

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

IMPLEMENTACIÓN DE UN CONTROL PID PARA LA PUESTA A PUNTO DE UNA MÁQUINA TERMOFORMADORA POR VACÍO, DE UNA SOLA ESTACIÓN

Jonatan Alexander Contreras Herrera

Ingeniería Mecatrónica

Director: Juan José Arbeláez Toro

INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO

Julio 2016

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

RESUMEN

El termoformado es una técnica que consiste en calentar una lámina de polímero hasta que llega a su punto de transición vítrea, esto para luego grabar por medio de un molde y fuerza de vacío la forma que se desea. En este trabajo de grados se presenta la implementación de un sistema PID, la evaluación e identificación de los sistemas térmicos, mecánicos e hidráulicos y la modificación del software de control para el funcionamiento semiautomático, esto partiendo de la valoración, la cual determina el estado actual de la máquina, las capacidades y operación de sistema de forma integral. Con el sistema PID y el software modificado fue posible realizar una secuencia semiautomática con temperaturas controladas, con niveles de calentamientos superiores, una disminución del consumo energético al igual que la disminución de tiempos de producción. Esta implementación representa para este tipo de máquinas una alternativa sumamente importante y benéfica para las pequeñas industrias del sector de termoformado por vacío.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

RECONOCIMIENTOS

Sin lugar a duda es imperativo otorgar el primer agradecimiento a quien siempre estuvo en cada uno de los momentos de esta hermosa aventura, Dios, gracias por toda la fortaleza mental y física que con tanto amor me otorgaste, gracias por brindarme sabiduría cuando la necesité y más importante aún, gracias por no dejarme fallar en este proyecto de vida.

Agradezco infinitamente a mis padres que incondicionalmente siempre estuvieron apoyándome de diversas formas, brindándome motivación, aliento y esperanza para alcanzar este nuevo logro.

Agradezco a todos mis mentores que compartieron su conocimiento conmigo además de motivar e incentivar en el mundo del conocimiento y al auto crecimiento intelectual considero que gracias a ellos soy una persona un poco más sabia.

Quiero agradecer especialmente al profesor Juan José Arbeláez por darme la oportunidad de trabar a su lado y compartir conmigo su amplia sabiduría, además de ser mi asesor en este trabajo de grados.

Agradezco a Alejandra Montoya Zea, mi novia por siempre darme aliento y comprensión en los momentos difíciles de mi carrera y a todos mis compañeros de clases que compartieron conmigo su conocimiento en los momentos de oscuridad y desentendimiento además agradezco a todas las personas que de alguna u otra manera aportaron a terminar este proyecto de vida.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

ACRÓNIMOS

Estos son lo acrónimos encontrados en todo el documento.

1. PID: estrategia de control Proporcional, Integral y derivativo
2. PLC: en inglés, (Programmable Logic Controller) controlador lógico programable.
3. TIA: Totally Integrated Automation.
4. SCADA: Supervisory Control And Data Acquisition (Supervisión, Control y Adquisición de Datos).
5. WinCC: Software de diseño de interfaces SCADA
6. CAD: Diseño Asistido por Computadora.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

TABLA DE CONTENIDO

IMPLEMENTACIÓN DE UN CONTROL PID PARA LA PUESTA A PUNTO DE UNA MÁQUINA TERMOFORMADORA POR VACÍO, DE UNA SOLA ESTACIÓN	1
1. INTRODUCCIÓN	7
1.1. Generalidades.....	7
1.2. Objetivo general	8
1.2.1. Objetivos específicos	8
1.3. Organización del trabajo.	9
2. MARCO TEÓRICO.....	10
2.1. Sistema térmico.....	11
2.1.1. Sensor de temperatura PT100.....	11
2.1.2. Lámparas de cuarzo infrarrojas.	13
2.2. Sistema mecánico.....	14
2.3. Sistema eléctrico y de control	15
2.3.1. Sistema eléctrico.....	15
2.3.2. PLC (Programmable logic Controller).	18
2.3.3. HMI (Human machine interface) Interfaz Hombre Máquina	18
2.3.4. TIA PORTAL (Totally Integrated Automation).	19
2.3.5. Sistema de control.	19
2.4. Sistema neumático.	20
2.5. Termoformado.....	22
3. METODOLOGÍA.....	23
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	28
5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO	36
5.1. Conclusiones.....	36
5.2. Recomendaciones.....	36
5.3. Trabajos futuros.....	37
REFERENCIAS	38
APÉNDICE.....	39
Apéndice A. Programación de en lenguaje lader.	39

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Apéndice B. Componentes eléctricos y electrónicos de la máquina termoformadora.....59

Apéndice C. Manual de funcionamiento de la maquina termoformadora.63

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Generalidades.

El proceso de termoformado consisten en el calentamiento de una lámina (polímero termoplástico) hasta el punto de transición vítrea, es decir ablandamiento, que luego es presionada con fuerza por medio de vacío, presión de aire, fuerza mecánica o gravedad al molde y rápidamente es enfriado para copiar la forma. Este proceso se da como finalizado cuando es removida la pieza del molde y recordado el exceso de material. Según (Kutz, 2011), el termoformado es una de las técnicas más antiguas y más implementadas en la industria para formar polímeros, es altamente implementando a la hora de elaborar empaques, además esta técnica es ampliamente requerida en diversos campos como el sector agrícola, medico, alimenticio, construcción entre otros. Se proyecta que para el 2017 se implementaran aproximadamente 4.25 billones de kilogramos de polímero termoformable comparado con el consumo del 2012, que fue de 3.5 billones de kilogramos, representa un aumento estimado del 21.42%.

Todos los polímeros termoplásticos pueden ser termoformados sin embargo, los más implementados son: el ABS (acrilonitrilo butadieno estireno), el PS (poliestileno), el PP (polipropileno) y el PVC (policloruro de vinilo). Se ha presentado una particular característica y es que los polímeros más amorfos demuestran un mejor comportamiento durante el proceso de termoformado, esto debido a su amplia ventana de procesamiento y la resistencia a la masa fundida (Kutz, 2011)

Actualmente en la industria se realizan máquinas de termoformado vanguardistas, es el caso del termoformado de producción continúan con calibre delgados. En él se implementan sistemas de control de temperatura avanzando, además se implementan servomotores para el avance continuo y uniforme de la lámina, hay cuchillas de corte para retirar los excesos y apilamiento del material termoformado de forma automatizada. Sin embargo, a la hora de hablar del termoformado de calibre grueso, se implementan técnicas de control robusto para la temperatura, monitoreo de láminas por infrarrojo, hay control de temperatura en los moldes y sistema de carga y descarga automatizados. Es importante destacar que en ambos casos se cuenta con la asistencia robótica para los cortes y apilamientos del material termoformado.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Las grandes y medianas empresas del sector del plástico tienen implementadas, en sus procesos, máquinas termoformadoras automáticas como las descritas anteriormente; pero, las empresas más pequeñas del sector utilizan máquinas de termoformado de una sola estación por vacío, de operación manual para el procesamiento de diversos calibres. En estos equipos, el usuario es quien realiza las operaciones, registra los tiempos de proceso y censa, por inspección visual, la temperatura del material. Esta dependencia del operario en el proceso hace que la falta de experticia o concentración afecten las variables de velocidad, repetibilidad, exactitud y calidad del producto, repercutiendo muchas veces en el gasto energético y desperdicio de material.

En general, este trabajo presenta los resultados de la caracterización de los sistemas e implementación de una estrategia PID de una máquina termoformadora por vacío que fue reconvertida para operar de forma automática, consiguiendo funcionamiento secuencial para trabajo en serie con temperaturas controladas, niveles superiores de calentamiento, disminución del consumo energético y una adecuada interacción máquina-operario para la puesta a punto y caracterización del proceso de termoformado sobre cada material; así se generan capacidades tecnológicas que benefician a las pequeñas empresas del sector de formado de plástico.

1.2. Objetivo general

Implementación de un control PID para la puesta a punto de una máquina termoformadora por vacío.

1.2.1. Objetivos específicos

- Evaluar el funcionamiento de los sistemas térmico, mecánico, neumático, eléctrico y de control de la máquina termoformadora por vacío de una sola estación
- Implementar la estrategia de control PID en la máquina termoformadora de vacío.
- Desarrollar un programa Ladder para PLC Siemens S7-1200 que permita el funcionamiento secuencial y manual de la máquina termoformadora por vacío de una sola estación.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- Evaluar la puesta a punto de la maquina termoformadora de vacío de una sola estación
- Elaborar manual técnico de la maquina termoformadora de vacío.

1.3. Organización del trabajo.

El siguiente trabajo está dividido en 5 secciones que describen el proceso de la implementación de un control PID y puesta a punto de una maquina termoformadora por vacío de una sola estación. En la primera parte se muestran la introducción que da pie a la necesidad de implementar las mejoras, se muestran datos relevantes y ejemplos de sistemas similares.

Continuando en la sección 2, se encuentra el marco teórico que habla de los conceptos básicos que se deben tener en cuenta a la hora de leer este documento, vale la pena aclarar que allí se consignan datos técnicos por lo que este texto está dirigido a un público con conocimientos básico de tema.

La sección 3 se muestra la metodología implementada es decir las etapas evolutivas de la implementación, el desarrollo y puesta a punto de la maquina termoformadora.

Más adelante en la etapa cuatro se muestran los resultados obtenidos en detalle, que repercusiones o recomendaciones se plantean para un buen funcionamiento del equipo.

Por ultimo en la sección 5 se dan a conocer las conclusiones que resultan del trabajo realizado, además se proponen futuras intervenciones para realizar mejoras en el desarrollo de la maquina termoformadora.

2. MARCO TEÓRICO

La máquina termoformadora por vacío, de una sola estación (véase figura 1) es el resultado de una reconversión que llevo a transformar los sistemas mecánicos, neumático, térmico, eléctrico y de control para garantizar la operación automática disminuyendo los desperdicios de material, tiempos de procesamiento y consumo energético, en este apartado se describen las condiciones iniciales de la maquina intervenida y se presentan los conceptos asociados a las categorías mentales (sistema, termoformado, control y automatización)

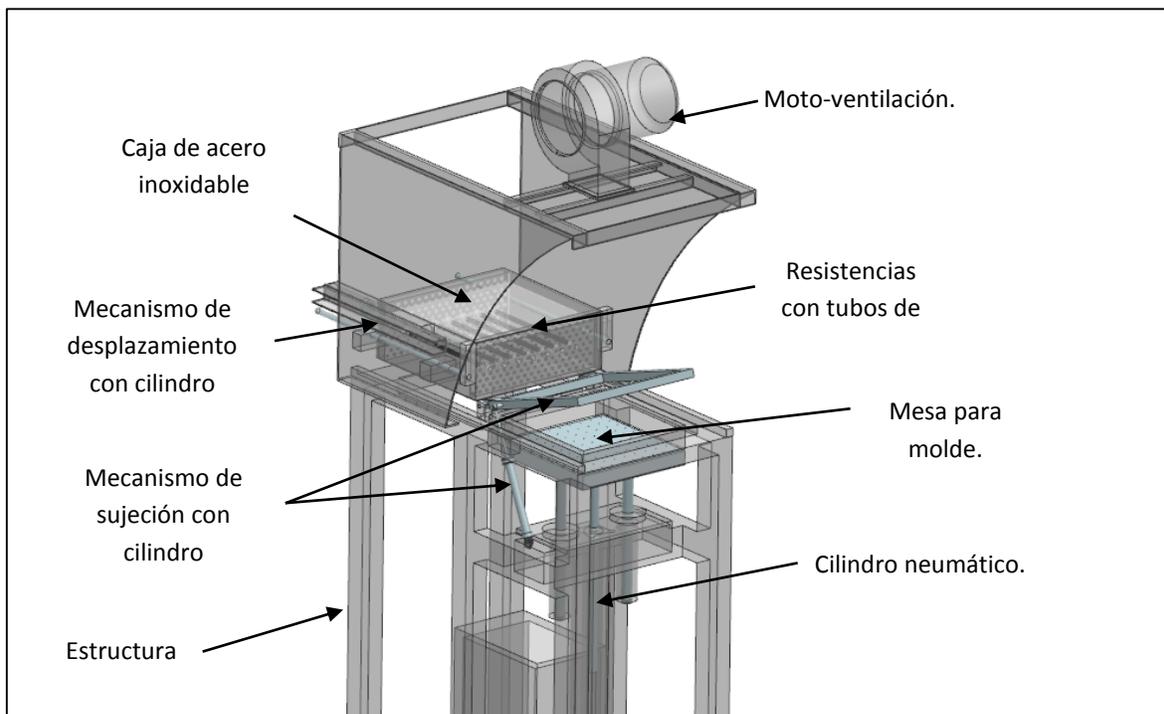


Figura 1. Máquina termoformadora y sus componentes. Fuente: Juan José Arbeláez.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2.1. Sistema térmico.

Es un dispositivo que facilita el intercambio de energía calorífica entre dos cuerpos. Para la máquina de termoformado, el sistema térmico es el encargado de calentar la lámina a termoformar por medio de una resistencia eléctrica contenida en una caja de acero inoxidable AISI 304 de dos milímetros de espesor. Las resistencias que están contenidas en esta caja son de níquel-cromo de $4,21\Omega/m$ las cuales están recubiertas por un tubo de cuarzo de nueve milímetros de diámetro interior y doce de diámetro exterior, además, posee un sistema de aislamiento el cual está hecho de fibra de vidrio, esto para retener el calor y proteger el cableado que se encuentra dentro de la caja. Para el sensado de temperatura posee un sensor tipo termocupla PT100 encargado de realizar la realimentación del sistema de control PID (véase figura 2).

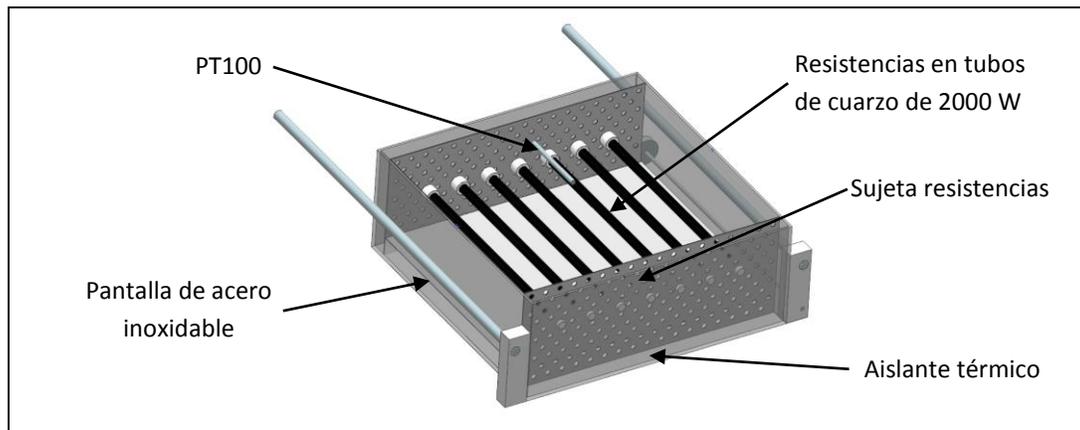


Figura 2. Sistema térmico. **Fuente:** Juan José Arbeláez

2.1.1. Sensor de temperatura PT100

La PT100 es un sensor de temperatura que a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ tiene 100 ohms (véase figura 3) y su resistencia aumenta con incrementos de temperatura (exponencialmente). La relación de temperatura vs resistencia se determina por medio de tabulaciones presentadas por los fabricantes de este tipo de sensor, que por lo general está hecho de platino (instrumentation, 2006).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



Figura 3. Sensor de temperatura PT100 con protección. **Fuente:** <http://www.tcdirect.es/images/prodimages/large/514420.png>

Los sensores de temperatura del tipo PT100 tiene un set de hasta cuatro cables, los cuales están conectados a la resistencia variable interna. Su configuración está centrada en determinar el valor de la resistencia $R(t)$ del sensor de platino sin influir en lectura del valor de la resistencia R_c de los cables de conexión.

La primera configuración, pero la menos recomendada, es la conexión con dos hilos (véase figura 4), en este caso las resistencias de los cables R_{c1} y R_{c2} que unen la Pt100 al instrumento se suman generando un error inevitable. El lector medirá el total $R(t)+R_{c1}+R_{c2}$ en vez de $R(t)$. Lo único que se puede hacer es usar cable lo más delgado posible para disminuir la resistencia de R_{c1} y R_{c2} y así minimizar el error en la lectura. En la máquina termoformadora se implementó este tipo de conexión, debido a la sencillez de implementación.



Figura 4. Diagrama de conexión de dos hilos del sensor PT100. **Fuente:** <http://www.arian.cl/downloads/nt-004.pdf>

La segunda conexión es con tres hilos (véase figura 5), el cual es el más común debido a que con dicha conexión se puede eliminar el error que genera la resistencia de los cables, existe una condición y es que la resistencia de los tres cables tiene que ser igual o aproximadamente igual, esto debido a que normalmente el sistema de medición se basa, en el “Puente de Wheatstone” consistente en pasar una corriente conocida a través de los cables azul y verde con lo cual el instrumento mide $2R_c$. Luego se mide la resistencia por los cables café y azul para finalmente restarle $2R_c$ al valor medido y obtener $R(t)$.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

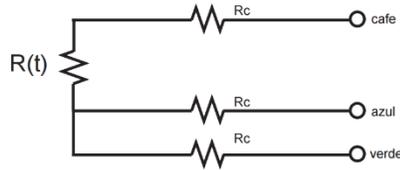


Figura 5. Diagrama de conexión de tres hilos del sensor PT100. **Fuente:** <http://www.arian.cl/downloads/nt-004.pdf>

Por último, se encuentra la conexión con cuatro hilos (véase figura 6). Esta es la forma más precisa de realizar la medición del sensor, no tiene ninguna restricción ni condición, los cables de conexión pueden poseer diferentes valores en su resistencia, pero la única desventaja es que el elemento final lector es más costoso que en los anteriores. El método consiste en lo siguiente: Por los cables 1 y 4 se hace circular una corriente I conocida a través de $R(t)$ provocando una diferencia de potencial V en los extremos de $R(t)$. Los cables 2 y 4 están conectados a la entrada de un voltímetro de alta impedancia luego por estos cables no circula corriente y por lo tanto la caída de potencial en los cables $Rc2$ y $Rc3$ será cero ($dV=Ic \cdot Rc=0 \cdot Rc=0$) y el voltímetro medirá exactamente el voltaje V en los extremos del elemento $R(t)$. Finalmente, el instrumento obtiene $R(t)$ al dividir V medido entre la corriente I conocida.

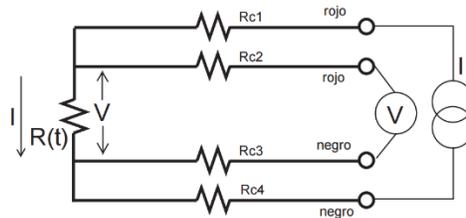


Figura 6. Diagrama de conexión de cuatro hilos del sensor PT100. **Fuente:** <http://www.arian.cl/downloads/nt-004.pdf>

2.1.2. Lámparas de cuarzo infrarrojas.

Las lámparas de cuarzo infrarrojas (véase figura 7), son dispositivos diseñados para aumentar la eficiencia térmica en tareas de transferencia de calor. Están formadas por un filamento fino de una resistencia eléctrica, por lo general de tungsteno la cual está cubierta a su vez por un tubo de cuarzo que debido a sus propiedades tiene mayor tolerancia a la temperatura y mejor eficiencia en la transferencia de calor debido a que permite solo el paso de rayos infrarrojos. sumado a esto las resistencias de cuarzo tiene la ventaja de tener menor tamaño y la facultad de trabajar a mayores potencias que las resistencias

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

convencionales; tentativamente no son muy llamativas por el costo, pero este puede ser compensado debido a su bajo consumo energético.

Las lámparas de cuarzo poseen mayor expectativa de vida que las lámparas convencionales debido a que estas son sometidas a menor temperatura por sus encapsulado de cuarzo. La emisión de infrarrojos, es decir, su emisión espectral está situada entre 700 nm. y 1800 nm, aproximadamente, pero, la radiación máxima a la que puede llegar este dispositivo es de 1200 nm. La vida útil de los dispositivos es de 5000 horas como se mencionaba anteriormente y su rango de temperatura oscila entre 250 °C y 900 °C aproximadamente. Estas resistencias vienen para trabajar a 220V o a 110V. Para la máquina termoformadora la conexión de las resistencias se realizó a 220V.



Figura 7. lámpara de cuarzo infrarroja. **Fuente:**

http://img.alibaba.com/img/pb/775/974/583/583974775_555.jpg

2.2. Sistema mecánico.

Un mecanismo es un dispositivo que transforma el movimiento en un patrón deseable, y por lo general desarrolla fuerzas muy bajas y transmite poca potencia. Hunt define un mecanismo como un medio de transmisión, control o restricción del movimiento relativo. Una máquina, en general, contiene mecanismos que están diseñados para producir y transmitir fuerzas significativas. (L. Norton, 2009).

El sistema mecánico de la máquina termoformadora está compuesto por la estructura metálica que soporta todos los elementos, y los mecanismos que mueven el sistema térmico, la mesa para el molde y el marco que sujeta el material (Véase figura 8). La estructura metálica es la encargada de soportar todos los componentes de la máquina; el mecanismo que mueve el sistema térmico, es el encargado de posicionar las resistencias sobre el material termoplástico a calentar; el mecanismo de sujeción es el encargado de garantizar la fuerza necesaria para mantener el material en su posición cuando se produce

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

el desplazamiento del molde a termoformar y finalmente el mecanismo de mesa encargado de elevar el molde para garantizar su copiado en el termoplástico.

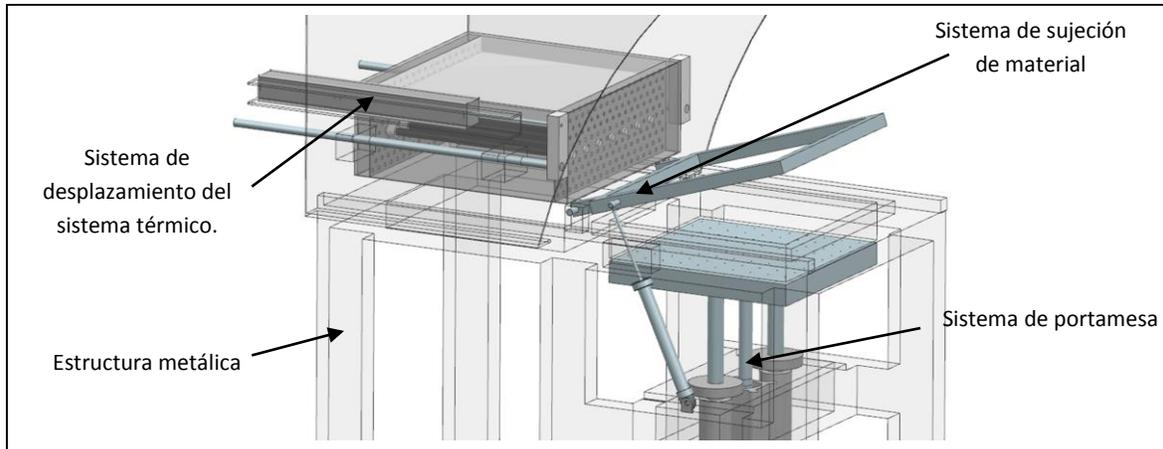


Figura 8. Sistema mecánico que conforma la máquina termoformadora. **Fuente:** Juan José Arbeláez.

2.3. Sistema eléctrico y de control

El uso de computadores en el control de procesos permite resolver problemas específicos de regulación y de seguimiento de consignas con una mejor relación de funciones de supervisión, monitoreo y tratamiento de datos con un reducido costo adicional. (García Jaimes, 2010).

2.3.1. Sistema eléctrico.

El sistema eléctrico de la máquina termoformadora está conformado por un circuito de potencia de tres fases a 220V AC (véase la figura 9) que suministra la energía eléctrica a los siguientes dispositivos:

- Motor SIEMENS, ubicado en el compresor, (0,67 kW, 1685 min⁻¹, 3,1 A – 3,55 A).
- Motor Edwards E2M5 que se encuentra en la bomba de vacío, (0.7 kW, 1750 min⁻¹, 3,2 A).
- Motor ubicado en la ventilación, (0,18 kW, 280 min⁻¹, 0,8 A).
- Presostato, (0 bar - 6 bar).
- Resistencias de níquel-cromo (2000 W).
- Electro válvulas.
- Fuente de alimentación (Entrada de 220V AC. Salida 24V DC).

La fuente de alimentación suministra la energía para el PLC (Siemens 1200 + HMI y módulo SM 1231 RTD) y los sensores magnéticos (posición de los cilindros neumáticos) y de temperatura (PT100).

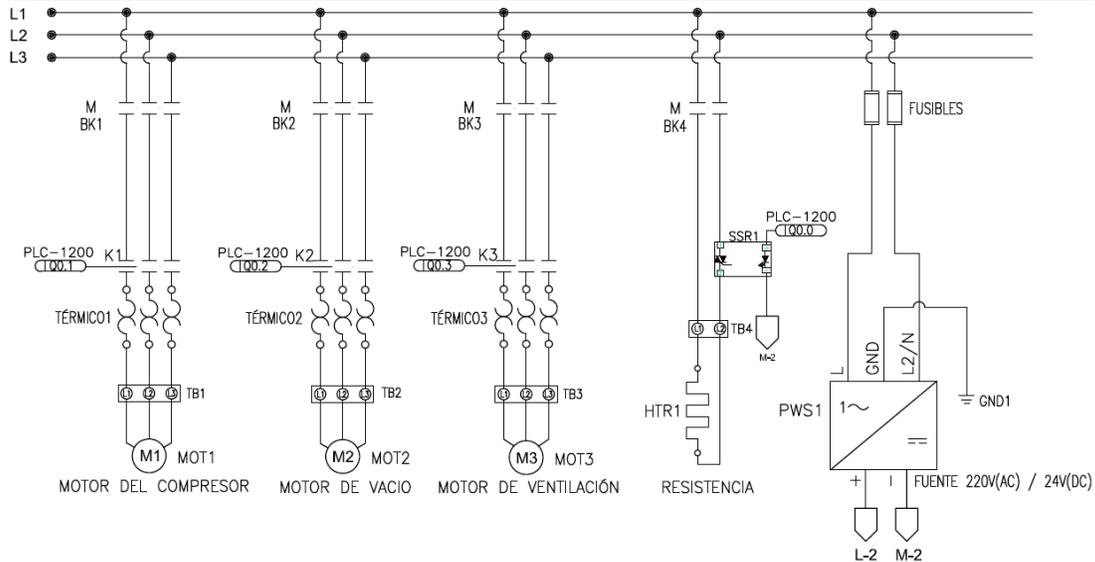


Figura 9. Circuitos de alimentación trifásico (Motores, resistencias y fuente de poder).

Fuente: Juan José Arbeláez

En la figura 10 se muestra el circuito de potencia de las electroválvulas neumáticas de presión del sistema.

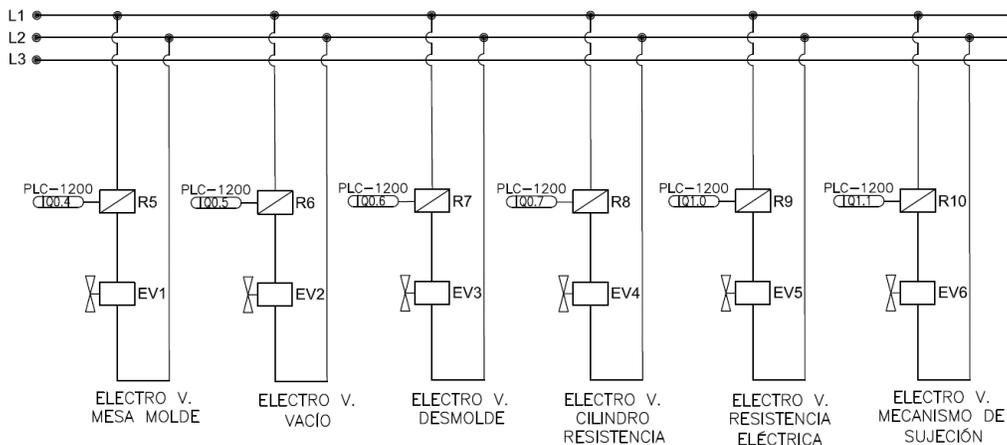


Figura 10. circuito de potencia de electroválvulas. **Fuente:** Juan José Arbeláez.

Para la parte de control, se diseñó un circuito de entradas y salidas (véase figura 11), en donde las entradas representan los relés térmicos de los motores, los sensores de los cilindros neumáticos, los sensores de presión del compresor y de la bomba de vacío, el botón de paro de emergencia y por último el sensor de temperatura PT100. Las salidas representan las conexiones a los relés de control de los motores y las electroválvulas neumáticas.

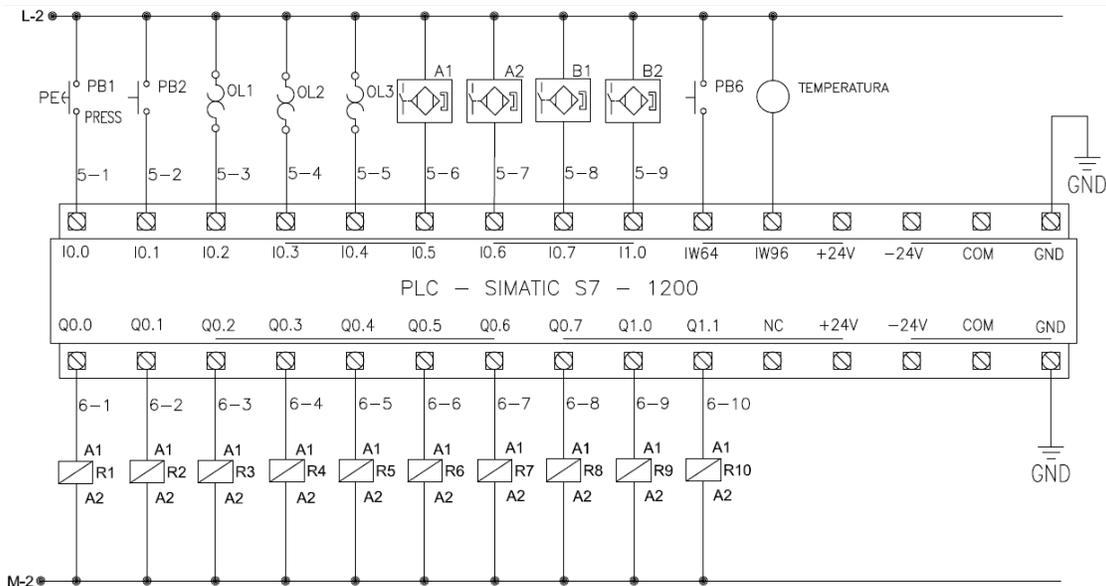


Figura 11. Circuito de entradas y salidas del PLC S7- 1200. **Fuente:** Juan José Arbeláez

El circuito de control y eléctrico se ensamblaron en un panel de control principal (véase figura 12).



Figura 12. Circuito eléctrico y de control. **Fuente:** Juan José Arbeláez

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2.3.2. PLC (Programmable logic Controller).

Los controladores lógicos programables o PLC (Programmable Logic Controller), son dispositivos electrónicos de alta precisión y alta protección a ruidos electromagnéticos, similares a una computadora en su arquitectura interna. Son implementados constantemente en la ingeniería automática o la automatización industrial para realizar procesos electromecánicos de alta potencia como la automatización de líneas de producción, atracciones mecánicas, controles de fluidos, entre otros mucho más. (Hyde, Regué, & Cuspina, 1997)

El PLC está diseñado para múltiples señales de entrada y de salida ya sea de tipo digital o de tipo analógico, esta última se puede dar en corriente o en voltaje, rangos de temperatura ampliados, inmunidad al ruido eléctrico generado por los motores de altas potencias y resistencia a la vibración y al impacto. En la actualidad la máquina termoformadora cuenta con un PLC de marca SIEMENS S7-1200 con CPU 1214C DC/DC/DC. Con módulos de entradas y salidas digitales (véase figura 13),



Figura 13. PLC SIMATIC S7 – 1200 con módulos de entradas y salidas. **Fuente:** https://cache.industry.siemens.com/dl/files/193/36524193/img_25469/v1/s7-1200_sys.jpg

2.3.3. HMI (Human machine interface) Interfaz Hombre Máquina

Actualmente en la industria, la interfaz máquina hombre han tomado mucha popularidad debido a su gran versatilidad y fácil manejo para las personas que operan los procesos. Una interfaz máquina hombre consiste básicamente en una pantalla, por lo general de tipo touch con conexión de diferentes redes para realizar la comunicación con el controlador, esta posee su propia unidad de procesamiento la cual es capaz de enviar señales según la necesidad. Además de controlar, las interfaces HMI también permiten el monitoreo del proceso en tiempos casi reales de forma remota o de forma local. La pantalla que se implementa en la máquina es utilizada para controlar los diferentes dispositivos que la

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

componen, como lo son los motores, los actuadores neumáticos entre otros, además, también se utiliza para realizar monitoreo real de la variable temperatura.

En la figura 14 se presenta el dispositivo HMI de la empresa SIEMENS con referencia KTP 600 Basic Color PN utilizada en la máquina termoformadora.



Figura 14. Interface SIEMENS HIM KTP 600 Basic Color PN. **Fuente:**

<http://www.ingenieriainteligente.com.mx/productos/big/Panle-KTP600-Basic-color-DP-998944.jpg>

2.3.4. TIA PORTAL (Totally Integrated Automation).

TIA Portal es el software de la empresa SIEMENS diseñado para programar los dispositivos programables PLC e interfaces de interacción maquina hombre HMI. la ventaja que tiene este nuevo software es la integración de dos plataformas como lo son el Step 7 y el WinCC.

El TIA portal es implementado en la máquina termoformadora para programar el PLC S7 1200 el cual siguiendo una red de Petri que realiza las secuencias del proceso que necesarias para realizar el termoformado. Esto es posible gracias a la interpretación que se realizar de los lugares y transiciones al lenguaje ladder de PLC.

2.3.5. Sistema de control.

Un sistema de control automático es una interconexión de elementos que forman una configuración denominada sistema, de tal manera que el arreglo resultante es capaz de controlarse por sí mismo (Hernández Gaviño, 2010). Se refiere a una operación que, en presencia de perturbaciones, tiende a reducir la diferencia entre la salida de un sistema y alguna entrada de referencia y lo continúa haciendo con base en esta diferencia. (Ogata, 1998).

- Controlador PID.

El controlador PID (Proporcional, Integral y Derivativo) es una estrategia realimentado cuyo propósito es hacer que el error en estado estacionario, entre la señal de referencia y la señal de

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

salida de la planta, sea cero de manera asintótica en el tiempo, lo que se logra mediante el uso de la acción integral. Además, el controlador tiene la capacidad de anticipar el futuro a través de la acción derivativa que tiene un efecto predictivo sobre la salida del proceso. Esta estrategia es implementada en la maquina termoformadora como medida de control de la temperatura del sistema térmico.

2.4. Sistema neumático.

Un sistema neumático aprovecha la presión y volumen del aire almacenado en un tanque por un compresor de aire y lo transforma por medio de actuadores (cilindros y motores) en movimientos rectilíneos y de giro, que se usan para automatizar maquinaria. Los actuadores se controlan por una serie de válvulas de dirección, control de presión y control de flujo. (Creus Solé, 2011)

Los componentes actuales del sistema neumático que contiene la termoformadora se listan en la tabla 1

Tabla 1. Lista de componentes del sistema neumático. **Fuente:** Juan José Arbeláez.

Ítem	Nombre	Descripción
1	Cilindro mesa de molde	Cilindro neumático de doble efecto comandado con electro-válvula, Carrera: 500mm, vástago: 20mm \varnothing , cilindro: 55mm \varnothing , empleado para mover el plato de desmolde.
2	Cilindro sujeción	Cilindro neumático de doble efecto comandado con electro-válvula. Carrera: 100mm, vástago: 8mm \varnothing , cilindro: 20mm \varnothing empleado para sugetar el material.
3	Cilindro resistencia eléctrica	Cilindro neumático de doble efecto comandado con electro-válvula. Carrera: 500mm, vástago: 12mm \varnothing , cilindro: 45mm \varnothing , empleado para mover las resistencias .
4	Electro-válvula 5/2, molde	Válvula para controlar el cilindro de la mesa del molde. Modelo: 4V310-10, voltaje: 220 V(AC), Presión: 0,15-0,8 Mpa, Corriente: 30mA
5	Electro-válvula 2/2, desmolde	Válvula de control del desmoldeo de las piezas
6	Electro-válvula 5/2, material	Válvula encargada de controlar el cilindro de sujeción del material. Modelo: 4V210-06, voltaje: 220 V(AC), presión: 0,15-0,8 Mpa, corriente: 25mA
7	Electro-válvula 5/3, resistencia	Válvula encargada de controlar el cilindro para mover la plataforma de las resistencias. Modelo: 4V230C-08, voltaje: 220 V(AC), presión: 0,15-0,8 Mpa, corriente: 25mA.
8	Unidad de mantenimiento	Es la encargada de limpiar y filtrar el aire implementado en los cilindros

En la figura 16 se aprecia el sistema neumático de la maquina termoformadora por vacío.

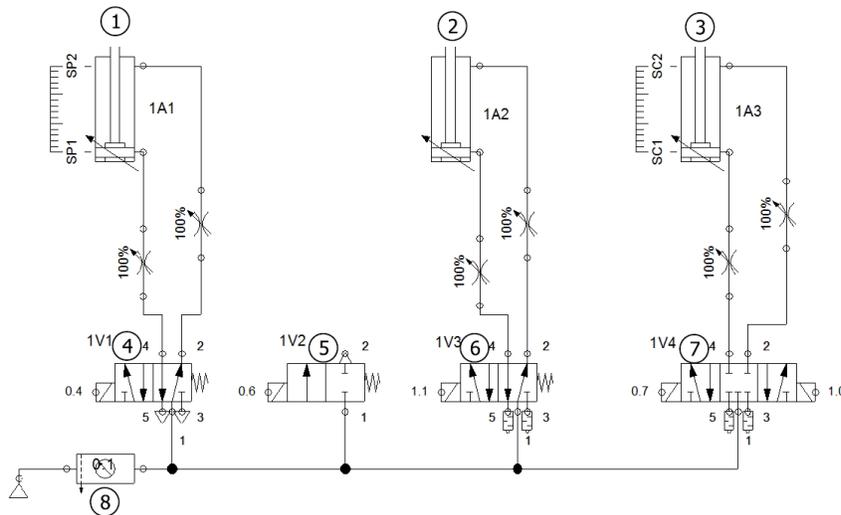


Figura 15. Esquema de sistema neumático. **Fuente:** Juan José Arbeláez.

En la figura los ítems 1 y 4 hacen parte del circuito para desplazar el mecanismo mesa para molde, el ítem 5 representa el sistema de desmolde o evacuación del molde, el 2 y 6 representan el circuito para sujeción del material, el 3 y 7 hacen parte del circuito encargado de desplazar el sistema térmico y finalmente el ítem 8 representa la unidad de mantenimiento.

Presostato: el presostato es un sensor que indica cuando el sistema tiene el límite superior de almacenamiento de fluido o cuando están en el límite inferior, su función es la de abrir o cerrar un circuito según la necesidad. (Creus Solé, 2011)

Para este proyecto solo se implementan actuadores cilíndricos de doble efecto, esto por la demanda de fuerza que se necesita en ambos sentidos de trabajo, ya que la plataforma donde se posan las resistencias, el marco que sujeta el material y el porta-material, demandan movimientos en ambos sentidos.

- **Bomba de vacío.**

Las bombas de vacío son dispositivos encargados de extraer moléculas de gas de un tanque sellado, formando un vacío parcial, también son diseñados para extraer elementos no deseados de recinto o tanques.

En la máquina termoformadora se encarga de vaciar el tanque para generar el vacío necesario que fuerza el material termoformable a copiar la forma deseada por el usuario.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2.5. Termoformado.

El termoformado es una técnica de moldeo de diversos polímeros el cual tiene como elementos fundamentales el calor, los moldes y, por último, el material con el que se desea trabajar. Es un proceso que consiste en el calentamiento del material a la temperatura donde se puede malear y adaptar a la forma deseada, luego se posa sobre un molde prediseñado con antelación de características especiales, luego, se obliga al polímero que tome la forma del molde implementando diversas técnicas. (Cornish Alvarez, 1997)

En el medio existen múltiples técnicas para realizar moldeo de polímeros por calor tales como el moldeo con presión, moldeo por bomba de vacío, moldeo por estiramiento mecánico y formado por hoja sellada, entre otro más, sin embargo, el método implementado en la máquina termoformadora, es el moldeo por vacío, ello es debido a su sencillez y facilidad de implementación, además del bajo costo de fabricación.

La técnica consiste en lo siguiente:

1. Se tiene un sistema que genera calor a temperatura que malea cualquier tipo de polímero
2. Se posa el material que se desea moldear en un sistema de prensa para que no se mueva de su posición inicial.
3. Se posa el sistema térmico sobre el polímero hasta que se malea.
4. Se posiciona el molde que se desea realizar.
5. Se forma la lámina a tomar la forma del molde por medio del sistema de vacío

En la siguiente figura se puede apreciar el funcionamiento del sistema

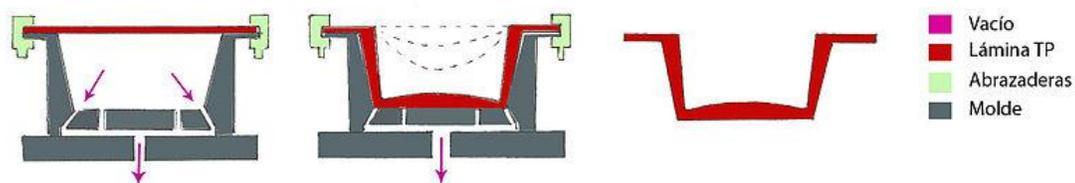


Figura 16. Diagrama de representación de la técnica de termoformado por vacío. **Fuente:** <http://www.marbeasrl.com.ar/imagenes/termoconformado-al-vacio-directo.jpg>

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

3. METODOLOGÍA

El proceso metodológico de este trabajo se centra en la identificación y caracterización de los sistemas reconvertidos de la maquina termoformadora de vacío, el desarrollo del controlador de temperatura y operación secuencial y en la puesta a punto para desempeño en proceso.

Identificación y caracterización de los sistemas que conforman la máquina termoformadora.

El sistema térmico evidencio distribución no uniforme de radiación infrarroja (véase figura 17) generando concentración en puntos específicos del polímero, se planteó cambiar la forma parabólica de la pantalla reflectora por una configuración plana que permita distribuir uniformemente la radiación infrarroja de las lámparas.



Figura 17. Deformación del material por concentración de radiación

En la integración de los sistemas neumático y mecánico se procedió a verificar fugas en la red principal y secundaria de suministro de aire y a revisar los disparos de los sensores magnéticos (final de carrera) de los cilindros neumáticos. Se registró el tiempo de respuesta de los actuadores neumáticos y el llenado y el vaciado del compresor y la bomba de vacío. Finalmente se verificó que los mecanismos no tuvieran ningún tipo de interferencia en su funcionamiento.

En el sistema eléctrico y de control se revisaron las conexiones en los respectivos circuitos y se verificó el correcto funcionamiento de arrancadores, temporizadores, motores y sensores (presión, vacío, temperatura entre otros).

Garantizado el correcto funcionamiento de cada uno de los sistemas que conforman la máquina termoformadora se procede al desarrollo de la estrategia de control y su implantación en el PLC+HMI

Diseño de software para sistema de control PID.

Para poder realizar el control de la maquina termoformadora, fue necesario diseñar un programa en el que se regulo de forma manual y automática las secuencias del proceso de termoformado, Partiendo de la red de Petri que interpreta la secuencia de termoformado (véase figura 19) realizada por los estudiantes Juan Sebastián Tabares Bedoya y Lina Marcela Palacio Arango en su trabajo de grado (ingeniería electromecánica), se realiza la programación del PLC+HMI por medio del lenguaje Ladder en el TiaPortal. Para el control de temperatura, se utilizó un bloque PID con salida de modulación de ancho de pulso (PWM) a través de un relé de estado sólido.

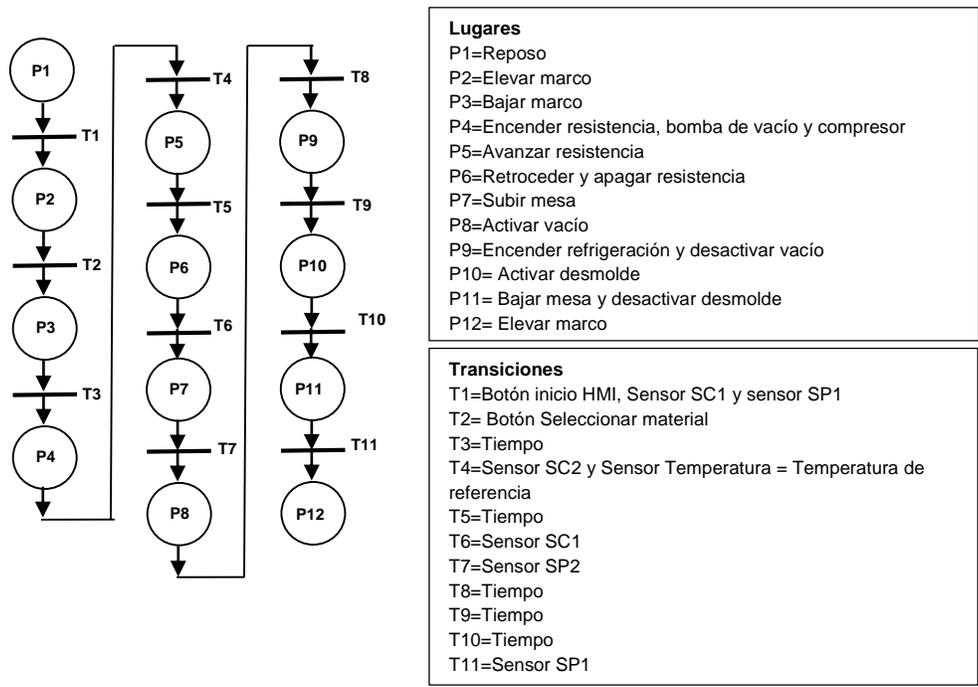


Figura 18. Red de Petri del proceso de termoformado. **Fuente:** Juan José Arbeláez

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

En la tabla 2 y 3 se presenta la información de las entradas y salidas de las variables a programar en el PLC

Nombre de la variable	Dirección del puerto de entrada
Paro de Emergencia	% I0.0
Señal presostato	% I0.1
Térmico OL1	% I0.2
Térmico OL2	% I0.3
Térmico OL3	% I0.4
Sensor arriba portamesa	% I0.5
Sensor abajo portamesa	% I0.6
Sensor adentro resistencias	% I0.7
Sensor afuera resistencias	% I1.0
Sensor Vacío	% IW64
Temperatura_entero	% IW96

Tabla 2. Entradas digitales y análogas físicas del S7-1200.

Nombre de la variable	Dirección del puesto de salida
Resistencias	% Q0.0
Motor Compresor	% Q0.1
Motor de Vacío	% Q0.2
Motor refrigeración	% Q0.3
EV Portamesa	% Q0.4
EV de Vacío	% Q0.5
EV Desmoldeo	% Q0.6
EV af Carro Resistencias	% Q0.7
Ev ad Carro Resistencias	% Q1.0
EV Marco	% Q1.1

Tabla 3. Salidas digitales físicas del S7-1200.

Para las entradas físicas del PLC se encuentran

El paro de emergencia: Es un botón físico que se encuentra en el panel principal sirve para detener toda operación que se esté ejecutando en el momento, ello por si se presentan accidentes o si se desea parar la máquina. La dirección de memoria es la I0.0.

Señal del presostato: es la señal que produce el sensor presostato que indica cuando la presión de trabajo ha llegado al límite ya sea inferior o superior. La dirección de memoria que tiene asociada es la I0.1.

Térmicos OLE (1,2,3): son las señales entregadas por los relés térmicos que se encuentran en el panel principal, sirven para detener los motores cuando suceda una sobre corriente en ellos. Se les asigna las direcciones I0.2,-I0.3, I0.4 respectivamente.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Sensor arriba portamesa: esta señal la genera el sensor magnético que se encuentra en el cilindro neumático que porta la mesa del molde, es el encargado de indicar cuando la mesa ha llegado al fin de su recorrido en la parte de arriba. La dirección de memoria que se le asigna es la I0.5.

Sensor abajo portamesa: al igual que el anterior sensor este es el encargado de verificar cuando la mesa ha llegado al final de su recorrido en la parte de abajo, la dirección de memoria que se le asigna es la I0.6.

Sensor adentro resistencias: esta señal es entregada por el sensor magnético ubicado en el cilindro encargado de mover el sistema térmico, es el que indica cuando la caja ha llegado al final del recorrido hacia adentro. La dirección de memoria asignada es la I0.7.

Sensor afuera resistencias: la señal producida por el sensor magnético del cilindro que mueve las resistencias, es el encargado de indicar cuando la caja ha llegado al fin del recorrido hacia afuera. La dirección de memoria asignada es la I1.0.

Sensor Vacío: es la señal que genera el vacuostato que indica cuando el tanque de vacío ha llegado al límite establecido. La dirección asignada es la IW64

Temperatura_entero: es la señal analógica que genera el sensor de temperatura PT100. La dirección de memoria asignada es la IW96.

Para las salidas físicas del PLC se encuentran:

Resistencias: es la señal que comanda a los contactores que encienden las resistencias de cuarzo. La dirección de memoria que se asignó es la Q0.0.

Motor Compresor: con esta salida física del PLC se puede controlar el contactor que enciende el motor del compresor. La dirección de memoria asignada es la Q0.1.

Motor de Vacío: con esta señal se controla el contactor que enciende el motor que se encuentra en la bomba de vacío. Se le asigna la dirección Q0.2.

Motor refrigeración: esta señal es la encargada de encender el motor para refrigerar el material cuando ha terminado un proceso. La dirección de memoria asignada es la Q0.3.

EV Portamesa: es la señal que controla la electroválvula del portamesas para subir o bajar el molde. La dirección de memoria asignada es las Q0.4.

EV de Vacío: es la encargada de controlar la electroválvula que genera el vacío la dirección asignada es la Q0.5.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

EV Desmoldeo: con esta señal se controla la electroválvula que controla el desmolde que está en el portamesa. La dirección asignada es la Q0.6.

EV af Carro Resistencias: esta es la señal que controla la electroválvula del sistema termino es la encargada de mover hacia el material la casa con las resistencias. La dirección asignada es la Q0.7

Ev ad Carro Resistencias: al igual que la anterior es la señal que mueve el sistema térmico, pero en dirección contraria. La dirección de salida asignada es la Q1.0.

EV Marco: es la señal que se encarga de controlar la electroválvula del marco de sujeción del material. La dirección asignada es la Q1.1.

Realizado la programación del PLC+HMI se realizan pruebas de termoformado para la puesta a punto de la máquina, para esto se emplean diferentes moldes y materiales termoplásticos.

Diseño de manual técnico

Debido a los diferentes dispositivos y sistemas que conforman la maquina termoformadora y el grado de complejidad que este posee, se elaboró un manual técnico que brinda información (componentes, planos, configuraciones, ensambles, manual de usuario entre otros) necesaria para tareas de mantenimiento, operación y puesta a punto en actividades de docencia, investigación o funcionamiento en proceso.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Evaluación del sistema térmico

Del proceso de caracterización e identificación del sistema térmico se obtuvo: la transformación de la pantalla reflectora que pasó de ser cóncava a plana, garantizando una distribución uniforme de radiación (véase figura 20) se generó la curva de respuesta de calentamiento del sistema (véase figura 21)

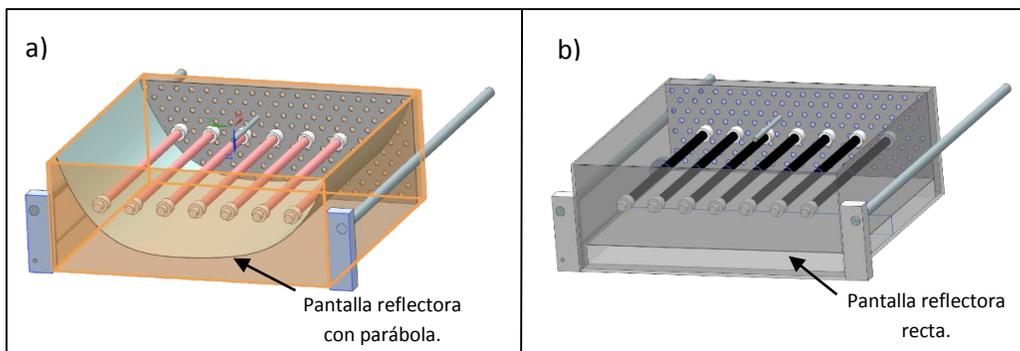


Figura 19. Sistema térmico. a). antes de la modificación y b) después de la modificación.
Fuente: Juan José Arbeláez.

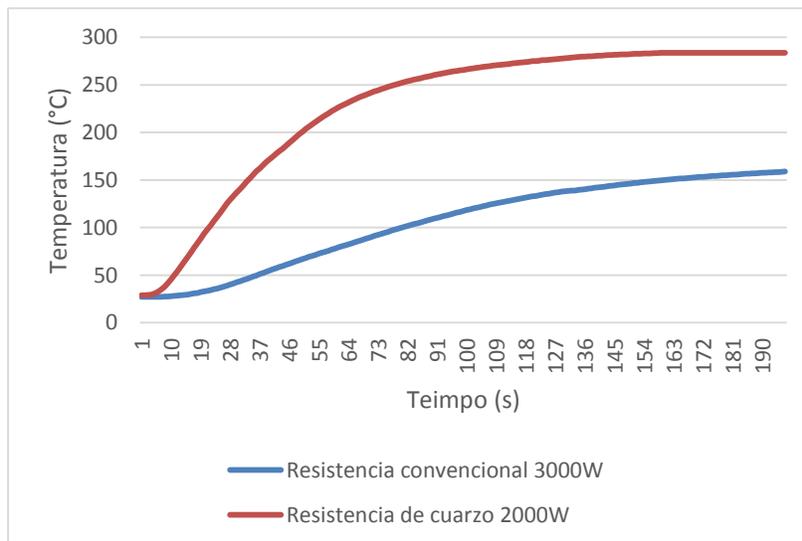


Figura 20. Curvas de temperatura vs tiempo del sistema térmico anterior y actual **Fuente:** Juan José Arbeláez

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Como se observa en la figura el nuevo sistema (resistencia de cuarzo) puede lograr temperaturas iguales al doble de las temperaturas alcanzadas con el sistema inicial, además, esto representa una ventaja y es que se pueden procesar nuevos materiales con temperaturas de transición vítreas superiores tales como el SAN (Estireno acrilonitrilo), el acrílico cell cast, el policarbonato, el poliestileno de alto impacto entre otros. Adicionalmente el sistema actual implementado, presenta una tasa de calentamiento de hasta 8 veces la del sistema anterior, con un consumo energético inferior (1000 W menos).

Evaluación del sistema mecánico y neumático.

De la evaluación del sistema mecánico se encontraron los siguientes resultados racionados con las velocidades de los actuadores.

Ítem	Descripción	Tiempo en segundos(S).
1	Bomba de vacío	116 S
2	Compresor	364 S
3	Salida del carro de resistencias	1.072 S
4	Entrada del carro de resistencias	1.71 S
5	Apertura del marco de sujeción	0.6 S
6	Cierre del marco de sujeción	0.5 S
7	Salida de mesa porta-molde	1.25 S
8	Entrada de mesa porta-molde	7.50 S

Tabla 4 resultados de los tiempos de actuadores neumáticos y llenados de tanques.

Fuente: el autor.

De los anteriores datos en la tabla 4 y los datos de la tabla 1 se puede calcular las velocidades de trabajo de los pistones. Para el portamesa se calcula una velocidad de 0.4m/s a la subida y de bajada del cilindro una velocidad de 0.06m/s, para la salida del sistema térmico se tiene una velocidad de 0.46m/s a la salida y para la entrada una velocidad de 0.29m/s y por último para el marco se tiene una velocidad de cierre de 0.2m/s y de apertura de 0.16m/s. Con esto se puede estimar un tiempo de función de la maquina aproximado de 18 minutos aproximadamente, esto para la primer encendida porque para las demás se disminuye 30% del tiempo inicial.

Implementación del control PID.

El control de temperatura del sistema de calentamiento, utilizó el algoritmo PID_compact (PLC S7 1200) hecho para regulación continua y por impulsos. Los valores del PID obtenidas

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

por las funciones de autosintonía (*autotuning*) del PLC fueron una ganancia proporcional igual a 3,23366, un tiempo de integración de 222,7337 s y un tiempo derivativo de 56,44807 s.

En la figura 21, se puede apreciar las curvas de temperatura vs tiempo que genera el controlados PID, esto para las referencias o (setpoint) de 100, 130,150,180 y 200 °C. En esta figura se observa que la optimización del bloque de control PID usando la auto sintonía crea una estrategia de control que genera un sobre impulso máximo de 3°C, además, el tiempo que le toma lograr el estado estable es de aproximadamente 15 minutos. De la figura también se observa el comportamiento del controlador ante perturbaciones (accionamiento del motor ventilador), generando descensos de temperaturas en 15°C respecto a la referencia, para regresar de nuevo al estado estable le toma al sistema 3 minutos, eso representa un tiempo de espera entre cada proceso de termoformado.

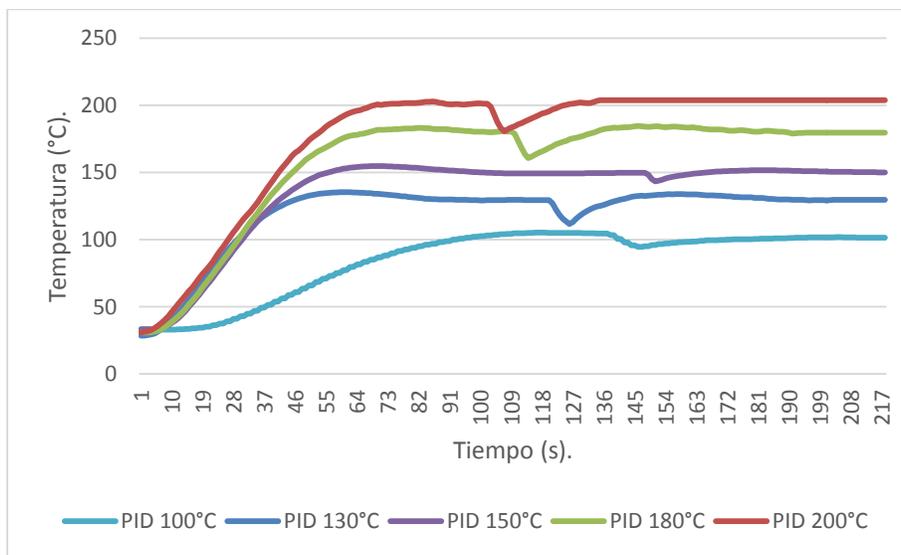


Figura 21. Pruebas del controlador PID a diferentes setpoints. **Fuente:** Juan José Arbeláez f

Software implementado en la maquina termoformadora.

A continuación, se describe el software desarrollado e implementado para la operación manual y automática de la maquina termoformadora.

Al encender la máquina se muestra la pantalla de inicio (véase **figura 23**) la cual contiene el logo de la institución y un botón que lo llevará a la pantalla siguiente (véase **figura 24**) en donde se selecciona el modo de trabajo; manual o automático.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



Figura 22: Pantalla inicial del programa. **Fuente:** Autor.

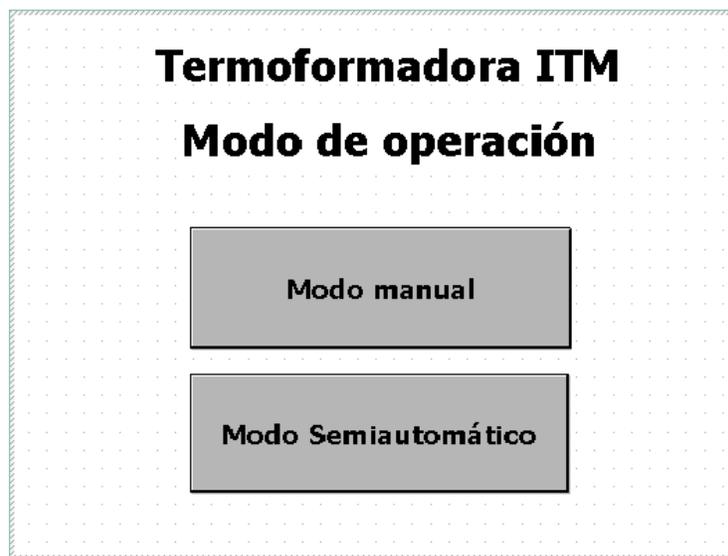


Figura 23. Modos de trabajo. **Fuente:** autor

- **Modo de trabajo manual.**

En la operación manual el software cuenta con dos apantallas de funciones en donde se encuentran los botones de activación de todos los dispositivos asociados a la máquina, como también la gráfica de temperatura vs tiempo actual. (Véase la **figura 25**).



Figura 24. Modo de trabajo manual. **Fuente:** Autor.

En la figura 25 se muestra la configuración de botones divididos por dos líneas que generan tres secciones, en donde la sección superior alberga los comandos de encendido y a la vez apagado de los motores, en la sección intermedia se encuentran los comandos de activación y desactivación de las electroválvulas, y en la parte inferior se encuentra la visualización de la temperatura, el ingreso de la referencia (setpoint), la visualización de la gráfica de la temperatura y el encendido y apagado de las resistencias. En la **figura 26** se muestra la pantalla donde está la gráfica de la temperatura.

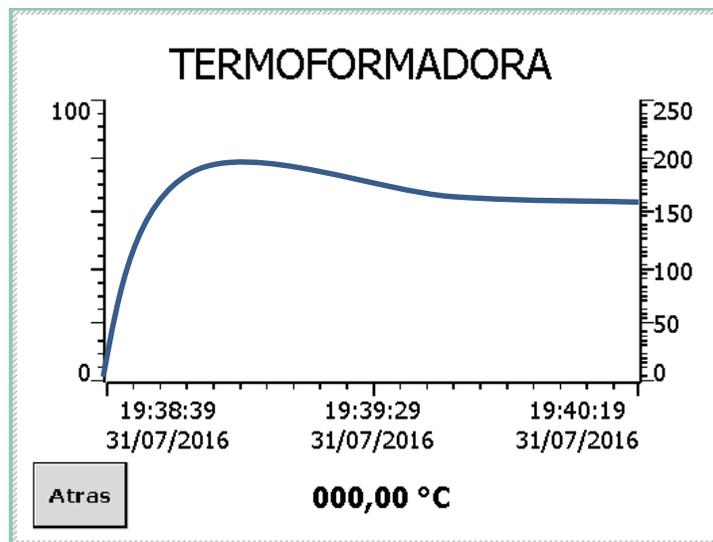


Figura 25. Gráfica de temperatura vs tiempo. **Fuente:** Autor.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- **Modo de trabajo semiautomático.**

El modo de trabajo semiautomático cuenta con dos pantallas de operación, la primera es la encargada de accionar la función secuencial de la maquina termoformadora y la segunda es donde se configuran todos los parámetros iniciales de trabajo, como la temperatura de exposición y la referencia (Véase **figuras 26,27**).

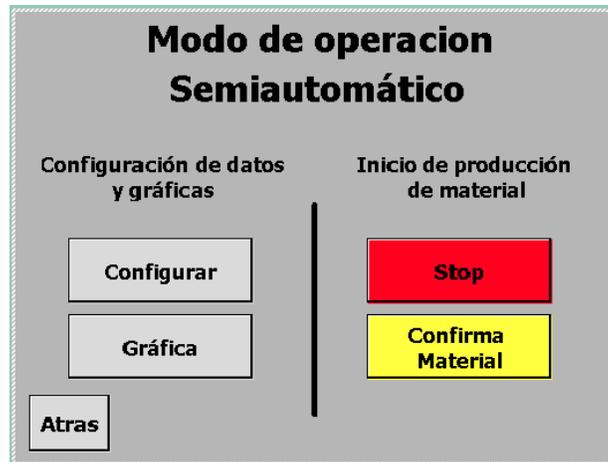


Figura 26. Modo de operación semiautomático. **Fuente:** Autor.

En la pantalla de configuración se pueden ajustar los parámetros acordes al material que se desea trabajar, como la configuración de la referencia (setpoint) el tiempo de al cual se tiene que exponer el material entre otros (véase **figura 27**).

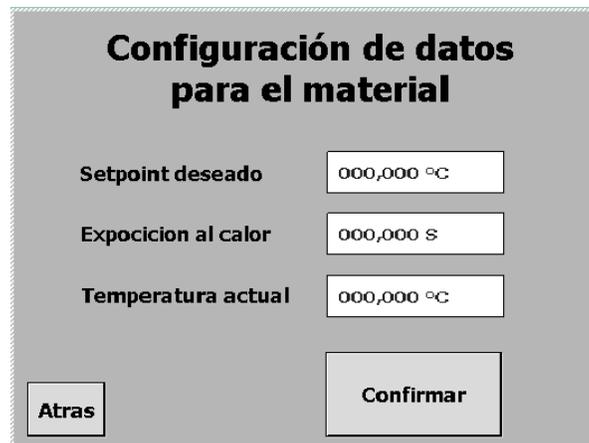


Figura 27. Pantalla de configuración de material. **Fuente:** Autor.

Finalmente, en la tabla 5 se presentan las marcas utilizadas en el desarrollo del programa en el PLC+HMI.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Tabla de marcas del sistema.

Tabla 5 Tabla de marcas del sistema. **Fuente:** Autor.

Nombre de la marca	Dirección en memoria física
Start compresor manual	% M0.0
Stop compresor	% M0.2
SR compresor	% M0.3
Start vacio manual	% M0.4
Stop vacío	% M0.6
SR vacio	% M0.7
Señal de vacio	% M1.0
Start refrigeración manual	% M1.1
Stop refrigeración	% M1.3
Start electro portamesa manual	% M1.5
Stop electro portamesa	% M1.7
Start electrto vacio manual	% M2.0
Marca EV portamesa	% M2.1
Stop electro vacio	% M2.2
Start electro desmoldeo manual	% M2.3
Stop electro desmoldeo	% M2.5
Estado inicial	% M3.0
Estado subir marco	% M3.1
Estado bajar marco	% M3.2
Estado mover resistencias	% M3.3
Estado temp alcanzada	% M3.4
Estado resist OFF	% M3.5
Estado subir portamesa	% M3.6
Estado encender vacio	% M3.7
Estado enfriamiento	% M4.0
Estado expulsión	% M4.1
Estado bajar portamesa	% M4.2
Estado apagar enfriamiento	% M4.3
Marcas resistencias	% M4.4
On/off resistencias	% M4.5
Start electro marco manual	% M5.1
Stop electro marco	% M5.2
Marca EV marco	% M5.3
Start electro ad carro manual	% M5.4
Stop carro	% M5.5
Marca EV af carro	% M5.6
Marca EV ad carro	% M5.7
Start electro af carro manual	% M6.0
Control OFF resist	% M6.1
Control ON resist	% M6.2

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Una vez identificado y caracterizado cada uno de los sistemas; realizado e implementado el control y automatización de la maquina termoformadora, se procede a realizar pruebas de puesta a punto (véase apéndice C) y a levantar la información técnica (véase anexos).

- **Costos.**

Los costos de la maquina termoformadora son estimados en doce millones de pesos. En la tabla 6 se presentan, de manera discriminada, los valores reales de la maquina intervenida

Tabla 6. Lista de costos de la maquina termoformadora automatizada.

ITEM	PRECIO (COP)
Sistema térmico	1.542.000
sistema mecánico (estructura y mecanismos)	1.233.600
Sistema neumático	1.542.000
Motor ventilador	616.800
Compresor	925.200
Bomba de vacío	2.559.720
Sistema eléctrico	4.317.600

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

5.1. Conclusiones.

- Se realizó la evaluación de los sistemas mecánico, térmico, eléctrico, y de control. En el sistema térmico, la modificación de la lámina reflectora cumple con los resultados requerido, haciendo que la concentración de calor sea distribuida de forma uniforme y no concentrada como lo realizaba el modelo anterior. Para el sistema mecánico la adecuación de los cilindros, neumáticos para la asistencia de las partes móviles fue valorada de forma tal que el funcionamiento es óptimo.
- Fue implementado de manera óptima la estrategia de control PID para la estabilización de la temperatura, a diversas referencias (setpoint), logrando estados estables en tiempos cortos, además, haciendo una comparación con sistema anterior, con esta estrategia se puede alcanzar hasta ocho veces más rápido la estabilidad con menos porcentajes de error haciendo posible la posibilidad de trabajo con materiales más grueso y de mayor resistencia térmica.
- Se desarrolló un programa que facilita la interacción con el operario, permitiendo que la maquina tenga secuencias semiautomáticas completas con poca intervención humana y con resultados óptimos, repercutiendo en la disminución de desperdicios y el consumo energético.
- La máquina termoformadora por vacío de una sola estación fue puesta a punto implementando la estrategia de control PID, con la integración de los sistemas mecánicos, térmicos neumáticos y eléctricos, haciendo de ella un sistema automático que trabaja de forma secuencial.

5.2. Recomendaciones.

- Realizar de manera adecuada el mantenimiento preventivo para buen funcionamiento de la maquina termoformadora. Dentro de los mantenimientos se priorizan, revisar el compresor de aire, la bomba de vacío, las lámparas de cuarzo y

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

los ajustes de los rodamientos lineales, esto para verificar que los sistemas estén óptimos para trabajar, considerando que algunos de ellos presentan desgastes tales como el aceite de lubricación, filtros de aire, sellos, entre otros.

- Tener cuidado a la hora de manipular la interfaz hombre maquina HIM es decir la pantalla de interacción, debido a que es delicada y se puede estropear su funcionamiento con un mal uso.
- Revisar las conexiones eléctricas antes de encender el sistema de control para evitar malos funcionamientos.

5.3. Trabajos futuros.

- Diseñar un software modificable que permita al usuario cambiar parámetros e implementar diferentes estrategias de control según la necesidad.
- Implementar recetas establecidas para que el operario pueda realizar trabajos con diferentes materiales sin necesidad de conocer sus propiedades.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

REFERENCIAS

- Cornish Alvarez, M. L. (1997). *El ABC de los plásticos*. Universidad Iberoamericana.
- Creus Solé, A. (2011). *Instrumentación industrial*. México: Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V.
- García Jaimes, L. E. (2010). *Control Digital Teoría y prácticas*. Colombia : Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid.
- Hernández Gaviño, R. (2010). *Introduccion a los sistemas de control Conceptos, aplicaciones y simulacion con MATLAB*. México: Prentice Hall.
- Hyde, J., Regué, J., & Cuspinera, A. (1997). *Control electroneumático y electrónico*. España: Norgren biblioteca técnica.
- instrumentation, A. C. (23 de Julio de 2006). *Arian*. Obtenido de <http://www.arian.cl/ingles/index.htm>
- Kutz, M. (2011). *Applied plastics engineering handbook*. Estados Unidos de america: ELSEVIER.
- L. Norton, R. (2009). *Diseño de Maquinaria síntesis y análisis de máquinas y mecanismos*. Mexico D.F.: MCGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
- Ogata, K. (1998). *Ingeniería de control moderna*. México: PRENTICE-HALL HISPANOAMERICANA, S.A.

APÉNDICE

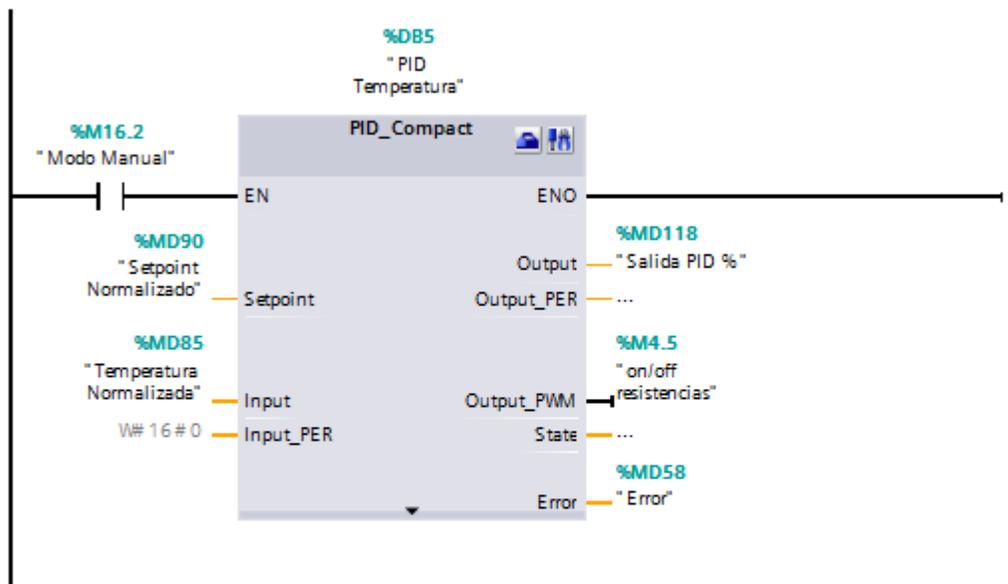
Apéndice A. Programación de en lenguaje lader.

▼ **Título del bloque:** Bloque PID y control de las resistencias

En este código se encuentra el bloque PID que realiza el control de temperatura.

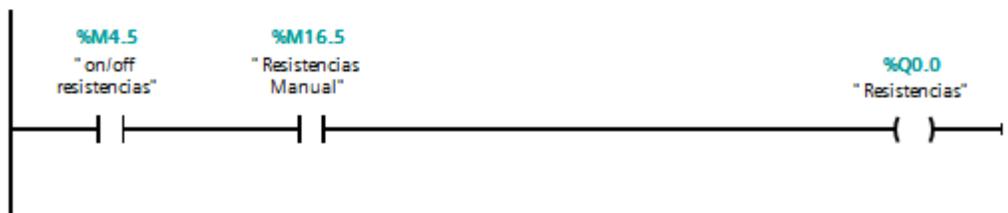
▼ **Segmento 1:** Bloque PID

Comentario



▼ **Segmento 2:** Control de las resistencias modo manual.

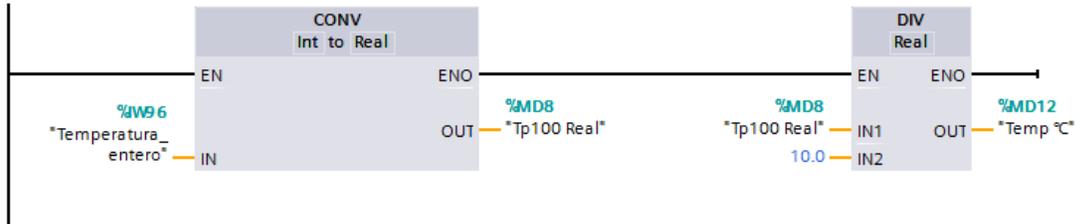
Comentario



▼ **Título del bloque:** Bloque de control de la temperatura
 Comentario

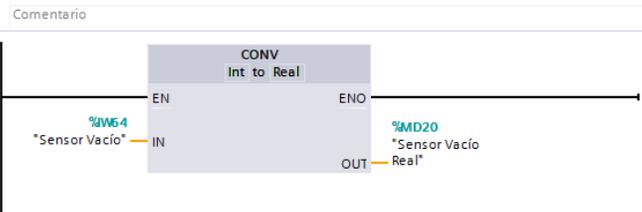
▼ **Segmento 1:** Escalización de la temperatura.

Con esta porción de código se escala la temperatura de forma que se interprete en °C



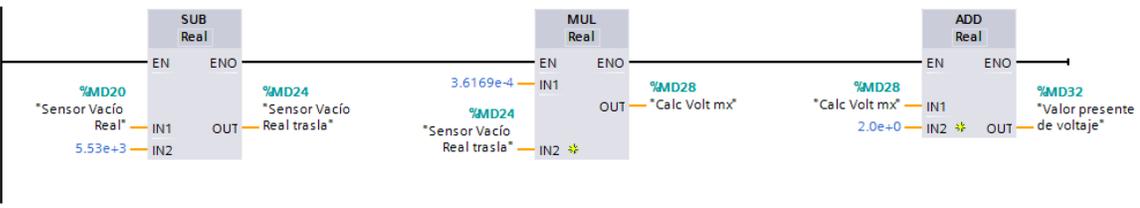
▼ **Título del bloque:** Control de sensor de vacío.
 Comentario

▼ **Segmento 1:** Conversión de lectura del sensor a REAL



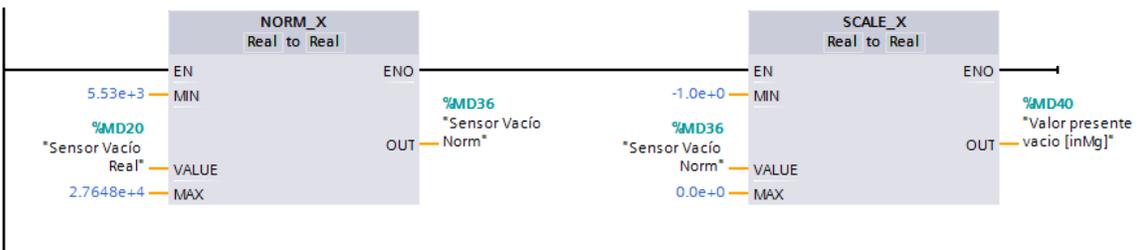
▼ **Segmento 2:** Escalización de señal valor PLC a 2-10 voltios

La pendiente de la recta es $m=(8/22118)=0.00036169$. Se le resta 5530 para suprimir la zona 0-2v. Luego se multiplica por la pendiente y se le suma $b=2$



▼ **Segmento 3:** escalización de 0 a -1 pulgadas de mercurio

► Rango máximo del compresor de vacío es desde 0 a -0.82 pulgadas de mercurio



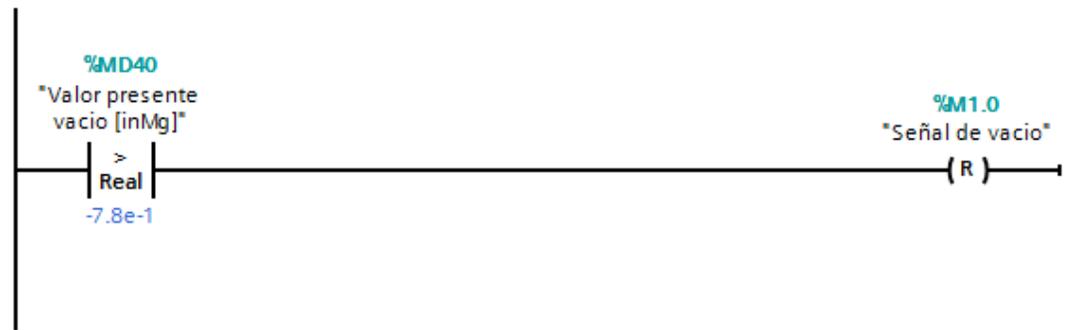
▼ **Segmento 4:** Control contacto señal de vacío

Si el vacío está inferior a -0.82inMg entonces no está bien



▼ **Segmento 5:**

Si la señal de vacío es superior a -0.78 entonces está bien.

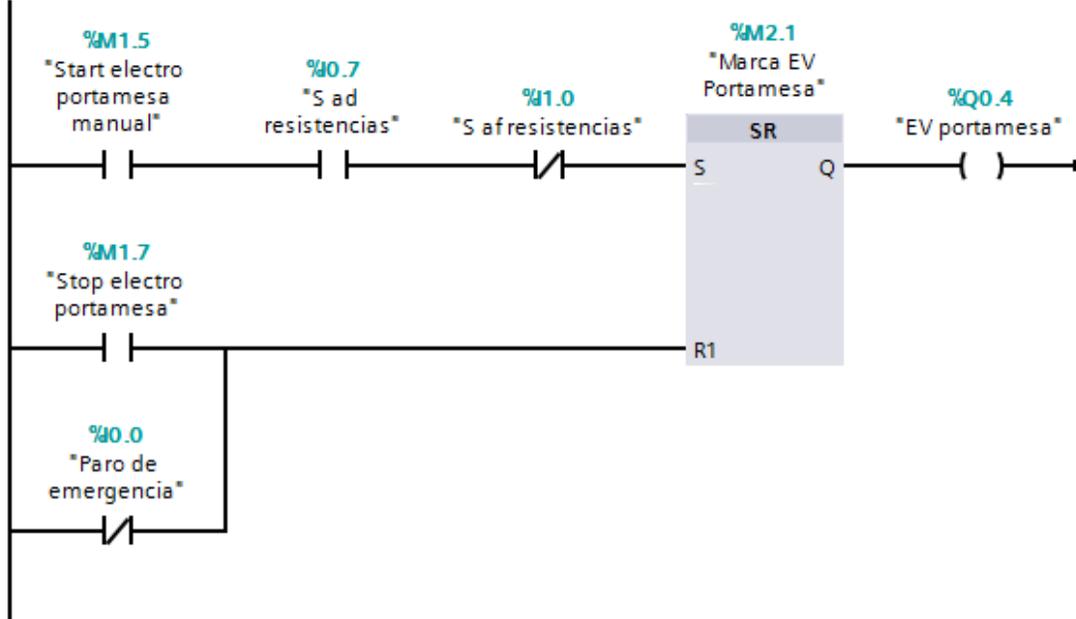


▼ **Título del bloque:** Control de electroválvulas |

Comentario

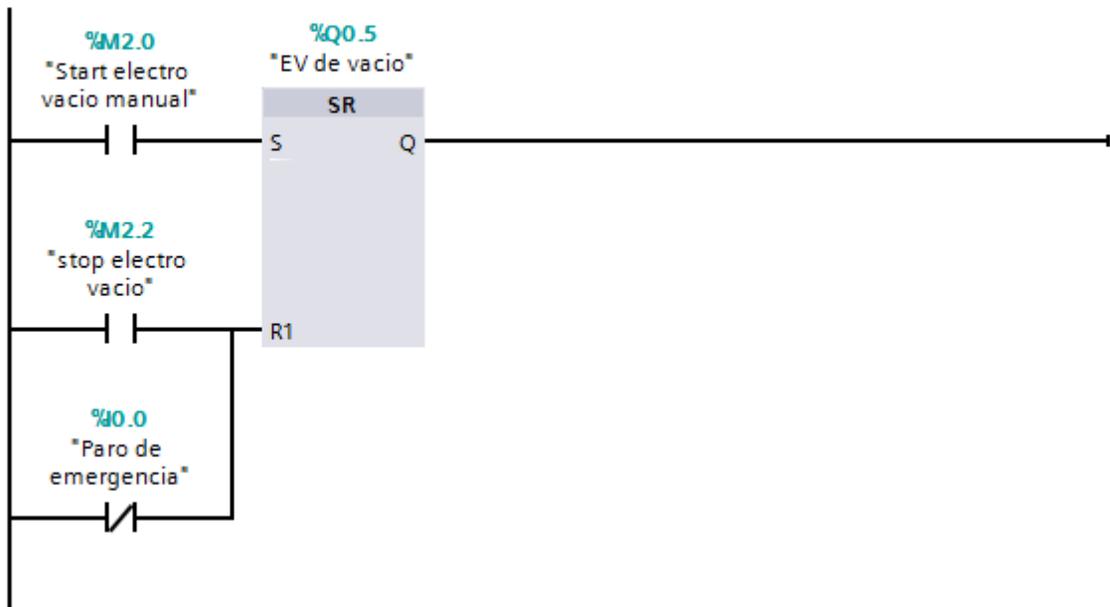
▼ **Segmento 1:** Electrovalvula portamesa

Comentario



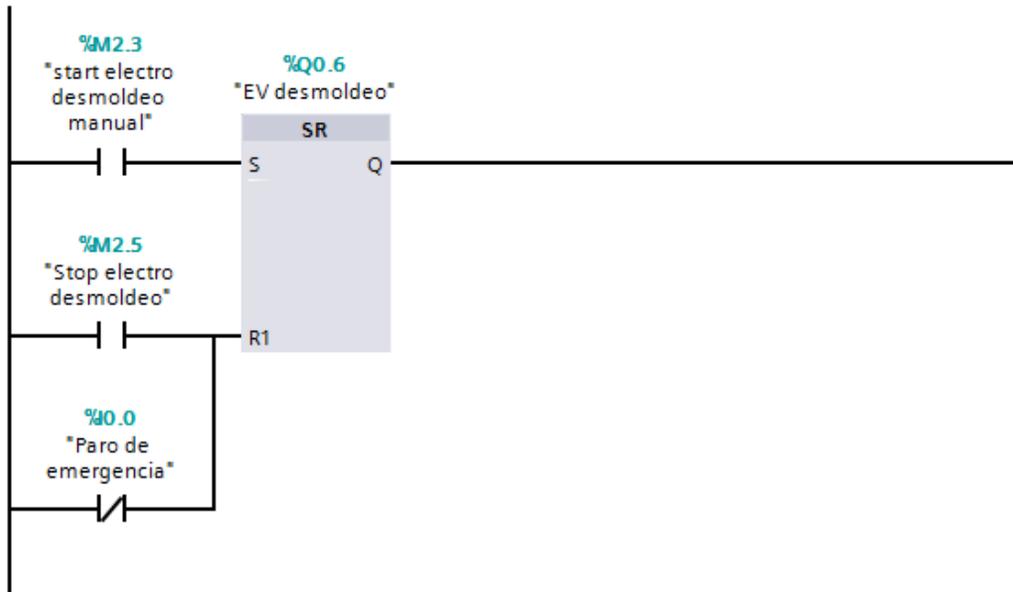
▼ **Segmento 2:** Electrovalvula vacio

Comentario



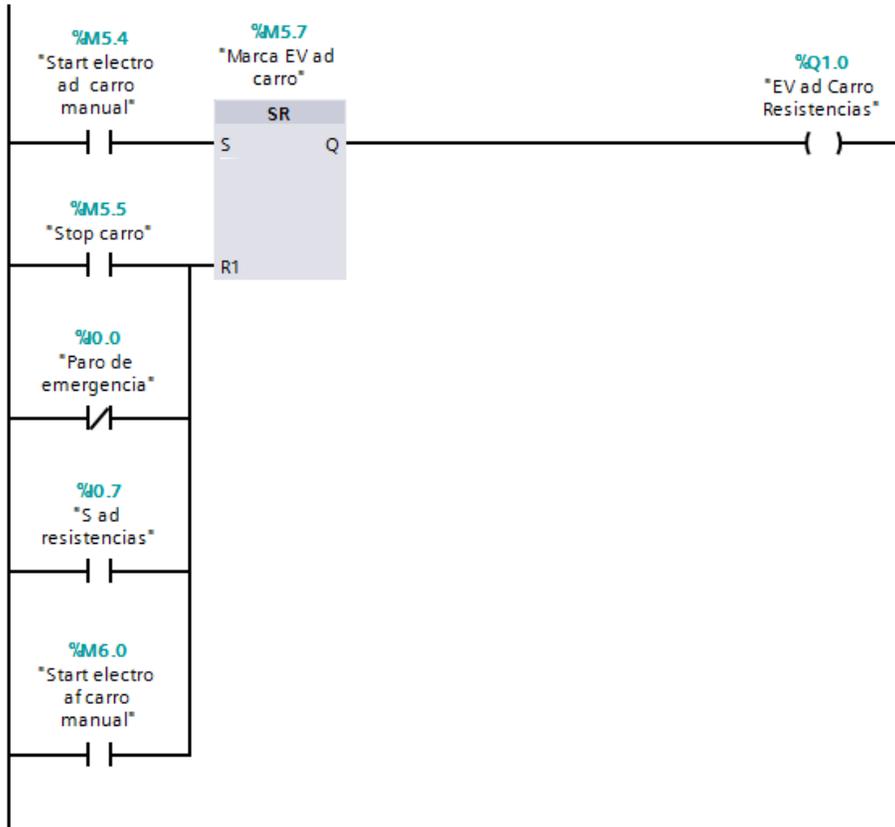
▼ **Segmento 3: Electrovalvula desmoldeo**

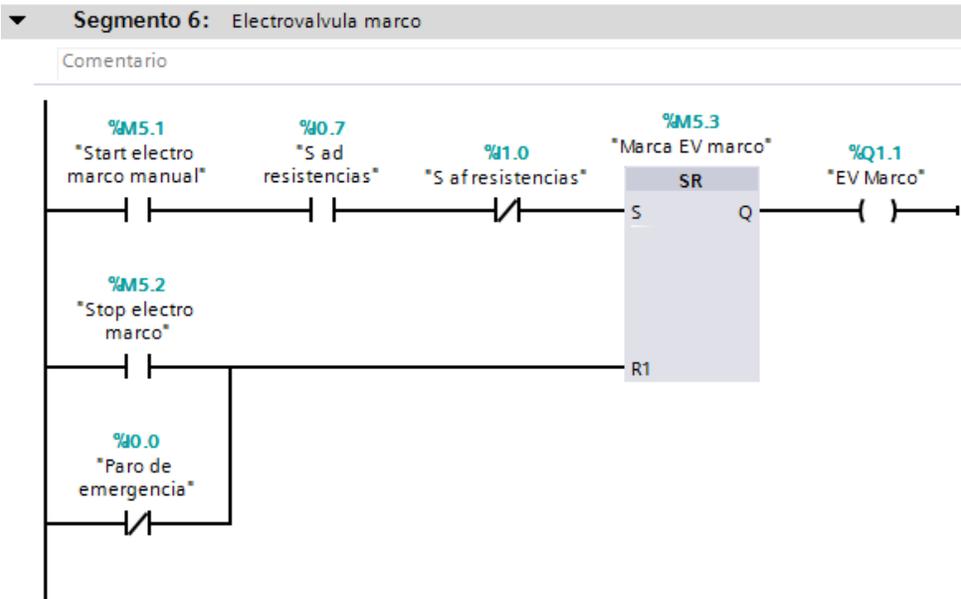
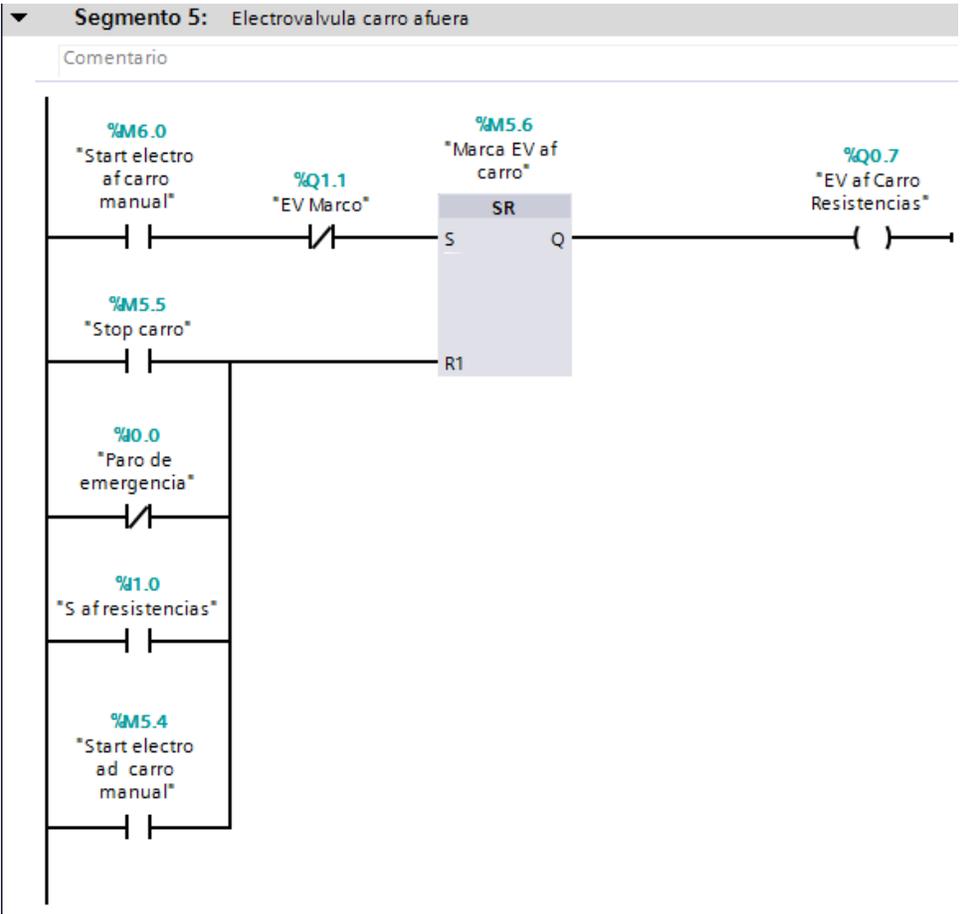
Comentario



▼ **Segmento 4: Electrovalvula carro adentro**

Comentario





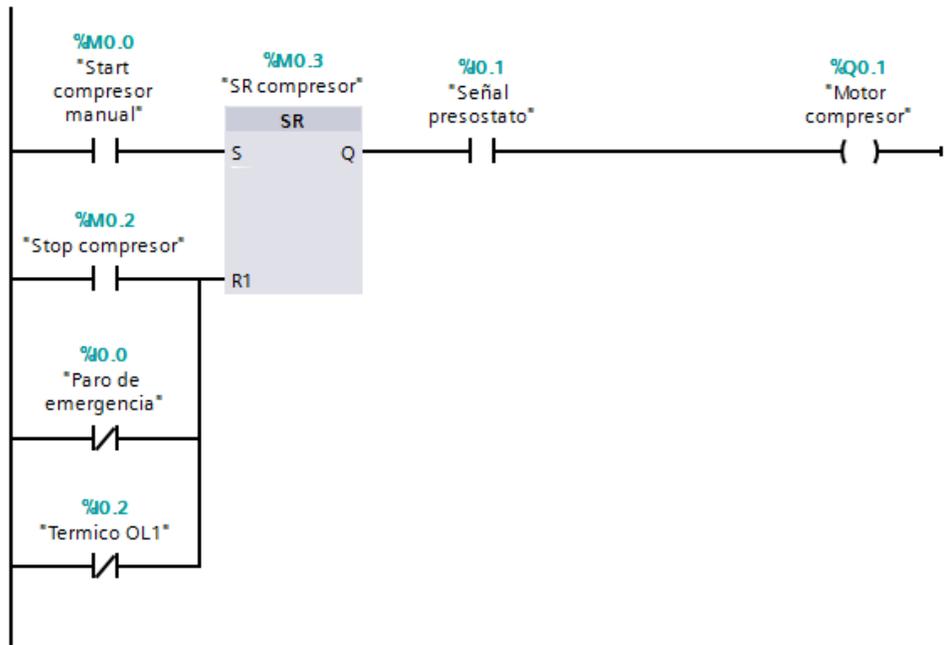
 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

▼ **Título del bloque:** Control de motores.

Comentario

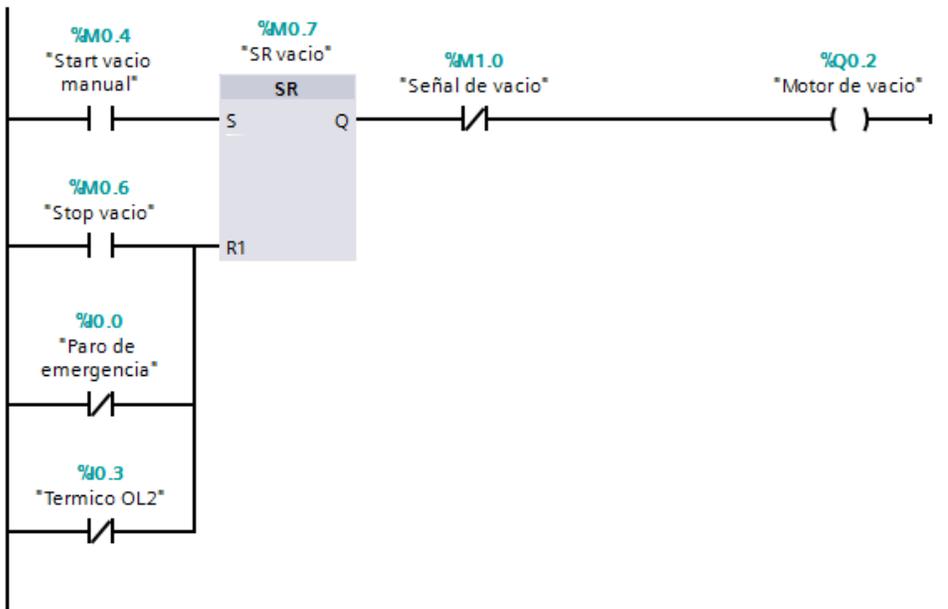
▼ **Segmento 1:** CONTROL MOTOR COMPRESOR

Comentario



▼ **Segmento 2:** CONTROL MOTOR VACIO

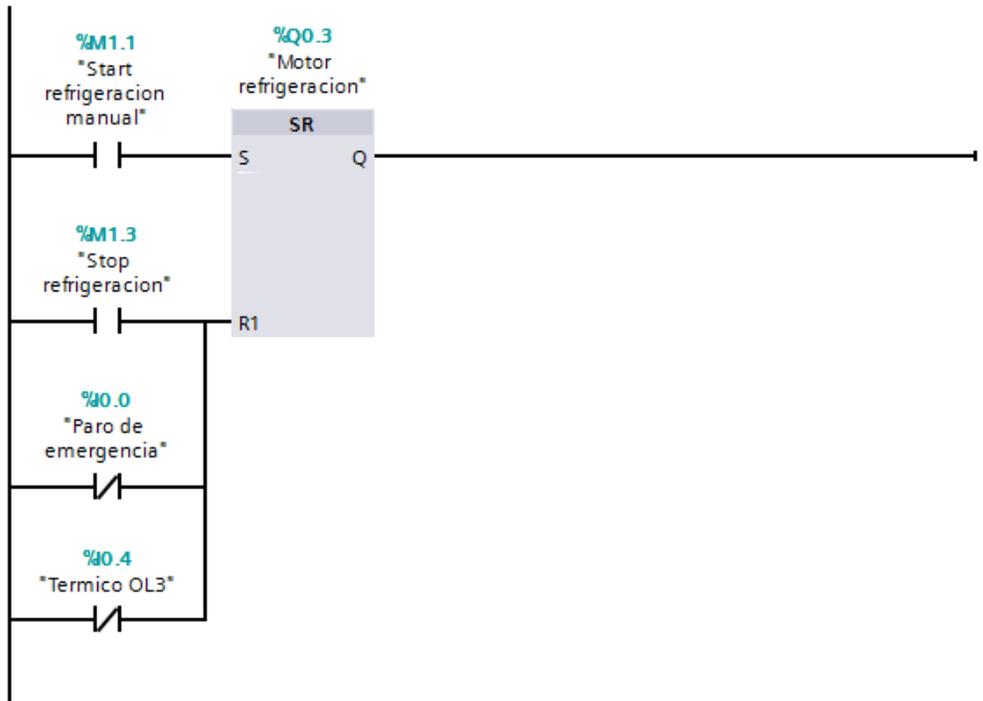
Comentario



 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

▼ **Segmento 3: CONTROL REFRIGERACION**

Comentario



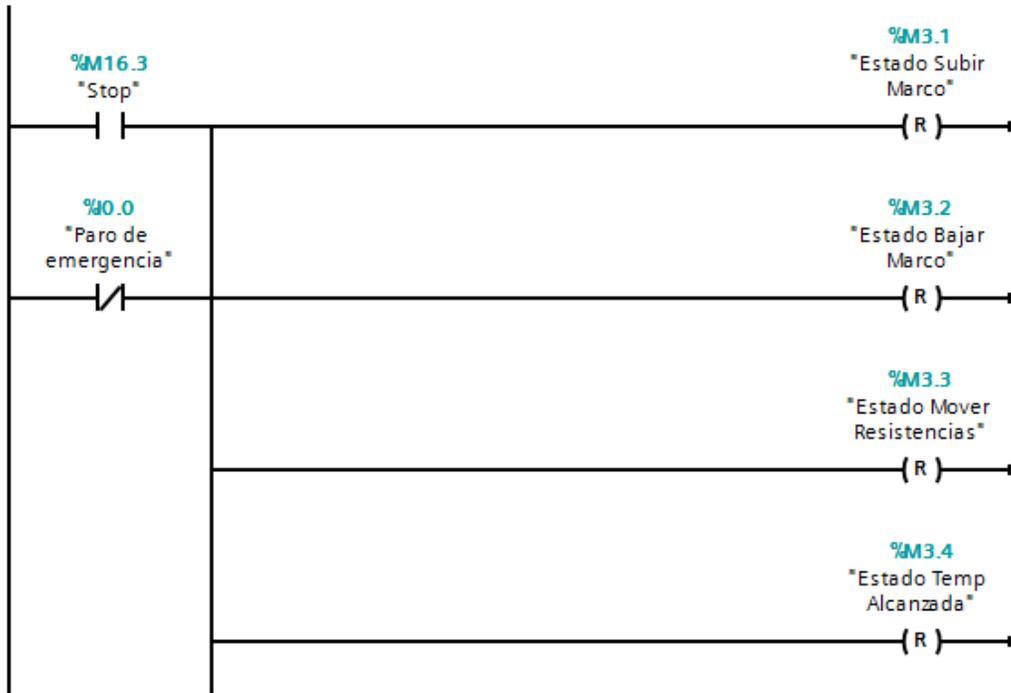
 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

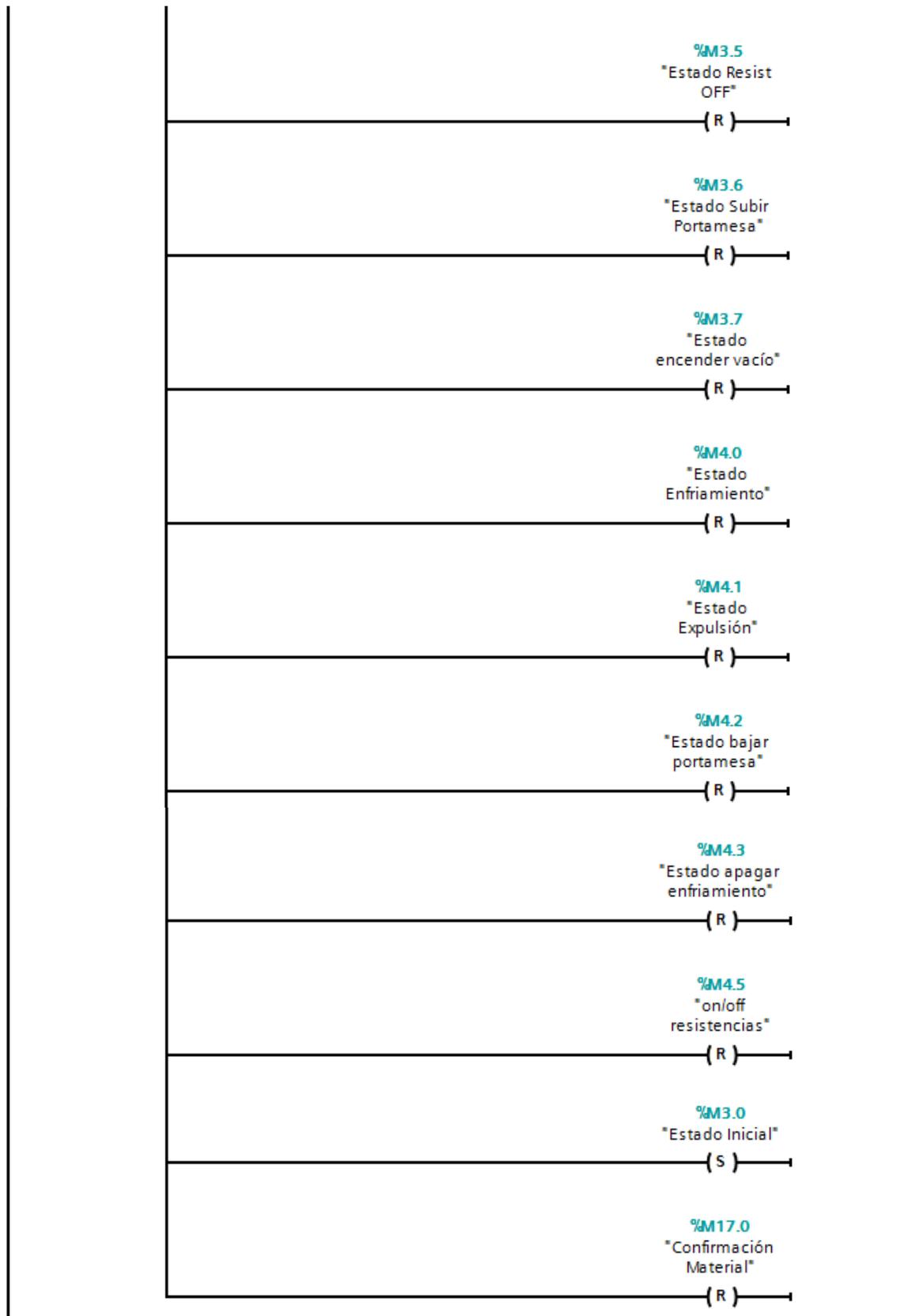
▼ **Título del bloque:** Modo Automático de Termoformadora

▼ En este bloque se encuentra la secuencia del proceso de termoformado con respecto a la Red de Petri realizada.

▼ **Segmento 1:** Reposo del Sistema

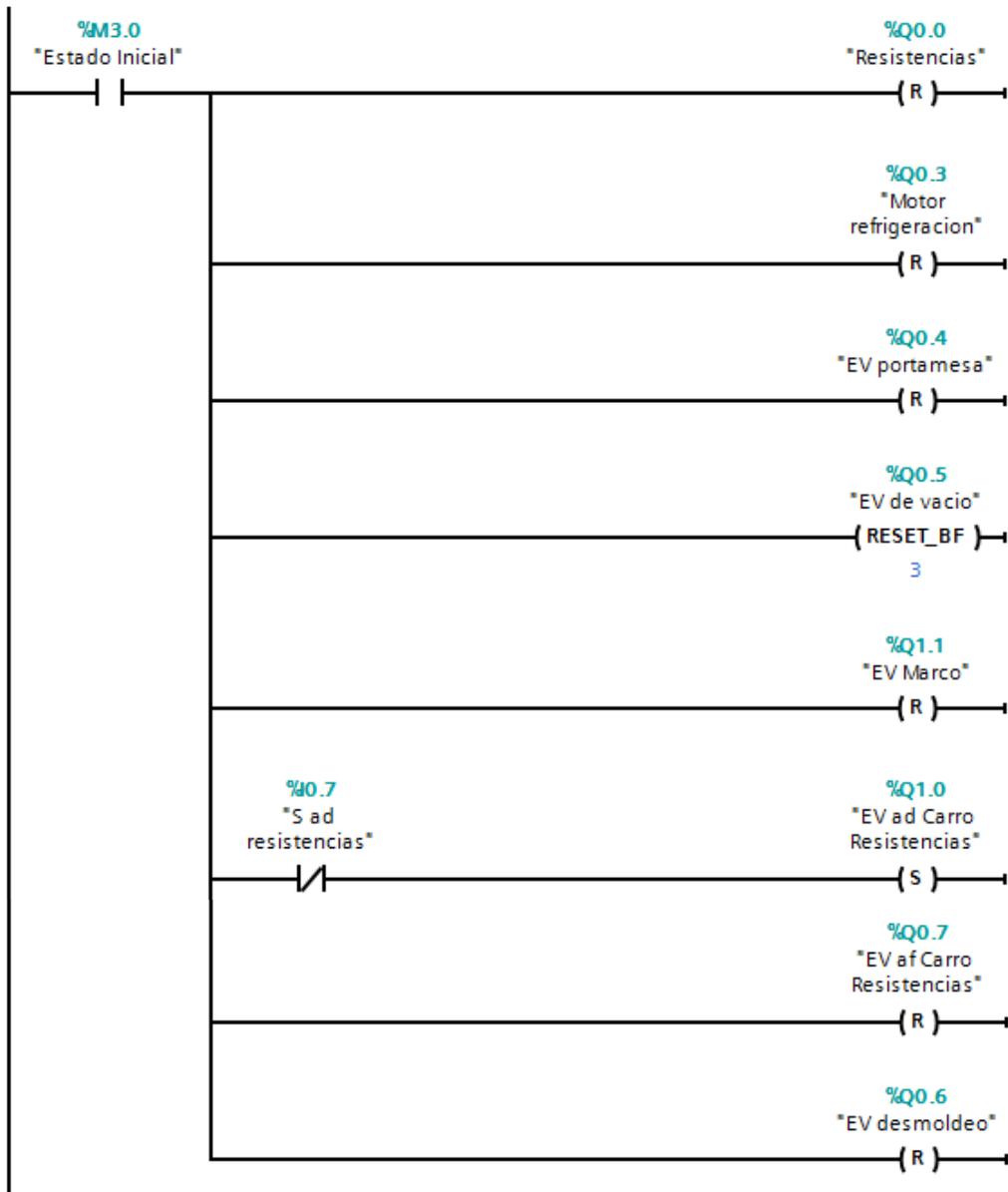
▼ Para este segmento se apagan (R) cada una de las marcas o estados del sistema al pulsar el PARO DE EMERGENCIA o el STOP impidiendo el movimiento de estos, dejando el estado inicial encendido (S) para el inicio del proceso.





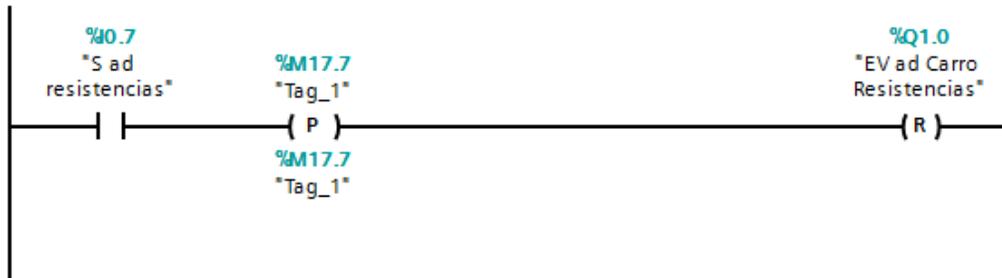
▼ **Segmento 2: Estado Inicial**

▼ El estado inicial apaga (R) cada una de las salidas del proceso, identificando la señal activa de la entrada del SENSOR ADENTRO RESISTENCIAS este contacto se abre para no permitir activar (S) la salida de EV. DEL CARRO ADENTRO DE LAS RESISTENCIAS dejandolo a este en su posición inicial apagado (R), como lo describe el segmento 3.



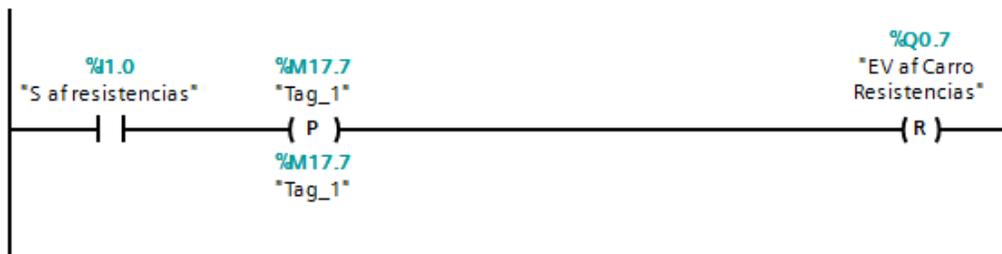
▼ **Segmento 3: Estado Inicial**

▼ Al estar la señal de entrada de el SENSOR ADENTRO RESISTENCIAS activa, el contacto de este se cierra dando un pulso (P) a la salida de EV ADENTRO CARRO RESISTENCIAS para mantenerlo apagado (R)



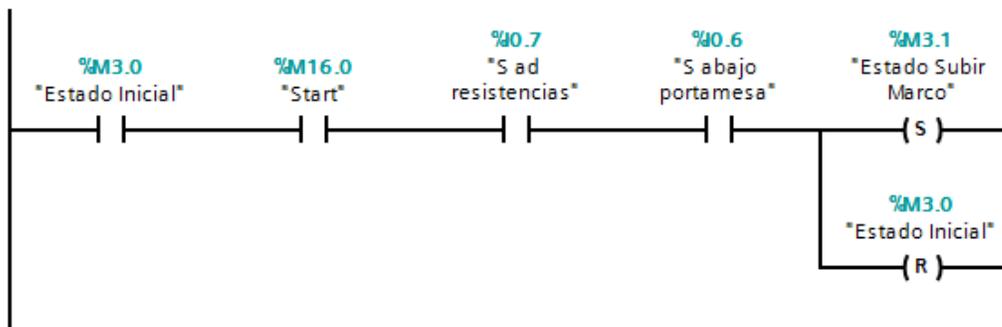
▼ **Segmento 4: Estado Inicial**

▼ La señal de El SENSOR AFUERA RESISTENCIAS se encuentra inactivo para este estado; en caso de que el carro de resistencias se encuentre afuera este sensor se activará mandándole un pulso a la salida de EV AFUERA CARRO RESISTENCIAS para mantenerlo apagado (R)



▼ **Segmento 5: START**

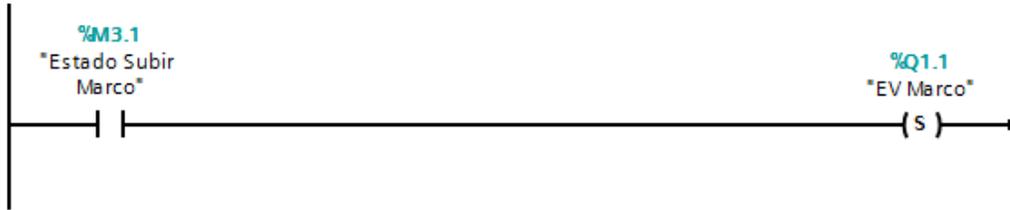
▼ Al estar activo el Estado Inicial y al pulsar el botón de START, las entradas de seguridad de los sensores de ADENTRO RESISTENCIAS y ABAJO PORTAMESA deben estar activas para pasar a otro estado de la secuencia del proceso y apagar (R) el estado anterior.



 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

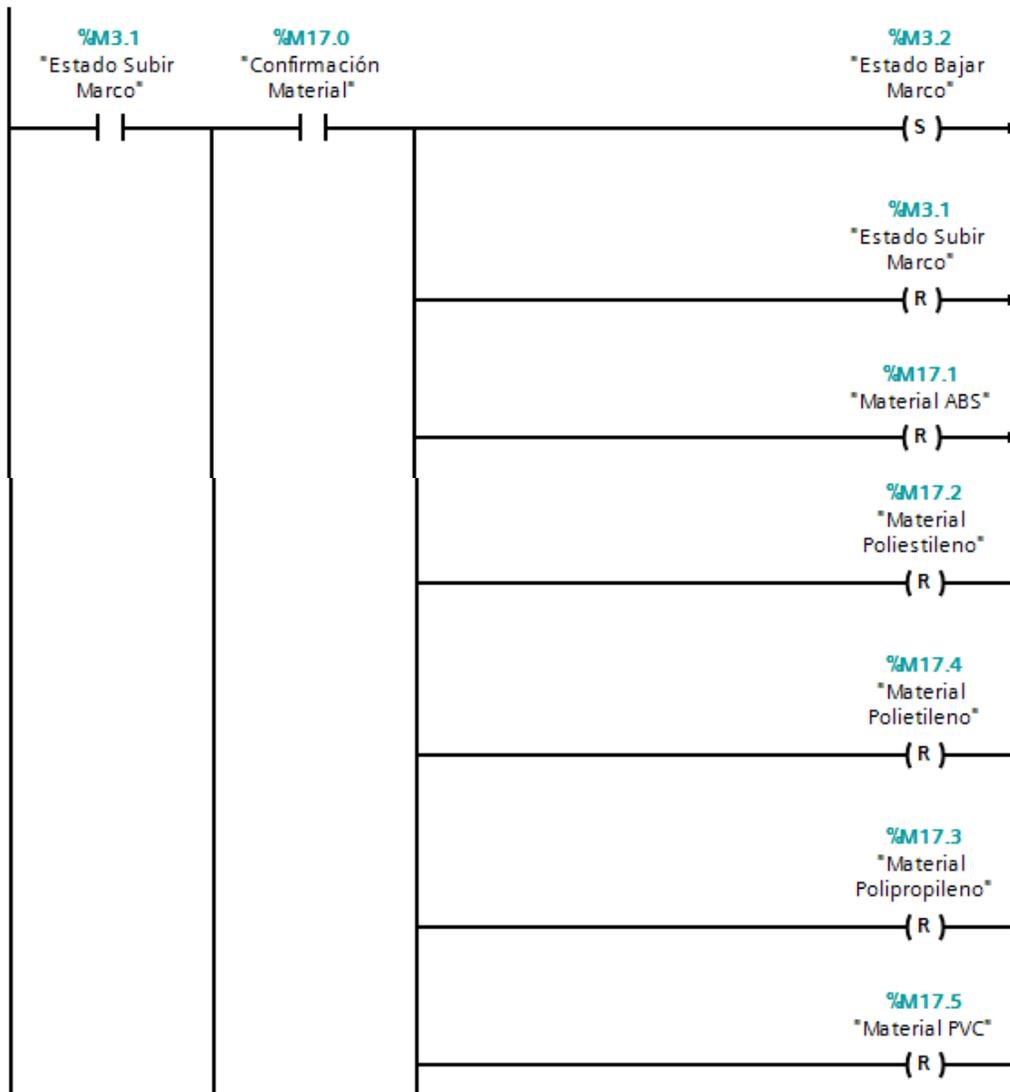
▼ **Segmento 6:** Estado Subir Marco

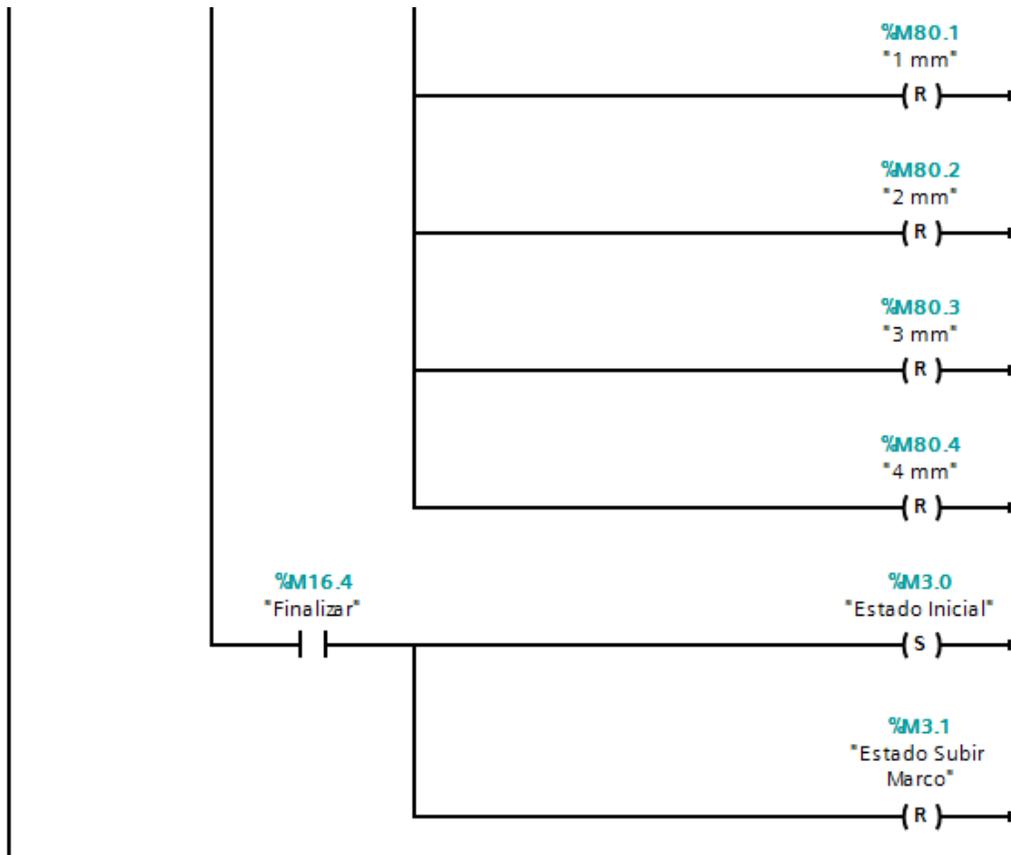
Al estar activo el Estado de Subir Marco se activará (S) la salida EV MARCO



▼ **Segmento 7:** Selección y Confirmación del Material

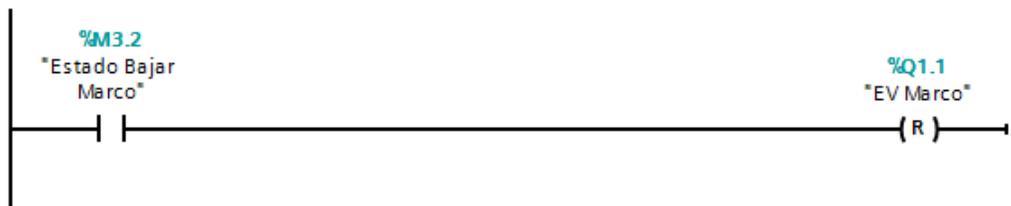
▼ En este Estado se debe CONFIRMAR EL MATERIAL a trabajar o FINALIZAR con el proceso; si se finaliza el proceso, el sistema vuelve activar el Estado Inicial; y si se selecciona el material y se confirma, el Estado de Bajar Marco se activara (S) y se apagará (R) el Estado anterior con los Polimeros y Espesores de la Base de Datos.





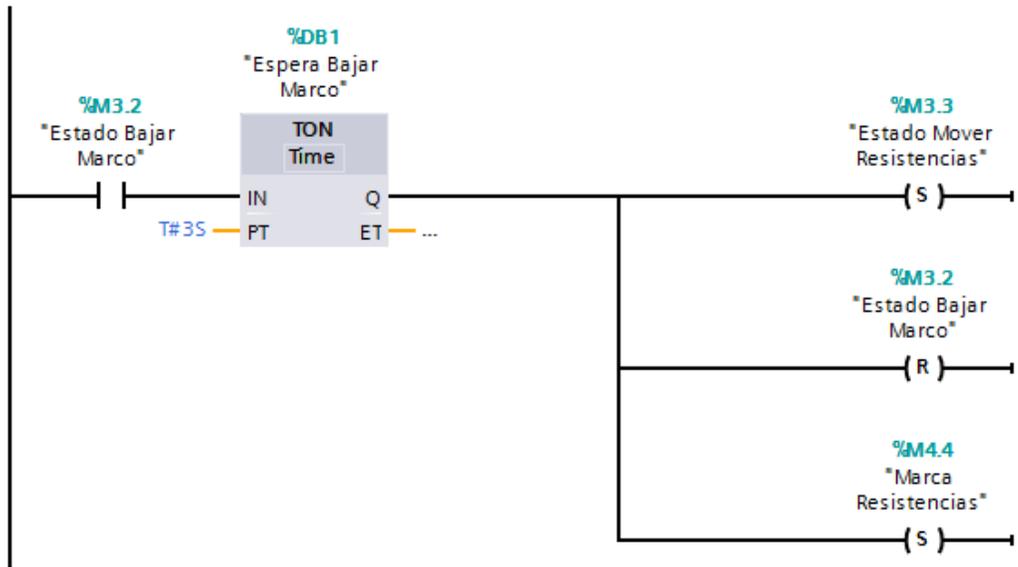
▼ **Segmento 8:** Estado Bajar Marco

Al estar activo el Estado de Bajar Marco se desactivará (R) la salida EV MARCO



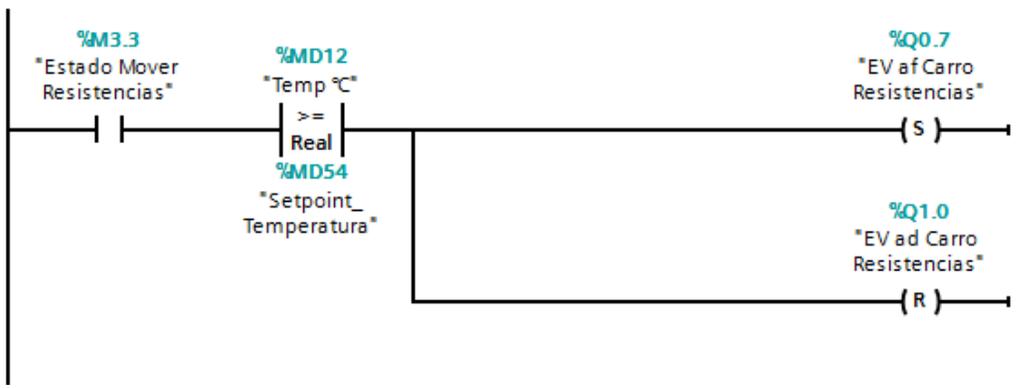
▼ **Segmento 9: Estado Bajar Marco**

▼ Al estar activo el Estado de Bajar Marco se espera un tiempo de 3 segundos para que dicho marco baje en su totalidad y el Estado de Mover resistencias y la Marca de Resistencias se encienden (S) apagando (R) el estado anterior.



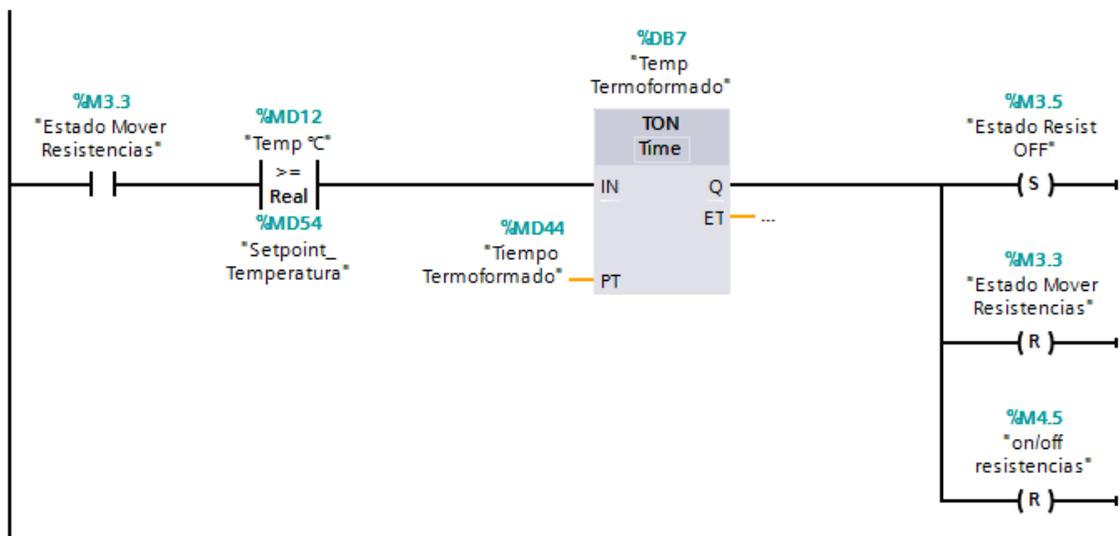
▼ **Segmento 10: Estado Mover Resistencias**

▼ Al estar activo este Estado, la marca del SETPOINT y de la TEMPERATURA REAL se comparan para saber el estado en el que se encuentran; la TEMPERATURA REAL debe ser mayor o igual al SETPOINT para obtener la temperatura deseada del proceso; dando paso a que se active (S) la salida de la EV AFUERA CARRO RESISTENCIAS y apagando (R) la EV ADENTRO CARRO RESISTENCIAS.



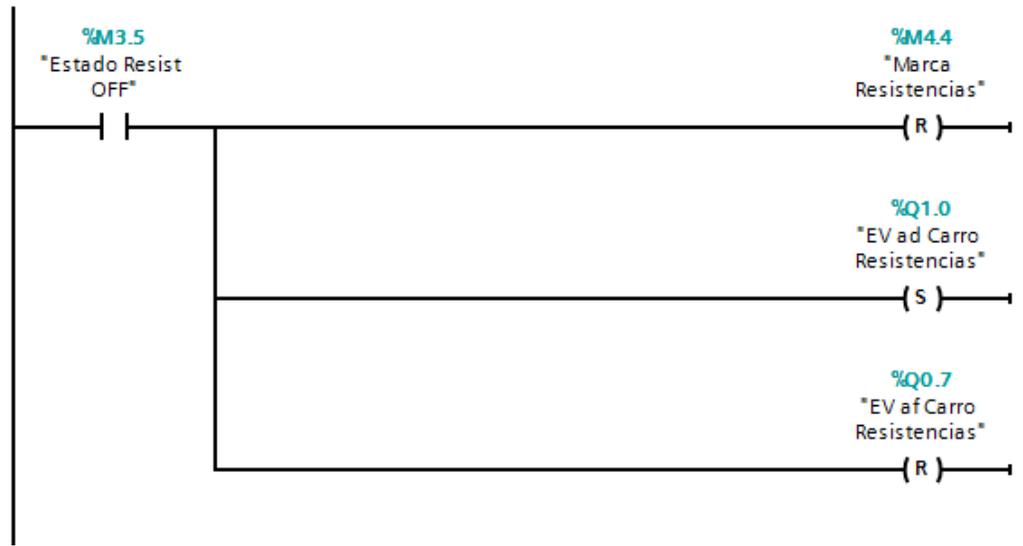
▼ **Segmento 11:** Estado Mover Resistencias

▼ Al comparar la temperatura y estar este Estado activo; se espera un tiempo de termoformado que se encuentra en la Marca MD44 para apagar el Estado de Mover Resistencias y el ON/OFF de Resistencias preñdiendo el Estado de Resistencias OFF.



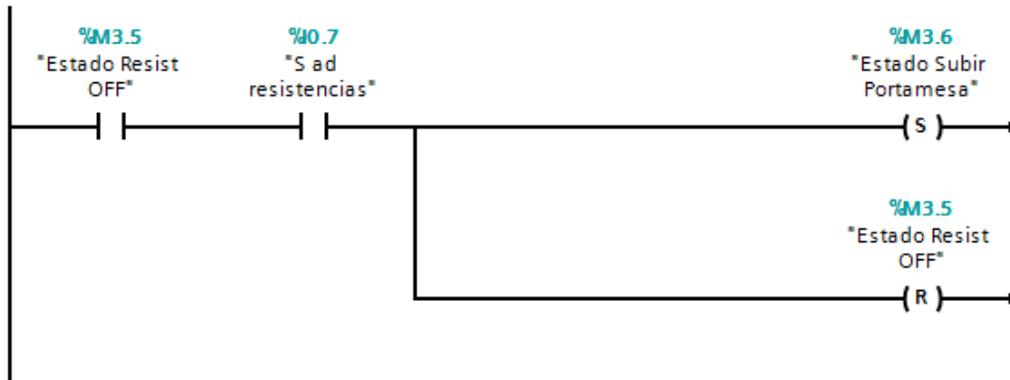
▼ **Segmento 12:** Estado de Resist OFF

▼ Al estar activo (S) el Estado; la Marca de Resitencias se apagará al igual que la salida de EV AFUERA CARRO RESISTENCIAS y se activará la salida de EV ADENTRO CARRO RESISTENCIAS.



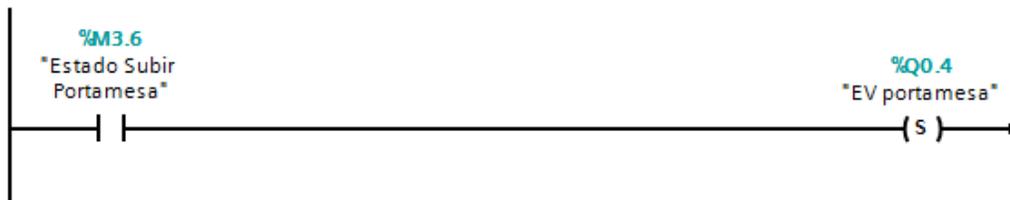
▼ **Segmento 13: Estado Resist OFF**

▼ Si se activa el Estado y el SENSOR ADENTRO RESISTENCIAS se encuentra inactivo; el PORTAMESA no podrá subir. Al estar el SENSOR activo, el Estado de Subir Portamesa se activará (S) y se apagará el Estado anterior.



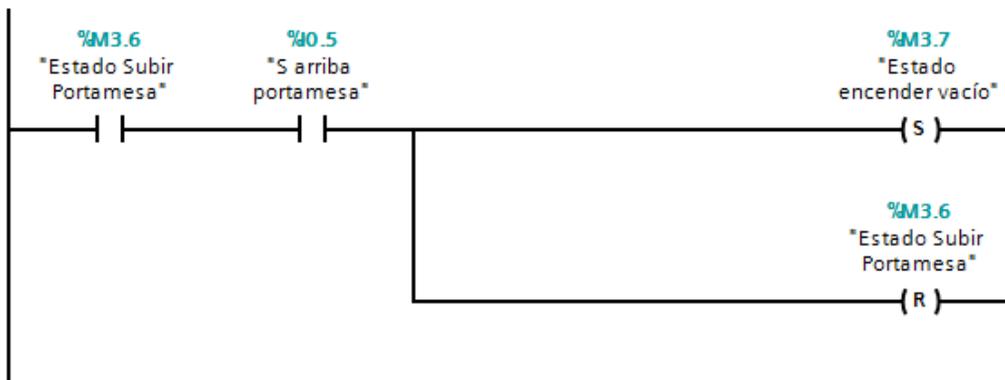
▼ **Segmento 14: Estado Subir Portamesa**

Este Estado; activa (S) la EV PORTAMESA para que esta pueda subir.



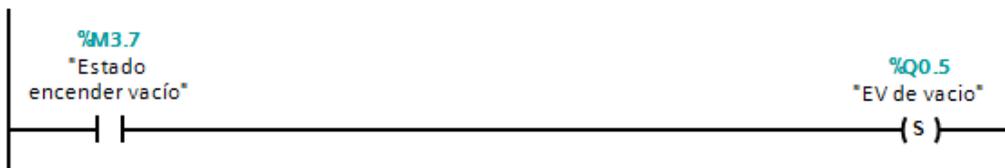
▼ **Segmento 15: Estado Subir Portamesa**

▼ Estando activo el Estado y el SENSOR ARRIBA DE PORTAMESA; el Estado anterior se apagará (R) y el Estado de Encender Vacío se activará (S)



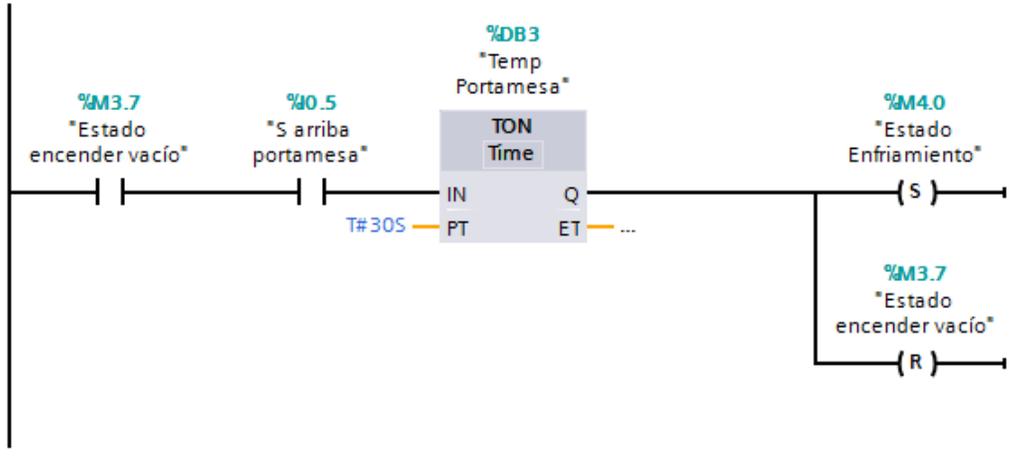
▼ **Segmento 16: Estado Encender Vacío**

Este Estado; activa (S) la EV DE VACÍO para que este realice la succión.



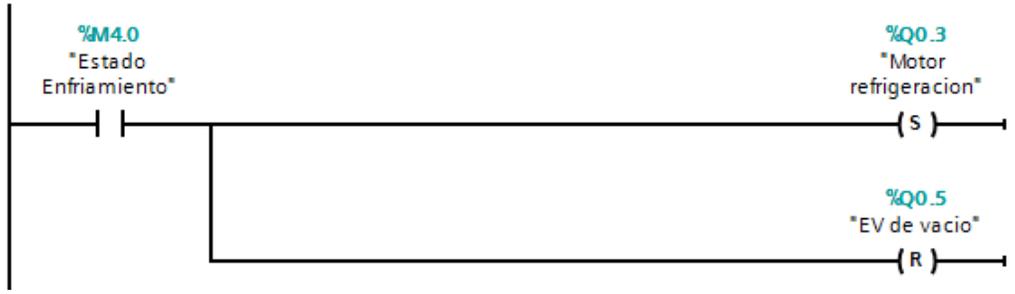
Segmento 17: Estado Encender Vacío

Estando activo el Estado y el SENSOR ARRIBA DE PORTAMESA; se espera un tiempo de 30 segundos para que la succión alcance moldear el polímero y se apagará (R) el Estado anterior y activará (S) el Estado de Enfriamiento.



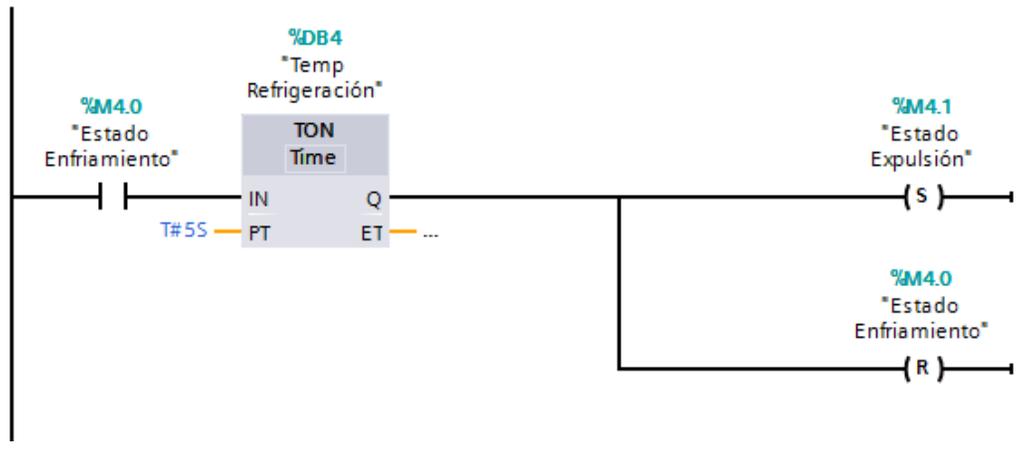
Segmento 18: Estado de Enfriamiento

Este Estado; apaga (R) la salida de EV DE VACÍO y activa (S) la salida del MOTOR DE REFRIGERACIÓN.



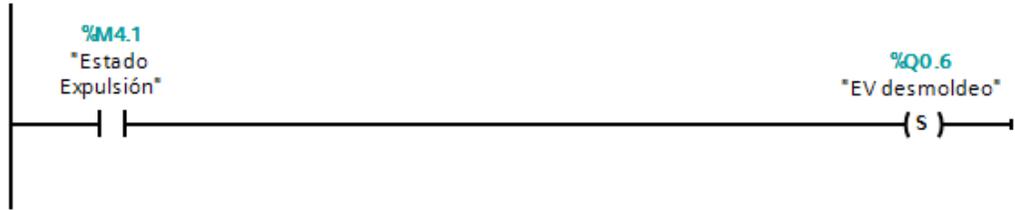
Segmento 19: Estado de Enfriamiento

Este Estado también da un tiempo de 5 segundos mientras se enfría el material para apagar (R) el Estado anterior y activar (S) el Estado de Expulsión de este.



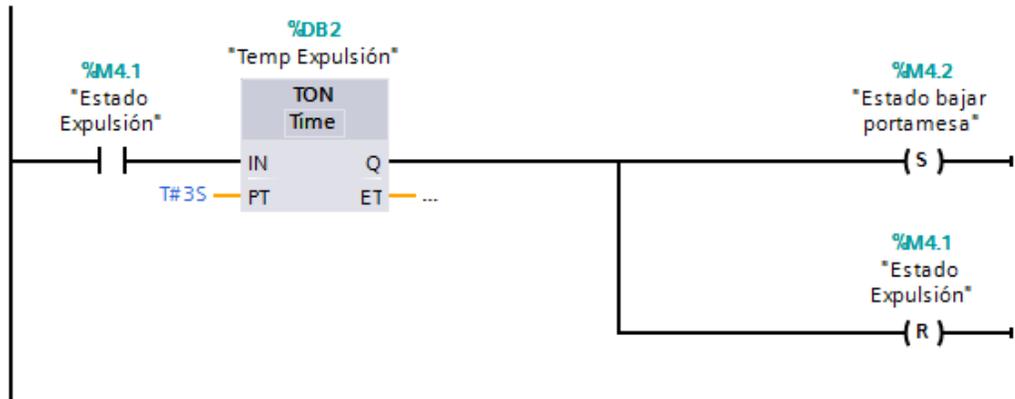
Segmento 20: Estado de Expulsión

Este Estado; activa (S) la EV DESMOLDEO para separar el polímero de su molde.



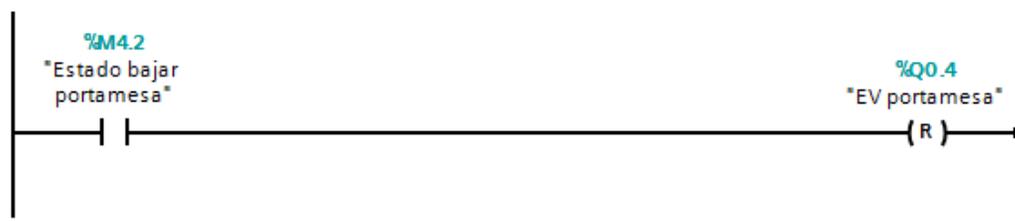
Segmento 21: Estado de Expulsión

Se espera un tiempo de 3 segundos para apagar (R) el estado anterior y activar (S) el Estado de Bajar Portamesa.



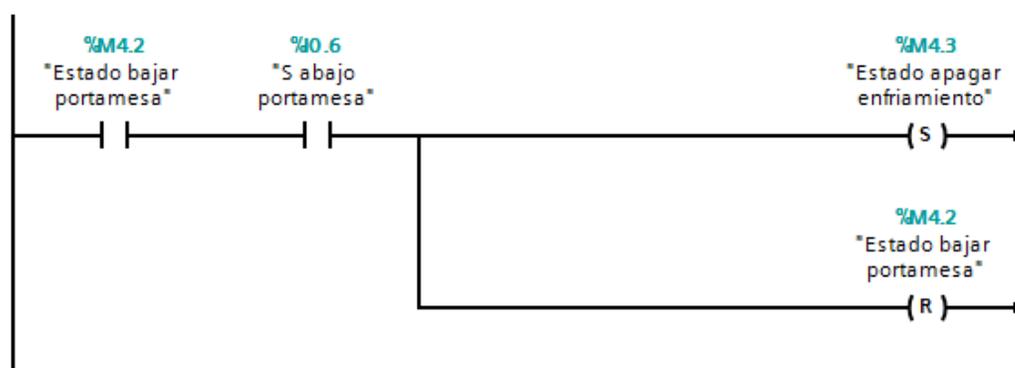
Segmento 22: Estado Bajar Portamesa

Este Estado; apaga o resetea (R) la EV PORTAMESA para que esta pueda bajar.



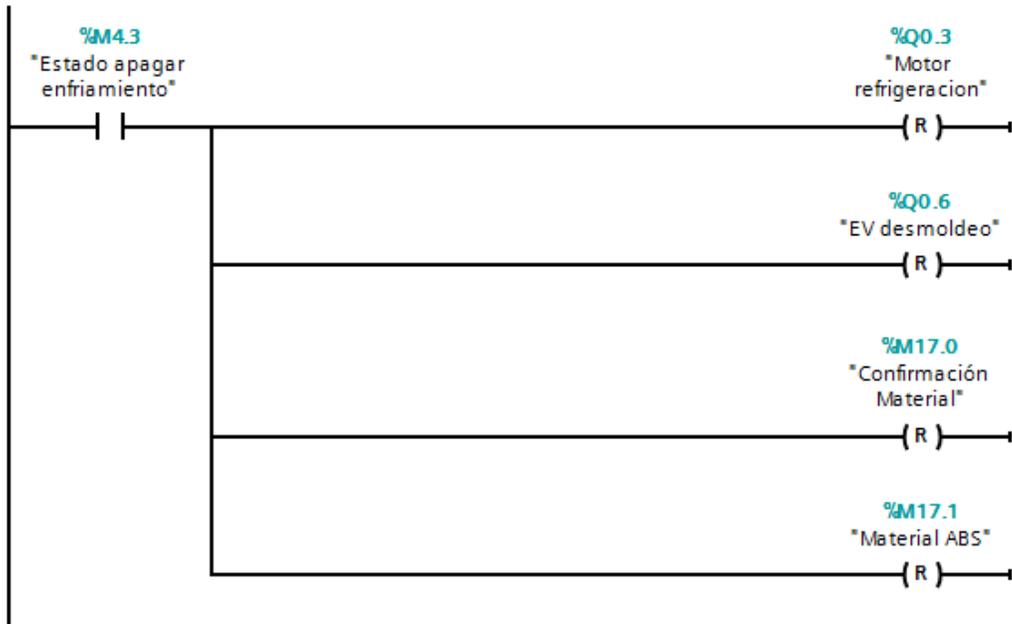
Segmento 23: Estado Bajar Portamesa

Estando activo el Estado y el SENSOR ABAJO DE PORTAMESA; se apagará (R) el Estado anterior y se activará (S) el Estado apagar enfriamiento.



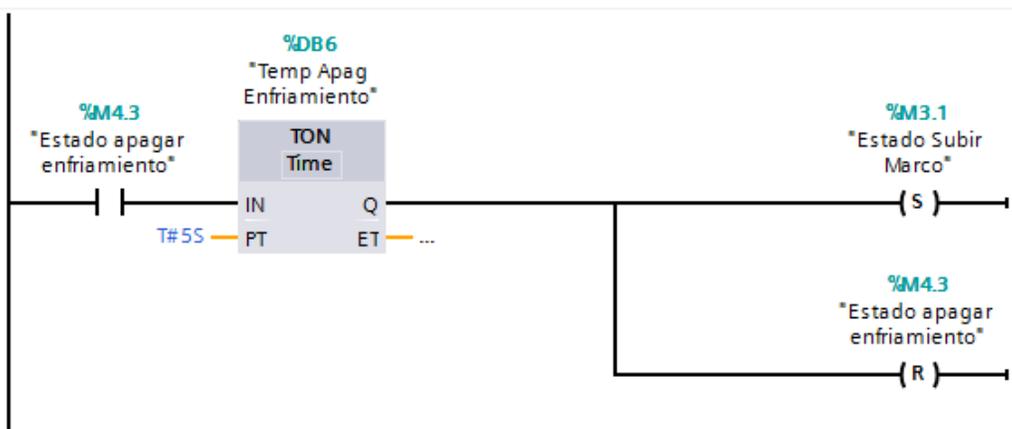
▼ **Segmento 24:** Estado Apagar Enfriamiento

▼ Este Estado, apaga (R) las salidas del MOTOR DE REFRIGERACIÓN, EV DESMOLDEO y la CONFIRMACIÓN DEL MATERIAL.



▼ **Segmento 25:** Estado Apagar Enfriamiento

▼ Este Estado espera un tiempo de 5 segundos a que se termine todo el proceso para apagar (R) el estado anterior y activar (S) el Estado de Subir Marco para que este se quede a la espera de otro material o finalizar activando de nuevo el SEGMENTO 7 .



Apéndice B. Componentes eléctricos y electrónicos de la máquina termoformadora.



24090

3P

0,5	24069	6
1	24084	24667
2	24085	24668
3	24086	24669
4	24087	24670
6	24088	24671
10	24089	24672
16	24090	24674
20	24091	24675
25	24092	24676
32	24093	24677
40	24094	24678
50	24095	24679
63	24096	24680

3 polos protegidos

440	6
-----	---

$I_{cs} = 75\% \text{ de } I_{cu}$

- Cierre rápido: Capacidad de los contactos de cerrarse de forma veloz y simultánea sin importar la velocidad de maniobra del operador. Permite resistir mejor la operación frente a corrientes elevadas.
- Seccionamiento de corte plenamente aparente: Una señal de color verde en la maneta de mando del aparato indica la apertura de todos los polos.
- Maniobras (A-C): 20.000.
- Curvas de disparo:
 - Curva B: el disparo magnético actúa entre 3 y 5 In. Protección de generadores de baja potencia, cables de gran longitud, y/o cargas con picos de corriente menor o igual a 3 In.
 - Curva C: disparo magnético actúa entre 5 y 10 In. Protección de circuitos de iluminación, tomacorrientes. Aplicaciones generales.
 - Curva D: el disparo magnético actúa entre 10 y 14 In. Protección de circuitos con picos de corriente, transformadores, motores, etc.
- Tropicalización: ejecución 2 (humedad relativa 95 % a 55 °C).



24103

4P

0,5	24070	8
1	24097	24681
2	24098	24682
3	24099	24683
4	24100	24684
6	24101	24685
10	24102	24686
16	24103	24688
20	24104	24689
25	24105	24690
32	24106	24691
40	24107	24692
50	24108	24693
63	24109	24694

4 polos protegidos

Breakers C60N C2 SCHEIDER ELCTRIC.

CONTACTOT LC1D09 CHNEIDER ELECTRIC.

REFERENCIA: LC1D09

HP220V: 3

HP440V: 5.5

AC3:9

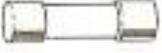
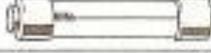
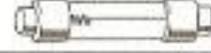
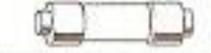
AC1:25

CONTACTOS AUXILIARES: 1NA + 1NC



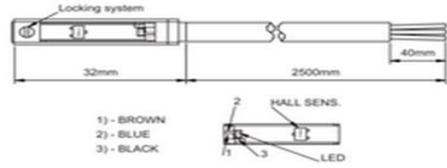
PROTECTOR TERMICO LRD 08.
REFERENCIA: LRD08
AMPERAJE: 1.6 A 2.5
PARAMONTAR EN CONTACTOR: D09-D38



Fusibles de protección de aparatos (fusibles de precisión)				
	I_N : 0,032 ... 6,3 A Tamaño 5-20 mm	Suplemento fusible G en 250 V no intercambiable		
			I_N : 0,035 ... 0,06 A Tamaño 5-30 mm	
			I_N : 0,08 ... 0,6 A Tamaño 5-25 mm	
	I_N : 0,8 ... 4 A Tamaño 5-20 mm			
Comportamiento de desconexión/Letras indicadoras				
Superrápido: FF	Rápido: F	Medio lento: M	Lento: T	Superlento: TT

Fusibles de vidrio

Sensore magnetico "HALL" 3 fili per cilindri
"HALL" magnetic sensor 3 wires for cylinders




	TLSHZ3F25CG15	TLSHZ3F25RG15
Technical specifications:	PVC cable	PUR cable
Poles	3	3
Locking system	Screw	Screw
IP grade	Connected - IP 65	Connected - IP 65
Working temperature	-15° C / +70° C	-15° C / +70° C
Nominal current	0.2 A	0.2 A
Working tension	3-30V ac/dc	3-30V ac/dc
Components specifications:		
Housing material	PA66 + FV	PA66 + FV
Body colour	Black	Black
Screw	Brass nickel plated	Brass nickel plated
Cable & wires	See next tab.	See next tab.
Cable & wires specifications:		
Standard section (mm²)	3x0.15	3x0.15
Standard lengths	2.5m (Others on request)	2.5m (Others on request)
External sheath	PVC	PUR
External diameter	ø 2.70mm (Max.)	ø 2.70mm (Max.)
Sheath colour	Grey RAL 7032	Grey RAL 7032
Wire insulation	PVC	PVC
Conductor	Red soft copper	Red soft copper
Formation	According to IEC 60228, VDE 0295 Cl.6	According to IEC 60228, VDE 0295 Cl.6
Wire colours	Brown, Blue, Black	Brown, Blue, Black

Sensores magnéticos

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Datos técnicos generales

Grado de protección	IP 20 según IEC 529
Temperatura ambiente	
• Empleo (humedad del aire 95%)	
- en montaje horizontal	0 ... 55 °C
- en montaje vertical	0 ... 45 °C
• Transporte y almacenamiento	-40 ... +70 °C
- con humedad del aire 95%	25 ... 55 °C
Aislamiento	
• entre circuitos a 5/24 V DC	Tensión de ensayo 500 V AC
• entre circuitos a 115/230 V AC y tierra	Tensión de ensayo 1500 V AC
• entre circuitos a 115/230 V AC	Tensión de ensayo 1500 V AC
• entre circuitos a 230 V AC y circuitos a 5/24 V DC	Tensión de ensayo 1500 V AC
• entre circuitos a 115 V AC y circuitos a 5/24 V DC	Tensión de ensayo 1500 V AC
Compatibilidad electromagnética	Requisitos de la ley sobre CEM
• Inmunidad a perturbaciones según EN 50082-2	Ensayo según: IEC 801-2, IEC 801-3, IEC 801-4, EN 50141, EN 50204, IEC 801-5, VDE 0160
• Emisión electromagnética según EN 50081-1 y EN 50081-2	Ensayo según EN 55011, clase A, grupo 1
Esfuerzos mecánicos soportables	
• Vibraciones, ensayo según/probado mediante	IEC 68, parte 2-6: 10 ... 57 Hz; amplitud constante 0,3 mm; 58 ... 150 Hz; aceleración constante 1g (montaje en perfil normalizado) o bien 2 g (montaje en panel); tipo de vibración: barridos de frecuencia con una velocidad de variación de 1 octava/minuto; duración de la vibración: 10 barridos de frecuencia por eje en las direcciones de cada uno de los tres ejes perpendiculares entre sí
• Choques, ensayo según/probado mediante	IEC 68, parte 2-27/semiseno: aceleración del choque 15g (valor de cresta), duración 11 ms, 6 choques en cada uno de los



 File No.: E133481  File No.: B050453286001(D-240 type)  File No.: CQC02001001936		Features <ul style="list-style-type: none"> ● 4000V dielectric strength ● Photo isolation ● Removable finger proof cover available ● Built-in snubber ● Zero cross or random turn-on ● TRIAC AC output ● Panel mount ● DC or AC control ● With LED indicator or not ● RoHS compliant
---	---	---

INPUT (TA = 25°C)

Control voltage range (DC input)	3 to 32VDC (Without LED) 4 to 32VDC (With LED)
Control voltage range (AC input)	85 to 132VAC (110V input) 175 to 264VAC (220V input) 19.2 to 28.8VAC (24V input)
Must operate voltage (DC input)	Max. 3VDC (Without LED) Max. 4VDC (With LED)
Must operate voltage (AC input)	85VAC (110V input) 175VAC (220V input) 19.2VAC (24V input)
Must release voltage (DC input)	1.0VDC
Must release voltage (AC input)	10VAC (110V, 220V input) 2VAC (24V input)
Max. input current	25mA (DC input) 15mA (AC input)
Max. reverse protection voltage (DC input)	-32VDC

GENERAL (TA = 25°C)

Type	D-□A10□	D-□A15□	D-□A20□	D-□A25□	D-□A40□
Dielectric strength (input to output)	4000VAC, 50/60Hz, 1min				
Insulation resistance	1000MΩ (at 500VDC)				
Ambient temperature	Operating	-30°C to 80°C			
	Storage	-30°C to 100°C			
Unit weight	Approx. 88g				

Note: All parameters at 25°C.

DESCRIPTION

The HFS15 offer 3-32VDC, 24VAC, 110VAC or 220VAC input control, with outputs rated at 10A, 15A, 20A, 25A or 40A. All models include an internal snubber. The relays provide 4000VAC opto-isolation, between input and output. Outline dimension is 58.4mmX45.7mmX22.9mm.

Relé de estado sólido.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Apéndice C. Manual de funcionamiento de la maquina termoformadora.

Se presenta el manual de operación de la maquina termoformadora en el modo manual.

- Encendido de la máquina.

1. Se debe verificar la conexión a la fuente de corriente eléctrica que se encuentra al lado de la maquina termoformadora. En la figura 1 del apéndice C se observa la conexión.



Figura 1. Conexión a la fuente eléctrica. **Fuente:** Juan José Arbeláez.

2. Verificar que los breakers que están ubicados en el gabinete de fusibles eléctricos estén encendidos



Figura 2. Breakers de encendido.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- Ubicar el gabinete de control y activar los breakers principales los cuales se encarga de suministrar la energía a los contactores para la activación de los motores.



Figura 3. Breaker del gabinete de control

- Luego del paso anterior se activan los fusibles que encienden el dispositivo, se debe tener particular cuidado en activar ambos para que el funcionamiento sea el adecuado.



Figura 4. Fusibles de encendido del sistema de control.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- Lo siguiente es cerrar el gabinete y cerciorar que el botón paro de emergencia no esté activado de lo contrario desactivarlo para que la máquina pueda funcionar, por último, retirar el tapón de la bomba de vacío para no ahogar el sistema. En las figuras 5 a y b se muestra lo antes mencionado respectivamente.

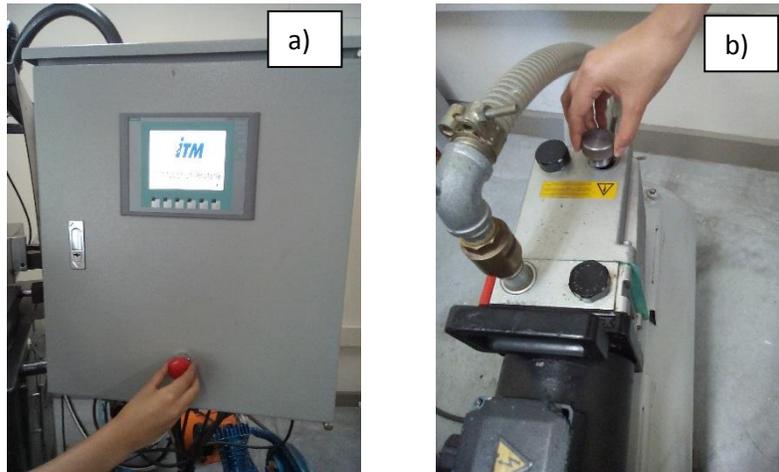


Figura 5 a). ubicación del botón paro de emergencia. **Figura 5 b).** Tapón de la bomba de vacío.

- Modo de operación manual.

- Primero se debe presionar el botón de “Iniciar” que da pie a la pantalla de modos de operación, en ella se debe presionar el botón “Modo manual” para empezar el proceso (véase figuras 6 a y b).



Figura 6 a). Inicio del programa. **Figura 6 b).** Modos de operación.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- Luego de presionar el botón de modo manual se procede a ubicar el molde que se desea copiar, después de ello en la pantalla se procede a cargar el tanque del compresor y el de vacío presionando los botones relacionados a estos motores en la figura 7 y 8 se puede apreciar lo mencionado.



Figura 7. Ubicación del molde a copiar.

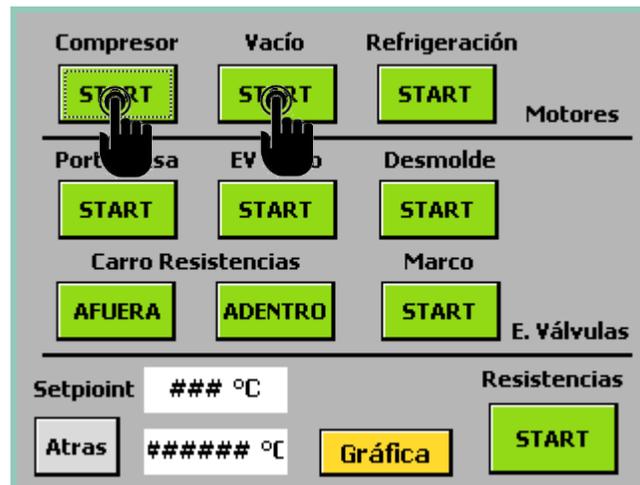


Figura 8. Presionar los botones start de compresión y de vacío ubicados en la sección motores.

Vale la pena aclarar que una vez se presione el botón este cambiará su estado a “Stop” lo que indica que está en ejecución la acción y puede ser detenida cuando se vuelva a presionar.

- Luego de haber llenado los tanques se introducen en los campos de texto donde se ubica el “Setpoint” la temperatura que se desea alcanzar y se presionó el botón “Start” de la sección resistencia

La figura 9 muestra lo antes mencionado.

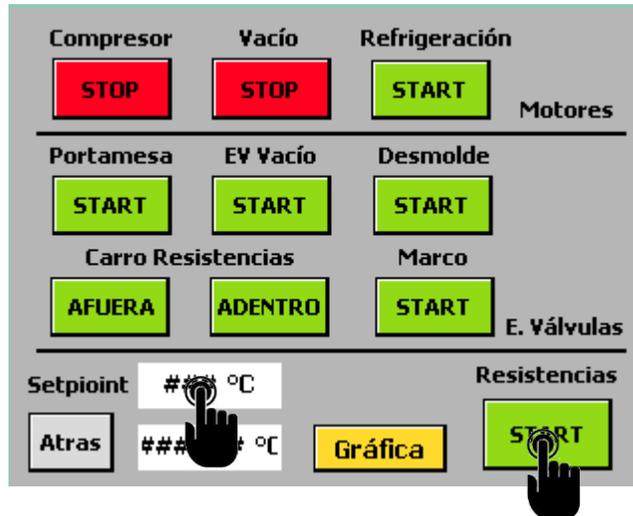


Figura 9. Ingreso del “Setpoint” y encendido de las resistencias.

- Después de haber realizado la anterior operación, se procede a posar el material a termoformar, para ello se debe cortar un pliego de aproximadamente 40 cm x 40 cm de forma tal que el marco pueda hacer el agarre correctamente. Para abrir el marco es necesario presionar el botón “Start” de la sección E. Válvulas Marco. Vale la pena aclarar que para cerrar el marco se tiene que presionar de nuevo el botón antes presionado en la sección Marco. La figura 10, 11 y 12 ilustra el proceso.

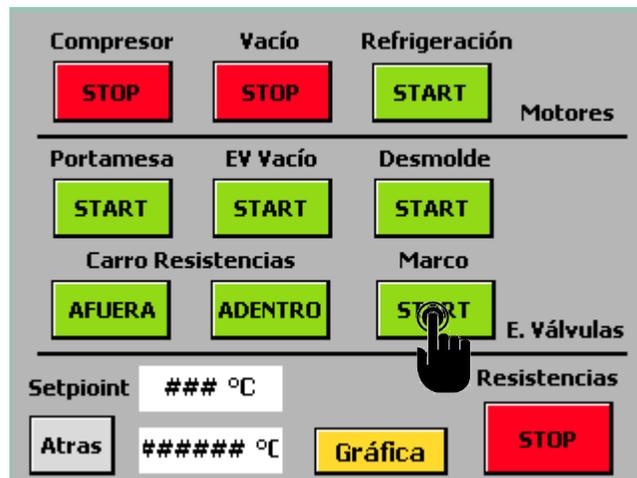


Figura 10. Presionar botón en sección Marco.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



Figura 11. Como posar el material en el marco.

Luego de haber presionado el botón del Marco, el material debe quedar como se muestra en la **figura 12**. Hay que tener especial cuidado a la hora de cerrar el marco para no generar accidentes.

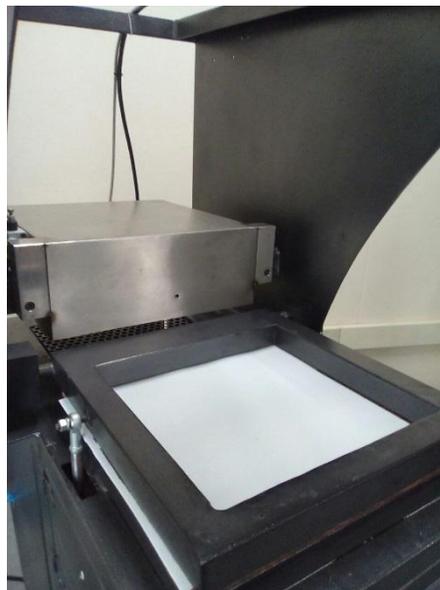


Figura 12. Material con marco cerrado.

5. Después de haber realizado todos los pasos anteriores correctamente y de haber alcanzado la temperatura de referencia, se procede a exponer el material al calor de las resistencias, para lograrlo se debe presionar el botón “Afuera” de la sección E. Válvulas, para llevarlo al estado de maleable. Una vez el carro ha llegado a la posición final se presiona de nuevo el botón antes mencionado. Cuando el material ha logrado el estado ideal se realiza lo siguiente, es importante destacar que se tiene que hacer según la indicación. 1 retirar el carro presionando el botón “Adentro”,

cuando el carro ha llegado a la posición final se presiona el botón antes mencionado, 2 se presiona el botón “Start” de la sección “Portamesa” para hacer que el molde suba al material maleado, 3 se presiona el botón “Start” de la sección E. Válvulas Vacío para hacer que el material tome la forma, 4 se presión el botón “Start de la sección E. Válvulas desmolde para liberar el molde del material formado, 5 se presiona el botón “Start” de la sección Motores Refrigeración para enfriar el material, 6 se presiona el botón “ Start” de la sección “Portamesa” para retirar el molde. Se abre el marco presionando de nuevo el botón de la sección “Marco” y se retira el material termoformado, en las siguientes figuras se muestra el proceso.

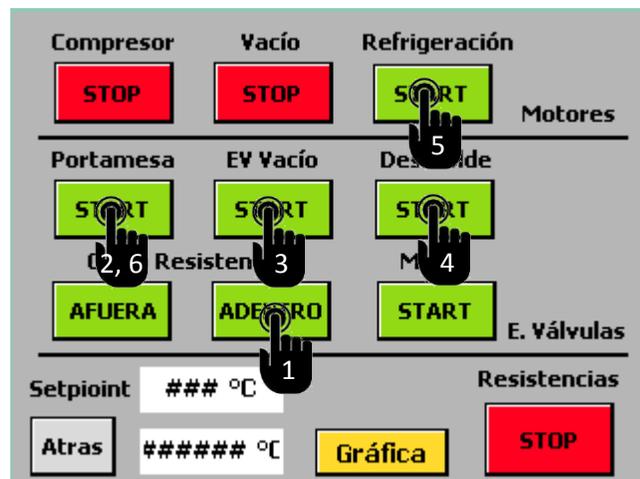


Figura 13. Indicación de secuencia de termoformado.

Al final el material obtenido debe lucir como el molde puesto en el portamesa.

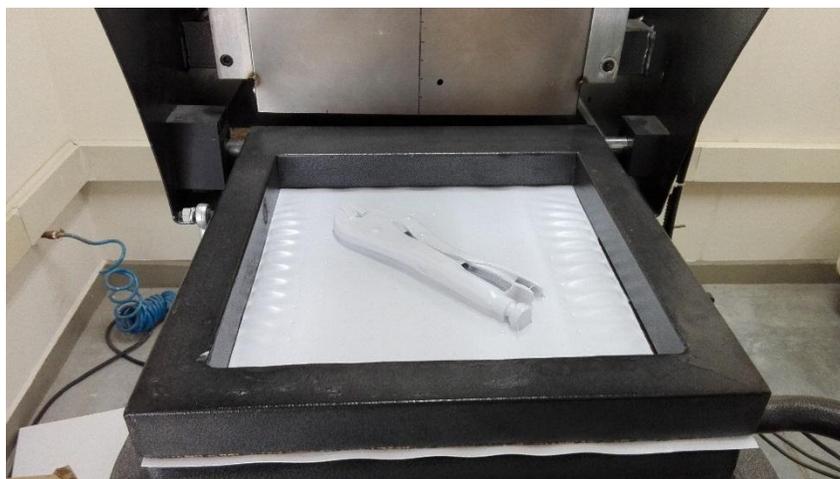


Figura 14. Material termoformado producto final.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

FIRMA ESTUDIANTES Jonatan Contreras.

FIRMA ASESOR 

FECHA ENTREGA: 05-08-2016

FIRMA COMITÉ TRABAJO DE GRADO DE LA FACULTAD _____

RECHAZADO ___ ACEPTADO ___ ACEPTADO CON MODIFICACIONES ___

ACTA NO. _____

FECHA ENTREGA: _____

FIRMA CONSEJO DE FACULTAD _____

ACTA NO. _____

FECHA ENTREGA: _____