



AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO DE TERMOFORMADO PARA LA ELABORACIÓN DE MOLDES DE CHOCOLATE EN LA EMPRESA “GOLOSINAS Y ALGO MÁS”

Sr. Brusil Arellano Esteban Gabriel¹ Ing. Villarreal Bolaños Carlos Alfonso²

Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas, Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador
estebanbr90@outlook.com, cavillarreal@utn.edu.ec

Resumen. – *El presente proyecto consiste en la automatización del proceso de termoformado para la elaboración de moldes de chocolate en la empresa “Golosinas y Algo Más”, mediante el diseño y construcción de una máquina que cumpla con este objetivo, con la finalidad de aumentar la variedad de figuras de chocolate, reducir su tiempo de elaboración, su costo y dificultad para su elaboración.*

Esta máquina se la desarrolló en base a un análisis de las diferentes alternativas de diseño, de entre las cuales se seleccionó a la más adecuada y que cumpla con las necesidades del proceso. La máquina es accionada por un sistema electroneumático automático conformado por cilindros neumáticos que a su vez son gobernados por electroválvulas, y un compresor que proveerá de aire a una presión de hasta 0,68 MPa para su accionamiento. También dispone de un sistema de vacío, que se encarga del proceso de succión, para realizar el proceso de deformación de la lámina de acetato. Otra de las bondades de ésta máquina es que dispone de un tablero control para visualizar el proceso en una LCD. Todos estos procesos, son controlados mediante un microcontrolador ATmega324, para garantizar mayor autonomía y rapidez, mejorando la flexibilidad del proceso.

Para diseñar el sistema mecánico y de control de esta máquina termoformadora se partió de un análisis del proceso manual. Se reconocieron las etapas del proceso y, basándose en diseños previos, se procedió a diseñar cada una de las etapas de manera individual, para luego reunir todo de manera armónica.

Para su construcción se tuvieron algunas consideraciones. Se empezó por la elaboración de la estructura, del bastidor y del panel que sostendrá al calefactor. Después de esto, se acoplaron los

cilindros neumáticos, verificando que el movimiento no tenga inconvenientes. Posteriormente, se ubicó el calefactor dentro del panel correspondiente, y se colocó la cámara de vacío en su lugar. Finalmente, se procedió a instalar el sistema eléctrico y electrónico con sus dos etapas principales: control y acondicionamiento. La etapa de control recibe las señales del sistema (temperatura y tiempo) y envía señales a la etapa de acondicionamiento que gobierna a los cilindros neumáticos, al calefactor y al sistema de vacío.

Una vez finalizada su construcción, se realiza su implementación y sus respectivas pruebas de funcionamiento, buscando un producto final de calidad. Se realizó diferentes ensayos con varios materiales, a diferentes temperaturas y tiempos con el fin de lograr erradicar cualquier falla en el molde terminado, lo que permitió que se puedan elaborar tablas con los parámetros ideales para cada tipo de material.

Finalmente se desarrolló un manual de usuario y mantenimiento de la máquina para que la persona encargada de su operación o mantenimiento tenga el conocimiento necesario.

El principio de funcionamiento de esta máquina se subdivide en los siguientes procesos: etapa de calentamiento de la niquelina, etapa de calentamiento y succión, y la etapa de termoformado. El proceso de termoformado comenzará con el ingreso de los parámetros (temperatura, tiempo de calentamiento) y con la sujeción de la lámina de PVC, para luego calentarla hasta una temperatura adecuada, dependiendo del material. Por ejemplo, el PVC se calentará a 195°C y durante 45 segundos. Cuando la lámina de plástico alcance la temperatura de deformación plástica que se indicó anteriormente, mediante presión de vacío o succión se procede a deformar la lámina de acetato para que tome la forma de una matriz previamente elaborada de



madera, luego de un tiempo aproximado de 16 segundos se desmolda y está lista para ser utilizada como matriz, para la elaboración de figuras de chocolate.

La automatización de los diferentes procesos involucrados en la manufactura de moldes de plástico para la elaboración de chocolates, es un trabajo de investigación desarrollado que servirá como soporte bibliográfico para otras investigaciones sobre el tema que puedan presentarse en el futuro.

Palabras Claves

Termoformado, transferencia de calor, termoplásticos, vacío.

1. Introducción.

En la actualidad, el proceso de elaboración de moldes para chocolate en la empresa “Golosinas y Algo Más” se está realizando manualmente, por lo tanto, surge la necesidad de tener un proceso automatizado que permita mejorar su producción.

Para comprar estos moldes en otras ciudades existe dificultad de adquirir modelos personalizados justo a tiempo, cuando surge un requerimiento, ocasionando pérdidas de mercado por estos imprevistos que se presentan.

La empresa “Golosinas y Algo Más” está en crecimiento ya que el mercado es muy amplio –se pretende abarcar toda la zona norte del país–. Si el proceso de obtención de moldes fuese más flexible, se podría mejorar sus ventas y ampliar su mercado, llegando al cliente con un producto personalizado, con formas más creativas, de acuerdo a pedidos específicos.

Este proyecto se realiza con la finalidad de mejorar la producción del proceso de elaboración de moldes para figuras de chocolate, con la ayuda de la tecnología, para mejorar el tiempo de producción, facilitando el trabajo y disminución de costos.

2. Desarrollo

Para el diseño de la máquina de termoformado se debe tomar en cuenta ciertas consideraciones, como: capacidad de la máquina, materia prima, calentamiento, método de formado, automatismos y elementos constitutivos.

2.1 Capacidad de la máquina.

Esta máquina tendrá la capacidad de elaborar moldes para figuras de chocolate de 25 x 30 cm hasta un máximo de 34 x 50 cm, dependiendo de los requerimientos del usuario y del tamaño de las figuras de chocolate que se pretende elaborar.

2.2 Materia prima para moldes.

Existen polímeros aptos para el termoformado, sin embargo, los polímeros termoplásticos son idóneos para este procedimiento. De todos estos, es frecuente el uso del policloruro de vinilo (PVC) para la aplicación de moldes de figuras de chocolate. El Vacoplast (película rígida de PVC) es el material ideal para termoformado, con aplicaciones que precisan el contacto directo con alimentos (Filmtex, 2013). Por tanto, se selecciona al PVC como el material idóneo para elaborar los moldes de chocolate.

2.3 Calentamiento.

En la etapa de calentamiento fue muy importante e indispensable considerar la temperatura necesaria para el termoformado del PVC. Es necesario considerar la temperatura de deflexión al calor del PVC, que es de 110 °C y la temperatura de termoformado, que es de 135 a 175 °C.

Para el proceso de calentamiento de la lámina de PVC, se selecciona una resistencia tubular con cubierta metálica, elaborada de una aleación de níquel conocida como Incoloy. Esta tiene características que incluyen gran resistencia a la corrosión en ambientes acuosos, alta resistencia a la oxidación en altas temperaturas, y facilidad para hacer fabricaciones (Megamex, 2009). Consume una potencia eléctrica de 900W y su temperatura superficial promedio es de 510°C.

2.3.1 Proceso de calentamiento de la lámina de PVC.

Como primer paso, se determina el calor necesario para calentar a la lámina de PVC de acuerdo a la Ec.1, posteriormente se determina el calor necesario a transmitir por la fuente de calentamiento, y finalmente se establece un balance de energías para establecer la cantidad de calor que se necesita en este proceso.



La cantidad de calor transferida a la lámina de PVC es sencillamente el cambio en su energía interna y se determina a partir de:

$$Q = \Delta U = mc_{prom}(T_2 - T_1) \quad (1)$$

Donde:

$m = \text{masa}$

$c_{prom} = \text{calor específico promedio}$

$T_1, T_2 = \text{temperatura inicial, temperatura final}$

Posteriormente se recurre a la siguiente ecuación, de la densidad en función de masa y volumen

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2)$$

Se tiene que

$$\rho = 0.014 \left[\frac{Kg}{cm^3} \right] = 1400 \left[\frac{Kg}{m^3} \right]$$

$$C_p = 0.28 \left[\frac{Kcal}{Kg \cdot ^\circ C} \right] = 1.172 \left[\frac{KJ}{Kg \cdot ^\circ C} \right]$$

Y reemplazando estos datos en la Ecuación 1, se tiene.

$$\dot{Q}_{PVC} = \frac{6510J}{15s} = 434W$$

En la Figura 1, se muestra el tiempo de calentamiento del PVC en función de su espesor.

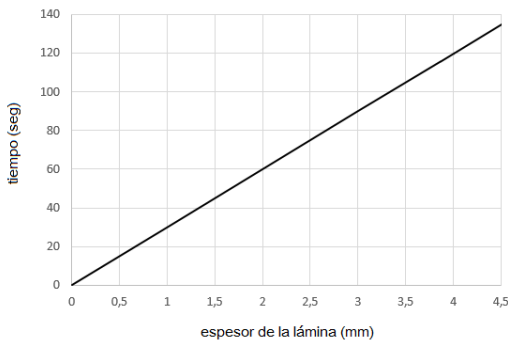


Figura 1 Espesor vs tiempo de calentamiento del PVC.

Como se puede ver en la figura, para un espesor de 450 micras el tiempo esperado de calentamiento es de aproximadamente 15 segundos, según Formech International Ltd (A Vacuum Forming Guide).

Por lo tanto, se concluye que la hoja de PVC requiere de 434W para calentarla desde 18°C hasta 150°C.

Una vez determinado el calor que requiere la lámina, se procede a determinar el calor que debe ser emitido por la resistencia tubular mencionada anteriormente.

Se requiere determinar el calor que transfiere la resistencia, y con esto, verificar si genera la energía suficiente para esta aplicación.

La transferencia de calor entre la fuente de calentamiento y el aire se da por convección natural,

y este a su vez calienta por radiación y convección natural la lámina de PVC.

Para determinar el calor transmitido por radiación, se utilizó la siguiente ecuación Ec.3.

$$\dot{Q}_{rad} = \varepsilon \sigma A_s (T_s^4 - T_{alred}^4) \quad (3)$$

Donde:

$\varepsilon = \text{emisividad de la superficie}$

$\sigma = \text{constante de Stefan - Boltzmann.}$

$T_s = \text{temperatura superficie}$

$T_{alred} = \text{temperatura alrededor}$

La constante emisividad superficial para la resistencia tubular con cubierta metálica de Incoloy (Watlow, 2003) es de $\varepsilon=0.6$.

El área de emisividad de la resistencia se determina mediante software Solidworks, obteniendo un área de $A = 30139.7mm^2$. A esta área se la divide para 2, considerando, que la parte inferior de la resistencia no está radiando energía hacia la lámina de PVC, entonces, se tiene que el área de emisividad es de $A_s = 15069.85mm^2$.

La razón promedio de transferencia de calor por radiación de la resistencia tubular fue de 176.29W (\dot{Q}_{rad}).

Si la lámina de PVC requiere de 434W (\dot{Q}_{PVC}) para llegar a la temperatura de termoformado. Entonces la lámina todavía necesita 257.71W.

Por lo tanto, la potencia total a suministrar el calefactor o la niquelina es de aproximadamente 900W; este elemento no transmitirá todo este calor al plástico ya que, al ser tubular, emite energía en todos los sentidos. Si se considera que la mitad de esta potencia llegará al PVC, debido a que, aproximadamente el 50% de la superficie del calefactor está cara a cara con la hoja de plástico, entonces, se supone que la razón de transferencia de calor total que proporciona la resistencia tubular es de 450W (\dot{Q}_{total}).

Entonces, la ley de la conservación de energía nos permite afirmar que:

$$\dot{Q}_{total} = \dot{Q}_{rad} + \dot{Q}_{conv} \quad (4)$$

De aquí, se tiene que:

$$\dot{Q}_{conv} = \dot{Q}_{total} - \dot{Q}_{rad}$$

$$\dot{Q}_{conv} = 450 - 176.29 = 273.71W$$



Como la hoja solo requiere de 257.71W y la resistencia está transmitiendo por el aire 273.71W (\dot{Q}_{conv}), se tiene un sobrante de 16W. Esto permite asegurar que la resistencia calefactora suministrara la energía suficiente para calentar la lámina.

Ahora se procede a calcular la distancia entre el calefactor y la lámina, para esto, se considera que se dispone de 16W para calentar el volumen de aire existente entre la niquelina y la lámina de PVC.

Se tiene que la caja que sostendrá a la resistencia será de 52 x 36 cm. El volumen, por tanto, se obtendrá del producto de esta área y de la distancia entre los componentes. Así, tenemos que:

$$V = (0.52 \times 0.36 \times h)[m^3] = 0.1872h[m^3]$$

Para determinar este volumen de aire, se utiliza la ecuación Ec.5 para un gas ideal:

$$PV = nRT \quad (5)$$

Donde:

n = numero de moles

P = presión

V = volumen

R = constante universal de los gases

T = temperatura

Para la ciudad de Ibarra que se encuentra a 2225 msnm, la presión atmosférica es de 77.31 KPa. Entonces, se reemplazan valores en la Ecuación 5, y se determina la cantidad de moles $n = 5.982h [mol]$ por unidad de volumen de calentamiento.

La masa molar promedio del aire seco es de 28.97 g/mol, entonces, la masa de aire a calentar es $m = 0.1733h[Kg]$.

El calor específico a presión constante del aire es

$$C_p = 1007 \left[\frac{J}{kg \cdot K} \right].$$

La cantidad de calor que se debe transferir al volumen de aire es de 16W, como ya se analizó. Este calor está expresado por unidad de tiempo. Por tanto, para expresarlo en términos de energía, lo expresamos en función del tiempo, así:

$$Q = 16 \cdot t[J]$$

Se usa la Ecuación 1 para encontrar ahora la distancia que permitirá la transmisión de calor deseada.

Así, obtenemos la ecuación del tiempo en función de la distancia; a mayor distancia entre la resistencia tubular y la lámina de PVC, se tardará más en alcanzar la temperatura necesaria para el

termoformado, conforme se expresa en la siguiente relación: $h(mm) = 0.7(seg)$

Para este caso se llega a determinar que para una distancia entre la niquelina y la lámina de PVC de 30 milímetros. El proceso de calentamiento es de 21 segundos aproximadamente, tiempo necesario para que el sistema de control pueda gobernar el proceso, y ser calibrado correctamente.

2.4 Proceso de vacío.

El formado se realizará mediante succión o un vacío generado por medio de una bomba de vacío.

Tras realizar varios ensayos de acuerdo a la información que se presenta en la Tabla 1 y de acuerdo a varios autores (TK560, 2009) (Benheck, 2007) (The Replica Prop Forum, 2010), se concluye que para la etapa de vacío se empleará un motor de 3HP. El tiempo de absorción recomendado para estos ensayos es de 10 a 15 segundos.

Tabla 1. Muestras satisfactorias en función de la potencia de aspiradoras

Potencia HP (W)	Muestras satisfactorias (%)
1,88 (1400)	80
2 (1491)	80
2,5 (1864)	90
3 (2237)	100

2.5 Estructura y automatismos.

Para el análisis y diseño estructural, primero se dimensiona y normaliza los elementos neumáticos necesarios para su automatización.

2.5.1 Sistema neumático

El sistema neumático está constituido de tres cilindros neumáticos: uno que cumpla la función de desplazamiento horizontal del módulo de calentamiento, dos cilindros que permitan desplazar al bastidor con la hoja de PVC en el plano vertical para el posicionamiento de la lámina en la etapa de formado, y dos electroválvulas para su accionamiento y control, como se observa en la Figura 2.

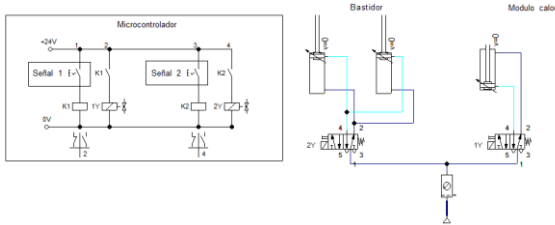


Figura 2. Condiciones iniciales del sistema neumático.

Para el cilindro 1 de accionamiento del módulo de calentamiento se le consideró un factor de carga $\eta=1$, y para los cilindros 2 y 3 un factor de carga de $\eta=0.5$.

Con los datos obtenidos para el cilindro 1 ($\eta=1$, $m=5\text{kg}$, $P=0.68\text{MPa}$) se tiene que el diámetro es de 10mm. Para el cilindro 2 y 3 ($\eta=0.5$, $m=6\text{kg}$, $P=0.68\text{MPa}$) el diámetro adecuado es de 16mm.

De acuerdo a la necesidad de desplazamiento en cada uno de los respectivos procesos se determinó que: la carrera del cilindro 1 fue de 320mm, y la carrera de los cilindros 2 y 3 es de 13cm.

Por lo tanto, se selecciona un cilindro de doble efecto, de 32mm de diámetro y de 400mm de carrera, y dos cilindros de doble efecto, de 20mm de diámetro y de 150mm de carrera, y dos válvulas 5/2 solenoide-resorte para efectuar el control.

2.5.2 Estructura de la máquina

Luego de haber seleccionado los cilindros neumáticos que se van a emplear en el sistema de automatización, se procede a diseñar la estructura de la máquina con las dimensiones finales, como se muestra en la Figura 3.

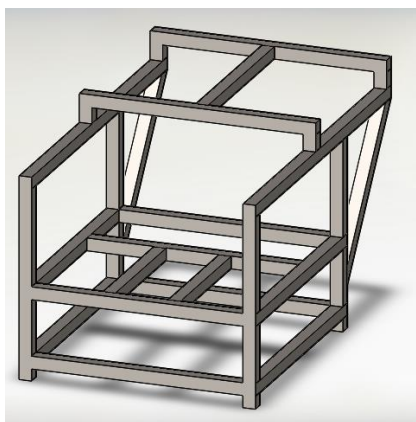


Figura 3. Estructura de la máquina.

2.5.2.1 Cálculo de vigas

Para el cálculo de la estructura se analizó que peso tendrá que soportar y como estarán distribuidas estas cargas, para esto se considera un peso de 100 Kg por

cargas imprevistas. Para su análisis se utiliza la viga más larga (BC), por considerarse la más crítica.

En la Figura 4 se muestra las dimensiones propuestas para su construcción.

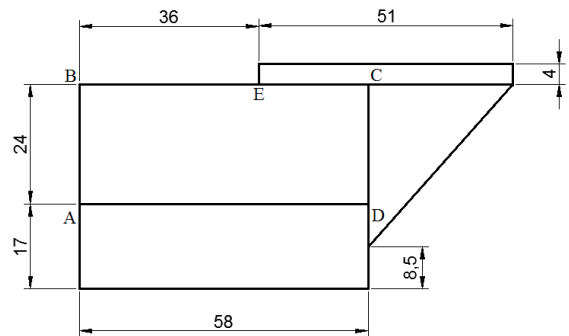


Figura 4. Vista lateral alámbrica para el cálculo de vigas.

Para determinar la sección del perfil a utilizar para el claro AB BC CD se lo hace mediante el método de pendiente-deflexión, llamado así, debido a que relaciona las pendientes y las deflexiones desconocidas con la carga aplicada sobre la estructura. Los claros están apoyados fijamente en A y D, para lo cual se emplea la siguiente ecuación:

$$M_N = 2Ek(2\theta_N + \theta_F - 3\Psi) + (FEM)_N \quad (6)$$

Donde:

M_N = Momento interno en el extremo cercano del claro; este momento es *positivo en sentido horario* cuando actúa sobre el claro.

E, k = Módulo de elasticidad del material y rigidez del claro. $k = 1/L$

θ_N, θ_F = Pendientes de los extremos cercano y lejano o desplazamientos angulares del claro en los soportes.

Ψ = Rotación de la cuerda del claro debida a un desplazamiento lineal.

$(FEM)_N$ = Momento del extremo fijo en el soporte del extremo cercano.

La ecuación de los extremos fijos es la siguiente:

$$(FEM)_{AB} = \frac{Pb^2a}{L^2} \quad (7)$$

Al resolver las ecuaciones con los datos de la estructura, se puede dibujar el diagrama de la Figura 5:

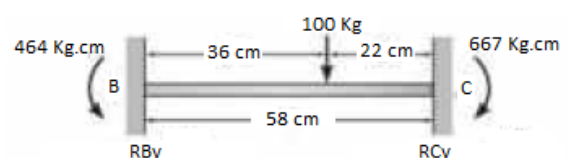


Figura 5. Diagrama de fuerzas en la viga BC

De aquí se obtiene que el máximo momento de flexión que va a soportar la viga es

$$M_{max} = 775.24 \text{ Kg. cm}$$

Se dispone de las siguientes ecuaciones para hallar el espesor del tubo estructural:

$$S = \frac{M}{\sigma_d} \quad (8)$$

$$S = \frac{I}{c} \quad (9)$$

$$I = \frac{H^4 - h^4}{12} \quad (10)$$

$$c = \frac{H}{2} \quad (11)$$

Donde:

S = Módulo de sección.

M = Momento máximo.

σ_d = Esfuerzo de diseño.

I = Momento de inercia del área transversal con respecto a su eje neutro.

c = Distancia del eje neutro a la fibra más alejada, en la sección transversal.

Al juntar estas ecuaciones, se tiene que

$$h^4 = H^4 - 2.2H$$

Es necesario suponer un valor para posteriormente encontrar el espesor del perfil. Se escoge un tubo de 1¼ pulgada (3.175 cm).

Por tanto, se concluye que el espesor mínimo necesario es de ½ milímetro para un tubo de 1¼ pulgadas.

2.5.2.2 Cálculo de columnas

A continuación se realizarán los cálculos que permitirán hallar el ancho y el espesor de las columnas de la máquina. Para este análisis se ha seleccionado la columna CD (Véase Figura 4), ya que se considera que es la que está sometida a mayor carga en la máquina. Se realizará en diseño por inestabilidad elástica, pandeo y flexión, con carga central en las columnas. Para comenzar con el diseño se supone que la columna es larga, por lo que se utiliza la fórmula de Euler alternativa:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{(KL)^2} \quad (12)$$

Donde:

P_{cr} = Carga crítica de pandeo.

E = Módulo de elasticidad.

I = Momento de inercia de la sección transversal.

K = Constante que depende del extremo fijo

L = Longitud real de la columna entre los soportes

El módulo de elasticidad para todos los aceros al carbón y aleados es de 207 GPa, que equivale a 2110812.560 kg/cm². El valor de K es de 0.65, según la Figura 6 (empotrada-empotrada).

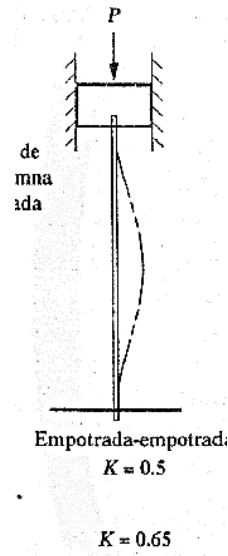


Figura 6. Valores de K para obtener la longitud efectiva

Se emplea también la carga admisible, por lo que se requiere de la siguiente ecuación:

$$P_a = \frac{P_{cr}}{N} \quad (13)$$

Donde:

P_a = Carga admisible.

N = Factor de diseño

La carga admisible se iguala a la carga máxima esperada; en este caso sería de 100 Kg. El factor de diseño, para columnas estacionarias y extremos empotrados es de 2.

Se reemplaza la ecuación 13 en la ecuación 12 y se emplea la ecuación 10, por tratarse de una sección cuadrada hueca:

$$\frac{H^4 - h^4}{12} = \frac{NP_a(KL)^2}{\pi^2 E}$$

Y reemplazando datos, se tiene

$$H^4 - h^4 = 0.028 \text{ cm}^4$$

Para comprobar si se ha seleccionado correctamente el método de diseño, se calcula la relación de esbeltez real KL/r , junto con el valor de la constante de columna C_c .

Tras realizar los cálculos, al realizar la comparación se nota que KL/r (12.037) < C_c (123.246). Esto nos dice que la columna es corta, y se debe usar la fórmula de J. B. Johnson

$$P_{cr} = A S_y \left[1 - \frac{s_y \left(\frac{KL}{r} \right)^2}{4\pi^2 E} \right] \quad (14)$$

Se reemplaza la Ecuación 13 en la Ecuación 14, y se obtiene:

$$P_a N = (H^2 - h^2) s_y \left[1 - \frac{s_y \left(\frac{KL}{r} \right)^2}{4\pi^2 E} \right]$$

Finalmente se reemplazan los datos en esta ecuación. Es necesario suponer un valor para posteriormente encontrar el espesor del perfil. Se escoge un tubo de 1¼ pulgada (3.175 cm). Se tiene que $h = 3.162 \text{ cm}$, entonces el espesor sería de 0.1 milímetros.

Por tanto, para vigas y columnas, que se empleó fue perfil de sección cuadrada de 1¼ pulgadas de ancho por 1.2 milímetros de espesor, garantizando su estabilidad, vida útil y seguridad de la estructura.

2.5.3 Selección de rodamientos

Los rodamientos ayudarán al módulo de calor a desplazarse con mayor facilidad, cumpliendo la función de evitar la fricción del módulo de calor en la estructura. La velocidad a la que se desplaza es de aproximadamente 1m/s y las cargas a las que esta sometidos serán muy bajos, aproximadamente 500N, por lo que la selección del rodamiento no es crítico. Para lo cual se seleccionó un rodamiento rígido a bolas 6201 existente en el mercado local, y que se adapta a los requerimientos de la máquina.

2.6 Sensor de temperatura

Para establecer el control de la temperatura del sistema de calentamiento se seleccionó una termocupla tipo J. Las termocuplas tipo J y K junto con los RTD Pt100 son los sensores de temperatura de uso industrial más comunes, baratos y fáciles de reemplazar existentes. Una termocupla consiste en dos alambres de distinto material unidos en un extremo. Al aplicar cierta temperatura en la unión de los metales se genera un voltaje muy pequeño, el cual aumenta proporcionalmente con la temperatura. Para acondicionar la señal de la termocupla y para controlar al calefactor se optó por un controlador de temperatura inteligente que permite ingresar los parámetros de temperatura y, mediante salidas por relés, controla a la resistencia tubular (calefactor).

2.7 Sistema de control

El sistema de control que se utilizó para esta máquina se detalla en la Figura 7, indicándose las señales de entrada provenientes de distintos elementos, que a su

vez serán interpretados y se enviará señales de control hacia los componentes que permitirán cumplir con el objetivo. Como se indicó anteriormente, se requiere de dos parámetros (temperatura y tiempo), además de la temperatura actual del sistema para, en base a esto, controlar los distintos elementos.



Figura 7. Diagrama de entradas y salidas del sistema de control.

Se empleó un microcontrolador ATmega 324 para realizar el control del proceso, porque fue uno de los que se dispone en el mercado con un número de pines suficientes (40 pines) para cumplir con el control del proceso de termoformado.

En la Figura. 8 se indica el flujograma de la programación del microcontrolador que se realizó en la automatización de la máquina.

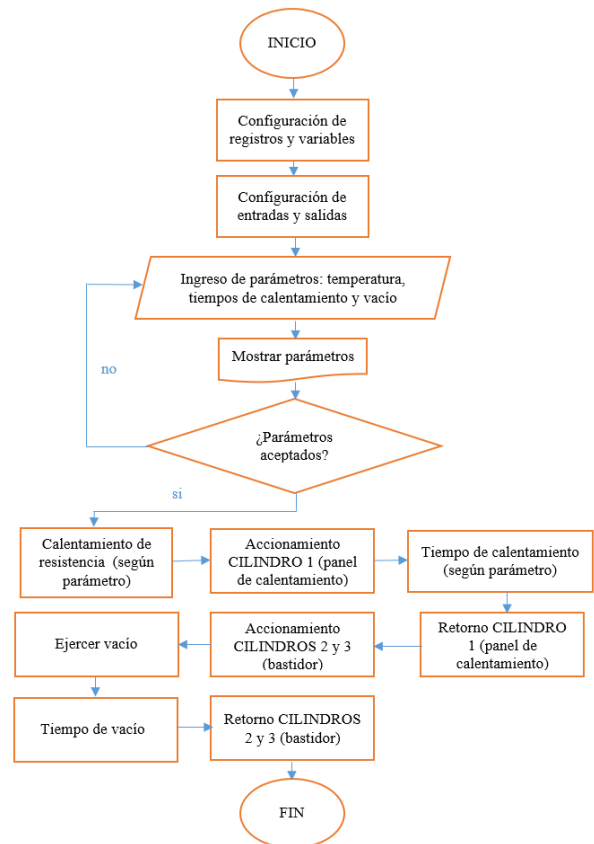


Figura 8. Flujograma del proceso de programación

2.8 Construcción e implementación de la máquina

La construcción de la máquina de termoformado se realizó en un taller de estructuras metálicas tomando

en cuenta los servicios que ofrece, su maquinaria y herramientas, permitiendo así que la construcción se realice de forma correcta y confiable.

Los elementos normalizados que se emplearon en el presente proyecto fueron adquiridos en el mercado local, tratando siempre de abaratar costos. En la Figura 9 se ilustra el proceso.

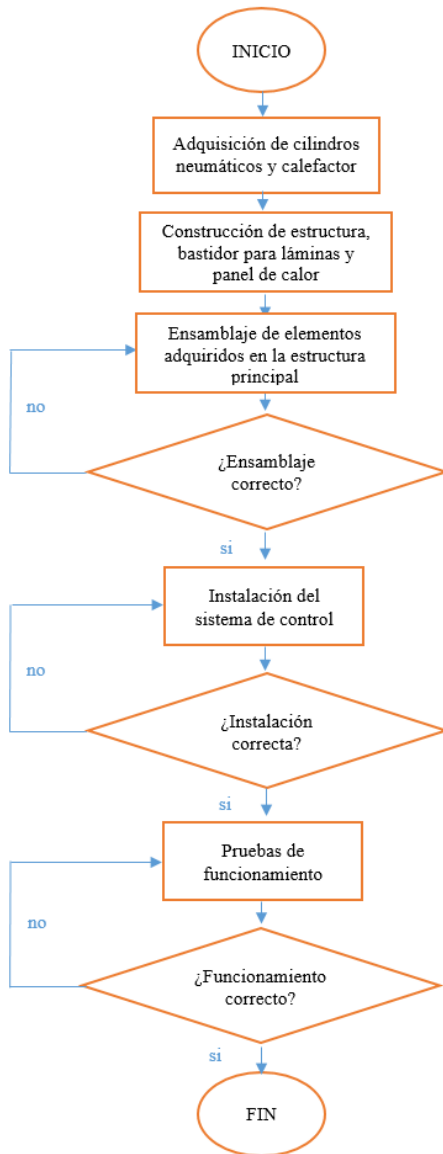


Figura 9. Diagrama de flujo del proceso de construcción.

Al sistema de control se lo dividió en dos etapas: de control y de acondicionamiento. La parte de control se centrará en las entradas y salidas del microcontrolador, mientras que la de acondicionamiento tendrá como objetivo adaptar las salidas del microcontrolador (5V) a los requerimientos de los elementos (12V, 110V). El diagrama de bloques de la Figura 10 muestra los elementos del sistema electrónico y las relaciones existentes entre ellos.

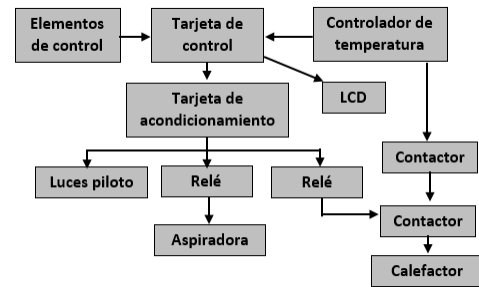


Figura 10. Diagrama de bloques con las etapas del sistema electrónico.



Figura 11. Máquina de termoformado (real)

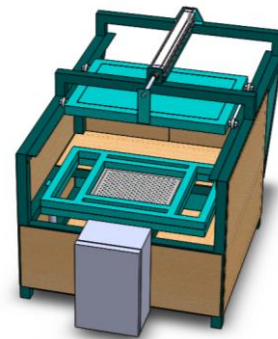


Figura 12. Máquina de termoformado (diseño)

2.9 Análisis de resultados

Después de implementar esta máquina, se obtuvieron resultados que se muestran en las Figuras 13, 14, y 15 que al comparándolos con el proceso anterior de termoformado muestran los beneficios que brinda a la empresa “Golosinas y Algo Más”.

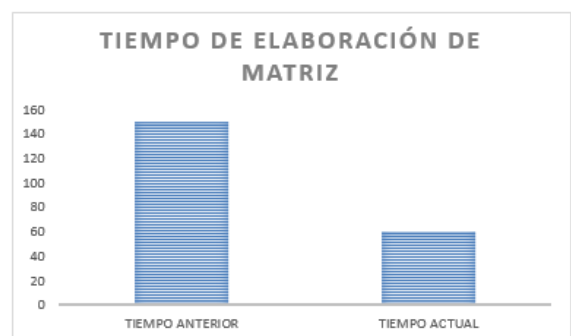


Figura 13. Tiempo de elaboración de matriz para moldes (en minutos).

Así, en la Figura 13 se observa que el tiempo necesario para elaborar la matriz de forma manual es de 145 minutos aproximadamente, siendo mucho

mayor al tiempo empleado en el proceso automatizado, que es de 60 minutos en total aproximadamente.

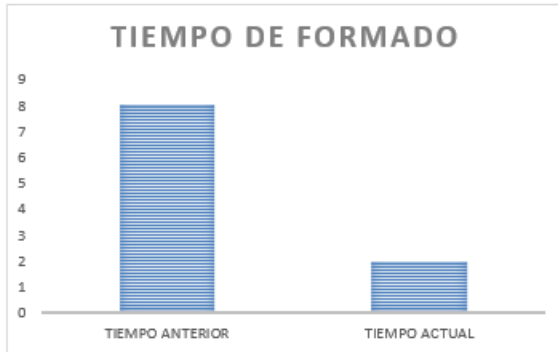


Figura 14. Tiempo de formado para elaboración de moldes (en minutos).

En la Figura 14 se muestra que el tiempo del proceso de formado para la elaboración de los moldes en donde se puede observar que el tiempo empleado luego de automatizar el proceso es de 2 minutos aproximadamente, mientras que en el proceso manual se demora alrededor de 8 minutos aproximadamente.

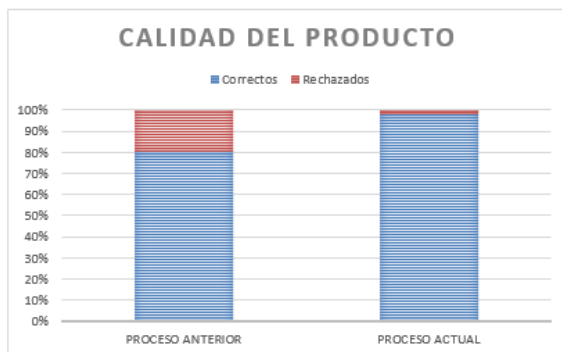


Figura 15. Calidad del producto final

El grado de conformidad del producto se puede observar en la Figura 15, así, en el proceso anterior, al ser completamente manual, se tiene un 80% de conformidad y con la máquina automatizada es alrededor del 98%, permitiendo afirmar que la máquina es bastante confiable.

2.10 Conclusiones

Con la implementación de la máquina automática de termoformado se ha conseguido aumentar la variedad de figuras de chocolate manteniendo la calidad del producto.

El desarrollo analítico del diseño permitió tener una visión clara de las funciones y necesidades en cada etapa por separado, para finalmente enlazar cada uno de los diferentes procesos y lograr que los diferentes sistemas que conforman la máquina, se relacionen

entre sí cumpliendo una función específica, para lograr resolver una necesidad establecida.

El proceso automatizado permite construir moldes para figuras de chocolate de manera sencilla y segura para el operario, disminuyendo los tiempos y el esfuerzo que requiere su elaboración.

El diseño de la máquina se realizó buscando que su operación sea sencilla, para que una persona pueda manejarla, con las respectivas medidas de seguridad.

El diseño y construcción de la máquina de termoformado se desarrolló sin inconvenientes ni dificultades debido a que se contó con los recursos materiales y humanos que facilitaron su diseño y construcción.

Referencias Bibliográficas.

- Askeland, D. (1998). *Ciencia e Ingeniería de los Materiales*. México: International Thomson Editores.
- Burns, R. (2003). *Fundamentos de Química*. México: Pearson Educación.
- Cengel, Y. (2007). *Transferencia de calor y masa*. Mexico: McGraw Hill.
- DOMCA. (2008). *Curso de elaboración de chocolate artesanal*. Quito.
- Groover, M. (2007). *Fundamentos de manufactura moderna*. México: McGraw Hill.
- Hibbeler, R. (2012). *Análisis Estructural*. México: Pearson.
- Kalpakjian, S., & Schmid, S. R. (2008). *Manufactura, Ingeniería y Tecnología*. México: Pearson Education.
- Mott, R. (2006). *Diseño de elementos de máquinas*. México: Pearson.
- Muralisrinivasan, N. (2010). *Troubleshooting in thermoforming*. Reino Unido: Smithers Rapra.
- Nestlé. (2011). *Recetario Chocolate*. México: Marcas Nestlé.
- Norton, R. (2011). *Diseño de Máquinas*. México: Pearson Educación.
- Riba, C. (2002). *Diseño concurrente*. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya.



Linkografía

Arian S.A. (1 de Febrero de 2001). *Termocuplas*.

Obtenido de

<http://www.arian.cl/downloads/nt-004.pdf>

Benheck. (26 de Junio de 2007). *Vacuum Strenght*.

Obtenido de

<http://benheck.com/forums/viewtopic.php?f=13&t=19502>

E-MC. (25 de Diciembre de 2013). *Cilindros*

Neumáticos. Obtenido de http://www.emc-machinery.com/FVBC_FXBC_series_ISO15552_pneumatic_cylinder.htm

Engineers Edge. (10 de Agosto de 2009). *Moment of Inertia, Section Modulus, Radii of Gyration*

Equations. Obtenido de Square and

Rectangular Sections:

http://www.engineersedge.com/material_science/moment-inertia-gyration.htm

Filmtext. (29 de Junio de 2013). *Vacoplast*. Obtenido

de

<http://www.filmtext.com/index.php/es/peliculas/peliculas-rigidas/vacoplast>

Formech International Ltd. (1 de Diciembre de

2010). *A Vacuum Forming Guide*. Obtenido de

<http://inventionstudio.gatech.edu/wp/wp-content/uploads/2010/11/FormechVacuumGuide.pdf>

Megamex. (3 de Septiembre de 2009). *Incoloy*.

Obtenido de

<http://www.megamex.com/span/incoloy.htm>

Plastiglas de México. (1 de Octubre de 2002).

Manual Técnico de Termoformado.

Obtenido de

http://www.plastiglas.com.mx/images/content/PLASTIGLAS_INST/uploads/1167953021504Termoformado.pdf

Seafax. (8 de Agosto de 2014). *Suitcase Vacuum*

Former. Obtenido de

<https://3dwarehouse.sketchup.com/model.html?id=ud5b2aceb-7efc-4212-8660-e42542b9b219>

SMC. (18 de Diciembre de 2012). *Procedimientos*

de selección del modelo de cilindro

neumático. Obtenido de

<https://es.scribd.com/doc/117194102/Selección-de-cilindros-neumaticos-SMC>

Sumitec. (17 de Febrero de 2008). *AISI 304*.

Obtenido de

www.sumiteccr.com/Aplicaciones/Articulos/pdfs/AISI%20304.pdf

The Replica Prop Forum. (9 de Marzo de 2010).

Machine Vac Options. Obtenido de

<http://www.therpf.com/f9/vac-forming-machine-vac-options-81574/>

The University of Southern Mississippi. (1 de

Febrero de 2001). *La Transición Vítreo*.

Obtenido de <http://pslc.ws/spanish/tg.htm>

TK560. (15 de Octubre de 2009). *Vacuform Table*.

Obtenido de

<http://www.tk560.com/vactable4.html>

UCLM. (1 de Febrero de 2001). *Rodamientos*.

Obtenido de

<https://www.uclm.es/profesorado/porrasysoriano/elementos/Tema10.pdf>

Universidad de Alicante. (6 de Julio de 2009).

Estructura y propiedades de los polímeros.

Obtenido de iq.ua.es/TPO/Tema1.pdf

Watlow. (3 de Noviembre de 2003). *Electric*

Heaters, Application Guide. Obtenido de

https://www.instrumart.com/assets/heater_application_guide.pdf



Esteban Brusil Arellano,
Autor

Estudiante de la Carrera de Ingeniería en Mecatrónica de la Universidad Técnica del Norte



Carlos Villarreal Bolaños,
Autor

Docente de la Carrera de Ingeniería en Mecatrónica de la Universidad Técnica del Norte