



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

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

**LUIS ENRIQUE MARTÍNEZ CHILE
FABIÁN ALBERTO MOYA PAREDES**

2015

Objetivos

- Diseñar y construir una máquina termoformadora de plásticos para la empresa MIVILTECH Soluciones Industriales S.A.
- Investigar acerca de las características mecánicas de plásticos a ser utilizados y sus temperaturas de termoformado al igual que una comparativa entre máquinas termoformadoras existentes en el mercado.
- Diseñar y seleccionar las partes mecánicas, eléctricas, hidráulicas o neumáticas de la máquina termoformadora.
- Diseñar, seleccionar e implementar el sistema de control para la automatización de la máquina.
- Construir la máquina termoformadora de plástico.
- Diseñar, seleccionar e implementar un sistema de comunicación hombre-máquina

Termoformado

Proceso que consiste en dar forma a una lámina plana de material termoplástico sobre un molde o matriz, aplicando calor y presión para darle la forma deseada.

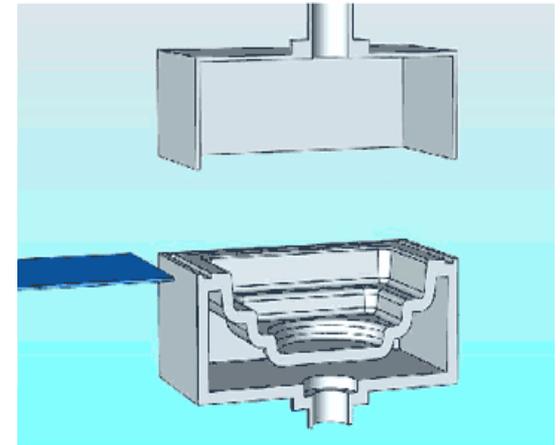
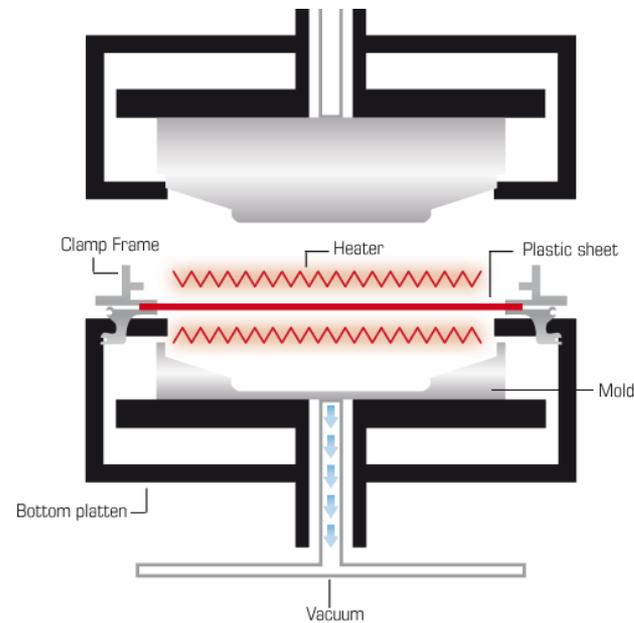
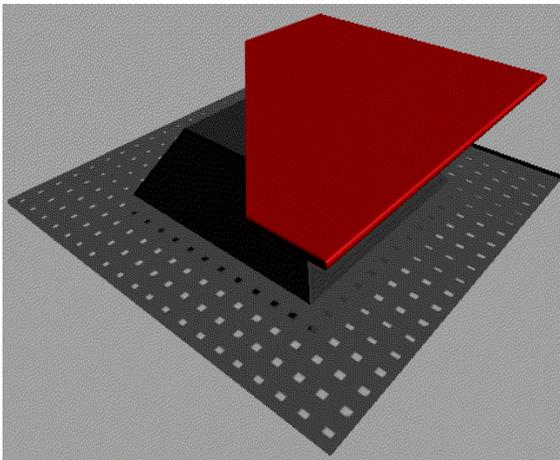
Ventajas:

- El costo de las herramientas y equipos es mucho más bajo en comparación con otros procesos.
- Con el termoformado se puede manipular múltiples capas de materiales, espumas, impresos, y materiales revestidos; reduciendo el tiempo en el proceso de post-formado.
- Permite la producción de piezas mucho más grandes en comparación con otros procesos.
- Al no necesitar grandes presiones, los moldes se los puede fabricar de materiales más baratos y de rápida elaboración.
- Para la producción de piezas pequeñas el tiempo de procesado es corto.



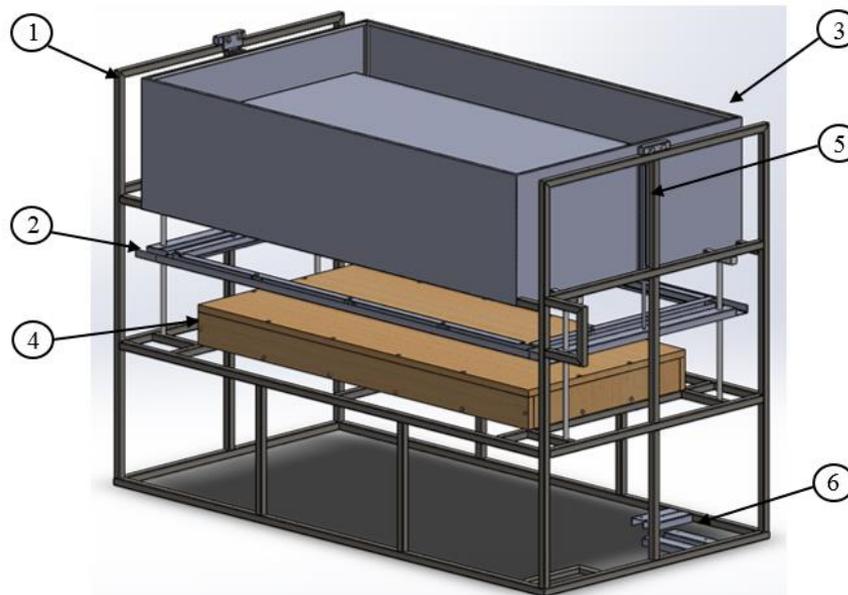
MÉTODOS DE TERMOFORMADO

- Termoformado a presión o soplado
- Termoformado al vacío
- Termoformado mecánico



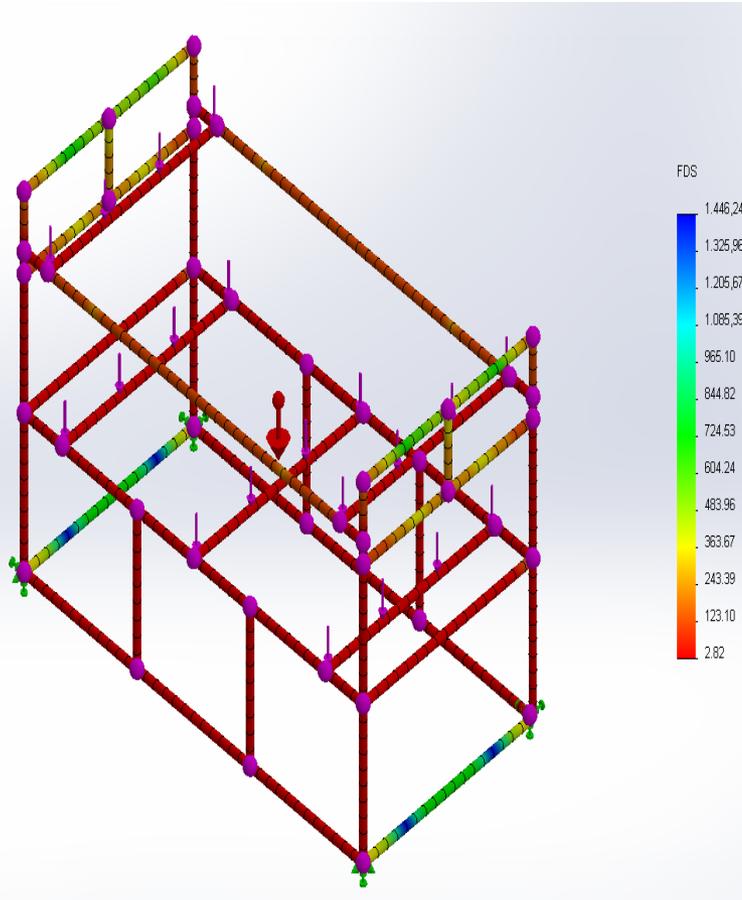
ELEMENTOS FUNDAMENTALES DE UNA MÁQUINA DE TERMOFORMADO

- Estructura.
- Portador de plástico.
- Horno.
- Caja de vacío.
- Cilindros neumáticos.
- Bases de la bomba de vacío y del motor.



Estructura

Nombre de modelo: Estructura3D
Nombre de estudio: Fuerza_aluminio
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1
Criterio: Automático
Distribución de factor de seguridad: FDS min = 2.8



Datos

Material ASTM -36

Carga axial de
compresión

$$F = 1,21 \text{ [KN]}$$

$$L = 1470 \text{ [mm]}$$

Factor de seguridad (FS)

Calculado

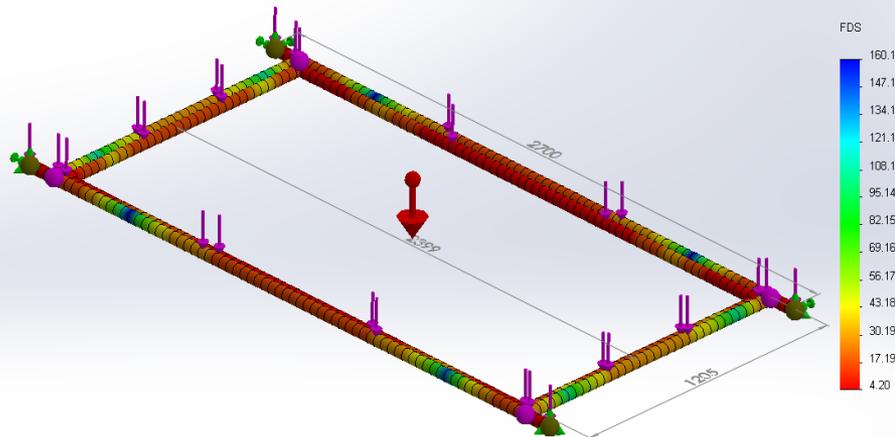
2,82

Software

2,8

Portaplástico

Nombre de modelo: Marco inferior
Nombre de estudio: Fuerzas
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1
Criterio: Automático
Distribución de factor de seguridad: FDS min = 4.2



Factor de seguridad (FS)

Calculad

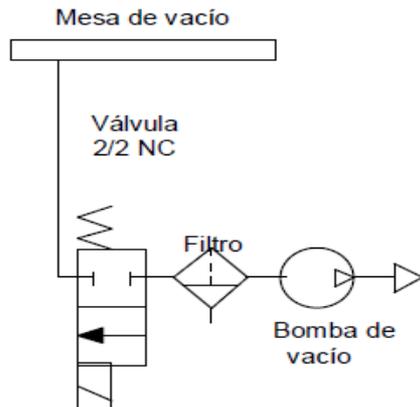
0

4

Software

4,2

Sistema de vacío



Componentes

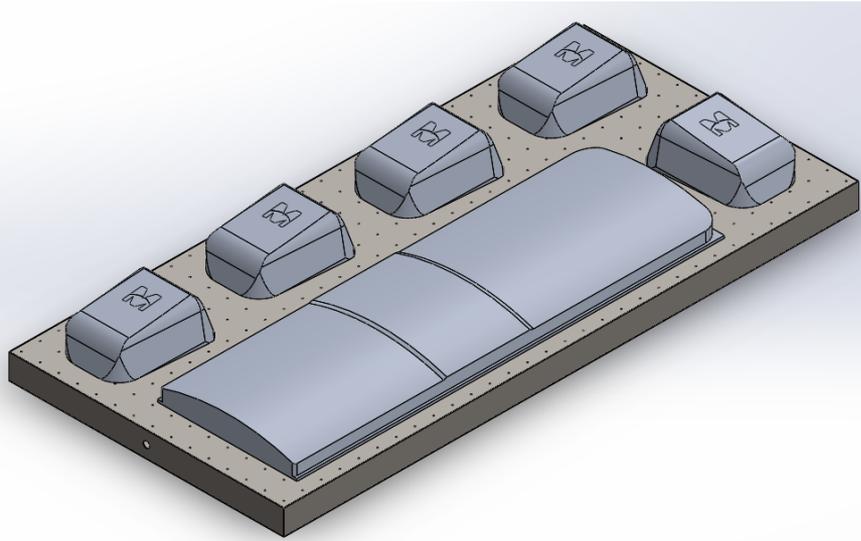
Bomba de vacío

Filtro

Electroválvula 2/2 NC

Mesa de Vacío

Selección de la bomba de vacío



Datos

Volumen a desplazar = 0,428 [m³]

Intervalo de tiempo = 6 [seg]

Presión inicial = 29,89 [plg Hg]

Presión final = 15 [plg Hg]

Caudal requerido para el vacío (S)

Calculado

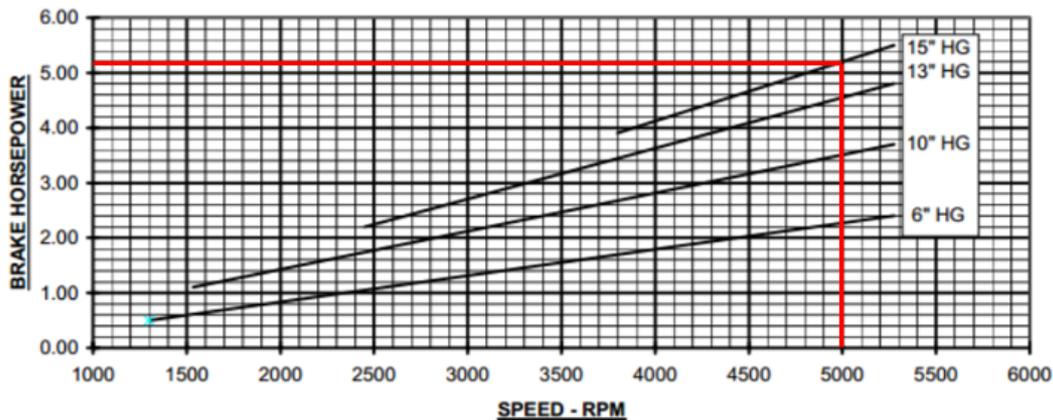
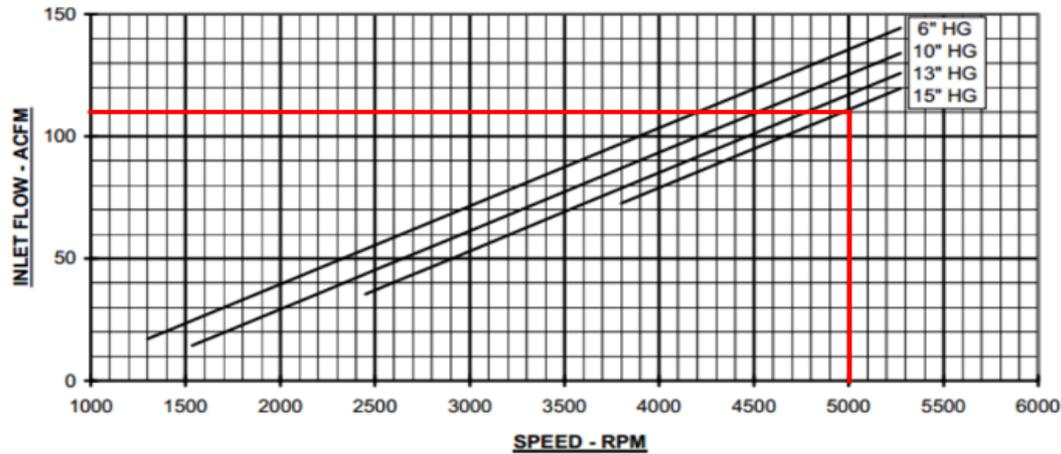
105 [CFM]

Utilizado

148 [CFM]
max.

ROOTS, 24 U-RAI (LHC)

Selección del motor para la bomba de vacío



Características seleccionadas

Velocidad = 5000 rpm

Torque = 5 HP

Allen Bradley 5HP a 3450 RPM

Selección de la banda

FACTORES DE SERVICIOS TÍPICOS						
TIPOS DE MÁQUINAS DE TRANSMISIÓN	TIPOS DE UNIDADES MOTRICES					
Los tipos de máquinas impulsadas aquí listadas son solo una muestra representativa. Seleccione el equipo que se aproxime más a su aplicación. SI SE UTILIZAN RUEDAS LOCAS, AÑADA LO SIGUIENTE AL FACTOR DE SERVICIO: Rueda Loca en el lado suelto (adentro) Ninguno Rueda Loca en el lado suelto (afuera) 0.1 Rueda Loca en el lado apretado (adentro) 0.1 Rueda Loca en el lado apretado (afuera) 0.2	MOTORES ELÉCTRICOS			MOTORES ELÉCTRICOS		
	SERVICIO INTERMITENTE	SERVICIO NORMAL	SERVICIO CONTINUO	SERVICIO INTERMITENTE	SERVICIO NORMAL	SERVICIO CONTINUO
Agitadores para Líquidos Sopladores y Aspiradoras Bombas centrífugas y Compresoras Ventiladores hasta 10 HP Transportadores de Trabajo Ligero	1.0	1.1	1.2	1.1	1.2	1.3
Transportadores de Banda para arena, grano, etc. Amasadora Ventiladores de más de 10 HP Generadores Ejes de Línea Máquinas de Lavandería Máquinas-Herramientas Taladros, Prensas, Cortadores Máquinas de Imprenta Bombas Rotatorias de Desplazamiento Positivo Cribas Giratorias y Vibratorias	1.1	1.2	1.3	1.2	1.3	1.4
Máquinas para Ladrillos Elevadores de Cangilones Excitadores Compresores de Pistones Transportadores (Rastras, Helicoidales, Tablillas) Molinos de Martillos Hidropulper Bombas de Pistones Sopladores de Desplazamiento Positivo Pulverizadores Máquinas para Madera y Sierras Maquinaria Textil	1.2	1.3	1.4	1.4	1.5	1.6
Quebradoras (Giratorias-Mordaza-Rodillos) Molinos (Bolas, Rodillos) Grúas Calandrias de hule — Extrusoras — Molinos	1.3	1.4	1.5	1.5	1.6	1.6
Equipo con Ahogador	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0

Datos

Potencia motor: 5 [HP]

RPM motor: 3600 [RPM]

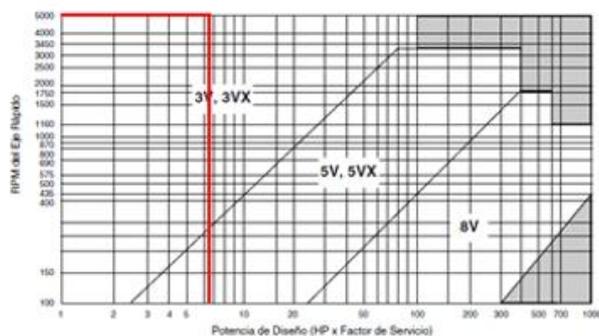
RPM maquina impulsada:
5000 [RPM]

Distancia de ejes: 60 [cm]

Diámetro de ejes: 2 [cm]

Horas de operación: 2
horas

Tabla de Selección para Bandas de Alta Capacidad



Características de la banda

Calculado

Utilizado

Tipo: 3V

Tipo: 3V

Longitud de
banda: 53,6 [pulg]

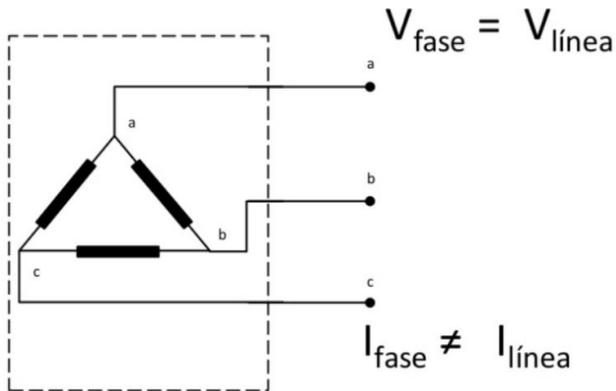
Longitud de
banda: 60 [pulg]

Selección del controlador

Entradas digitales	Salidas digitales	Entradas analógicas
Paro de emergencia	Electroválvulas para abrir el gripper	Temp. de calentamiento en el horno
Sensor de pos. Plást. en el horno	Electroválvulas para cerrar el gripper	Temp. de enfriamiento del plástico
Sensor de posición para home	Electroválvula subir el portador	
Sensor de posición etapa de vacío.	Electroválvula bajar el portador	
Pulsador para abrir gripper.	Voltaje de control para el SSR	
Pulsador para cerrar gripper	Contactador activar el sistema de vacío	
Pulsador para la operación de home	Contactador activar sistema de enfriami.	
Pulsador para iniciar el proceso	Control para luces indicadoras	
Pulsador para terminar el vacío		
Alarma de set point alcanzado		

	Entradas digitales	Salidas digitales	Entradas analógicas	Modular	Satisface
SIEMENS S7 1200	14	10 a relé	2	Si	Si
XINGE	18	14 a relé	2	Si	Si
RENU	16	12 a relé	2	Si	Si
LOGO! 24 RC	12	8 a relé	2	SI	SI

Relé de estado sólido



Características de resistencias eléctricas

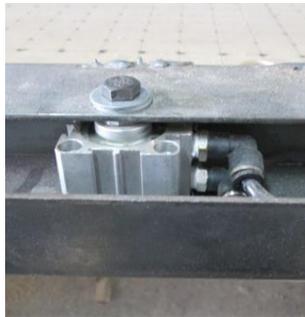
Potencia	25 000 W
Voltaje	220 Vac trifásico
pf	0.9

Características del SSR

Calculado	Utilizado
In : 42,1 A	In : 60 A

Relé de estado sólido Shenhai 380 Vac de carga y voltaje de control de 3 a 32 Vdc

Sistema neumático



Datos

Presión neumática: 6 [bar]

Diámetro del embolo 1 : 32 [mm]

Diámetro del vástago 1: 16 [mm]

Diámetro del embolo 2 : 40 [mm]

Diámetro del vástago 2: 16 [mm]

Fuerza calculada de los cilindros

Cilindro 1

Cilindro 2

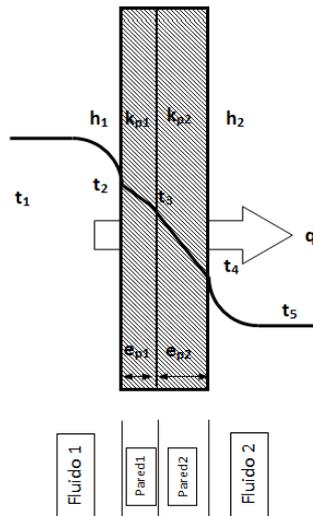
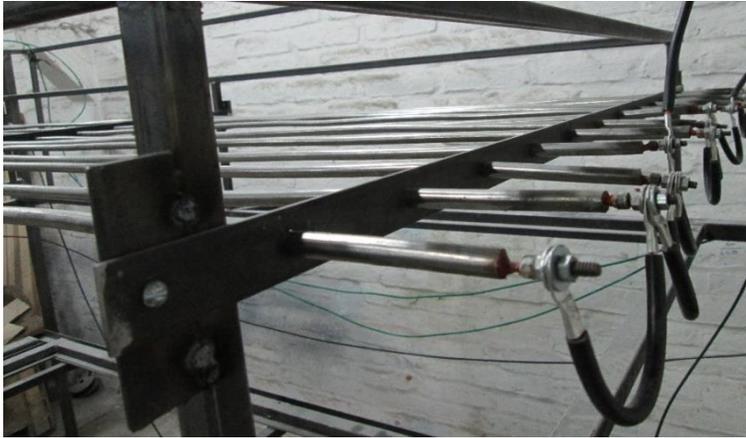
F : 36,9 kgf

F : 64,58

MCJT-12-32-10

MCQI-11-40-500

Diseño térmico



Datos

Calor específico lamina: 1,2 [KJ/Kg °C]

Conductividad térmica pared1 : 89 [W/m K]

Conductividad térmica pared2 : 0,035 [W/m K]

Coefficiente de convección fluido: 9,97 [W/m² °C]

Masa de la lamina: 12,096 [Kg]

Área de la lamina: 2,88 [m²]

Temperatura 1 : 220 °C

Temperatura 2 : 50 °C

Espesor de la pared1: 0,007 [m]

Espesor de la pared2: 0,05 [m]

Potencia de los calefactores electricos

Calculada

P : 17,428 KW

Utilizada

P : 20 KW

Análisis y resultados

Prueba 1

Temperatura mostrada	Tiempo de calentamiento	Tiempo de vacío	Temperatura de enfriamiento
190 °C	180 seg.	7 seg.	60° C



Prueba 2

Temperatura mostrada	Tiempo de calentamiento	Tiempo de vacío	Temperatura de enfriamiento
210 °C	240 seg.	10 seg.	25° C



Prueba 3

Temperatura mostrada	Tiempo de calentamiento	Tiempo de vacío	Temperatura de enfriamiento
210 °C	300 seg.	15 seg.	25° C



Análisis financiero

Costo de construcción de la maquina

Ítem	Artículo	Valor
1	Materiales para estructura de la máquina	\$ 900.00
2	Materiales eléctricos	\$ 1000.00
3	Controlador SIEMENS LOGO!	\$ 250.00
4	Materiales neumáticos	\$ 1950.00
5	Bomba de vacío	\$ 1700.00
6	Mangueras neumáticas	\$ 210.00
7	Motor trifásico 5 HP	\$ 310.00
8	Resistencias eléctricas	\$ 1182.72
9	Pernos, tuercas y arandelas	\$ 20.00
10	Varios	\$ 200.00

Costo total de inversión de un año de la máquina

COSTOS	TOTAL [USD]
Materiales directos	28800
Mano de obra directa	1200
Otros costos indirectos	500
Inversión año 1	30500

Flujo de Caja

DETALLES	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
INVERSIÓN	7.722,72	30.500,00	32.025,00	33.623,25	35.304,41	37.069,63
VENTAS	0	50.000,00	57.500,00	66.125,00	76.043,75	87.450,31
FLUJO NETO	(7.722,72)	19.500,00	22.475,00	32.499,75	40.739,34	50.380,68

Resultados VAN, TIR y B/C

VAN	111.352,24
TIR	274%
B/C	14,42

El tiempo de recuperación de la inversión en la máquina termoformadora de plástico es de 4 meses

Conclusiones

- Las alternativas de solución que se obtienen mediante el método de la casa de la calidad, son las más eficientes pero a su vez no es la alternativa más económica, debido a que por economía de la empresa se utilizó resistencias eléctricas que son mucho más baratas que las lámparas infrarrojas.
- Se diseñó y construyó una máquina termoformadora con control automático usando la técnica de vacío, para la fabricación de autopartes para la empresa MIVILTECH Soluciones Industriales S.A., permitiendo producir autopartes de una forma más eficiente y económica, con un ahorro del 30% en costos de producción a comparación con la técnica de fibra de vidrio.
- Las pruebas realizadas en el horno confirman que la selección de la potencia de los calentadores está bien realizado permitiendo que cualquier tipo de plástico llegue a su temperatura requerida para que sea termoformable en un tiempo de 6 minutos.
- El caudal generado por la bomba de vacío es el adecuado para evacuar el volumen de aire de los moldes incluyendo la máxima capacidad de trabajo de la máquina, haciendo que el proceso de producción sea óptimo y sin tener pérdidas de energía.

Conclusiones

- La correcta selección de los cilindros neumáticos que permiten al portador de láminas de plástico se traslade libremente en las diferentes estaciones de la máquina sin que realicen algún esfuerzo mecánico. También evitan que la lámina de plástico se desplace de la sujeción del gripper.
- En la automatización de la máquina se utiliza un LOGO! 24 RC el cuál cumple satisfactoriamente con todos los requisitos de la máquina como son las entradas y salidas digitales; y las entradas analógicas para realizar la correcta automatización del proceso de termoformado.
- Para controlar la temperatura del horno se utiliza un control de temperatura REX C-100, que realiza su operación utilizando el método PID y a la vez interactúa con el PLC permitiendo que el proceso automático se realice con normalidad.
- La interacción de la máquina con el operador está diseñada para que sea lo más simple posible y de fácil aprendizaje para que el personal de la empresa MIVILTECH se pueda familiarizar con la máquina rápidamente, debido a que la mayoría solo tiene formación académica de segundo nivel.

Conclusiones

- El proceso de termoformado redujo los tiempos de producción en comparación de la elaboración en fibra de vidrio considerablemente, reduciendo la producción de 40 basureros mensuales a tan solo un día de trabajo y los parantes se redujo la producción de 108 mensuales a un día y medio.
- La técnica de termoformado es una técnica que ayuda al trabajador a precautelar su salud ya que no se expone a los químicos que se utilizan en la técnica de fibra de vidrio.

Recomendaciones

- Emplear de forma correcta el manual de operación para evitar posibles errores en el funcionamiento de la máquina.
- Aplicar las temperaturas según el rango permisible de cada tipo de plástico a utilizarse, así se evitará que el plástico se dañe o se derrita.
- Optimizar el diseño de los moldes para utilizar el 100% del área de trabajo de la máquina obtener mayor rentabilidad y reducir pérdidas y desperdicios de material.
- La distancia de separación de los moldes para reducir que se formen estrías debe ser igual a 1.75 veces de la altura que posee el molde.
- Utilizar protecciones de seguridad cuando se realice el proceso de termoformado; como son: guantes, mascarilla y tapones auditivos. La mascarilla es de uso obligatorio debido a que algunos de los plásticos son cancerígenos para la salud humana.

Recomendaciones

- Mantener el nivel de aceite dentro de los límites indicados en el Filtro Regulador Lubricador (FRL) para mantener siempre lubricado los vástagos y émbolos de los cilindros neumáticos para prolongar su vida útil.
- Realizar el mantenimiento periódico de los diferentes elementos de la máquina para evitar daños que puedan interrumpir la producción por un largo periodo de tiempo.
- Cuando no se utilice la máquina se debe cubrir la mesa de vacío para impedir que entren impurezas como el polvo, que posteriormente puedan ocasionar deterioro al sistema de vacío.

GRACIAS