



**Análisis y diseño de una alternativa para la automatización del empaquetado de los  
productos fabricados en la empresa Herrajes Gaher s.a.s.**

Santiago Palma Bolívar

Informe de prácticas para optar al título de Ingeniero Mecánico

Asesor

Carlos Andrés Trujillo Suarez Ph.D. en Ingeniería Mecánica

Universidad de Antioquia  
Facultad de Ingeniería  
Ingeniería Mecánica  
Medellín, Antioquia, Colombia  
2021

<b>Cita</b>	(Palma Bolívar, 2021)
<b>Referencia</b>	Palma Bolívar, S. (2021). <i>Análisis y diseño de una alternativa para la automatización del empaquetado de los productos fabricados en la empresa Herrajes Gaheer s.a.s.</i> [Trabajo de grado profesional]. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.
<b>Estilo APA 7 (2020)</b>	



CENDOJ UdeA.

**Repositorio Institucional:** <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - [www.udea.edu.co](http://www.udea.edu.co)

**Rector:** John Jairo Arboleda Céspedes.

**Decano:** Jesús Francisco Vargas Bonilla.

**Jefe departamento:** Pedro León Simancas.

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

## CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	7
1. DESCRIPCIÓN Y DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA .....	8
1.1. Descripción.....	8
1.2. Delimitación.....	8
1.3. Objetivos .....	9
2. ANTECEDENTES .....	10
2.1. Mecanismos.....	11
2.1.1. Mecanismos para regulación de peso .....	11
2.1.2. Mecanismo de alimentación lineal por vibración .....	14
2.1.3. Mecanismo de alimentación de cuenco por vibración .....	15
2.1.4. Mecanismos de transporte.....	16
2.1.5. Otros mecanismos .....	17
2.1.6. Mecanismos de embolsado .....	19
2.2. Métodos de sellado de películas plásticas .....	20
2.2.1. Sellado por calentamiento con impulso .....	20
2.2.2. Sellado por calentamiento constante.....	20
2.2.3. Sellado por calentamiento con ultrasonido .....	21
2.3. Instrumentación.....	21
2.3.1. Medición del peso .....	21
2.3.2. Conteo de piezas .....	23
2.4. Un vistazo a la PACKEXPO.....	24
3. DESARROLLO DE ALTERNATIVAS .....	26
3.1. Evaluación de alternativas.....	27
4. SELECCIÓN Y DISEÑO.....	28
4.1. Selección .....	28
4.1.1. Diseño preliminar.....	28
4.2. Diseño.....	29
4.2.1. Tolda de almacenaje .....	29
4.2.2. Banda de alimentación.....	31
4.2.3. Bandeja de pesaje.....	31

4.2.4.	Tolva de acumulación .....	32
4.2.5.	Sistema de caída de piezas .....	32
4.2.6.	Sistema de apertura de bolsas .....	33
4.2.7.	Sistema de sellado y corte de bolsas .....	34
4.2.8.	Sistema de corte superior .....	35
4.2.9.	Sistema de manejo de la película plástica.....	36
4.2.10.	Rodillos de tensión y arrastre.....	39
4.2.11.	Rodillo de soporte para el rollo de película plástica. ....	39
5.	SELECCIÓN DE MATERIALES Y SIMULACIONES DE CARGA .....	40
5.1.	Selección de materiales .....	40
5.2.	Simulaciones y análisis de resultados .....	41
6.	CONTROL Y PROGRAMACIÓN .....	47
6.1.	Secuencia del proceso .....	47
6.2.	Instrumentación y actuadores.....	54
6.2.1.	Celda de carga.....	54
6.2.2.	Cilindro neumático.....	54
6.2.3.	Ventosas de vacío .....	54
6.2.4.	Motor paso a paso .....	55
6.2.5.	Motor trifásico .....	55
6.2.6.	Resistencias térmicas de sellado por impulso.....	56
7.	INVERSIÓN ESTIMADA .....	56
8.	CONCLUSIONES .....	58
9.	REFERENCIAS .....	59

## Lista de Tablas

<b>Tabla 1</b> .....	8
<b>Tabla 2</b> .....	9
<b>Tabla 3</b> .....	27
<b>Tabla 4</b> .....	34
<b>Tabla 5</b> .....	40
<b>Tabla 6</b> .....	41
<b>Tabla 7</b> .....	44
<b>Tabla 8</b> .....	45
<b>Tabla 9</b> .....	57

## Lista de figuras

<b>Figura 1</b> .....	12
<b>Figura 2</b> .....	12
<b>Figura 3</b> .....	13
<b>Figura 4</b> .....	13
<b>Figura 5</b> .....	14
<b>Figura 6</b> .....	15
<b>Figura 7</b> .....	15
<b>Figura 8</b> .....	16
<i>Figura 9</i> .....	17
<b>Figura 10</b> .....	17
<b>Figura 11</b> .....	18
<b>Figura 12</b> .....	18
<b>Figura 13</b> .....	19
<b>Figura 14</b> .....	20
<b>Figura 15</b> .....	21
<b>Figura 16</b> .....	23
<b>Figura 17</b> .....	23
<i>Figura 18</i> .....	24
<b>Figura 19</b> .....	24
<b>Figura 20</b> .....	25
<b>Figura 21</b> .....	25
<b>Figura 22</b> .....	26
<b>Figura 23</b> .....	26
<b>Figura 24</b> .....	27
<b>Figura 25</b> .....	28
<b>Figura 26</b> .....	30
<b>Figura 27</b> .....	30

<b>Figura 28</b> .....	31
<b>Figura 29</b> .....	32
<b>Figura 30</b> .....	32
<b>Figura 31</b> .....	33
<b>Figura 32</b> .....	34
<b>Figura 33</b> .....	35
<b>Figura 34</b> .....	35
<b>Figura 35</b> .....	36
<b>Figura 36</b> .....	37
<b>Figura 37</b> .....	39
<b>Figura 38</b> .....	39
<b>Figura 39</b> .....	42
<b>Figura 40</b> .....	42
<b>Figura 41</b> .....	42
<b>Figura 42</b> .....	43
<b>Figura 43</b> .....	46
<b>Figura 44</b> .....	47
<b>Figura 45</b> .....	49
<b>Figura 46</b> .....	50
<b>Figura 47</b> .....	51
<b>Figura 48</b> .....	52
<b>Figura 49</b> .....	53
<b>Figura 50</b> .....	54
<b>Figura 51</b> .....	54
<b>Figura 52</b> .....	55
<b>Figura 53</b> .....	55
<b>Figura 54</b> .....	56

## INTRODUCCIÓN

La empresa Herrajes Gaher S.A.S diseña y fabrica a partir de maquinaria de conformado y corte de metales, piezas de diversas formas, tamaños y pesos, que son demandadas en las industrias de los textiles, marroquinería y calzado. En su amplio y detallado catálogo, la empresa clasifica sus productos en tres grupos, productos en alambre, productos en lámina y productos en Zamac, todos los anteriores van desde remaches para pantalones de un tamaño y peso muy pequeños, hasta calzadores y hebillas considerablemente grandes. En consecuencia, los artículos más pequeños se empacan en cantidades más grandes y viceversa con aquellos que son más grandes.

Actualmente el proceso de empaquetado de los productos mencionados se realiza de manera manual por uno o más operarios dependiendo la demanda actual, en este proceso el operario utiliza una balanza común para pesar y contar las piezas, y así llenar bolsas con la cantidad adecuada. Por ello, el proceso se ha identificado como una necesidad que puede ser viable de automatizar.

Se realizó una investigación de los procesos y los mecanismos que actualmente caracterizan a aquellas máquinas que tienen la función de empaquetar productos de diferentes orígenes y características, con una cantidad o peso específicos, como se realiza el manejo, transporte y conteo, además la instrumentación aplicada para el control y automatización de dichos procesos. Lo siguiente, fue plantear alternativas de diseño buscando la que más se ajustara a los requerimientos del problema y deseos del cliente con respecto a su funcionalidad y viabilidad económica, para finalmente desarrollar el modelado 3D de dicho diseño, seleccionar mecanismos e instrumentos de control, elaborar los códigos necesarios para la automatización PLC y dimensionar parcialmente la inversión a realizar.

## 1. DESCRIPCIÓN Y DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

### 1.1. Descripción

La empresa Herrajes Gaher S.A.S diseña y fabrica piezas metálicas de diversas formas, tamaños y pesos, características de las industrias textil, marroquinería y calzado. El catálogo de la empresa las divide en 3, productos en alambre, productos en lámina y productos en Zamac, todos los anteriores van desde remaches muy pequeños hasta calzadores considerablemente grandes. Los más grandes se empaquetan en cantidades más pequeñas, lo contrario pasa con las piezas más pequeñas.

Actualmente, el proceso de empaquetado de los productos fabricados en la empresa Herrajes Gaher S.A.S se realiza por un operario que inicialmente hace el conteo de un determinado número de piezas, luego las pesa en una balanza y en esta misma se convierte el peso en la cantidad contada. Ya con la balanza programada para dicha cantidad, se empiezan a pasar por esta las piezas restantes y a empaquetar manualmente en bolsas.

### 1.2. Delimitación

La tabla 1, que se muestra a continuación, se desarrolló a partir de la información brindada por los operarios que se encargan de realizar el proceso de empaquetado de manera manual, en esta se dimensiona la eficiencia del proceso realizado de dicha manera.

**Tabla 1**

*Rangos de valores del problema.*

Ítem	Intervalo de peso [g]	Intervalo de cantidades a empacar [unidades]	Tamaño de las bolsas [cm]
1	0-100	25-10000	16.5x 13
2			20 x 17,5
3			26 x 21
4			29 x 25,5
5			34 x 27

Para la fabricación de las bolsas la cual se hace también en la empresa, se adquiere un rollo de polietileno que viene previamente doblado, por un lado, por lo cual la máquina convencional con la que cuentan solo sella a lo largo, y se gradúa a la dimensión del ancho.

Según la información suministrada por los operarios encargados de la operación manual del empaquetado, la capacidad de procesamiento varía según las piezas, según su forma y peso, ya que, una pieza mediana de alambre doblado es más fácil de manejar, contar y pesar, pero va en una menor cantidad, una arandela de ojaleta de 0,124 gramos aproximadamente, es más difícil de procesar, pero va en una mayor cantidad. Si hablamos de cantidades una persona puede empaquetar las piezas de más fácil conteo con un promedio de procesamiento por persona de

1000 piezas por minuto, mientras que una pieza pequeña puede ir de 2000 piezas por minuto a 1000 piezas por minuto. Por otro lado, el pedido más grande por mucho, demandado en los últimos tiempos es de 1200000 unidades de ojaletes con arandela lo que en peso es 688,8 kg, individualizando el ojalete estamos hablando de 540 kg y empaquetado en la bolsa de 20 x 17,5 cm para un volumen aproximado de 2,3 m<sup>3</sup>.

A continuación, se presenta la tabla 2, en la cual se clasifican los requerimientos según su relevancia, siendo los requisitos, aquellos que deben ser cumplidos y deseos, aquellos que pueden o no llevarse a cabo. Esto según los objetivos planteados anteriormente y las expectativas de la compañía.

**Tabla 2**

*Delimitación del problema.*

TIPO	REQUERIMIENTO	REQUISITO	DESEO
<b>Geometría</b>	Tamaño mínimo posible	x	
<b>Producción</b>	Manejar todo tipo de piezas	x	
	Producción media de 1000 piezas procesadas por minuto	x	
	Fabricar y llenar las bolsas de diferentes tamaños	x	
<b>Control de calidad</b>	No permitir bolsas sin sellar	x	
<b>Operación</b>	Un operario como mínimo para su operación	x	
	Se requiere mínimo de capacitación para operar		x
<b>Seguridad</b>	Operación segura	x	
	Paro por atascamiento de piezas	x	
<b>Mantenimiento</b>	Fácil acceso a los componentes	x	
	Mantenimiento de la máquina programado por horas de funcionamiento		x
<b>Ergonomía</b>	Altura de operación para persona con altura promedio	x	
<b>Energía</b>	Operar a 220 voltios	x	
	Consumir la mínima cantidad de energía		x

### 1.3. Objetivos

Objetivo general:

Presentar una propuesta de automatización del proceso de empaquetado de los herrajes producidos por la empresa Herrajes Gaher.

Objetivos específicos:

- Evaluar varias alternativas a partir de una consulta previa de los mecanismos y sistemas de automatización empleados en la industria.
- Seleccionar la mejor alternativa.

- Realizar un diseño conceptual con su respectivo modelo CAD.
- Realizar diseño en detalle de los componentes de la alternativa propuesta.
- Describir el funcionamiento y la programación usada para la automatización de los elementos.

## 2. ANTECEDENTES

Para empezar, cabe resaltar una dificultad intrínseca en la necesidad identificada, y es el hecho de que son piezas muy diversas y como lo menciona A. Freddi y M. Salmon quienes mencionan que una de las características principales de la maquinaria de empaquetado es que “cualquier máquina de embalaje está diseñada para un producto muy bien definido” por ello la intención principal del nuestro diseño será automatizar el proceso en la medida de lo posible, además esto toma más sentido, si tenemos en cuenta que la viabilidad económica toma un papel importante para que la empresa decida llevar a la realidad la alterativa planteada.

A. Freddi y M. Salmon mencionan que “cada producto es muy específico, por lo general, tiene reglas de proceso y de empaque alrededor de la cuales se concibe la máquina”, en nuestro caso estamos hablando de piezas muy pequeñas hechas de lámina delgada que pueden deformarse fácilmente si de fuerzan demasiado, ya sea por una tolva o entre mecanismos de manejo o transporte, o de piezas muy grandes, compuestas de un ensamble como las hebillas con agujón, que pueden enredarse unas entre las otras, por ello el diseño debe ser bien pensado para manejar cualquier pieza y que en caso de que se presente algún problema durante el funcionamiento sea fácil de corregir.

A. Freddi y M. Salmon proponen una clasificación de las funciones generales de una máquina de empaquetado, que resulta útil para dividir el diseño en etapas. Dichas funciones son:

- Alimentar la cantidad adecuada de material a granel.
- Separación y singularización de partes.
- Transporte.
- Plegado de empaque.
- Sellado de empaque.
- Formado de “Unidades de transporte”

Además, A. Freddi y M. Salmon también proponen una clasificación de la maquinaria de empaquetado según sus diferentes criterios, de las cuales resalta aquella que la clasifica según su flexibilidad lo cual definen como “un factor importante que permite cambiar en el empaquetado características como número de piezas o paquetes, peso, tamaño, materiales de embalaje, etc”.

Dividen la flexibilidad en dos clases:

- Flexibilidad para el productor: Es la capacidad de modificar la máquina en la etapa de producción para insertar módulos opcionales, esto para seguir requisitos del mercado o agregar otras funciones.
- Flexibilidad para el usuario final: capacidad para que el usuario modifique la máquina para cambiar características del empaquetado para adaptarse a otro producto o cantidad.

Otra clasificación que se puede tener en cuenta, propuesta por A. Freddi y M. Salmon es aquella según el tipo de movimiento:

- Máquina de movimiento continuo: en esta el producto y el material de empaquetado se mueven continuamente y todas las operaciones se realizan sin ninguna pausa.
- Máquina de movimiento intermitente: muchas máquinas se caracterizan por moverse clasificando el producto, llevando este por algunas estaciones en las cuales las operaciones de empaquetado se llevan a cabo. El movimiento puede ser lineal o circular, o una combinación de ambos. Un ejemplo para mencionar es la cruz de malta.

## **2.1. Mecanismos**

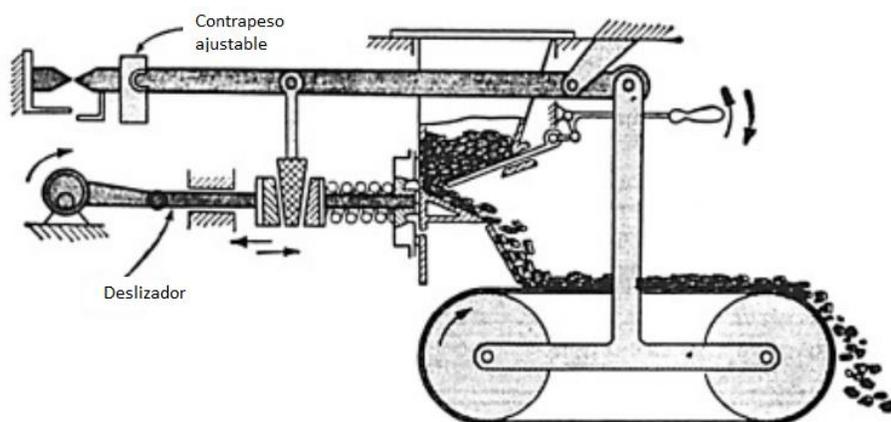
Sclater Neil describe diversos mecanismos usados para el embalaje, transporte, manipulación y seguridad en maquinaria de aplicación industrial, a partir hay diversos dispositivos mecánicos que aprovechan tanto las características del producto hasta su propio diseño. A continuación, mencionaremos aquellos que mejor se ajustan al caso de estudio.

### ***2.1.1. Mecanismos para regulación de peso***

Por variación de amplitudes de vibración: como se muestra en la figura 1, el producto de la tolva alimenta un transportador a partir de la vibración de un deslizador alternativo. La fuerza de pulsación de la corredera se transmite a través de una cuña de goma y la varilla de accionamiento. La amplitud de dicha fuerza puede ser modificada moviendo la cuña hacia arriba o hacia abajo. Esto se hace automáticamente haciendo que el transportador gire en torno a un pivote. A medida que el transportador alcanza la carga máxima, gira en sentido horario, lo que reduce la amplitud de la fuerza y la velocidad de avance del material. Se pueden realizar más ajustes cambiando el contrapeso o la velocidad del transportador.

### Figura 1

Mecanismo por variación de amplitud de vibraciones.

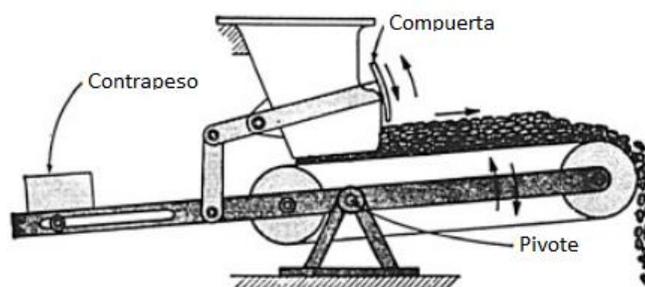


Nota: Adaptado de Scatler Neil.

Arreglo o mecanismo de pivote: como muestra la figura 2, los productos caen por una tolva que alimenta una banda transportadora pivotada en un punto central. La estructura del sistema transportador acciona la compuerta de la tolva de modo que, si la cantidad de material excede al contrapeso ubicado al lado opuesto de la banda transportadora, dicha estructura gira en sentido contrario y cierra la compuerta.

### Figura 2

*Mecanismo de pivote*

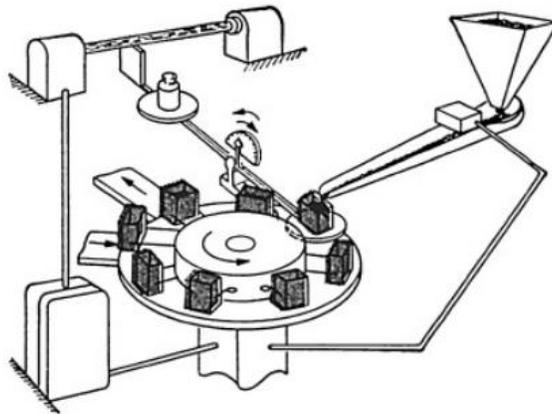


Nota: Adaptado de Scatler Neil.

Balanza y haz de luz: como se representa en la figura 3, una mesa circular intermitente se detiene automáticamente en la estación de alimentación. A medida que se llena el contenedor con el producto, su peso hace pivotar una balanza que en su otro extremo corta un haz de luz, cuando alcanza la cantidad adecuada, esto cierra la puerta de alimentación y se reactiva la mesa después de un retraso o la respuesta de la fotocélula.

### Figura 3

*Mecanismo de balanza y haz de luz*

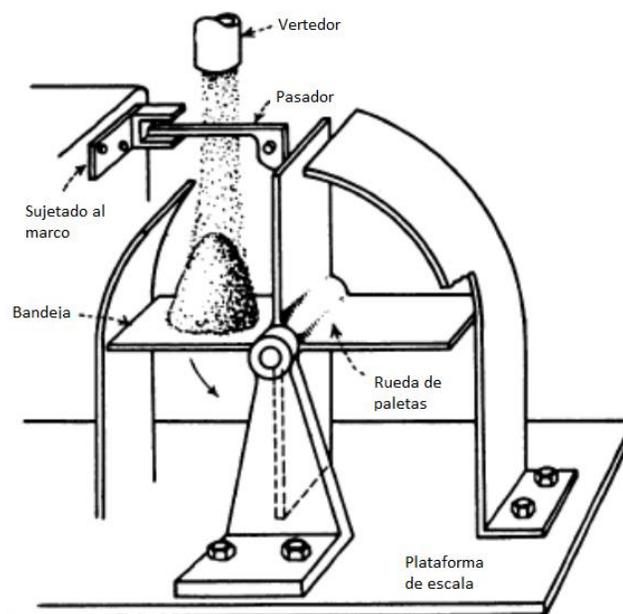


Nota: Adaptado de Scatler Neil.

Otro mecanismo interesante que usa el peso de la carga para dar movimiento es el mostrado en la figura 4. Este mecanismo de rueda de paletas como lo nombra Scatler, cuando se ha llenado una paleta llamada bandeja con el peso adecuado de producto, hace subir una viga que desengancha el pasador, permitiendo que la rueda de paletas gire descargando la carga, la viga baja el pasador deteniendo la próxima paleta y así se repite el proceso.

### Figura 4

*Mecanismo con rueda de paletas*



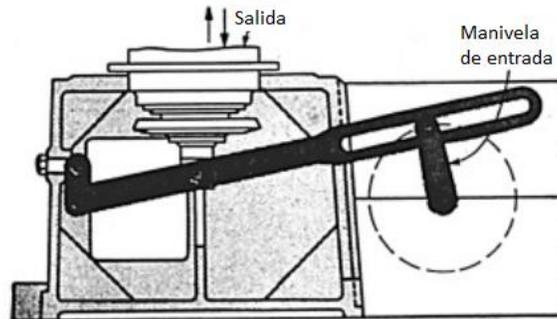
Nota: Adaptado de Scatler Neil.

### 2.1.2. Mecanismo de alimentación lineal por vibración

Como vemos en la figura 5, a medida que gira la manivela principal, la barra ranurada, que está sujeta a la estructura con un pivote, oscila para hacer vibrar la placa o mesa de salida con un movimiento hacia arriba y hacia abajo.

**Figura 5**

*Mecanismo de vibración*



Nota: Adaptado de Scatler Neil.

Ampliando acerca de los mecanismos de vibración ya que es uno de los mecanismos de manejo y transporte más usado en máquinas de empaquetado y manufactura “forzando a partir de oscilaciones los productos a través de una superficie de transporte” Caracciolo et al.

En el artículo de Cacciolo et al. Se diseña un sistema de alimentación vibratorio, el cual está compuesto por actuadores que generan el movimiento de oscilación que se transfiere a una superficie la cual se puede denominar bandeja y puede trabajar con diferentes ritmos de producción. Por lo general se fabrica con una carcasa hecha de acero y con una geometría en forma de “U” y una viga central hecha de aluminio para brindar rigidez sin aumentar masa. Dicha viga conecta la bandeja con los actuadores por medio de resortes.

“En los alimentadores vibratorios, el flujo del producto esta estrictamente relacionada con la amplitud y la dirección de la vibración del canal. Este último generalmente se representa mediante el ángulo de proyección  $\beta_i$ , es decir, el ángulo entre el vector velocidad y la dirección longitudinal de la bandeja. Si  $x_i$  y  $y_i$  denotan el desplazamiento de la bandeja en un punto arbitrario (denotado con el subíndice  $i$ ) en las direcciones horizontal (paralelo con la dirección longitudinal) y vertical (ortogonal), el ángulo de proyección se define así:

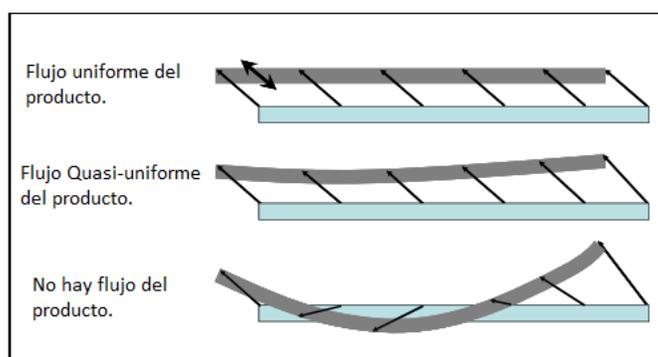
$$\beta_i = \text{atan} \left( \frac{y_i}{x_i} \right)$$

Con ángulos de proyección pequeños, es decir con una componente paralela mayor a la normal, se obtiene un permanente contacto de los productos con la superficie de la bandeja, caso

en el cual se presenta un deslizamiento provocado por la fricción entre las piezas transportadas y la superficie de la bandeja. En el caso contrario, en el cual la vibración genera aceleraciones normales mayores a la causada por la gravedad, los productos pierden contacto con la superficie de la bandeja y estos saltan hacia adelante en cada ciclo de la vibración. “los valores típicos del ángulo de proyección suelen oscilar entre 15 y 40°, dependiendo las características del producto a transportar (rigidez, forma, superficie, humedad) y de la superficie”. Por último, mencionan que “siempre que las deformaciones de las bandejas sean pequeñas, se obtiene un flujo “casi uniforme” esto es satisfactorio en la práctica ya que los fenómenos de flexión provocan modificaciones del vector velocidad” como se describe en la figura 6.

### Figura 6

*Efectos de la deformación de la bandeja en el flujo del producto*



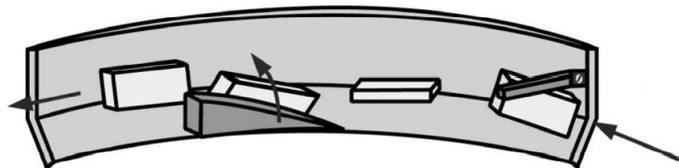
*Nota: Adaptado de Caracciolo et al.*

#### 2.1.3. Mecanismo de alimentación de cuenco por vibración

Otro mecanismo que usa las vibraciones para el flujo del producto se muestra en la figura 7, es aquel caracterizado por su forma de tazón, y en sus paredes interiores cuenta con una rampa en espiral por la cual, se mueve el producto a causa de las vibraciones del sistema, dicha rampa está compuesta o fabricada de manera tal que la pieza que sube por ella lleva la orientación adecuada, si no, la pieza cae otra vez al fondo del cuenco.

### Figura 7

*Mecanismo de alimentación vibratorio*



*Nota: Tomado de Derby Stephen J.*

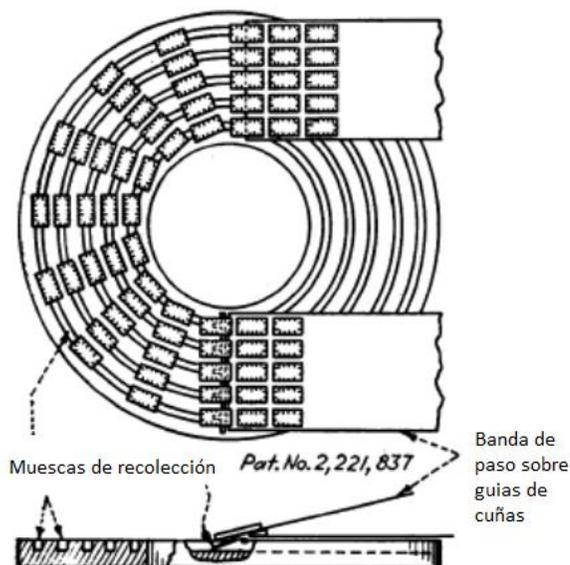
#### 2.1.4. Mecanismos de transporte

Pueden haber de dos tipos, aquellos que hacen parte de una máquina en la cual se procesó el producto, o aquellos que no pertenecen a una máquina y solo llevan el producto de una etapa a otra. Los mecanismos mencionados por Sclater Neil son componente de máquina de procesamiento.

En la figura 8, un transportador rotatorio transfiere los productos con una distribución desde una banda transportadora a otra.

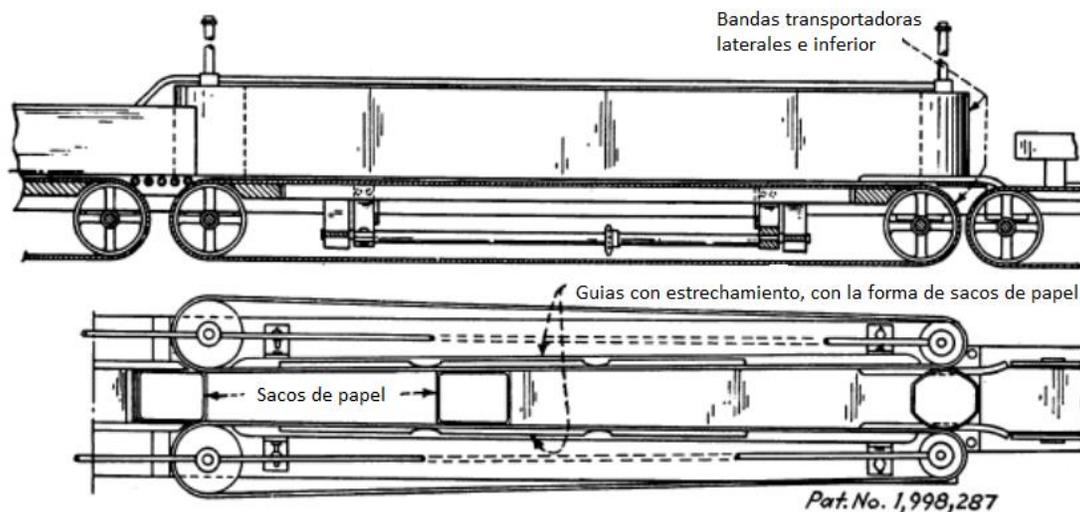
#### Figura 8

*Mecanismo rotatorio de transporte*



Nota: Adaptado de Scatler Neil.

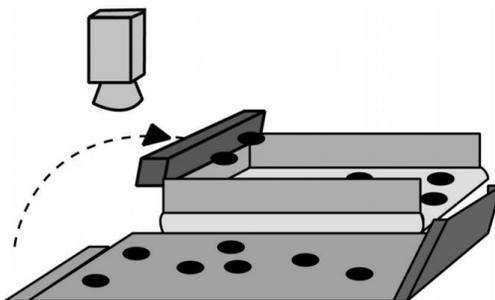
En la figura 9, la acción de las bandas laterales da forma a los sacos de papel para envolver y embalar. Como vemos en la siguiente figura del mecanismo de bandas de transporte y embalado de sacos de papel.

**Figura 9***Mecanismo con bandas de transporte y embalado*

Nota: Adaptado de Scatler Neil.

### 2.1.5. Otros mecanismos

Derby Stephen J menciona un mecanismo de alimentación más complejo, pero adaptativo al cambio de forma del producto que se procesa, dicho mecanismo está “compuesto por una cámara de visión que detecta la orientación y la forma de la pieza en el extremo izquierdo del transportador inferior. Un brazo robótico obtendría esta información y tomaría una pieza para procesarla, si dos o más piezas están enredadas, el sistema de visión no puede determinar la geometría de la pieza, o incluso si una pieza está al revés, las piezas sin procesar se desplazan hacia la izquierda desde el transportador al canal. Cuando el canal está lleno, realiza el movimiento que se muestra en la posición superior y descarga las piezas en el transportador superior” como se ve en la figura 10.

**Figura 10***Mecanismo complejo de alimentación*

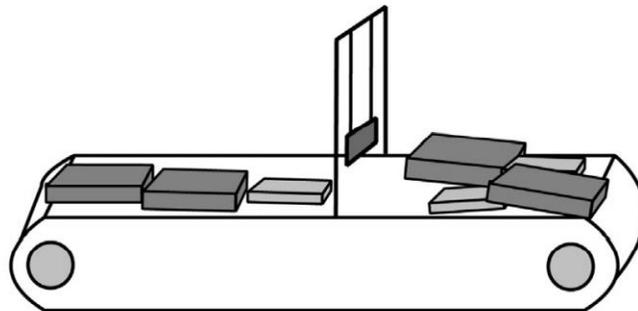
Nota: Tomado de Derby Stephen J.

Derby Stephen J menciona que este mecanismo es una “solución practica que puede ser económicamente justificable a largo plazo”, implicando el brazo robótico puede ser una inversión grande en comparación a otros tipos de alimentadores.

Derby Stephen J da un ejemplo como caso de estudio que aborda la clasificación de cajas en el sistema postal de los estados unidos, los cuales realizaron una serie de experimentos para determinar la solución más adecuada, para ello, muestra dos mecanismos para de dosificar y clasificar el producto que se procesa, o sea las cajas, uno de los mecanismos usa una compuerta que no permite que cajas sobre montadas pasen, logrando así una capa con una sola unidad de piezas como se ve en la figura 11.

### Figura 11

*Mecanismo para derribar piezas apiladas*

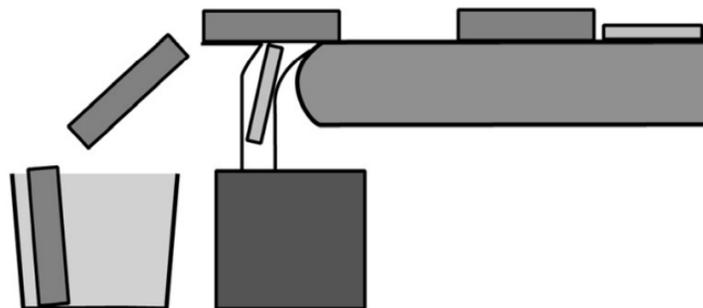


Nota: Tomado de Derby Stephen J.

Por otro lado, un mecanismo que clasifica las piezas usando canales en los que caen según su tamaño y geometría se muestra en la figura 12.

### Figura 12

*Mecanismo de clasificación en cascada*



Nota: Tomado de Derby Stephen J.

Podemos pensar entonces que, los anteriores mecanismos resultan muy útiles para solucionar el problema planteado en este trabajo, ya que, si se logra hacer que estos filtros, puedan ser diseñados para adaptarse a diferentes piezas con tamaños diferentes y obtener una

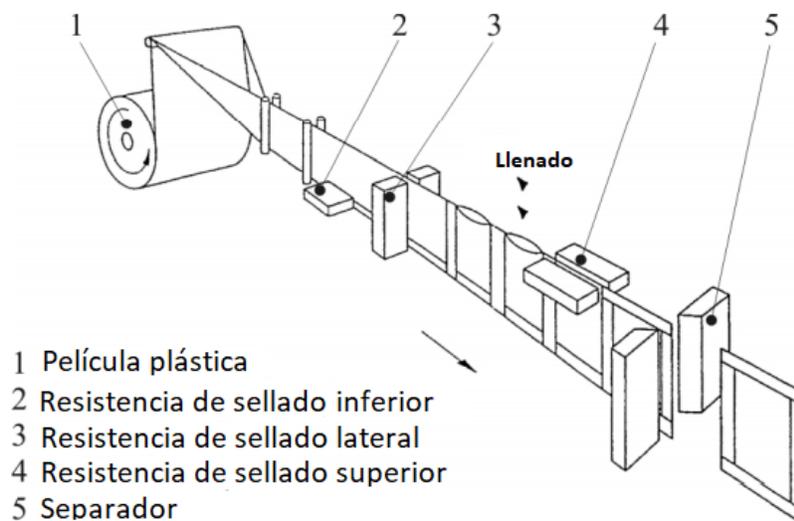
dosificación más precisa. En el caso de la figura 11, podríamos ajustar la compuerta que derriba las piezas apiladas a la dimensión del producto a procesar, o en caso de la figura 12, podríamos ajustar el canal en cascada para dosificar de una manera más controlada la cantidad de piezas.

### 2.1.6. Mecanismos de embolsado

A continuación, se muestran dos sistemas diferentes para la fabricación y llenado de bolsas plásticas a partir de la película de polietileno u otro polímero. En la figura 13, se muestra un sistema horizontal en el que se suministra la película de plástico halada por rodillos de tensión al mismo tiempo que se dobla, luego se sella por debajo, después de esto se hace el sello lateral, después entra en una zona de llenado, para finalmente sellarse por arriba y cortarse.

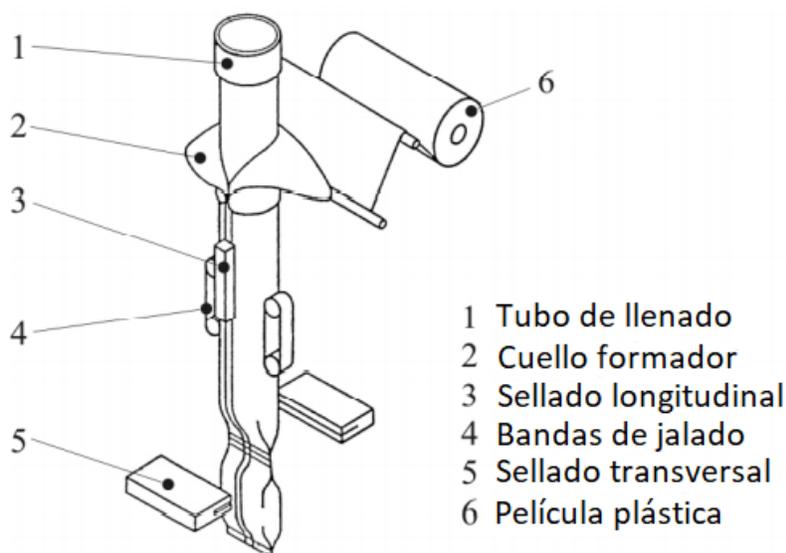
**Figura 13**

*Máquina horizontal de formado de película*



Nota: Adaptado de Thorsten Schmidt.

En la figura 14 se muestra tal vez el sistema más utilizado, con una característica bastante especial, como lo es el cuello de formado, que envuelve un bajante cilíndrico con la película plástica, la bolsa se sella en el traslape lateral y al final de dicho bajante cuando se llena, se hace el sello inferior o superior.

**Figura 14***Máquina vertical de formado de película*

Nota: Adaptado de Thorsten Schmidt.

## 2.2. Métodos de sellado de películas plásticas

### 2.2.1. Sellado por calentamiento con impulso

Este método es el más comúnmente usado para sellar materiales como el poliuretano y el polietileno, debido a que estos requieren de temperaturas moderadas para obtener un buen sellado. Este método está caracterizado por elementos reemplazables de calentamiento, fabricado en una aleación de cromo níquel, que solo se calientan el tiempo necesario para alcanzar la temperatura adecuada para el sellado. Estos elementos de calentamiento son relativamente seguros ya que no alcanzan niveles peligrosos de calentamiento, otras ventajas que podemos mencionar el bajo costo de operación, la capacidad de regular los tiempos de enfriamiento y finalmente la posibilidad de generar corte sin necesidad de una cuchilla solo controlando la temperatura.

### 2.2.2. Sellado por calentamiento constante

Este método requiere de una barra de calentamiento, a la cual se le puede controlar su temperatura, para proveer una fuente de calor constante, lo cual puede ser perjudicial, pero las máquinas modernas de sellado, están provistas de barreras para evitar defectos debido a esta fuente constante de temperatura. Finalmente es más apropiado para aplicaciones que requieran de altas temperaturas.

### 2.2.3. Sellado por calentamiento con ultrasonido

Esta es una técnica desarrollada en los 60's, en la cual se aplican en las dos capas de material una presión y una alta frecuencia de vibración para establecer el sello o fusión, y es aplicable para juntas de plásticos rígidos, como por ejemplo componentes en la industria aeroespacial, fabricación de vehículos o diversos productos de consumo. Una de sus ventajas más relevantes es la capacidad de unir materiales disimiles como plástico y metal o plástico y fibra de carbono.

## 2.3. Instrumentación

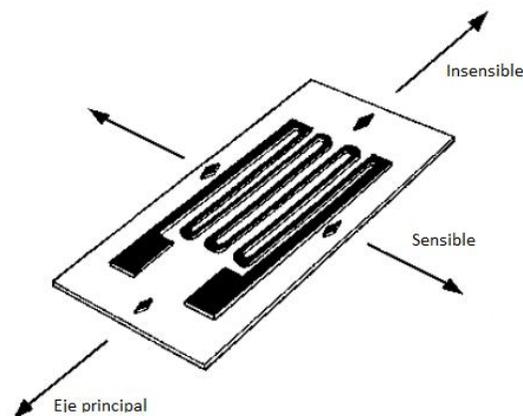
Teniendo en cuenta que uno de los objetivos del empaquetado es determinar un peso o cantidad de piezas específico, es importante repasar la instrumentación existente para realizar dicha acción, esto teniendo en cuenta las características de las piezas, como lo es, el material del cual están hechas, en nuestro caso todas son metálicas, en gran parte de aceros para trabajo en frio, y otra parte en ZAMAC que es una aleación de zinc, aluminio, magnesio y cobre.

### 2.3.1. Medición del peso

**Galgas extensiométricas:** están compuestas de una lámina de metal grabada sobre una película de plástico. La fuerza se mide a partir de la deformación de la lámina en su eje principal, lo cual cambia su resistencia eléctrica.

#### Figura 15

*Galga extensiométrica*



Nota: Adaptado de Love Jonathan.

El comportamiento de estas galgas se rige por las siguientes ecuaciones, la primera representa la ley de Hooke, de acuerdo con esta la tensión o fuerza por área es directamente proporcional a la deformación.

$$\frac{F}{A} = \frac{E\delta L}{L_0}$$

Dado lo anterior, el cambio en la resistencia se puede usar para medir la fuerza, el dispositivo para esto se denomina, medidor de tensión. Además, se debe tener en cuenta que la resistencia es función tanto de la tensión como de la temperatura.

$$R = R_0[1 + a(T - T_0)]$$

Finalmente, la relación ideal de resistencia y deformación se representa por la siguiente ecuación.

$$\frac{\delta R}{R_0} \approx \frac{2\delta L}{L_0}$$

Donde:

*a es el coeficiente de temperatura [C<sup>-1</sup>]*

*A es el area transversal de la lamina [m<sup>2</sup>]*

*E es el Modulo de Young [N m<sup>-2</sup>]*

*F es la fuerza aplicada [N]*

*L es la longitud de la lamina [m]*

*ρ es la resitividad [m Ω]*

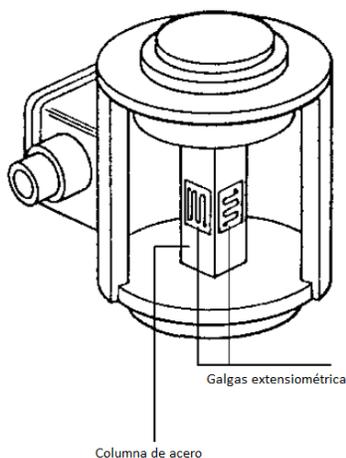
*R es la resitencia [Ω]*

*T es la temperatura [°C]*

**Celdas de carga:** Debido a que las galgas extensiométricas son dispositivos delicados. Para medir el peso en un ambiente industrial, deben montarse en estructuras con el propósito brindar protección y robustez, estas son las denominadas células de carga. Estas pueden tener la capacidad para pesar desde 25 gr hasta 5000 toneladas.

## Figura 16

### *Celdas de carga*



Nota: Adaptado de Love Jonathan.

Cuando es aplicada la carga, esta deforma la columna central por “compresión vertical en proporción a la deformación por tracción lateral de acuerdo con la ley de Poisson, los cuatro medidores forman un puente, con varias resistencias adicionales para equilibrar y calibrar”.

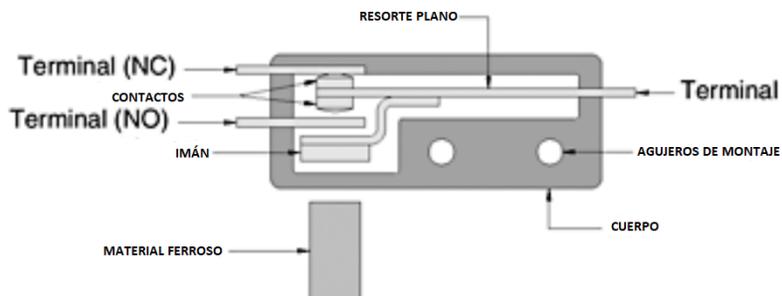
### 2.3.2. *Conteo de piezas*

Otra opción, que puede ser implementada para el control de cantidad de piezas es el conteo de estas con el uso de sensores de proximidad.

**Sensor de proximidad magnético:** son interruptores de lectura a partir de un imán permanente adherido a un conjunto de contactos el cual reaccionan solo a piezas hechas de metales ferrosos.

## Figura 17

### *Sensor magnético*

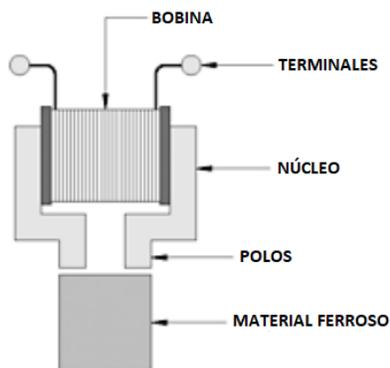


Nota: Adaptado de Elliot Brian S.

**Sensor de proximidad inductivo:** son compuesto por bobinas que detectan presencia por el cambio de su inductancia. Al igual que los sensores magnéticos solo funciona con metales ferrosos, los cuales alteran el campo magnético de la bobina y la resistencia de este cambia.

**Figura 18**

*Sensor inductivo.*

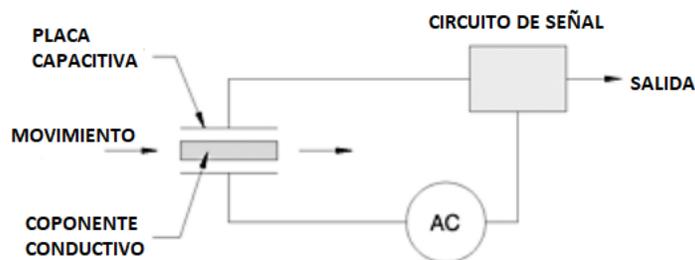


Nota: Adaptado de Elliot Brian S

**Sensor de proximidad capacitivo:** este sensor al contrario de los dos anteriores, se usa para detectar materiales no ferrosos. La capacitancia de estos cambia cuando un material conductor pasa cerca de las placas, lo cual genera una señal.

**Figura 19**

*Sensor capacitivo.*



Nota: Adaptado de Elliot Brian S.

## 2.4. Un vistazo a la PACKEXPO

Una exposición que trata las tendencias e innovaciones en cuanto a la maquinaria de envasado y procesamiento, la cual se realiza en los Estados Unidos y México y que además de realizar eventos presenciales, realiza webinar en los cuales las compañías realizan una muestra de sus avances en dichos temas.

Al entrar a su página podemos tener acceso a muestras videográficas de algunas máquinas de embalaje y procesamiento de la más alta calidad y tecnología. Podemos mencionar algunas, por ejemplo, vemos en la figura 20, una máquina multicabezal de la empresa BROTHER con una geometría circular, compuesta de 4 tolvas, que procesa 4 tipos de productos diferentes, específicamente granos.

### **Figura 20**

*Empaquetador multicabeza*



Nota: Tomado de BROTHER USA MACHINERY.

En la figura 21 se muestra una máquina de empaquetado de flujo lineal, con servomotores que le permiten ajustarse a cualquier tamaño de producto.

### **Figura 21**

*Empaquetador de flujo lineal*



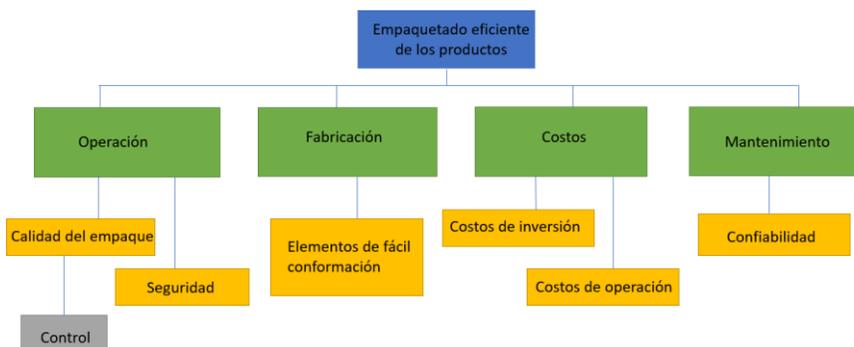
Nota: Tomado de BROTHER USA MACHINERY.

### 3. DESARROLLO DE ALTERNATIVAS

Teniendo en cuenta los requerimientos del problema, y la investigación previamente realizada y mencionada en el anterior capítulo, se desarrollaron tres (3) alternativas base las cuales fueron evaluadas por la empresa y sujetas a retroalimentación, para realizar un diseño adecuado funcional y sin dejar de lado los deseos del cliente. A continuación, se hará una descripción de las alternativas, con su respectivo esquema.

**Figura 22**

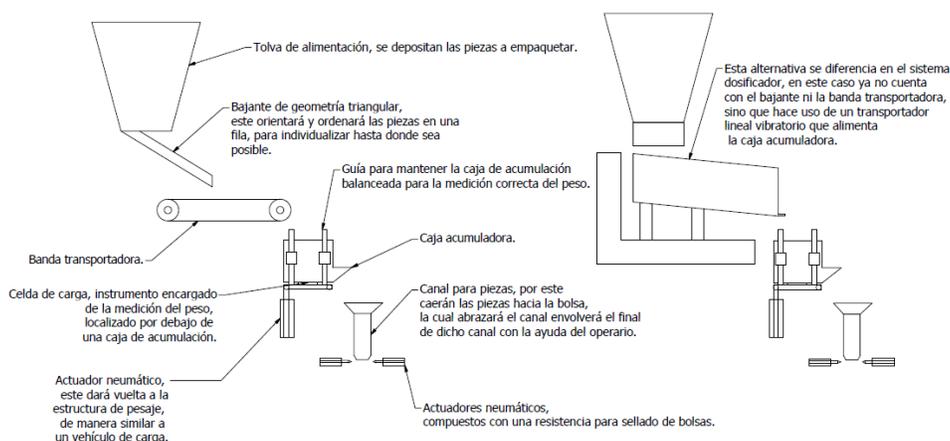
*Árbol de objetivos*



Las dos alternativas que se muestran en la figura 23, están basadas en el procedimiento que se viene realizando en la empresa. En estas se usa una celda de carga para medir el peso de la cantidad programada de una pieza en específico, el objetivo es poder programar dicho peso de manera tal que sea adaptable a todas las piezas que se fabrican en la empresa.

**Figura 23**

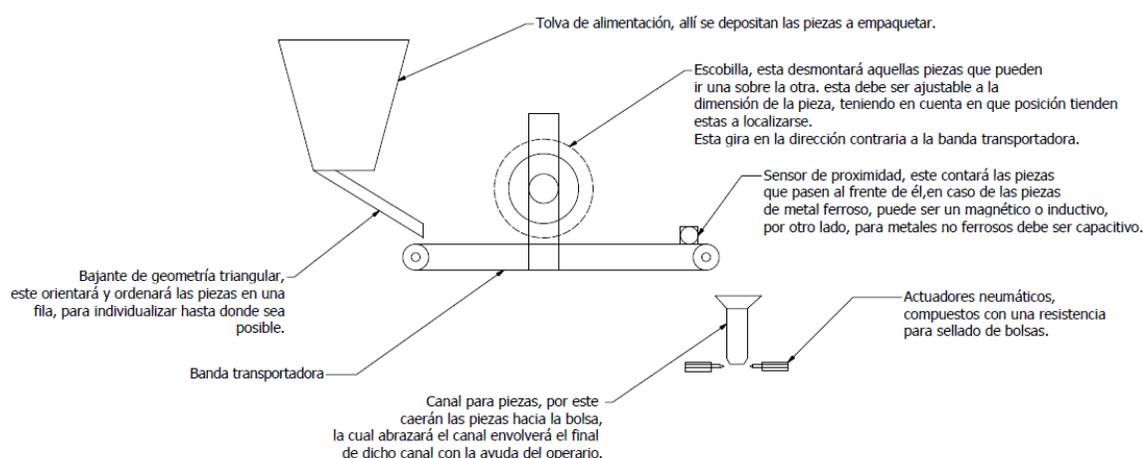
*Alternativas (1) derecha y (2) izquierda, a partir de la medición del peso*



La alternativa que se muestra en la figura 24, es otra forma de realizar el proceso usando otro tipo de sensor, en este caso un sensor de presencia con una frecuencia alta de funcionamiento para el conteo de piezas. Sin embargo, esta alternativa resulta tener algunas desventajas, como lo es el hecho de tener que individualizar las piezas y orientarlas en una fila para una correcta lectura del sensor. Además se debe tener en cuenta que, hay piezas que tienen agujeros y que si van en la posición incorrecta podría causar un error en la lectura del sensor.

**Figura 24**

*Alternativa (3) a partir del conteo de piezas*



### 3.1. Evaluación de alternativas

A continuación, se realiza la ponderación, para la evaluación de las alternativas, y finalmente la selección de una de ellas, como base para el diseño preliminar y posterior diseño final.

**Tabla 3**

*Evaluación de alternativas*

Criterio	Peso	Alternativa 1		Alternativa 2		Alternativa 3		
		Calificación	Valor	Calificación	Valor	Calificación	Valor	
<b>Fabricación</b>	10%	5	5%	5	5%	10	10%	
<b>Mantenimiento</b>	25%	10	25%	0	0%	5	13%	
<b>Costos</b>	<b>Inversión</b>	25%	5	13%	5	13%	5	13%
	<b>Operación</b>	10%	5	5%	0	0%	10	10%
<b>Operación</b>	<b>Calidad</b>	15%	5	8%	5	8%	5	8%
	<b>Seguridad</b>	15%	10	15%	10	15%	5	8%
<b>Acumulado</b>	100%		70%		40%		60%	

Donde 0 es bajo, 5 es medio y 10 es alto.

## 4. SELECCIÓN Y DISEÑO

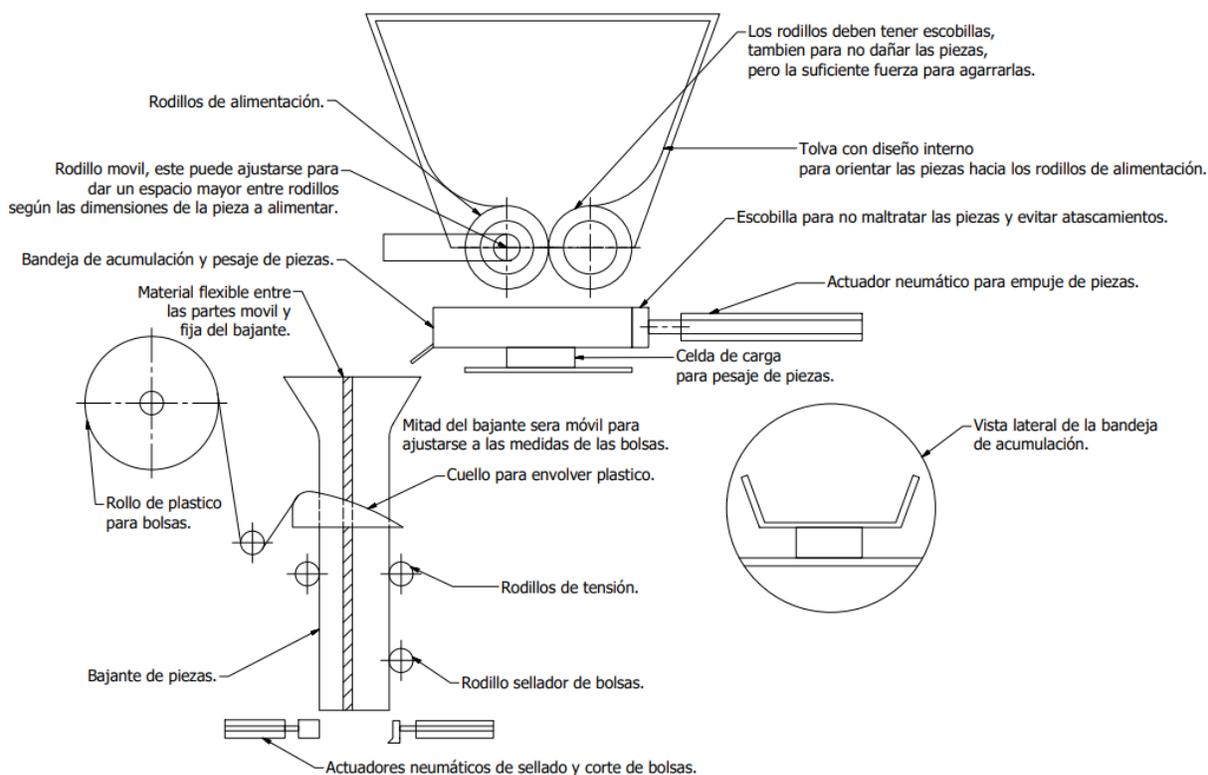
### 4.1. Selección

#### 4.1.1. Diseño preliminar

A partir de las observaciones se realizó un diseño que cumple con los requerimientos del problema primordialmente y atendiendo a las observaciones realizadas por la empresa. Una primera idea del diseño se muestra a continuación.

**Figura 25**

*Diseño preliminar*



Es importante mencionar los dos retos más importantes del diseño, el primero es la alimentación de la bandeja que debe ser suficientemente rápida y precisa, sin afectar la integridad de las piezas y, por último, el hecho de fabricar y llenar los cinco (5) tamaños diferentes de bolsas que se manejan y que ya fueron mencionados anteriormente.

El diseño preliminar que se muestra previamente consta de una tolva con un diseño especial, que orienta las piezas a un punto medio en la salida de dicha tolva, en el cual las piezas se encontrarán con dos rodillos con cerdas o un material blando, los cuales girarán en direcciones contrarias empujando las piezas entre ellos hacia abajo, donde estas caerán a la bandeja de pesaje, una vez alcanzada la cantidad esperada saldrá un actuador neumático armado de una

escobilla que empujara en un barrido las piezas al bajante, alrededor de dicho bajante se halara la película plástica para las bolsas, la cual se ira sellando en su traslape, y finalmente en su fondo.

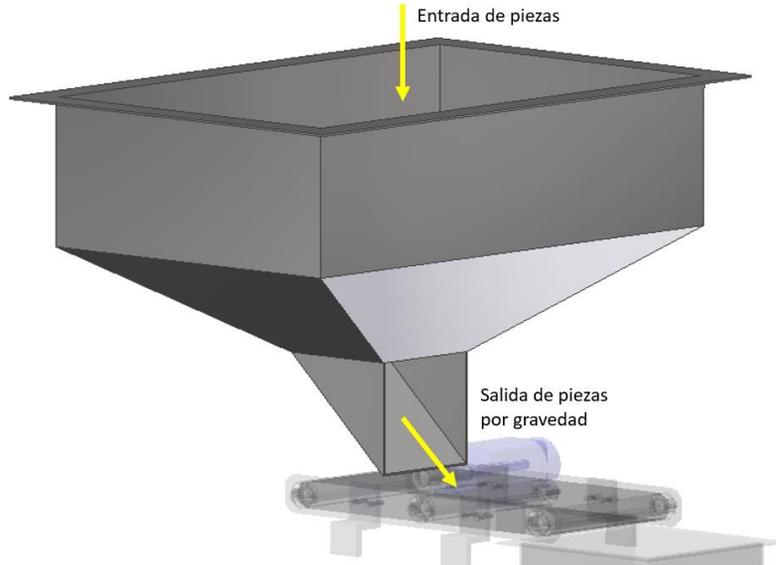
## **4.2. Diseño**

Al analizar el diseño de la alternativa se evidenciaron diversos inconvenientes, en torno a los cuales se realizaron los cambios necesarios para realizar un diseño completamente funcional. El primer inconveniente, fue que la carga directamente sobre los cepillos llevara a un atasco de piezas entre ellos, por lo cual, se implementó una banda transportadora a la salida del bajante de la tolva, el otro inconveniente fue la forma de fabricar, llenar y sellar las bolsas, ya que el diseño vertical con cuello formador solo permitiría un cambio en el largo del paquete, mas no a lo ancho, se analizó cambiar de este sistema a uno horizontal como el mencionado previamente, teniendo en cuenta que, para abrir la bolsa debe estar completamente fabricada e individualizada para no halar la película plástica y con ello causar defectos en la fabricación de las demás bolsas, al estar la bolsa individualizada y en posición vertical con respecto a su largo esta puede doblarse por acción de la gravedad, lo cual es más evidente en las bolsas de mayor tamaño ya que pierden rigidez por sus dimensiones, esto se solucionó dándole al sistema de fabricación de las bolsas un grado de inclinación tal, que la bolsa se asiente sobre una superficie plana, de tal forma que no se doble y permanezca la posición necesaria.

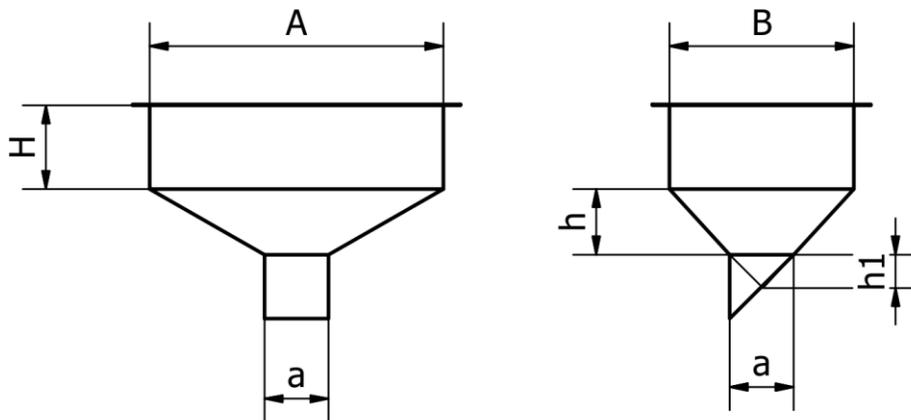
### **4.2.1. Tolva de almacenaje**

La tolva, la cual es el elemento de mayores dimensiones de la máquina, se diseñó teniendo en cuenta tres datos fundamentales, uno es el espacio disponible en la empresa para localizar la máquina, el otro son las cantidades de una misma pieza que se procesan de acuerdo con los pedidos y finalmente, la observación por parte del cliente de llevar las dimensiones al mínimo, en su mayor parte debido a la altura máxima en la que puede trabajar un operario, sin requerir curso de alturas, la cual según a prestadora del servicio de salud SURA es de 1,50 m desde en nivel inferior. Si tenemos en cuenta el pedido más grande que se mencionó en el capítulo de la delimitación, el pedido más grande que se ha demandado es de 1200000 ojáleles con su arandela, esto significa un volumen aproximado de  $2 m^3$ , lo cual daría como resultado una tolva muy grande, por ello nos basamos en un pedido normal de 30000 piezas que da un volumen aproximado de  $0.6 m^3$ .

A la salida de la tolva se agregó un bajante para la caída de las piezas por gravedad dirigidas en el mismo sentido del movimiento de la banda transportadora.

**Figura 26***Descripción de la tolva*

Cálculo del volumen de la tolva:

**Figura 27***Esquema y dimensiones de la tolva*

Para el cálculo del volumen de la tolva la dividimos en tres partes, la superior y al inferior son paralelepípedos de área transversal cuadrada y la parte media se puede representar por una pirámide truncada. Finalmente, está dado por la siguiente ecuación:

$$V_{total} = V_{prisma} + V_{piramide\ de\ base\ AB} - V_{piramide\ de\ base\ a}$$

$$V = A(B)(H) + \frac{A(B)(h)}{3} - \frac{a^2(h_1)}{3}$$

Teniendo en cuenta el diseño final en el cual dimos una altura mínima de 1,80 m, el volumen finalmente es de:

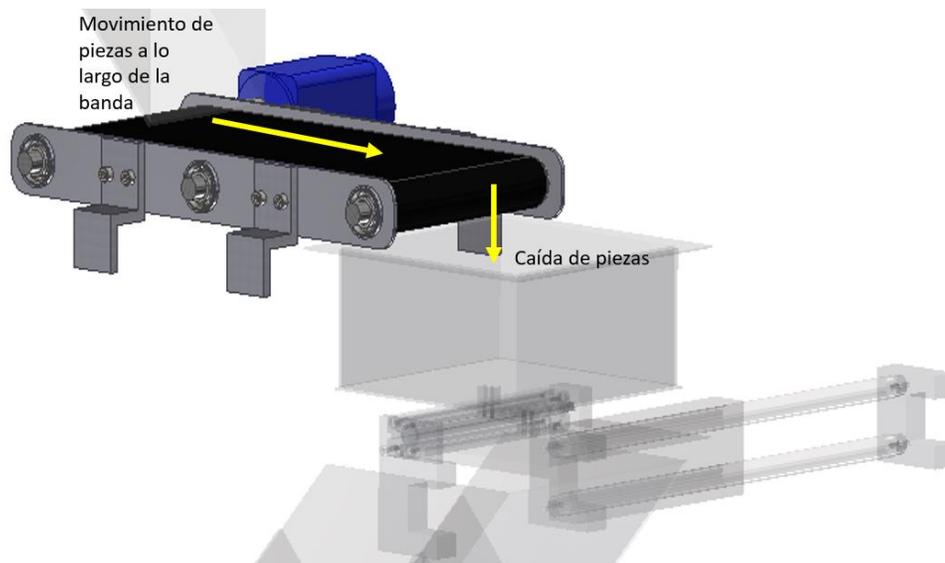
$$V = 0,806(0,506)(0,230) + \frac{0,806(0,506)(0,180)}{3} - \frac{0,176^2(0,0918)}{3} = 0,117 \text{ m}^3$$

#### 4.2.2. Banda de alimentación

Localizada justo a la salida del bajante de la tolva, del cual las piezas caerán por acción de la gravedad, transportará las piezas hasta el punto donde estas caerán a la bandeja de pesaje hasta que la señal de la celda de carga indique que se ha alcanzado la cantidad adecuada específica de piezas, en este momento la banda se detendrá. Este proceso se repetirá hasta terminar con la cantidad de piezas total a empacar.

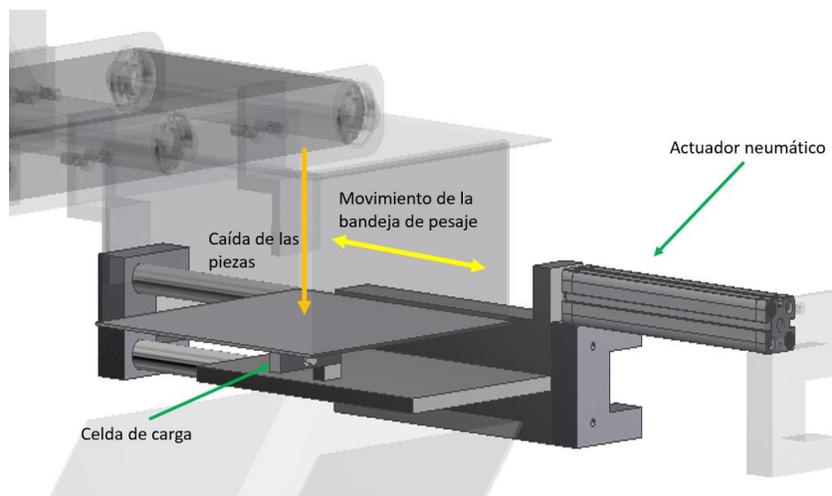
#### Figura 28

Descripción de la banda transportadora

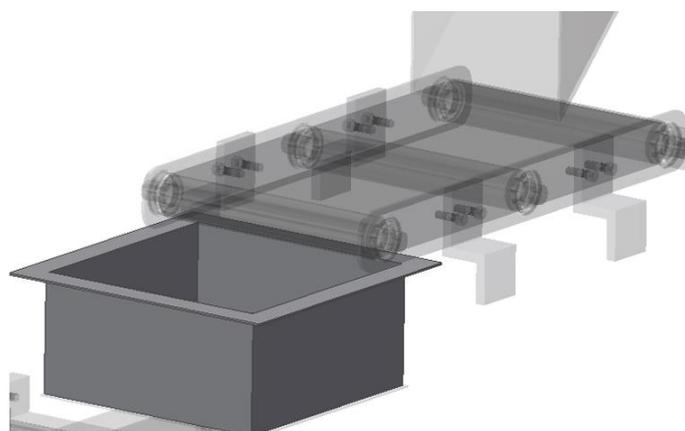


#### 4.2.3. Bandeja de pesaje

Esta tiene un diseño simple, su objetivo es que las piezas se acumulen en ella sin regarse, además, de mantenerse en una posición horizontal de manera tal que no se recarguen las piezas hacia un lado, y con ello se tenga una medición incorrecta del peso. Esta se unirá a la celda de carga, la cual a su vez se unirá al soporte que le dará movimiento a la bandeja a partir de un actuador neumático que se activará una vez se haya llegado al peso indicado, las piezas chocarán con las paredes de la tolva de acumulación y caerán al bajante de llenado.

**Figura 29***Descripción del sistema de pesaje***4.2.4. Tolva de acumulación**

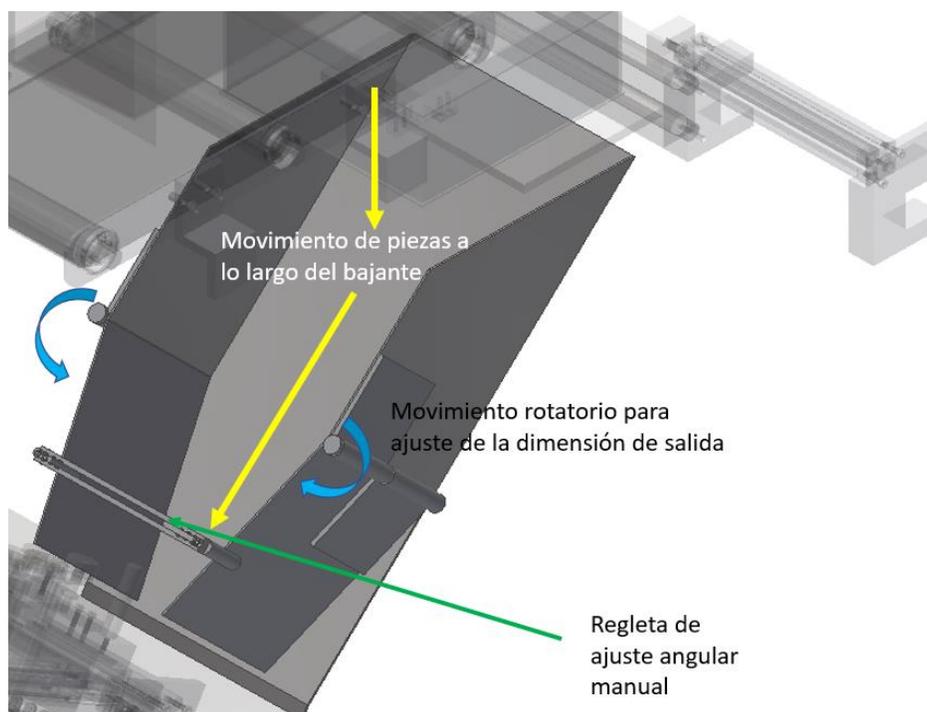
Este artículo no son más que paredes que evitan que las piezas caigan de la bandeja de pesaje, y además las empujaron hacia el bajante cuando dicha bandeja se mueva por la acción de un actuador neumático.

**Figura 30***Descripción de la tolva de acumulación***4.2.5. Sistema de caída de piezas**

Compuesto por un canal ancho en principio para recibir las piezas que caen de la bandeja de pesaje, y por dos paredes móviles al final de dicho canal, que ajustaran su ángulo, de forma manual, de acuerdo con el ancho de la bolsa que vaya a ser llenada, y a un eje central que será el mismo para todas las bolsas, de acuerdo con el ajuste de la mordaza de sellado y corte lateral.

## Figura 31

### Descripción del bajante de llenado

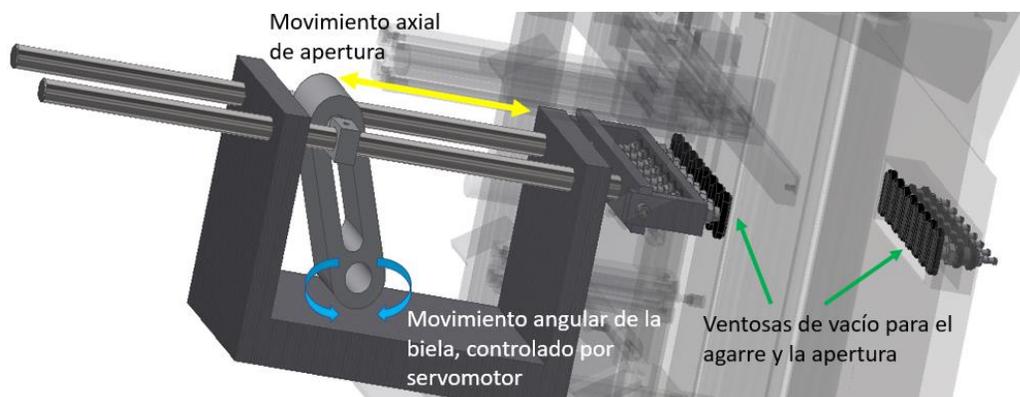


#### 4.2.6. Sistema de apertura de bolsas

Dieciséis (16) Ventosas, ocho (8) de cada lado, se encargarán a partir de la generación de vacío de abrir la bolsa justamente debajo del bajante. En un lado estarán unidas a la placa de asiento de la bolsa y quedarán fijas en una posición, del otro lado, estarán conectadas a un mecanismo manivela-biela-corredera, accionado por un servomotor, para así controlar su movimiento axial, y perpendicular a la bolsa, con el fin de generar un tamaño de apertura diferente según el tamaño de la bolsa, por el cual también, solo se activarán las ventosas que sean necesarias. El servomotor se activará una vez se halla cortado y sellado la bolsa lateralmente, o sea, que el actuador neumático correspondiente a tal función se allá activado y desactivado, cerrará el espacio entre las ventosas, estas se activarán, abrirá este espacio el tamaño suficiente y se procederá al llenado de la bolsa. Finalmente se volverá a cerrar el espacio entre las ventosas para que se active el sellado superior.

**Figura 32**

*Descripción del sistema de apertura*



#### 4.2.7. Sistema de sellado y corte de bolsas

Para el diseño de las mordazas de corte y de sellado, se debió seleccionar el método a utilizar a continuación, se realiza una ponderación para seleccionar el más adecuado.

**Tabla 4**

*Ponderación para la evaluación del método de sellado*

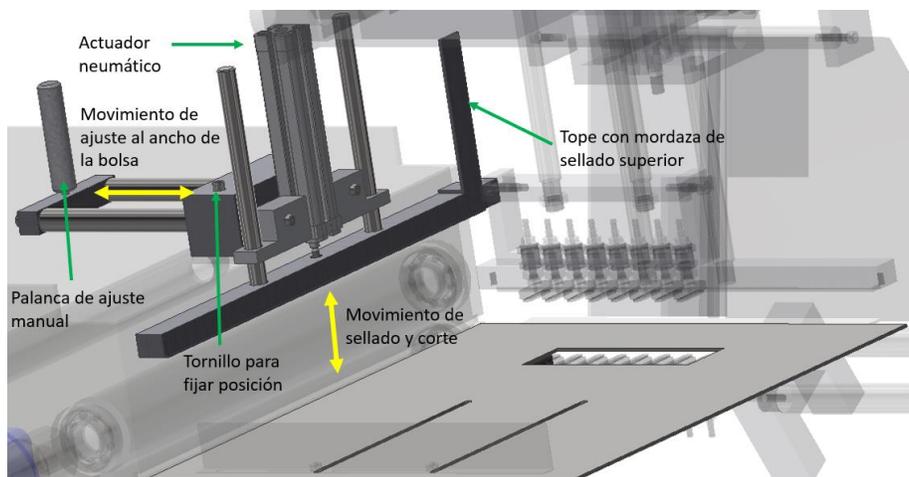
Criterio	Peso	Sello por impulso		Sello por calor constante		Sello por ultrasonido	
		Calificación	Valor	Calificación	Valor	Calificación	Valor
<b>Fabricación</b>	10%	5	5%	5	5%	5	5%
<b>Mantenimiento</b>	25%	5	13%	10	25%	5	13%
<b>Costos</b>							
<b>Inversión</b>	25%	5	13%	5	13%	0	0%
<b>Mantenimiento</b>	10%	5	5%	5	5%	5	5%
<b>Funcionalidad</b>	30%	10	30%	5	15%	0	0%
<b>Acumulado</b>	100%		65%		63%		23%

Como se aprecia en la tabla anterior, para nuestra aplicación decidimos que la alternativa que más se ajusta es la del sellado por impulso.

Este sistema estará conformado por un soporte en el cual irán ensamblados los ejes guías de la mordaza de sellado y corte lateral, y además los ejes de ajuste, según el ancho de la bolsa. Dicho ajuste se hará manualmente y se llevará hasta el tope con la mordaza de sellado superior. Una vez allí se apretará el tornillo para fijar la posición y evitar desajustes y problemas dimensionales de sellado.

**Figura 33**

*Descripción del sistema de sellado y corte lateral*

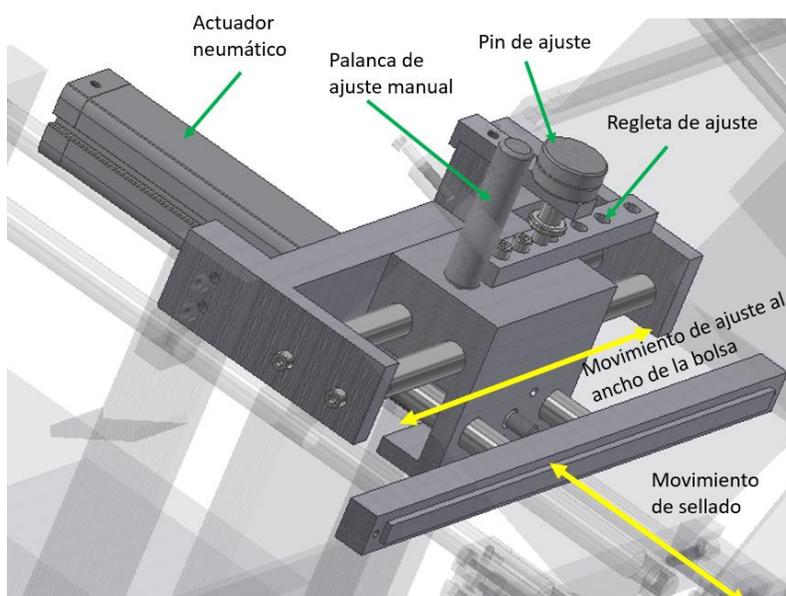


#### **4.2.8. Sistema de corte superior**

Al igual que el sistema de sellado de corte y sellado lateral este estará compuesto por un soporte para los ejes guías del movimiento de la mordaza y el ajuste de tamaño. Con la diferencia que este soporte tendrá una regleta en la cual se alojará un pin de ajuste cualquiera de los cinco (5) agujeros correspondientes a cada tamaño de bolsa. Este ajuste se hará de manera manual.

**Figura 34**

*Descripción del sistema de sellado superior*

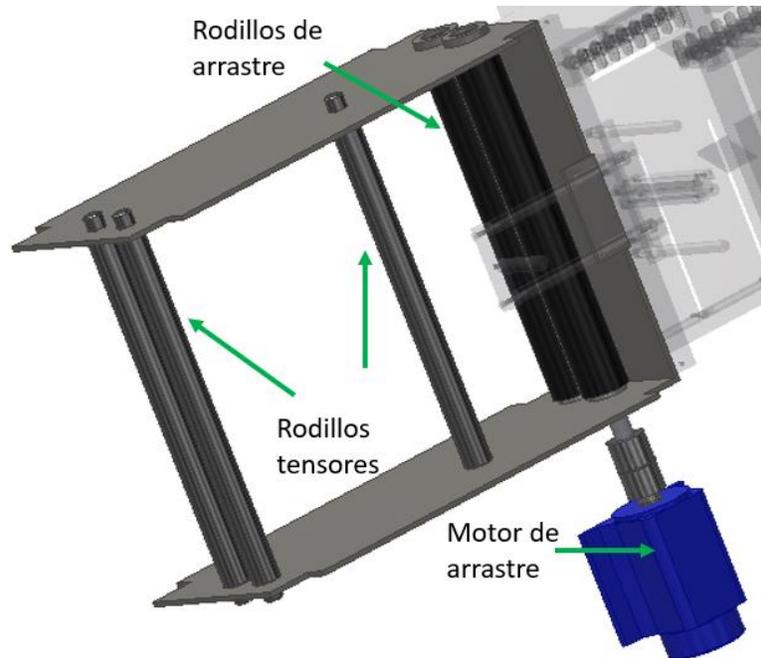


#### 4.2.9. Sistema de manejo de la película plástica

Accionados por un motor, y recubiertos por un polímero, estos rodillos estarán encargados de halar la película plástica para ser alimentada entre las mordazas de sellado y corte y justo debajo su correspondiente bajante. darán la fuerza necesaria sin que la película plástica se deforma. Estos estarán dispuestos de dos rodamientos angulares para permitir su rotación libre y soportar as cargas presentes.

#### Figura 35

Descripción del sistema de arrastre de película plástica



##### 4.2.9.1. Cálculo de potencia para la selección del motor

Según Hawkins la tensión de la película plástica debe tener un valor a lo largo del arreglo de rodillos entre el 5 y el 10 % del límite de fluencia del material, para evitar la deformación permanente de esta. Calculamos la tensión para las bolsas con ancho mayor de 340 milímetros y menor de 130 milímetros, con un calibre de 0.1 milímetros. Para el polietileno de baja densidad se tiene que el valor del límite de fluencia dado por MATWEB es de 11 Mpa.

A continuación, se calculan las áreas transversales.

$$A_m = 270mm(0,1 mm) = 27 mm^2$$

$$A_M = 130mm(0,1 mm) = 13 mm^2$$

La fuerza máxima para alcanzar la deformación plástica será:

$$F_{max-m} = 27 \text{ mm}^2 \left( 11 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right) = 297 \text{ N}$$

$$F_{max-M} = 13 \text{ mm}^2 \left( 11 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right) = 143 \text{ N}$$

Tomamos la fuerza menor como referencia para seguir el cálculo de tensión y recordamos que no debe sobrepasar el 10 %.

$$F < 14,3 \text{ N}$$

Con el anterior valor, y con una eficiencia asumida de 99%, y un número de dos (2) rodillos, se tiene que la fuerza en la bobina será de:

$$F_{bobina} = 0,99^2(14,3 \text{ N}) = 14,01 \text{ N}$$

Con la fuerza hallada anteriormente, y con el radio de la bobina de plástico se tiene que la tensión es de:

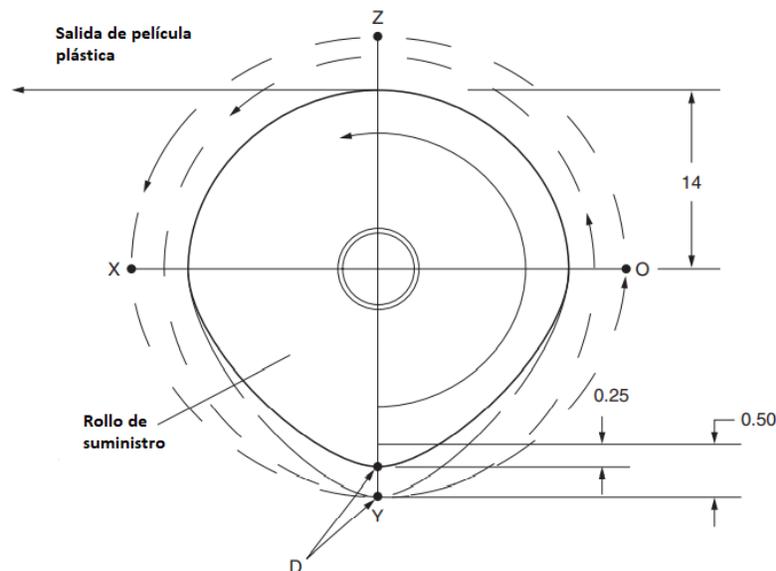
$$T = 14,01 \text{ N} * r = 14,01 \text{ N} * 0,225 \text{ m} = 3,153 \text{ Nm}$$

Las bobinas de película plástica tienen un radio aproximado de 45 cm y un peso de 50 kg. A una velocidad lineal suficiente para hacer la bolsa más grande en un minuto, lo cual significa un valor de 0,27 metros por segundo.

En la siguiente figura se muestra el comportamiento de una bobina de película plástica.

### Figura 36

*Comportamiento de rollo de película plástica*



La longitud descrita por el radio entre los puntos O y X:

$$S_{OX} = r\theta = r\pi = 22,5 \text{ cm} * \pi = 70,69 \text{ cm}$$

La longitud de arco descrita entre los puntos X y Y: (suponiendo una caída de 12 mm)

$$S_{XO} = 2 \left( \frac{(r_x + r_y) \pi}{2} \right) = 2 \left( \frac{(22,5 + 23,7) \pi}{2} \right) = 72,57 \text{ cm}$$

$$S_{XY} = S_{YO} = 36,285 \text{ cm}$$

La velocidad angular de D entre X y O es de:

$$\omega_{OX} = \frac{V}{r} = \frac{27 \text{ cm/s}}{22,5 \text{ cm}} = 1,2 \text{ rad/s}$$

La velocidad angular de D entre O y Z es de:

$$\omega_{OZ} = \frac{\omega_O + \omega_Z}{2} = \frac{1,2 + 1,14}{2} = 1,17 \text{ rad/s}$$

El tiempo de D entre X y O es de:

$$t_{OX} = \frac{S_{OX}}{r_X(\omega_{OX})} = \frac{70,69 \text{ cm}}{22,5 \text{ cm}(1,2 \text{ rad/s})} = 2,618 \text{ s}$$

El tiempo de D entre O y Z es de:

$$t_{OZ} = \frac{S_{XY}}{r_Y(\omega_Z)} = \frac{36,825 \text{ cm}}{23,7 \text{ cm}(1,14 \text{ rad/s})} = 1,363 \text{ s}$$

La aceleración de la bobina para el punto D desde O hasta Z es de:

$$\alpha_{OZ} = 2 \frac{\omega_{OZ} - \omega_{OX}}{t_{OZ}} = 2 \frac{1,17 - 1,2}{1,363} = -0,044 \text{ rad/s}^2$$

La inercia rotacional:

$$I_c = \frac{m}{2} (r_1^2 + r_2^2) = \frac{50}{2} ((7 \text{ cm})^2 + (22,5 \text{ cm})^2) = 13881,25 \text{ kg} \cdot \text{cm}^2$$

El torque requerido para acelerar el rollo será de:

$$T = I_c(\alpha_{OZ}) = 13881,25 \text{ kg} \cdot \text{cm}^2 \left( -0,044 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \right) = -610,775 \text{ kg} \cdot \frac{\text{cm}^2}{\text{s}^2} = -0,061 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Las RPM promedio de la bobina serían de:

$$RPM_{prom} = \frac{V}{S_{OX} + S_{XY}} 60 = \frac{27}{70,69 + 72,57} 60 = 9,214 \text{ RPM}$$

La potencia necesaria para acelerar la bobina de plástico será:

$$P = \frac{T(RPM)}{9550} = \frac{-0,061(9,214)}{9550} 1000 = -0,05 W$$

#### 4.2.10. Rodillos de tensión y arrastre

Estos son necesarios para garantizar que la película plástica tenga la misma velocidad a lo largo de su área evitando así arrugas que puedan significar defectos en el producto final del proceso de fabricación de las bolsas.

#### Figura 37

*Rodillo de tensión y de arrastre*



#### 4.2.11. Rodillo de soporte para el rollo de película plástica.

Este será el rodillo sobre el cual se pondrá el rollo de película plástica, este se soportará por dos rodamientos angulares que a su vez se soportarán sobre la estructura, en dos puntos de manera tal que pueda ponerse o quitarse con facilidad, o sea, este rodillo no estará empotrado para facilitar la colocación del rollo. A demás también tendrán dos mordazas para ajustarse al tamaño de la bolsa y ajustar también la altura de alimentación, esto último para garantizar que el borde superior de la bolsa sin importar su tamaño siempre pase por el mismo “origen”, o sea, se dejara la mordaza superior fija y se ajustara la mordaza inferior.

#### Figura 38

*Rodillo de soporte del rollo de película plástica*



## 5. SELECCIÓN DE MATERIALES Y SIMULACIONES DE CARGA

### 5.1. Selección de materiales

Para la selección de materiales, nos remitimos a las recomendaciones de Romeva en su libro sobre selección de materiales para el diseño de maquinaria, en el cual menciona las siguientes aplicaciones de los aceros según su aplicación.

**Tabla 5**

*Selección de materiales para maquinaria*

<b>Tipo de acero</b>	<b>Aplicación</b>	<b>Ejemplos</b>
<b>Acero de bonificación</b>	Piezas sometidas a fatiga	Árboles, ejes, cigüeñales, bulones, bielas, palancas
<b>Acero de endurecimiento superficial</b>	Piezas de enlaces en las máquinas	Cojinetes, guías de deslizamiento, rodamientos, ruedas dentadas, levas.
<b>Aceros de alto límite elástico</b>	Piezas expuestas a deformaciones elásticas	Resortes
<b>Aceros para mecanizar</b>	Piezas que requieren un gran volumen de mecanizado para su fabricación	Elementos roscados

Este autor también menciona que dependiendo de la exigencia y las dimensiones de los ejes pueden o no hacerse en un acero no tratado un acero bonificado.

Con respecto a las exigencias del problema, se tuvo en cuenta que el ambiente en el cual estaría la máquina estaría expuesto a la humedad del aire y algunas otras sustancias como grasas, por otro lado, las superficies por las cuales se mueven las piezas a procesar estarían expuestas también a un desgaste por fricción.

Por lo anterior también tendremos en cuenta los aceros inoxidable para la fabricación de algunos elementos. Romeva los clasifica de la siguiente manera: Aceros inoxidables, martensíticos, ferríticos, austeníticos.

Por otro lado, también tenemos los metales no ferrosos como otra opción a elegir, por ejemplo, el aluminio, que como lo menciona Romeva, si se toman propiedades mecánicas como la resistencia y se relaciona con propiedades físicas como la densidad, aventajaría a los aceros en determinadas aplicaciones.

Finalmente, otro parámetro importante sería, el parámetro de costos, el cual se debe llevar al mínimo posible para garantizar la viabilidad de la alternativa y así poderse llevar a cabo.

**Tabla 6***Selección de materiales para el diseño*

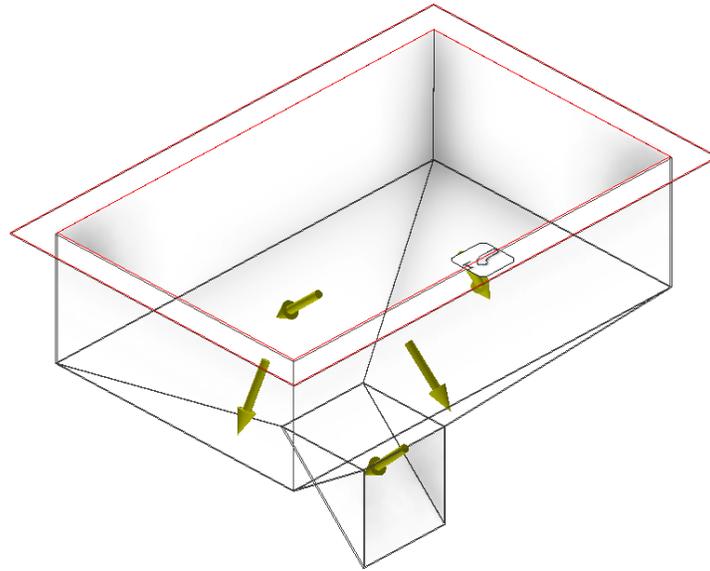
Componente	Restricciones		Material	Designación
	Deformación por cargas	Desgaste por fricción		
Estructura	X		Acero estructural	A36
Tolva de almacenaje	X	X	Acero inoxidable	AISI 304
Tolva de acumulación	X		Acero inoxidable	AISI 304
Bajante de llenado	X	X	Acero inoxidable	AISI 304
Paredes ajustables	X	X	Acero al inoxidable	AISI 304
Placa de asiento	X		Acero inoxidable	AISI 304
Soporte de rodillos	X	X	Acero inoxidable	AISI 304
Marco de soporte	X		Acero al C	AISI/SAE 1020
Soportes de ejes de ajuste y movimiento		X	Acero al C	AISI/SAE 1010
Ejes	X	X	Acero al C	AISI/SAE 1045
Mordazas de sellado			Acero al C	AISI/SAE 1020
Rodillos		X	Acero al C	AISI/SAE 1045
Manivela	X	X	Acero al C	AISI/SAE 1020
Palancas de ajuste			Acero al C	AISI/SAE 1020

## 5.2. Simulaciones y análisis de resultados

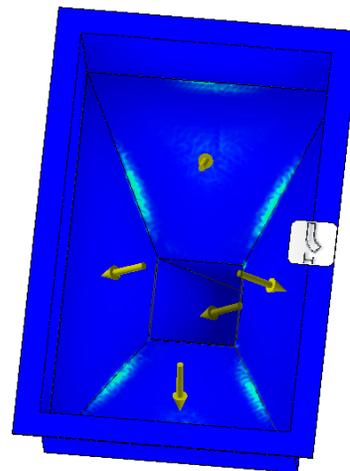
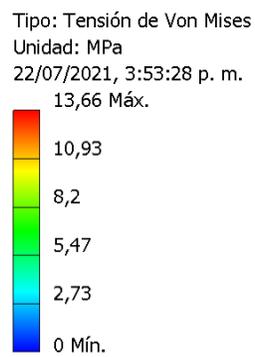
Suponiendo que la tolva está completamente llena por piezas de lámina pequeñas (ojájeles que representan el pedido más grande) tenemos que la carga aplicada en las paredes inferiores será de 38 kilogramos, que significan 70200 piezas. Esta carga la dividimos en 5, una parte que estará sobre el bajante a la salida de la tolva, representado por el volumen de un prisma cuya base son las dimensiones de salida de la tolva, las otras 4 serán las paredes inclinadas que se supondrán iguales.

**Figura 39**

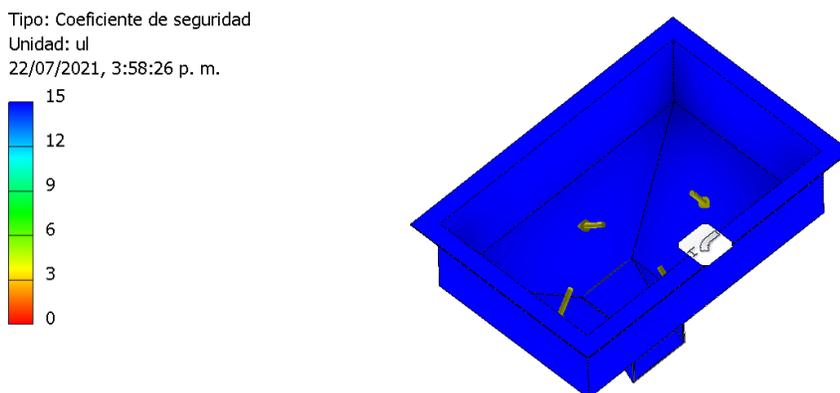
*Distribución de cargas en la tolva*

**Figura 40**

*Simulación de la tolva bajo el criterio de Von misses*

**Figura 41**

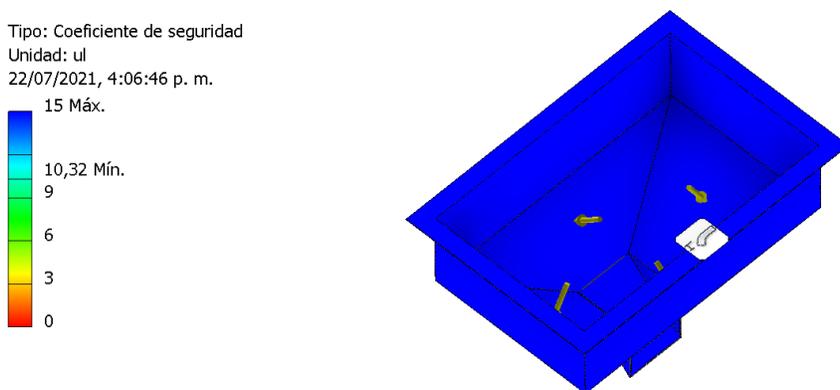
*Simulación de la tolva bajo el criterio del factor de seguridad (espesor 3 mm)*



Como se aprecia, según el coeficiente de seguridad, la tolva puede aguantar 15 veces la carga a la que estará expuesta, incluso con un calibre relativamente pequeño de 3 mm. Reduciendo dicho calibre podemos ver que igual la tolva resistirá sin problemas la carga.

**Figura 42**

*Simulación de la tolva bajo el criterio del factor de seguridad (espesor 2 mm)*



Por otro lado, se realizó el análisis de cargas a la estructura que soportara todos los componentes de la máquina. Que en principio se diseñó con un perfil de 40 cm x 40 cm x 2 cm. Dichas cargas se refieren a los pesos de los componentes y al igual que en el análisis de la tolva, se supondrá que esta está totalmente llena. Este análisis se realizó con la herramienta de análisis de estructura en INVENTOR. A continuación, se muestra la tabulación de los pesos de los elementos que componen la máquina y las cargas equivalentes con las cuales se realizará esta simulación.

**Tabla 7***Masa de los componentes por sistema.*

<b>Elemento</b>	<b>Masa [Kg]</b>	<b>Sistema</b>
<b>Tolva (llena)</b>	55,54	Almacenamiento
<b>Banda transportadora</b>	24,649	Transporte
<b>Tolva de pesaje</b>	2,289	Acumulación
<b>Soporte de la placa de acumulación</b>	8,615	Pesaje
<b>Placa de acumulación y pesaje</b>	1,028	
<b>Soporte de ejes guía de la placa de pesaje (2)</b>	1,066	
<b>Soportes del actuador de la placa de pesaje</b>	1,35	
<b>Eje de soporte de la bandeja</b>	1,276	
<b>Actuador 1</b>	4,2	
<b>Bajante de llenado</b>	4,003	
<b>Bisagra (4)</b>	0,435	
<b>Pared ajustable (2)</b>	0,598	
<b>Eje de bisagra</b>	0,08	
<b>Placa de asiento de la bolsa</b>	2,293	Asiento
<b>Tope inferior</b>	0,08	
<b>Ventosas (8)</b>	0,232	
<b>Banco del sistema de apertura</b>	12,041	Apertura y sellado
<b>Eje guía transversal de las ventosas</b>	0,15	
<b>Manivela</b>	0,17	
<b>Eje axial de ventosas (2)</b>	0,627	
<b>Unión de soportes de las ventosas</b>	0,041	
<b>Soporte de ventosas</b>	0,038	
<b>Soporte estructural</b>	3,848	
<b>Soporte de sellado superior</b>	1,831	
<b>Soportes de eje transversal de mordaza superior</b>	2,32	
<b>Regleta de ajuste</b>	0,121	
<b>Eje guía de mordaza superior (2)</b>	0,248	
<b>Eje ajuste transversal de mordaza superior (2)</b>	0,3	
<b>Mordaza de sellado superior</b>	0,767	
<b>Actuador 2</b>	3,15	
<b>Ventosas 2 (8)</b>	0,232	
<b>Soporte de rodillos</b>	13,129	fabricación de bolsa
<b>Rodillo tensor (3)</b>	2,206	

<b>Rodillo de arrastre (2)</b>	5,753	
<b>Soporte de ejes de ajuste mordaza lateral</b>	1,14	
<b>Eje guía mordaza de sellado y corte (2)</b>	0,13	
<b>Soporte de ajuste de la mordaza lateral</b>	0,322	
<b>Mordaza de sellado y corte</b>	0,993	
<b>Actuador 3</b>	1,68	
<b>Eje de soporte de rollo de película plástica</b>	0,995	
<b>Mordazas de sujeción de rollo</b>	2,139	
<b>Rollo</b>	50	

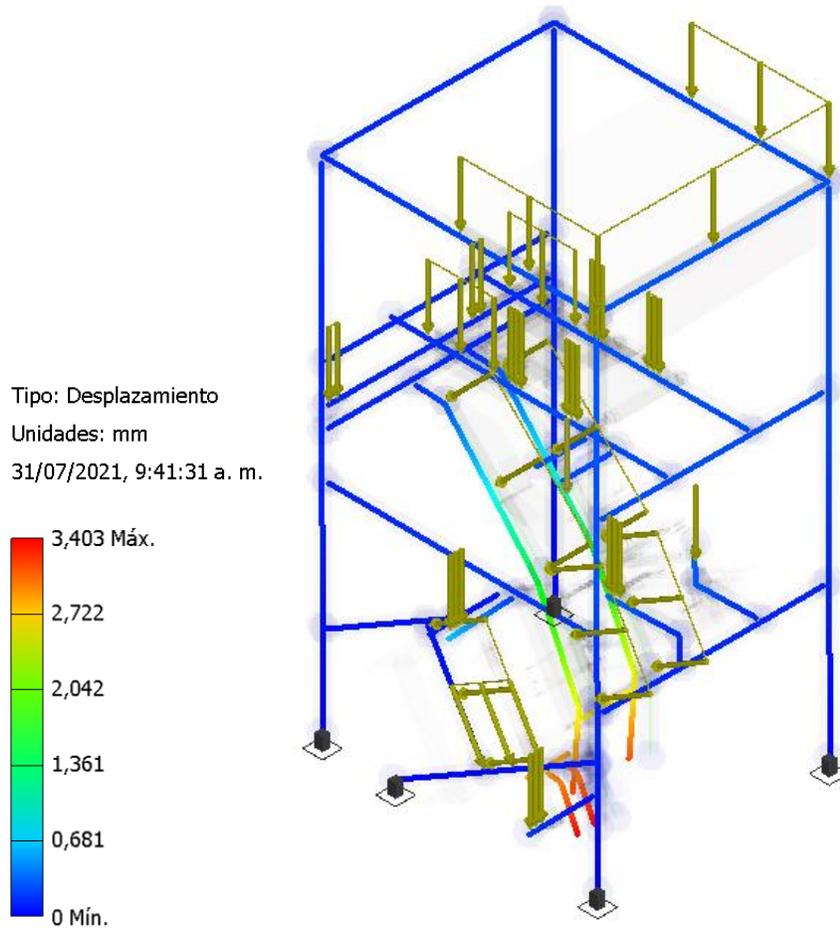
**Tabla 8***Cargas equivalentes*

<b>Sistema</b>	<b>Peso equivalente [N]</b>	<b>Numero de apoyos</b>	<b>Longitud [mm]</b>	<b>Carga [N/mm]</b>
<b>Almacenamiento</b>	544,292	3	1348	0,404
<b>Transporte</b>	241,560	4	160	1,510
<b>Acumulación</b>	22,432	2	240	0,093
<b>Pesaje</b>	171,843	2	60	3,864
<b>Llenado</b>	50,137	2	4072	0,012
<b>Asiento</b>	25,529	2	364	0,070
<b>Apertura y sellado</b>	253,663	3	120	2,114
<b>Fabricación de bolsa</b>	248,459	2	243(395)	0,47(0,5)
<b>Rollo de película plástica</b>	520,713	2	80	6,509

A continuación, se muestran los resultados arrojados por el análisis estructural arrojado por el software INVENTOR, con respecto a la deformación y la tensión de la estructura que soportará los elementos que componen la máquina, para ello se usaron los valores obtenidos en las tablas 7 y 8, con los cuales se caracterizaron las cargas. Tanto el resultado de desplazamiento como el de tensión concluyen que la estructura resistirá las cargas a las cuales está expuesta e incluso se podría optimizar más, lo cual se puede dejar para un próximo estudio de la alternativa.

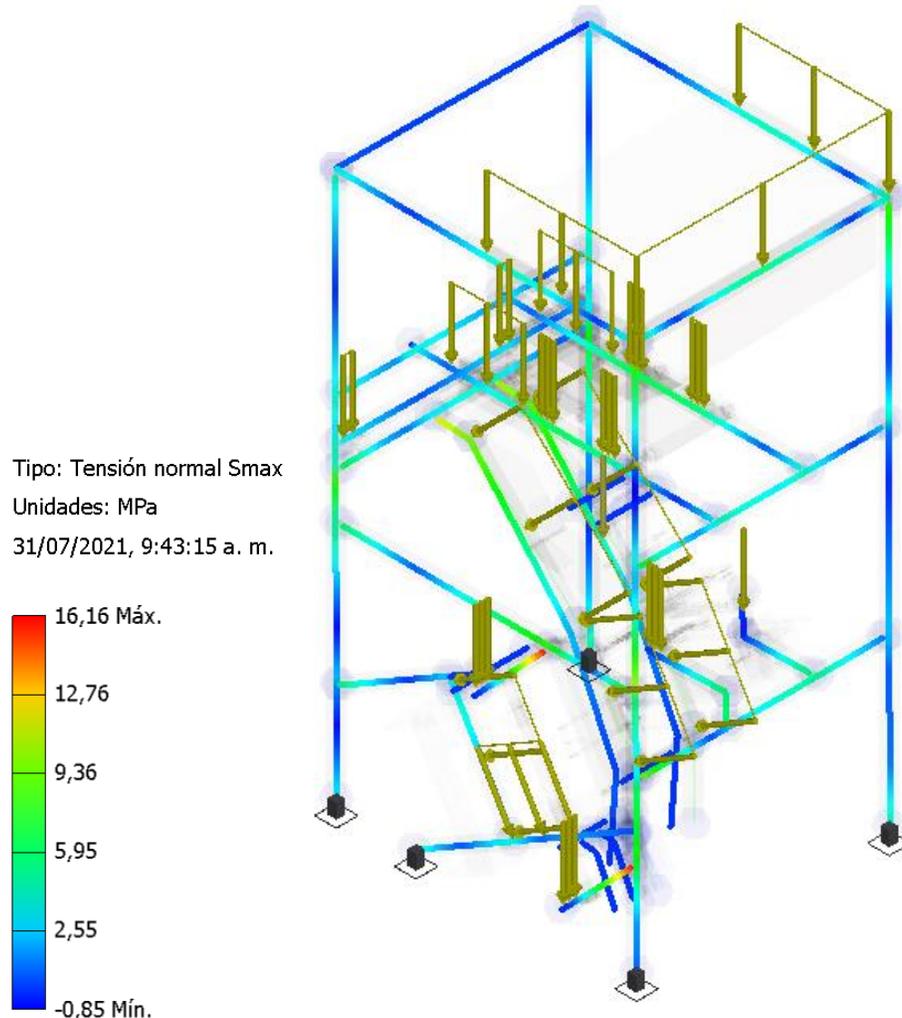
**Figura 43**

*Simulación de la estructura bajo el criterio de deformación*



**Figura 44.**

*Simulación de la estructura bajo el criterio de tensión máxima*



## 6. CONTROL Y PROGRAMACIÓN

### 6.1. Secuencia del proceso

Paso 1: El operario realizara los ajustes manuales de las mordazas de sellado y la salida del bajante de llenado según el tamaño de bolsa a trabajar, llenará la tolva de piezas con una tanda de piezas y finalmente llevara la película plástica hasta después de la mordaza de sellado lateral.

Paso 2: El operario hará la calibración igual que lo hace en el proceso habitual. Esto con el objetivo de calibrar el sistema de pesaje para una pieza en específico. Ingresara en el PLC el

número de piezas. El cual arrojara en la bandeja de pesaje para que la celda de carga mida el peso de dicha cantidad, para finalmente relacionar ambos valores.

Paso 3: El motor de arrastre alimentará la longitud de película correspondiente según su velocidad de trabajo. El actuador de sellado y corte lateral saldrá para realizar el primer borde cerrado, cuando hay avanzado el ancho de la primera bolsa, sellará y cortará, con lo que la banda de transporte se iniciará.

Paso 4: Las piezas serán arrojadas al final de la banda de transporte a la bandeja de pesaje en la cual la celda de carga medirá el peso de las piezas que van cayendo, hasta llegar al peso programado previamente.

Paralelo a este proceso por acción del servomotor, el mecanismo de las ventosas móviles se cerrará sobre el juego de ventosas fijas, localizadas en la bandeja de asiento de la bolsa.

Paso 5: La banda se detendrá. con los dos grupos de ventosas de queda lado generaran vacío sujetando la bolsa, las ventosas móviles se moverán para generar la apertura indicada según la cual el servomotor girara un ángulo correspondiente.

Paso 6: Se moverá la bandeja de pesaje por acción de su actuador neumático, las piezas caerán a lo largo del bajante y se llenará la bolsa.

Paso 7: Después de un intervalo de tiempo para dicha acción. se cerrarán de nuevo las ventosas móviles.

Paso 8: Se activará el actuador del sellado superior.

Paso 9: Habrá un intervalo de tiempo para retirar la bolsa por parte del operario.

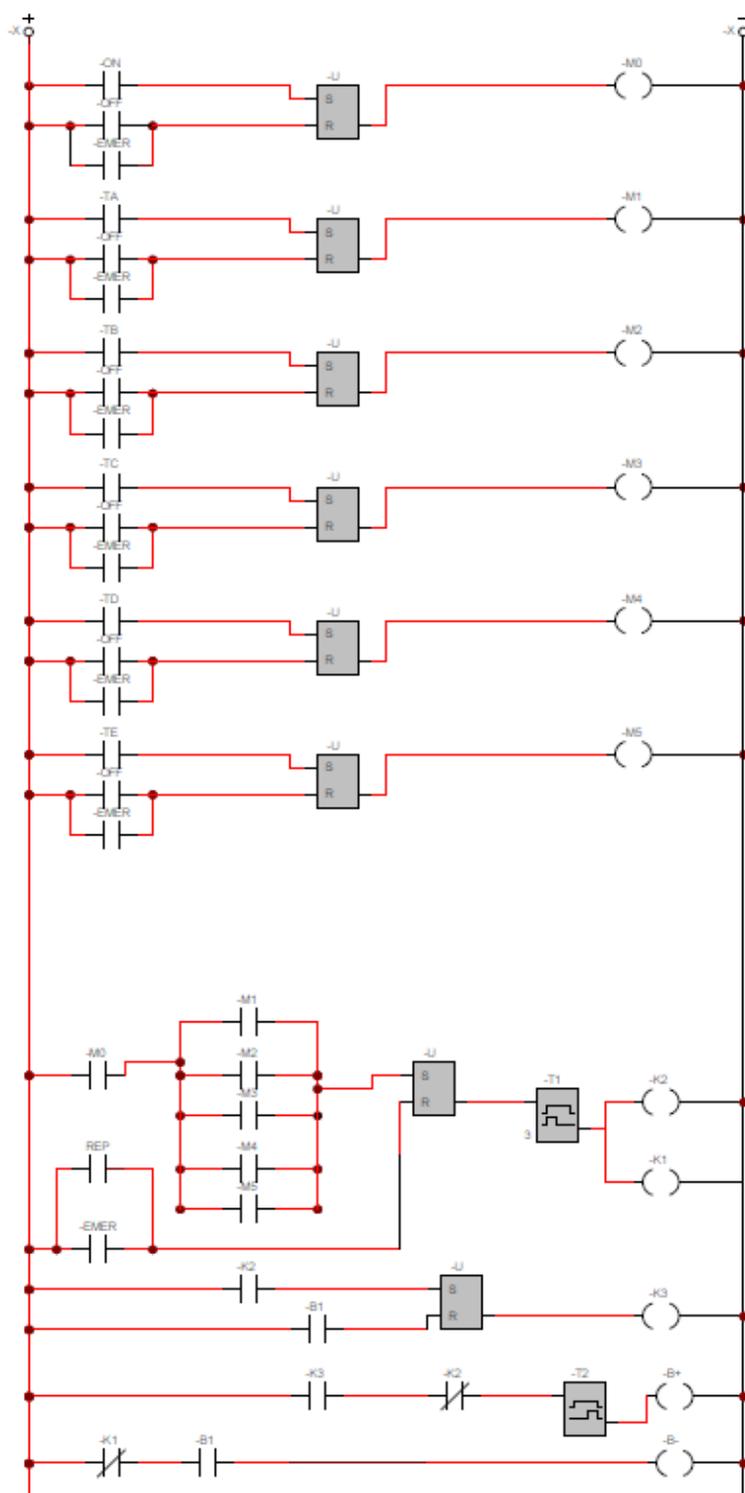
El proceso se repetirá desde el paso 3.

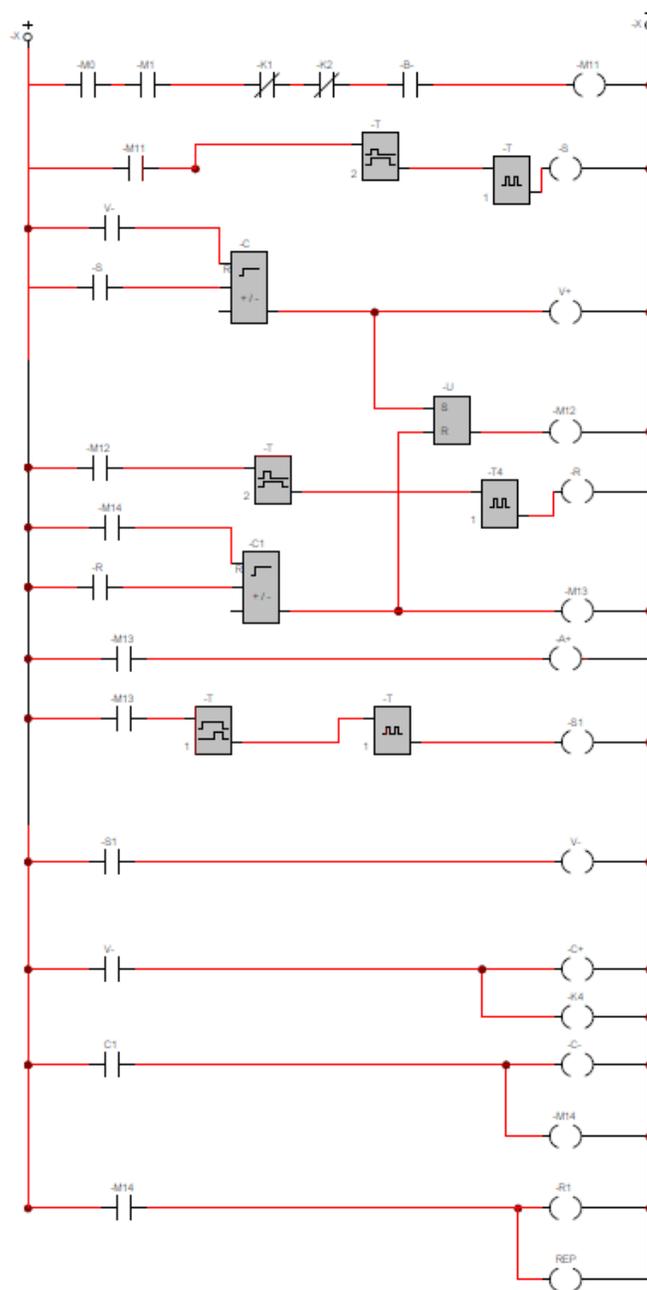
En el programa CADe\_SIMU se realizó el desarrollo de la programación en lenguaje Ladder para el PLC que controlara el funcionamiento de la empaquetadora, también se realizó una simulación para comprobar la validez de este. Dicha programación y simulación se muestran a continuación en las siguientes figuras.

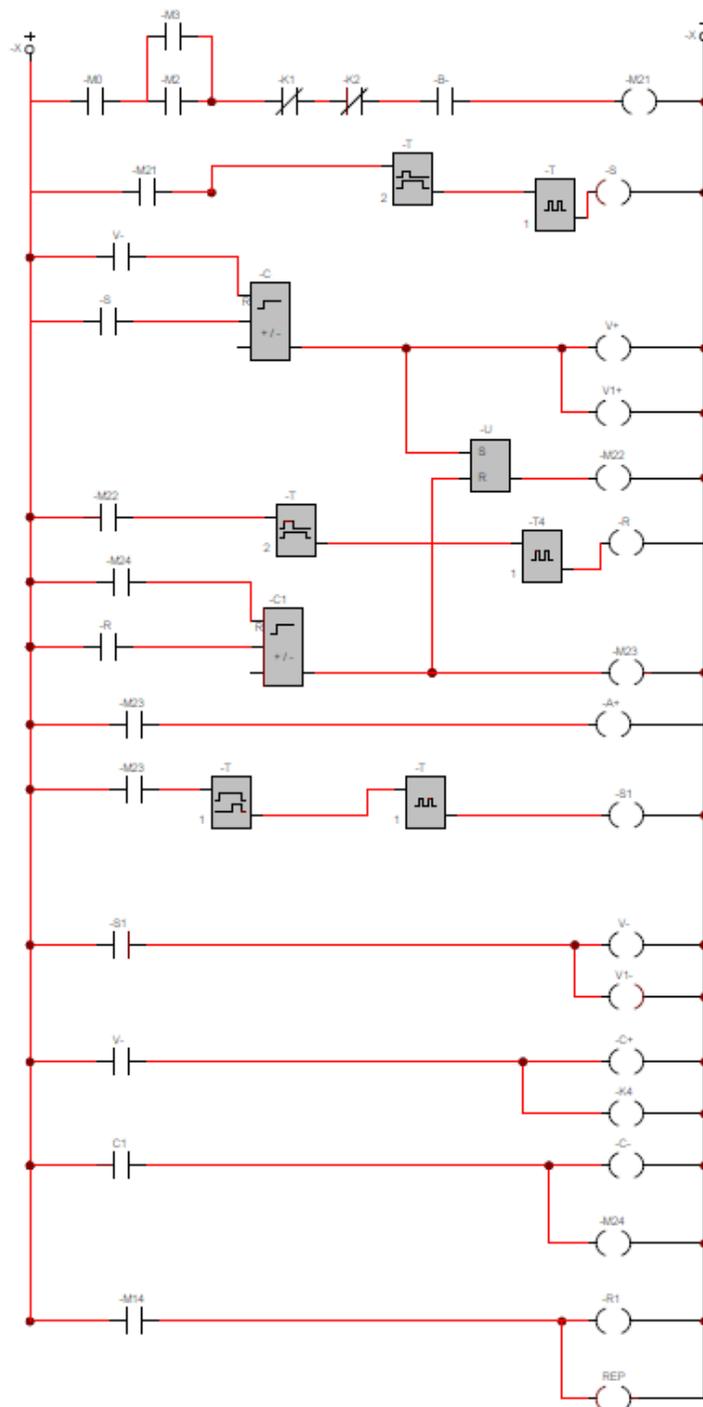


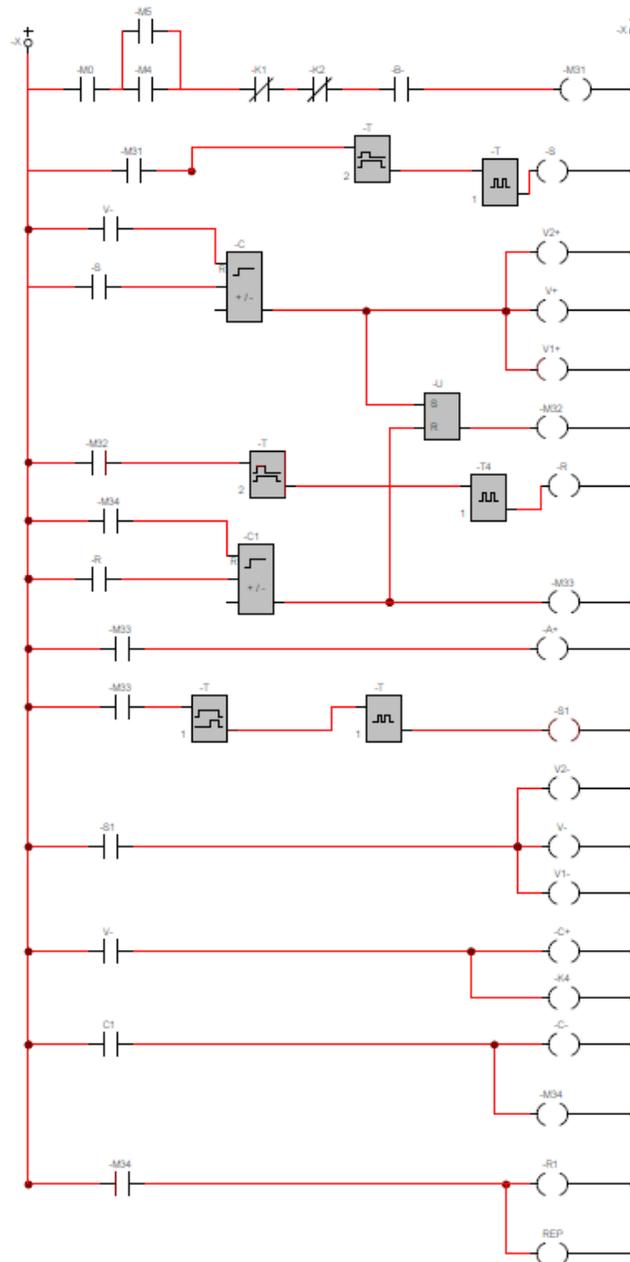
Figura 46

Programación Ladder parte 1



**Figura 47***Programación Ladder parte 2*

**Figura 48***Programación Ladder parte 3*

**Figura 49***Programación Ladder parte 4*

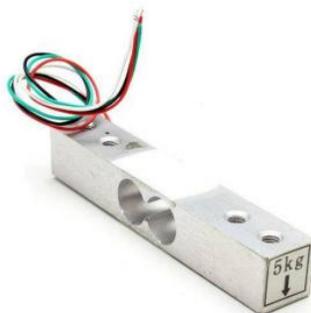
## 6.2. Instrumentación y actuadores

### 6.2.1. Celda de carga

Para la selección de este sensor, se tuvo el intervalo de pesos más grande, o sea, una pieza de 0,124 gramos y una cantidad acumulada de 25 piezas de 100 gramos que equivale a 2,5 kilogramos. Encontramos que el modelo YZC-131A tiene capacidades de 1,2,3,4 y 5 kg.

#### Figura 50

*Especificaciones celda de carga. Tomado de hoja de datos YCZ-131A*



YZC-131A Series Product Specifications	
<b>Mechanical</b>	
Housing Material	Aluminum Alloy
Load Cell Type	Strain Gauge
Capacity	1/2/3/5 kg
Dimensions	Lx12.7x12.7 mm
Mounting Holes	M5 (Screw Size)
Cable Length	210 mm
Cable Size	30 AWG (0.2mm)
Cable - no. of leads	4
<b>Electrical</b>	
Precision	0.05%
Rated Output	1.0±0.15 mV/V
Non-Linearity	0.05% FS
Hysteresis	0.03% FS
Non-Repeatability	0.03% FS
Creep (per 5 minutes)	0.1% FS
Temperature Effect on Zero (per 10°C)	0.02% FS
Temperature Effect on Span (per 10°C)	0.05% FS Zero
Balance	±1.5% FS
Input Impedance	1000±50 Ohm
Output Impedance	1000±50 Ohm
Insulation Resistance (Under 50VDC)	≥2000 MOhm
Excitation Voltage	5 VDC
Compensated Temperature Range	-10 to ~+40°C
Operating Temperature Range	-21 to ~+40°C
Safe Overload	120% Capacity
Ultimate Overload	150% Capacity

### 6.2.2. Cilindro neumático

Se usarán cilindros neumáticos compactos, de perfil cuadrado como el que se muestra a continuación. Se requieren tres, uno con una carrera de 150 mm, uno con una carrera de 80 milímetros y uno con una carrera de 200 mm. Además, se necesitarán 6 válvulas de control de flujo y dos electroválvulas 3/2 biestables y una monoestable.

#### Figura 51

*Actuador neumático*



### 6.2.3. Ventosas de vacío

Ventosas de agarre, funcionan a partir de la generación de vacío conectadas a válvulas neumáticas diseñadas para dicha función. Se requieren dieciséis (16) con un ancho de 10

milímetros. Además, para la generación de vacío se necesitarán 3 válvulas que controlarán una cantidad correspondiente de ventosas y 3 electroválvulas para el control.

### **Figura 52**

*Ventosa de vacío*



Nota: Tomado de catálogo virtual de FESTO.

#### **6.2.4. Motor paso a paso**

Motor paso a paso bipolar, para el control de su Angulo de giro, a bajas velocidades y una precisión moderada, suficiente para la aplicación. Además, se necesitará su respectivo controlador y 4 contactores.

### **Figura 53**

*Motor paso a paso*



Nota: Tomado del catálogo de SIEMENS, lista de precios para Colombia.

#### **6.2.5. Motor trifásico**

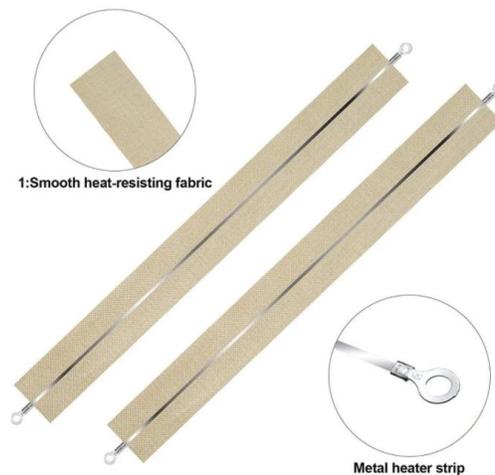
Se requerirá de uno para arrastrar la película plástica a lo largo del sistema de fabricación de bolsas. Además, se requerirá de si respectivo controlador y contactor.

### 6.2.6. Resistencias térmicas de sellado por impulso

Se requerirán 2 de estas para las mordazas de sellado, estas son resistencias por impulso que no deben mantenerse caliente, sino que solo deben hacerlo por un intervalo de tiempo necesario para que se del sellado.

#### Figura 54

*Resistencia de Cromo-Níquel*



Nota: Tomado de Mercado libre

## 7. INVERSIÓN ESTIMADA

Se realizó una estimación de la inversión requerida para desarrollar la alternativa, según el costo actual de las partes comerciales, teniendo en cuenta que la fabricación de esta puede correr por cuenta del cliente, ya que la organización tiene la capacidad de manufacturar gran parte de los componentes no comerciales por lo cual su peso económico depende no solo del valor de la materia prima sino de sus procesos y la manera de llevarlos a cabo.

Tabla 9

Inversión estimada aproximada

ITEM	CANTIDAD	PROVEEDOR/REFERENCIA	COSTO
Actuador neumático carrera 80 cm	1	A1-121	\$ 214.428
Actuador neumático carrera 150 cm	1	A2-139	\$ 275.000
Actuador neumático carrera 200 cm	1	A1-120	\$ 332.533
Ventosas de vacío	16		
Tubero de succión de vacío	8	INDUSTRIALES ANDES/SCV_10	\$ 273.600
Electroválvulas 3/2 biestable	10	INDUSTRIALES ANDES/4M210	\$ 730.000
Electroválvula 3/2 monoestable	1	INDUSTRIALES ANDES/3V110	\$ 64.726
válvulas de control de flujo	6	INDUSTRIALES ANDES/kla_06	\$ 106.200
Finales de carrera magnéticos	6	BIGTRONICA/XC11R	\$ 180.000
Banda transportadora	1		
Resistencias	2	Mercado libre	\$ 24.900
Contadores	6	SUCONEL/ATE10M	\$ 418.320
Servomotor	1		
Motor paso a paso	1	BIGTRONICA/57BYGH627	\$ 180.000
Pulsadores	8	SUCONEL/S2PRP1C	\$ 100.800
Contactores	4	HEMLOCK/2060038	\$ 296.000
Celda de carga (kit)	1	SUCONEL/HX711+	\$ 30.000
PLC	1	SIEMENS/6ED1052-2FB08-0BA0	\$ 578.000
Perfil 40x40x2 cm	22 m	Los fierros/tubería TPS	\$ 492.872
Lamina de calibre 2 mm	3,72 m <sup>2</sup>		
<b>Costo Total (aproximado)</b>			<b>\$ 4.297.379</b>

## 8. CONCLUSIONES

La necesidad planteada tiene diversas variables, siendo el tamaño de la bolsa la más complicada de abordar, debido a que tanto sus 2 dimensiones, ancho y alto cambian, por lo cual posicionar la bolsa en el lugar preciso para que las piezas caigan de manera adecuada a su interior requiero de varios ajustes, los cuales en la máquina están representados en los grados de libertad de la mordaza de sellado y corte lateral y la mordaza de sellado superior que se desplazan para ajustarse al ancho de la bolsa, para el alto se requiere que con las mordazas de sujeción del rollo, se ajuste este sin importar si largo en el mismo punto superior. Luego, la forma más adecuada para abrir la bolsa sería la apertura por ventosas de vacío para que finalmente las piezas caigan por gravedad desde el sistema de pesaje.

El desarrollo del trabajo se realizó teniendo en cuenta conceptos y procesos propios del diseño mecánico aplicado en el cual se parte de los requerimientos del problema y deseos de la empresa, para que, de una manera escalonada, comenzando por ideas preliminares y planteando ponderaciones para la toma acertada de decisiones, y la selección de mecanismos e instrumentación necesarios, se llegase a un diseño final, el cual, como se planteó en un principio se modelo parametrizando dimensiones para una optimización de dicho proceso, además a partir de los conocimientos en automatización adquiridos en la formación como ingeniero, en los campos de la neumática y la electrónica, se realizó la programación para la automatización de dicho diseño.

Se diseño la alternativa buscando ser viable tanto en lo funcional como en lo económico, esto se hizo, teniendo como objetivo un diseño que realizara el proceso de empaquetado de la manera más simple posible lo cual facilitara no solo su diseño sino también su fabricación. Para ello se realizaron desde simulaciones de elementos finitos que arrojaron resultados positivos concluyendo que la geometría y dimensiones de los elementos críticos que componen el diseño son acertados. Por otro lado, en la parte de costos se realizó una consulta de los precios aproximados de las piezas comerciales, teniendo en cuenta que en el aspecto de fabricación la empresa tiene una capacidad propia de llevarla a cabo, y analizar su peso económico.

## 9. REFERENCIAS

- Arl sura. *Trabajos en alturas y a la altura de la seguridad*. <https://bit.ly/3bNc56Q>.
- Autodesk. *Inventor Professional*. (Versión 2018). [Programa de modelado 3D].
- Mcbrawn Group. *Brother usa machinery*. <https://bit.ly/3GSZQnB>.
- Bigtronica. *Cátalogo virtual de productos*. <https://bit.ly/3mJb0n6>.
- CADe\_SIMU. (Versión 4.0). [Programa de desarrollo y simulación de montajes eléctricos y neumáticos].
- Caracciolo, R. Richiedei, D. Trevisani, A., & Zanardo, G. (2015) *Designing vibratory linear feeders through an inverse dynamic structural modification approach*. Inglaterra. Springer. *Int J Adv Manuf Technol* (2015) 80:1587–1599. <https://doi.org/f7skh2>.
- Catálogo de SIEMENS. *Lista de precios Colombia*. <https://bit.ly/3k6PSWf>.
- Chilamac, J., & Restrepo, D. (2009). *Diseño de un modelo de una máquina de empaque secundario*. [Trabajo de grado]. Universidad EAFIT, EIA. <https://bit.ly/3BNCbl5>.
- Industriales Andes. *Catálogo virtual de productos*. Consultado en [www.industrialesandes.co](http://www.industrialesandes.co).
- Derby, S. (2005). *Desing of automatic machinery*. (1ª edición). Marcel Dekker.
- Elliott, S. (2007) *Electromechanical Devices & Components Illustrated Sourcebook*. (1ª edición). McGraw-Hill.
- Freddi, A., & Salmon, M. (2019). *Desing principles and methodologies, From Conceptualization to First Prototyping with Examples and Case Studies*. <https://doi.org/g4ts>.
- Festo, Comercializadora de artículos neumáticos. *Catalogo virtual*. <https://bit.ly/3weKYv6>.
- Hawkins, E. (2002). *The plastic film and foil web handling guide*. CRC PRESS.
- Homecenter. *Cátalogo virtual de productos*. <https://www.homecenter.com>.
- Love, J. (2007). *Process automation handbook, a guide to theory and practice*. (1ª edición). Springer.
- MATWEB. *Base de datos de materiales*. <http://www.matweb.com>.
- BNP media. *Packaging strategies*. <http://www.packagingstrategies.com>.
- The association for packaging and processing technology. *PMMI PACK EXPO*. <https://www.pmmi.org/>.
- Riba, C. (2008). *Selección de materiales en el diseño de máquinas*. Edicions UPC.
- Sclater, N. (2011). *Mechanisms and Mechanical Devices Sourcebook*. (5ª edición). McGraw-Hill Education.
- Suconel. *Cátalogo virtual*. <http://www.suconel.com>.

Thorsten, S. (2005). *Reliability of evaluations for the choice of system solutions at the example of automated orderpicking systems for bagged goods*. Logistics Journal Reviewed publications. <https://doi.org/cvqgjr>.