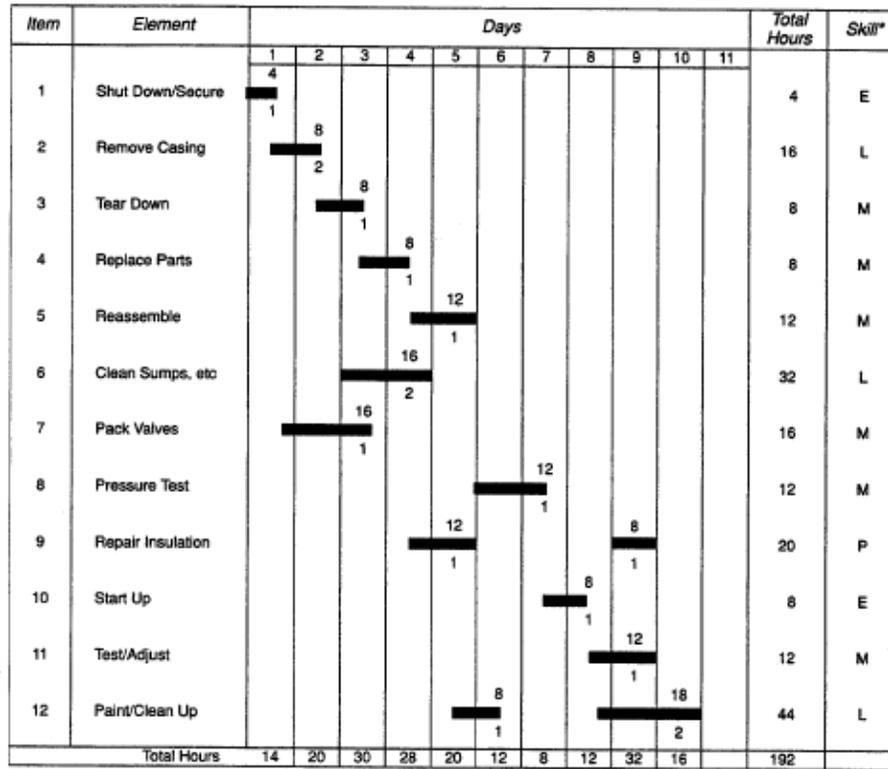
- Correctivo: Actividad humana desarrollada en equipos e instalaciones, cuando a consecuencia de alguna falla, han dejado de prestar la calidad de servicio esperada.
- Preventivo: Actividad humana desarrollada en equipos e instalaciones con el fin de garantizar que la calidad del servicio que estos proporcionan continúe dentro de los límites establecidos.
- Predictivo: Análisis de parámetros de funcionamiento cuya evolución permite detectar el fallo antes de que este tenga consecuencias más graves.

En caso de construir la máquina, se debe incluir una cartilla donde se presente cómo se debe realizar cada uno de los procedimientos de mantenimiento y una lista de chequeo para cada uno de ellos, además del diagrama para la planeación de las actividades correspondientes a cada sistema.

En la figura 6 se muestra un modelo representado en horas y los diferentes caminos que pueden tomar las actividades y si son consecuentes o independientes de las demás. Este modelo permite visualizar la manera en que las labores se pueden distribuir y la mejor manera de finalizar el mantenimiento en el menor tiempo posible optimizando el uso de recursos y personal. En el caso de tener poco personal disponible para el mantenimiento este modelo es de gran utilidad. Los números encima de las barras indican la cantidad de

horas presupuestadas para cada actividad, el número en la parte inferior representa el número de personas requeridas para realizar la labor.

Figura 6 – Ejemplo de diagrama



*Skill Code: L = Laborer M = Mechanic
E = Electrician P = Pipefitter

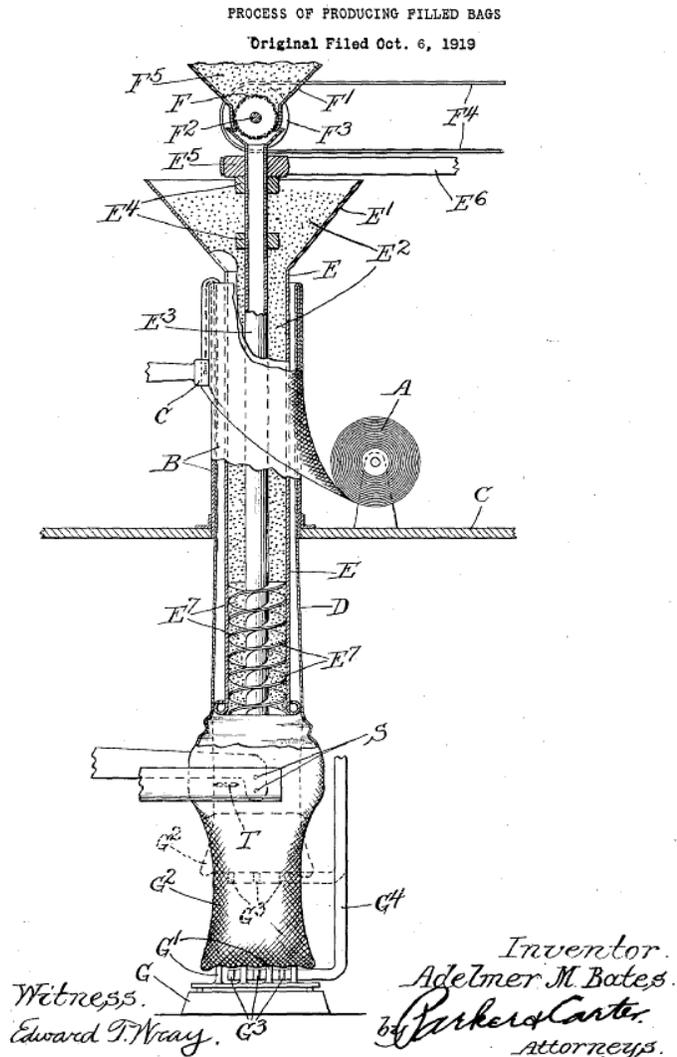
(Hartmann, Knapp, Johnstone, & Ward, 2006)

5.2. ESTADO DE LA TÉCNICA

Se realizó un estudio de algunas patentes que documenten procesos similares y además se buscaron soluciones que se encuentren en el mercado mundial.

5.2.1. Patente 1 (Bates, 1925)

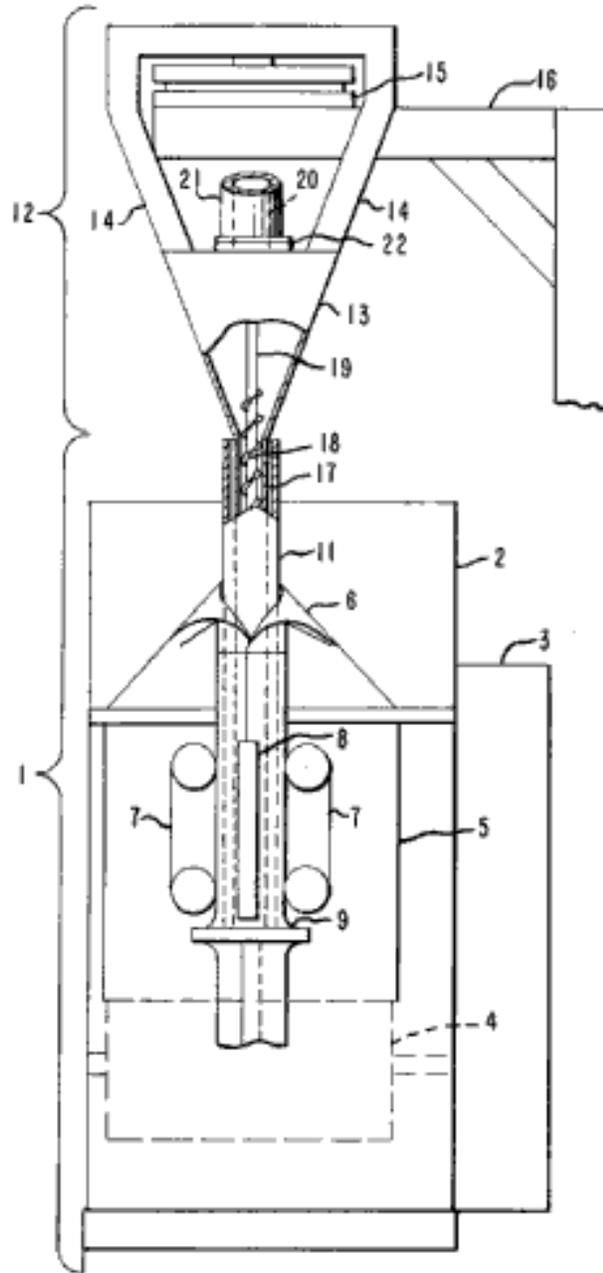
Figura 7 – Patente: Proceso de llenado de bolsas



Esta patente que documenta una máquina para llenar bolsas con material particulado es la más antigua encontrada. Utiliza un dispositivo para darle forma a la película de empaque y utiliza un par de mordazas donde se ubican las agujas para realizar la costura de la bolsa. El empaque se suministra mediante el uso de un tornillo rotatorio forzando el movimiento del material particulado y empujando el fondo de la bolsa hacia abajo (ver Figura 7).

5.2.2. Patente 2 (Craig, 1983)

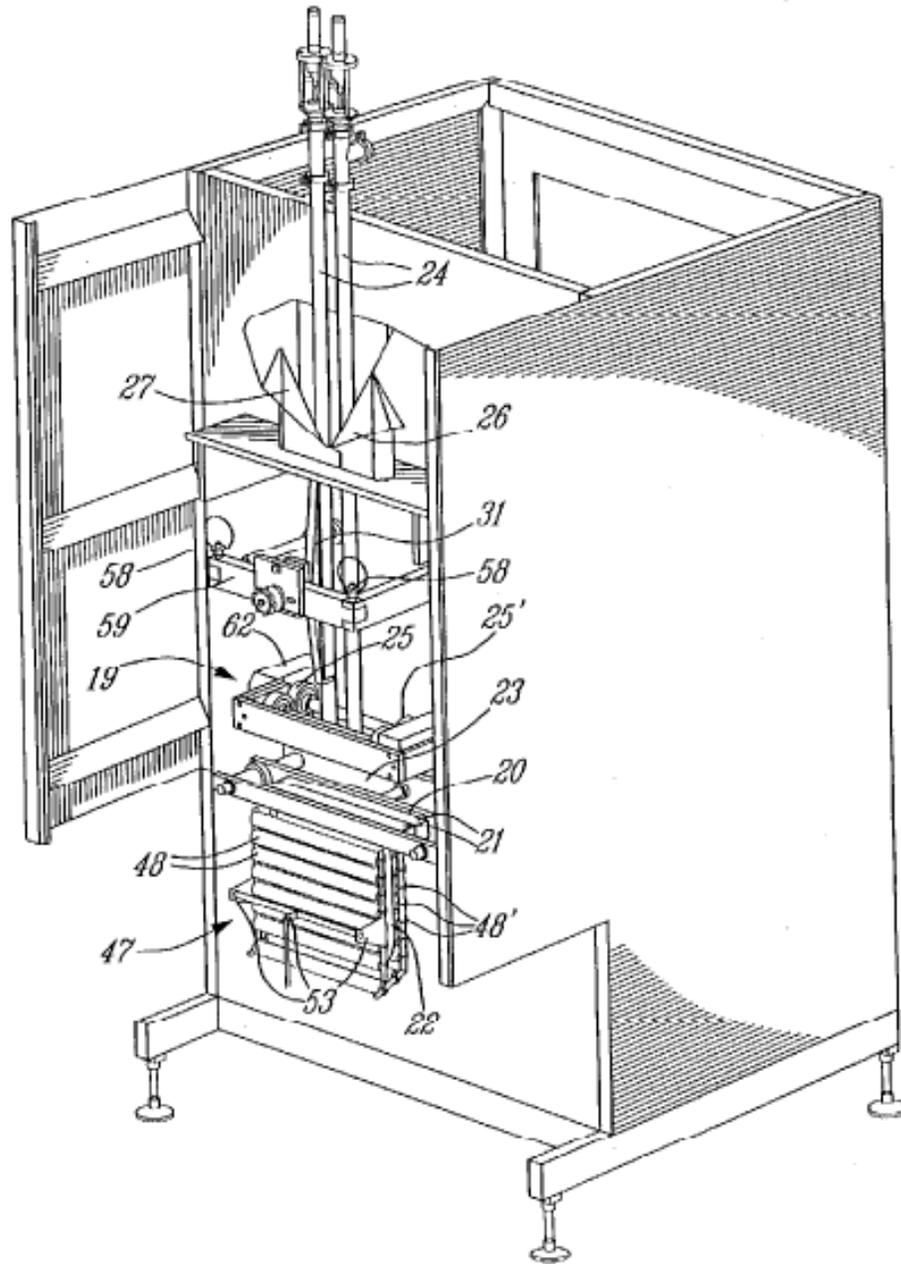
Figura 8 – Patente: Aparato y Método para empaclar polvos



Esta patente documenta un aparato y método de formado, llenado y sellado vertical para material particulado. Utiliza un formador para la película de empaque además de un par de mordazas donde se ubica algún objeto proveído de calor para el sello y una cuchilla para el corte de la bolsa. El empaque se suministra mediante el uso de una banda que presiona el empaque y al girar lo arrastra. El material particulado proviene de una tolva en la parte superior de la máquina empujado por un tornillo rotatorio (ver Figura 8).

5.2.3. Patente 3 (Basque & Knowers, 2004)

Figura 9 – Patente: Llenadora para bolsas grandes



Esta patente documenta una llenadora de líquidos para bolsas de gran tamaño (entre 5 y 20 litros). Utiliza un formador de lados rectos para la película de empaque, un par de mordazas para el sello por impulso y una cuchilla para el corte de la bolsa. El empaque se suministra mediante el uso de una banda que presiona el empaque y al girar lo arrastra. Se usa una serie de rodillos a manera de canasta para prevenir que el líquido deforme la bolsa al llenarse (ver Figura 9).

5.2.4. Máquina 1: ENV-A-FLEX - DYN-A-FLEX (Ciudad de México, México)

Figura 10 – Enfardadora DYN-A-FLEX



(Sociedad Industrial Mexicana S.A., 2005)

Esta máquina posee software para conexión con Intranet, sensor de final de bobina, paro automático por apertura de guardas, semáforo de señalización, módulo de control de temperatura para sellado, configuración de parámetros.

5.2.5. Máquina 2: Tecnotok - MXT3000 (Jaraguá do Sul - Santa Catarina, Brasil)

Figura 11 – Enfardadora MXT30000

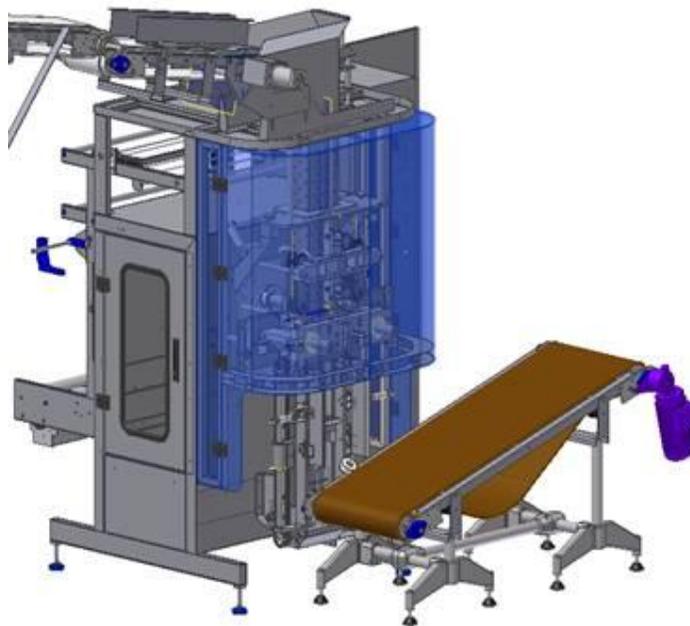


(TECNOTOK, 2009)

La enfardadora Tecnotok enfarda automáticamente bolsas con cereales, azúcar, ración para perros, pasta corta o pasta larga, caramelos, polvorientos, misturas para dulces, etc. Se conoce que para la aplicación esta máquina enfarda hasta 50 bolsas por minuto. Esta máquina debe tener una entrada regular de producto para que no se presente sello en producto ni fardos con menor cantidad. La estructura está pintada con pintura electrostática y las partes en contacto con los cereales o productos a empacar están fabricadas en acero inoxidable.

5.2.6. Máquina 3: Solpak S.A. – Reembolsadora (Medellín, Colombia)

Figura 12 – Enfardadora Solpak S.A.



(Solpak S.A., 2009)

Esta máquina posee una canasta que sostiene al fardo y lo va bajando progresivamente. Las dos bandas transportadoras son opcionales. Posee guardas transparentes para ver el proceso de empacado desde cualquier ángulo. El material utilizado es Acero Inoxidable AISI 304.

5.2.7. Máquina 4: Propac Industrial Pty Ltd – AV X.X. (Sydney, Australia)

Figura 13 – Empacadora AV X.X.



(Propac Industrial Pty Ltd., 2009)

No incluye banda transportadora ni dispositivos para hacer bolsa de fuelle. Su aplicación general es para empaçar granos a altas velocidades pero en bajas cantidades y fondo de bolsa plano. Es de destacar en esta máquina el gran número de paquetes que puede formar por minuto (140) y es un factor negativo que no pueda manejar pesos mayores a la misma velocidad.

5.2.8. Máquina 5: ULMA Packaging – Olympus (Garibai, España)

Figura 14 – Empacadora Olympus



(ULMA Packaging, 2009)

Es de destacar en esta empacadora su tamaño compacto y las opciones adicionales para el manejo de la película en las que incluye un motor en la bobina, un sistema de tensión de película con correas y vacío automático y memorias de programación para cambios de producto.

5.2.9. Máquina 6: Triangle Package Machinery Co - Intermittent Motion VFFS Bagger (Chicago, USA)

Figura 15 – Enfardadora Intermittent motion VFFS



(TRIANGLE, 2009)

La empacadora Triangle presenta un sistema de sellado horizontal que trabaja con un solo actuador ubicado en la parte trasera y las dos prensas se mueven simultáneamente para encontrarse en el punto de sellado. Esto permite que se utilicen menos actuadores y se obtenga una reducción de espacio horizontal por la disposición del mecanismo. Esta enfardadora puede enviar reportes de funcionamiento vía internet.

5.3. SISTEMAS COMUNES EN LAS MÁQUINAS CONOCIDAS

De las anteriores máquinas y patentes, todas o la mayoría presentan sistemas para realizar algunas funciones que a consideración de los autores, son primordiales en una máquina reempacadora. A continuación, se explica en mayor detalle cada uno de estos sistemas.

5.3.1. Sistema de orientación y posición.

La función de este sistema es asegurar que las bolsas entren en la orientación deseada, que sólo entre una bolsa a la vez y que al llegar la bolsa, lo haga en la posición requerida.

La orientación deseada para la bolsa se logra usualmente utilizando unas paredes con ángulos que van acomodando la bolsa de modo que ella sólo pueda pasar de una sola forma y sólo pueda pasar una bolsa a la vez.

Es posible implementar algún tipo de obstáculo durante la caída de la bolsa para asegurar que va a caer en uno de los lados del empaque.

5.3.2. Sistema de arrastre y freno.

El empaque se arrastra usando 2 bandas que hacen presión sobre él. Las bandas giran gracias a 2 motores conectados respectivamente en uno de sus ejes y cuando giran, arrastran consigo el empaque. Los motores se detienen durante el proceso de sellado y corte para evitar que el empaque se mueva o resbale debido al peso contenido y consecuentemente evitar hacer daños al empaque.

5.3.3. Sistema de sellado y corte.

Este sistema usualmente consiste en dos piezas móviles conectadas a dos actuadores neumáticos. El actuador realiza una fuerza contra el empaque cada que se necesiten las operaciones de corte, sellado y refrigeración. La pieza móvil generalmente está comprendida por 3 partes:

- Resistencia: Se encuentra en la primera pieza móvil que es accionada por el primer actuador. Se usan dos resistencias (una debajo de la cuchilla y otra encima) para sellar la parte superior del empaque terminado y la parte inferior del empaque que sigue.
- Refrigeración: También se encuentra en la primera pieza móvil. Usualmente consiste en surcos por donde pasa aire a presión. Su función es reducir la temperatura del empaque después del sellado para impedir que el plástico se deforme posteriormente.
- Cuchilla: Se encuentra en la segunda pieza móvil. Después de estar la bolsa sellada, el segundo actuador sale de modo que la cuchilla atraviese y corte el empaque.

5.3.4. Sistema de tensión y formado de película.

La bobina se sitúa en un rodillo para poder ser desenrollada. Además, se utiliza una serie de rodillos entre la bobina y el doblador cuya función es mantener la tensión en la película del empaque. Estos rodillos también evitan que la bobina continúe girando al arrastrar el empaque y absorben energía cada vez que el motor arranca. El formador le da la forma de tubo a la película para luego introducir las bolsas.

5.3.5. Sistema electrónico de control y potencia.

Las señales de los motores, las electroválvulas y los sensores son monitoreados y controlados por medio de un PLC. Además, se necesitan fuentes de alimentación para el PLC (24V) y para los motores (220V) (en caso de que no exista toma a 220V).

La máquina también tiene botones para prender, apagar, paro de emergencia y posiblemente algunos otros para escoger opciones. También es posible el uso de una pantalla táctil para desplegar menús, opciones y gráficas.

Los sistemas electrónicos deben tener una protección en caso de fallas, cortos, etc.

6. DESARROLLO DEL DISEÑO METÓDICO

6.1. DESCRIPCIÓN DEL MODELO

La implementación del empaque secundario es el último proceso que se realiza en la línea de producción de Colanta integrando un número predeterminado de bolsas de leche en un paquete que se puede llevar fácilmente y que representa un ahorro para el consumidor.

El proceso del empaque secundario comienza con la obtención de las bolsas de leche que vienen de la empacadora principal, estas bolsas caen y continúan su camino hasta la máquina de empaque secundario por una banda transportadora donde se suministraran ordenadamente para que la máquina no se atasque o se presenten fallas en el empaque.

La admisión de las bolsas al paquete se hace en la parte superior de la máquina donde se regula el paso y se orientan de una manera predeterminada para que la bolsa caiga al paquete uniforme y ordenadamente. Simultáneamente se están contando la cantidad de bolsas para identificar si el paquete está lleno y se podrá pasar al sello y corte del fardo.

El paquete se va llenando de bolsas hasta que se cumpla con la cantidad de bolsas por paquete que el usuario estableció. Cuando esto se complete, se sella, corta y pasa a una segunda banda transportadora donde será recibido el fardo para su distribución final.

El suministro del material de empaque es un proceso que se realiza simultáneamente a los procesos anteriores. Comienza con una intervención manual para ingresar la película de plástico en forma de cinta al cuello formador el cual le da forma tubular a la película que ya se puede cerrar lateralmente y en sus dos extremos superior e inferior.

El control del suministro le indicará al sistema si se debe detener o suministrar más plástico para cada fardo hasta que se complete la cantidad estipulada.

Para una comprensión más fácil de la función principal, se realizan los flujos de material, energía e información de la función principal (ver Figura 10).

Figura 16 – Esquema de flujos de entrada y salida de la función principal



6.2. ESPECIFICAR Y CLARIFICAR LA TAREA

Diseñar una máquina capaz de integrar bolsas de leche en un empaque secundario de forma automática. Diseñar un conjunto de sistemas mecánicos y eléctricos para el anterior fin acompañado de un sistema de control que regule las subfunciones existentes en la máquina.

6.3. DESARROLLAR UNA LISTA DE REQUERIMIENTOS O PDS (*PRODUCT DESIGN SPECIFICATION*)

- La lista de requerimientos o PDS es un documento que responde a las preguntas: Qué objetivos debe satisfacer la solución pretendida?
- Qué propiedades debe tener?
- Qué propiedades no debe tener?

Este documento representa entonces las especificaciones con las que se podrá juzgar el éxito del diseño y contiene uno a uno los requerimientos que debe cumplir el diseño. Estos requerimientos al principio pueden ser muy generales, pero a medida que se avanza en el proyecto se deben ir refinando hasta obtener algo específico, preferiblemente con límites y valores. (Pahl & Beitz, 2007)

La lista de requerimientos (ver Tabla 1) fue realizada en conjunto con la Cooperativa Colanta para que así se involucrara al consumidor desde el inicio de la etapa de diseño. La lista de requerimientos se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 1 – Lista de requerimientos

Tipo	Requerimiento	Requisito	Deseo
Geometría	altura máxima: 2.4m	x	
	ancho máximo: 3m	x	
	largo máximo: 2m	x	
	Todas las bolsas deben quedar posicionadas horizontalmente con respecto al fondo del paquete	x	
	Fardo debe tener agarraderas (opcional)		x
	Fardo con fondo plano	x	
	El código de barras de la bolsa no puede quedar	x	
Materiales	Acero Inoxidable en la estructura	x	
	Las partes que entren en contacto con leche deben resistir soluciones de lavado como Soda caustica hasta el 2% Acido nítrico hasta el 2% y temperaturas hasta	x	
	Que la estructura dure más de 10 años		x
Seguridad	Operación Segura		x
	Paro por obstrucción de material	x	
	Paro por aplastar bolsa de leche	x	
	Paro por falta de material de empaque	x	
	Paro por intervención humana durante ciclo	x	
	Escala de colores para representar peligros al operario		x

Tabla 1 – (Continuación)

Tipo	Requerimiento	Requisito	Deseo
Señales	Alarmas. Fallo en los parámetros. Terminar procesos.		x
	Pantalla digital con funciones y parámetros de	x	
	Alarma para reemplazar rollo	x	
	Indicador de realizar mantenimiento		x
	Debe detectar acumulación de bolsas		x
Producción	La media de producción debe ser de 1000	x	
Control de calidad	Contador de horas	x	
	Contador de paquetes	x	
	Fallas < 2%		x
	No permitir paso de bolsas dobles o pegadas	x	
Ensamble	La máquina debe estar anclada para no moverse de su posición a causa de vibraciones	x	
	La máquina se puede nivelar	x	
	Se puede ensamblar en serie con las maquinas empacadoras primarias.		x
	Los componentes mecánicos y eléctricos que no intervengan directamente en el proceso deben estar	x	
Transporte	La máquina se puede transportar ensamblada con un puente grúa o montacargas		x
Operación	Se requiere de un operario mínimo para su operación	x	
	La máquina no debe exceder los límites permitidos de		x
	El calor de la resistencia no supone un problema para		x
	La tensión de la bobina debe ser constante	x	
	Manual de operación disponible	x	
	Debe ser operable con el mínimo de capacitación		x
	Número de pasos máximo para prenderla	x	
	Número de pasos máximo para apagarla	x	
	Paro inmediato o de emergencia	x	
Número de pasos máximo para limpieza	x		
Mantenimiento	El mantenimiento de la máquina está programado por número de golpes y horas de funcionamiento.	x	
	Fácil acceso a las partes		x
	Que la estructura soporte una persona con		x
Costos	El costo total de la máquina no puede superar los 120'000,000 de pesos	x	
Ergonomía	Altura de operación para persona con altura promedio	x	
Energía	Bajo consumo		x
	Conexión a 220V	x	
	Protección contra cortos y sobrecargas	x	

6.4. DETERMINAR ESTRUCTURAS Y FUNCIONES

Los requerimientos determinan la función que representa la relación entre las entradas y las salidas de una máquina, ensamble, etc. Teniendo la función e indicando el flujo de energía, materiales y señales en diagramas de bloques, se puede expresar una solución neutral que relacione entradas y salidas. Dependiendo de la complejidad de la función principal, ésta se puede dividir en subfunciones que formarán una estructura que representará la función principal. (Pahl & Beitz, 2007)

6.4.1. Función principal

La formulación de la función principal lleva a identificar las entradas y salidas del proceso general de la máquina, mediante la representación gráfica de una caja negra (ver Figura 11), de esta manera se puede conceptualizar nuestra idea y se muestra en ella los flujos de entrada y salida de energía, materia e información.

Figura 17 – Función principal (sólo flujo de material)



6.4.2. Funciones secundarias

Las funciones secundarias (ver Figura 12) son las actividades que se realizan en la máquina, que son necesarias para que se pueda cumplir con la función principal, éstas al igual que la función principal se representan mediante una caja negra con entradas y salidas de energía materia e información.

Figura 18 – Funciones secundarias

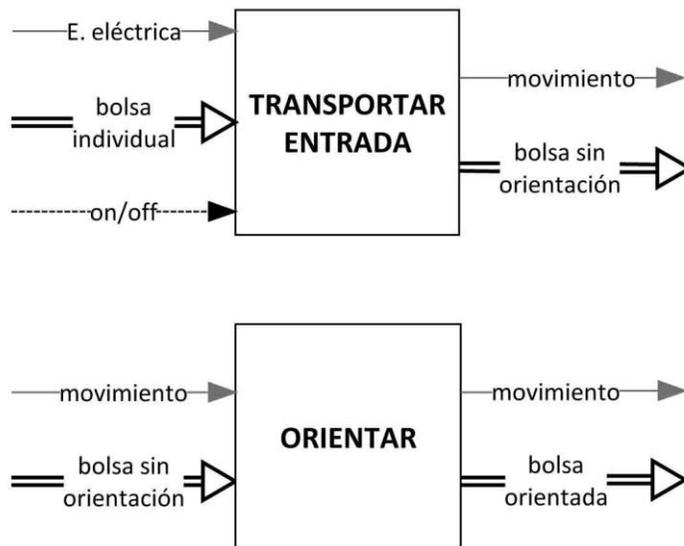


Figura 18 – (Continuación)

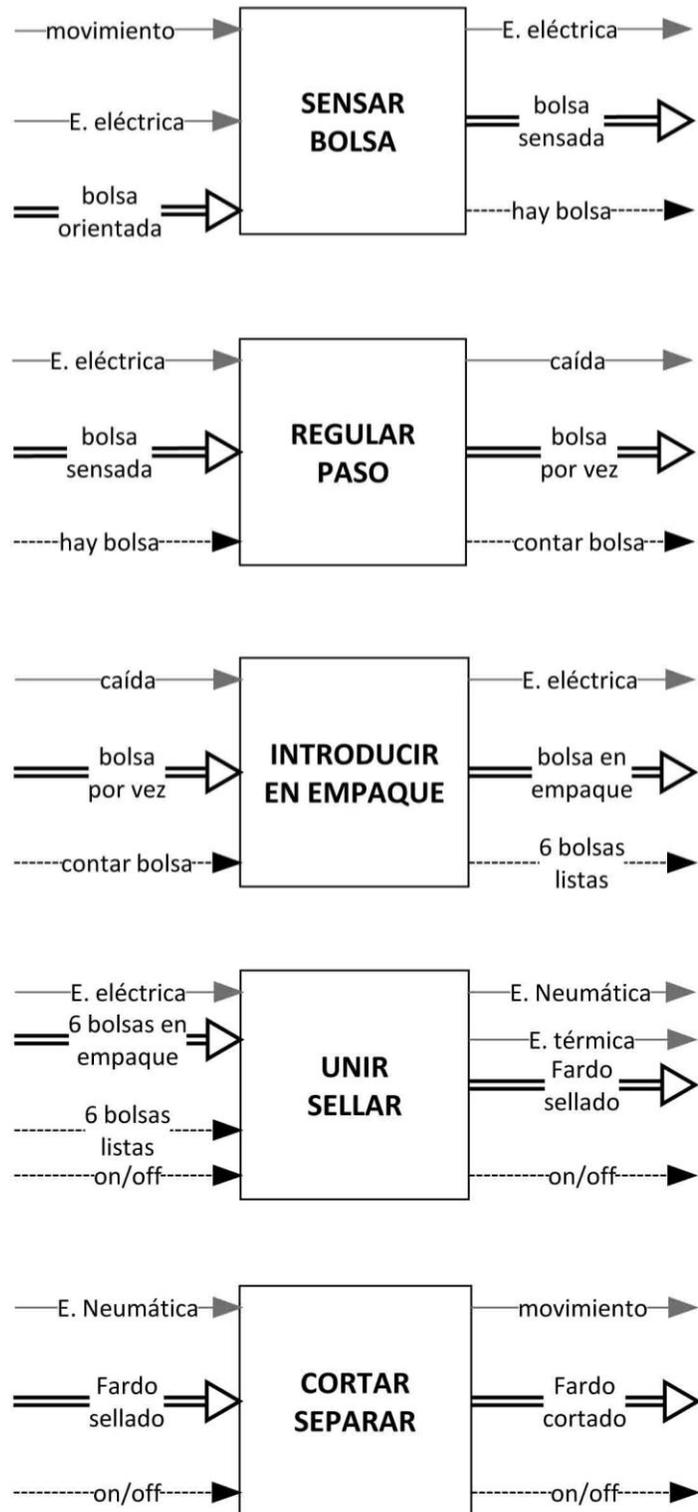


Figura 18 – (Continuación)

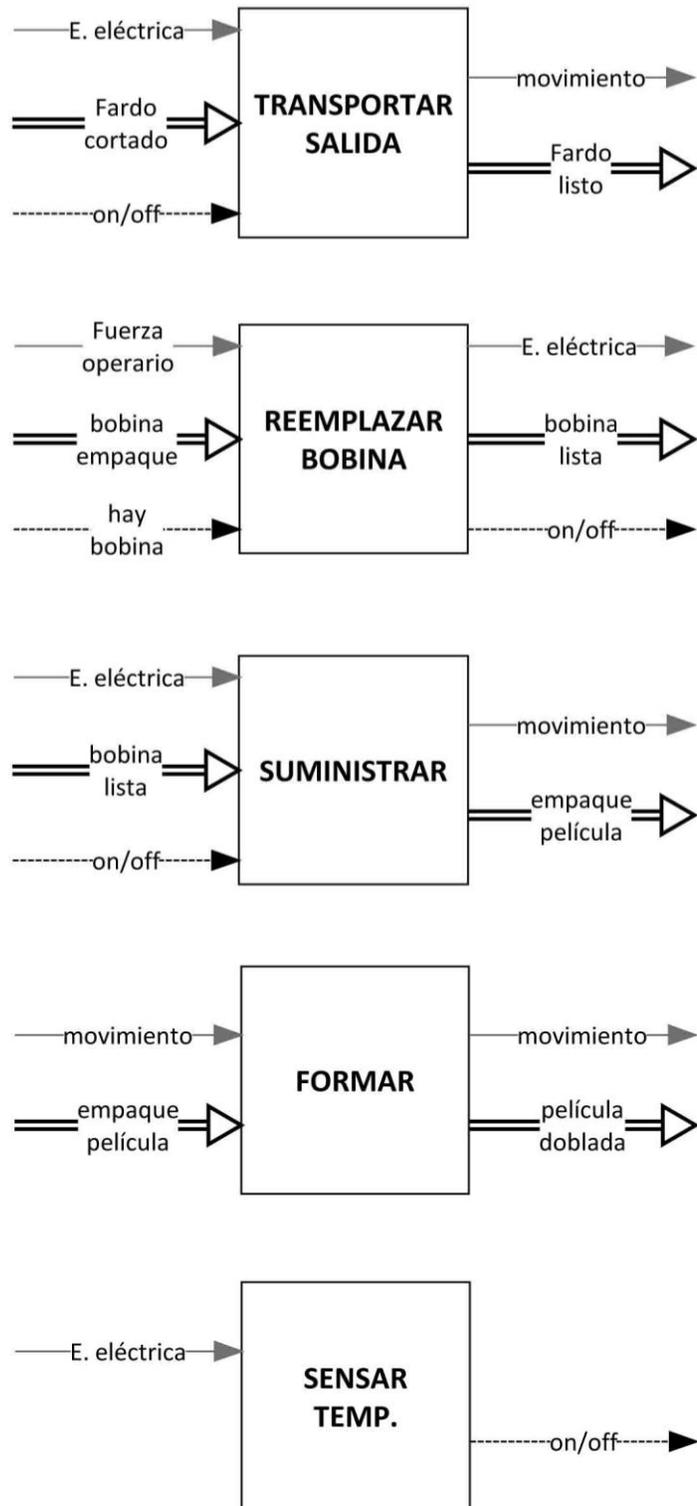
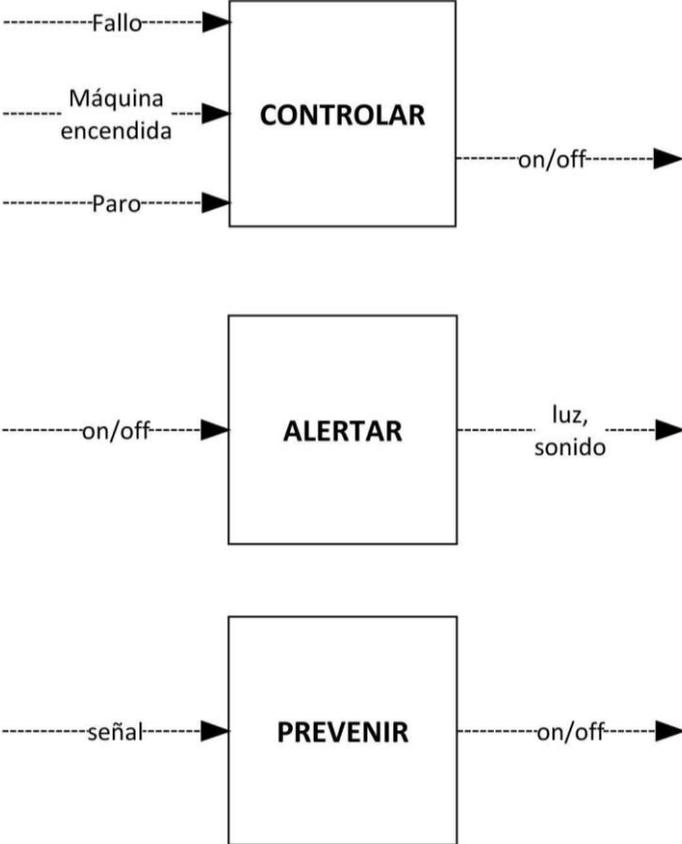


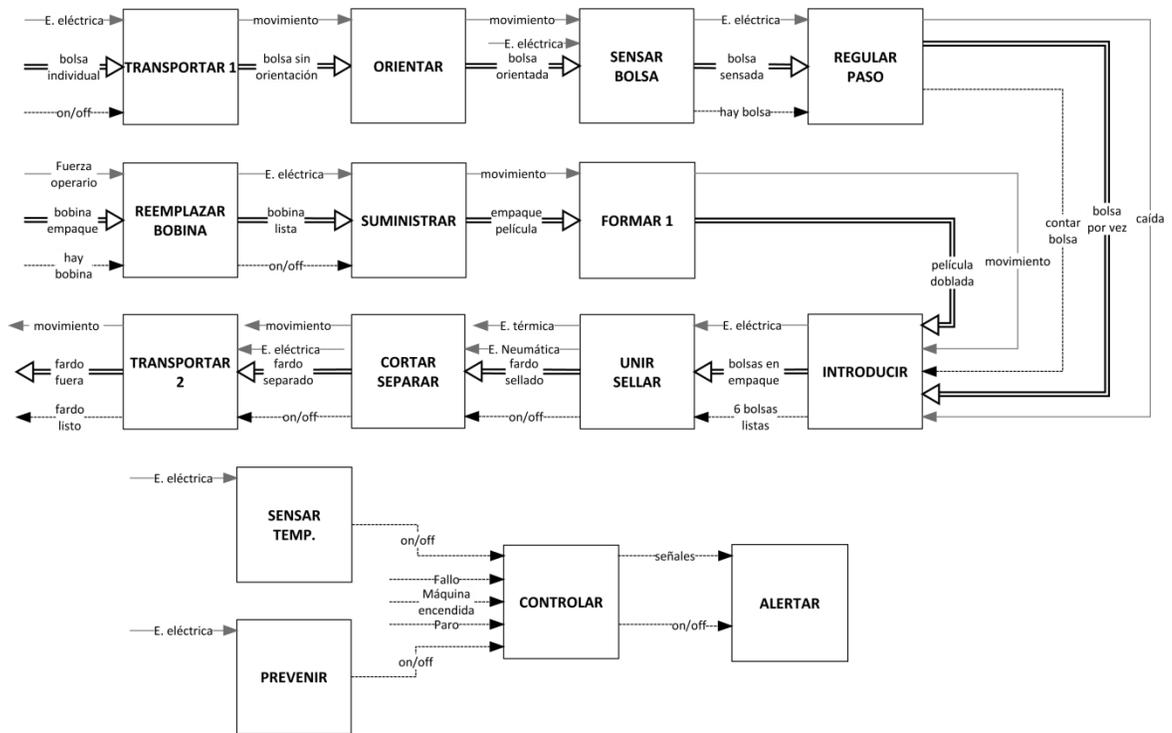
Figura 18 – (Continuación)



6.4.3. Estructura funcional

La estructura funcional (ver Figura 13) muestra como dirige el flujo principal dentro de la operación de la maquina, sirve para visualizar el flujo principal y su relación con las funciones secundarias.

Figura 19 – Estructura Funcional



6.5. BÚSQUEDA DE PORTADORES

La principal ventaja de una aproximación sistemática es que los diseñadores no tienen que depender de encontrar una buena idea en el momento indicado. Las soluciones pueden ser elaboradas sistemáticamente usando métodos de relevancia. Estos métodos deben generar un conjunto de soluciones posibles que se basen en las funciones antes descritas.

Existen métodos convencionales como reunión de información, análisis de sistemas técnicos existentes, analogías, etc. También los diseñadores a menudo buscan y descubren soluciones por intuición, o sea, las soluciones les llegan en algún momento luego de un período de búsqueda y reflexión. Como ejemplos están la Lluvia de ideas, el método 635, el método Delphi, etc. (Pahl & Beitz, 2007)

En este caso se usaron métodos convencionales como la recolección de información (tanto de bibliografía como de profesores y conocidos). También se pudo hacer un análisis de máquinas similares que existen en el mercado actualmente. Dentro de los métodos intuitivos, se utilizó la Lluvia de ideas para identificar portadores factibles adicionales a los encontrados con los métodos previos. El registro de la Lluvia de ideas y los otros métodos se representa en la Matriz Morfológica (ver Tabla 2).

6.6. MATRIZ MORFOLÓGICA

La matriz morfológica (ver Figura 14) reúne a las funciones secundarias y los portadores que se encontraron a partir de los métodos utilizados. Tiene como función principal la de visualizar las diferentes alternativas que satisfacen una función y generalmente se hace de la siguiente manera:

Figura 20 – Estructura básica de matriz morfológica

Sub- functions \ Solutions		Solutions					
		1	2	...	j	...	m
1	F_1	S_{11}	S_{12}		S_{1j}		S_{1m}
2	F_2	S_{21}	S_{22}		S_{2j}		S_{2m}
⋮	⋮	⋮	⋮		⋮		⋮
i	F_i	S_{i1}	S_{i2}		S_{ij}		S_{im}
⋮	⋮	⋮	⋮		⋮		⋮
n	F_n	S_{n1}	S_{n2}		S_{nj}		S_{nm}

(Pahl & Beitz, 2007)

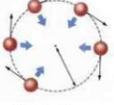
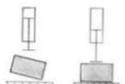
La Matriz sirve para encontrar diferentes alternativas de solución para la función principal la cual está compuesta de todas las subfunciones. El número de alternativas posibles depende del número de portadores y de las combinaciones o alternativas de solución sin repetir que permita el tamaño de la matriz.

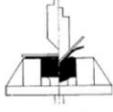
6.6.1. Matriz morfológica inicial

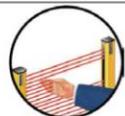
La búsqueda de los diferentes portadores que pueden servir como soluciones parciales a las funciones secundarias se organiza en la matriz morfológica inicial, esta contiene todos los portadores que se identificaron en la etapa de búsqueda de portadores y los organiza visualmente para que su visualización sea más práctica y fácil de trabajar para encontrar diferentes caminos o alternativas de solución.

La matriz morfológica (ver Tabla 2) debe ser depurada de manera que todos los portadores que no cumplan con unas características específicas, salgan de ella y queden solo los portadores viables para la solución final.

Tabla 2 – Matriz morfológica inicial

	1	2	3	4	5	6	7
Transportar entrada	 Banda	 Cadena	 Cangilones	 Manual	 Rodillos		
Orientar	 Barras	 Brazo robot	 Canales	 Centrífuga	 Manual	 Tabique	
Sensar bolsa	 Inercial	 Manual	 Peso	 Proximidad			
Regular Paso	 Banda acel.	 Barra	 Bolsas espaci.	 Cangilones	 Cuña	 Recircular	 Revólver
Almacenar	 Acumulador	 Brazo robot	 Caída+actuad.	 Flow-pack	 Manual	 Revólver	

	1	2	3	4	5	6	7
Sensar Temperatura	 Infrarrojo	 Pirómetro	 Resistencia	 Termistor	 Termocupla		
Sellar	 Cinta	 Costura	 Ganchos	 Pegante	 Resistencia	 Ziploc	
Cortar	 Cuchilla	 Desgarre	 Laser	 Plasma	 Rodillo	 Sierra	 Troquel
Transportar salida	 Banda	 Cadena	 Cangilones	 Manual	 Rodillos		
Reemplazar bobina	 Brazo robot	 Manual					

	1	2	3	4	5	6	7
Alimentar película	 Banda	 Manual	 Poleas	 Rodillo			
Formar	 Cuello	 Triángulo	 Ventosas				
Controlar	 Computador	 Manual	 Microproces.	 PLC			
Alertar	 Baliza	 Botón ilumin.	 Columna lumi.	 Música	 Sirena	 Strober	 Timbre
Prevenir	 Cortina de luz	 Puerta+sensor	 Encerrar				

6.6.2. Depuración de portadores

Los diseñadores que usan el método sistemático normalmente se encuentran con un gran número de soluciones posibles. Este gran número de soluciones teóricamente posibles, pero prácticamente difíciles de alcanzar, deben ser eliminadas del proceso de diseño lo más rápido posible (Pahl & Beitz, 2007).

El uso de una tabla de selección en la que se listan los criterios de evaluación y todos los portadores encontrados inicialmente permite evaluarlos en relación con el cumplimiento de su función y como soluciones factibles para el proyecto (ver Tabla 3). De esta manera la matriz morfológica reduce su número de portadores y hace que el trabajo de encontrar alternativas de solución sea más práctico.

Tabla 3 – Evaluación de variantes de solución por criterios de selección

		EVALUACIÓN de variantes de solución por criterios de selección (+) = sí (-) = no (?) = falta información (!) = revisar especificaciones							DECISIÓN	
		Compatibilidad general							(+) Continuar solución (-) Eliminar solución (?) Buscar más información (!) Revisar para cambiar PDS	
		Cumple demandas de PDS								
		Factible en principio								
		Dentro de costos permisibles								
		Incorpora seguridad intrínseca								
		Preferida por diseñadores								
		Información adecuada								
		A	B	C	D	E	F	G	Observaciones / Indicadores / Razones	Decisión
Transportar Entrada										
1	banda	+	+	+	+	+	+	+	Existen bandas con espaciamentos, etc. Más flexible.	+
2	cadena	+	-						Partes móviles pueden pellizcar bolsa. Solución más robusta de lo necesario.	-
3	cangilones	+	-						Poco flexible y difícil de ensamblar con otros equipos.	-
4	manual	+	+	+	-				Velocidad de producción demasiado alta para un sólo operario, varios necesarios. Se busca disminuir costos de mano de obra.	-
5	rodillos	+	-						Necesitan pendiente negativa. La entrada sería demasiado alta.	-
Orientar										
1	barras	+	+	+	+	+	+	+		+
2	brazo robot	+	+	+	-				Mucho más costoso que otras alternativas. No es preferido por diseñadores. Es una solución sobredimensionada.	-
3	canales	+	+	+	+	+	+	+		+
4	centrífuga	+	+	+	+	-			No se puede parar inmediatamente. Más complicada que otras alternativas. Requiere motor, control, etc.	-
5	manual	+	+	+	-				Se busca disminuir costos de nómina	-
6	tabique	+	+	+	+	+	+	+		+

Tabla 3 – (Continuación)

		EVALUACIÓN de variantes de solución por criterios de selección (+) = sí (-) = no (?) = falta información (!) = revisar especificaciones							DECISIÓN
		Compatibilidad general							(+) Continuar solución (-) Eliminar solución (?) Buscar más información (!) Revisar para cambiar PDS
		Cumple demandas de PDS							
		Factible en principio							
		Dentro de costos permisibles							
		Incorpora seguridad intrínseca							
		Preferida por diseñadores							
		Información adecuada							Decisión
A	B	C	D	E	F	G	Observaciones / Indicadores / Razones		
Sensar bolsa									
1	inercia	+	+	-				Diseño complicado. Requiere mayor espacio y mayor número de componentes.	-
2	manual	+	+	+	-			Las otras alternativas son mucho más económicas	-
3	peso	+	+	+	+	+	+		+
4	proximidad	+	+	+	+	+	+		+
Regular paso									
1	banda acel.	+	+	+	+	+			+
2	barra	+	+	+	+	+			+
3	bolsas espaciadas	+	+	-				Depende de las funciones anteriores. Alta probabilidad de que no se cumpla.	-
4	cangilones	+	+	+	-			Otras alternativas son más económicas.	-
5	cuña	+	+	+	+	+			+
6	recircular bolsa	+	+	+	-			Es una solución muy robusta y costosa.	-
7	revólver	+	+	+	-			Otras alternativas son más económicas.	-
Introducir									
1	acumulador	+	+	+	+	+			+
2	brazo robot	+	+	+	-			Otras alternativas son más económicas.	-
3	caída + actuador	+	+	+	+	+			+
4	flow-pack	+	+	-				- Se necesitan bolsas organizadas previamente. Esto no se puede asegurar.	-
5	manual	+	+	+	-			Otras alternativas son más económicas.	-
6	revólver	+	+	+	?				?
Sensar Temperatura									
1	infrarrojo	+	+	+	-			Costo elevado para la aplicación	-
2	pirómetro	+	+	-				Se tiene dificultades con la precisión de la medida y al pasar a uno de mayor precisión el costo se eleva en gran cantidad.	-
3	resistencia	+	+	+	+	+	-	El arreglo necesario es complicado.	-
4	termistor	+	+	+	+	+	-	El arreglo necesario es complicado.	-
5	termocupla	+	+	+	+	+	+		+

Tabla 3 – (Continuación)

		EVALUACIÓN de variantes de solución por criterios de selección (+) = sí (-) = no (?) = falta información (!) = revisar especificaciones							DECISIÓN
		Compatibilidad general							(+) Continuar solución (-) Eliminar solución (?) Buscar más información (!) Revisar para cambiar PDS
		Cumple demandas de PDS							
		Factible en principio							
		Dentro de costos permisibles							
		Incorpora seguridad intrínseca							
		Preferida por diseñadores							
		Información adecuada							
A	B	C	D	E	F	G	Observaciones / Indicadores / Razones	Decisión	
Sellar o Unir									
1	cinta	-						Necesita de un sistema especial para su aplicación y agrega sobrecosto por la cinta	-
2	costura	+	-					Necesita de un sistema especial para su aplicación y agrega sobrecosto por la costura	-
3	ganchos	+	+	+	-			Se podría realizar pero el costo de las grapas además de los mecanismos necesarios para su aplicación y alimentación se deben diseñar.	-
4	pegante	+	+	+	-			El pegante necesario para esta aplicación no es de fácil consecución.	-
5	resistencia el.	+	+	+	+	+	+		+
6	ziploc	-						No hay ziploc en rollo para este tamaño.	-
Separar o Cortar									
1	cuchilla	+	+	+	+	+	+		+
2	desgarre	-						La bolsa debe tener un acabado adecuado	-
3	laser	+	+	-				Si se quema la bolsa se producen gases no deseados.	-
4	plasma	+	+	-				Si se quema la bolsa se producen gases no deseados.	-
5	rodillo	+	+	+	+	+	+		+
6	sierra	+	+	+	+	+	+		+
7	troquel	+	+	+	+	+	+		+
Transportar Salida									
1	banda	+	+	+	+	+	+	Existen bandas con espaciamentos, etc. Más flexible.	+
2	cadena	+	-					Partes móviles pueden pellizcar bolsa. Solución más robusta de lo necesario.	-
3	cangilones	+	-					Poco flexible y difícil de ensamblar con otros equipos.	-
4	manual	+	+	+	-			Velocidad de producción demasiado alta para un sólo operario, varios necesarios. Se busca disminuir costos de mano de obra.	-
5	rodillos	+	+	+	+	+	+	Si la altura de salida es ergonómica, serían ideales.	+

Tabla 3 – (Continuación)

		EVALUACIÓN de variantes de solución por criterios de selección (+) = sí (-) = no (?) = falta información (!) = revisar especificaciones							DECISIÓN
		Compatibilidad general							(+) Continuar solución (-) Eliminar solución (?) Buscar más información (!) Revisar para cambiar PDS
		Cumple demandas de PDS							
		Factible en principio							
		Dentro de costos permisibles							
		Incorpora seguridad intrínseca							
		Preferida por diseñadores							
		Información adecuada							
A	B	C	D	E	F	G	Observaciones / Indicadores / Razones	Decisión	
Reemplazar Bobina									
1	brazo robot	+	+	-				Esta solución está sobredimensionada para la necesidad	-
2	manual	+	+	+	+	+	+		+
Alimentar Película									
1	banda	+	+	+	+	+	+		+
2	manual	+	-					No garantiza un alimentación controlada de la película	-
3	poleas	+	+	-				El tamaño de las poleas lo hace inadecuado	-
4	rodillos	+	+	+	+	+	+		+
Formar									
1	cuello	+	+	+	+	+	+		+
2	triángulo	+	+	-				No forma el tubo interno requerido	-
3	ventosas	+	-					No permite movimiento continuo	-
Controlar									
1	computador	+	+	+	+	+	+		+
2	manual	-						No es compatible con las partes de la máquina	-
3	microprocesador	+	+	-				Solución poco flexible	-
4	PLC	+	+	+	+	+	+		+
Alertar									
1	baliza	+	+	+	+	+	-	Se prefiere la columna luminosa	-
2	botón iluminado.	+	+	+	+	+	+		+
3	columna luminosa	+	+	+	+	+	+		+
4	música	+	+	+	+	+	-	Culturalmente no representa alerta	-
5	sirena	+	+	+	+	+	+		+
6	strober	+	+	-				La luz emitida no es adecuada para el ambiente	-
7	timbre	+	+	+	+	+	-	Se prefiere la sirena	-
Prevenir									
1	cortina de luz	+	+	+	+	+	-	La puerta es más sencilla y menos costosa	-
2	puerta + sensor	+	+	+	+	+	+		+
3	encerrar	+	+	-				También se puede encerrar con una puerta y es más flexible	-

6.6.3. Matriz morfológica reducida con combinaciones

Ya depurados los portadores, y debido a las muchas combinaciones posibles, éstos se combinan bajo criterio propio para crear alternativas de solución final (ver Tabla 4).

Tabla 4 – Matriz morfológica reducida con combinaciones de alternativas

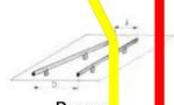
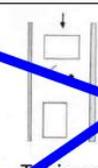
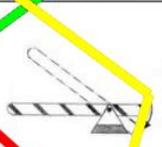
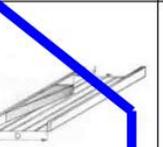
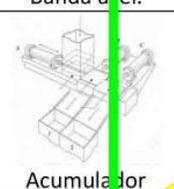
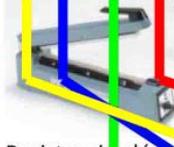
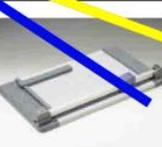
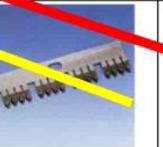
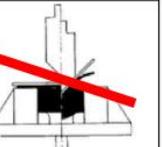
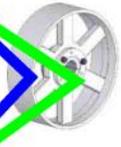
	1	2	3	4
Transportar entrada	 Banda			
Orientar	 Barra	 Canales	 Tabique	
Sensar bolsa	 Peso	 Proximidad		
Regular Paso	 Banda a el.	 Barra	 Cuña	
Almacenar	 Acumulador	 Caída actual.	 Revólver	
Sensar Temperatura	 Termocuola			
Sellar	 Resistencia eléc.			
Cortar	 Cuchilla	 Rodillo	 Sierra	 Troquel

Tabla 4 – (Continuación)

	1	2	3	4
Transportar salida	 Bandas	 Rodillos		
Reemplazar bobina	 Mano			
Alimentar película	 Bandas	 Rodillo		
Formar	 Cuellos			
Controlar	 Computador	 PLC		
Alertar	 Botón ilumin.	 Columna lumi.	 Sirena	
Prevenir	 Puerta+sensor			



6.7. EVALUACIÓN DE PRINCIPIOS DE SOLUCIÓN

6.7.1. Determinación de alternativas

La combinación de portadores físicos consiste en identificar nuevas alternativas de solución para la función principal. Si estas alternativas se realizaran con todas las posibles combinaciones, generalmente resultaría una gran cantidad. Por motivos de practicidad y espacio, sólo se conformaron 4 alternativas que bajo los criterios de los diseñadores eran las más promisorias. Posterior a la identificación de las alternativas se realiza la evaluación de ellas para determinar la que mejor se acomode al caso de estudio (ver Tabla 4).

6.7.2. Calificación

La evaluación de las alternativas sirve para encontrar la que probablemente se desempeñe mejor realizando la función principal. Esta evaluación consiste en identificar parámetros de calificación que están directamente relacionados con el PDS y con los que los diseñadores establezcan de manera que el diseño se pueda completar en la construcción. Los criterios de evaluación tienen asociados a ellos un porcentaje o peso de relevancia que se determinó a partir de un árbol de objetivos previamente analizado y así la alternativa que mejor cumpla con los objetivos tendrá un mayor peso. La siguiente tabla muestra el árbol de objetivos (ver Figura 15), la puntuación o valoración posible (ver Tabla 5) y la evaluación con los resultados obtenidos por cada una de las alternativas (ver Tabla 6).

Figura 21 – Árbol de objetivos

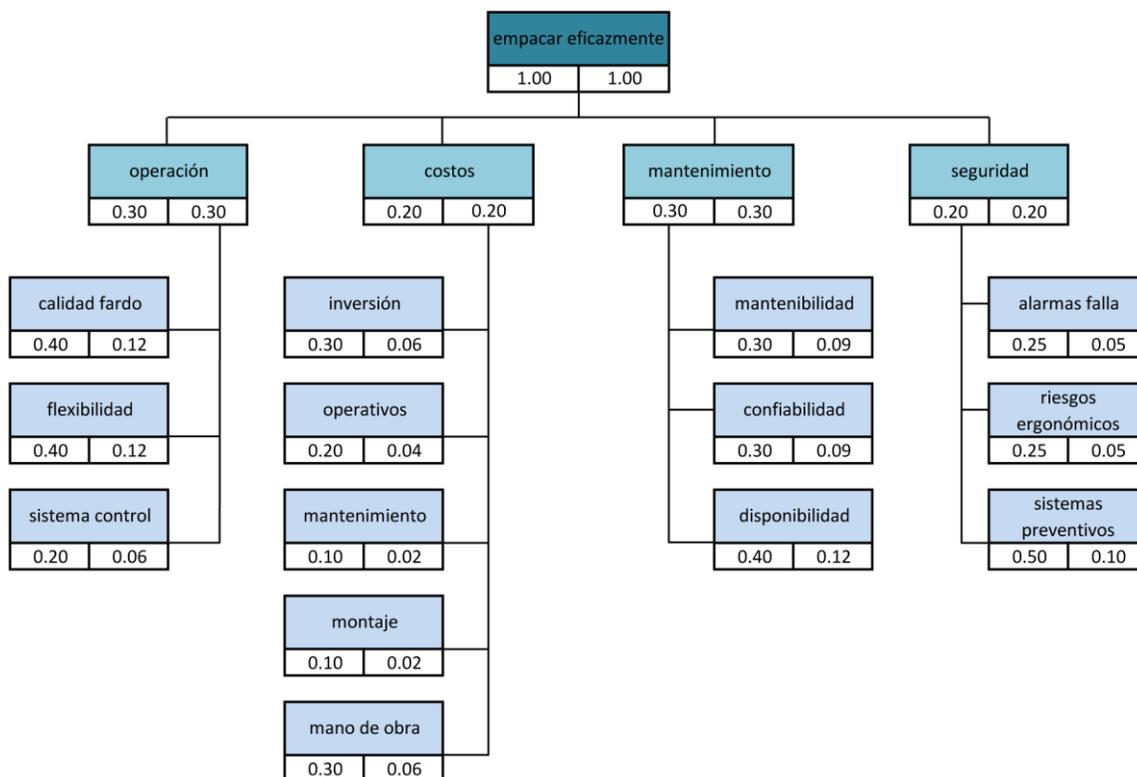


Tabla 5 – Valoración obtenida

Insatisfactorio	0.00
apenas tolerable	0.25
adecuado	0.50
bueno	0.75
ideal	1.00

Tabla 6 – Evaluación de alternativas

Criterio	Peso	Alternativa 1			Alternativa 2		
		Magnitud	Valor	Peso	Magnitud	Valor	Peso
Costos inversión	6%	medio	0.5	0.03	alto	0.25	0.015
Costos mano de obra	6%	bajo	1	0.06	bajo	1	0.06
Costos mantenimiento	2%	moderado	0.75	0.015	alto	0.25	0.005
Costos montaje	2%	bajo	1	0.02	alto	0.5	0.01
Costos operación	4%	bajo	1	0.04	alto	0.25	0.01
Confiabilidad	9%	alta	1	0.09	baja	0.5	0.045
Disponibilidad	12%	alta	1	0.12	alta	1	0.12
Mantenibilidad	9%	alta	1	0.09	baja	0.25	0.0225
Calidad fardo	12%	alta	1	0.12	media	0.75	0.09
Flexibilidad	12%	Sirve para hacer agarraderas	1	0.12	moderada	0.5	0.06
Sistema de control	6%	más confiable y flexible	1	0.06		0.5	0.03
Alarmas para fallos	5%		1	0.05		1	0.05
Riesgos ergonómicos	5%		0.75	0.0375		1	0.05
Sistemas preventivos	10%		1	0.1		1	0.1
				95%			67%

Criterio	Peso	Alternativa 3			Alternativa 4		
		Magnitud	Valor	Peso	Magnitud	Valor	Peso
Costos inversión	6%	moderado	0.75	0.045	bajo	1	0.06
Costos mano de obra	6%	bajo	1	0.06	bajo	1	0.06
Costos mantenimiento	2%	bajo	1	0.02	moderado	0.75	0.015
Costos montaje	2%	alto	0.5	0.01	moderado	0.75	0.015
Costos operación	4%	moderado	0.75	0.03	alto	0.5	0.02
Confiabilidad	9%	moderado	0.75	0.0675	moderado	0.75	0.0675
Disponibilidad	12%	alta	1	0.12	alta	1	0.12
Mantenibilidad	9%	media	0.75	0.0675	baja	0.5	0.045
Calidad fardo	12%	media	0.75	0.09	baja	0.25	0.03
Flexibilidad	12%	moderada	0.5	0.06	moderada	0.5	0.06
Sistema de control	6%	más confiable y flexible	1	0.06		0.5	0.03
Alarmas para fallos	5%		1	0.05		1	0.05
Riesgos ergonómicos	5%		0.75	0.0375		1	0.05
Sistemas preventivos	10%		1	0.1		1	0.1
				82%			72%

6.7.3. Principio de solución final

La alternativa que obtuvo una mejor calificación fue la número 1 (línea roja), así se continúa el proceso de diseño con esta alternativa. Aunque en la alternativa 1 se realiza la identificación de las bolsas por un sensor de peso, se decidió hacerlo con un sensor fotoeléctrico para simplificar el ejercicio.

Figura 22 – Evaluación de la Alternativa 1

	Criterio	Peso	Solución 1			Solución 2	
			Magnitud	Valor	Peso	Magnitud	Valor
Costos	Costos inversión	6%	medio	0.5	3%	alto	0.5
	Costos mano de obra	6%	bajo	1	6%	bajo	1
	Costos mantenimiento	2%	moderado	0.75	2%	alto	0.75
	Costos montaje	2%	bajo	1	2%	alto	1
	Costos operación	4%	bajo	1	4%	alto	1
Mantenimiento	Confiabilidad	9%	alta	1	9%	baja	1
	Disponibilidad	12%	alta	1	12%	alta	1
	Mantenibilidad	9%	alta	1	9%	baja	1
Operación	Calidad fardo	12%	alta	1	12%	media	1
	Flexibilidad	12%	Sirve para hacer agarraderas	1	12%	moderada	1
	Sistema de control	6%	más confiable y flexible	1	6%		
Seguridad	Alarmas para fallos	5%		1	5%		
	Riesgos ergonómicos	5%		0.75	4%		
	Sistemas preventivos	10%		1	10%		
TOTAL					95%		

Los costos de esta máquina son bajos en comparación con las otras alternativas debido a que son equipos de fácil consecución en el mercado y a la existencia de mano de obra calificada para su instalación. El mantenimiento en los equipos es reducido ya que no hay partes que estén sometidas a alto desgaste y la confiabilidad de los mismos es alta. La pieza que más se desgasta y que tendrá que ser remplazada periódicamente es la resistencia de sello, la cual pierde propiedades térmicas con las horas de funcionamiento.

Al ser partes que se encuentran en el mercado local, se contribuye a que la reparación y la puesta a punto de la máquina en caso de un paro se den en el menor tiempo posible.

El troquel cumple la función de cortar la agarradera y el fardo terminado. Esto hace que la calidad del fardo listo sea controlable. Este troquel puede ser remplazado por cualquiera que el usuario requiera.

El sistema de control de la máquina incorpora secuencias dedicadas a la seguridad del usuario y a la programación de producción por períodos extendidos.

7. CÁLCULOS Y SELECCIÓN DE PARTES

7.1. ESTRUCTURA

Ya que en la industria de alimentos es común que las máquinas sean sometidas a lavados con soda, jabón industrial, agua a altas temperaturas, vapor de agua y en algunos casos ácido nítrico, se usará acero inoxidable AISI 304 para la estructura (ver Anexo C). Se consideró también el acero inoxidable AISI 316, pero ya que las partes no están en contacto permanente con agentes corrosivos no se requieren sus propiedades. Un acero al carbono de la serie 10 o 40 con pintura exterior no sería pertinente para esta aplicación (Chancy, 2009).

7.2. BANDA TRANSPORTADORA Y ORIENTACIÓN DE LAS BOLSAS

7.2.1. Velocidad de empaquetamiento

La tasa de empaquetamiento de la máquina está dada por un requisito del PDS donde se especifica que la máquina debe empaquetar 1000 paquetes de 6 bolsas cada hora de funcionamiento continuo, así se calcularon las velocidades y tiempos que se requieren para que se puedan realizar las operaciones de empaquetamiento. Para determinarlos, se inició con los tiempos que no se pueden variar como son el tiempo de sellado y corte.

El tiempo de sellado de una película de polietileno varía entre 0.5 y 3 segundos, dependiendo del grosor de la película y la temperatura de la resistencia que lo sella. Se trabajó con un tiempo de sellado de 1.5 segundos. Así, se tiene que el tiempo total de sellado para los mil fardos es:

$$\begin{aligned}T_{\text{SelladoBolsa}} &= 1.5 \text{ s} \\T_{\text{SelladoTotal}} &= T_{\text{SelladoBolsa}} * 1000 \text{ Paquetes} \\T_{\text{SelladoTotal}} &= 1.5 \text{ s} * 1000 \text{ Paquetes} \\T_{\text{SelladoTotal}} &= 1500 \text{ s}\end{aligned}$$

Restan entonces 2100 s para suministrar las bolsas a los fardos. Esto da una tasa de almacenamiento por bolsa de:

$$\begin{aligned}Tasa_{\text{Almacenamiento}} &= \frac{\text{Total de bolsas}}{\text{Tienpo de almacenamiento}} \\Tasa_{\text{Almacenamiento}} &= \frac{6000 \text{ bolsas}}{2100 \text{ s}} \\Tasa_{\text{Almacenamiento}} &= 2.86 \text{ bolsas/s} \approx 0.35 \text{ s/bolsa}\end{aligned}$$

Como es posible realizar las dos tareas simultáneamente la tasa de almacenamiento cambia.

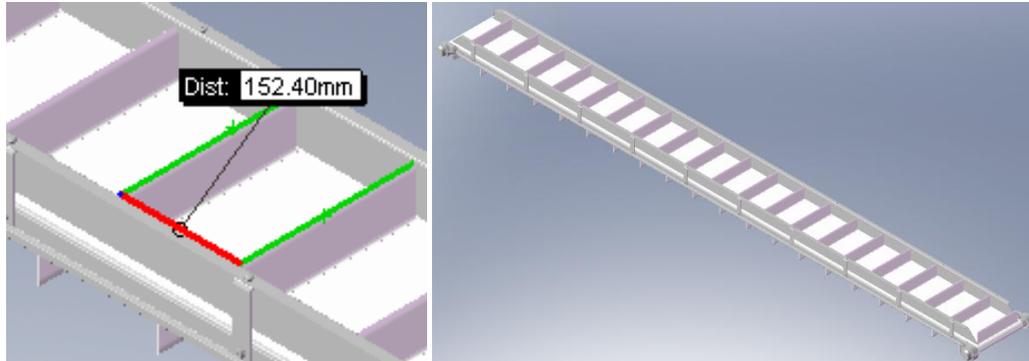
$$Tasa_{\text{Almacenamiento}} = \frac{6000 \text{ bolsas}}{3600 \text{ s}}$$

$$Tasa_{Almacenamiento} = 1.67 \text{ bolsas}/s$$

$$Tasa_{Almacenamiento} \approx 0.6^s/bolsa$$

Con el valor encontrado y las dimensiones de la banda se determinará la velocidad de la banda transportadora.

Figura 23 – Banda con paletas



La banda tiene paletas que evitan el deslizamiento de las bolsas. Están espaciadas cada 152.4mm y hay 20 separaciones (ver Figura 23). Son entonces aproximadamente 20 bolsas en 3m.

$$\frac{Tasa_{Almacenamiento}}{Bolsas \text{ en } m \text{ de Banda}} = V_{Banda}$$

$$\frac{1.67 \text{ bolsas}/s}{20 \text{ bolsas}/3m} = 0.25 \text{ m}/s$$

7.2.2. Orientación de las bolsas

Ya que la banda posee perfiles, su espaciamiento está seleccionado para garantizar que la bolsa llegue siempre en la misma orientación. Además, el tramo de caída dentro del cuello formador debe tener aproximadamente las dimensiones de la bolsa para que ella no gire.

7.2.3. Material

El material idóneo para el manejo de productos lácteos es el PVC (ver Anexo B). La banda posee un recubrimiento de 5mm en el lado superior y acabado mate. También presenta lados sellados para mayor higiene y facilidad de limpieza. Otras características se muestran en la Figura 24.

Figura 24 – Características de la banda

E 8/2 U0/V5 MT

Technical data, properties and recommendations	Article number	FDA-compliant	Antistatic	Belt edge sealing (ProSeal) possible	Top face finish	Total thickness approx. [mm]	Weight approx. [kg/m ²]	Effective pull at 1% elongation (k _{1%} relaxed) [N/mm width]*	d _{min} approx [mm]**	Permissible operating temperature [°C]
white	900028	●	●	●	0.5 mm PVC	2.2	2.5	8	40	-10 to +70
● Laterally stiff										
● Troughable										
● Suitable for curves										
● Suitable for knife edges										
● Good resistance to oil and grease										
● Incision resistant										
● Patterned surface										
● Good thermal conductivity										
● Good release properties										
● Plastic fasteners possible										
● Profiles on the top face possible										

(Forbo Siegling Belting, 2009)

7.2.4. Potencia del motor

Con una polea conductora de diámetro 0.1m (circunferencia .315m), la velocidad angular del motor deberá ser de 48RPM.

Para el cálculo de la banda se realizan los siguientes pasos (ver Anexo C):

- Hallar la Carga efectiva (F_U).

Se utilizará una banda con una lámina de apoyo y con un solo rodillo (el de la cola) por la parte inferior. Cada bolsa de leche pesa aproximadamente 1.1kg.

Si la banda tiene una altura de 1.2m y una longitud de 3m, la distancia horizontal que ocupa es de 2.75m. El ángulo de inclinación es de 22.3°.

$$F_U = \text{carga efectiva}[N]$$

$$\mu_T = \text{coeficiente fricción de placa}$$

$$\mu_R = \text{coeficiente fricción de rodillos}$$

$$m = \text{masa total de carga transportada}[kg]$$

$$m_B = \text{masa de la banda}[kg]$$

$m_R = \text{masa de los rodillos}[kg]$

$g = \text{gravedad}[m/s^2]$

$\alpha = \text{ángulo de inclinación}[^\circ]$

$$F_U = \mu_T \cdot g \left(m + \frac{m_B}{2} \right) + \mu_R \cdot g \left(m_R + \frac{m_B}{2} \right) + g \cdot m \cdot \sin\alpha$$

$$F_U = 0.33 \cdot 9.81 \cdot \left(22 + \frac{3.8}{2} \right) + 0.033 \cdot 9.81 \left(2 + \frac{3.8}{2} \right) + 9.81 \cdot 11 \cdot \sin 22.3^\circ$$

$$F_U = 159N$$

- Hallar la carga máxima de la banda (F_1).

$F_1 = \text{carga máxima de la banda}[N]$

$c_1 = \text{constante 1}$

$$F_1 = F_U \cdot c_1$$

$$F_1 = 159 \cdot 2.1$$

$$F_1 = 334 N$$

- Verificar tipo de banda (con constante c_2).

$b_0 = \text{ancho de la banda}[mm]$

$c_2 = \text{constante 2}$

$$\frac{F_1}{b_0} \leq c_2, c_2 = 15$$

$$\frac{F_1}{b_0} = \frac{334}{228} = 1.46$$

- Hallar diámetro mínimo de la Polea conductora (d_A).

$d_A = \text{diámetro mínimo polea conductora}[mm]$

$c_3 = \text{constante 3}$

$\beta = \text{arco de contacto}[^\circ]$

$$d_A = \frac{F_U \cdot c_3 \cdot 180}{b_0 \cdot \beta}$$

$$d_A = \frac{159 \cdot 80 \cdot 180}{228 \cdot 180} = 56 mm$$

- Hallar potencia en la polea conductora (P_A).

$$P_A = \text{potencia en la polea conductora}[kW]$$

$$v = \text{velocidad lineal de la banda}[m/s]$$

$$P_A = \frac{F_U \cdot v}{1000}$$

$$P_A = \frac{159 \cdot 0.25}{1000} = 0.04 \text{ kW}$$

- Hallar la potencia del motor (P_M).

$$P_M = \text{potencia del motor}[kW]$$

$$\eta = \text{eficiencia}[\%]$$

$$P_M = \frac{P_A}{\eta}$$

$$P_M = \frac{0.045}{0.88} \approx 0.05 \text{ kW}$$

Asumiendo un factor de seguridad de 2, la potencia del motor debería ser de

$$P_M = 0.1 \text{ kW}$$

$$P_M = 0.13 \text{ HP}$$

7.2.5. Motor

Se usa el catálogo de selección de motorreductores Siemens donde se enumeran las principales características para la selección del motor

- Tipo de máquina a conducir:
Banda transportadora
- Tiempo de operación diario [h]:
16 horas
- Potencia de entrada requerida [kW] o torque [Nm]:
0.1 kW
- Velocidad de salida del motorreductor [rpm]:
48rpm
- Voltaje de operación [V] y frecuencia [Hz]:
220 V y 60Hz

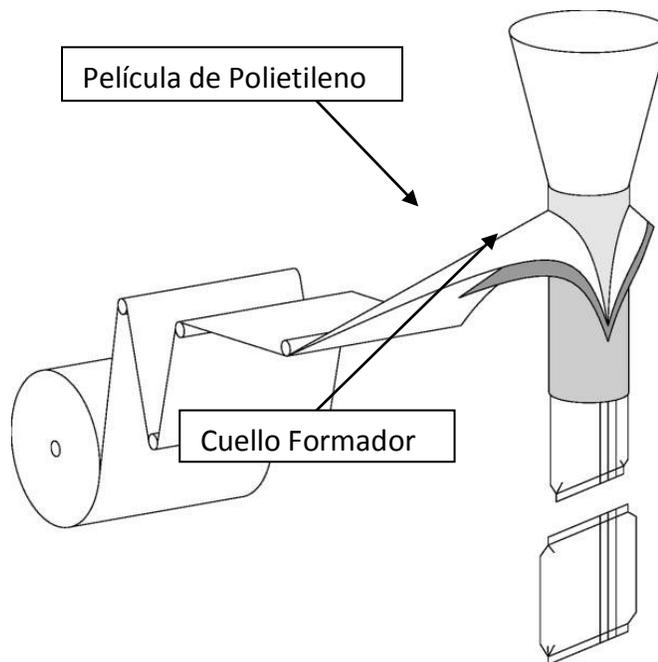
- Modo de operación, número de encendidos:
Continuo con carga constante, menos de 10 encendidos por hora
- Tipo de transmisión de potencia en el eje del reductor:
Acople
- Fuerza radial F_r [N] en el eje y Fuerza axial F_{ax} [N]:
 $F_r = 794$ N, $F_{ax} = 0$ N
- Temperatura del entorno [°C]:
25°C
- Torque requerido para frenar [Nm]:
 $T_{br} = 57$ Nm

7.3. SISTEMA DE LA BOBINA DE EMPAQUE

7.3.1. Cuello formador

La forma de la bolsa que utiliza la máquina de empaquetamiento vertical se realiza usando un aparato llamado Cuello Formador, en inglés *Forming Shoulder*, este aparato da la forma tubular a la película en la que se suministra el empaque (ver Figura 18).

Figura 25 – Esquema de Cuello Formador



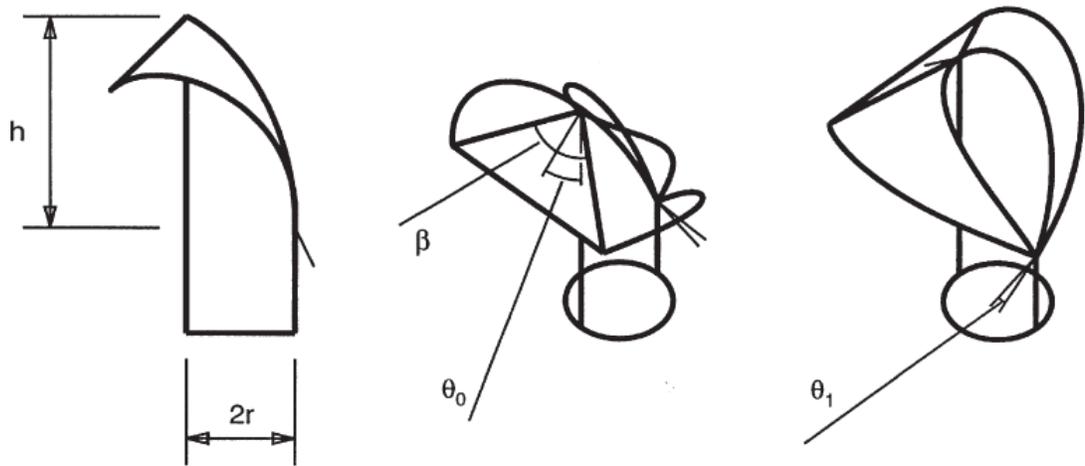
(Hicks, Mullineux, Matthews, & Medland, 2007)

La información que se obtuvo para el diseño del cuello formador es limitada ya que su fabricación se considera una artesanía, esta requiere de experiencia por parte del

fabricante y pruebas de ensayo y error para llegar a la forma que mejor se adapte a la máquina en que será instalado. Sin embargo, se logró obtener información publicada por la universidad de *Bath UK* en la que se hace un estudio de la modelación geométrica y la interacción con la máquina.

Las variables de dimensión más importantes del cuello formador están en la Figura 26.

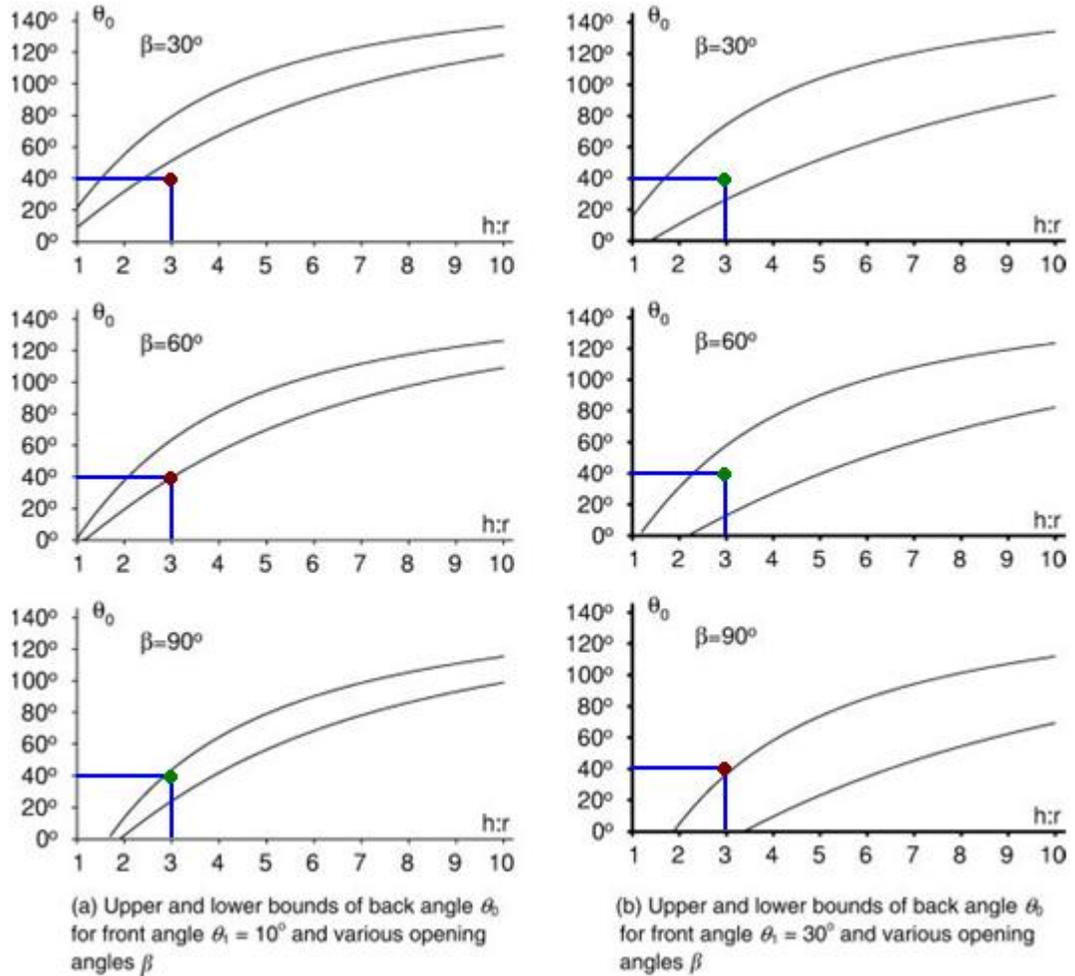
Figura 26 – Variables de diseño del cuello formador



(Hicks, Mullineux, Matthews, & Medland, 2007)

Los valores seleccionados fueron determinados a partir del análisis de las gráficas de relación del valor h/r , el ángulo θ_0 para variaciones de β y θ_1 (ver Figura 20).

Figura 27 – Relación h/r vs. θ_0



(McPherson, Mullineux, Berry, Hicks, & Medland, 2004)

El punto verde permite visualizar que la relación h/r y ángulo posterior pueden ser utilizados en conjunto si se toman unos valores predefinidos. Lo ideal es encontrar un ángulo y una relación en la que tenga mayor rango de trabajo para que se pueda reducir la precisión y así sea más fácil de manufacturar. También se tomó en cuenta que la velocidad de alimentación de la película de polietileno es alta y es necesario tener un ángulo de entrada del suministro menor a 90° para que así se incremente la adherencia al cuello y evitar que quede malformado. Un ángulo muy pequeño puede causar deformación permanente en la película.

Los valores finales del diseño seleccionados se encuentran en la

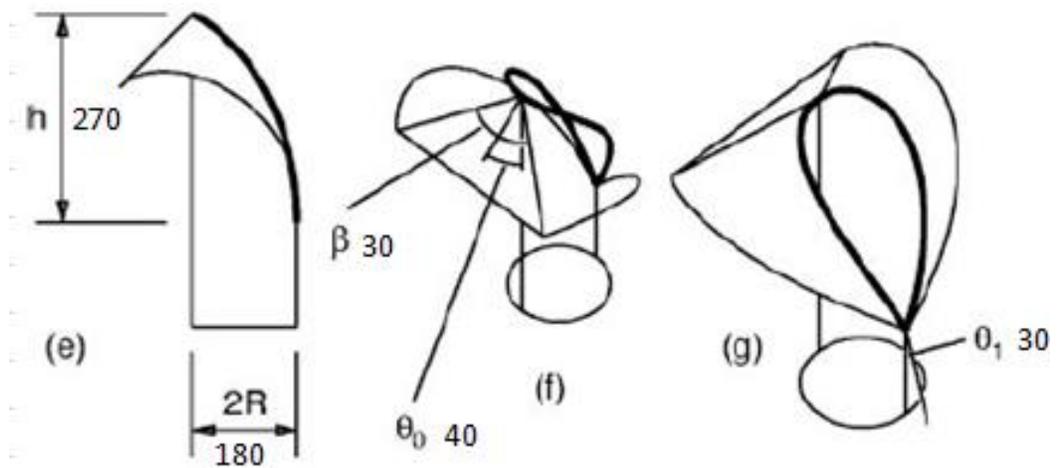
Tabla 7 y se representan a continuación en la

Figura 28.

Tabla 7 – Valores de variables de diseño

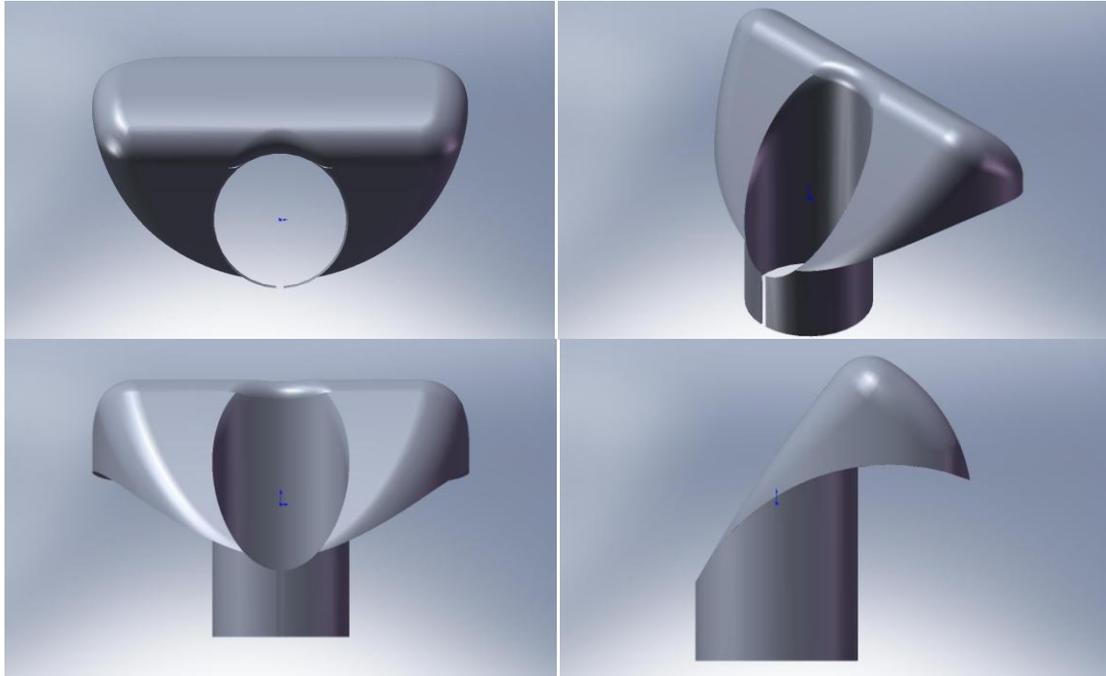
r	90
h	270
h/r	3
β	30
θ_0	40
θ_1	30
Atura Total	360

Figura 28 – Representación de los valores de variables de diseño



A partir de los valores seleccionados se realizó un modelo CAD aproximado que se representa a continuación en la Figura 29.

Figura 29 – Modelación aproximada del cuello determinado



7.3.2. Tensión de la película de polietileno

Para mantener la tensión de la película aproximadamente constante se usa un contrapeso que levantará los rodillos libres por los que pasa la película, produciendo así una tensión. Para los plásticos con límites de fluencia bajos - como los polietilenos - se recomienda que en ninguna parte de la máquina la tensión del film se mantenga por encima del 10% del límite de fluencia, esto con el objetivo de limitar la reducción permanente (deformación plástica) del ancho del plástico en los ciclos de tensión-aislamiento (Hawkins, 2002).

En el caso de los polietilenos de baja densidad, se tiene que el promedio del límite de fluencia es 11MPa (MATWEB, 2009). Si se tiene un calibre de 0.1mm (100µm) y sabiendo que la película a usar tiene un ancho de 590mm, se obtiene un área transversal A

$$A = 590mm \times 0.1mm$$

$$A = 59mm^2$$

El límite de fluencia promedio del polietileno es

$$11MPa = 11 \frac{N}{mm^2}$$

Entonces la fuerza máxima para alcanzar la fluencia es

$$F_{max} = 59 \times 11$$
$$F_{max} = 649N$$

Como se dijo anteriormente, la fuerza debe ser menor o igual al 10% de la fuerza máxima

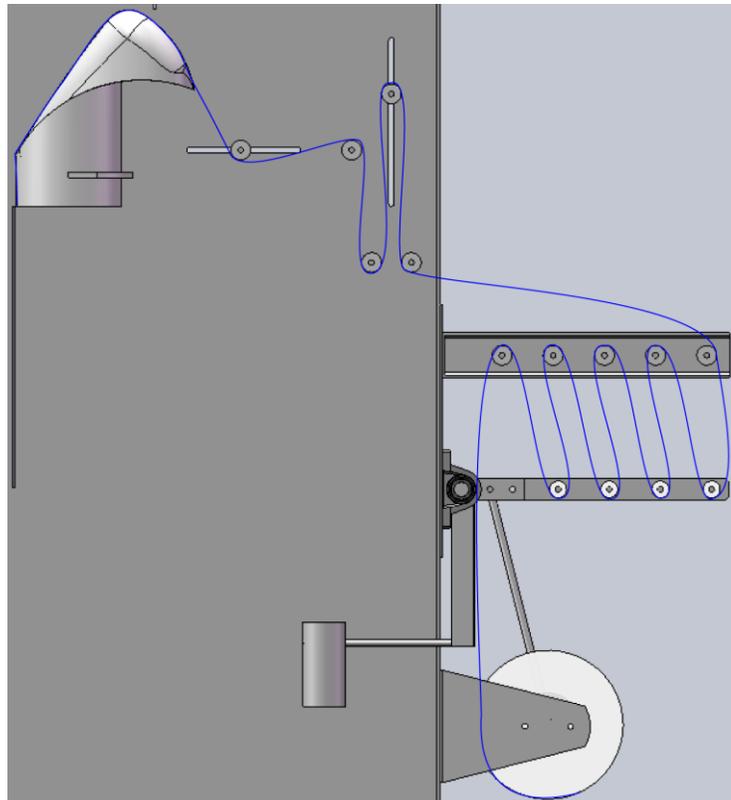
$$F \leq 65N$$

La película pasa por una serie de rodillos que hacen parte del sistema de tensión y se sabe que la tensión máxima se encuentra cerca del cuello formador, ya que la acumulación de la fricción de los rodillos es máxima en este punto (ver Figura 30). Por esto, y por la fuerza hallada anteriormente se tiene que la fuerza máxima de 65N es cerca del cuello formador.

Asumiendo una eficiencia del 99% de los rodillos por los que pasa la película y con $n = 13$ rodillos, la tensión después del último rodillo, que corresponde a la bobina también, es aproximadamente

$$F_{bobina} = 0.99^{13} \times 65N$$
$$F_{bobina} = 57N$$

Figura 30 – Ilustración del recorrido de la película por los rodillos



Con esta fuerza y teniendo el radio de la bobina se puede entonces hallar el torque ejercido y que hará desenrollar la bobina.

$$T = 57N \times 13.25cm$$
$$T = 7.55Nm$$

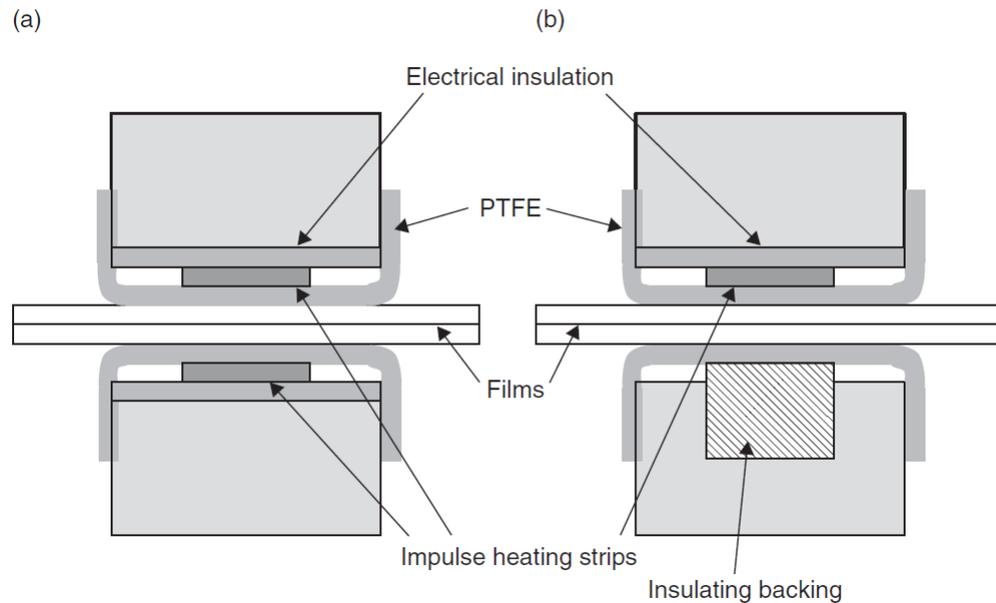
Este es entonces el torque con la fuerza máxima permitida para que el material no se deforme plásticamente durante los ciclos de arranque y paro.

7.4. SISTEMA DE SELLADO Y CORTE

7.4.1. Sellado por calor

El sellado por calor es usado para unir películas termoplásticas, típicamente de menos de 0.5mm de grosor. Existen dos tipos principales de sellado por calor: soldadura por barra caliente o soldadura por impulso.

Figura 31 – Esquema con elementos del sellado por calor



(Troughton, 2008)

Los selladores por impulso estándar sueldan películas de hasta 250 μm (0,01 pulgadas) sin dificultades; existen máquinas de doble elemento para sellados repetitivos de calibre pesado y materiales con fuelles laterales (ver Figura 31 – Esquema con elementos del sellado por calor). Los selladores de calor por impulsos usan resistencias de

alambre de níquel-cromo de voltajes bajos que se calientan rápidamente a la temperatura deseada. Posteriormente, el elemento se enfría, permitiendo que el polímero fundido pueda solidificar bajo presión. Normalmente, los selladores de impulso son equipados con temporizadores electrónicos para controlar con precisión el período de soldadura. La mayoría de los selladores de calor también incluyen un temporizador que indica el período de enfriamiento, ayudando a controlar la calidad y la consistencia de los sellos. Otros parámetros son a menudo pre-programados en la máquina, lo que facilita su uso. Muchos modelos disponen de cuchillas para recortar el material sobrante o para hacer bolsas (Troughton, 2008).

Las capas de película a ser selladas se colocan generalmente entre dos mandíbulas, al menos una de las cuales contiene una resistencia eléctrica de níquel-cromo en forma de banda. La resistencia es normalmente encapsulada con una capa de material antiadherente como el PTFE para asegurar que la película fundida no se adhiera. El ancho de la resistencia determina el ancho de la soldadura. La resistencia se ubica en una prensa que puede ser controlada neumática o hidráulicamente.

Parámetros de soldadura:

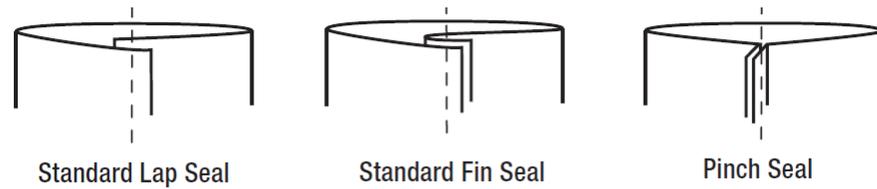
Los dos principales parámetros para el sellado por calor son tiempo y temperatura. Sin embargo, para asegurar una producción consistente de sellos de calidad, otros parámetros también deben ser controlados, incluyendo:

- Geometría de la mandíbula o placa
- Control de temperatura
- Presión de sellado
- Precalentado

Los materiales usados en este tipo de aplicaciones por lo general comprenden los polietilenos LDPE, LLDPE o combinaciones entre ellos. En estos casos la temperatura de soldadura usualmente varía entre 100°C y 180°C, dependiendo del tiempo que se ejerza presión, del grosor de la película y de la resistencia requerida del sello (Massey, 2004).

El tipo de bolsa a formar es un factor que afecta el grosor de la película, debido a que se pueden presentar capas adicionales para sellar (ver Figura 32).

Figura 32 – Tipos de sellos



(Formers of Houston, 2009)

7.4.2. Sistema de corte

El sistema de corte usa un par de actuadores neumáticos para presionar una cuchilla dentada de acero inoxidable contra la película de polietileno y así separar los fardos ya listos (ver Figura 33).

Figura 33 – Cuchilla dentada



(Specialty Blades Inc., 2009)

Para este proceso es primordial conocer la composición del polímero a cortar. Es deseable que el material sea fácil de cortar y no se elongue, pero debido a que el plástico también debe ser sellado, y a su vez, de este proceso se desean características como buena resistencia del sello, baja temperatura de iniciación del sello y menores tiempos de sellado, muchas veces los aditivos y copolímeros usados para unas propiedades tienen efectos contrarios en las otras. Estos aditivos son llamados promotores de sellado y entre ellos se encuentran los metalocenos, los octenos lineales, los ionómeros y también los copolímeros como el EVA y los acrílicos de etileno (Estrada Ramírez, 2009).

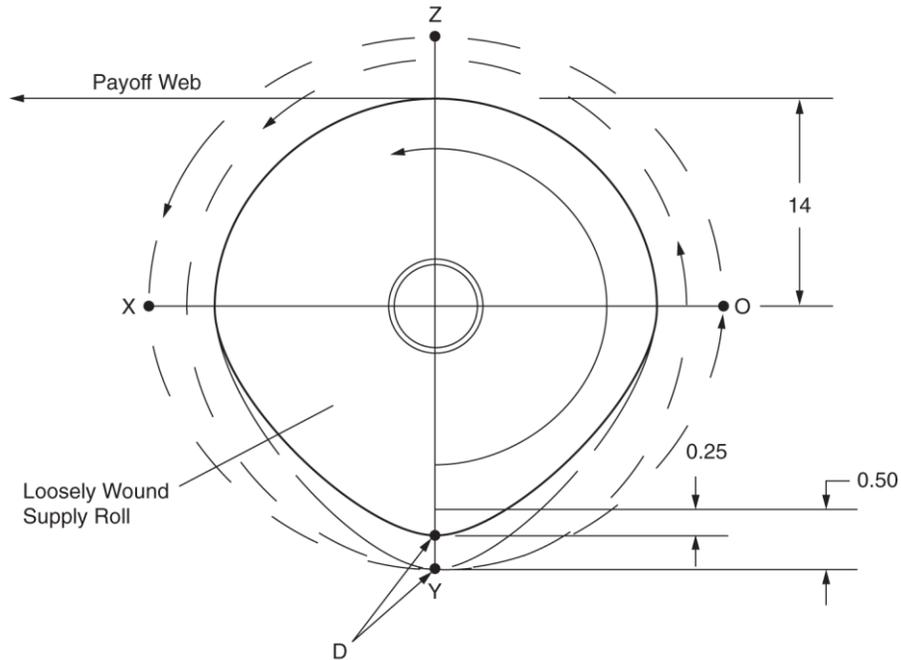
7.5. SISTEMA DE ARRASTRE Y FRENO

7.5.1. Motor de arrastre para la película de empaque

Una bobina de polietileno de baja densidad (LDPE) de 25kg de masa, enrollada alrededor de un cilindro de 5cm de diámetro, aproximadamente tiene 26.5cm de diámetro. La película se debe desenrollar a una velocidad lineal de 0.22m/s.

En la Figura 34 se muestra una representación de una bobina regular con sus puntos y su comportamiento:

Figura 34 – Representación de la bobina de empaque



(Hawkins, 2002)

La velocidad angular más lenta se da cuando la máxima caída del rollo está alineada con el punto Z a 90° del punto O.

La longitud del plástico en el arco descrito entre O y X se da por

$$\begin{aligned} S_{OX} &= r\theta \\ S_{OX} &= 13.25\text{cm} \times \pi \\ S_{OX} &= 41.63\text{cm} \end{aligned}$$

La longitud del plástico en el arco descrito entre X y Y se da por

$$S_{XO} = 2 \times \left(\frac{(r_x + r_y)}{2} \times \frac{\pi}{2} \right)$$

Sabiendo que el tamaño del rollo es relativamente pequeño según lo leído, se supuso una caída del rollo de 12mm

$$S_{XO} = 2 \times \left(\frac{(13.25 + 14.45)}{2} \times \frac{\pi}{2} \right)$$

$$S_{XO} = 43.51 \text{ cm}$$

$$S_{XY} = S_{YO} = 21.76 \text{ cm}$$

La velocidad lineal V en cm/s es

$$V = \frac{0.22 \text{ m}}{\text{s}} \times \frac{1000 \text{ cm}}{1 \text{ m}}$$

$$V = 22 \text{ cm/s}$$

La velocidad angular ω_{OX} del rollo cuando el punto D viaja desde X hasta O es

$$\omega_{OX} = \frac{22 \text{ cm/s}}{13.25 \text{ cm}}$$

$$\omega_{OX} = 1.68 \text{ rad/s}$$

La velocidad angular ω_{OZ} cuando el punto D viaja desde O hasta Z es

$$\omega_{prom.OZ} = \frac{\omega_O + \omega_Z}{2}$$

$$\omega_{prom.OZ} = \frac{1.68 + 1.54}{2}$$

$$\omega_{prom.OZ} = 1.60 \text{ rad/s}$$

El tiempo t_{XO} para que el punto D viaje desde X hasta O es

$$t_{XO} = \frac{41.63}{13.25 \times 1.68}$$

$$t_{XO} = 1.87 \text{ s}$$

El tiempo t_{OZ} para que el punto D viaje desde O hasta Z es

$$t_{OZ} = \frac{21.76}{14.45 \times 1.54}$$

$$t_{OZ} = 0.98 \text{ s}$$

La aceleración α_{OZ} de la bobina cuando el punto D viaja desde O hasta Z es

$$\alpha_{OZ} = 2 \times \frac{\omega_{prom.OZ} - \omega_O}{t_{OZ}}$$

$$\alpha_{OZ} = 2 \times \frac{1.54 - 1.68}{0.98}$$

$$\alpha_{OZ} = 0.16 \text{ rad/s}^2$$

La inercia rotacional I_c de la bobina es

$$I_c = \frac{m}{2} \times (r_1^2 + r_2^2)$$

$$I_c = \frac{25}{2} \times (5^2 + 26.5^2)$$

$$I_c = 9090.6 \text{ kg} \cdot \text{cm}^2$$

El torque promedio T requerido para acelerar el rollo cuando el punto D viaja desde O hasta Z es

$$T = I_c \times \alpha_{OZ}$$

$$T = 9090.6 \times 0.16$$

$$T = 1454.5 \text{ kg} \cdot \text{cm}^2 / \text{s}^2$$

$$T \approx 0.15 \text{ Nm}$$

Comparando este torque con el ejercido por la fuerza máxima en la bobina, se ve que el primero es menor y por lo tanto, es posible mover el rollo sin deformar la película.

Las RPM promedio RPM_{prom} de la bobina son

$$RPM_{prom} = \frac{V}{S_{OX} + S_{XO}} \times 60$$

$$RPM_{prom} = \frac{22}{41.63 + 43.51} \times 60$$

$$RPM_{prom} = 15.5 \text{ RPM}$$

La potencia P necesaria para acelerar la bobina de plástico es

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

$$P = \frac{0.15 \times 15.5}{9550}$$

$$P = 0.24 \text{ W}$$

Ahora, los dos motores de arrastre de película deben soportar por algún tiempo el peso del empaque con seis bolsas individuales durante el sellado. En el peor de los casos, descartando la tensión ejercida por la tensión de la película, se tiene entonces $m = 6.6 \text{ kg}$

$$m_{fardo} = 6.6 \text{ kg}$$

$$w_{fardo} = m_{fardo} \times g$$

$$w_{fardo} = 64.7 \text{ N}$$

Si el motor transmite potencia a una polea de $r = 5 \text{ cm}$

$$M = 64.7N \times 0.05m$$
$$M = 3.23Nm$$

Ahora, asumiendo una velocidad de 25cm/s

$$\omega_{motor} = \frac{25cm}{s} \times \frac{60s}{1min} \times \frac{1rev}{2\pi \cdot 5cm}$$

$$\omega_{motor} = 48RPM$$

Entonces con la fórmula de potencia

$$P_{total} = M \times \omega_{motor} \times \frac{2\pi}{60000}$$
$$P_{total} = 0.015kW$$

Como son dos motores, la potencia de cada uno deberá ser al menos la mitad

$$P_{motor} = 0.007kW$$

Para estos motores es preferible usar una banda dentada de modo que ésta no resbale debido a la carga.

7.6. LISTA DE PARTES

A continuación se presenta en la Tabla 8 la lista de partes comerciales seleccionadas para este proyecto y precios en el mercado colombiano.

Tabla 8 – Lista de partes comerciales

ITEM	REFERENCIA	MATERIAL	CANT.	Precio Total
Actuador neumático	Festo CDC-40-50-A-P	Carcasa: Aluminio anodizado Vástago: Acero aleación fina	1	\$ 363,000
Actuador neumático	Festo CDC-40-300-A-P-A-R	Carcasa: Aluminio anodizado Vástago: Acero aleación fina	1	\$ 443,000
Actuador neumático	Festo DSEU-16-160-P-A	Carcasa: Aluminio anodizado Vástago: Acero aleación fina	4	\$ 648,000
Final de carrera	Festo		6	\$ 1,434,000
Unidad de mantenimiento (Lubricador, filtro y manómetro)	Festo		1	\$ 368,000
Electroválvula neumática	Festo 5/2 NC		4	\$ 1,384,000
Electroválvula neumática	Festo 4/2 NC		2	\$ 416,000
Motorreductor	Siemens 0.22kW @ 60Hz B.28-LA71C4 2KJ1500-7CC13-7V1		1	\$ 350,000
Motorreductor	Siemens 0.14kW @ 60Hz B.28-LA71B4 2KJ1500-7CB13-7Q1		2	\$ 600,000
Cuello Formador		Acero inoxidable AISI 304	1	\$ -
Estructura	Lamina de 3/16"	Acero inoxidable AISI 304	1	\$ 5,250,000
Cuchilla dentada	250mm x 20mm x 1.6mm	Acero inoxidable	1	\$ -
Resistencia	Ovelma 254mm x 2.5mm x 0.2mm	Níquel-cromo	2	\$ 41,040
Temporizador	Autonic análogo 6 segundos		2	\$ 210,000
Banda	Transilon E 8/2 U0/V5 MT	PVC	1	\$ -
Rodillo	Ø35mm x 810mm	Polipropileno	10	\$ 230,000
Rodillo	Ø35mm x 700mm	Polipropileno	4	\$ 80,000
PLC	Siemens S7-200		1	\$ 1,650,000
Software PLC	STEP7 Micro/win		1	\$ 1,412,775
Fuente de alimentación	Siemens 24DC		1	\$ 859,900
Variador de velocidad	Siemens Micromaster 420 1/2HP		2	\$ 1,894,000
Panel	Siemens SIMATIC TP-177B		1	\$ 2,900,000
Contactor	Sirius 3RT		4	\$ 672,000
Relé	Sirius 3RU		4	\$ 848,800
Rieles de instalación			3	\$ 633,300
Pulsadores	Legrand Osmoz head, mushroom head y handle		5	\$ 270,000
Sensor de contraste	SICK KT2R-2B3711		1	\$ 300,000
Sensor capacitivo	SICK CM30-25NPP-KC1		1	\$ 813,800
Sensor proximidad fotoeléctrico	SICK VT12T-2P410		1	\$ 420,000
Interruptor	OMRON SHL-D55		1	\$ 67,800
		TOTAL (+ IVA)		\$ 24,559,415

8. MODELACIÓN Y SIMULACIÓN

8.1. PROGRAMACIÓN Y SIMULACIÓN DEL CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE (PLC) EN AUTOMATION STUDIO

La máquina posee automatismos que la hacen productiva, confiable y rápida. Se utilizan actuadores neumáticos, válvulas, motores eléctricos, sensores y PLC para realizar las funciones deseadas.

La simulación se lleva a cabo por medio del software de simulación Automation Studio. Este software posee varios módulos de simulación para editar, simular, administrar y visualizar elementos como diagramas neumáticos, diagramas eléctricos y lenguajes tipo Ladder o Sequential Function Chart (SFC o Grafcet) para el PLC.

En los esquemas neumáticos se realizan las acciones anteriormente mencionadas, mediante una representación de acuerdo a una simbolización internacional de los actuadores, motores, válvulas, sensores, compresores, etc., pertinentes para la realización de la tarea. En los esquemas eléctricos se representan también, según una norma internacional, los interruptores, contactores, fuentes de poder, relés, etc.

En cuanto a los lenguajes de programación, éstos están diseñados para controlar, expresar o comunicar acciones y comportamientos. Entre ellos está el SFC, un lenguaje de programación usado para PLCs. Es uno de los cinco lenguajes definidos por la norma IEC 61131-3 y se aplica generalmente en procesos que se pueden dividir en pasos. En Automation Studio, el módulo SFC es una herramienta de edición y manipulación gráfica como también una herramienta de simulación.

Los principales componentes de un SFC son:

- Pasos con acciones asociadas
- Transiciones con condiciones lógicas asociadas
- Vínculos directos entre pasos y transiciones

8.1.1. Secuencia realizada por la máquina

A continuación se realiza una lista de la secuencia de pasos para llevar a cabo la función de la máquina. Los diferentes elementos mencionados se pueden encontrar en los esquemáticos en la Figura 35, Figura 36, Figura 37 y Figura 38:

- Primero, se debe presionar el botón SOLTAR_EMER_STOP para energizar el botón EMER_STOP. Luego se presiona el botón RESET para energizar el Relé principal MasterCR, sin este relé el PLC no enciende.
- Si la puerta no está cerrada, el interruptor PUERTA no dejará empezar la secuencia.

- El siguiente paso para poder empezar es pasar la película del empaque por el cuello formador manualmente, darle la forma de tubo y bajarla lo suficiente para poder hacer los primeros sellados activando los actuadores de sellado CILINDRO_A y CILINDRO_E manualmente.
- Si se desea empezar con la producción se presiona el botón START, se puede escoger entre modo automático o semiautomático con el interruptor de dos posiciones.
- Si hay material de empaque entonces el sensor NO_ROLLO dará la señal que permita seguir con el proceso.
- Después de esto, el sistema empieza a funcionar cuando se enciende el motor MOTOR_BANDA que mueve la banda transportadora.
- Las bolsas empiezan a subir y pasan por un sensor fotoeléctrico FOTOCELDA por medio del cual se cuenta el número de bolsas que han ingresado.
- Las bolsas caen por el túnel hacia el cuello formador y cuando se acumulen 6 de ellas, se activa la válvula que moviliza los CILINDROS_B. Este paso permite realizar un doblado lateral cerca del lugar de sellado y así darle la forma deseada al sello del fardo.
- Cuando los anteriores cilindros salen por completo, se activan las válvulas A y E, éstas a su vez movilizan los actuadores CILINDRO_A y CILINDRO_E para hacer los sellos de calor. Si el sensor capacitivo BOLSA_ATRAVESADA se activa entonces los cilindros no salen.
- Se encienden las resistencias RESISTENCIA_H y RESISTENCIA_V y se espera a que el temporizador programado termine.
- Después, se separa el fardo cortando la película al activar los actuadores neumáticos CILINDRO_C y CILINDRO_D.
- Se activa el motor MOTOR_ALIMENTAR con el que simultáneamente se bajan las bolsas empacadas y se arrastra la película para el nuevo fardo hasta que el sensor de contraste FOTOCENTRADO encuentra la marca de fotocentrado, con la que el motor se detiene.
- Se repite el proceso.

Figura 35 – Esquemático neumático

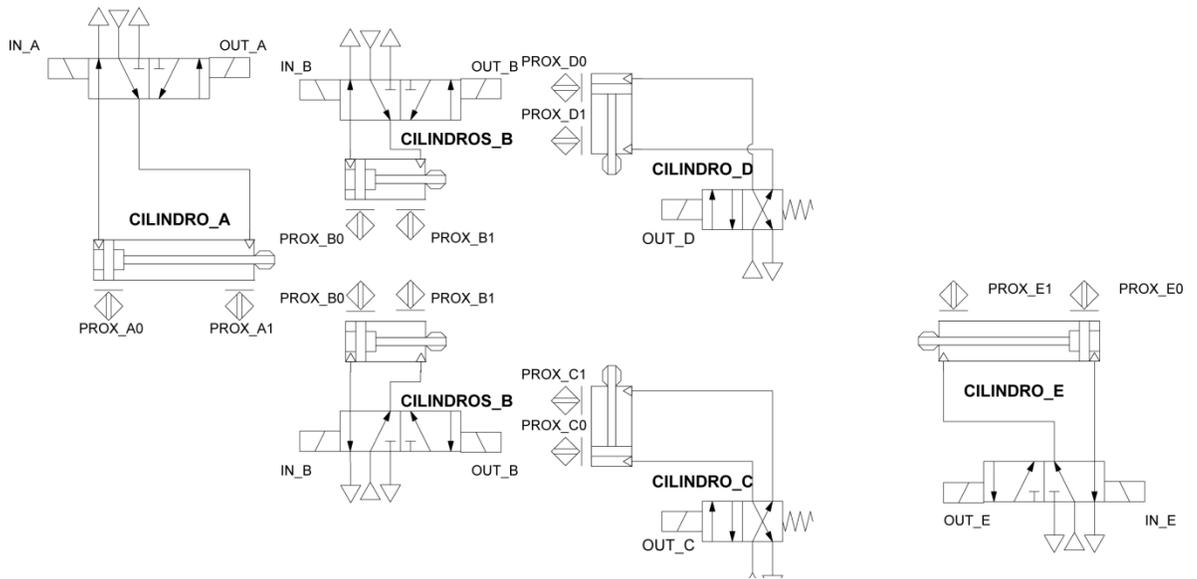


Figura 36 – Esquema eléctrico de motores y resistencias

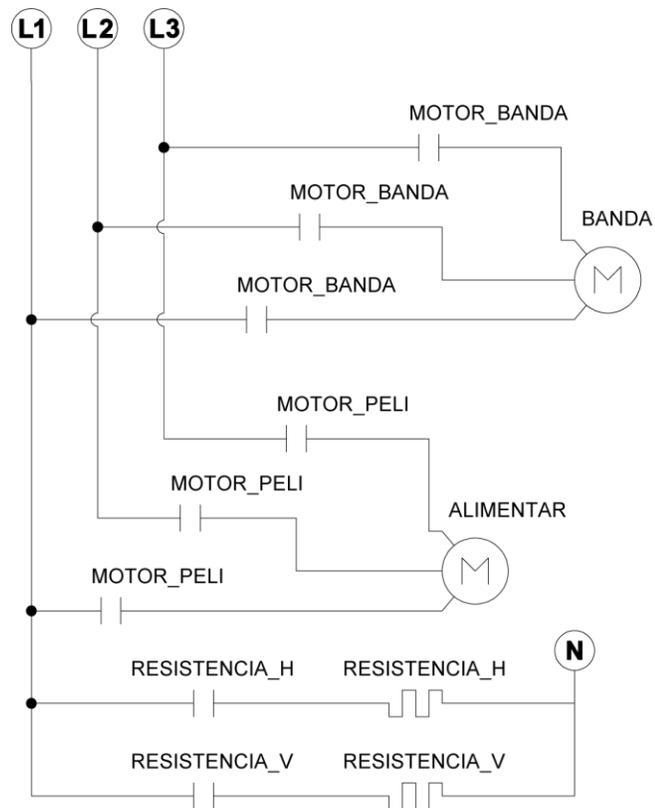


Figura 37 – Esquema eléctrico de comando

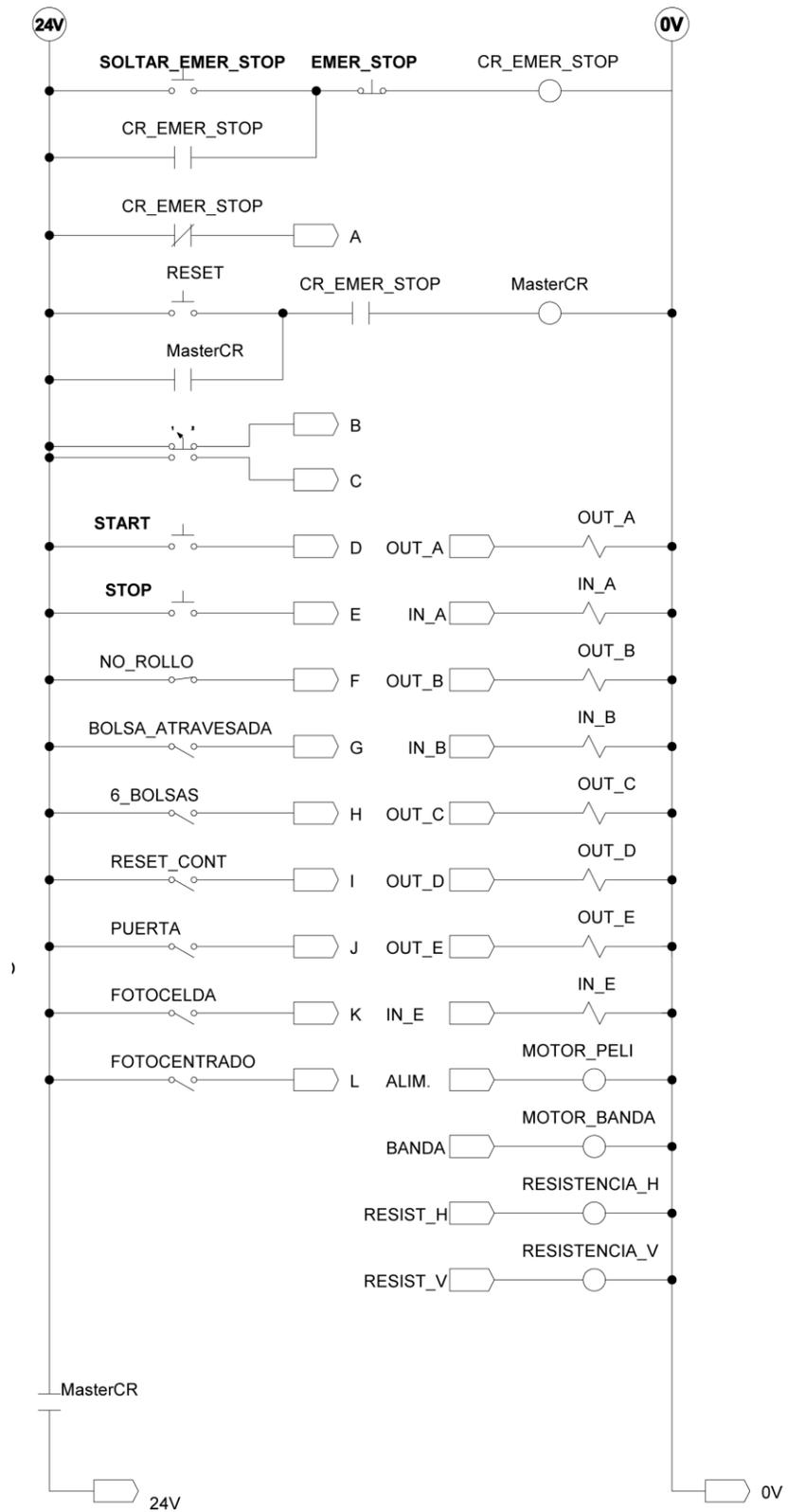
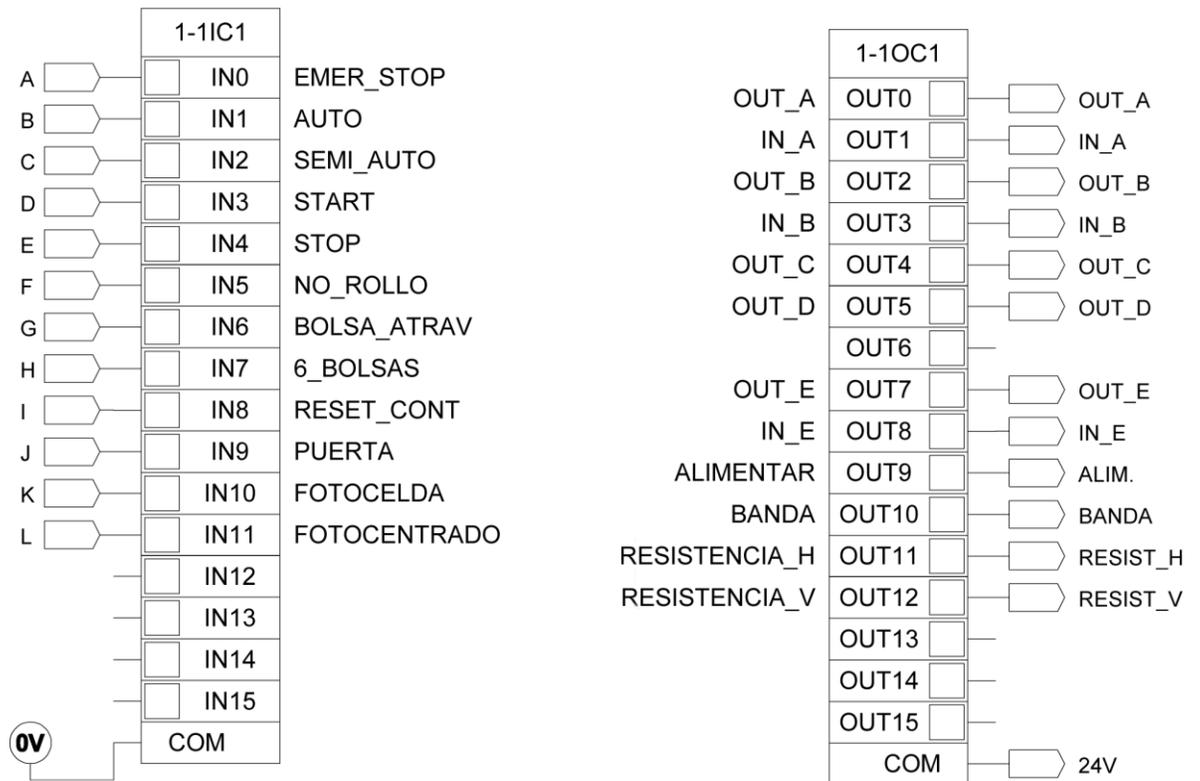


Figura 38 – Entradas y salidas del PLC



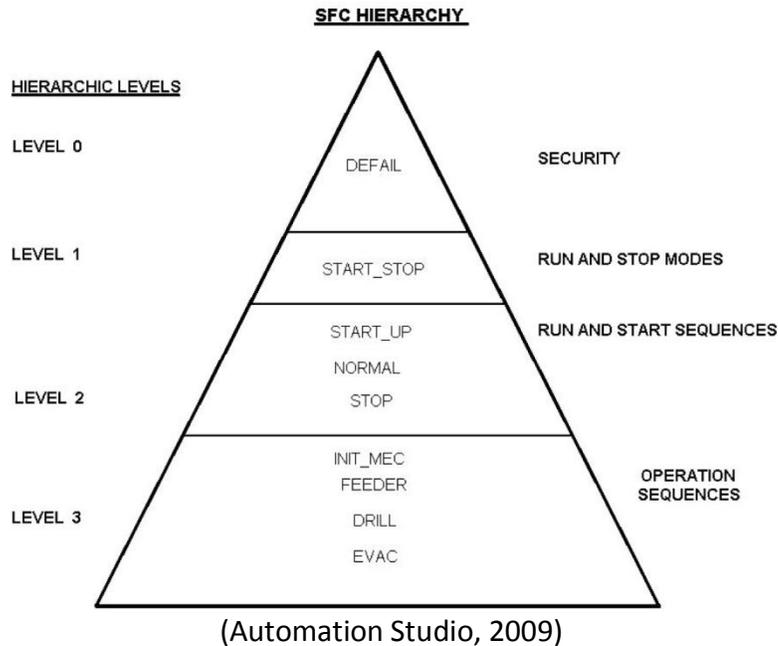
8.1.2. Programación por *Sequential Function Chart (SFC)*

Para este proyecto, se crea un programa mediante SFC que realice las operaciones incluidas dentro de la función principal de empaqueo.

Siguiendo la teoría de programación de SFC, se establece una jerarquía (ver Figura 39) entre las diferentes partes del programa de la siguiente manera:

- Nivel 0: Gestiona los aspectos respectivos a la seguridad como el manejo de fallos o paros de emergencia. En el caso de este proyecto este nivel se representa en el SFC1 (ver Figura 40).
- Nivel 1: Administra los modos de inicio o paro. En este proyecto este nivel se representa en el SFC2 (ver Figura 41).
- Nivel 2: Dispone las diferentes secuencias de inicio y operación. Este nivel se representa en los SFC START, STOP, CICLO (ver Figura 42, Figura 43 y Figura 44).
- Nivel 3: Conduce las secuencias de operación. En este nivel se representan los SFC CONTADOR, OPERACIONES y CONDICIONES (ver Figura 45, Figura 46 y Figura 47).

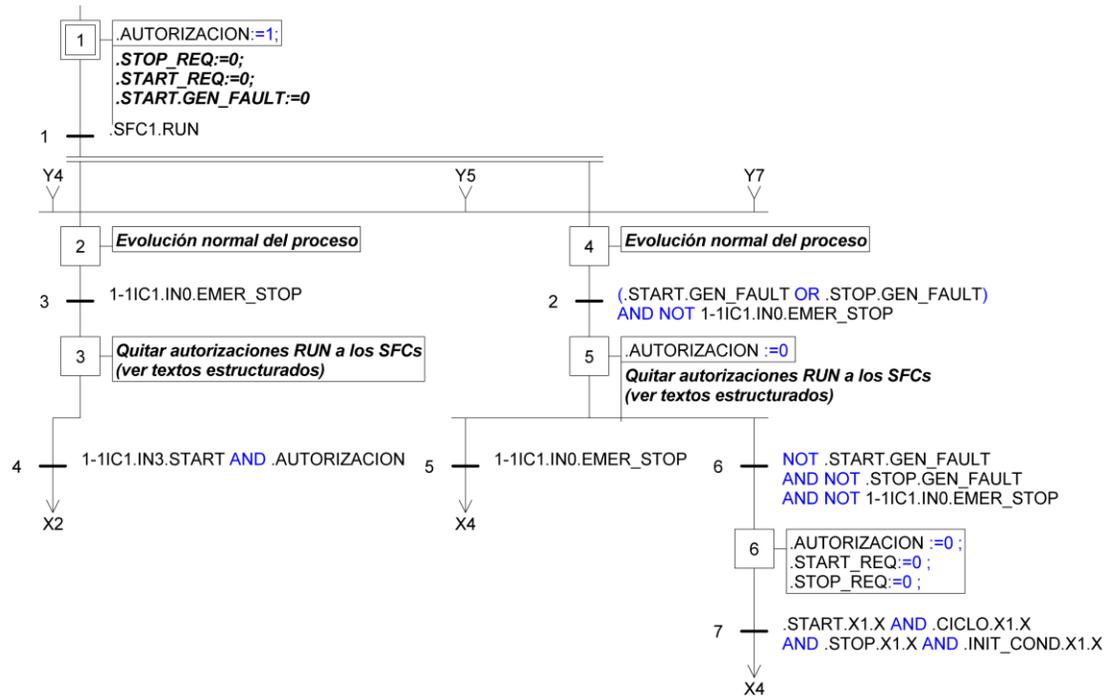
Figura 39 – Niveles jerárquicos en un SFC



A continuación se exponen los diferentes SFCs usados en la programación del PLC:

- SFC1: gerencia los paros de emergencia y los modos de fallo. Es además el SFC que inicializa a todos los demás y les permite o no su ejecución.

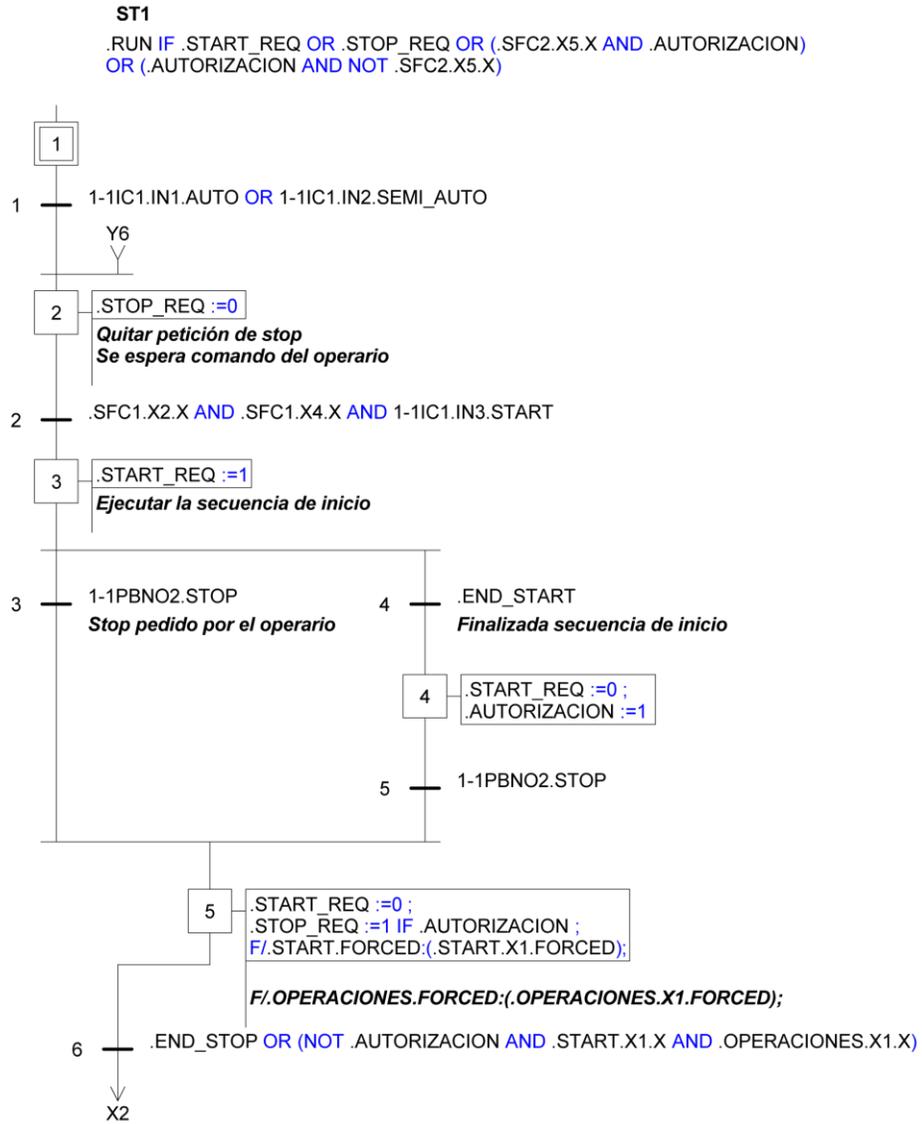
Figura 40 – SFC de fallos y paros de emergencia (SFC1)



- | | |
|---|---|
| <p>ST1
 <code>.SFC1.RUN IF NOT .FIRST_CYCLE_SIM</code></p> <p>ST2
 <code>.SFC2.RUN IF NOT .FIRST_CYCLE_SIM</code></p> <p>ST3
 <code>.START.RUN IF NOT .FIRST_CYCLE_SIM AND .SFC1.X2.X AND .SFC1.X4.X</code></p> <p>ST4
 <code>.CICLO.RUN IF NOT .FIRST_CYCLE_SIM AND .SFC1.X2.X AND .SFC1.X4.X</code></p> <p>ST5
 <code>.STOP.RUN IF NOT .FIRST_CYCLE_SIM AND .SFC1.X2.X AND .SFC1.X4.X</code></p> <p>ST6
 <code>.INIT_COND.RUN IF NOT .FIRST_CYCLE_SIM AND .SFC1.X2.X AND .SFC1.X4.X</code></p> <p>ST7
 <code>.OPERACIONES.RUN IF NOT .FIRST_CYCLE_SIM AND .SFC1.X2.X AND .SFC1.X4.X</code></p> <p>ST8
 <code>.CONTADOR.RUN IF NOT .FIRST_CYCLE_SIM AND .SFC1.X2.X AND .SFC1.X4.X</code></p> | <p>ST11
 <code>.SFC1.INIT IF .FIRST_CYCLE_SIM</code></p> <p>ST12
 <code>.SFC2.INIT IF .FIRST_CYCLE_SIM</code></p> <p>ST13
 <code>.START.INIT IF .FIRST_CYCLE_SIM OR .SFC1.X6.X</code></p> <p>ST14
 <code>.CICLO.INIT IF .FIRST_CYCLE_SIM OR .SFC1.X6.X</code></p> <p>ST15
 <code>.STOP.INIT IF .FIRST_CYCLE_SIM OR .SFC1.X6.X</code></p> <p>ST16
 <code>.INIT_COND.INIT IF .FIRST_CYCLE_SIM OR .SFC1.X6.X</code></p> <p>ST17
 <code>.OPERACIONES.INIT IF .FIRST_CYCLE_SIM OR .SFC1.X6.X</code></p> <p>ST18
 <code>.CONTADOR.INIT IF .FIRST_CYCLE_SIM OR .SFC1.X6.X</code></p> |
|---|---|

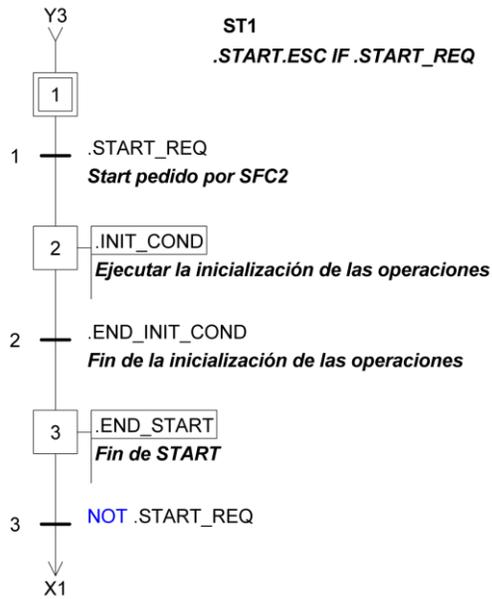
- SFC2: gerencia los modos de arranque o paro. Es el SFC que ejecuta los arranques y paros de la operación normal.

Figura 41 – SFC de arranques y paros en general (SFC2)



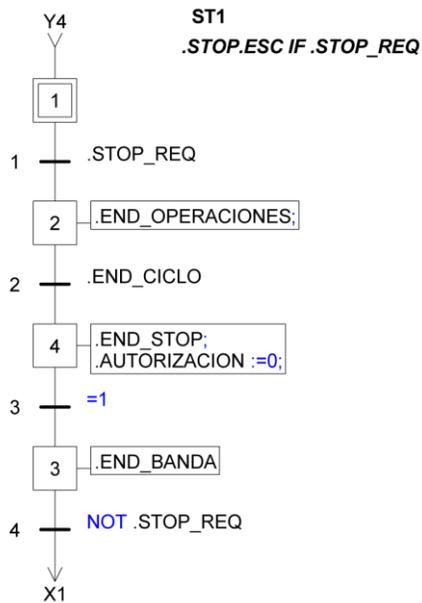
- **START:** Arranca la operación de la máquina y ejecuta las condiciones iniciales. La máquina actúa de forma automática después de cada ciclo.

Figura 42 – SFC para modo arranque (START)



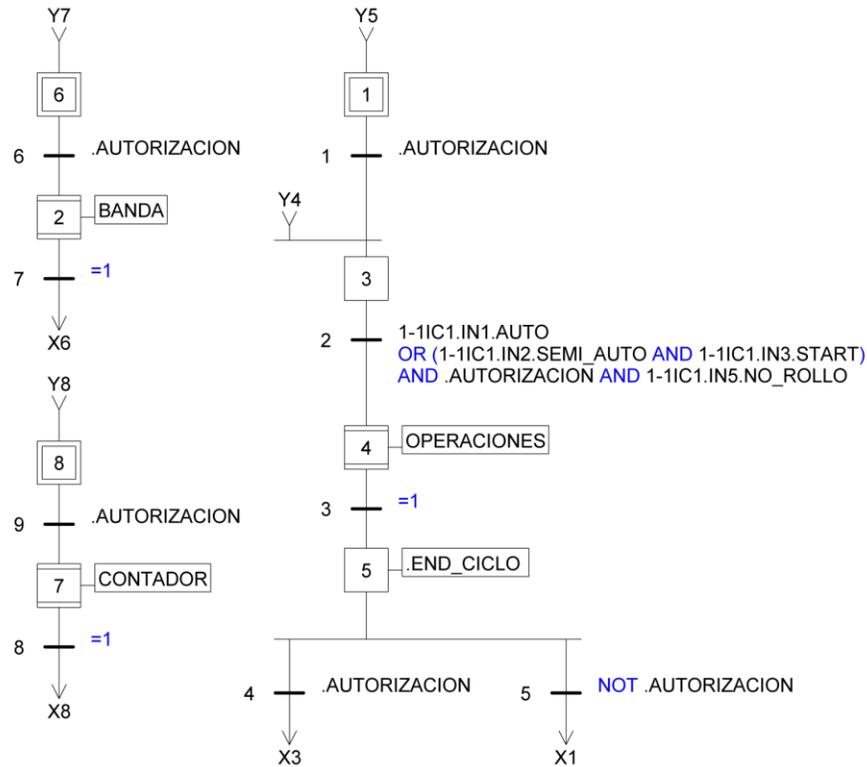
- **STOP:** Detiene la operación de la máquina luego de terminar un ciclo de operación.

Figura 43 – SFC para modo de paro al terminar ciclo (STOP)



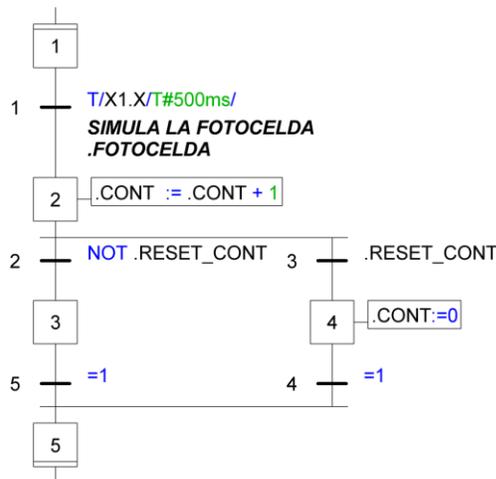
- CICLO: Se utiliza para un modo semiautomático, es decir, después de cada ciclo la máquina espera que el usuario dé orden de continuar.

Figura 44 – SFC para modo "un ciclo" (CICLO)



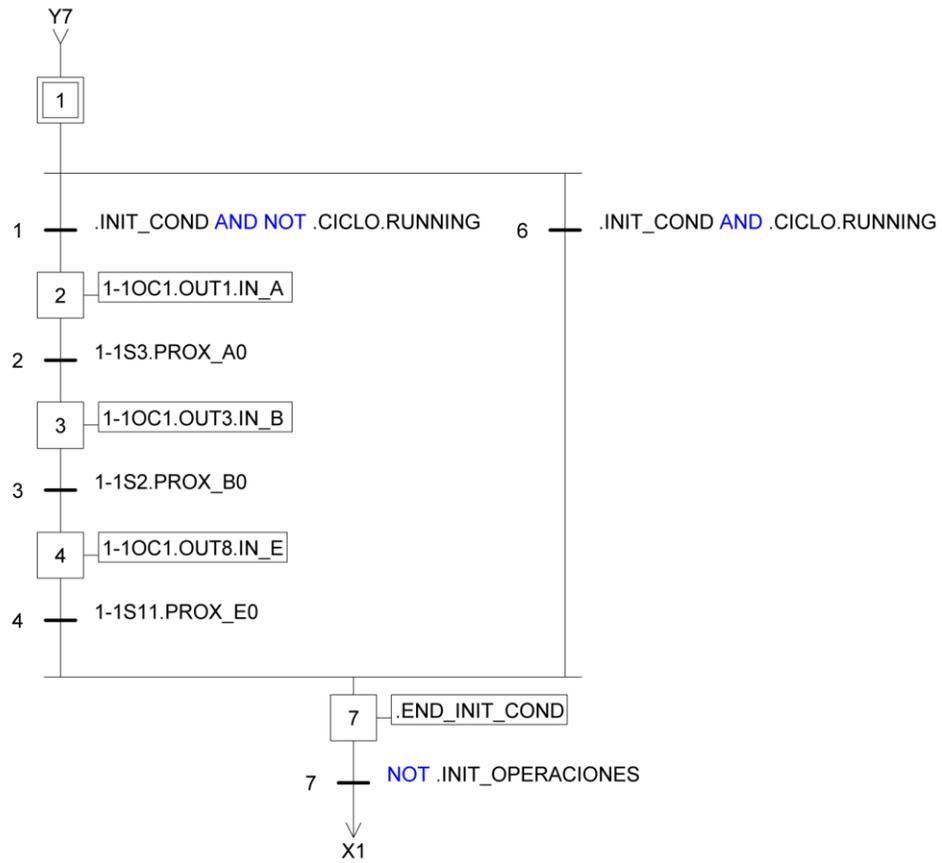
- CONTADOR: Se encarga de contar el número de bolsas que han pasado por la fotocelda.

Figura 45 – SFC para contador de paquetes (CONTADOR)



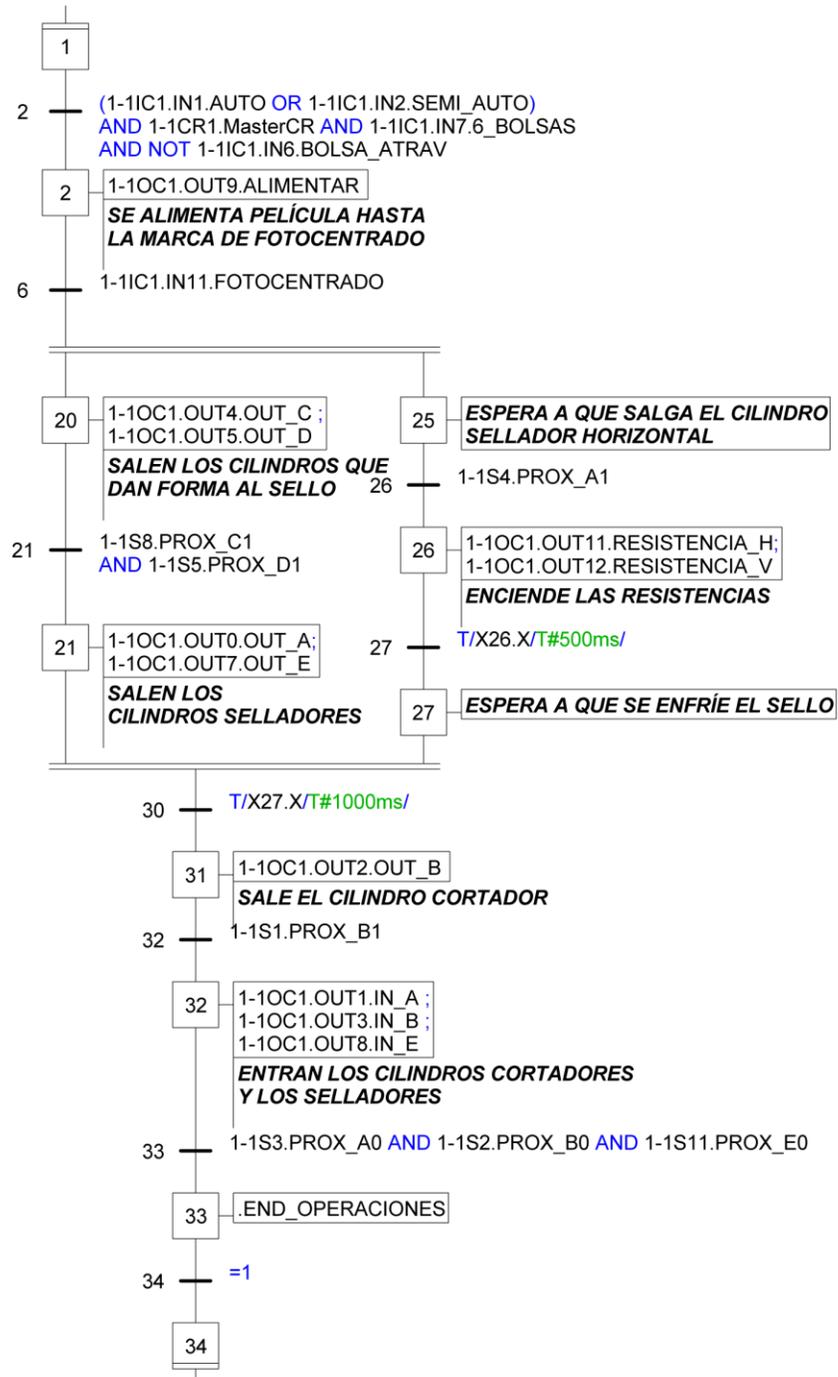
- **CONDICIONES:** establece las condiciones iniciales de los actuadores en caso de querer volver a ellas después de un paro de emergencia.

Figura 46 – SFC para condiciones iniciales (CONDICIONES)



- OPERACIONES: son las operaciones básicas de la máquina para realizar el proceso de empacado. Comprende el accionar de los actuadores, encender resistencias, etc.

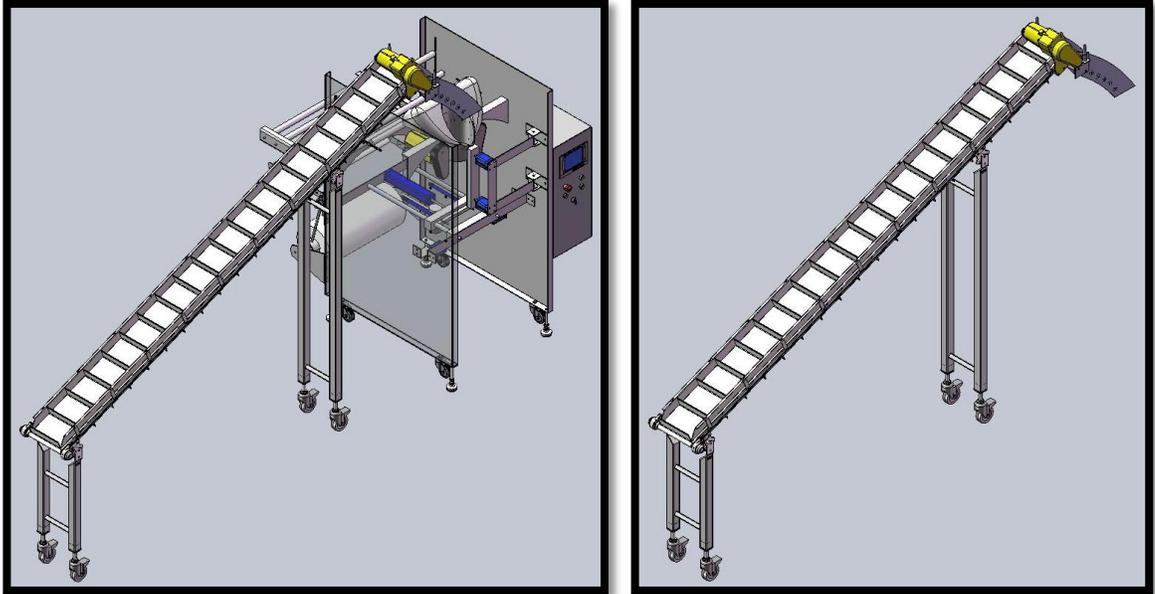
Figura 47 – SFC para operaciones a realizar (OPERACIONES)



8.2. MODELACIÓN 3D DE LA MÁQUINA

La representación CAD del modelo seccionado hará énfasis en cada uno de los sistemas mencionados utilizando imágenes y una explicación de su funcionamiento. La Figura 48 muestra una vista en isométrico del modelo final.

Figura 48 – Máquina Completa y Sistema de orientación y posición



El sistema de orientación y posición se puede ver en la Figura 48. Éste utiliza una banda transportadora que tiene unas paletas de 60mm de altura y una separación de 254mm entre ellas para garantizar que sólo suba una bolsa en cada uno de los compartimientos y evitar el conteo de bolsas dobles, garantizando un flujo regular de bolsas a la máquina para que el contador de bolsas tenga mayor efectividad. Esta solución evita que se instalen varios sensores para el control de las bolsas, mayores rutinas de programación y se garantiza una posición de entrada al equipo para la formación del fardo y se evite el sello en bolsa. La banda sirve como un acumulador de producto y será la que regule el paso de bolsas incrementando o disminuyendo su velocidad.

Los sistemas de arrastre y freno; y de tensión y formado de película se representan en la Figura 49. Éstos se encargan de llevar la película al cuello formador para formar la bolsa del fardo.

La Figura 50 esquematiza el recorrido de la película desde que sale de la bobina hasta el punto en donde se forma la bolsa. La película recorre un brazo pivotado con el que se le da tensión y se absorbe la energía causada por el tirón de arranque cada que se pasa al siguiente fardo.

Figura 49 – Sistemas de arrastre y freno, de tensión y formado.

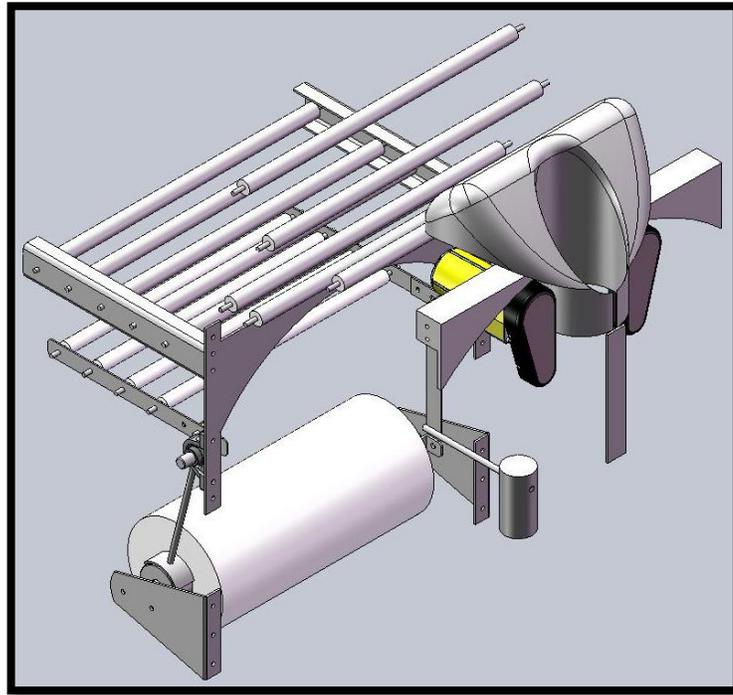
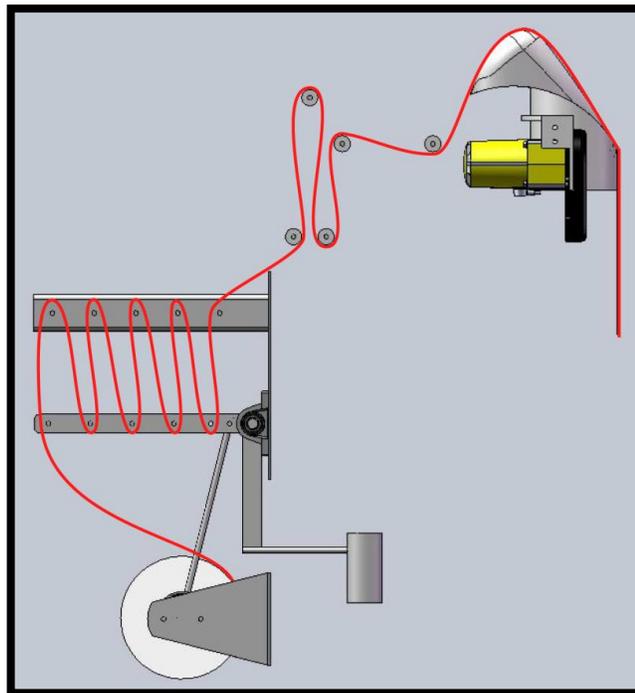
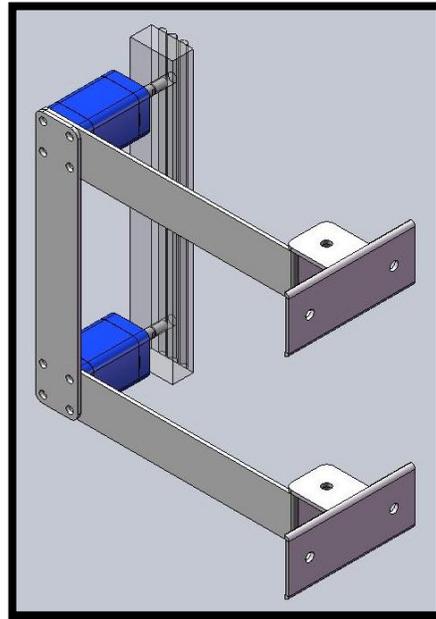


Figura 50 – Recorrido de la película por la máquina



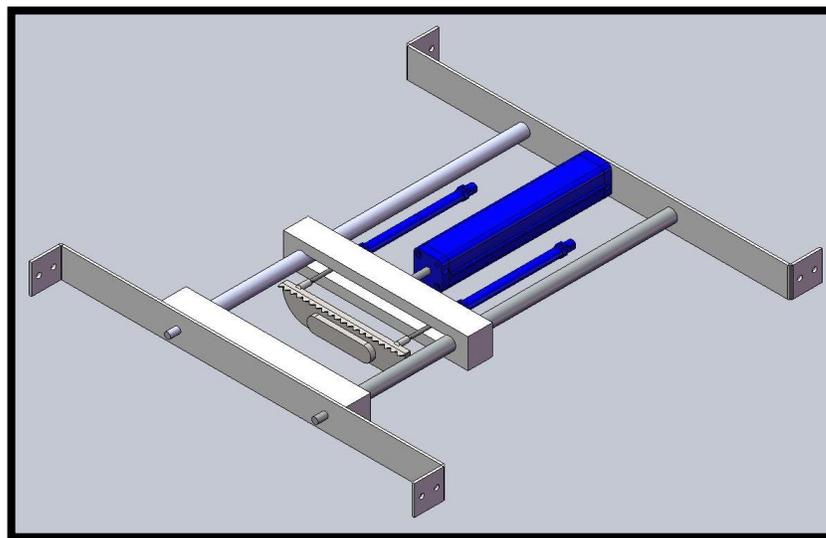
La Figura 51 representa el sistema de sellado vertical de fardo el cual se encuentra pivotado en los extremos y se fija su posición desde los mismos. El pivote permite que el cambio de resistencia sea más cómodo para el personal de mantenimiento.

Figura 51 – Sistema de sellado: sello vertical



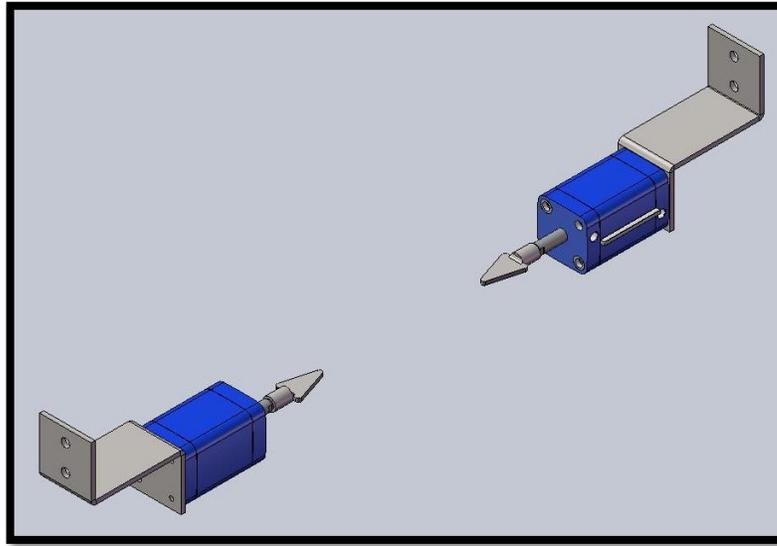
El sistema de sello horizontal, corte de fardo y creación de agarradera, está representado en la Figura 52 donde se ve que el sistema de corte de fardo y creación de agarradera dependen del sistema de sello horizontal. Una vez se sella la bolsa se dispone acortarla y crear su agarradera.

Figura 52 – Sistema de sellado: sello horizontal



La forma de la bolsa tipo fuelle (*Gusseted*) se hace utilizando el dispositivo de la Figura 53 el cual utiliza dos actuadores que salen momentos antes de efectuar el sello horizontal para darle a los extremos de la bolsa la forma de fuelle. Los pistones se retiran inmediatamente se cierra la prensa de sellado horizontal, para permitir que la bolsa caiga cuando se completa el proceso de sellado.

Figura 53 – Actuadores para realizar bolsa tipo fuelle



La Figura 53 mostrada a continuación es la vista frontal del modelo desarrollado.

Figura 54 – Vista Frontal de la máquina

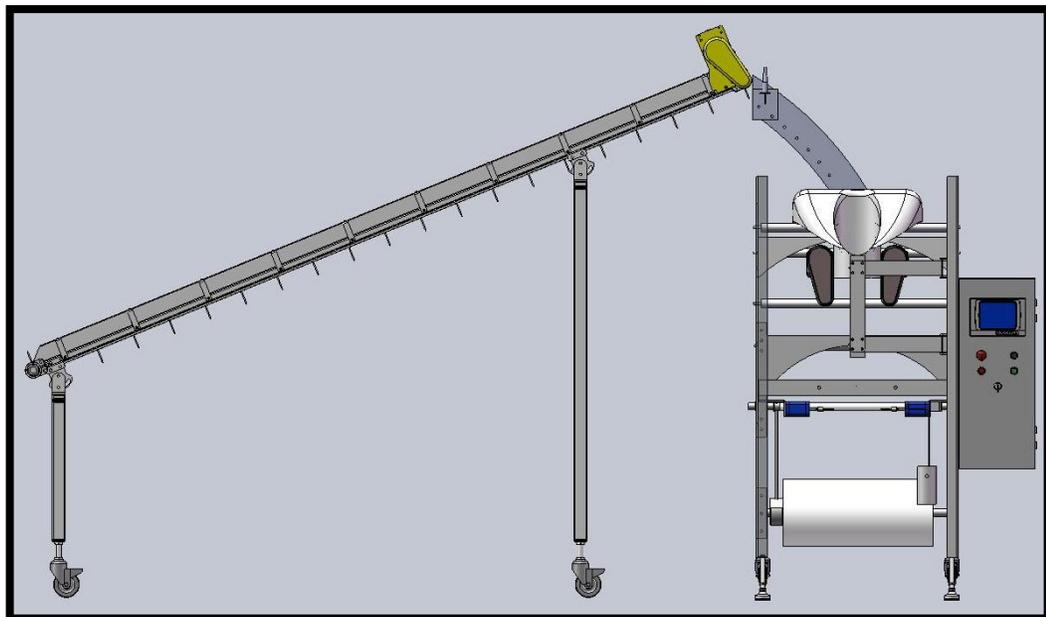
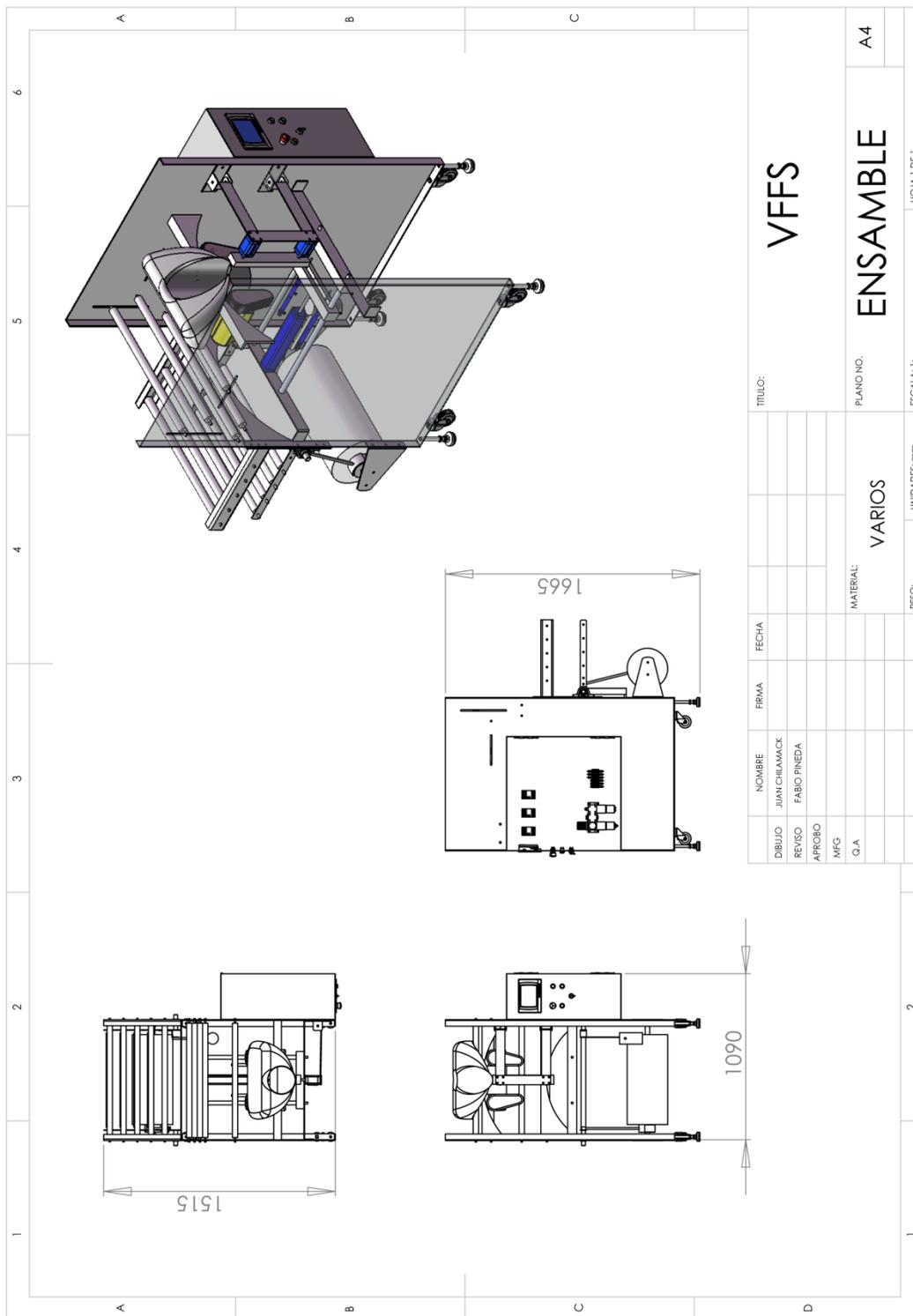


Figura 55 – Plano de ensamble con dimensiona generales



9. CONCLUSIONES

- El análisis del estado de la técnica permitió identificar con claridad los sistemas a diseñar y las soluciones que se dan a cada uno de ellos, de la misma manera se encontraron las especificaciones comunes entre máquinas y las opciones y diferencias más relevantes. Esto permitió que el trabajo se guiara a partes específicas de la empacadora donde se encontró una opción de mejora o complemento a la actividad inicial.
- La clarificación de tareas y la elaboración de una lista de requerimientos (PDS) construyeron la base sobre la cual se desarrolló el proyecto y facilitaron la orientación a la solución del problema. De esta manera se trabajó en base al PDS para encontrar las alternativas de solución para los sistemas a diseñar y se representaron en la matriz morfológica.
- Las alternativas de solución encontradas en la matriz morfológica inicial fueron depuradas teniendo en cuenta varios factores como son: la compatibilidad general con los demás componentes, el cumplimiento con las demandas del PDS, su factibilidad en principio, el costo, si incorpora seguridad intrínseca, la preferencia de alguna solución por parte de los diseñadores y la disposición de información adecuada para su implementación. Esto llevó a tener un matriz morfológica reducida que facilitó la tarea de encontrar una solución final puesto que sólo se compararon las alternativas de solución más promisorias.
- Las alternativas de solución encontradas fueron comparadas utilizando un árbol de objetivos o tabla de pesos, lo que permitió realizar una evaluación cuantitativa de las mismas y así definir la solución final.
- Utilizar un sistema CAD con capacidad de modelar elementos y ensamblajes mecánicos permite encontrar los puntos exactos donde se pueden presentar problemas de interferencia, de dimensionado, etc. Además, se puede llegar a representar de manera muy real la apariencia final de la máquina sin necesidad de construirla.
- Mediante software de automatización como Automation Studio se pueden realizar y simular el programa en SFC, los diagramas eléctricos y diagramas neumáticos para el PLC. Gracias a esto se puede probar su funcionamiento antes de construir la máquina.
- La máquina no puede ser diseñada para valores puntuales, debe hacerse para un rango de funcionamiento donde se permita una calibración y unos ajustes conformes a las necesidades de distintos usuarios. Un ejemplo de esto, es que las propiedades del polietileno del fardo pueden variar considerablemente dependiendo de las necesidades del cliente.
- En principio no se consideró completamente la relevancia del material de empaque al momento de determinar formas, dimensiones y otras variables de diseño. Después, se observó su gran influencia dentro de éstas. Esto hizo que el

diseño final de la máquina fuera ajustable en diferentes zonas críticas como la zona de alimentación de película y la de sellado.

- El peso de la carga, el tiempo de sellado, la resistencia del sello y las condiciones del entorno son factores determinantes del proceso. Generalmente para conseguir los resultados deseados en estos aspectos es necesario alterar la composición del polietileno. Las consecuencias de no tener en cuenta alguno de esos factores puede terminar en un polietileno que en la práctica tenga un comportamiento distinto al esperado.
- Actualmente sí existen modelos matemáticos para la modelación y curvatura de un cuello formador. Son ecuaciones matemáticas bastante complejas con variables y coeficientes que sólo se pueden determinar a partir de pruebas con materiales específicos. Es por esto que se usaron otras variables importantes para el diseño del cuello, como los ángulos de entrada, salida, etc., con los que se aproximaron el diseño.

BIBLIOGRAFÍA

- Basque, R., & Knowers, G. J. (2004). *Patente nº 20040134165*. Estados Unidos.
- Bates, A. M. (1925). *Patente nº 1546360*. Estados Unidos.
- Chaín, N. S. (2007). Comportamiento De La Demanda. En N. S. Chaín, *Proyectos De Inversion Formulacion Y Evaluacion* (págs. 40-46). Mexico: Pearson.
- Chancy, L. F. (28 de 09 de 2009). Consideraciones generales para una máquina de empaçado. (D. Restrepo, & J. Chilmack, Entrevistadores)
- Chang, K.-H. (2007). *Motion Simulation And Mechanism Design With COSMOSMotion 2007*. Oklahoma: SDC Publications.
- Chilamack, R. (27 de 2 de 2009). Proceso de Empaque de Promociones. (J. Chilamack, & D. Restrepo, Entrevistadores)
- Company, G. (07 de 04 de 2009). *Packaging Machinery Information on GlobalSpec*. Recuperado el 07 de 04 de 2009, de http://packaging-equipment.globalspec.com/learnmore/material_handling_packaging_equipment/packaging_labeling/packaging_machinery
- Craig. (1983). *Patente nº 4407108*. Estados Unidos.
- Crowson, R. (2006). Assembly Automation. En R. Crowson, *Assembly Processes* (págs. 31-32). New York: Taylor & Francis Group.
- Estrada Ramírez, O. A. (18 de 10 de 2009). Sellado y corte de Polietileno. (D. Restrepo, & J. Chilmack, Entrevistadores)
- GlobalSpec. (s.f.). *Form, Fill and Seal machines*. Recuperado el 09 de 10 de 2009, de GlobalSpec.com: http://packaging-equipment.globalspec.com/LearnMore/Material_Handling_Packaging_Equipment/Packaging_Labeling/Form_Fill_Seal_Machines
- Hartmann, E., Knapp, D. J., Johnstone, J. J., & Ward, K. G. (2006). *How to Manage Maintenance* (Segunda ed., Vol. I). American Management Association.
- Hawkins, W. E. (2002). *The plastic film and foil web handling guide*. Boca Raton: CRC Press.
- Hicks, B., Mullineux, G., Matthews, J., & Medland, T. (2007). Towards an integrated CAD/CAM process for the production of forming shoulders with exact geometry. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers -- Part B -- Engineering Manufacture*, 221(10), 1521-1531.

Interempresas. (19 de 05 de 2009). *La automatización mejora la productividad y la flexibilidad*. Recuperado el 2009 de 05 de 19, de <http://www.interempresas.net/Plastico/Articulos/Articulo.asp?A=5954>

Jóvenes con Empresa. (19 de 05 de 2009). *Jóvenes con Empresa*. Recuperado el 19 de 05 de 2009, de <http://www.jovenesconempresa.com/BancoMedios/Documentos%20Office/empaque.doc>

Kelly. (1978). *Patente nº 4090344*. Estados Unidos.

Massey, L. K. (2004). *Film properties of plastics and elastomers : a guide to non-wovens in packaging applications* (2nd ed.). Norwich, NY: Plastics Design Library.

MATWEB. (20 de 10 de 2009). *MATWEB*. Recuperado el 20 de 10 de 2009, de Material property data: <http://www.matweb.com>

McPherson, C., Mullineux, G., Berry, C., Hicks, B., & Medland, A. (2004). The performance envelope of forming shoulders and implications for design and manufacture. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers -- Part B -- Engineering Manufacture*, 218(8) , 925-934.

Mora, L. (2007). Objetivos de un Proyecto de Investigación. En B. B. Gagné. Medellín.

Ordoñez, C. (19 de 05 de 2009). *Historia del Empaque*. Recuperado el 19 de 05 de 2009, de http://claudio.wik.is/Historia_del_empaque

Pahl, G., & Beitz, W. (2007). *Engineering Design: A Systematic Approach* (Tercera ed.). Londres: Springer.

Piringer, O.-G., & Baner, A. L. (2000). *Plastic Packaging Material for Foods*. Weinheim: Wiley-VCH.

Propac Industrial Pty Ltd. (13 de 01 de 2009). *vffs, Vertical Form Fill Seal by Propac Industrial Pty Ltd.*. Recuperado el 02 de 09 de 2009, de <http://www.propac.com.au/>

Sclater, N., & Chironis, N. P. (2001). *Mechanisms & Mechanical Devices Sourcebook* (Tercera ed., Vol. I). New York, USA: McGraw-Hill.

Shigley, J. E., & Mischke, C. R. (2002). *Diseño en Ingeniería Mecánica* (Sexta ed., Vol. I). (J. L. Cardenas, Trad.) Mexico: McGraw-Hill.

Sociedad Industrial Mexicana S.A. (02 de 11 de 2005). *ENV-A-FLEX*. Recuperado el 16 de 04 de 2009, de Máquinas Envasadoras: <http://www.envaflex.com/>

Solpak S.A. (15 de 01 de 2009). *Solpak Generamos soluciones en el empaque y reempaque de productos alimenticios y no alimenticios*. Recuperado el 16 de 04 de 2009, de Servicio y Calidad Certificados con la Norma ISO 9001: <http://www.solpak.com.co/>

TECNOTOK. (16 de 04 de 2009). *Soluções em Empacotamento e Enfardamento*. Recuperado el 16 de 04 de 2009, de http://www.empacotamento.com.br/es/produtos_inc.php?pkproduto=60

TRIANGLE. (02 de 09 de 2009). *VFFS Baggers*. Recuperado el 02 de 09 de 2009, de Triangle Packaging | VFFS, Bag-In-Box, Weighers, Depositors:: <http://www.trianglepackage.com/vffs/index.html>

Troughton, M. J. (2008). Heat Sealing, Polyethylene. En M. J. Troughton, *Handbook of plastics joining : a practical guide* (2nd ed., págs. 121-126, 353-360). Norwich: William Andrew Inc.

ULMA Packaging. (02 de 09 de 2009). *Máquinas de envasado: Vertical (VFFS)*. Recuperado el 02 de 09 de 2009, de ULMA Packaging: <http://www.ulmapackaging.com/maquinas-de-ensado/vertical-vffs>

ANEXOS

ANEXO A – Propiedades de los aceros inoxidables

304 Stainless Steel

Categories: [Metal](#); [Ferrous Metal](#); [Heat Resisting](#); [Stainless Steel](#); [T 300 Series Stainless Steel](#)

Material Notes: Austenitic Cr-Ni stainless steel. Better corrosion resistance than Type 302. High ductility, excellent drawing, forming, and spinning properties. Essentially non-magnetic, becomes slightly magnetic when cold worked. Low carbon content means less carbide precipitation in the heat-affected zone during welding and a lower susceptibility to intergranular corrosion.

Applications: beer kegs, bellows, chemical equipment, coal hopper linings, cooking equipment, cooling coils, cryogenic vessels, dairy equipment, evaporators, flatware utensils, feedwater tubing, flexible metal hose, food processing equipment, hospital surgical equipment, hypodermic needles, kitchen sinks, marine equipment and fasteners, nuclear vessels, oil well filter screens, refrigeration equipment, paper industry, pots and pans, pressure vessels, sanitary fittings, valves, shipping drums, spinning, still tubes, textile dyeing equipment, tubing.

Corrosion Resistance: resists most oxidizing acids and salt spray.

UNS S30400; AMS 5501, 5513, 5560, 5565; ASME SA182, SA194 (8), SA213, SA240; ASTM A167, A182, A193, A194

Key Words: aisi304, aisi 304, T304, T 304, SUS304, SS304, 304SS, 304 SS, UNS S30400, AMS 5501, AMS 5513, AMS 5560, AMS 5565, AMS 5566, AMS 5567, AMS 5639, AMS 5697, ASME SA182, ASME SA194 (8), ASME SA213, ASME SA240, ASME SA249, ASME SA312, ASME SA320 (B8), ASME SA358, ASME SA376, ASME SA403, ASME SA409, ASME SA430, ASME SA479, ASME SA688, ASTM A167, ASTM A182, ASTM A193, ASTM A194, ASTM A666, FED QQ-S-763, MILSPEC MIL-S-5059, SAE 30304, DIN 1.4301, X5CrNi189, B.S. 304 S 15, EN 58E, PN 86020 (Poland), OH18N9, ISO 4954 X5CrNi189E, ISO 683/13 11, 18-8

Vendors: [Click here to view all available suppliers for this material.](#)

 New suppliers have been added for this product during the past 60 days.

Please [click here](#) if you are a supplier and would like information on how to add your listing to this material.

Physical Properties	Metric	English	Comments
Density	8.00 g/cc	0.289 lb/in ³	
Mechanical Properties	Metric	English	Comments
Hardness, Brinell	123	123	Converted from Rockwell B hardness.
Hardness, Knoop	138	138	Converted from Rockwell B hardness.
Hardness, Rockwell B	70	70	
Hardness, Vickers	129	129	Converted from Rockwell B hardness.
Tensile Strength, Ultimate	505 MPa	73200 psi	
Tensile Strength, Yield	215 MPa	31200 psi	at 0.2% offset
Elongation at Break	70.0 %	70.0 %	in 50 mm
Modulus of Elasticity	193 - 200 GPa	28000 - 29000 ksi	
Poissons Ratio	0.290	0.290	
Charpy Impact	325 J	240 ft-lb	
Shear Modulus	86.0 GPa	12500 ksi	
Electrical Properties	Metric	English	Comments
Electrical Resistivity 	0.0000720 ohm-cm @Temperature 20.0 °C	0.0000720 ohm-cm @Temperature 68.0 °F	
	0.000116 ohm-cm @Temperature 650 °C	0.000116 ohm-cm @Temperature 1200 °F	
Magnetic Permeability	1.008	1.008	at RT
Thermal Properties	Metric	English	Comments
CTE, linear 	17.3 µm/m-°C @Temperature 0.000 - 100 °C	9.61 µin/in-°F @Temperature 32.0 - 212 °F	
	17.8 µm/m-°C @Temperature 0.000 - 315 °C	9.89 µin/in-°F @Temperature 32.0 - 599 °F	
	18.7 µm/m-°C @Temperature 0.000 - 650 °C	10.4 µin/in-°F @Temperature 32.0 - 1200 °F	
Specific Heat Capacity	0.500 J/g-°C @Temperature 0.000 - 100 °C	0.120 BTU/lb-°F @Temperature 32.0 - 212 °F	
Thermal Conductivity 	16.2 W/m-K @Temperature 0.000 - 100 °C	112 BTU-in/hr-ft ² -°F @Temperature 32.0 - 212 °F	
	21.5 W/m-K @Temperature 500 °C	149 BTU-in/hr-ft ² -°F @Temperature 932 °F	
Melting Point	1400 - 1455 °C	2550 - 2651 °F	
Solidus	1400 °C	2550 °F	
Liquidus	1455 °C	2651 °F	
Component Elements Properties	Metric	English	Comments
Carbon, C	<= 0.080 %	<= 0.080 %	
Chromium, Cr	18.0 - 20.0 %	18.0 - 20.0 %	
Iron, Fe	66.345 - 74.0 %	66.345 - 74.0 %	

316 Stainless Steel, annealed sheet

Categories: [Metal](#); [Ferrous Metal](#); [Stainless Steel](#); [T 300 Series Stainless Steel](#)

Material Notes: Molybdenum content increases resistance to marine environments. High creep strength at elevated temperatures and good heat resistance. Biocompatible. Fabrication characteristics similar to Types 302 and 304.

Applications: food and pharmaceutical processing equipment, marine exterior trim, surgical implants, and industrial equipment that handles the corrosive process chemicals used to produce inks, rayons, photographic chemicals, paper, textiles, bleaches, and rubber.

Corrosion Resistance: better corrosion resistance than 302 and 304; resists sodium and calcium brines; hypochlorite solutions, phosphoric acid; and the sulfite liquors and sulfurous acids used in the paper pulp industry.

Key Words: UNS S31600, SS316, 316SS, AISI 316, DIN 1.4401, DIN 1.4408, DIN X5CrNiMo17122, TGL 39672 X5CrNiMo1911, TGL 7143X5CrNiMo1811, ISO 2604-1 F62, ISO 2604-2 TS60, ISO 2604-2 TS61, ISO 2604-4 P60, ISO 2604-4 P61, ISO 4954 X5CrNiMo17122E, ISO 683/13 20, ISO 683/13 20a, ISO 6931 X5CrNiMo17122, JIS SUS 316

Vendors: [Click here to view all available suppliers for this material.](#)

 **New suppliers have been added for this product during the past 60 days.**

Please [click here](#) if you are a supplier and would like information on how to add your listing to this material.

Physical Properties	Metric	English	Comments
Density	8.00 g/cc	0.289 lb/in ³	
Mechanical Properties			
Hardness, Rockwell B	79	79	
Tensile Strength, Ultimate	580 MPa	84100 psi	
Tensile Strength, Yield	290 MPa	42100 psi	
Elongation at Break	50.0 %	50.0 %	in 50 mm
Modulus of Elasticity	193 GPa	28000 ksi	in tension
Charpy Impact	105 J	77.4 ft-lb	V-notch
Izod Impact	129 J	95.1 ft-lb	
Electrical Properties			
Electrical Resistivity	0.0000740 ohm-cm	0.0000740 ohm-cm	at 20°C
Magnetic Permeability	1.008	1.008	at RT
Thermal Properties			
CTE, linear 	16.0 µm/m-°C	8.89 µin/in-°F	
	@Temperature 0.000 - 100 °C	@Temperature 32.0 - 212 °F	
	16.2 µm/m-°C	9.00 µin/in-°F	
	@Temperature 0.000 - 315 °C	@Temperature 32.0 - 599 °F	
	17.5 µm/m-°C	9.72 µin/in-°F	
	@Temperature 0.000 - 540 °C	@Temperature 32.0 - 1000 °F	
Specific Heat Capacity	0.500 J/g-°C	0.120 BTU/lb-°F	
	@Temperature 0.000 - 100 °C	@Temperature 32.0 - 212 °F	
Thermal Conductivity	16.3 W/m-K	113 BTU-in/hr-ft ² -°F	
	@Temperature 100 °C	@Temperature 212 °F	
Melting Point	1370 - 1400 °C	2500 - 2550 °F	
Solidus	1370 °C	2500 °F	
Liquidus	1400 °C	2550 °F	
Maximum Service Temperature, Air	870 °C	1600 °F	Intermittent Service
	925 °C	1700 °F	Continuous Service
Component Elements Properties			
Carbon, C	0.080 %	0.080 %	
Chromium, Cr	<= 18.0 %	<= 18.0 %	
Iron, Fe	62.0 %	62.0 %	
Manganese, Mn	2.0 %	2.0 %	
Molybdenum, Mo	<= 3.0 %	<= 3.0 %	
Nickel, Ni	<= 14.0 %	<= 14.0 %	
Phosphorous, P	0.045 %	0.045 %	
Silicon, Si	1.0 %	1.0 %	
Sulfur, S	0.030 %	0.030 %	

AISI Type 316L Stainless Steel, annealed sheet

Categories: [Metal](#); [Ferrous Metal](#); [Stainless Steel](#); [T 300 Series Stainless Steel](#)

Material Notes: Similar to Type 316 for superior corrosion resistance, but also has superior resistance to intergranular corrosion following welding or stress relieving. Good corrosion resistance to most chemicals, salts, and acids and molybdenum content helps resistance to marine environments. The low carbon content of 316L reduces the possibility of in vivo corrosion for medical implant use. High creep strength at elevated temperatures. 316L has fabrication characteristics similar to Types 302 and 304.

Applications: biomedical implants, chemical processing, food processing, photographic, pharmaceutical, textile finishing, marine exterior trim.

Key Words: UNS S31603, AISI 316L, ISO 2604-1 F59, ISO 2604-4 P57, ISO 2604-4 P58, ISO 4954 X2CrNiMo17133E, ISO 683/13 19, ISO 683/13 19a, biomaterials, biomedical implants, biocompatible materials

Vendors: [Click here to view all available suppliers for this material.](#)

Please [click here](#) if you are a supplier and would like information on how to add your listing to this material.

Physical Properties	Metric	English	Comments
Density	8.00 g/cc	0.289 lb/in ³	
Mechanical Properties	Metric	English	Comments
Hardness, Rockwell B	79	79	
Tensile Strength, Ultimate	560 MPa	81200 psi	
Tensile Strength, Yield	290 MPa	42100 psi	
Elongation at Break	50.0 %	50.0 %	in 50 mm
Modulus of Elasticity	193 GPa	28000 ksi	in tension
Charpy Impact	103 J	76.0 ft-lb	V-notch, 30°C
Izod Impact	150 J	111 ft-lb	21°C, 150 J at -195°C(-320°F)
Electrical Properties	Metric	English	Comments
Electrical Resistivity	0.0000740 ohm-cm	0.0000740 ohm-cm	at 20°C
Magnetic Permeability	1.008	1.008	at RT
Thermal Properties	Metric	English	Comments
Specific Heat Capacity	0.500 J/g-°C @Temperature 0.000 - 100 °C	0.120 BTU/lb-°F @Temperature 32.0 - 212 °F	
Melting Point	1375 - 1400 °C	2507 - 2550 °F	
Solidus	1375 °C	2507 °F	
Liquidus	1400 °C	2550 °F	
Maximum Service Temperature, Air	870 °C	1600 °F	Intermittent Service
	925 °C	1700 °F	Continuous Service
Component Elements Properties	Metric	English	Comments
Carbon, C	0.030 %	0.030 %	
Chromium, Cr	17.0 %	17.0 %	
Iron, Fe	65.0 %	65.0 %	
Manganese, Mn	2.0 %	2.0 %	
Molybdenum, Mo	2.50 %	2.50 %	
Nickel, Ni	12.0 %	12.0 %	
Phosphorous, P	0.045 %	0.045 %	
Silicon, Si	1.0 %	1.0 %	
Sulfur, S	0.030 %	0.030 %	

Carpenter Custom 630 (17-Cr-4Ni) Precipitation Hardening Stainless Steel, Annealed

Categories: [Metal](#); [Ferrous Metal](#); [Stainless Steel](#); [Precipitation Hardening Stainless](#); [T S10000 Series Stainless Steel](#)

Material Notes: Data provided by Carpenter Technology Corporation.

Custom 630 (17Cr-4Ni) is a martensitic precipitation/age-hardening stainless steel offering high strength and hardness along with excellent corrosion resistance. It has good fabricating characteristics and can be age hardened by a single-step, low temperature treatment. It has been used for a variety of applications including oil field valve parts, chemical process equipment, aircraft fittings, fasteners, pump shafts, nuclear reactor components, gears, paper mill equipment, missile fittings, and jet engine parts. When your applications calls for extensive machining of this alloy, you should consider specifying a modified version, Project 70® stainless Custom 630, for improved machinability.

Key Words: AISI 630; UNS S17400; 17-4PH, 17/4PH, 17-4 PH, Carpenter Technology Corporation, Carpenter Steel Division; Cartech, Precipitation Hardening PH Stainless Steel, 17-4

Vendors: [Click here to view all available suppliers for this material.](#)

Please [click here](#) if you are a supplier and would like information on how to add your listing to this material.

Physical Properties	Metric	English	Comments
Density	7.75 g/cc	0.280 lb/in ³	
Mechanical Properties	Metric	English	Comments
Hardness, Brinell	352	352	
Hardness, Knoop	363	363	Estimated from Rockwell C
Hardness, Rockwell C	36	36	
Hardness, Vickers	349	349	Estimated from Rockwell C
Modulus of Elasticity	197 GPa	28600 ksi	H900 Condition
Poissons Ratio	0.272	0.272	
Shear Modulus	77.4 GPa	11200 ksi	Calculated
Electrical Properties	Metric	English	Comments
Electrical Resistivity	0.0000980 ohm-cm	0.0000980 ohm-cm	
Thermal Properties	Metric	English	Comments
CTE, linear 	10.8 µm/m-°C @Temperature 21.0 - 93.0 °C	6.00 µin/in-°F @Temperature 69.8 - 199 °F	
	11.2 µm/m-°C @Temperature 21.0 - 316 °C	6.22 µin/in-°F @Temperature 69.8 - 601 °F	
	11.3 µm/m-°C @Temperature 21.0 - 427 °C	6.28 µin/in-°F @Temperature 69.8 - 801 °F	
Specific Heat Capacity	0.460 J/g-°C	0.110 BTU/lb-°F	
Thermal Conductivity	17.9 W/m-K	124 BTU-in/hr-ft ² -°F	for condition H 900 at 149°C. 22.6 W/m-K for H 900 at 482°C.
Component Elements Properties	Metric	English	Comments
Carbon, C	<= 0.070 %	<= 0.070 %	
Chromium, Cr	15.0 - 17.5 %	15.0 - 17.5 %	
Copper, Cu	3.0 - 5.0 %	3.0 - 5.0 %	
Iron, Fe	73.0 %	73.0 %	as remainder
Manganese, Mn	<= 1.0 %	<= 1.0 %	
Nb + Ta	0.15 - 0.45 %	0.15 - 0.45 %	
Nickel, Ni	3.0 - 5.0 %	3.0 - 5.0 %	
Niobium, Nb (Columbium, Cb)	<= 0.45 %	<= 0.45 %	
Phosphorous, P	<= 0.040 %	<= 0.040 %	
Silicon, Si	<= 1.0 %	<= 1.0 %	
Sulfur, S	<= 0.030 %	<= 0.030 %	
Tantalum, Ta	<= 0.45 %	<= 0.45 %	

ANEXO B – Material banda

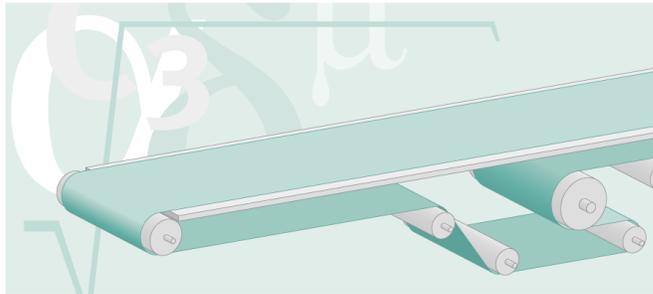


Dairy products

Dairy products "coagulate" placing high demands on belt hygiene and durability. Special PVC coated types fulfil these demands continually and reliably. Incision-resistant surfaces allow portioning on the belt. Using special surfaces and dimensionally stable belt constructions make continuous conveying of the products possible.

Siegling Prolink modular belts guarantee hygienic conveying kind to packaging in the filling department.

Calculation methods – conveyor belts



The formulae, figures and recommendations in this brochure are state of the art and a result of our years of experience. The calculation results can however differ from our calculation programme B_Rex (free download on the internet under www.siegling.com).

These differences are a result of the basically different approaches: whereas B_Rex is based on empirical measurements and requires a detailed description of the machine, the calculation methods here are based on general, simple physical formulae and derivations backed up by factors (c_2) that include a safety margin. In the majority of cases the safety margin used for calculation in this brochure will be larger than for the corresponding B_Rex calculation.

Content

Terminology	2
Unit goods conveying systems	3
Take-up range for load-dependent take-up systems	8
Bulk goods conveying systems	9
Calculation example	
Unit goods conveying systems	12

Further information on machine design can be found in our brochure no. 305 "Recommendations for machine design".

Terminology

Designation	Symbol	Unit
Force on each belt strand	F	N
Maximum belt pull (at drive drum)	F_1	N
Minimum belt pull (at drive drum)	F_2	N
Effective belt pull	F_U	N
Shaft load at drive drum	F_{WA}	N
Shaft load at end drum	F_{WU}	N
Motor power	P_M	kW
Calculated power at drive drum	P_A	kW
Belt pull at 1% elongation per unit of width	SD	N/mm
Drum/roller width	b	mm
Belt width	b_0	mm
Geometric belt length	Lg	mm
Calculation constants	c..	–
Drum/roller diameter	d	mm
Drive drum diameter	d_A	mm
Rolling resistance of support rollers	f	–
Difference in drum radii	h	mm
Coefficient of friction with support rollers	μ_R	–
Coefficient of friction with accumulated goods	μ_{ST}	–
Coefficient of friction with skid plate	μ_T	–
Acceleration due to gravity	g	9,81m/s ²
Production tolerance	Tol	%
Upper support roller pitch	l_o	mm
Lower support roller pitch	l_u	mm
Transition length	l_s	mm
Mass of material conveyed over whole conveying length (total load)	m	kg
Mass of belt	m_B	kg
Mass of all rotating drum/rollers, except drive drum	m_R	kg
Mass of conveyed goods on upper side (total load)	m_1	kg
Mass of conveyed goods on return side (total load)	m_2	kg
Mass of conveyed goods per m of conveying length on upper side	m'_o	kg/m
Line load		
Mass of conveyed goods per m of conveying length on return side	m'_u	kg/m
Line load	Z	mm
Tension take-up range	X	mm
Total tension take-up range	h_T	m
Height of lift	l_T	β
Conveyor length	v	m/s
Belt speed	y_B	mm
Belt sag	y_{Tr}	mm
Drum deflection	β	°
Arc of contact at drive drum and idler	γ	°
Opening angle at drive drum	α, δ	°
Incline (+) or decline (-) angle of conveyor	ε	%
Elongation at fitting	η	–
Drive efficiency	ρ_s	kg/m ³
Density of material conveyed		

Unit goods conveying systems

		Loading examples to determine the effective pull F_U [N]
$m = l_T \cdot \text{mass of conveyed material per m}$ $F_U = \mu_R \cdot g \cdot (m + m_B + m_R)$	[N]	
$F_U = \mu_T \cdot g \cdot (m + \frac{m_B}{2}) + \mu_R \cdot g \cdot (\frac{m_B}{2} + m_R)$	[N]	
$F_U = \mu_T \cdot g \cdot (m_1 + m_2 + m_B)$ Coefficient of friction of end drum was ignored	[N]	
$F_U = \mu_R \cdot g \cdot (m + m_B + m_R)^{(-)}$ (-) increasing (+) decreasing	[N]	
$F_U = \mu_T \cdot g \cdot (m + \frac{m_B}{2}) + \mu_R \cdot g \cdot (\frac{m_B}{2} + m_R)^{(-)}$ (-) increasing (+) decreasing	[N]	
$F_U = \mu_T \cdot g \cdot (m + \frac{m_B}{2}) + \mu_R \cdot g \cdot (\frac{m_B}{2} + m_R) + \mu_{ST} \cdot g \cdot m$	[N]	
$F_U = \text{please inquire}$ $F_{Uges} = F_{U1} + F_{U2} + F_{U3}$	[N]	
$F_U = \text{please inquire}$	[N]	

TRANSILON

Conveyor and processing belts

Coefficients of friction μ_S (guidelines)

	0, A0, E0, T, U0, P	NOVO	U1, V1, VH	UH, V2H, U2H, V5H, V10H
μ_T (skid plate)	0.33	0.33	0.5	0.5
μ_R (rollers)	0.033	0.033	0.033	0.033
μ_{ST} (*)	0.33	0.33	0.5	0.5

* accumulated goods

Maximum belt pull F_1

$$F_1 = F_U \cdot c_1 \quad [N]$$

$$F_1 = \frac{P_M \cdot \eta \cdot c_1 \cdot 1000}{v} \quad [N]$$

With calculable effective pull F_U .

If effective belt pull F_U cannot be calculated, maximum belt pull F_1 can be determined from the installed motor power P_M as per the given formula and used to select a belt type.

c_1 constant (is valid for drive drum)

Transilon with underside of	V3, V5, U2, A5, E3			V1, U1, UH, U2H, V2H, V5H			0, U0, NOVO, T, P		
	180°	210°	240°	180°	210°	240°	180°	210°	240°
smooth steel drum									
dry	1.5	1.4	1.3	1.8	1.6	1.5	2.1	1.9	1.7
wet	3.7	3.2	2.9	5.0	4.0	3.0	not recommendable		
lagged drum									
dry	1.4	1.3	1.2	1.6	1.5	1.4	1.5	1.4	1.3
wet	1.8	1.6	1.5	3.7	3.2	2.9	2.1	1.9	1.7

c_2 constant Counter-checking the type selection

$$\frac{F_1}{b_0} \leq c_2$$

If the value $\frac{F_1}{b_0} > c_2$, the next stronger type must be used.

Transilon Type	E 2/2		E 3/1		E 4/1		E 2/2		E 4/2		NOVO E 8/2		E 12/3		E 12/2		E 18/3		E 20/M		E 30/3		E 44/3	
	E 2/1	E 3/2	E 4/1	E 4/1	E 5/2	E 6/1	E 10/M	E 15/M	E 18/3	E 20/M	E 30/3	E 44/3	E 10/M	E 15/M	E 18/3	E 20/M	E 30/3	E 44/3	E 10/M	E 15/M	E 18/3	E 20/M	E 30/3	E 44/3
Constant c_2	2	10	5	8	8	8	15	25	35	40	60	70	15	25	35	40	60	70	15	25	35	40	60	70

Note: With perforated belts the number of holes reducing the cross-section must be deducted from b_0 . In the case of extreme temperatures c_2 constants change. Please enquire.

$$d_A = \frac{F_U \cdot c_3 \cdot 180}{b_0 \cdot \beta} \quad [\text{mm}]$$

Minimum drive drum diameter d_A

Transilon with underside of	V3, V5, U2, A5, E3	V1, U1, UH	0, U0, NOVO, T, P
smooth steel drum			
dry	25	50	80
wet	50	not recommendable	not recommendable
lagged drum			
dry	25	30	30
wet	30	40	50

c_3 constant
(is valid for drive drum)

$$P_A = \frac{F_U \cdot v}{1000} \quad [\text{kW}]$$

Power P_A at drive drum

$$P_M = \frac{P_A}{\eta} \quad [\text{kW}] = \text{next largest standard motor is chosen}$$

Motor power P_M required

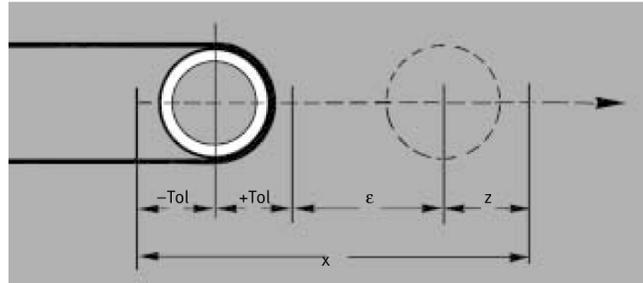
TRANSILON

Conveyor and processing belts

Take-up range for screw-operated take-up systems

The following factors must be taken into account when determining the tension take-up range:

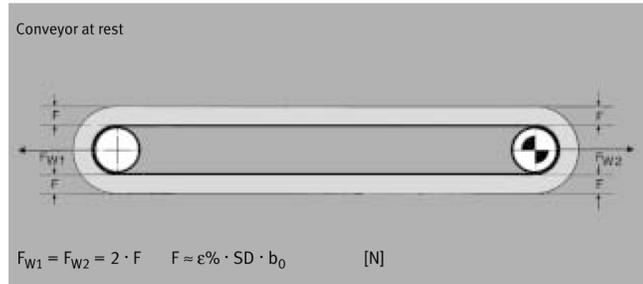
1. The approximate amount of elongation ϵ of the belt resulting from belt load.
For determination of ϵ see pages 7 and 8.
2. The production length tolerances of the belt (Tol).
3. Possible external influences, e.g. temperature, stop-and-go operation, which may necessitate a higher elongation (tension) than normal or justify the allowance of a tension take-up reserve.



Generally, depending on the load, an elongation at fitting in the range of approx. 0.1 – 1% is adequate; a tension take-up range x of 1% of the belt length is therefore sufficient.

Guidelines for shaft load at rest with force F

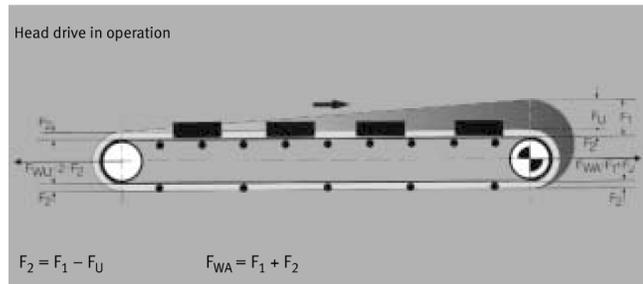
When assessing shaft loads please take into account the differing belt pulls in stationary and operational modes.



Guidelines for elongation at fitting ϵ with head drives

The minimum operational elongation at the fitting for a head drive is

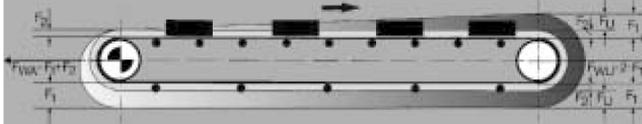
$$\epsilon \approx \frac{F_U/2 + 2 \cdot F_2}{2 \cdot SD \cdot b_0} \quad [\%]$$



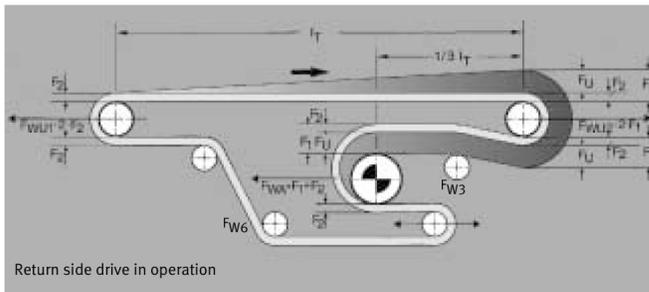
TRANSILON

Conveyor and processing belts

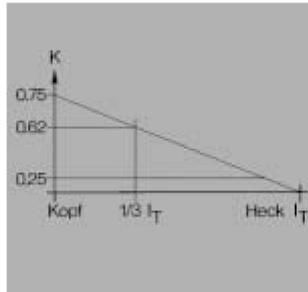
Tail drive in operation



$$F_2 = F_1 - F_U$$



Return side drive in operation



Example drive drum $\beta = 180^\circ$

$$F_{WA} = F_1 + F_2$$

Example snub roller $\beta = 15^\circ$

$$F_{W3} = \sqrt{2 \cdot F_1^2 - 2 \cdot F_1^2 \cdot \cos \beta} \quad [N]$$

Example snub roller $\beta = 25^\circ$

$$F_{W6} = \sqrt{2 \cdot F_2^2 - 2 \cdot F_2^2 \cdot \cos \beta} \quad [N]$$

Guidelines for elongation at fitting ϵ with tail drives

The operational elongation at fitting for a head drive is

$$\epsilon \approx \frac{F_U/2 + 2 \cdot F_2 + F_U}{2 \cdot SD \cdot b_0} \quad [\%]$$

Guidelines for elongation at fitting ϵ with return-side drives

The operational elongation at fitting for a return-side drive is

$$\epsilon \approx \frac{F_U (c_1 - K)}{SD \cdot b_0} \quad [\%]$$

K with head drive	= 0.75
K with return-side drive	= 0.62
K with tail drive	= 0.25

Guidelines for operational shaft load

**Take-up range for
load-dependent take-up systems**

Determination of F_R

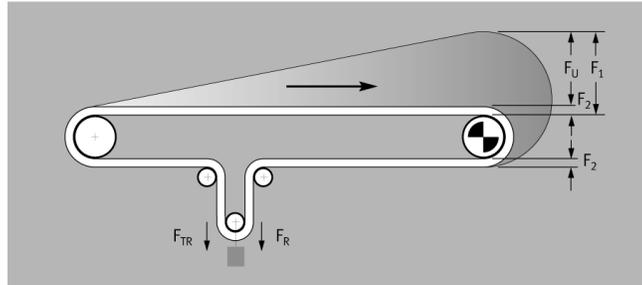
With gravity-operated take-up systems the tensioning weight must generate the force F_2 in order to achieve satisfactory grip by the belt on the drive drum (spring-loaded, pneumatic and hydraulic take-up devices operate in similar fashion).

The take-up range is a function of the effective pull, the required force F_2 , the belt length L_b , its delivery tolerance Tol , the tension reserve Z and the belt type.

The tensioning weight must be capable of moving freely. The take-up unit can only be installed after the drive unit. Such a design cannot be used with a reversible conveyor.

$$F_R = 2 \cdot F_2 - F_{TR} \quad [N]$$

Example for determining the tensioning weight F_R [N] with a 180° arc of contact.



$$F_R = 2 \cdot F_2 \cdot \cos \frac{\gamma}{2} - F_{TR} \quad [N]$$

Example for determining the tensioning weight F_R [N] with an angle γ as shown below.

F_{TR} = weight of tension roller [N]

