



## DISEÑO DE UN SISTEMA SEMIAUTOMÁTICO PARA EL EMPAQUETADO DE GOLOSINAS DE DIVERSOS TAMAÑOS

**Aurora Aparicio Castillo**

*Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica Unidad Azcapotzalco*  
[aaparicioc@gmail.com](mailto:aaparicioc@gmail.com)

**Emilia Huerta Amaro**

*Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica unidad Azcapotzalco*  
[emyhuerta@gmail.com](mailto:emyhuerta@gmail.com)

**Alberto Alejandro Tapia Dávila**

*Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica unidad Azcapotzalco*  
[atapia@ipn.mx](mailto:atapia@ipn.mx)

### Resumen

*El presente proyecto muestra el diseño de un sistema de empaquetado y sellado para dulces a granel que pretende ser de operación sencilla y precio competitivo en el mercado, esto cumpliendo con el objetivo de empaquetar el producto reduciendo la dependencia de terceros en el proceso y permitiendo aumentar la eficiencia y eficacia del mismo, mejorando así el nivel de producción. La máquina permite realizar el proceso de manera que cumpla con los estándares de higiene y calidad aplicables al sector alimenticio con lo que se mejora el método tradicional de empaquetado (manual), el diseño de la máquina busca ser flexible para que pueda usarse con diversos materiales a granel, siempre que estos no sobrepasen un tamaño y gramaje establecido en las metas de diseño de la máquina.*

*Palabras clave: empaquetado, sellado, granel, golosinas.*

México es uno de los principales productores y consumidores de confitería en América Latina y el mundo; según estadísticas este mercado se moverá entre los 4400 a 5400 millones de dólares en los próximos cuatro años, si consideramos que México es el segundo mayor

proveedor de confitería de Estados Unidos y que el consumo per cápita de los mexicanos es de 4.5 kg/año se debe hacer frente a esta demanda, por lo que la industria de envasado de confitería debe proponer un sistema con mayor

flexibilidad que satisfaga la demanda del mercado actual.

### Árbol de Funciones

En la figura 1 se muestran las funciones que integran todo el sistema a diseñar y las subfunciones del mismo, mismas que fueron obtenidas de la construcción de la casa de calidad utilizando la herramienta QFD.

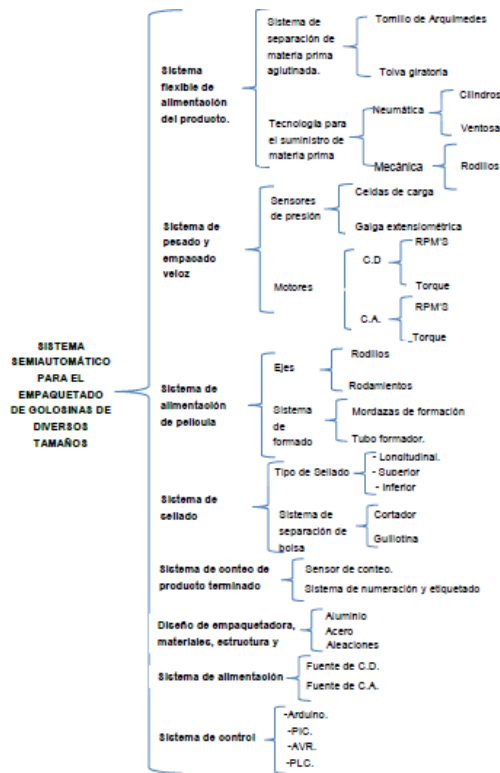


Figura 1. Árbol de las Funciones del Sistema Semiautomático de empaquetado (elaboración propia)

El sistema de empaquetado es subdividido a fin de facilitar el diseño de las partes que integrarán la construcción del sistema.

### 1. Propuesta de Solución

En la figura 2 y 3 se muestran las vistas frontales y los componentes seleccionados para la propuesta de diseño.

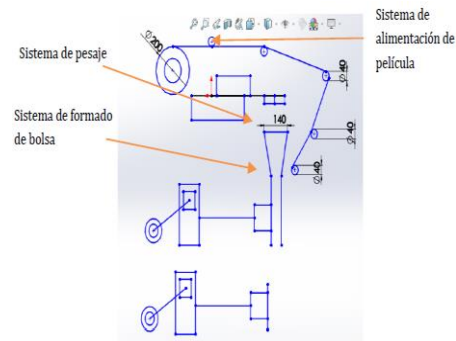


Figura 2. Vista Frontal del Sistema Propuesto (elaboración propia)

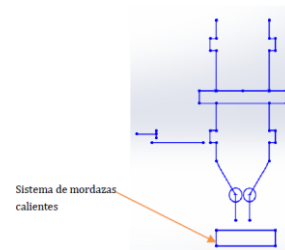


Figura 3. Vista Lateral del Sistema Propuesto (elaboración propia)

Para el sistema de alimentación se elige la Fuente de CD SPA-100-24, con un amperaje de salida de 4.2 A, capaz de soportar la corriente demandada por todo el sistema, especialmente la corriente de los motores.

Debido a que la máquina tendrá contacto con productos alimenticios el material empleado para su construcción deberá ser el Acero Inoxidable AISI 304 que es inocuo, además de contar con características mecánicas idóneas, como el módulo de elasticidad que es de 193 GPA. Para la parte motriz de la máquina se

considera el motor Transtecno ND120.240, el cual trabaja a 24 Vcd a 3000 rpm, con una potencia de 0.214 HP y un torque de 0.38 Nm, este último factor es importante para la sección de los rodillos, pues es la fuerza necesaria para realizar el tensado del material a formar.

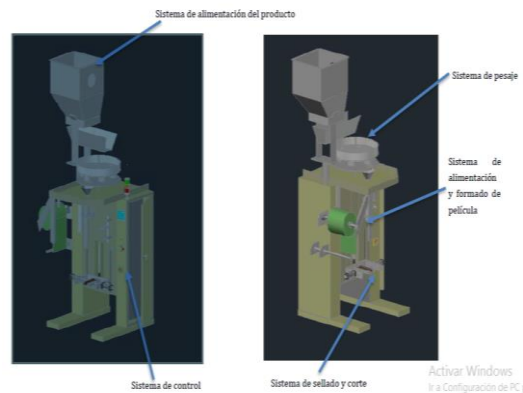
El sistema de pesaje tiene como objetivo conseguir la uniformidad del contenido en las bolsas, las cuales deben contener un peso pequeño, por lo que el sensor de fuerza tipo S-ISA es ideal para el rango de pesado, el cual es de 1-10 lb, con una repetibilidad de 0.1%.

Para el sistema de control se elige el PLC Panasonic FPOR, capaz de realizar el manejo de cargas de corriente alterna y corriente directa, debido a que posee relevadores en las salidas, por lo que no requiere etapa de potencia para realizar el control de cargas de corriente alterna.

Su velocidad de procesamiento es de 0,08  $\mu$ seg./paso y tiene una capacidad de almacenamiento de hasta 16000 pasos, cuenta con 64 entradas/64 salidas a transistor o 54 salidas a relé, además de 24 entradas analógicas/12 salidas analógicas.

## 2. Diseño

Para la elaboración de un diseño mucho más exacto, se utilizó una herramienta de dibujo asistido por computadora (CAD), y fue posible desarrollar los dibujos mostrados en las siguientes figuras.



Figuras 4 y 5. Diseño preliminar en CAD mostrando los 5 partes que lo integran (elaboración propia)

### 2.1 Diseño de la Estructura del Sistema

La estructura tiene la función de soportar el peso total de todos los componentes de la máquina, las dimensiones de la estructura son de 580x480x950mm, está diseñada para ser fabricada con perfil cuadrado de 20x20x2mm. Todas las partes de la estructura serán unidas mediante soldadura.

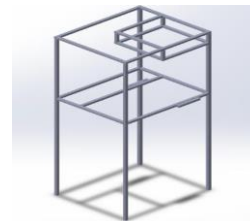


Figura 6. Diseño de la Estructura de la máquina

La principal característica que debe cumplir el material empleado para la construcción de la maquina en general, es que debe ser altamente resistente a la oxidación, es por ello que se seleccionó un acero inoxidable AISI 304.

Para soldar de forma correcta el acero inoxidable se seleccionó el electrodo AWS: E308/308H-16 el cual es un electrodo de composición típica 19%CR y 10 %Ni. Lo cual

lo hace un electrodo altamente resistente contra los esfuerzos, de fácil remoción de escoria y excelente acabado.

## 2.2. Sistema de Alimentación de Materia Prima

En el sistema de alimentación de materia prima a empacar, la misma será colocada por el operario y tendrá como punto final el sistema de pesado (ver figura 7). Este sistema está compuesto por una tolva de recepción y almacenamiento y un tornillo que tendrá como función principal la separación de la materia prima aglutinada



Figura 7. Sistema de alimentación de materia prima

### 2.2.1 Tolva

La tolva diseñada tiene una geometría trapezoidal, de tal manera que las paredes tienen una inclinación, a fin de que el tornillo reciba gradualmente la materia prima, evitando que este se atasque.

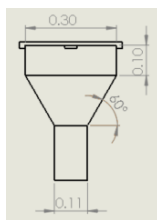


Figura 8. Dimensiones en metros de la Tolva

Para obtener el volumen de la tolva, se divide en 2 formas geométricas simples, y se encuentran sus volúmenes respectivos, los que se suman para obtener el volumen total.

$$VT = V1 + V2$$

$$V1 = 0.30 \times 0.10 \times 0.29 = 0.0087 \text{ m}^3$$

$$V2 = \left( \frac{(A+B) \times h}{2} \right) (e) = \left( \frac{(0.30 + 0.11) \times 0.10}{2} \right) (0.29) = 0.0059 \text{ m}^3$$

$$VT = 0.0087 + 0.0059 = 0.0146 \text{ m}^3$$

### 2.2.2 Tornillo separador y dosificador de materia prima

En el diseño se considera una separación entre hélices de 15mm y un diámetro máximo de 94mm. La extensión del eje del tornillo es de 305mm, los cuales son necesarios para que sea fijado a un motor eléctrico, encargado de la velocidad de giro del tornillo, así como la fuerza máxima aplicada para evitar el aglutinamiento de materia prima.

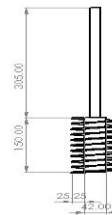


Figura 8. Dimensiones en milímetros del tornillo

Por lo que el volumen que dosificará el tornillo sin fin en una vuelta completa alrededor del eje es:  $Vh = 104.09 \text{ cm}^3$ .

Debido a que se requiere que el eje del tornillo no tenga movimiento relativo entre este y el del motor y considerando las condiciones de trabajo a las que este estará sometido, se considera un acoplamiento rígido, de tal manera que no exista movimiento entre los ejes unidos.

La potencia para accionar un tornillo sin fin a plena carga, es la suma de tres componentes necesarios, la potencia necesaria para desplazar el material (PH), potencia necesaria para el accionamiento del tornillo al vacío (PN) y potencia necesaria para vencer una inclinación.



Por lo que la expresión matemática es la siguiente:  $P_t = P_H + P_N + P_I$ .

Realizando las factorizaciones pertinentes se obtiene una expresión para la potencia total de la siguiente forma.

$$P_t = \frac{Q (C_0 L)}{367} + \frac{DL}{20}$$

$$P_t = 7.71 \times 10^{-4} kW = 0.77 W$$

Por lo que se selecciona un motor NEMA 7 cuyas características de potencia son suficientes para cumplir con su tarea.

### 2.3 Sistema de Alimentación y Formado de Película

El proceso de empaque se divide en tres etapas, las cuales son:

- 1) La formación de la bolsa, 2) El llenado y 3) Sellado de la bolsa.

#### 2.3.1 Tensiones en el sistema de alimentación de película

Si asumimos una eficiencia del 99% de los rodillos por los que pasa la película y con  $n=5$  rodillos, la tensión después del último rodillo, que corresponde a la bobina es aproximadamente:

$$F_{bobina} = 0.995 \times 19.8 = 18.83 N$$

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

$$T = F_{bobina} \times r_{bobina} = 18.83 (0.2652) = 2.49 Nm$$

Este es entonces el torque con la fuerza máxima permitida para que el material no se

deforme plásticamente durante los ciclos de arranque y paro.

#### 2.3.2. Rodillos tensores

Los rodillos tensores se harán de acero SAE 1020, con un recubrimiento especial vulcanizado, que tiene la función de proteger el film de plástico de cualquier efecto causado por la corrosión, también evitan que la bobina continúe girando al arrastrar el empaque y absorben energía cada vez que el motor arranca.

Las cargas de tipo axial sobre cada uno de los rodillos tensores son prácticamente despreciable, por lo cual no se realiza el análisis de esfuerzos.



Figura 9. Rodillo Tensor

#### 2.3.3 Arrastre

La potencia requerida por los motores es de:

$$P = M \times \omega_{motor} \times 2\pi/60 = 0.49 \times 47.64 \times 2\pi/60000 = 0.0024 kW$$

Debido a que se colocan dos motores, la potencia de cada uno deberá ser de la mitad de la potencia anterior

$$P_{motor} = 0.001 kW$$

Los motores seleccionados para realizar esta función, son motores NEMA 17.

#### 2.3.4 Tubo formador

Este elemento se encuentra constituido por tres partes fundamentales:



- Tubo: Es el elemento que da el tamaño de la bolsa o envase, se fabrica en acero inoxidable
- Corbata o cuello: Es el elemento que da la forma a la bolsa o envase, se fabrica en AISI 304 pero con un rallado que facilita el deslizamiento del film de plástico.
- Soportes: Es lo que fijan la tolva de caída de producto, a la máquina envasadora, se suele fabricar en aluminio anodizado.

### 2.3.5.1. Selección de las bandas de arrastre.

El polietileno pasa por el hombro formador gracias a la tracción que ejerce este sistema de bandas de arrastre, ya que posee las mejores propiedades de deslizamiento de la cara interna del material.

En este caso se seleccionó un recubrimiento de caucho formulado de acuerdo a la normativa FDA sección 177.2600, además cuenta con las recomendaciones de la BgVV Alemana categoría 4, por lo que son aptos para el contacto con alimentos.

## 3.4 SISTEMA DE SELLADO Y CORTE

El sistema de sellado tanto horizontal como vertical cuenta con dos mordazas que mediante el método de sellado por impulsos permiten el sellado de la parte inferior y superior de la bolsa. El movimiento de las mordazas está dado por un sistema de biela-manivela accionado por un motor.

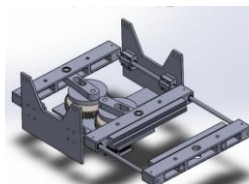


Figura 10. Sistema de sellado Horizontal

Se estimó una longitud de mordazas de 180mm.

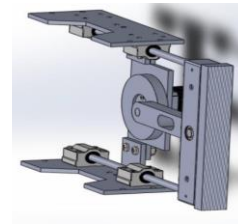


Figura 11. Sistema de sellado Vertical

La longitud de mordazas será de 200mm.

Para realizar tanto el sello horizontal como el sello vertical, es necesario elevar la temperatura de las mordazas desde los 20°C hasta los 150°C.

Según el fabricante de las mordazas, el tiempo para que estas se calienten es de 5 minutos, una vez pasado este tiempo se obtiene una temperatura óptima para el sellado.

## 2.5 Sistema de Control

### 2.5.1 Diseño del circuito de potencia

Esta etapa es implementada con la finalidad de proteger al sistema de control y es para cada una de las salidas digitales del controlador.

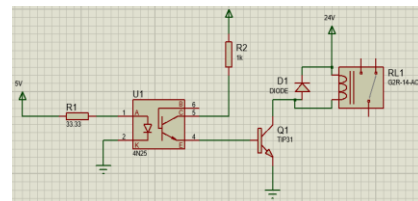


Figura 12. Etapa de Potencia para cada salida Digital

En la figura 13 se presenta la distribución física de los elementos dentro de la placa, esta vista en 3D da una idea de cómo queda la placa.

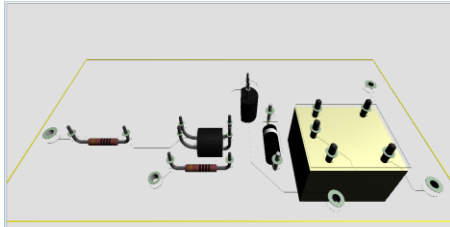


Figura 13. Vista 3D de la etapa de potencia

### 2.5.2 Cálculo de protección contra sobre carga con interruptores automáticos.

En el caso de los interruptores automáticos la norma IEC 60947-2 establece que:

$$I_2 = 1.3 * I_n$$

$I_2 = 1.3 * 12.8 = 16.64 A$ , corriente mínima permisible.

Debido al valor de la corriente se hace uso de un interruptor termomagnético, el cual permite proteger al sistema de cortocircuito y sobrecarga simultáneamente, el modelo seleccionado es el NS100.

### 2.5.3 Tableros de control.

Los tableros de control son gabinetes donde se alojan todos los equipos de protección, maniobra, control, medición, comunicación, conexión y señalización, el tablero de control viene totalmente normalizado bajo la Norma NEMA 250.

### 2.5.4 Selección de elementos de detección.

**Termopares:** Se colocan termopares Tipo J en la mordaza vertical y en la mordaza horizontal, son ubicados lo más cerca posible a la superficie de sellado para que la lectura de la temperatura del sellado sea uniforme.

**Sensores de Posición:** el sensor ideal para el sistema es el encoder lineal, debido a que su

tiempo de respuesta y su resolución permiten un mejor posicionamiento de las mordazas. El encoder lineal es Tipo MM de la marca Fagor, con una precisión de  $\pm 10 \mu m$ .

**Sensor de nivel para solidos:** Es un elemento que permite hacer el proceso de empaquetado eficiente y evita paros en la producción, el sensor capacitivo de nivel seleccionado es el PFG06L de CAMLogic.

## 2.6 Programación

Al estar la maquina conectada, esta se deberá encender mediante el interruptor general, la maquina no podrá realizar el empaquetado si se encuentra activo el paro de emergencia (ver figura 14), esto como medida de seguridad para el usuario, ya que los motores se encontrarán desenergizados, el sistema de mordazas estará en posición inicial, es decir las mordazas no estarán siendo calentadas.

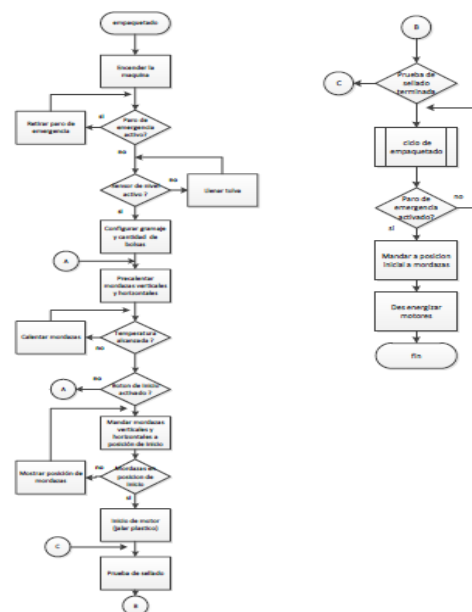


Figura 14. Diagrama a bloques de la etapa de programación

### 2.6.1 Diagrama de Flujo del Empaquetado

Primero, el sistema se debe abastecer del material con el cual será formada la bolsa, para que el operario haga pasar dicho material a través del sistema de formado, antes de comenzar el ciclo, el operador debe colocar el confite en la tolva; al tener ya esta condición el sistema dosificador comenzará a distribuir el confite hasta hacerlo caer en la báscula donde se realizará el peso de cada empaque, al alcanzar el peso solicitado se detendrá el sistema dosificador y girará el sistema de pesado para verter el gramaje y a su vez dar paso a una nueva charola de pesado.

Para ello el sistema de sellado ya habrá realizado la unión vertical de la bolsa para recibir el gramaje posteriormente entrará el sellado horizontal y el cortador de la bolsa, al momento de cortar la bolsa se realizará el conteo del número de bolsa que se ha empacado.

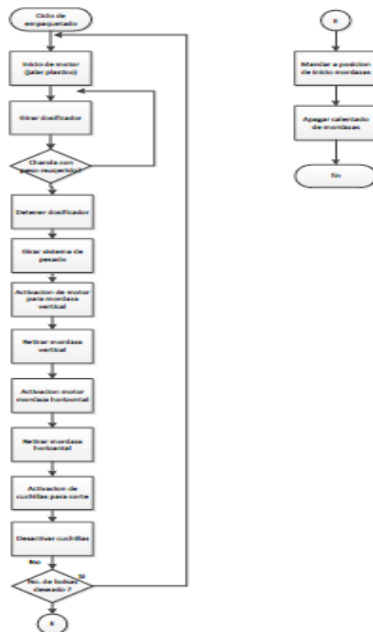


Figura 15. Diagrama de Flujo de Empaquetado.

### 3. Diseño Final

La siguiente figura muestra el diseño final, y la ubicación de los subsistemas.

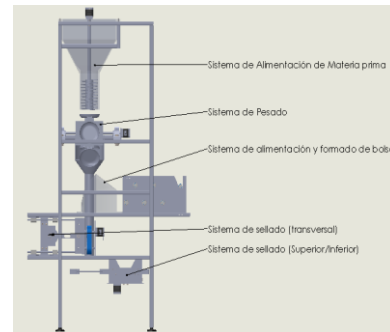


Figura 16. Sistema Completo.

### 4. Conclusiones

Se cumple cabalmente el objetivo de diseñar un sistema que tuviera la capacidad de automatizar el proceso de empaquetado de diferentes confites, es decir que contara con la flexibilidad necesaria para adaptarse a la mayor cantidad de confites posibles, ayudando con esto al aumento de la productividad de micro productores y microempresarios, generando así un impacto positivo en sus estrategias de expansión y consolidación dentro del mercado.

### 5. Bibliografía

- 1) Moreno Zapata Eduardo Patricio (2010) “Diseño de una máquina empacadora, dosificadora y selladora de fundas para arroz”; Proyecto de Titulación; EPN, Quito-Ecuador.
- 2) Santacruz Figueroa Edgar Encesto y Suarez Rubio Jesús Hernando (2007) “Diseño y modelamiento de una máquina dosificadora y empacadora de frutas deshidratadas”; Proyecto de Titulación; EPN, Quito-Ecuador.





3) Saeb, J. (2009). *Envasado y automatizado de productos lácteos*. Proyecto de titulación. IPN: México.

4) Hawkins, W. E. (2002). *The plastic film and foil web handling guide*. Boca Raton: CRC Press.

5) Shigley, J. E., & Mischke, C. R. (2002). *Diseño en Ingeniería Mecánica*. 6 ed., Vol. I. México: McGraw-Hill.