

# “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA DOSIFICADORA Y EMPACADORA CONTROLADA POR PLC PARA LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE SNACKS DE LA EMPRESA ECUAMEX S.A”

*Mauricio Iza C.*

*Álex Medina C.*

*Ingeniería Mecatrónica, Escuela Politécnica del Ejército*

*mauricioiza10@icloud.com*

*alex\_fmc\_@hotmail.com*

---

## **1 RESUMEN**

El presente proyecto desarrolla el diseño y la construcción de una máquina dosificadora y empacadora de snacks para la línea de producción de la empresa ECUAMEX S.A.

Presenta un estudio de los sistemas de empaçado donde se especifica la clasificación de cada uno de ellos así como el tipo de control usado para gobernarlos. Se evalúa cada una de las alternativas y posibilidades planteadas mediante aspectos como costo, versatilidad, manufactura, facilidad de control y mantenimiento.

Se diseña cada uno de los sistemas mecánicos, eléctricos, electrónicos, neumáticos y de control que componen la máquina empacadora, dimensionando y simulando el comportamiento de cada una de las piezas. Se seleccionan los elementos y accesorios electrónicos, neumáticos y de control a utilizar, así como la programación del PLC.

## **2 ABSTRACT**

This project develops the design and construction of a metering machine and packing snacks for the production line of the company ECUAMEX SA

Presents a study of packaged systems which specifies the classification of each of them and the type of control used to govern. Evaluate each of the alternatives and possibilities raised by aspects such as cost, versatility, manufacturing, control and maintenance facility.

It is designed each of the mechanical, electrical, electronic, pneumatic and control that make the packaging machine, sizing and simulating the behavior of each of the pieces. Are selected electronic items and accessories, tires and use control and PLC programming.

## **DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO**

### **1.1 INTRODUCCIÓN**

En la actualidad las máquinas empacadoras han evolucionado enormemente, tanto en su construcción y funcionalidad como en su capacidad de producción.

Las máquinas empacadoras cumplen un papel primordial dentro de la línea industrial alimenticia, dependiendo de su diseño y su rendimiento son las encargadas de realizar la presentación y producción final del producto que estará en el mercado para su uso.

### **1.2 OBJETIVOS**

#### **1.2.1. OBJETIVO GENERAL**

Diseñar y construir una empacadora automática para la línea de producción de snacks de la empresa ECUAMEX S.A.

#### **1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Construir una empacadora de alta productividad que cumpla con los requerimientos de la empresa ECUAMEX S.A, eficiente práctica y económica.
- Realizar el control del funcionamiento de la empacadora automática en su totalidad mediante la implementación de un PLC industrial.
- Obtener un máximo rendimiento en la producción de snacks, minimizando los errores en las mediciones de peso por producto.
- Diseñar y programar la máquina para que funcione tanto para una dosificación por peso así como por volumen.
- Realizar pruebas de funcionamiento que muestren un correcto desempeño de la máquina
- Desarrollar planos de la empacadora automática para respaldo de la empresa ECUAMEX S.A, para futuros proyectos.

### **1.3 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO**

ECUAMEX S.A con el fin de estar a nivel de la competencia, mejorar su producción, llevar un control cualitativo y cuantitativo de su producto, verificar que el producto se elabore bajo las normas de producción en nuestro país, decide invertir en el diseño y elaboración de una empacadora automatizada de Snacks para incorporarla en su línea de producción, esperando así elevar su rendimiento como empresa y estar a la altura del mercado demandante actual.

### **1.4 ÁREA DE INFLUENCIA**

ECUAMEX S.A. mediante la inversión en el presente proyecto estima obtener un máximo rendimiento en su producción, mejorando el control de su producto, en cantidad, presentación, elaboración y sobre todo en la calidad del mismo que se va a comercializar en el mercado. El diseño esta direccionado en la prevención y reducción de errores que puedan ocurrir en la medición de la cantidad por unidad del producto, mediante el control efectivo en la dosificación así como en los tiempos de empaado y sellado del producto.

## **ESTUDIO DE LOS SISTEMAS DE EMPACADO**

### **2.1 MÁQUINAS EMPACADORAS**

En la actualidad existen empacadoras de tipo manual, semiautomático y automático, siendo esta última la que mayores prestaciones presenta en el mercado, dado que cuentan con funciones incorporadas que facilitan su operatividad y mantenimiento.

#### **2.1.1. EMPACADORAS MANUALES**

Son de las primeras utilizadas en las líneas de producción, cuya eficiencia estaba directamente relacionada con el trabajo y desenvolvimiento del operario, por tanto no satisfacía las exigencias del mercado en el que se competía.



*Fig. 2.3 Empacadora Manual<sup>1</sup>*

## 2.1.2. EMPACADORAS SEMIAUTOMÁTICAS

Pequeñas y medianas empresas han adoptado un mecanismo de empaquetamiento en el cual interviene el trabajo humano en cooperación con el funcionamiento electromecánico de la empacadora (Fig. 2.4), tratando de obtener una línea de producción efectiva y barata.



*Fig. 2.4 Empacadora Semiautomática<sup>2</sup>*

## 2.1.3. EMPACADORAS AUTOMÁTICAS

Combinan sistemas mecánicos, neumáticos, eléctricos y electrónicos gobernados por un sistema de control lógico programable (Fig. 2.5), para la producción elevada del empaquetamiento.



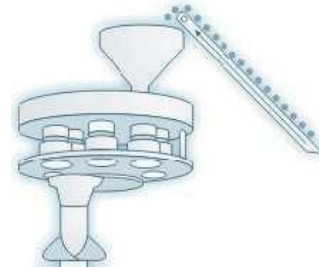
*Fig. 2.5 Empacadora Automática<sup>3</sup>*

## 2.2 SISTEMAS DE DOSIFICACIÓN

### 2.2.1. DOSIFICACIÓN VOLUMÉTRICA

Es usada para trabajos con empacadoras semiautomáticas o directamente en empacadoras automáticas, se construyen en varios tamaños y modelos con vasos de acero inoxidable con capacidad regulable (Fig. 2.6)

Es muy recomendable para procesos con polvos de fácil deslizamiento, granos.

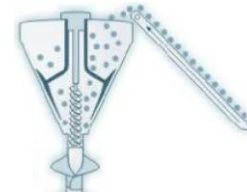


*Fig. 2.6 Dosificador Volumétrico<sup>4</sup>*

### 2.2.2. DOSIFICACIÓN MEDIANTE TORNILLO SIN FIN

Como se muestra en la Figura 2.7, El tornillo sin fin es un removedor de giro independiente que se encarga de la dosificación evitando la aglomeración del producto.

Se construyen en acero inoxidable y son ideales para dosificar polvos de difícil deslizamiento.



*Fig. 2.7 Dosificador de Tornillo<sup>5</sup>*

### 2.2.3. DOSIFICACIÓN POR PESO

Posee un alimentador a la celda de carga de forma vibratoria lo que evita la rotura del producto, el control del peso se lo realiza de forma digital mediante el uso de una entrada analógica de un microcontrolador, logrando de esta manera dosificaciones de alta precisión, estos dosificadores son ideales para trabajar con cualquier producto solido o snacks de formas irregulares.

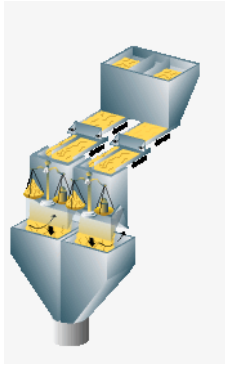
<sup>1</sup> [www.selladorasypacadoras.com](http://www.selladorasypacadoras.com)

<sup>2</sup> <http://www.ingesir.com.ar/odosvol.htm>

<sup>3</sup> [www.famensal.com.sv](http://www.famensal.com.sv)

<sup>4</sup> [www.vescovoweb.com/tresCosturas.html](http://www.vescovoweb.com/tresCosturas.html)

<sup>5</sup> [www.vescovoweb.com/tresCosturas.html](http://www.vescovoweb.com/tresCosturas.html)



*Fig. 2.8 Dosificador por Peso<sup>6</sup>*

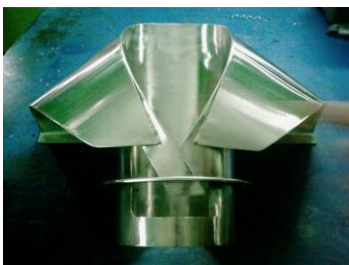
### 2.3 SISTEMAS DE SELLADO

Para efectuar el sellado del plástico varios sistemas utilizan calor y presión, los más usados son los que funcionan con resistencias eléctricas como fuentes de calor, sin embargo la ultra frecuencia y el aire caliente también son usados para este fin.

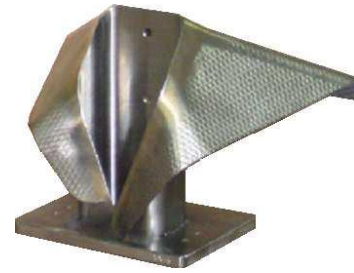
### 2.4 FORMADORES

Parte fundamental para el proceso de empaqueo es la correcta selección y diseño del tipo de formador que se va utilizar, tomando en cuenta parámetros como forma, tamaño y grosor de la funda. Se los construye de tal forma que el material de empaque ingrese por la zona posterior y se enrolle alrededor del conducto de alimentación formando un tubo continuo de material de empaque con un traslape que permite el sellado longitudinal.

Son construidos de acero inoxidable en dos diseños: cuello circular (Fig. 2.9) y cuello rectangular (Fig. 2.10).



*Fig. 2.9 Formador de Cuello Circular<sup>7</sup>*



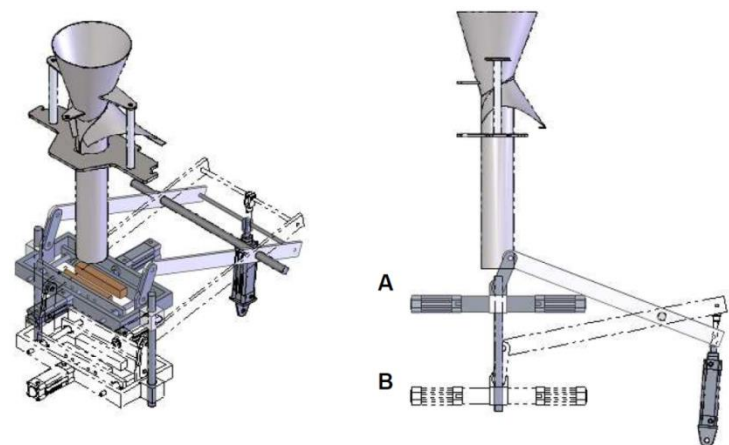
*Fig. 2.10 Formador de Cuello Rectangular<sup>8</sup>*

## 2.5 SISTEMAS DE GUIADO Y ARRASTRE

Generalmente las bobinas de papel se ubican en la parte posterior de la máquina de donde el material de empaque es guiado por una serie de rodillos hacia el formador, la ubicación de los rodillos depende del tipo de accesorios que se desee instalar teniendo como función fundamental mantener tenso el plástico de manera que no ocurran desalineaciones con respecto al formador. Para dicho fin existe un mecanismo de arrastre que ejerce una atracción en el material ocasionando que se deslice por el formador y que luego pueda producirse el sellado tanto vertical como horizontal generando una producción continua de empaques.

Existen tres tipos de mecanismos de arrastre: por mordazas, por rodillos y por correas de deslizamiento.

### 2.5.1. POR MORDAZAS



*Fig. 2.11 Sistema de Arrastre por Mordazas<sup>9</sup>*

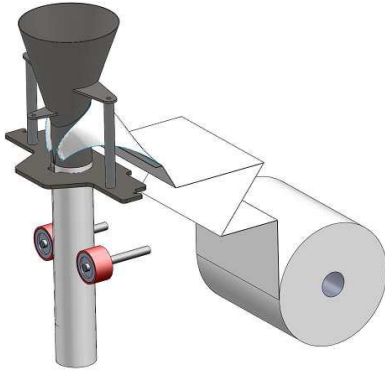
### 2.5.2. POR RODILLOS

<sup>6</sup> <http://www.icaspa.it/spagnolo/more007.htm>

<sup>7</sup> [www.interpresas.net](http://www.interpresas.net)

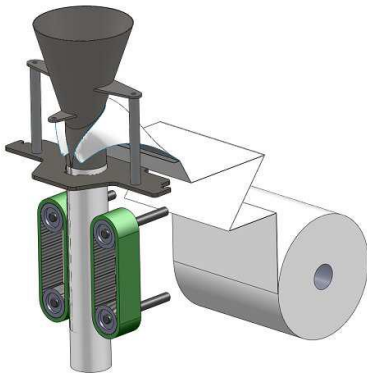
<sup>8</sup> [www.bagforming.com](http://www.bagforming.com)

<sup>9</sup> Diseño de una máquina empaquera, dosificadora y selladora de fundas para arroz. Eduardo Moreno EPN 2010



**Fig. 2.12** Sistema de Arrastre por Rodillos<sup>10</sup>

### 2.5.3. POR CORREAS DE DESLIZAMIENTO



**Fig. 2.13** Sistema de Arrastre por Correas de Deslizamiento<sup>11</sup>

## 2.6 SISTEMA DE CONTROL DE LAS EMPACADORAS

Para el correcto funcionamiento de la empacadora se requiere de un sistema de control, el cual gobernará de forma coordinada los sistemas de dosificación, sellado y corte.

Para realizar dicho control en la industria se cuenta con tres alternativas.

### 2.6.1. POR CONTACTORES

### 2.6.2. POR MICROCONTROLADORES

### 2.6.3. POR CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE

Una de las prestaciones más actuales en la industria para el realizar el control de las empacadoras es el uso de los PLC's que han sido diseñados exclusivamente para programar y controlar procesos secuenciales en tiempo real. Su costo tiende a ser moderado para sus grandes aplicaciones y suplantando completamente a la lógica cableada.

A través de los dispositivos de entrada, formado por los sensores de la empacadora, conjuntamente con la lógica digital programada de la secuencia del proceso, se envía respuestas a través de los dispositivos de salida que en este caso son los actuadores de los sistemas de dosificación, corte y sellado.

## 2.7 SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

### 2.7.1. CONCLUSIONES SELECCIÓN TIPO DE DISEÑO

Como resultado de la evaluación de cada una de las alternativas que existen en el mercado, se decide realizar el proyecto de DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA DOSIFICADORA Y EMPACADORA CONTROLADA POR PLC PARA LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE SNACKS DE LA EMPRESA ECUAMEX S.A utilizando las mejores opciones para cada uno de los sistemas que conformarán la máquina.

El sistema de dosificación se lo diseñará tanto por volumen como por peso, con la ayuda de armazones móviles que permitan versatilidad en el tipo de producto a dosificar. Formador con cuello circular para la formación del empaque, el sistema de guiado y arrastre será realizado mediante dos mordazas, mismas que en su interior contiene una cuchilla que actuará dependiendo de un pistón que realizará el movimiento para el corte de la funda, el sistema de sellado se realizara con un sello vertical y dos sellos horizontales permitiendo que se asegure un 100% del producto empacado sin fugas de ningún tipo.

El control que gobernará la máquina y cada uno de sus sistemas será dado por un Controlador Lógico Programable.

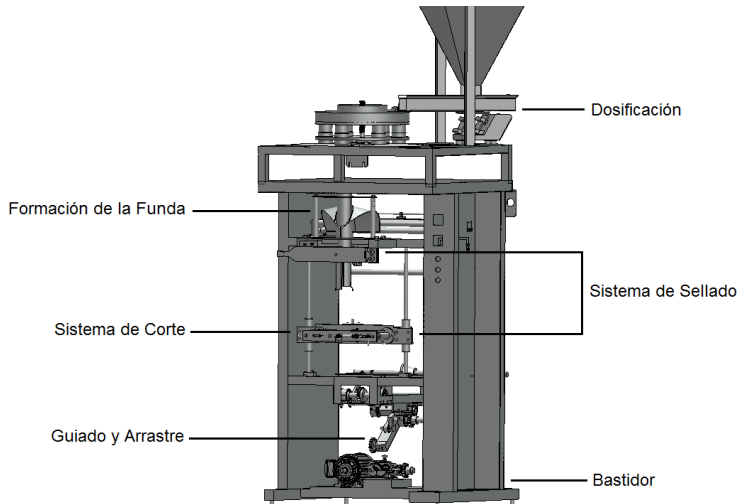
<sup>10</sup> Diseño de una máquina empacadora, dosificadora y selladora de fundas para arroz. Eduardo Moreno EPN 2010

<sup>11</sup> Diseño de una máquina empacadora, dosificadora y selladora de fundas para arroz. Eduardo Moreno EPN 2010

## DISEÑO

### 1.1. SISTEMA MECÁNICO

Para el diseño mecánico se divide a la máquina empacadora en los siguientes subsistemas, como se muestra en la Figura 4.1.

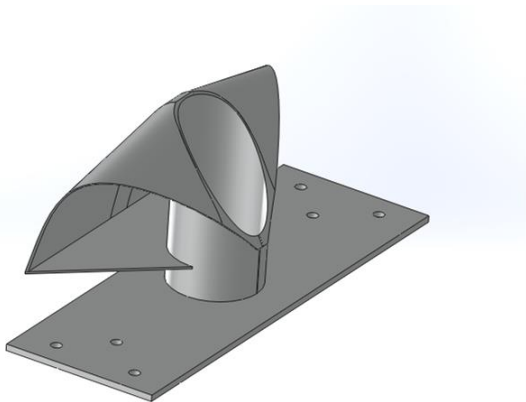


**Fig. 4.1** Esquema General de la Empacadora

#### 1.1.1. SISTEMA DE FORMACIÓN DE LA FUNDA

Para cumplir con las dimensiones de la funda requerida primeramente se diseña el formador de la misma, del tipo previamente seleccionado

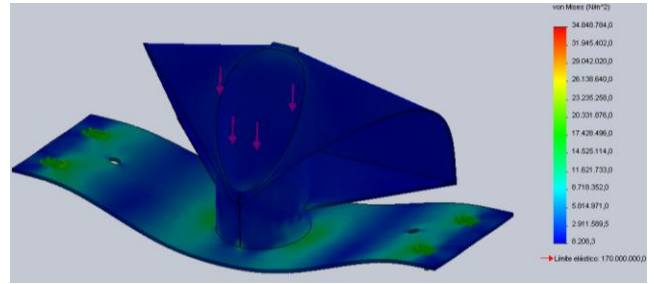
##### 1.1.1.1. Formador



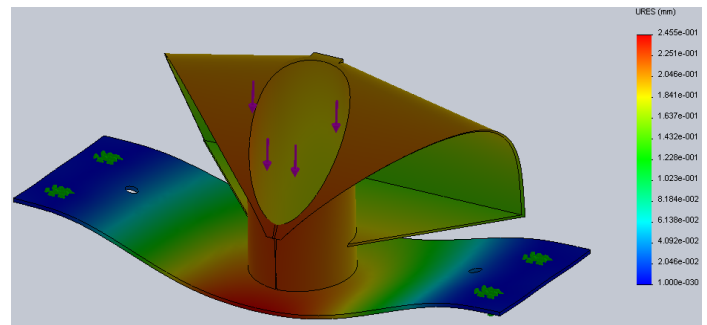
**Fig. 4.6** Ensamblaje del formador

### Análisis de cargas:

#### Simulación:



**Fig. 4.9** Simulación del límite elástico de la placa soporte del formador<sup>12</sup>



**Fig. 4.10** Simulación del desplazamiento de la placa soporte del formador<sup>13</sup>

De la simulación CAD se obtuvo que con base a los parámetros especificados, el factor de seguridad más bajo encontrado en el diseño es de 4.89 (Fig. 4.11).

#### Resumen de los factores de seguridad:

Referencia	Análisis	Simulación	Error
2,5-4,0	5,03	4,89	25.75%

**Tabla 4.2** Resumen factor de seguridad de la placa soporte del formador

En el sistema de formación de la funda la parte más importante es el formador y su placa soporte, por ende su factor de seguridad es de 4.89 (simulación CAD), para que en ningún momento pierda su forma en caso de algún accidente, fallo o incluso algún golpe en el cambio de formador si es que se requiere.

<sup>12</sup> SimulationXpress SoldWorks Dassault Systems 2012

<sup>13</sup> SimulationXpress SoldWorks Dassault Systems 2012



### 1.1.1.2. Ducto de Alimentación

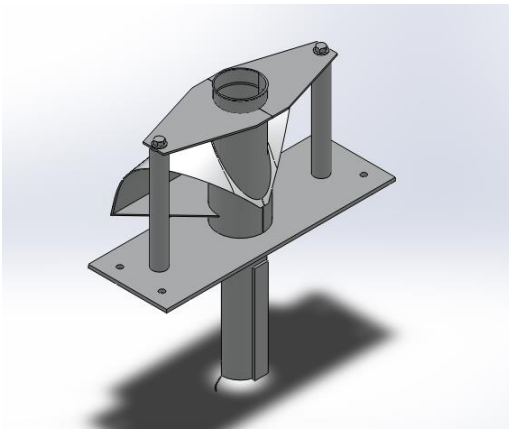


Fig. 4.12 Ensamblaje del formador con el tubo de alimentación

El papel luego de pasar por el formador envuelve el tubo de alimentación adquiriendo una forma cilíndrica para un posterior sellado (Fig. 4.12). En la parte inferior se coloca dos pequeñas guías que garantizan que la funda no pierda su geometría por acción del peso del producto.

#### Simulación:

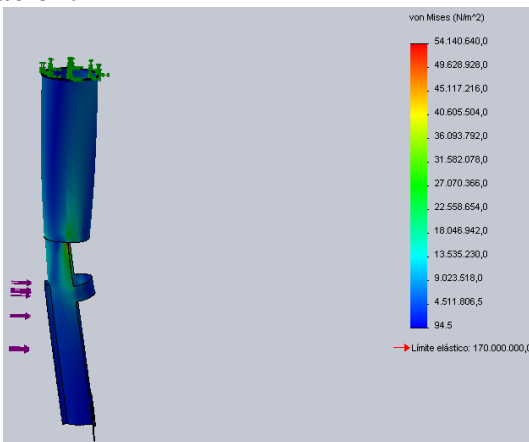


Fig. 4.15 Simulación del límite elástico del tubo de alimentación<sup>14</sup>

<sup>14</sup> SimulationXpress SoldWorks Dassault Systems 2012

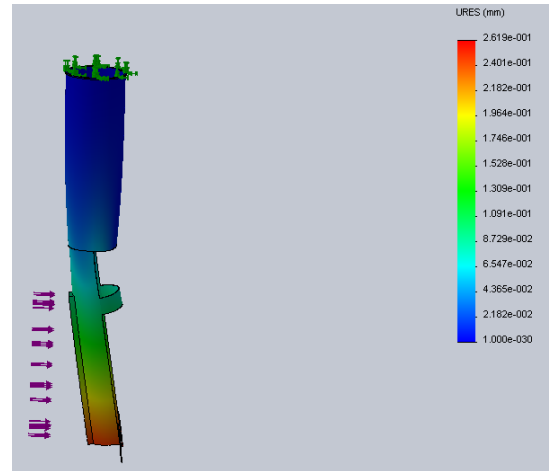


Fig. 4.16 Simulación del desplazamiento del tubo de alimentación<sup>15</sup>

#### Resumen de los factores de seguridad:

Referencia	Análisis	Simulación	Error
2,5-4,0	3.28	3,14	0.92%

Tabla 4.3 Resumen factor de seguridad del tubo de alimentación

En este caso el factor de seguridad obtenido de 3.14 se encuentra dentro de los parámetros de referencia establecidos. El error obtenido entre la simulación y el análisis es debido a que en la sección transversal del ducto no se consideró su cambio de semicircunferencia a circunferencia.

### 1.1.2. SISTEMA DE CORTE

#### 1.1.2.1. Mecanismo de Corte

Está conformado por una cuchilla y dos soportes a cada extremo, mismos que actúan con el sistema de sellado horizontal (Fig. 4.18). Para el diseño del mecanismo que controla el movimiento de la cuchilla se toma en consideración:

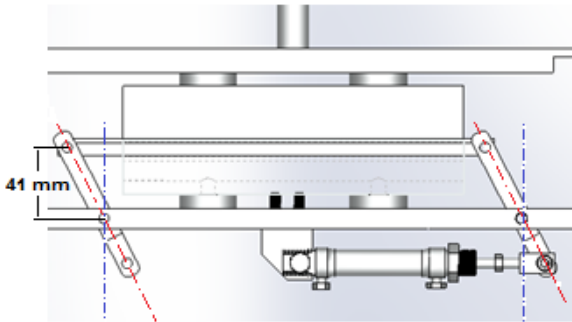
En el instante de corte, la cuchilla debe sobrepasar la funda sellada (6mm) de tal forma que el corte sea uniforme.

<sup>15</sup> SimulationXpress SoldWorks Dassault Systems 2012

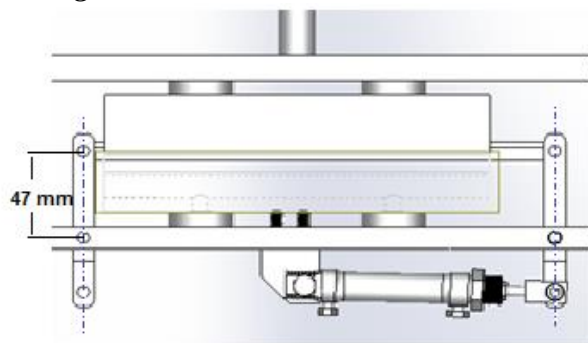
La geometría del mecanismo debe encajar en el espacio comprendido entre la placa soporte de la mordaza y la funda que será cortada.

La longitud de la cuchilla no debe tocar las mordazas en ningún instante durante su funcionamiento.

Para lo cual tenemos:



**Fig. 4.18** Mecanismo de corte Posición 1

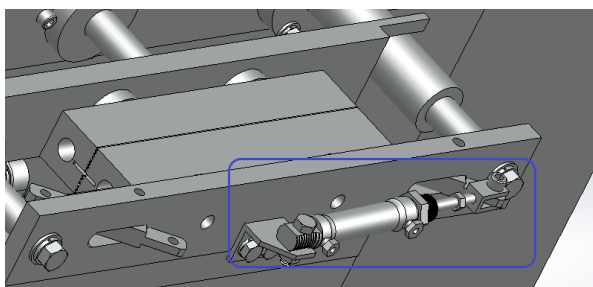


**Fig. 4.19** Mecanismo de corte Posición 2

### 1.1.2.2. Selección del Pistón de Corte

La fuerza no es un parámetro crítico dentro del diseño, puesto que basta la carrera para seleccionar el cilindro neumático (Fig. 4.22)

De los catálogos de FESTO se selecciona un cilindro normalizado DSNU-16-25-P-A, en unidades métricas con un diámetro de émbolo de 16 mm y una carrera de 25 mm. En el anexo H se encuentra todas las características técnicas del cilindro seleccionado.



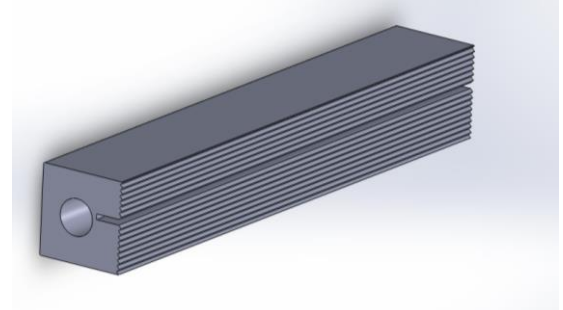
**Fig. 4.22** Pistón acoplado al mecanismo de corte

## 1.1.3. SISTEMA DE SELLADO

### 1.1.3.1. Sellado Horizontal

#### 1.1.3.1.1. Mordazas de sellado horizontal

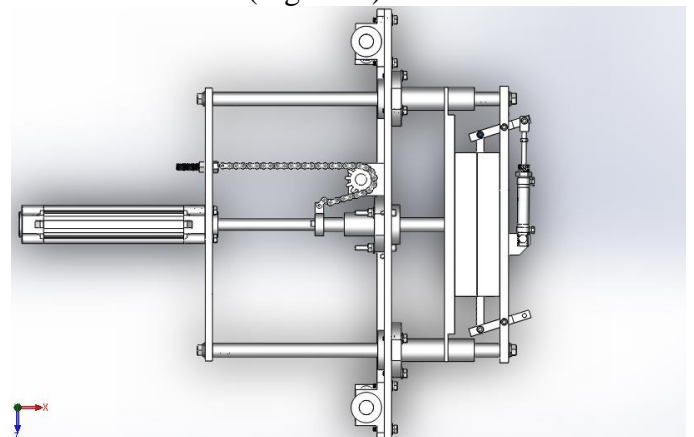
La longitud de las mordazas horizontales depende principalmente del espacio que ocupa la niquelina la cual debe ser mayor al ancho de la funda requerida



**Fig. 4.25** Dibujo isométrico de la mordaza horizontal

#### 1.1.3.1.2. Selección del pistón de sellado horizontal

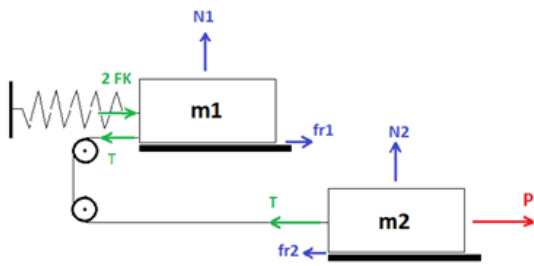
En base al método seleccionado de accionamiento, cuyo principio es la apertura y cierre de mordazas mediante un solo pistón, se utiliza un mecanismo de polea con cadena, mismo que transmite el movimiento a las dos mordazas (Fig. 4.38).



**Fig. 4.38** Pistón acoplado al sistema de sellado horizontal

El funcionamiento del sistema se simplifica en el siguiente diagrama (Fig. 4.39).





**Fig. 4.39** Diagrama de bloques simplificado para el sistema de sellado horizontal

Análisis:

La máxima fuerza ejercida por el pistón ocurre en el instante en el que las mordazas se encuentran en la posición de apertura y los resortes están contraídos.

Primer bloque:

$$T = 2FK + fr_1$$

$$T = 2k * x + \mu * N_1$$

$$T = 2k * x + \mu * m_1 * g$$

Segundo bloque:

$$F_p = T + fr_2$$

$$F_p = T + \mu * N_2$$

$$F_p = T + \mu * m_2 * g$$

Reemplazando:

$$F_p = 2k * x + \mu * m_1 * g + \mu * m_2 * g$$

$$F_p = \mu * g * (m_1 + m_2) + 2k * x$$

$$F_p = 0,74 * (9,8)(5,370) + 2 * (3,8)(75)$$

$$F_p = 38,94 + 570 = 608,9 \text{ N}$$

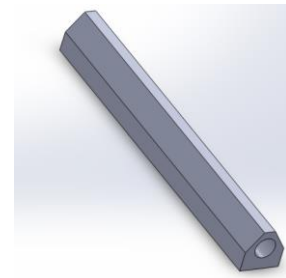
De los catálogos de FESTO se selecciona un cilindro neumático (DNC-40-80-PPV) con una carrera de 80 mm y un embolo de 40 mm de diámetro que proporcionan 633 N de fuerza de Retroceso con 6 bares de Presión.

En el anexo H se encuentra todas las características técnicas del cilindro seleccionado.

### 1.1.3.2. Sellado Vertical

#### 1.1.3.2.1. Mordaza de sellado vertical

Para el dimensionamiento de la altura de la mordaza vertical se toma en cuenta la máxima longitud de la funda la cual es 195 mm, así como también la longitud de la niquelina que va en su interior, además se considera 5 mm de variación a cada extremo para obtener un correcto sellado a lo largo de la funda.



**Fig. 4.52** Isometría de la mordaza vertical

### 1.1.4. SISTEMA DE GUIADO Y ARRASTRE

La lámina de plástico recorre un trayecto a través de un conjunto de rodillos guía cuya terminación desemboca en el formador donde adquiere la forma tubular.

El instante en que se efectúa el cierre de las mordazas horizontales y el desplazamiento vertical del carrete, se produce el deslizamiento del plástico y al mismo tiempo se mueve el conjunto regulador de tensión hacia arriba.

La banda de frenado libera la polea solidaria al eje de la porta bobina permitiendo que el rollo de plástico gire. Cuando dejan de actuar las bandas de arrastre, el conjunto regulador de tensión baja por su propio peso, haciendo que el porta bobinas deje de girar y asegura que la lámina de plástico se mantenga tensa.

#### 1.1.4.1. Guiado del Plástico

El sistema de guiado debe garantizar el direccionamiento del material de empaque trasladado desde el rollo montado sobre la porta bobinas ubicadas en la parte posterior de la máquina hacia el formador (Fig. 4.61). La disposición de los rodillos es indistinta, más bien depende básicamente de los complementos y accesorios que la máquina vaya a usar como codificadoras, impresoras de marca, fecha, sensores de marca, etc. Para el presente diseño se adoptó la siguiente disposición:

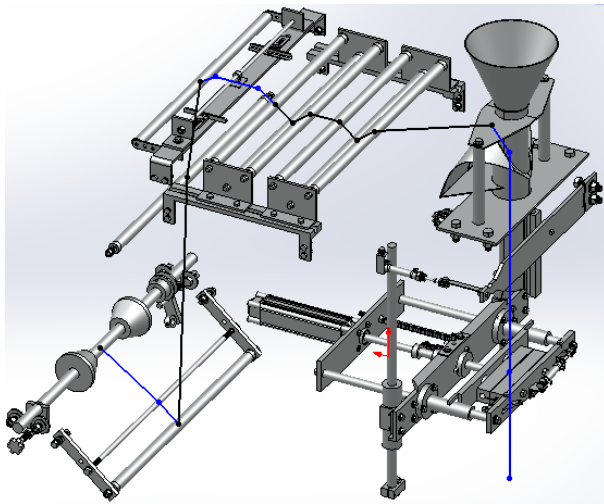


Fig. 4.61 Trayectoria de guiado del plástico

### 1.1.4.2. Mecanismo de Freno <sup>16</sup>

El dispositivo más sencillo de frenado es el Freno de Banda (Fig. 4.62), cuyo funcionamiento se basa en el principio de fricción que ocurre cuando la fuerza aplicada en la banda genera mayor contacto de fricción con el tambor.

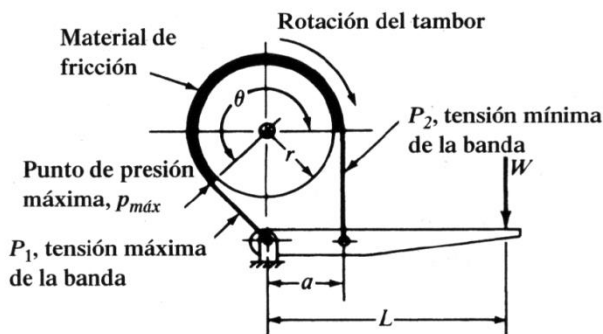


Fig. 4.62 Freno por Banda

La relación entre la tensión mínima y la tensión máxima de la banda es una función logarítmica que varía dependiendo del sentido de giro del tambor, para este caso en particular el giro es contrario al mostrado en la figura, por lo cual:

$$P_1 = \frac{P_2}{e^{f\theta}} \quad (Ec. 4.29)$$

Donde:

$\theta$  = ángulo total abarcado por la banda (rad)

$f$   
= coeficiente de rosamiento entre la banda y el tambor.

El punto de máxima fricción sobre el material de fricción está en el extremo más cercano a la máxima tensión  $P_i$ , por lo cual:

$$= P_{MAX} * r * w \quad (Ec. 4.30)$$

Donde:

$$P_{MAX}$$

= Presión máxima del material de fricción [N \* m<sup>2</sup>]

$P_i$  = Mayor tensión en la banda de frenado  
 $w$  = ancho de la banda  
 $r$  = radio del tambor.

Mediante el diagrama del cuerpo libre del sistema de guiado (Fig. 4.63) se determina las tensiones  $P_2$  y  $P_1$  a partir de la Fuerza  $F_1$  necesaria para la activación del frenado.

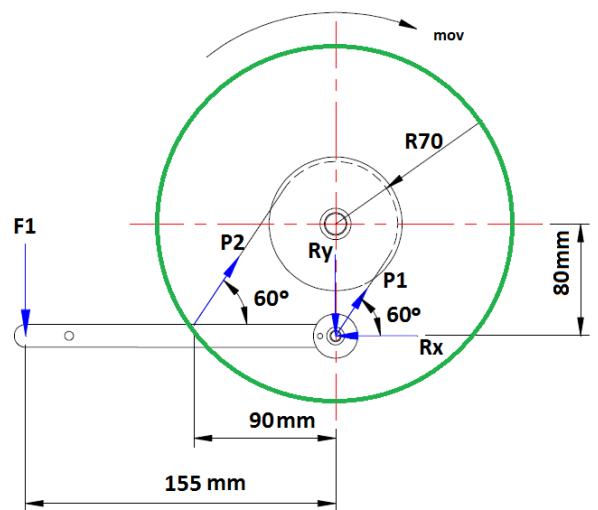


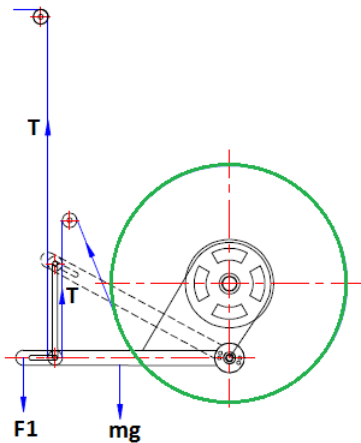
Fig. 4.63 Diagrama de cuerpo libre del mecanismo de frenado

$$\sum M = 0$$

$$F_1 * 155 = P_2 * \text{sen}(60) * 90$$

Para determinar la fuerza  $F_1$  necesaria para el frenado se toma en cuenta la fuerza producida por el carrete de las mordazas para tensionar el plástico, como se muestra continuación:

<sup>16</sup> Robert Mott, Diseño de Elementos de Maquinas, 4ta. edición, Editorial PARSON, Pág. 860



**Fig. 4.64** Diagrama de cuerpo libre de la palanca de freno

$$\sum F_y = 0$$

$$2T = F_1 + mg$$

La tensión T viene dada por el peso del carro de las mordazas que es: 85 N.

Por tanto tenemos:

$$F_1 = 2 * 85 - 1.5 = 168.5 \text{ N}$$

Entonces:

$$P_2 = \frac{168.5 * 155}{\text{sen}(60) * 90} = 335.09 \text{ N}$$

El material para la banda de freno debe facilitar su acople respecto a la forma simétrica del tambor, por tanto se considera un material tejido con un coeficiente a la fricción de 0.25 al contacto con el acero y una presión máxima de 100 psi (690 KPa).

$$P_1 = \frac{335.09}{e^{0.25 * \pi}} = 152.7 \text{ N}$$

$$P_2 > P_1 \text{ entonces } i = 2$$

Por tanto el espesor que tiene la banda de frenado es:

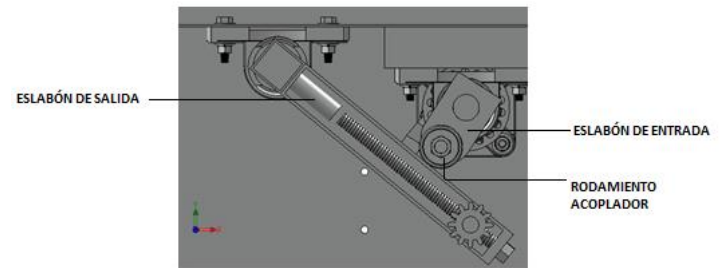
$$w = \frac{P_2}{P_{MAX} * r} = \frac{335.09}{690000 * 0.07} = 7,35 \text{ mm}$$

$$\approx 7,5 \text{ mm}$$

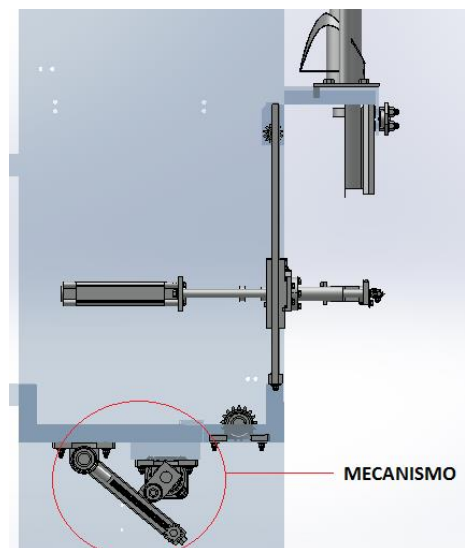
### 1.1.4.3. Mecanismo Transformador

Para el proceso de arrastre de las fundas es necesario que el carrete de las mordazas oscile verticalmente en un ciclo continuo de trabajo para lo cual se diseña un mecanismo transformador de movimiento en la parte inferior de la máquina.

El mecanismo está compuesto por un eslabón de entrada que está acoplado al eje impulsor, un rodamiento acoplador y un eslabón de salida que genera el movimiento (Fig. 4.71 y Fig. 4.72).

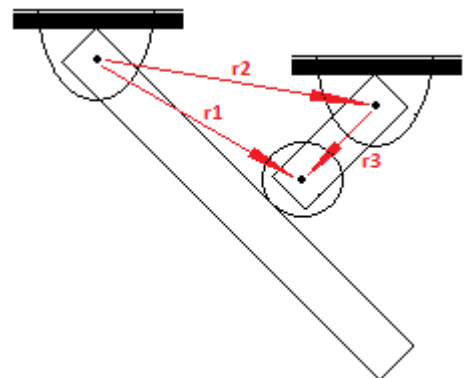


**Fig. 4.71** Mecanismo transformador



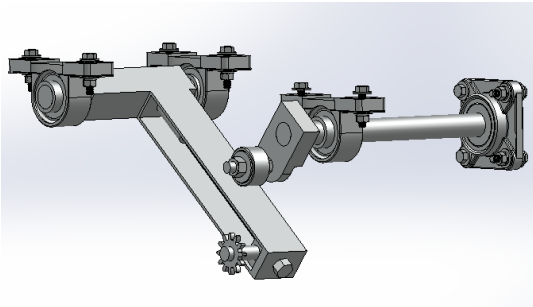
**Fig. 4.72** Ubicación del mecanismo transformador

### Análisis del mecanismo:<sup>17</sup>



<sup>17</sup> Teoría de máquinas y mecanismos asistida con computador, Fernando Olmedo, ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

**Fig. 4.73** Diagrama vectorial del mecanismo transformador



**Fig. 4.78** Ensamble del mecanismo transformador

#### 1.1.4.4. Selección de Motor

En este caso se selecciona el motor con respecto al valor del torque máximo necesario para realizar el desplazamiento vertical del carrete de las mordazas. Tomando en cuenta que el mecanismo transformador utiliza una polea móvil que reduce a la mitad la fuerza para el funcionamiento del sistema. El torque máximo está dado por la distancia tomada desde el eje accionado por el motor hasta el eje del rodamiento, por tanto tenemos:

$$T = F * d \quad (Ec. 4.38)$$

$$T = \frac{W_{CARRETE}}{2} * X \quad (Ec. 4.39)$$

$$T = \frac{85N}{2} * 0,04 = 1.7 Nm$$

De los catálogos de ABB mostrados en el Anexo B, se encontró un motor trifásico de tipo jaula de ardilla de dos polos a 3600 rpm totalmente cerrado y autoventilado que tiene por torque máximo de 2.2 Nm con una potencia de 1HP y frecuencia de 60 Hz

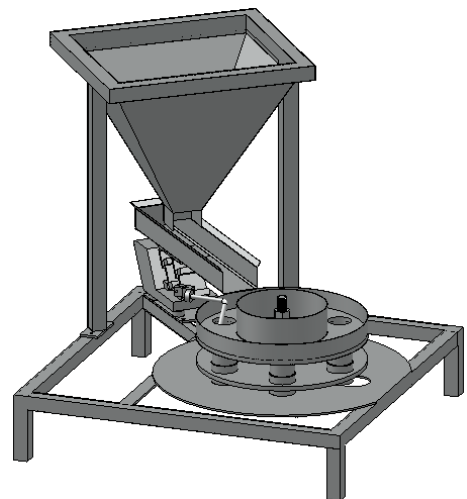
### 1.1.5. SISTEMA DE DOSIFICACIÓN

Este sistema se encarga de proporcionar la cantidad adecuada a ser envasada, para lo cual se ha diseñado armazones móviles que contendrán ambos sistemas

que posteriormente se acoplen al armazón principal permitiendo aprovechar la máxima productividad de la máquina.

#### 1.1.5.1. Dosificación por Volumen

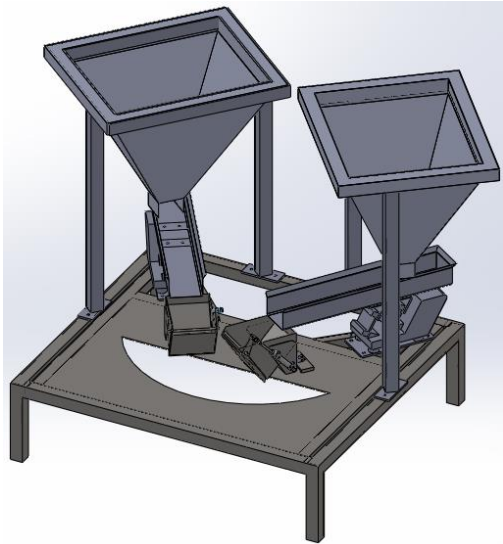
El sistema de dosificación por volumen consta de una tolva de alimentación que entrega el producto almacenado, una bandeja de vibración, dos platos giratorios uno superior y el otro inferior mismo que contienen 6 vasos telescópicos de volumen regulables cuya rotación se produce mediante un motor reductor ubicado en la parte inferior y un mecanismo tipo brocha que regula la cantidad a Empacar en cada uno de los vasos (Fig. 4.82).



**Fig. 4.82** Sistema de dosificación por volumen

#### 1.1.5.2. Dosificación por Peso

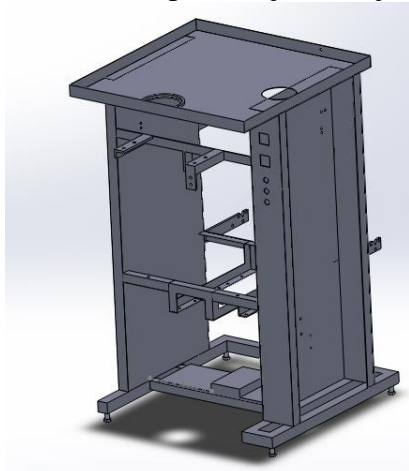
El sistema consta de dos balanzas con compuertas accionadas electro neumáticamente que son alimentadas a través de dos bandejas vibratorias mismas que reciben el producto de dos tolvas de alimentación con capacidad de 4kg cada una (Fig. 4.85).



**Fig. 4.85** Sistema de dosificación por peso

### 1.1.6. DISEÑO DEL BASTIDOR

Con el fin de albergar todos los sistemas con lo que cuenta la máquina para realizar el proceso de empaque, las consideraciones tomadas para el diseño y construcción del bastidor han sido estudiadas y analizadas para obtener el mejor resultado y máximo aprovechamiento de recursos físicos, materia prima y tiempo de construcción, así como su mutua comunicación ya sean estas mecánicas, electrónicas o eléctricas con el fin de operar bajo un objetivo común.



**Fig. 4.89** Esquema de la estructura metálica

Existe diversos tipos de materiales para construir una estructura como esta, entre ellos se encuentran perfiles, ángulos, planchas de acero, etc.

Antes que analizar resistencia necesaria en las paredes y perfiles es más importante considerar las uniones soldadas de la estructura. Las soldaduras deben

cumplir con los requisitos y normas para poder estar dentro de las condiciones necesarias de seguridad.

## 1.2. SISTEMA ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO

### 1.2.1. SELECCIÓN DE ELEMENTOS ELÉCTRICOS

Para el sellado horizontal y vertical se selecciona la resistencia eléctrica en base a la temperatura de operación (máx 150 °C) y la facilidad de montaje con las mordazas, para lo cual se utiliza la Resistencia Tipo Cartucho de alta Concentración mismas que son ideales en aplicaciones como estampado en caliente, equipos de empaque, selladoras de bolsas y permiten operar a una máxima temperatura de 820 °C (1500 °F) ver anexo I



**Fig. 4.92** Resistencia Tipo Cartucho a de lata concentración<sup>18</sup>

Para el control de temperatura en las niquelinas de los sistemas de sellado vertical y horizontal, se emplea Controles de Temperatura Digitales ON/OFF (Fig. 4.101) que permiten estabilizar la temperatura previamente ingresada según el material de empaque. Para lo cual se adquirió un Temperature Controller REX C100, mismo que utiliza termocuplas tipo J para la lectura de la temperatura, permitiendo que el sistema de sellado se encuentre oscilando entre los 85 y 120 °C

<sup>18</sup> [www.tempco.com/bodypages/products.pdf](http://www.tempco.com/bodypages/products.pdf)





Fig. 4.102 Control de Temperatura<sup>19</sup>

Para obtener buena precisión en el control de la temperatura a través de cargas resistivas. El Relé de estado sólido monofásico lineal, entrada lineal de 4-20mA DC es la elección correcta, Este relé actúa sobre la carga de modo proporcional atenuando o incrementando la potencia de la carga en relación a la necesidad del proceso. Este relé cuenta con capacidad de Corriente de 25 Amp, para cargas con suministro de poder desde: 90 a 250 VAC, alternativa ideal para aplicaciones en el control de Temperatura



Fig. 4.102 Control de Temperatura<sup>20</sup>

## 1.2.2. DISTRIBUCIÓN DEL ARMARIO ELÉCTRICO

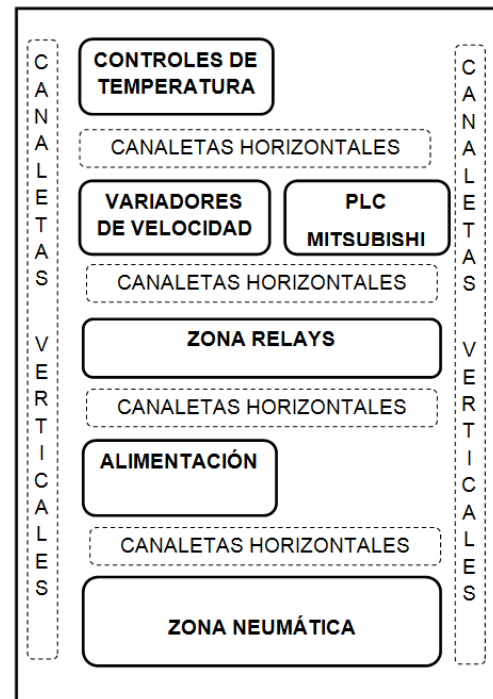


Fig. 4.91 Distribución del Tablero Eléctrico

## 1.3. SISTEMA NEUMÁTICO

La empacadora cuenta con 3 pistones neumáticos que son los encargados del corte y sellado tanto horizontal como vertical de la funda y 2 pistones adicionales en el caso de la dosificación por peso para efectuar el cierre y la apertura de las balanzas.

Es indispensable contar con electroválvulas, un filtro de aire, mangueras neumáticas y un distribuidor con regulador de flujo para el correcto funcionamiento de los actuadores.

### 1.3.1. DISTRIBUIDOR REGULADOR DE FLUJO

Lo recomendable es usar un distribuidor con un regulador 1/3 neumático (Fig. 4.92) con manómetros independientes en cada una de las líneas de salida del aire, permitiendo regular el flujo y la presión para cada uno de los pistones.

<sup>19</sup> www.miniinthebox.com

<sup>20</sup> www.alltronicsperu.com



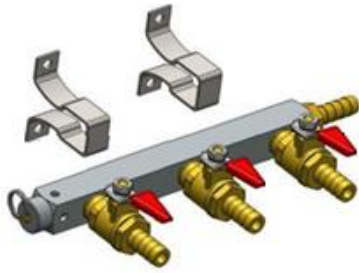


Fig. 4.93 Distribuidor de Aire<sup>21</sup>

### 1.3.2. ELECTROVÁLVULAS

Son las encargadas de controlar la dirección de flujo de aire hacia los pistones, mediante una señal eléctrica. Para este caso se utilizan electroválvulas 5/2 monoestables con retorno de muelle (Fig. 4.93) que facilitan el control para la salida y retorno de los actuadores.

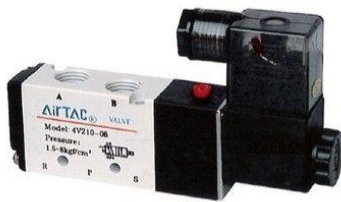


Fig. 4.94 Electroválvula monoestable (AIRTAC) 5/2 con retorno de muelle<sup>22</sup>

### 1.3.3. SILENCIADOR

Se utiliza silenciador neumático de ¼ pulgada a la salida del Pistón de sellado horizontal con el fin de reducir el sonido producido por el desfogue de aire, en cada pulso de sellado.

### 1.3.4. FILTRO DE AIRE

Tiene la misión de extraer del aire comprimido circulante todas las impurezas y el agua condensada garantizando el perfecto funcionamiento de cada uno de los elementos neumáticos que contiene la empacadora como electroválvulas, manómetros y actuadores neumáticos (Fig. 4.94).



Fig. 4.95 Filtro de Aire<sup>23</sup>

### 1.3.5. MANÓMETROS

La presión con la que trabaja cada sistema debe ser visualizada en manómetros (Fig. 4.95) ubicados a la salida de cada ramificación del distribuidor regulador, garantizando la fuerza necesaria en cada pistón.



Fig. 4.96 Manómetro Neumático<sup>24</sup>

## 4.4. SISTEMA DE CONTROL

### 4.4.1. DESCRIPCION DEL PROCESO

La empacadora debe realizar la dosificación de dos maneras, por peso y por volumen, por tanto el proceso queda dividido en dos subprocesos.

El primero consiste en la dosificación por volumen, donde el producto que está almacenado en la tolva acoplada a la bandeja, cae al plato giratorio con seis vasos volumétricos mediante el vibrador que regula la velocidad de alimentación. Posteriormente el producto cae en cantidades iguales hacia el tubo de papel ya formado para el posterior sellado vertical, horizontal y corte de la funda.

El segundo subproceso es el de la dosificación por peso, donde el producto que igualmente está almacenado en tolvas desemboca en dos bandejas acopladas a balanzas mismas que pesan el producto y

<sup>21</sup> www.alibaba.com

<sup>22</sup> es.airtac.com

<sup>23</sup> Spanish.alibaba.com

<sup>24</sup> Neumática-es.timmer-pneumatik.de

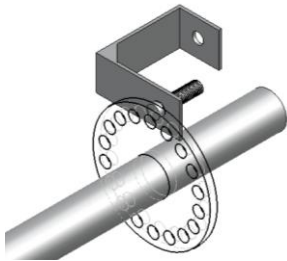
que posteriormente alimentan el tubo de papel formado en cantidades exactas para su inmediato sellado y corte.

#### 4.4.2. SELECCIÓN DE ELEMENTOS DE CONTROL

##### 4.4.2.1. Sensores

El sistema de control de una máquina se basa en la correcta información recibida de los sensores seleccionados en función del tipo de trabajo a realizar.

Para este proceso de empaqueo donde el sellado tanto horizontal como vertical y el corte, es indispensable conocer el posicionamiento del carrete de las mordazas en cada instante de tiempo, para lo cual se acopla un Encoder compuesto de un sensor inductivo y una rueda metálica de 18 agujeros en el eje principal de movimiento (Fig. 4.98).



**Fig. 4.99** Acople sensor inductivo

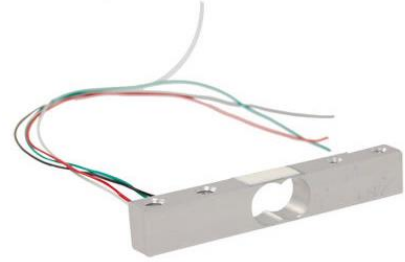
Para la dosificación volumétrica se utiliza un sensor de proximidad (inductivo) (Fig. 4.99) para el correcto posicionamiento de los vasos telescópicos con respecto al centro del ducto de la alimentación.



**Fig. 4.100** Sensor inductivo de proximidad industrial<sup>25</sup>

En la dosificación por peso se emplea una celda de carga (Fig. 4.100) ubicada en la parte inferior de cada balanza. La señal de salida obtenida se acopla a un

circuito amplificador que está conectado a las entradas del PLC para el control de la apertura y cierre de las compuertas de cada balanza.



**Fig. 4.101** Celda de carga<sup>26</sup>

Para detectar la temperatura se utiliza termocuplas tipo J, que están elaboradas con un alambre de hierro y otro de Constantan (cobre –níquel), utilizadas en industrias de plásticos, gomas y fundición de metales a bajas temperaturas, permitiendo su operación en rangos de temperatura comprendidos entre (-180 a 750 °C). ver anexo J



**Fig. 4.101** Celda de carga<sup>27</sup>

##### 4.4.2.2. Controlador Lógico Programable

Para la selección del PLC se toma en cuenta la cantidad y el tipo de variables a controlar tanto de entrada como de salida. En el proceso de empaqueo se tiene 8 entradas entre sensores y accionamientos, y 12 salidas para actuadores y electroválvulas.

Usando catálogos MITSUBISHI (Fig. 4.102) se determina:

<sup>25</sup> [www.automatizando.com.co](http://www.automatizando.com.co)

<sup>26</sup> [www.basculasmoresco.com](http://www.basculasmoresco.com)

<sup>27</sup> [www.olinsa.cl](http://www.olinsa.cl)

Table 1.1: AC Power, Relay Output Units

MODEL	INPUT		OUTPUT		POWER SUPPLY	DIMENSIONS			MASS (WEIGHT) kg (lbs)
	QTY	TYPE	QTY	TYPE		mm (inches)			
FX1s-10MR-ES/UL	6	24V DC Sink / Source	4	Relay	85 - 264 VAC	60	90	75	0.30
FX1s-14MR-ES/UL	8		6			(2.37)			(0.66)
FX1s-20MR-ES/UL	12		8			75			0.40
FX1s-30MR-ES/UL	16		14			100			0.45
						(2.96)	(3.55)	(2.96)	(0.88)
						(3.94)			(0.99)

Fig. 4.103 Selección del PLC<sup>28</sup>

El PLC que se adapta a las necesidades de nuestro sistema es el PLC MITSUBISHI FX1S-30MR mostrado en la figura 4.104, que cuenta con 12 entradas y 14 salidas.



Fig. 4.104 PLC MITSUBISHI FX1S-30MR<sup>29</sup>

#### 4.4.2.3. Variador de Frecuencia

Es el encargado de manipular la velocidad del motor a través de la variación de su frecuencia de alimentación.

Para la selección del variador se considera el tipo de motor, el rango de velocidad a variar y la aplicación a desempeñar, en nuestro caso tenemos un motor trifásico ABB de 1 Hp de potencia con un torque máximo de 2.2 Nm y una frecuencia de alimentación de 60 Hz.

200 / 240 V CA +/- 10% trifásico	Carga normal			Alta sobrecarga		
	Intensidad continua máxima (A)	Salida típica (kW)	Potencia del motor (CV)	Intensidad continua máxima (A)	Salida típica (kW)	Potencia del motor (CV)
Código de pedido						
SKBD200110				5,2	1,1	1,5
SKBD200150				7	1,5	2
SKCD200220				9,6	2,2	3
SK2202	22	5,5	7,5	17	4	5,0
SK2203	28	7,5	10	25	5,5	7,5
SK3201	42	11	15	31	7,5	10
SK3202	54	15	20	42	11	15
SK4201	68	18,5	25	56	15	20
SK4202	80	22	30	68	18,5	25
SK4203	104	30	40	80	22	30
SK5201	130	37	50	105	30	40
SK5202	154	45	60	130	37	50

Fig. 4.105 Selección del Variador de Frecuencia<sup>30</sup>

En el mercado se adquirió un Variador de Frecuencia EMERSON COMMANDER SK TIPO A (Fig. 4.105), mismo que cuenta con las siguientes especificaciones:

- Frecuencia de salida de 0 a 1500 Hz
- Rampas de aceleración y desaceleración lineales o de tipo S
- Temperatura ambiente de -10 °C a 40 °C
- Disponibilidad de 8 velocidades predefinidas.

## ANÁLISIS ECONÓMICO Y FINANCIERO

### 6.1.1. COSTOS TOTALES

Costos Totales	
Rubro	Costo
Costo de Materiales Directos	1256,54
Costos de Elementos y Accesorios	3120,90
Costo de Fabricación y Ensamblaje	618,46
Costo de Materiales Indirectos	87,50
Costos de Mano de Obra Indirectos	2700,00
Costos Operativos	725,00
<b>SUBTOTAL</b>	<b>8508,40</b>
Utilidad 50%	4254,20
<b>COSTO TOTAL</b>	<b>12762,60</b>

Tabla 6.7 Costos Totales

<sup>28</sup> www.mitsubishielectric.com

<sup>29</sup> www.mitsubishielectric.com

<sup>30</sup> www.redeselectricas.com/archivos/emerson/CommanderSK-bro\_espanol.pdf

## 7.1. CONCLUSIONES

La empacadora alcanza los rendimientos establecidos de 25 empaques por minuto para empaques pequeños de 220 mm de altura y 40 empaques por minuto para empaques grandes de 80 mm de altura.

La máquina está diseñada tanto para trabajar con dosificación volumétrica así como para dosificación por peso, permitiendo el empaque de snacks de diferente consistencia, convirtiéndose así en un modelo innovador y competitivo en el mercado ecuatoriano.

El sistema de control utilizado (PLC) ofrece flexibilidad en cuanto al rendimiento productivo así como al tipo de dosificación a utilizar.

El control de temperatura es programable en cuanto al tipo de polímero a utilizarse, asegurando y garantizando un correcto sellado en todos sus empaques.

La Empacadora cumple con las normas INEN NTE UNE-EN13130-1 ALIMENTOS en la aplicación de acero inoxidable en las superficies de contacto con el producto e INEN NTE 2644 SERVICIOS AMBIENTALES al no tener desperdicios orgánicos (snacks) e inorgánicos (polímeros).

Los planos de la máquina fueron entregados en el plazo establecido a la empresa ECUAMEX S.A. para la utilización en futuros proyectos.

El costo total de \$12762,60 de la máquina empacadora diseñada es aproximadamente la mitad del costo de una empacadora con características similares en el mercado ecuatoriano que cuenta con un solo tipo de dosificación y presta la mitad del rendimiento de trabajo.

## 7.2. RECOMENDACIONES

Con el fin de mejorar la precisión en la regulación del tamaño de las fundas es apropiado colocar topes de acuerdo a las dimensiones de las fundas a utilizar.

Realizar un mantenimiento mensual de la máquina que incluya lubricación de los ejes verticales y horizontales del sistema de sellado, para garantizar un correcto desplazamiento del carrete de las mordazas.

Posicionar correctamente las termocupla de las mordazas tanto del sellado vertical como horizontal asegurando la efectiva lectura de temperatura para su control.

## BIBLIOGRAFÍA

### LIBROS CONSULTADOS

- Mott, R. (2006). *Diseño de Elementos de Máquinas* (Cuarta edición). México: Pearson Educación.
- Olmedo, F. (2010). *Teoría de Máquinas y Mecanismos Asistida con Computador*. Sangolquí-Ecuador: Escuela Politécnica del Ejército.
- Medina, A. & Iza, M. (2006 - 2012). *Apuntes Carrera Ingeniería Mecatrónica*, Sangolquí-Ecuador: Escuela Politécnica del Ejército.

### TESIS CONSULTADAS

- Moreno, E. (2010). *Diseño de una máquina empacadora dosificadora y selladora de fundas para arroz*. (Proyecto de Titulación Previo a la obtención del Título de Ingeniero Mecánico). Escuela Politécnica Nacional, Quito-Ecuador.

### DIRECCIONES INTERNET:

- <http://www.automatizando.com.co>. (2010). *Elementos y sensores para procesos automatizados Colombia*. Español.
- <http://news.directindustry.es>. (2007). *Industria de Manufactura y Construcción de Máquinas para producción*. Inglés.
- <http://www.ing.puc.cl>. (2009). *Catálogos y Tablas para Resistencia de Pernos*. Pontificia Universidad Católica de Chile. Español.
- <http://www.abb.com/abblibrary/downloadcenter>. (2010). *Catálogo de Productos ABB*. Español.

- [http://www.mitsubishi-automation.es/products/compactplc\\_FX1S.html](http://www.mitsubishi-automation.es/products/compactplc_FX1S.html). (2002). *Página Oficial Mitsubishi para Soporte Técnico*. Español.
- [http://www.redeselectricas.com/archivos/emerson/CommanderSKbro\\_espanol.pdf](http://www.redeselectricas.com/archivos/emerson/CommanderSKbro_espanol.pdf). (2010). *Manual de Programación Variadores Emerson*. Español.
- <http://es.airtac.com>. (2008). *Industria elaboración y fabricación de productos neumáticos e hidráulicos*. Español.
- <http://www.basculasmoresco.com>. (2011). *Elaboración de Celdas de carga para procesos industriales*. Español.