

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA TERMOFORMADORA DE PLÁSTICO CON CONTROL AUTOMÁTICO PARA LA EMPRESA MIVILTECH SOLUCIONES INDUSTRIALES S.A.

Luis Enrique Martínez Chile^a, Fabián Alberto Moya Paredes^a, Juan Correa Jácome^a, Freddy Salazar Paredes^b

^aDepartamento de Ciencias de la Energía y Mecánica, Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE Sede Latacunga, Márquez de Maenza S/N Latacunga, Ecuador.

^bDepartamento de Eléctrica y Electrónica, Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE Sede Latacunga, Márquez de Maenza S/N Latacunga, Ecuador.

luizz_martinezz@hotmail.com, fabianmopa90@gmail.com

Resumen – Debido a la toxicidad que presenta el proceso de fabricación de productos en fibra de vidrio, se necesita en lo posible sustituirlos por un material de similares características que conlleve un proceso con un alto grado de bienestar físico para el personal obrero, teniendo como alternativa el proceso de termoformado. Es así que el presente proyecto consiste en diseñar y construir una máquina termoformadora de plástico con control automático para la fabricación de autopartes para la empresa MIVILTECH SOLUCIONES INDUSTRIALES S.A. En la actualidad las máquinas termoformadoras de plástico han ganado territorio en el mercado industrial, ya que utilizan una técnica útil para realizar procesos de producción de forma más ágil, eficiente y económica para diferentes artículos elaborados en cualquier tipo de plástico. Basándose en las necesidades requeridas en el área de producción y, se diseñó y construyó las partes constitutivas de la máquina con el objeto de incrementar las piezas elaboradas disminuyendo costos y tiempos de producción de dicha empresa. La máquina consta de diferentes sistemas como el mecánico, de vacío, neumático, de calentamiento y eléctrico, los mismos que son dimensionados de acuerdo a los requerimientos solicitados de gerencia y sugerencia de nuestra parte. Todo su accionamiento está controlado y automatizado mediante el uso de un PLC LOGO! cuya interfaz está basada en pulsadores.

Palabras clave – control automático, plástico, sistema de vacío, termoformado,

Abstract – Because the toxicity presents the manufacturing process of products in fiberglass, it is needed if possible replace a material of similar characteristics that results in a process with a high degree of fitness for working personnel, having alternative process thermoforming. Thus that this project is to design and construct a plastic thermoforming machine with automatic control for manufacturing parts for the company MIVILTECH INDUSTRIAL SOLUTIONS SA At present, plastic thermoforming machines have gained territory in the industrial market, as it uses a useful technique for production processes more agile, efficient and economical for different items made in any kind of plastics. Based on the needs required in the area of production, designed and built the constituent part of the machine in order to increase elaborate pieces reducing costs and production times for the company. The machine consists of different systems such as mechanical, vacuum, pneumatic, heating and electricity, the same that are sized according to the requirements requested from management and suggestion ourselves. All actuation is controlled and automated using a PLC LOGO! whose interface is based on pushbuttons.

Keywords – automatic control, plastics, system vacuum, thermoforming

I. INTRODUCCIÓN

El termoformado es una técnica muy popular en la industria, que en la actualidad por facilidad de procesos y economía se la implementa para la producción de autopartes para compañías carroceras en Ecuador, reemplazando los productos elaborados en fibra de vidrio ofreciendo productos de mejor calidad en un tiempo de producción mucho menor y de forma eficiente.

II. TERMOFORMADO

A. Definición

El termoformado es un proceso que consiste en dar forma a una lámina plana de un material termoplástico sobre una matriz, aplicando calor y presión para darle la forma deseada. El material debe tener un alargamiento grande y uniforme para que se pueda estirar según la forma del molde, de lo contrario fallará [1].

El proceso de termoformado consta de dos etapas fundamentales: el calentamiento y el formado.

- **Calentamiento:** por lo general se lo realiza con radiadores eléctricos en una o ambas caras del plástico. La duración debe ser suficiente para que el plástico alcance su elasticidad; esto depende del tipo de material, espesor y del color.
- **Formado:** consiste en dar la forma del molde a la lámina de plástico; existen tres categorías básicas: termoformado por presión o soplado, termoformado por vacío y termoformado mecánico.

B. Métodos de termoformado

- **Termoformado a presión o soplado:** la lámina de plástico precalentada se sopla contra un molde hembra. Para esto se fija la lámina como tapa del molde, se la calienta hasta que sea termoflexible y luego se aplica aire precalentado y comprimido hasta 150 psi [2].

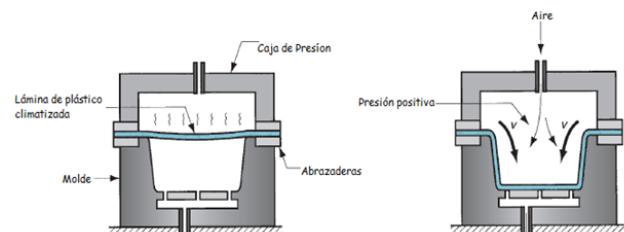


Fig. 1. Termoformado a presión.

- **Termoformado al vacío:** usa presión negativa de aire para adherir el plástico precalentado a la superficie del molde. Se coloca el plástico sobre el molde, se lo calienta hasta que esté elástico y se lo desplaza hacia el molde, se procede a realizar el vacío que con la ayuda de la presión atmosférica el plástico se adhiere a las paredes del molde. Por último después de un corto tiempo se retira el plástico formado [3].

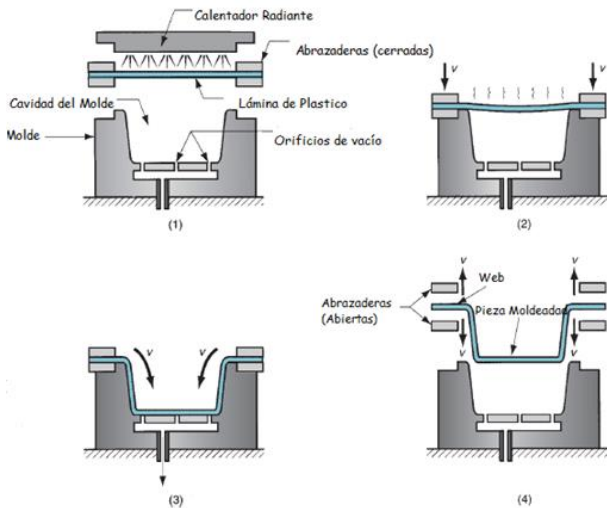


Fig. 2. Termoformado al vacío.

- **Termoformado mecánico:** utiliza dos moldes (positivo y negativo) que se aplican contra la lámina caliente, forzándola a asumir la forma. Se calienta la lámina hasta llegar a su temperatura de termoformado sobre el molde negativo y se cierra con el molde positivo para conformar el plástico caliente.

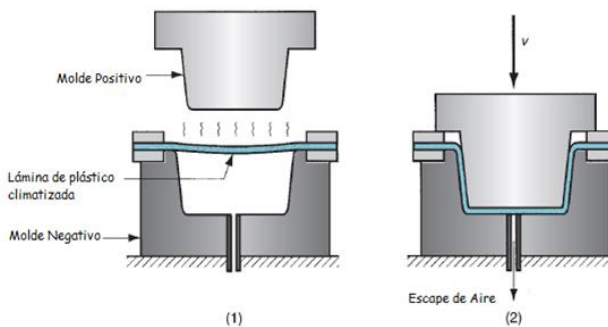


Fig. 3. Termoformado mecánico.

III. DISEÑO DE SISTEMAS

Para implementar la máquina termoformadora se realiza el diseño de varios sistemas; mecánico, eléctrico, vacío, de control y térmico. A continuación se describen los diferentes sistemas diseñados.

A. Diseño del sistema mecánico

Se realiza el diseño de la máquina teniendo en cuenta el tamaño comercial de las láminas de plástico en nuestra localidad, así también del volumen de las piezas que la empresa requiere fabricar con esta técnica. Se diseña el sistema mecánico con los siguientes parámetros.

- Estructura: soporta los sistemas y elementos que constituyen la máquina, diseñada con el correcto factor de seguridad para resistir los pesos de todos los elementos y los moldes.
- Portador de láminas de plásticos: tiene el gripper el cual ayudado de cilindros compactos asegura el plástico durante todo el proceso.
- 2 Cilindros neumáticos con una carrera de 50 cm que trasladan el portador de láminas de plástico desde la posición de home al horno y a la etapa de formado.

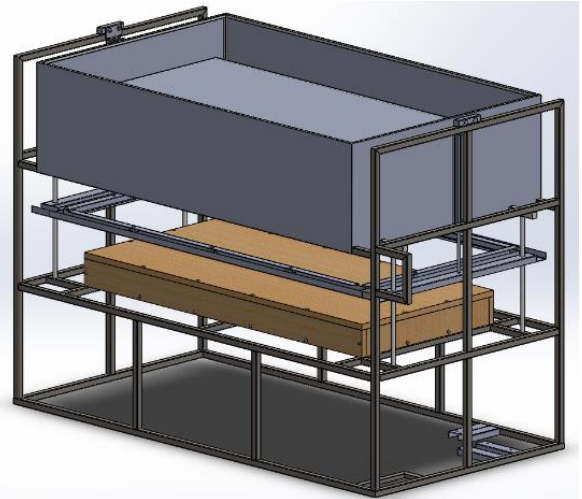


Fig. 4. Sistema mecánico modelado con software de diseño.

B. Diseño del sistema de vacío

Se realiza el diseño de las partes teniendo en cuenta el máximo volumen de trabajo para optimizar el área de plástico a utilizarse en la producción de las piezas.

- Mesa de vacío: es una caja que en su tapa reposan los moldes y además tiene perforaciones por donde se extrae el aire y el parte inferior tiene la conexión de la manguera hacia la bomba de vacío.
- Electroválvula 2/2 NC: ayuda a sellar el vacío cuando se detiene la bomba, únicamente se abre cuando esta se encuentra en funcionamiento.
- Filtro: protege que entren impurezas a la bomba.
- Bomba: succiona el aire en la mesa de vacío, con un caudal de 120 CFM (pie^3/min) [4].

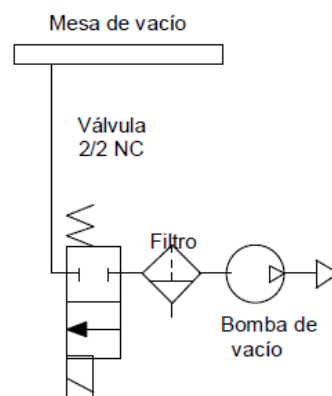


Fig. 5. Sistema de vacío.

C. Diseño del sistema eléctrico

El sistema eléctrico es el complemento con el sistema mecánico por el uso de motores, sensores, electroválvulas, etc. Todos estos componentes ayudan a la automatización del proceso de la máquina. El sistema eléctrico incluye los siguientes componentes:

- Sensores de temperatura: termocupla tipo J que sensa la temperatura del horno y una PT100 para el enfriamiento del plástico.
- Sensores magnéticos de posición: que determinan en cuál de las tres estaciones se encuentra el plástico.
- Motor eléctrico de 5 HP: le da la fuerza a la bomba de vacío [5].
- Ventiladores: enfrían el plástico una vez que está formado.
- Resistencias eléctricas: calientan el plástico hasta su punto termoflexible.
- Relé de Estado Sólido: controla el voltaje de accionamiento de las resistencias eléctricas.

D. Diseño del sistema de control

Se encarga de controlar todos los sistemas de la máquina y de interactuar con el operario de la misma. Este sistema es un complemento muy importante del sistema eléctrico. Consta de los siguientes elementos:

- Controlador de temperatura PID: controla el voltaje de control del Relé de Estado Sólido dependiendo del set point utilizado según el tipo de plástico.
- SIEMENS LOGO! 24 RC: programado para que los sistemas funciones correctamente de forma autónoma.
- Luces indicadoras de proceso: indican el procedimiento que se está ejecutando en la máquina.
- Botones de mando: son el medio que el operador introduce las órdenes a la máquina.
- Paro de emergencia: detiene la ejecución de cualquier proceso que se esté realizando en ese momento.



Fig. 6. Panel de control.

E. Diseño térmico

Se diseña la potencia requerida de las resistencias eléctricas, calculando las pérdidas de calor y la energía necesaria para llegar a la temperatura requerida por la lámina de plástico. Se tiene el siguiente balance energético.

$$Q_{conducción} + Q_{convección} + Q_f = P \quad (1)$$

- Energía necesaria para fundir el plástico: se utiliza las propiedades del material a calentar, en este caso poliestireno.

$$Q_p = \frac{C_p * m * \Delta T}{t}$$

Donde: C_p = Calor específico, 1200 J/KgK

m = Masa de la lámina, 12.1 Kg

ΔT = Delta de temperatura, $180 - 20 \text{ K}$

t = Tiempo de calentamiento, 300 s

$$Q_p = \frac{1.2 \text{ KJ/Kg}^\circ\text{C} * 12.1 \text{ Kg} * (180 - 20)}{300 \text{ s}}$$

$$Q_p = 7741.44 \text{ vatios} = 7.74 \text{ KW}$$

- Calor perdido en convección y conducción
La conducción es la difusión de energía calórica debido al movimiento molecular aleatorio.

$$Q_{conducción} = k \frac{A \Delta T}{e} \quad (2)$$

Donde: k = Conductividad térmica, $[W/mK]$

A = Área de la pared, $[m^2]$

ΔT = Delta de temperatura, $[K]$

e = Espesor de la pared, $[m]$

La convección es la difusión de energía calórica debido al movimiento molecular aleatorio, la energía también se transmite mediante el movimiento global o macroscópico del fluido.

$$Q_{convección} = h * A * \Delta T \quad (3)$$

Donde: h = Coeficiente de convección del fluido, $[W/m^2K]$

A = Área de la pared, $[m^2]$

ΔT = Delta de temperatura, $[K]$

El horno se compone de un sistema similar al de la imagen.

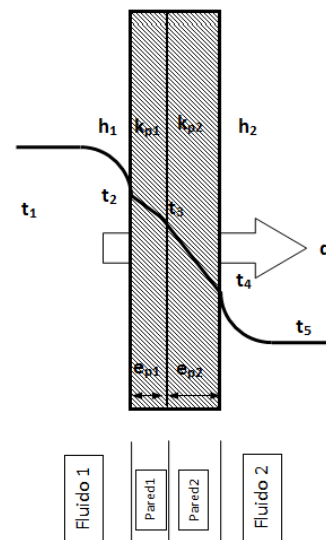


Fig. 7. Transferencia de calor en horno de pared compuesta.

De donde se obtienen ecuaciones de resistencia propias del sistema dependiendo si la transferencia de calor es por convección o conducción. Unificándolas se obtiene la siguiente ecuación general.

$$Q_{\text{convección+conducción}} = \frac{A_t}{\left\{ \left(\frac{1}{h_1} \right) + \left(\frac{e_{p1}}{k_{p1}} \right) + \left(\frac{e_{p2}}{k_{p2}} \right) + \left(\frac{1}{h_2} \right) \right\}} (t_1 - t_5)$$

Donde previamente se obtuvieron por tablas o cálculos los datos siguientes:

$$T_1 = 220 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_5 = 50 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$A_t = 2.88 \text{ m}^2$$

$$e_{p1} = 0.007 \text{ m}$$

$$e_{p2} = 0.05 \text{ m}$$

$$Q_{\text{convección+conducción}} = 297.37 \text{ vatios} = 0.297 \text{ KW}$$

Se suma el Q necesario para calentar la lámina y así se obtiene la potencia total.

$$P = 7.74 \text{ KW} + 0.297 \text{ KW} = 8.714 \text{ KW}$$

Por último como recomendación se le multiplica por un factor de seguridad igual a 2, ya que se debe tomar en cuenta que hubo pérdidas de calor que no se analizaron.

$$P = 2 * 8.714 \text{ KW} = 17.428 \text{ KW}$$

IV. RESULTADOS

Con todos sistemas de la máquina implementados se realizan pruebas en las cuales se regulan diferentes parámetros para lograr que se efectúe la producción correctamente.

Los parámetros que se calibraron en las diferentes pruebas se los indica a continuación.

TABLA I
PARÁMETROS DE LAS PRUEBAS DE PRODUCCIÓN

	Temperatura Mostrada	Tiempo de calefacción	Tiempo Vacío	Temperatura de enfriamiento
Prueba 1	190 °C	180 s.	7 s.	60 °C
Prueba 2	210 °C	240 s.	10 s.	25 °C
Prueba 3	210 °C	300 s.	15 s.	25 °C



Fig. 8. Resultado de la prueba 1.



Fig. 9. Resultado de la prueba 3.

V. CONCLUSIONES

- El proceso de termoformado redujo los tiempos de producción en comparación a los productos elaborados en fibra de vidrio considerablemente, permitiendo realizar el trabajo de varias semanas en tan solo un día con un costo menor, ayudando al trabajador a precautelar su salud ya que no se expone a los químicos que se utilizan en este tipo de producción.
- Las autopartes termoformadas ofrecen similares características y resistencias en comparación con las que son fabricados en fibra de vidrio, permitiendo a la empresa ofrecer productos de calidad.
- El diseño térmico de los calefactores se realizó correctamente permitiendo llevar al plástico hasta su punto termoflexible para una fabricación económica de las autopartes.
- El proceso de termoformado redujo los tiempos de producción en comparación en fibra de vidrio considerablemente, permitiendo realizar la producción de 40 basureros en solo un día de trabajo lo que anteriormente se hacía en un mes.
- El termoformado es una técnica de producción que ayuda al trabajador a precautelar su salud ya que no se expone a la toxicidad de los químicos que se utilizan en la fabricación en fibra de vidrio.

REFERENCIAS

- [1] Plastiglas de México, S.A. de C.V., Manual Técnico Termoformado.
- [2] Baird, DG y Collias, "Procesamiento de Polímeros Principios y Diseño", John Wiley & Sons, New York, 1998.

- [3] Billmeyer, Fred W., Libro de Texto en Ciencia de Polímeros, 3ra ed., John Wiley & Sons, New York, 1984.
- [4] .
- [5] PDBlowers Inc. (2004, Diciembre). Curvas de rendimiento de vacío. [Online]. Available: www.pdblowers.com/admin/uploads/24_urai_vacuum_performance_curve_2.pdf
- [6] Robert Mott, Diseño de Elementos de Máquinas, 5ta ed., PEARSON EDUCATION, México, 2008.



Luis Martínez. Nació el 13 de noviembre del 1989 en Saquisilí provincia de Cotopaxi, Ecuador.

Es graduado de Ingeniero en Mecatrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE en el año 2015.

Áreas de Interés: Sistemas CAD/CAM/CAE, Automatización y control, Robótica industrial y Redes industriales.

e – mail: luizz_martinezz@hotmail.com



Fabián Moya. Nació el 28 de septiembre de 1990 en Manta provincia de Manabí, Ecuador.

Es graduado de Ingeniero en Mecatrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE en el año 2015.

Áreas de Interés: Sistemas CAD/CAM/CAE, Automatización y control de procesos y Electrónica digital.

e – mail: fabianmopa90@gmail.com