



REPÚBLICA DEL ECUADOR

Escuela Politécnica Nacional

" E SCIENTIA HOMINIS SALUS "

La versión digital de esta tesis está protegida por la Ley de Derechos de Autor del Ecuador.

Los derechos de autor han sido entregados a la "ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL" bajo el libre consentimiento del (los) autor(es).

Al consultar esta tesis deberá acatar con las disposiciones de la Ley y las siguientes condiciones de uso:

- Cualquier uso que haga de estos documentos o imágenes deben ser sólo para efectos de investigación o estudio académico, y usted no puede ponerlos a disposición de otra persona.
- Usted deberá reconocer el derecho del autor a ser identificado y citado como el autor de esta tesis.
- No se podrá obtener ningún beneficio comercial y las obras derivadas tienen que estar bajo los mismos términos de licencia que el trabajo original.

El Libre Acceso a la información, promueve el reconocimiento de la originalidad de las ideas de los demás, respetando las normas de presentación y de citación de autores con el fin de no incurrir en actos ilegítimos de copiar y hacer pasar como propias las creaciones de terceras personas.

Respeto hacia sí mismo y hacia los demás.

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

**FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y
ELECTRÓNICA**

**AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA DE TERMOFORMADO DE
LÁMINAS DE POLIESTIRENO PARA LA EMPRESA LATERMEC
CIA. LTDA.**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN
ELECTRÓNICA Y CONTROL**

ANDRÉS FRANCISCO CARVAJAL PROAÑO
andres842@msn.com

DANIEL ALEJANDRO PAREDES RUANO
powerdanr@yahoo.com

DIRECTOR: ING WALTER BRITO
walter.brito@epn.edu.ec

Quito, Enero 2013

DECLARACIÓN

Nosotros, Andrés Francisco Carvajal Proaño y Daniel Alejandro Paredes Ruano, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional y que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Andrés Francisco Carvajal Proaño Daniel Alejandro Paredes Ruano

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Andrés Francisco Carvajal Proaño y Daniel Alejandro Paredes Ruano, bajo mi supervisión.

Ing. Walter Brito
DIRECTOR DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer a Dios sobre todas las cosas quien me ha dado la oportunidad de concluir esta meta que me he propuesto. Agradezco a mis padres quienes siempre estuvieron ahí para guiarme y darme su apoyo incondicional y así poder culminar esta meta en mi vida.

Agradezco al Ing. Walter Brito ya que con su valiosa ayuda nos supo guiar para poder desarrollar este proyecto.

Agradezco a la empresa Latermec y a cada una de las personas que trabajaron en este proyecto.

Andrés Carvajal

DEDICATORIA

Este proyecto de titulación le dedico a mi padre Patricio, a mi madre Norma, a mi abuelita Alina ya que con su apoyo y sus consejos siempre me dieron una voz de aliento para seguir adelante, dedico a mis hermanos David y Viviana ya que ellos siempre fueron mi fortaleza para alcanzar mis metas y objetivos, una dedicatoria muy especial a mi esposa Ibraila y a mi hija Zharik ya que ellas son mi inspiración a seguir siempre adelante. Dedico a la memoria de mi Abuelito Luis que en el transcurso de este proceso de aprendizaje siempre me estuvo dando un buen consejo y enseñándome a luchar sin decaer hasta alcanzar mis metas y objetivos Dedico a toda mi familia que siempre está apoyándome.

Andrés Carvajal

AGRADECIMIENTO

“Mientras el río corra, los montes hagan sombra y en el cielo haya estrellas, debe durar la memoria del beneficio recibido en la mente del hombre agradecido.”

Virgilio.

A través de este trabajo me complace exteriorizar mi sincero agradecimiento a la Universidad Politécnica Nacional en la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica en la carrera de Electrónica y Control y en ella a los distinguidos docentes quienes con su profesionalismo han puesto de manifiesto en las aulas sus conocimientos que me serán útiles en mi vida profesional.

Debo agradecer de manera especial y sincera al Ingeniero Walter Brito quien como director de esta tesis supo brindar su apoyo y confianza, y su capacidad para guiar ideas ha sido un aporte invaluable en el desarrollo de esta tesis.

Agradezco a toda mi familia, quienes con su apoyo emocional y económico, han hecho posible la realización de esta Tesis.

Por último pero no menos importante agradezco a la empresa Latermec y todo su personal por el apoyo invaluable en desarrollo de este proyecto.

Daniel Paredes.

DEDICATORIA

A mis padres.

Por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, en toda mi educación, tanto académica, como de la vida, por su incondicional apoyo mantenido a través del tiempo.

A mis maestros.

Por su gran apoyo y motivación para la culminación de nuestros estudios profesionales, para la elaboración de esta tesis y por impulsar el desarrollo de nuestra formación profesional en su momento.

A mis amigos.

Por su afecto diario y colaboración en la vida estudiantil y fuera de ella.

Todo este trabajo ha sido posible gracias a ellos.

Daniel Paredes.

RESUMEN

El proceso de termoformado de láminas de poliestireno es una de las principales actividades de la empresa Latermec. Cía. Ltda., para lo cual se hace necesario la automatización de este proceso, por lo que en este proyecto se diseña e implementa un sistema de control para la máquina termoformadora de esta empresa.

La máquina termoformadora tenía componentes de tecnología antigua para lo cual se realizó un estudio previo de ésta, estableciendo que sus partes tanto eléctricas, neumáticas y mecánicas tienen un gran deterioro, para lo cual se hace necesario cambiar en gran mayoría sus partes.

El sistema implementado controla sistemas eléctricos y neumáticos comandados por un PLC de la marca SIEMENS, se ha implementado un tablero de control el cual nos ayuda a realizar un mando manual o un mando automático, también se ha incorporado una pantalla TD400 compatible con el PLC el cual nos sirve como visualizador y como punto de acceso, haciendo que el operador pueda interactuar con el proceso.

Se realiza un control de temperatura mediante un juego de termocuplas tipo J las cuales para tener un correcto acondicionamiento y una lectura confiable se ha adquirido un módulo de expansión EM 231 de SIEMENS compatible con nuestro PLC.

Se desarrolla una interfaz hombre máquina con el software de programación LABVIEW.

PRESENTACIÓN

Este proyecto tiene como propósito automatizar la máquina termoformadora de la empresa Latermec. Cía. Ltda. Para esto se reemplaza la instrumentación existente en el proceso de termoformado, se realiza un algoritmo de control que permite que los subprocesos del proyecto se cumplan secuencialmente resolviendo, problemas eléctricos y electrónicos, problemas en los subprocesos que intervienen en el proceso de termoformado por lo que este proyecto de titulación se desarrolla de la siguiente forma.

El capítulo uno, describe de una manera general los procesos de transformación de plásticos y sus aplicaciones, procesos de termoformado, formas de calentar los plásticos, aplicaciones de éstos, muestra la forma cómo se desarrolla el termoformado en la empresa Latermec y finalmente se determinan los problemas en el sistema de termoformado de la empresa.

En el capítulo dos, se plantean las soluciones a los problemas detectados en el capítulo uno, realizando el diseño e implementación de un nuevo sistema de termoformado de la empresa.

En el capítulo tres se desarrollan los programas de control tanto para el controlador lógico programable PLC, como para la interfaz hombre máquina HMI.

El capítulo cuatro muestra la forma como se desarrollaron las pruebas, después de la implementación del sistema de termoformado de la máquina.

El Capítulo cinco reúne las conclusiones y recomendaciones a las que se ha llegado al realizar este proyecto de titulación.

CONTENIDO

DECLARACIÓN.....	I
CERTIFICACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTO (Andrés).....	III
DEDICATORIA (Andrés).....	IV
AGRADECIMIENTO (Daniel).....	V
DEDICATORIA (Daniel).....	VI
RESUMEN.....	VII
PRESENTACIÓN.....	VIII
CONTENIDO.....	IX

CAPÍTULO 1

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE TERMOFORMADO

1.1	LOS MATERIALES PLÁSTICOS. - APLICACIONES Y TRANSFORMACIONES.....	1
1.2	PROCESOS DE TRANSFORMACIÓN DEL PLÁSTICO.....	3
1.2.1	PROCESOS PRIMARIOS.....	3
1.2.2	PROCESOS SECUNDARIOS.....	7
1.3	PROCESO DE TERMOFORMADO.....	8
1.3.1	DEFINICIÓN DE TERMOFORMADO.....	8
1.3.2	TERMOFORMADO POR "CONFORMADO".....	9
1.4	CALENTAMIENTO.....	13
1.4.1	CALENTAMIENTO DE PLÁSTICOS.....	14
1.4.2	CALENTAMIENTO POR CONTACTO.....	15
1.4.3	CALENTAMIENTO POR INMERSIÓN.....	15
1.4.4	CALENTAMIENTO POR CONVECCIÓN.....	15

1.4.5	CALENTAMIENTO POR RADIACIÓN INFRARROJA.....	16
1.4.6	CALENTAMIENTO INTERNO.....	16
1.5	TEMPERATURAS Y CICLO DE FORMADO.....	17
1.6	SUBSTANCIAS PLÁSTICAS EMPLEADAS EN TERMOFORMADO.....	18
1.7	PROPIEDADES TÉRMICAS.	19
1.8	DESCRIPCIÓN DE LA MÁQUINA DE TERMOFORMADO DE LA EMPRESA LATERMEC.....	20
1.9	PROBLEMAS DETECTADOS EN EL SISTEMA DE TERMOFORMADO EN LA EMPRESA LATERMEC	30

CAPÍTULO 2

DISEÑO E IMPLEMENTACION DEL SISTEMA DE TERMOFORMADO.

2.1	ESTRUCTURA MECÁNICA.	32
2.2	TIPOS DE CONTROL EN EL SISTEMA DE TERMOFORMADO	32
2.2.1	CONTROL DE TEMPERATURA DEL CALENTADOR.....	32
2.2.2	CONTROL DEL SUBPROCESO DE SUCCIÓN PARA EL FORMADO DE LA LÁMINA.....	33
2.2.3	CONTROL DEL SUBPROCESO DE EYECCIÓN DE LA LÁMINA.....	34
2.2.4	CONTROL DEL SUBPROCESO DE ENFRIAMIENTO DE LA LÁMINA.	34
2.3	CIRCUITO DE FUERZA.....	35
2.4	CIRCUITO DE CONTROL.....	36
2.5	SELECCIÓN Y DIMENSIONAMIENTO	38
2.5.1	ELEMENTOS DEL SISTEMA DE CONTROL.....	38
2.5.2	ELEMENTOS DE MANIOBRA.....	43
2.5.3	ELEMENTOS DE MEDIDA.....	45
2.6	ELEMENTOS ACTUADORES.....	46
2.7	ELEMENTOS DE PROTECCIÓN.....	48
2.8	SELECCIÓN DE CONDUCTORES ELÉCTRICOS.....	50

CAPÍTULO 3

DESARROLLO DEL PROGRAMA DE CONTROL PARA EL SISTEMA DE TERMOFORMADO

3.1	DESCRIPCIÓN DEL PROCESO.....	52
3.1.1	SUJECCIÓN DE LA LÁMINA.....	53
3.1.2	CALENTAMIENTO.....	53
3.1.3	SUCCIÓN.....	54
3.1.4	ENFRIAMIENTO.....	54
3.1.5	EYECCIÓN DE LA LÁMINA.....	54
3.2	ARQUITECTURA DEL PROGRAMA DE CONTROL.....	54
3.2.1	MANDO MANUAL.....	55
3.2.2	MANDO AUTOMÁTICO.....	58
3.2.2.1	Configuración de variables.....	61
3.2.2.3	Pre calentamiento.....	65
3.2.2.4	Entrada del horno móvil.....	68
3.2.2.5	Tiempo de calentamiento.....	69
3.2.2.6	Salida del horno móvil.....	69
3.3	SOFTWARE DEL PLC.....	70
3.4	ARQUITECTURA DEL PROGRAMA DE MONITOREO.....	72
3.4.1	SOFTWARE DE PROGRAMACIÓN.....	72
3.4.2	OPC SERVER.....	73

CAPÍTULO 4

PRUEBAS Y RESULTADOS

4.1	INTRODUCCIÓN.....	78
4.2	PRUEBAS DE CONEXIONES ELÉCTRICAS.	78
4.3	PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL PROGRAMA EN EL PLC SIEMENS S7-200	79
4.4	PRUEBAS DEL SISTEMA NEUMÁTICO.	81
4.5	PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DE PARTES MÓVILES.....	82
4.6	PRUEBAS DEL SISTEMA DE CALENTAMIENTO.....	83
4.7	PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL OPC	87
4.8	PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO DEL HMI.....	87
4.9	PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL PROCESO DE TERMOFORMADO.	90

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1	CONCLUSIONES.....	93
5.2	RECOMENDACIONES.....	94
	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	96

ANEXOS

ANEXO A.	PLANOS
ANEXO B.	PROGRAMA PLC
ANEXO C.	PROGRAMA HMI
ANEXO D.	HOJA DE DATOS

CAPÍTULO 1

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE TERMOFORMADO.

1.1 LOS MATERIALES PLÁSTICOS. - APLICACIONES Y TRANSFORMACIONES.

Los plásticos son materiales o componentes de moléculas orgánicas gigantes, éstos se pueden deformar para conseguir un molde o una figura determinada. Las moléculas pueden ser de origen natural, como la celulosa, la cera o el caucho o de materias primas de aceites en forma de bolitas o polvo disuelto. Los avances significativos en la industria del plástico, han permitido que se den grandes pasos en la elaboración de diversas formas a base de materiales como el polipropileno, poliestireno y polietileno.



Fig.1.1 Productos derivados del plástico.

Con este material útil se pueden elaborar utensilios caseros, instrumentos para realizar distintas actividades, materiales para soportar diferentes objetos como gavetas, repisas, baldes, closets, estantes, objetos para ferretería, para el hogar, para las grandes y pequeñas empresas, los objetos que se utilizan en la vida

cotidiana como cajas, organizadores, electrodomésticos, mesas y una larga lista de otros objetos, son derivados del plástico.

Los plásticos son materiales que se ablandan cuando se calientan y que se endurecen cuando se enfrían, lo que permite moldearlos. Se clasifican en dos grandes grupos:

Termoplásticos. Se ablandan al calentarlos y así se les puede moldear, tantas veces como se desee. Un ejemplo es el poliestireno.

Con algunos termoplásticos se pueden fabricar fibras sintéticas, haciendo pasar el plástico fundido a través de orificios muy finos. La lycra o el nailon son fibras sintéticas.

Termoestables. Una vez endurecidos, no se ablandan por calentamiento ni pueden ser ya moldeados. Por ejemplo, la baquelita o el poliuretano.



Fig. 1.2. Productos termoestables.

Los plásticos se han hecho imprescindibles en la sociedad moderna, debido a que proporcionan:

- Seguridad e higiene. No producen cortes como el vidrio o productos nocivos como los metales al oxidarse.
- Resistencia, ligereza y durabilidad. Soportan muy bien los impactos, no se corroen por oxidación como los metales y son mucho menos pesados.
- Economía. En general, el plástico es mucho más barato que los materiales a los que sustituye, tanto en la fabricación a partir de la materia prima como del producto acabado.

- Adaptación. Con pequeñas modificaciones, conseguidas al utilizar ciertas sustancias que se añaden a la composición básica, los llamados aditivos, el mismo material sirve para diferentes aplicaciones.
- Reciclables y reutilizables. Siempre y cuando los consumidores tomen conciencia de ello y separen la basura en origen, facilitando su recogida selectiva. [1]

1.2 PROCESOS DE TRANSFORMACIÓN DEL PLÁSTICO.

Una clasificación de los procesos de transformación se basa en los cambios del estado que sufre el plástico dentro de la maquinaria. Así se pueden encontrar las siguientes divisiones:

1.2.1 PROCESOS PRIMARIOS.

El plástico es moldeado a través de un proceso térmico donde el material pasa por el estado líquido y finalmente se solidifica. Como ejemplos tenemos:

- **Extrusión:** es un proceso industrial mecánico, en donde se realiza una acción de prensado y moldeado del plástico, que por flujo continuo con presión y empuje, se lo hace pasar por un molde encargado de darle la forma deseada. El polímero fundido (o en estado ahulado) es forzado a pasar a través de un dado también llamado boquilla, por medio del empuje generado por la acción giratoria de un husillo (tornillo de Arquímedes) que gira concéntricamente en una cámara a temperaturas controladas llamada cañón, con una separación milimétrica entre ambos elementos. El material polimérico es alimentado por medio de una tolva en un extremo de la máquina y debido a la acción de empuje se funde, fluye y mezcla en el cañón y se obtiene por el otro lado un perfil geométrico preestablecido.[2]

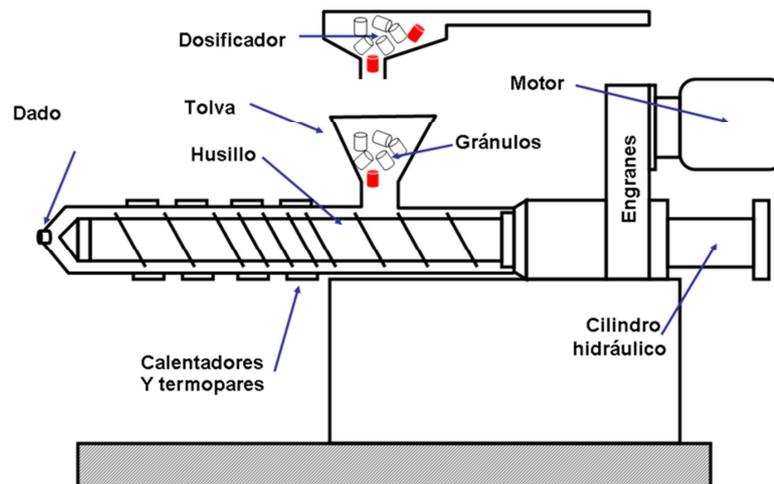


Fig. 1.3 Diseño genérico de un extrusor.

- Inyección:** es un proceso semicontinuo que consiste en inyectar un polímero o cerámico en estado fundido (o ahulado) en un molde cerrado a presión y frío, a través de un orificio pequeño llamado compuerta. En ese molde el material se solidifica, comenzando a cristalizar en polímeros semicristalinos. La pieza o parte final se obtiene al abrir el molde y sacar de la cavidad la pieza moldeada. [3]
- Soplado:** es un proceso por medio del cual se producen objetos de plástico huecos, como botellas. Es un proceso semicontinuo que incluye dos pasos, la extrusión del polímero fundido a través de un dado especial con un perfil tubular llamado párison y el inflado de este tubo en un molde, del cual toma la forma final el polímero extruido.[4]

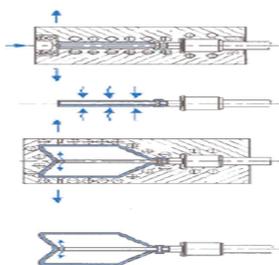


Fig. 1.4. Extrusión del Polímero.

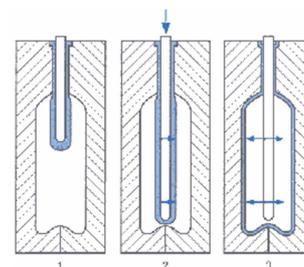


Fig. 1.5. Inflado del Polímero

- **Calandrado:** Consiste en pasar el plástico en estado viscoelástico por una serie de rodillos para producir una hoja continua. Alguno de los rodillos puede estar grabado para dar una textura a la hoja resultante. El espesor de la lámina está dado por la distancia existente entre dos rodillos. Con este proceso se producen láminas que se utilizan como materia prima para otros procesos secundarios, pero también productos como cortinas de baño, alfombras e impermeables.[5]

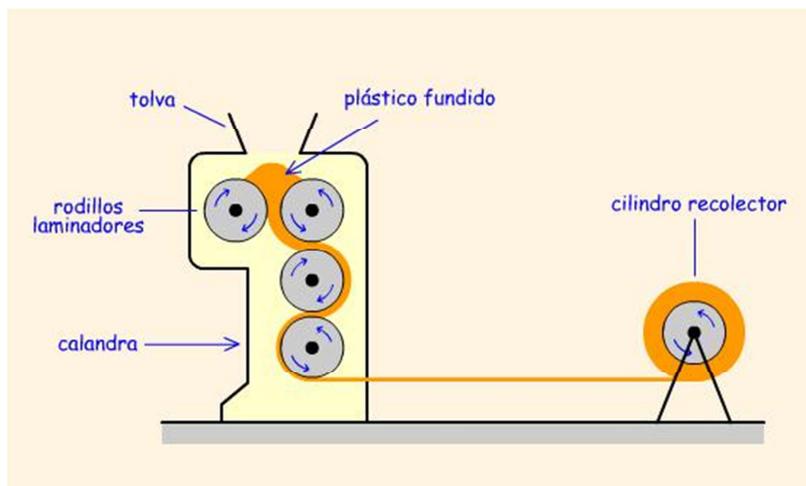


Fig.1.6 Calandrado del plástico.

- **Rotomoldeo:** es el proceso de transformación del plástico empleado para producir piezas huecas, en el que plástico en polvo o líquido se vierte dentro de un molde mientras gira en dos ejes biaxiales. El plástico se va fundiendo mientras se distribuye y adhiere en toda la superficie interna. Finalmente el molde se enfría para permitir la extracción de la pieza terminada. [6]

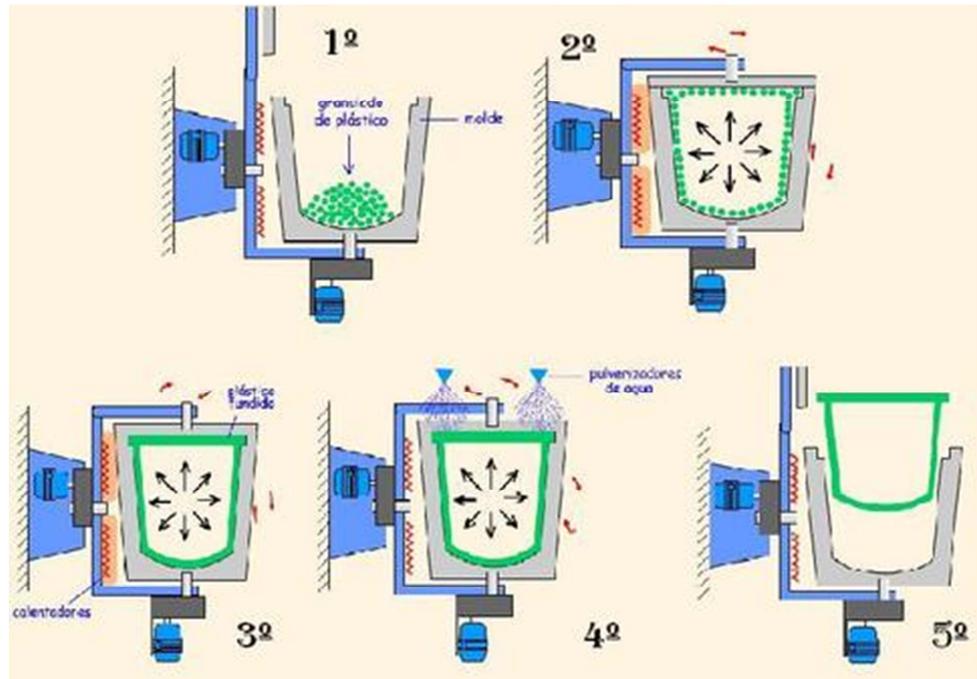


Fig.1.7 Rotomoldeo.

- **Compresión:** es un proceso de conformado de piezas en el que el material, generalmente un polímero, es introducido en un molde abierto al que luego se le aplica presión para que el material adopte la forma del molde y calor para que el material reticule y adopte definitivamente la forma deseada.

En algunos casos la reticulación es acelerada añadiendo reactivos químicos, por ejemplo peróxidos. Se habla entonces de moldeo por compresión con reacción química. [7]

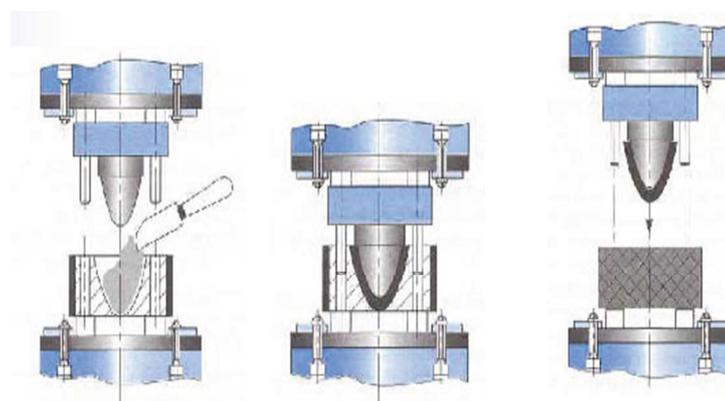


Fig.1.8 Compresión del polímero.

1.2.2 PROCESOS SECUNDARIOS.

En estos procesos se utilizan medios mecánicos o neumáticos para formar el artículo final sin pasar por la fusión del plástico.

- **Termoformado:** es un proceso de transformación de plástico que involucra una lámina de plástico que es calentada y que toma la forma del molde sobre el que se coloca. El termoformado puede llevarse a cabo por medio de vacío, presión y temperatura.[8]
- **Doblado y deformación:** En primer lugar se procede a calentar el material para luego realizar la deformación de la siguiente manera:
En planchas y láminas, se opta por doblarlas a lo largo de una línea recta calentándolas con un filamento o resistencia eléctrica y manteniendo el doblado hasta que se enfríe.
En tubos, con un chorro de aire muy caliente con la finalidad de impedir que se obstruya se introduce un muelle flexible. [8]

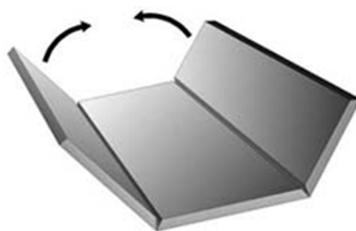


Fig.1.9 Doblado de lámina plástica.

- **Corte y perforación:** Hay varias formas de realizar este proceso dependiendo de las características del material plástico, es así que para láminas flexibles, se pueden cortar con tijeras o un cortador de cuchilla.
- **Unión:** Se suelen usar adhesivos específicos para cada tipo de plástico.[8]

1.3 PROCESO DE TERMOFORMADO.

1.3.1 DEFINICIÓN DE TERMOFORMADO.

El termoformado es un proceso que consiste en dar forma a una lámina plástica por medio de calor (120°C a 180°C) y vacío (600 a 760mmHg) utilizando un molde o matriz (madera, resina epóxica o aluminio). Un exceso de temperatura puede "fundir" la lámina y la falta de calor o una mala calidad de vacío incurrirá en una pieza defectuosa y sin detalles definidos.

Un termoplástico es un plástico que, a temperatura ambiente, es plástico o deformable, se derrite cuando se calienta y se endurece en un estado vítreo cuando se enfría lo suficiente. La mayor parte de los termoplásticos son polímeros de alto peso molecular, los cuales poseen cadenas asociadas por medio de débiles fuerzas de Van Der Waals (polietileno); fuertes interacciones dipolo-dipolo y enlaces de hidrógeno o incluso anillos aromáticos apilados (poliestireno). Los polímeros termoplásticos difieren de los polímeros termoestables en que después de calentarse y moldearse pueden recalentarse y formar otros objetos, mientras que en el caso de los termoestables o termoduros, después de enfriarse la forma no cambia y arden.

Los más usados son:



Fig. 1.10 Codificación de los plásticos

1. PET (politereftalato de etileno).
2. PEAD (polietileno de alta densidad).

3. PVC (policloruro de vinilo).
4. PEBD (polietileno de baja densidad).
5. PP (polipropileno).
6. PS (poliestireno).

El termoformado consta de tres pasos principales: calentamiento, termoformado y sellado.

El calentamiento se realiza generalmente con radiadores eléctricos a uno o a ambos lados de la lámina.

La duración del ciclo de calentamiento necesita ser suficiente para ablandar la lámina, y depende del tipo de polímero y de su espesor.

El termoformado consiste en introducir la lámina en un molde para darle forma.

Existen diferentes clasificaciones de termoformado:

- a. Según la manera de deformar la lámina puede ser: a vacío, por presión y mecánico (con ayuda de pistón).
- b. Según la forma de la cavidad del molde, se puede dividir en termoformado positivo (forma convexa) y negativo (cavidad molde cóncava).

Generalmente en el envasado de productos alimenticios se emplea el termoformado negativo. [9]

1.3.2 TERMOFORMADO POR "CONFORMADO".

El sistema más simple es el estirado de una lámina en estado semi-plástico sobre un molde. A medida que la lámina topa con la superficie del molde, el estirado se detiene y como resultado, las partes de la lámina que tocan al molde en primer lugar tienen un espesor mayor que el resto. Si el estirado es pequeño, no queda comprometida la integridad de la pieza y por tanto, es el procedimiento más usado en el envase de tipo "blíster" (que significa, precisamente, "ampolla") y en los embalajes de tipo burbuja. [9]

1.3.2.1 Conformado en una etapa.

Si se precisa un grado elevado de estirado o se utiliza chapa gruesa no es posible usar el sistema anterior. Existen cinco métodos que realizan el conformado en una sola etapa. [9]

1.3.2.2 Conformado por adaptación.

La lámina caliente se baja sobre el molde macho o se hace subir a éste, de modo que se adapte a su forma. La adaptación se complementa haciendo el vacío entre el molde macho y la lámina, o aplicando sobre ella presión de aire. Los productos de este proceso presentan un espesor grande en el fondo, que va disminuyendo hasta ser mínimo en los bordes. [9]

1.3.2.3 Moldeo por vacío.

La lámina se fija sobre el borde del molde hembra haciendo luego el vacío como se ha indicado inicialmente. En contraste con el proceso anterior, el espesor de la pieza es mayor en los bordes y mínimo en los cantos de la parte inferior.

Se usa una presión negativa (succión) para adherir la lámina precalentada dentro de la cavidad del molde.

1.- Se suaviza una lámina plana de plástico por calentamiento.

2.- Se coloca sobre la cavidad de un molde cóncavo.

3.- El vacío atrae la lámina hacia la cavidad.

4.- El plástico se endurece al contacto con la superficie fría del molde, la parte se retira y luego se recorta de la hoja. [9]

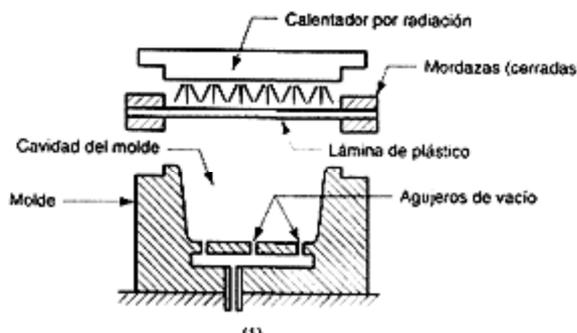


Fig.1.11 Calentamiento de la lámina.

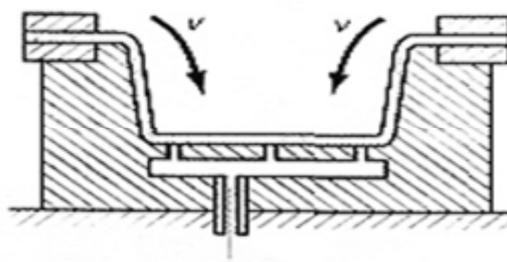


Fig.1.12 Sistema de succión.

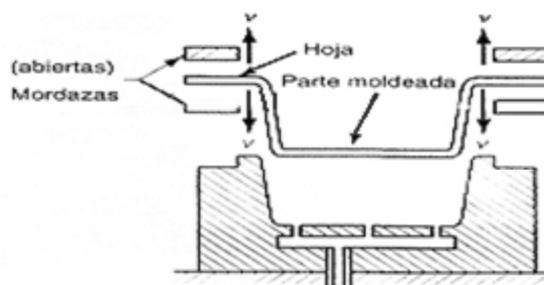


Fig.1.13 Lámina moldeada.

1.3.2.4 Formado a presión.

Similar al moldeo por vacío, sobre la lámina se aplica además aire comprimido hasta 1,4 MPa por lo que el sistema precisa de una cámara cerrada superior. Este procedimiento se utiliza para conformar lámina de pequeña galga de materiales como el PP (Polipropileno), que se suministran en rollo, o para transformar lámina de gran espesor en piezas con detalle superficial fino. Es decir una presión positiva para forzar al plástico caliente dentro de la cavidad del molde.

También se le denomina formado por soplado. Su ventaja sobre el formado al vacío es que se pueden desarrollar presiones más altas. [9]

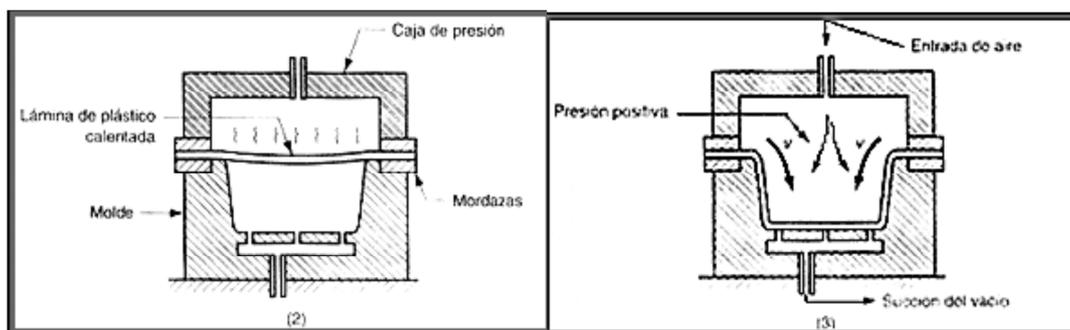


Fig.1.14 Formado a presión.

En este caso la lámina se presiona desde arriba hacia la cavidad del molde.

1.3.2.5 Libre soplado.

Se aplica aire comprimido entre una cámara que substituye al molde, inexistente en este caso y la lámina para obtener una burbuja, cuya altura se controla mediante una fotocélula.

Dado que la burbuja formada de la lámina no toca ningún elemento metálico, no tiene ninguna marca y excepto en las cercanías del marco de fijación, tiene un espesor regular. El aire enfría la burbuja para rigidizar la pieza. El sistema se utiliza extensamente en envases "blíster" a partir de lámina delgada suministrada en rollo. [9]

1.3.2.6 Molde y Contramolde.

Utilizados para conformar piezas a partir de polímeros relativamente rígidos, como la espuma de PS (poliestireno).

Puede aplicarse vacío al molde hembra para ayudar al conformado. Aunque las presiones de cierre son de alrededor de 0,35 MPa, si se aplican fuerzas del orden de 1 MPa puede producirse además un cierto movimiento del material. [9]

1.4 CALENTAMIENTO.

La temperatura de la lámina debe llegar a un rango comprendido entre 120°C a 180°C, donde dependiendo del plástico a termoformar se fija en un valor de referencia con una tolerancia de ± 5 °C, durante el transporte a la estación de moldeo no debe caer más de 5 a 10 °C.

Para este subproceso existen distintas técnicas que incluyen:

- Alambre de calefacción de Ni / Cr (NIQUEL - CROMO).
- Barras de resistencia metálicas.
- Radiadores cerámicos.
- Placas radiantes calentadas por gas.
- Calentadores de cuarzo en forma de placa o varilla.
- Lámparas calentadoras.
- Placas de cristal de cuarzo.

La temperatura superficial del calentador se controla mediante termopares o termistores y el calentamiento de la lámina se establece en relación al tiempo, generalmente por iteración. Los alambres de calefacción y las barras de resistencia son económicos, pero se deterioran rápidamente por oxidación.

Aunque el calentamiento por infra-rojos es el más frecuente, algunas láminas pueden calentarse por contacto con una placa metálica caliente o por convección en un horno con circulación de aire. El calentamiento por energía de radiofrecuencia (RF o micro-ondas) requiere que el material absorba estas frecuencias, como en el caso del PVC. Otros materiales pueden utilizar el sistema si son convenientemente dopados con materiales como el negro de humo, cuyas partículas entran en vibración bajo estas frecuencias, ocasionando el calentamiento del material. [9]

1.4.1 CALENTAMIENTO DE PLÁSTICOS.

En el proceso de termoformado, la operación de calentamiento es una de las etapas que emplea más tiempo y en la que se pueden presentar las mayores dificultades, ocasionando el mal aprovechamiento de recursos materiales y humanos.

Aun cuando los científicos han dividido la transferencia de calor en tres fenómenos distintos: conducción, convección y radiación, ya en la práctica los tres son concurrentes. [9]

1.4.1.1 Conducción.

Es la transferencia de calor de una parte de un cuerpo a otra del mismo cuerpo, o bien de un cuerpo a otro que está en contacto físico con él, sin desplazamiento apreciable de las partículas del cuerpo. [9]

1.4.1.2 Convección.

Es la transferencia de calor de un punto a otro, dentro de un fluido, gas o líquido (mediante la mezcla de una porción de fluido con otra). En la convección natural, el movimiento del fluido se debe totalmente a diferencias de densidad como resultado de diferencias de temperatura. En la convección forzada, que es la que interesa, el movimiento se produce por medios mecánicos. Cuando la velocidad es relativamente baja, se debe entender que los factores de convección libre, tales como las diferencias de temperatura y densidad, pueden tener una influencia importante. [9]

1.4.1.3 Radiación.

Es la transferencia de calor de un cuerpo a otro que no se encuentra en contacto con él, por medio del movimiento ondulatorio a través del espacio.

Para propósitos del proceso de termoformado, se consideran tres medios para la transmisión de calor, estos son:

- a) Contacto con un sólido, líquido o gas caliente.
- b) Radiación infrarroja.
- c) Excitación interna o por microondas.

Los dos primeros son muy empleados en el termoformado de plásticos y para varios de ellos el rango de temperatura es entre 120° C y 205° C (250° F y 400° F). [9]

1.4.2 CALENTAMIENTO POR CONTACTO.

El método más rápido de calentamiento, es colocar la hoja de plástico íntimamente en contacto con una placa caliente de metal. Se usa especialmente para la producción en masa de artículos pequeños y delgados. [9]

1.4.3 CALENTAMIENTO POR INMERSIÓN.

Este método consiste en sumergir la hoja de plástico en algún líquido que transfiera el calor lo más uniforme posible y rápidamente, pero su uso está restringido al moldeo de partes con láminas muy grandes o muy gruesas, ya que la manipulación y la limpieza de la pieza es difícil. [9]

1.4.4 CALENTAMIENTO POR CONVECCIÓN.

Los hornos con convección de aire son ampliamente usados, porque proveen un calentamiento uniforme y pueden, en cierto grado, secar algunos materiales que contengan cierto porcentaje de humedad. Estos hornos proveen un gran margen de seguridad con respecto a las variaciones en tiempo de los ciclos de termoformado. [9]

1.4.5 CALENTAMIENTO POR RADIACIÓN INFRARROJA.

Este método puede proporcionar calentamiento instantáneo y por lo tanto, sus ciclos de exposición son muy cortos, a veces basta con algunos segundos. Las principales fuentes que proporcionan este tipo de energía son:

- Lámparas de cuarzo que emiten en el visible y el cercano infrarrojo.
- Resistencias cerámicas o metálicas que emiten mayor energía y en el lejano infrarrojo.

La superficie de estos calentadores por radiación puede estar entre los 315° C a 705° C.

Debe observarse que a temperaturas más altas, la masa de la radiación ocurre a longitudes de onda más bajas. En contraste, a temperaturas más bajas, la radiación se esparce sobre longitudes de onda mayores; y esto es sumamente importante, puesto que cada plástico absorbe radiación infrarroja en distintas regiones. Solo la radiación absorbida se utiliza para calentar el plástico directamente. [9]

1.4.6 CALENTAMIENTO INTERNO.

Este método no ha tenido suficiente aplicación en el termoformado, en virtud que el equipo es muy costoso. Además, no es aplicable a todos los termoplásticos y los tiempos de enfriamiento son demasiado largos, siendo aplicable a los procesos de formado donde se requiere calentamiento localizado en una zona específica del material, por ejemplo, el formado de cantos de material que tienen un alto factor de pérdida, como el P.V.C.

En ciertas aplicaciones, los productos termoformados presentan secciones de pared no uniformes, aún cuando la lámina ha sido uniformemente calentada. El encogimiento heterogéneo de la lámina se debe al propio diseño de la parte. En estos casos especiales, controlando el calentamiento por secciones dará zonas de pared más uniformes.

Este procedimiento se llama sombreado o apantallado, y consiste en colocar un filtro no flamable que regule el calor (una malla de alambre, asbesto; etc.) entre la lámina y la fuente de calor, con esto disminuirá el flujo de calor hacia ciertas áreas del material y evitará excesivos estiramientos de esa zona.

En los equipos más sofisticados hoy en día, se tienen controles electrónicos y elementos de cerámica parabólicos que permiten calentar con variabilidad diferentes zonas de la lámina. [9]

1.5 TEMPERATURAS Y CICLO DE FORMADO.

Antes de iniciar con las temperaturas y ciclos de formado, se establecerán ciertos términos como son:

- a) Temperatura de desmolde.
- b) Límite inferior de operación.
- c) Temperatura normal de formado.
- d) Límite superior de operación.

1.5.1 TEMPERATURA DE DESMOLDE.

Temperatura a la cual la pieza puede ser removida del molde sin distorsionarse. En ocasiones se puede remover a mayores temperaturas si se utilizan dispositivos de enfriamiento. [9]

1.5.2 LÍMITE INFERIOR DE OPERACIÓN.

Éste representa la temperatura más baja a la que el material puede ser formado sin crear esfuerzos internos. Esto significa que la lámina plástica debe tocar cada esquina del molde antes de que alcance su límite más bajo. El material que se procesa abajo de este límite presentará esfuerzos internos que posteriormente causarán distorsiones, pérdida de brillo, craqueo u otros cambios físicos en el producto terminado. [9]

1.5.3 TEMPERATURA NORMAL DE FORMADO.

Es la temperatura a la cual la lámina deberá ser formada en una operación normal. Esta temperatura deberá alcanzarse en toda la lámina. Termoformados de poca profundidad con ayuda de aire o vacío permitirán manejar temperaturas un poco más bajas y se traduce en ciclos más cortos; pero, por otra parte, se requieren temperaturas elevadas para formados profundos o para operaciones de pre-estiramiento, detalles o radios intrincados. [9]

1.5.4 LÍMITE SUPERIOR DE OPERACIÓN.

Es la temperatura a la cual la lámina termoplástica comienza a degradarse, así también, se torna demasiado fluida y no se puede manipular. Estas temperaturas se pueden exceder, pero solamente con formulaciones modificadas que mejoren las propiedades físicas de la lámina. El moldeo por inyección y extrusión utiliza, de hecho, temperaturas mucho más altas, pero sólo por periodos de tiempo muy cortos. [9]

1.6 SUBSTANCIAS PLÁSTICAS EMPLEADAS EN TERMOFORMADO.

Básicamente, todos los polímeros termoplásticos son adecuados para el proceso de termoformado. Dichos materiales, cuando son sometidos a un calentamiento presentan una variación en su módulo de elasticidad, dureza y capacidad de resistencia bajo carga. Con un incremento de temperatura que rebase el H.D.T (temperatura de deformación térmica), el comportamiento del material tenderá a volverse en un estado ahulado, teniendo como valor crítico la temperatura de revenido del polímero termoplástico. Esto puede observarse en el rápido pandeo de la hoja calentada, cuando la fuerza de gravedad se vuelve suficiente para causar esta deformación. [9]

POLÍMEROS	TEMPERATURA DE DEFLECCIÓN AL CALOR			TEMPERATURA DE TERMOFORMADO		
	A 264 PSI (°C)	A 66 PSI (°C)	SIN CARGA (°C)	TEMP. DE LA HOJA (°C)	TEMP DEL MOLDE (°C)	TEMP DE AYUDA (°C)
Acrílico extruido	94	98		135-175	65-75	
Acrílico cell-cast	96	110		160-180	65-75	
Acetobutirato de celulosa	65-75	75-80	120-150	140-160		
Polietileno de alta densidad		60-80	100	145-190	95	170
Polipropileno	55-65	110-115	140	145-200		
Poliestireno	70-95	70-100	100	140-170	45-65	90
Poliestireno alto impacto	85-95	90-95	120	170-180	45-65	90
SAN	100	105		220-230		
ABS	75-115	80-120	95	120-180	70-85	90
Polivinilo de cloruro (RV.C.)	70	75	110	135-175	45	80
Policarbonato	130	140	160	180-230	95- 120	140

Tabla 1.1 Contiene los polímeros adecuados y más comunes para el termoformado, así como su temperatura de formado. [9]

1.7 PROPIEDADES TÉRMICAS.

Al hablar de propiedades térmicas es indispensable establecer los conceptos relacionados a este tema. En primer lugar es necesario recordar que la energía es frecuentemente disipada a través de la fricción y entonces aparece en forma de calor o de la energía térmica interna de un cuerpo. Desde luego algunas veces en forma deliberada se incrementa el calor a una sustancia para cambiar su temperatura o para alterar su forma. El calor específico y la conductividad térmica son dos de las propiedades físicas de los polímeros que se usan extensivamente en el termoformado.

Los plásticos son pobres conductores de calor; por lo tanto, las láminas de espesores gruesos requieren un tiempo de calentamiento considerablemente largo.

En el termoformado de plásticos es importante tomar en consideración la elección del método de calentamiento y el tamaño del equipo de calentamiento.

El calentamiento de la hoja por ambos lados (calentamiento tipo sandwich) ayuda a disminuir el tiempo empleado en esta operación. En algunos casos, el tiempo de calentamiento puede ser reducido si la hoja es precalentada y mantenida en una

temperatura intermedia, sin embargo, esto rara vez se emplea en materiales de menos de 6 mm de espesor.

Adicionalmente, la proporción de calor requerida para elevar la temperatura en los plásticos es alta, comparada con cualquier otro material; el agua es la excepción. Para estimar el calor requerido en una hoja, se puede calcular mediante la siguiente fórmula:

Calor Requerido = Largo X Ancho X Espesor X Densidad del Material X (Calor específico X Diferencia de temperatura + Calor de fusión) [10]

MATERIALES	GRAVEDAD ESPECÍFICA g/cm ³	CALOR ESPECÍFICO Btu/ lb °F	CALOR DE FUSIÓN Btu/lb	CONDUCTIVIDAD TÉRMICA Btu ft/sq ft hr °F	COEFICIENTE TÉRMICO DE EXP. LINEAL in/in °F10 ⁻⁵
Aire	0.0012	0.24		0.014	
Agua	1	1	144	0.343	
Hielo	0.92	0.5	144	1.26	2.8
Madera suave	0.5	0.4		0.052	1.5
Madera dura	0.7	0.4		0.094	1.5
R. fenólicas	1.5	0.3		0.2	3-5
R. epóxicas	1.6-2.1	0.3		0.1-0.8	1.5-2.8
Polietileno	0.96	0.37	55	0.28	7
Acrílico	1.19	0.35		0.108	3.5
Policarbonato	1.2	0.30		0.112	3.7
Grafito	1.5	0.20		87	0.44
Vidrio	2.5	0.20		0.59	0.5
Cuarzo	2.8	0.20		4 y 8	0.4 y 0.7
Aluminio	2.7	0.23	171	90	1.35
Acero	7.8	0.10	171	27	0.84
Cobre	8.8	0.092	88	227	0.92

Tabla.1.2 Propiedades térmicas de algunos materiales. [10]

1.8 DESCRIPCIÓN DE LA MÁQUINA DE TERMOFORMADO DE LA EMPRESA LATERMEC.

La empresa LATERMEC fabrica y comercializa productos plásticos, termoformados, impresos tales como:

Material POP.	
Afiches y pancartas en diferentes materiales y acabados.	
Exhibidores en distintos tipos de materiales, colores y acabados.	
Dispensadores fabricados en plástico, madera, metal, cartón.	
Artículos promocionales.	
Láminas y rollos plásticos en poliestireno, polietileno, PVC.	
Repuestos automotrices originales en plástico.	
Productos Especiales. Placas para torres de enfriamiento de agua para centrales termoeléctricas cajones interiores para refrigeradoras, cuartos fríos tinas para baños, estructuras metálicas.	

Tabla 1.3 Productos plásticos elaborados en la empresa Latermec. [11]

De los productos antes mostrados la gran mayoría son termoformados, es decir que la producción se realiza por lotes, para esto LATERMEC posee tres máquinas termoformadoras, una de ellas encargada de realizar productos

pequeños y las dos restantes, con la capacidad de cambiar el tamaño del molde, se encargan del resto de la producción.

Actualmente la empresa realiza un termoformado al vacío, con un molde macho, lo cual es apropiado tanto por los materiales empleados como por el tipo de producto que se manufactura.

Si bien el proceso de producción está acorde con las exigencias del producto, la antigüedad de las máquinas genera problemas como fallas en el producto, demoras en la producción y desperdicio de material a causa de errores en la termoformación.

1.8.1 TERMOFORMADORA.

La máquina empleada para termoformar tiene alrededor de 25 años de uso, ésta consta de las siguientes partes y características.

FINEST IN VACUM FORMING EQUIPMENT	
Marca:	SATURN
Plastic and engineering CO.	
Fast Lauderdale , Florida	
Mod. NO.	EAGLE 5088
Ser. NO.	EOO 4275

Tabla.1.4 Características de la máquina termoformadora de la empresa Latermec.



Fig.1.15 Foto de la máquina termoformadora de la empresa Latermec.

1.8.2 SISTEMA DE SUJECIÓN LÁMINA.

Con la finalidad sujetar la lámina el sistema consta de:

- Un marco superior con dimensiones regulables
- 2 Cilindros neumáticos que presionan y suben el marco superior.
- Un marco inferior con dimensiones regulables fijo a la estructura de la máquina.

En las condiciones que se encuentra el sistema, éste no sujeta adecuadamente la lámina plástica, por lo que es ayudado por prensas manuales adicionales colocadas por el operario.

1.8.3 CALENTAMIENTO.

Esta etapa se la realiza por medio de un conjunto de resistencias conectadas en paralelo y colocadas en un coche que se desplaza dentro y fuera del área donde se encuentra la lámina plástica.

El sistema de termoformado de la empresa LATERMEC consta de lo siguiente:
Sistema trifásico.

Voltaje fase fase.	208 [V]
Voltaje fase neutro.	120 [V]

Tabla.1.5 Valores de voltaje fase - fase, y voltaje fase - neutro tomados en el tablero principal de la empresa LATERMEC.

- 22 resistencias de las siguientes características.

P	1.5 [KW]
V_{F-F}	208 [V]
I	7.22 [A]

Tabla.1.6 Valores de voltaje y corriente medidos en cada una de las resistencias.

- 22 Breakers de 220 Voltios, 20 Amperios.



Fig.1.16 Tablero de protección de las resistencias.

- Breakers trifásico de 240 Voltios, 150 Amperios.

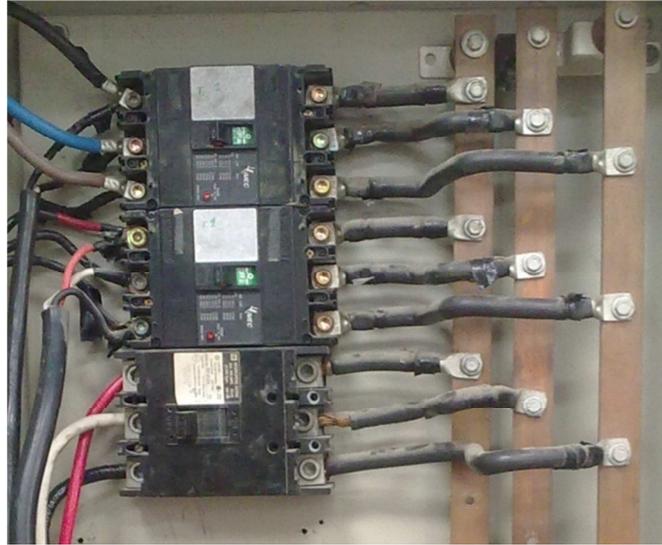


Fig. 1.17 Tablero de Protección de la bandeja de resistencias

- Bandeja de resistencias de la maquina termoformadora.

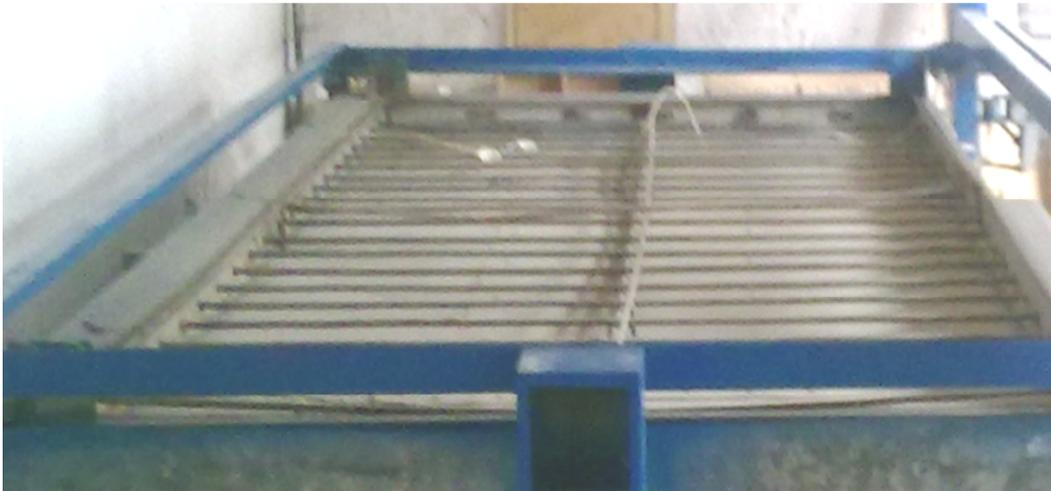


Fig. 1.18 Foto de la Bandeja de resistencias de la termoformadora

- Motor con dos sentidos de giro

Dayton		
Modelo: GK538		Frame: 48-3-1
Code: L	Clase: A	Torque de Salida: 177Lbs
ID#: F 2189-02-M74		
RPM: 1750		Ph: 1
FINA RPM: 100		V:115- A: 6.5 V:230 – A: 3.25
T: 40°C máx.		

Tabla. 1.7 Datos de placa del motor



Fig. 1.19 Motor monofásico utilizado en la termoformadora.

- 2Fines de carrera (bandeja dentro y fuera)

Entre los principales problemas en esta etapa resaltan la falta de uniformidad en distribución de calor en la lámina y el desperdicio de energía debido a la dispersión de calor en el ambiente.

1.8.4 MOLDEADO.

Una vez que la lámina plástica ha sido calentada a cierta temperatura, ésta se vuelve suave y es presionada contra un molde perforado, mediante la presión

que ejerce el molde sobre la lámina y el vacío producido por un sistema de bombas, el plástico toma forma.

Este subproceso se realiza con los siguientes elementos:

- 2 Cilindros neumáticos para subir el molde.
- Electroválvula para activar cilindros.
- Vacío:
 - Bombas.
 - Indicador de presión (Manómetro).

Actualmente la succión no es la suficiente para lograr un buen moldeo y el indicador de presión está obsoleto.

1.8.5 ENFRIAMIENTO.

El enfriamiento de la pieza termoformada se realiza por medio de un juego de ventiladores que se activan luego de que el proceso de formado comienza.

Los elementos de este sistema son:

- Ventiladores.
- Fin de carrera para activar proceso (se activa con la subida del molde).

Finalmente para despegar la lámina formada del molde se emplea una electroválvula que se activa por un corto tiempo.



Fig. 1.20 Foto del sistema de enfriamiento de la máquina termoformadora.

1.8.6 SISTEMA DE CONTROL.

La máquina se comanda desde un tablero de control que está provisto de botones, palancas, y contadores que permiten el manejo de los diferentes actuadores de una manera semiautomática, es así que el operador basado en su experiencia, programa los tiempos de espera del proceso e inicia el modo automático el cual requiere de constante vigilancia, no obstante debido a las perturbaciones del ambiente esta opción de trabajo no es utilizada y se opta por comandar los actuadores de manera individual donde el operador censa continuamente el estado de la lámina y procede con el ciclo termoformado.

El panel de control está basado en un sistema eléctrico analógico que se encuentra deteriorado por el uso, lo que lo hace inseguro y obsoleto.

Este sistema se encuentra alimentado por una red bifásica de 220V de corriente alterna, que sirve para comandar las electroválvulas que manejan el sistema neumático y el motor de la bandeja de resistencias.



Fig. 1.21 Foto del tablero de control vista frontal.



Fig. 1.22 Foto del tablero de control vista posterior.

1.8.7 SISTEMA NEUMÁTICO

Las diferentes maniobras de moldeo y prensado se realizan con un sistema de aire a una presión cercana a los 150 psi el cual está comandado por electroválvulas cuyo esquema original se muestra en la siguiente figura.

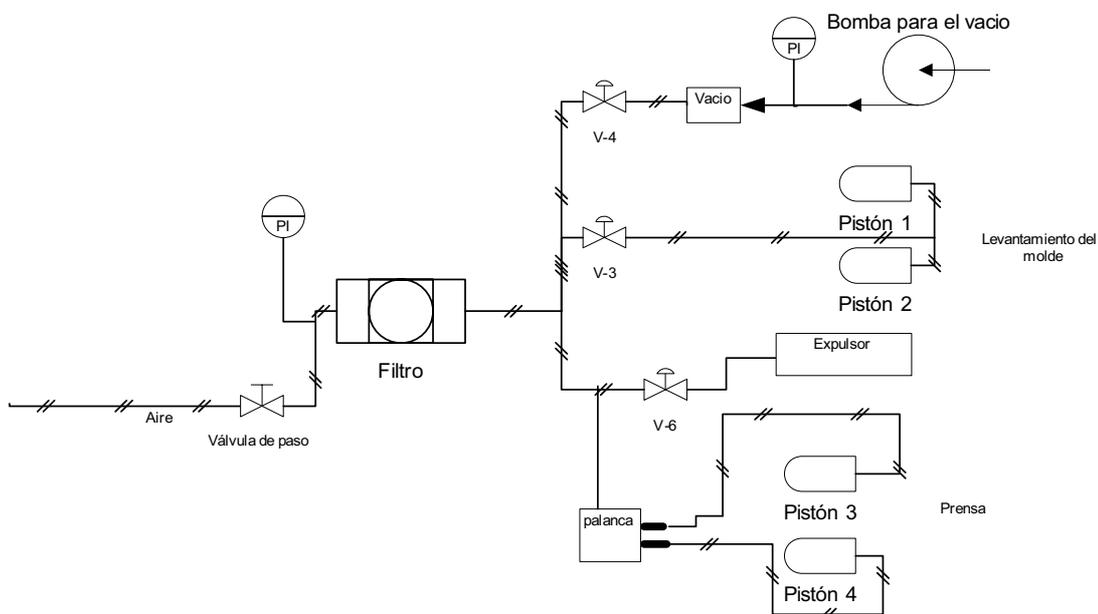


Fig.1.23 Esquema de conexiones del sistema neumático de la máquina termoformadora de la empresa Latermec.

1.8.8 SISTEMA DE BOMBEO.



Fig. 1.24 Sistema de bombas de vacío de la empresa Latermec.

Debido a la antigüedad de la máquina el sistema presenta varias fugas y deterioros que aportan con el mal funcionamiento del mismo.

1.9 Problemas Detectados en el Sistema de Termoformado en la Empresa Latermec.

1. No se ejerce la suficiente presión sobre la lámina plástica para sujetarla.
2. Deficiencia en la distribución de calor en la lámina plástica.
3. La determinación de la temperatura en la lámina plástica no es precisa, ya que se realiza de forma manual.
4. Desperdicio de energía por dispersión de calor en el ambiente.
5. La succión por vacío no es suficiente para lograr un buen moldeo.
6. El sistema de control es inseguro y obsoleto debido a su antigüedad.
7. Falta de visibilidad del estado de las variables que intervienen en el proceso.

8. Carencia de orden en la estructura del cableado.
9. Presencia de fugas en el sistema neumático.
10. Ausencia de señalización y protecciones.

En el siguiente capítulo se presenta el diseño e implementación del sistema de termoformado de la empresa LATERMEC dando soluciones a los problemas detectados.

CAPÍTULO 2

DISEÑO E IMPLEMENTACION DEL SISTEMA DE TERMOFORMADO.

2.1 ESTRUCTURA MECÁNICA.

De los problemas expuestos en el primer capítulo se puede concluir que:

- Para disminuir el desperdicio de calor es necesario aislar la zona de calentamiento, cubriendo el horno con una capa aislante conformada por un tol refractario que permitirá reflejar la radiación emitida por las resistencias hacia la plancha plástica y una manta térmica que mantendrá aislada la parte interior del horno con la estructura externa de la máquina y por ende del ambiente.
- Para evitar que la lámina plástica tope con las resistencias y cause desperfectos en el producto, se cambiará la posición del medio calefactor hacia la parte superior, de tal manera que cuando la lámina se pandee tenga el suficiente espacio y pueda pasar al siguiente paso del proceso.
- Para sujetar de manera eficiente la plancha plástica se adicionarán dos cilindros neumáticos más, de similares características, dispuestos en los extremos del marco que forma la prensa, logrando así no solo una mayor sujeción sino mayor estabilidad.

2.2 TIPOS DE CONTROL EN EL SISTEMA DE TERMOFORMADO

A continuación se presenta un resumen de los diferentes tipos de control que intervienen en el proceso de termoformado.

2.2.1 CONTROL DE TEMPERATURA DEL CALENTADOR.

El calentamiento sobre la lámina de poliestireno se realiza por medio de la radiación que emiten las resistencias eléctricas al energizarse, se establece que

para controlar la intensidad de radiación ejercida sobre la lámina es necesario manipular la potencia de las resistencias.

Por ser carga resistiva

$$P = \frac{V_{rms}^2}{R}$$

$P = Potencia Activa [W]$

$V_{rms} = Voltaje rms [V]$

$R = resistencia [\Omega]$

De donde se desprende que para controlar la potencia se hace necesario variar el valor de voltaje, para lo cual se tienen diferentes alternativas de convertidores ac – ac tales como, control de fase directo, control de fase inverso, control por ciclo integral, control por ancho de pulso.

Debido a las características del material, éste tolera variaciones bruscas de temperatura, es decir que el implementar un control discreto en base a una banda de histéresis, es suficiente para lograr termoformar la lámina.

Para esto se hará uso de un juego de termocuplas que proveerán de la señal de realimentación al lazo de control.

2.2.2 CONTROL DEL SUBPROCESO DE SUCCIÓN PARA EL FORMADO DE LA LÁMINA.

Para realizar este tipo de control se hace necesario manipular la presión de vacío que se ejerce sobre la lámina al termoformarse. Para esto se requeriría un actuador como una servoválvula la cual permite regular la presión ejercida sobre la lámina y un cambio del sistema de bombas de vacío, ya que el existente se halla deteriorado mecánicamente y no logra llegar a rangos óptimos para el

termoformado. Las limitaciones del presupuesto asignado por la empresa Latermec no han posibilitado estos cambios.

Debido a la flexibilidad de la materia prima y del producto a desarrollar, se optó por realizar la apertura y cierre de una electroválvula lo cual permite ejercer el vacío suficiente para poder termoformar este producto.

2.2.3 CONTROL DEL SUBPROCESO DE EYECCIÓN DE LA LÁMINA.

Con la finalidad de separar el material del molde es necesario soplar aire entre las dos superficies, el caudal a suministrar puede ser dosificado a través de una servoválvula que reaccionaría en base a una señal de control proporcional al caudal.

En vista de que en esta etapa el material ya ha tomado forma, las perturbaciones que podrían generarse en la temperatura de la lámina se vuelven irrelevantes, por lo tanto se puede solventar la función de soplado con el accionamiento de una electroválvula al final del proceso durante un tiempo determinado por el operador, por lo que no se justifica emplear otro sistema de control.

2.2.4 CONTROL DEL SUBPROCESO DE ENFRIAMIENTO DE LA LÁMINA.

Una vez que la lámina ha alcanzado la temperatura de formado el material tiene la necesidad de enfriarse rápidamente para tomar la forma del molde, es así que la pendiente de descenso de la curva de temperatura puede ser controlada dosificando el caudal de aire forzado sobre la lámina.

El caudal que generan los ventiladores reacciona proporcionalmente a la velocidad con la que éstos giran, es decir que el control de esta etapa podría hacerse controlando la velocidad de los ventiladores.

Para lograr controlar la velocidad existen varios métodos tanto eléctricos como mecánicos, de los cuales se puede destacar el uso de un variador de frecuencia siendo éste el que cumple con las mejores prestaciones.

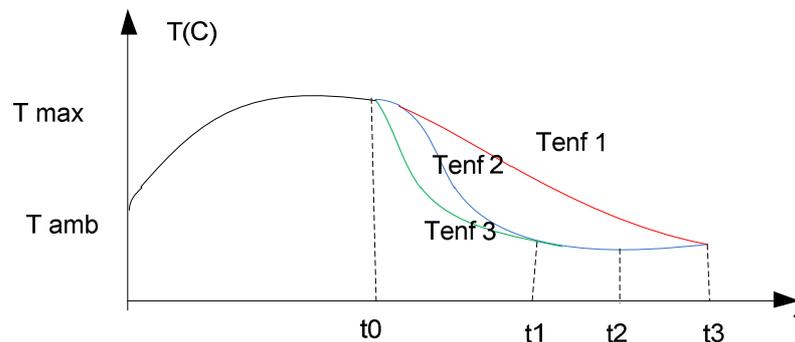


Fig. 2.1 Curvas de enfriamiento de la lámina.

De la Fig.2.1 se determina que se puede seguir varias curvas de enfriamiento las cuales llegan a la temperatura ambiente en diferentes tiempos, se observa que a máximo caudal el tiempo disminuye provocando un descenso brusco de temperatura el cual por la tolerancia del material a los cambios bruscos de temperatura, no afecta al producto termoformado.

Entonces se tomará la curva de máximo caudal obtenida con los ventiladores a plena carga, es decir que los ventiladores se accionarán a velocidades nominales durante la etapa de formado durante un tiempo ingresado por el operador obtenido experimentalmente.

2.3 CIRCUITO DE FUERZA.

Para controlar los diferentes actuadores se dispondrá de contactores y relés de diferentes capacidades, interconectados de la siguiente manera:

Para el control del sentido de giro del motor monofásico se utilizará dos contactores, interconectados de tal manera que puedan lograr invertir el campo electromagnético del bobinado del mismo, lo cual se lo realiza intercalando las posiciones de los cables de control propios del actuador.

En lo que concierne al sistema de calentamiento se dividirá el juego de resistencias en tres zonas, con la finalidad de poder controlar el exceso de calor identificado en la parte intermedia de la plancha plástica, es así que se dispondrá de tres contactores trifásicos encargados de encender y apagar un banco de resistencias de cada zona que a su vez están provistas de una protección contra

sobrecarga en cada resistencia, conservando así parte de la forma de calentamiento actual.

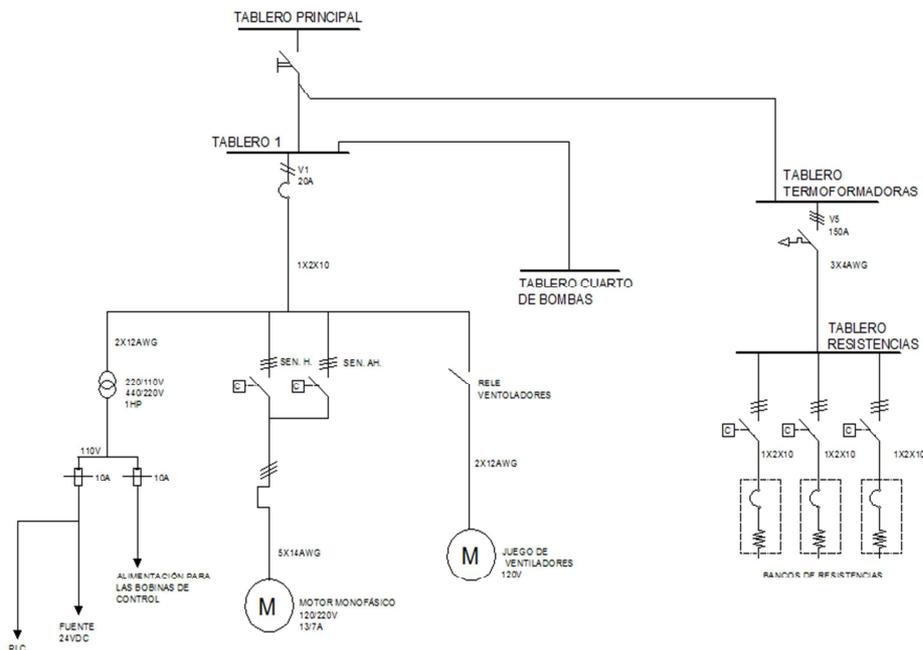


Fig. 2.2 Diagrama unifilar del tablero 1 del circuito de fuerza de la máquina de termoformado (ver anexo A).

2.4 CIRCUITO DE CONTROL.

Tomando en cuenta que el operador está acostumbrado a manejar la máquina con 4 interruptores y un botón para controlar los diferentes actuadores, se conservará la misma disposición de los controles tratando de mantener la función de la mayoría de ellos. Se detalla a continuación la función actual y los cambios que se llevarán a cabo.

CONTROL	FUNCIÓN ANTERIOR	FUNCIÓN NUEVA
Interruptor 2 posiciones.	Estado de máquina (ON, STOP, RESET).	Selección Mando Manual/Automático.
Interruptor up/Down.	Subir y bajar el molde.	Subir y bajar el molde.
Interruptor.	Activar sistema de vacío.	Ingresar y sacar horno móvil.
Botón.	Inicio de proceso.	Inicio de proceso.

Tabla.2.1 Mandos del tablero de control.

Cabe mencionar que se conservará el mando manual que se usa para subir y bajar el marco que sujeta la plancha plástica.

Además, con el fin de aumentar la maniobrabilidad del sistema, se incorporará una interfaz hombre máquina (HMI) que permitirá al usuario manipular y monitorear datos de temperatura, tiempo y actuadores propios del sistema.

De acuerdo con lo expuesto el controlador escogido debe contar no solo con las entradas discretas suficientes para los controles, sino también para los fines de carrera empleados en cada movimiento y los sensores de temperatura.

CONTROL	FUNCIÓN	#ENTRADAS DISCRETAS
Interruptor 2 posiciones.	Selección mando Manual/Automático.	2
Interruptor up/down.	Subir y bajar el molde.	1
Interruptor ON/OFF.	Ingresar y sacar horno móvil.	1
Botón.	Inicio de proceso.	1
Paro de emergencia.		1
SENSORES.		
Fin de carrera 1.	Indicar si el horno está dentro.	1
Fin de carrera 2.	Indicar si el horno está en la mitad.	1
Fin de carrera 3.	Indicar si el horno está afuera.	1
Fin de carrera 4.	Indicar molde arriba.	1
Fin de carrera 5.	Indicar molde abajo.	1
Fin de carrera 6.	Indicar prensa abajo.	1
TOTAL		12

Tabla 2.2 Mandos discretos del circuito de control.

SENSOR	FUNCIÓN	ENTRADAS ANALÓGICAS
Termocuplas.	Censar valor de temperatura	3

Tabla. 2.3 Mando analógico del circuito de control.

Para controlar los actuadores se usará relés y contactores dependiendo de su potencia, estos se comandarán a través de salidas discretas de un controlador de la siguiente manera:

ACTUADOR	FUNCIÓN	SALIDAS
Motor monofásico.	Mover horno móvil.	2
Electroválvula 1.	Mover molde.	1
Electroválvula 2.	Permitir vacío.	1
Electroválvula 3.	Permitir soplado.	1
Electroválvula 4.	Mover cilindro pequeño.	1
Ventiladores.	Enfriar la plancha plástica.	1
Banco de resistencias 1.	Calentar zona 1.	1
Banco de resistencias 2.	Calentar zona 2.	1
Banco de resistencias 3.	Calentar zona 3.	1
TOTAL		10

Tabla.2.4 Actuadores del sistema de control.

Por último el controlador deberá contar con dos puertos de comunicación tanto para la pantalla como para el HMI, que se implementará en un software de programación que servirá para monitorear y controlar el sistema.

2.5 SELECCIÓN Y DIMENSIONAMIENTO

2.5.1 ELEMENTOS DEL SISTEMA DE CONTROL.

El estado de la máquina termoformadora de la empresa LATERMEC descrito en el capítulo 1 indica que uno de los problemas que presenta es la antigüedad y obsolescencia del sistema de control, ya que al no existir repuestos en el mercado, principalmente del controlador mecánico, se hace necesario reemplazarlo por un nuevo elemento que permita no solo cumplir con las funciones básicas para el proceso, sino que brinde la oportunidad de independizar en mayor parte la intervención humana en cuanto a lo que concierne a la supervisión y cumplimiento de los diferentes subprocesos.

Entre las alternativas contempladas se puede destacar el uso de un micro controlador y un controlador lógico programable (PLC), pues estos elementos

cumplen con las exigencias del proceso debido a la flexibilidad que presentan para adaptarse al mismo.

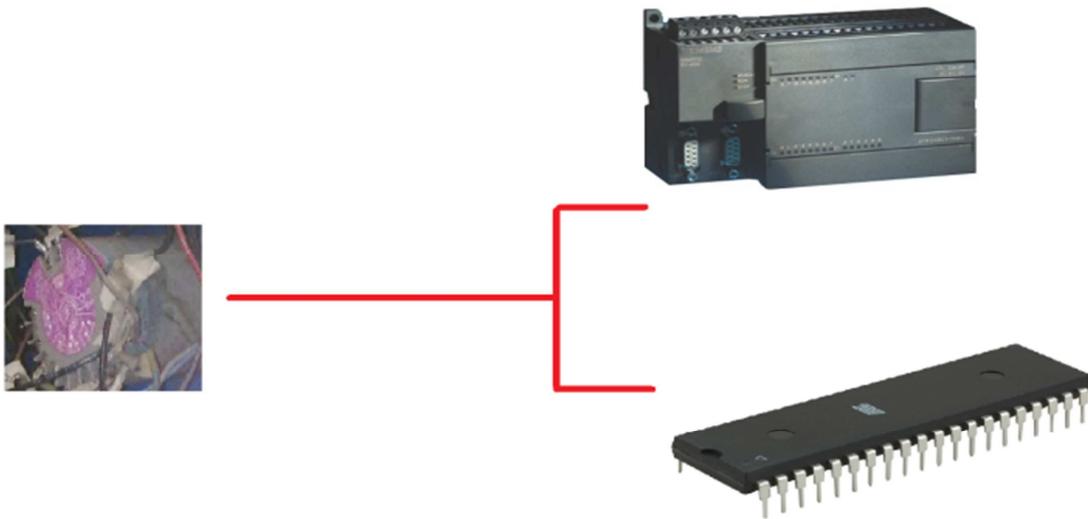


Fig.2.3 Elementos de control.

Comparando las características de cada uno, se determinó que por su robustez, flexibilidad, ventajas de montaje, repuestos, resistencia al ruido e interferencia electromagnética y compatibilidad con diferentes elementos de maniobra, un PLC es la mejor opción.

Por su número de entradas y salidas discretas y analógicas, puertos de comunicación, eficiencia, confiabilidad, funcionalidad, versatilidad y costo se eligió el SIMANTIC s7-200 XP-CPU 224 de la marca SIEMENS que tiene las siguientes características.



Fig.2.4 PLC SIMANTIC S7-200 CPU XP 224. (Ver anexo D).

Función	CPU XP 224
Dimensiones físicas(mm)	140 x 80 x 62
Memoria del programa:	
con edición en runtime	12288 bytes
sin edición en runtime.	16384 bytes
Memoria de datos.	10240 bytes
Memoria de backup.	100 horas (típ.)
E/S integradas	
Digitales.	14 E/10 S
Analógicas.	2 E/1 S
Módulos de ampliación.	7 módulos
Contadores rápidos.	4 a 30 kHz
Fase simple.	2 a 200 kHz
Dos fases.	3 a 20 kHz 1 a 100 kHz
Salidas de impulsos (DC).	2 a 100 kHz
Potenciómetros analógicos.	2
Reloj de tiempo real.	Incorporado
Puertos de comunicación.	2 RS--485
Aritmética en punto flotante.	Sí
Tamaño de la imagen de E/S digitales.	256 (128 E / 128 S)
Velocidad de ejecución booleana.	0.22 microsegundos/operación.
Entradas/salidas digitales integradas.	14ED/10SD.
Entradas/salidas analógicas.	2EA/1 SA integradas.
Protocolos soportados:	Si, en los dos puertos.
PPI maestro / esclavo.	Si.
MPI esclavo.	Si.
Freeport (protocolo ASCII programable).	Si.
Alimentación.	220/110V

Tabla. 2.5 Características PLC SIMANTIC S7-200 CPU XP 224. [12]

Con el fin de que el operador pueda manipular las diferentes etapas del proceso, la máquina cuenta con un juego de switches con contactos normalmente abiertos y normalmente cerrados que interconectados entre sí complementan la lógica de control, esto implica que el cableado se vuelva extenso y desordenado, y por ende el mantenimiento del mismo sea más difícil, por lo tanto se ha elegido reemplazar los switches actuales y adicionar una pantalla compatible con el PLC descrito anteriormente.



Fig.2.5 Transición de mandos del tablero principal de la máquina termoformadora.

Entre las diferentes modelos de pantallas compatibles se eligió el LCD con botonera incluida TD 400C que tiene las siguientes características.



Fig. 2.6 Pantalla TD 400C.

	TD 400C
Display.	Pantalla STN (con retroiluminación).
Tamaño (en pulgadas).	4 líneas, máx. 24 caracteres.
Resolución (An x Al en píxeles).	192 x 64
Elementos de mando.	Teclado de membrana.
Teclas de función (programables).	15 / 7
Memoria de usuario.	Datos de usuario en la CPU.
Sinópticos del proceso.	64
Variables.	864
Idiomas online.	5
Panel frontal (An x Al) en mm.	31
Profundidad del equipo en mm.	31
Recorte para montaje (An x Al) en mm.	174 x 102
Configuración de programación.	Micro/WIN V4.0 SP6
Grado de protección.	IP65, NEMA 4 / IP20
Interfaces.	1 x PPI (RS485)

Tabla.2.6 Características de la pantalla TD-400. [12]

Para poder adquirir la señal de temperatura de las tres termocuplas tipo J de una forma adecuada y confiable, se ha optado por adquirir un módulo de expansión EM 231 el cual es compatible con nuestra CPU y es adecuado para este tipo de trabajo.



Fig.2.7 Módulo de expansión EM231 (Ver anexo D).

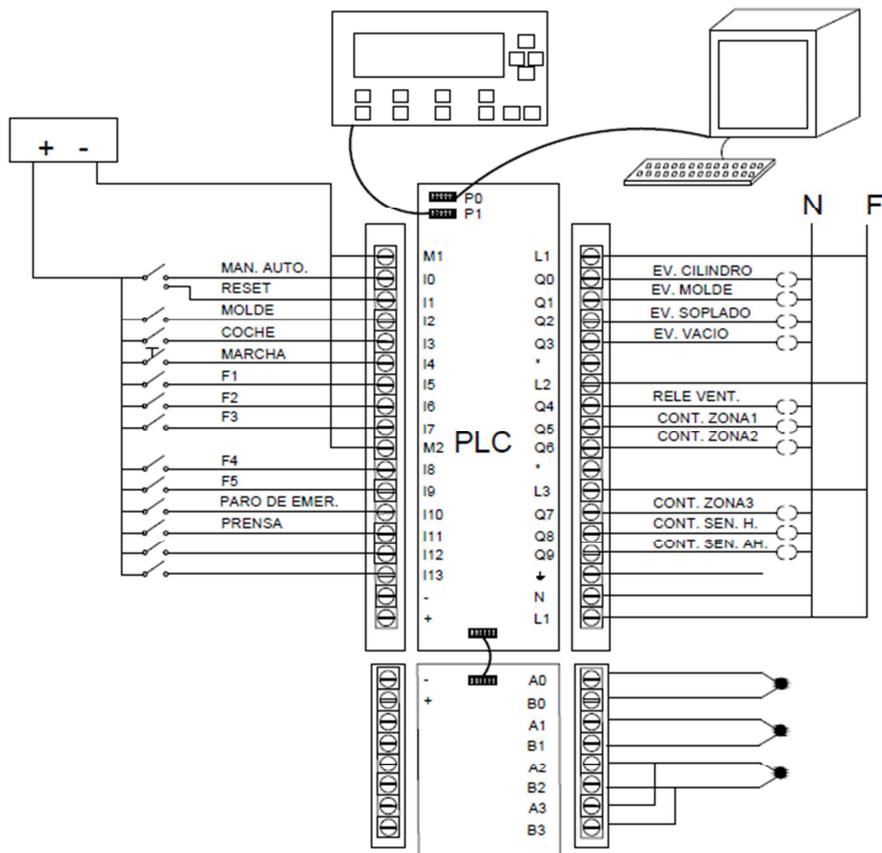
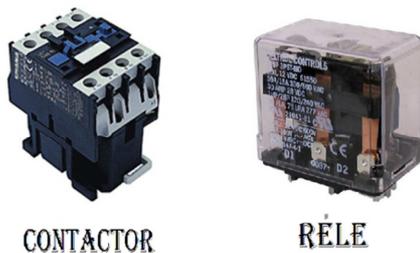


Fig.2.8 Diagrama esquemático de entradas y salidas al PLC. (Ver anexo A).

2.5.2 ELEMENTOS DE MANIOBRA.

Para el enlace entre la parte de control y la de potencia se utilizará tanto relés como contactores con diferentes capacidades, dependiendo del actuador a controlar, pero tomando en consideración que se dispone de un voltaje tanto para el control como para la parte de fuerza de 208/120 V a 60HZ.



CONTACTOR

RELE

Fig.2.9 Elementos de Maniobra.

Para dimensionar estos elementos hay que tomar en cuenta los siguientes conceptos.

- Tipo de Contactor.- Se hace referencia al número de polos, clase de corriente que circulará por los contactos principales, medio de interrupción y el método de control.
- Valores Nominales.- Son los datos de placa del elemento, tales como: Voltaje nominal de operación, corriente nominal de operación, corriente térmica nominal, frecuencia y voltaje de aislamiento.
- Circuito de control y Contactos auxiliares.- Se refiere al voltaje nominal de la bobina de control, el tipo de corriente de la misma y la clase, número y capacidad de los contactos auxiliares.
- Clases de servicio.- Corresponde al tiempo de funcionamiento del elemento donde se consideran las siguientes clases: Servicio de ocho horas, servicio continuo o ininterrumpido, servicio intermitente, servicio temporal.

Además, para evitar un sobrecalentamiento excesivo, se sobre dimensionará un 10% de la corriente nominal dependiendo del tipo de carga y tipo de servicio. [13]

ACTUADOR	In (A)	Vn(V)	ELEMENTO	CATEGORIA DE SERVICIO	% sobredimensionamiento	Ie (A)	CLASE DE SERVICIO	UNIDADES
Motor Monofásico	13	120	Contactador	AC3	25%	16,25	Temporal	2
Banco de resistencias	30	208	Contactador	AC1	25%	37,5	Temporal	3
Ventiladores	6	120	Relé	AC3	25%	7,5	Temporal	1
Control de electroválvula de vacío	1	120	Relé	AC1	10%	1,1	Temporal	1

Tabla.2.7 Dimensionamiento de los elementos de maniobra para los actuadores.

Es importante mencionar que se escogerán los elementos con capacidades que mejor se ajusten a los valores calculados, es decir su inmediato superior.

Adicionalmente se destaca que las bobinas de las electroválvulas consumen alrededor de 1A, así que no es necesario poner un elemento adicional entre la salida tipo relé del PLC y el actuador, ya que estas salidas soportan una corriente de 2A.

2.5.3 ELEMENTOS DE MEDIDA.

Para complementar el lazo de control es necesario tener una realimentación con los valores de las variables a controlar tales como temperatura, tiempo, etc. Lo que conlleva a la renovación y ampliación de la instrumentación existente.

Es entonces que se ve la necesidad de incorporar termocuplas dispuestas de manera estratégica con el fin de obtener una lectura de la temperatura del horno móvil.

Tomando en cuenta los rangos de temperatura a la que la lámina debe llegar, que se encuentra entre 120°C a 180°C, se ha optado por una termocupla tipo J (Hierro, cobre - níquel) en forma de tornillo con vaina metálica la cual censa entre - 40 a + 750 °C y brinda una señal de voltaje en el orden de los mV la misma que debe ser acondicionada previamente, para lo cual se hará uso del módulo de acondicionamiento propio de la marca y modelo del PLC .

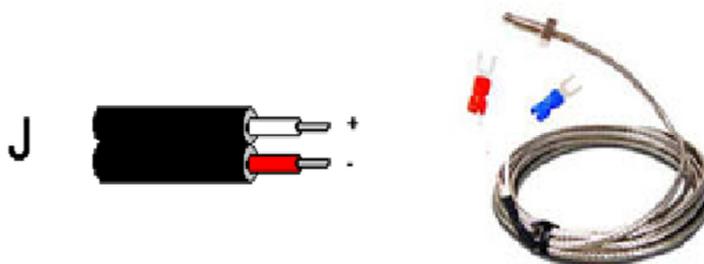


Fig.2.10 Termocupla tipo J.

En cuanto a la presión de vacío el proceso exige que ésta se encuentre entre 600 a 760mmHg, teniendo un valor máximo y mínimo, lo cual sugiere que el tipo de control no necesita ser fino por lo tanto el paso de vacío se realizará con la manipulación de una electroválvula.

Con la finalidad de censar el estado de las piezas móviles de la máquina y determinar el cumplimiento de los ciclos inmersos en el proceso, se conservará la disposición de los sensores discretos denominados fines de carrera, tanto en el horno móvil como en el sistema que mueve el molde y solo se reemplazarán los mismos debido a su antigüedad.

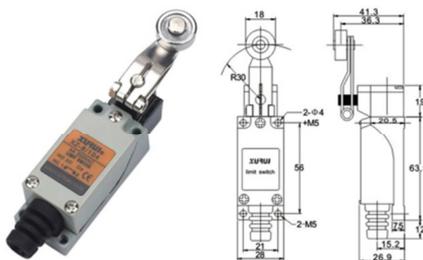


Fig.2.11 Fin de carrera.

Como información adicional, el tipo de fin de carrera empleado es el de palanca de cabeza ajustable con rueda, pues éste permite regular el alcance para tener un contacto adecuado con las piezas móviles que se desea censar, además están provistos de contactos normalmente abiertos y cerrados.

Adicionalmente se desea incorporar un sistema de control, monitoreo y supervisión remoto para la máquina, para lo cual se ha elegido el software computacional a nivel industrial como el INTOUCH y el LABIEW que permiten realizar la comunicación con el PLC y una PC normal, con el fin de intercambiar información de manera amigable con el usuario.

En base a la versatilidad, flexibilidad, herramientas gráficas y matemáticas se ha elegido la herramienta computacional denominada LABVIEW de la Nacional Instruments.



Fig. 2.12 Logo LabVIEW

2.6 ELEMENTOS ACTUADORES.

Ya que se ha conservado en mayor parte la estructura mecánica, los actuadores a considerar son los mismos con los contaba la máquina, tomando en cuenta que se adicionó 2 cilindros neumáticos para sujetar la plancha plástica y se cambió la

orientación del horno para dar más espacio en el momento del pando de la plancha plástica.

Entre estos tenemos:

ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	FINALIDAD
Cilindros neumáticos. 	35cm de carrera.	Subir y bajar la prensa que sujeta la plancha plástica al marco. Subir y bajar el molde
Motor monofásico 	Motor monofásico con caja de regulación de velocidad de clase A con alimentación de 115/220V-6.5/3.25 A.	Mover el horno para calentar la plancha plástica.
Electroválvulas 	Electroválvulas marca ASCO, bobina de control de 110V, conexión de ½ pulg.	Controlar el paso de aire comprimido para accionar los cilindros neumáticos y para dar paso al vacío y el soplado con el fin de dar la forma al producto.
Resistencias 	P=1.5KW V= 208V I= 7.22 ^a	Calentar la plancha plástica.
Ventiladores 	V=120V	Enfriar el producto en la etapa final del proceso.
Juego de Bombas 	Alimentación trifásica de 208V.	Generar la presión de vacío para dar la forma del molde a la plancha plástica.

Tabla.2.8 Elementos que se mantienen en el sistema de automatización de la máquina termoformadora.

Cabe mencionar que para el sistema neumático de la máquina se reemplazarán conectores y mangueras con la finalidad de solucionar las fugas existentes en el mismo.

2.7 ELEMENTOS DE PROTECCIÓN.

Para el caso de existir sobrecargas, cortocircuitos, anomalías en la red eléctrica, interferencias electromagnéticas, etc. Es necesario seleccionar elementos de protección que puedan reaccionar frente a los imprevistos normales en el ambiente industrial y así proteger los equipos tanto de control como de potencia.

ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	FINALIDAD
<p>Fusibles.</p> 	<p>Elemento destinado a la desconexión automática del circuito, frente a una cantidad determinada de corriente.</p>	<p>Proteger contra cortocircuitos.</p>
<p>Breakers.</p> 	<p>Elemento destinado a la desconexión automática del circuito, frente a una cantidad determinada de corriente con la diferencia ante un fusible que éste puede ser recetado.</p>	<p>Proteger contra sobrecargas y corto circuitos.</p>
<p>Relé Térmico</p> 	<p>Elemento destinado a la desconexión automática del circuito, frente al aumento de temperatura por efecto de la corriente, éste puede ser regulado para que se dispare a determinada corriente.</p>	<p>Proteger contra sobre carga.</p>

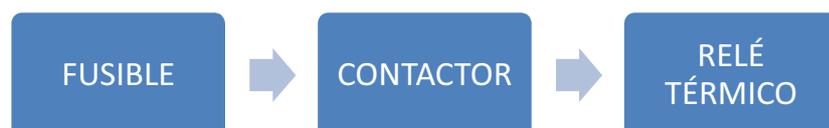
<p>Transformador de Aislamiento</p> 	<p>Equipos recomendados para aislar eléctricamente y reducir los disturbios eléctricos hacia las cargas sensibles. A la vez permite adecuar las fases para obtener cero voltios entre neutro y tierra y 120 voltios entre fase y tierra.</p>	<p>Útil y confiable para alimentar instalaciones críticas.</p>
--	--	--

Tabla.2.9 Elementos de protección.

Con respecto al dimensionamiento de fusibles se debe tomar en cuenta los siguientes parámetros.

- Tipos de Fusible.- Para baja tensión se puede usar de tipo tapón o cartuchos para 125V y 600V respectivamente.
- Categoría de Operación.- Se toma en cuenta la corriente de interrupción y la de operación.
- Categoría de Utilización.
- Tipo de Acción.- Se puede considerar fusibles no retardados, retardados, con limitación de corriente, y misceláneos.

Considerando la siguiente coordinación de protecciones la corriente del fusible no retardado debe estar entre 1.5 y 3 veces la corriente nominal del motor. [13]



Con respecto a las protecciones contra sobrecarga éstas se dimensionarán con un 10% más de la corriente nominal, y se tomará en cuenta los siguientes parámetros.

- Rango de ajuste de corriente.
- Voltaje nominal de operación.
- Voltaje de aislamiento.
- Contactos de salida.
- Curva de operación.

CIRCUITO	In (A)	Vol. (A)	FACTOR	IE (A)	TIPO DE PROTECCIÓN
Circuito de control.	2,5	120	2	5	fusible sin retardo
Motor monofásico.	13	120	1,25	16,25	guardamotor
Resistencias.	7,5	208	1,1	8,25	breaker
Banco de resistencias.	120	208	1,1	132	breaker
Electroválvulas.	4	120	1,5	8	fusible sin retardo

Tabla.2.10 Dimensionamiento de las protecciones de los distintos circuitos de control utilizados en la máquina termoformadora.

Adicionalmente se usará un transformador de aislamiento para alimentar la parte del control y así evitar interferencias debidas al circuito de potencia.

Como las entradas del PLC funcionan a 24VDC se hace necesaria una fuente externa para esta aplicación.

2.8 SELECCIÓN DE CONDUCTORES ELÉCTRICOS.

Para la selección del tipo de conductor se ha tomado en cuenta la corriente nominal del elemento, la temperatura de trabajo y el tipo de funcionamiento, para lo cual se ha optado por los siguientes conductores.

CIRCUITO	CORRIENTE NOMINAL [A]	TEMPERATURA DE TRABAJO [°C]	TIPO DE FUNCIONAMIENTO	CONDUCTOR
Control	2	< a 30	Continuo	AWG #18
Motor	13	< a 30	Temporal	AWG #12
Alimentación tablero de control	15	< a 30	Continuo	AWG #12
Cable de conexión de resistencia	8	90<t<200	temporal	AWG # 12 Con protección a altas temperaturas
Cable para zona de resistencias	30	30<t<60	temporal	AWG #10 concéntrico 3x1
Alimentador principal de circuito de resistencias	90	< a 30	continuo	AWG # 4

Tabla 2.11 Selección de conductores eléctricos.

CAPÍTULO 3

DESARROLLO DEL PROGRAMA DE CONTROL PARA EL SISTEMA DE TERMOFORMADO

3.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO.

Para iniciar el diseño del lazo de control es de vital importancia conocer el proceso actual que cumple la máquina, pues éste permitirá conocer la secuencia de pasos que deberá cumplirse en la posterior programación e implementación del sistema.

El sistema actual cumple con los siguientes ciclos.

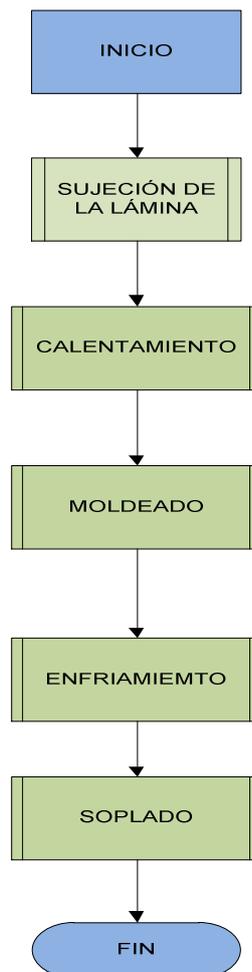


Fig.3.1 Diagrama de flujo del proceso de termoformado.

3.1.1 SUJECIÓN DE LA LÁMINA.

Consiste en activar una electroválvula que permite el paso de aire a los cilindros que presionan un marco contra el soporte de la lámina para así sujetarla.

3.1.2 CALENTAMIENTO.

Esta etapa está compuesta de tres acciones importantes dentro del proceso pues contempla la entrada del horno previamente calentado, un tiempo de espera para reblandecer la lámina hasta llegar a que ésta se pandee, y la salida del horno lo que dará paso al siguiente ciclo.

Para poder realizar un adecuado calentamiento se ha optado realizar un control por histéresis ya que la temperatura de lámina para poder termoformar está entre 140°C a 170°C.

Se tiene el siguiente lazo de control.

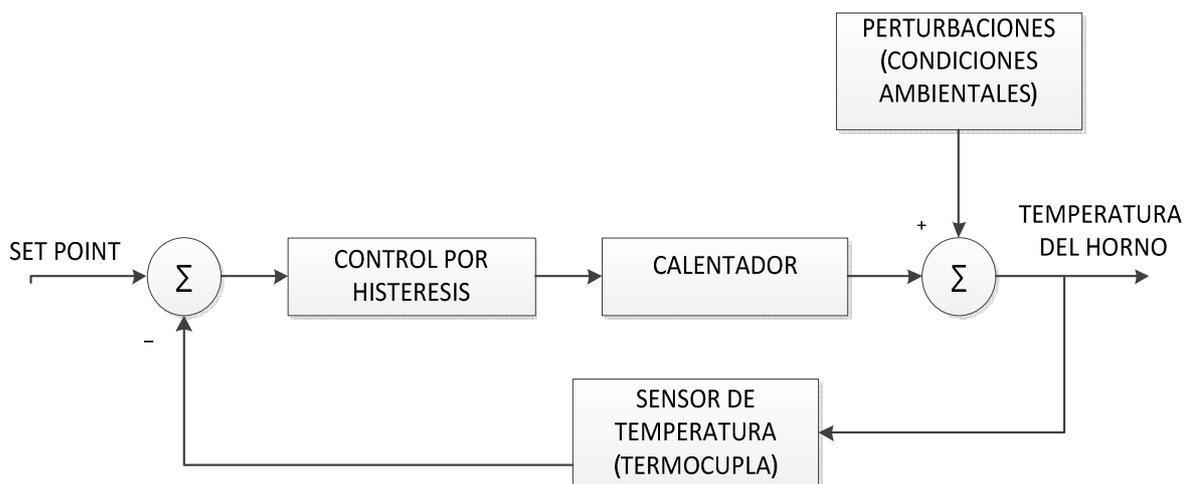


Fig. 3.2. Lazo de control del subproceso de calentamiento.

3.1.3 SUCCIÓN

La succión de la lámina se realiza mediante un control discreto el cual abre y cierra una electroválvula un tiempo determinado que se establecerá experimentalmente, esta electroválvula se la activa cuando el molde se encuentra arriba con la lámina caliente la cual hace que la lámina tome la forma del deseada.

3.1.4 ENFRIAMIENTO.

En el momento que se empieza a ejercer el vacío es necesario bajar la temperatura apresuradamente para lograr que la forma de la lámina alcanzada se endurezca, para ello se realiza un control discreto accionando un juego de ventiladores los cuales permanecen encendidos durante un tiempo determinado experimentalmente.

3.1.5 EYECCIÓN DE LA LÁMINA.

Debido la dificultad que presenta el retirar del molde una lámina termoformada se realiza en forma automática el desmolde mediante un control discreto abriendo y cerrando una electroválvula un tiempo determinado despegando la lámina del molde.

3.2 ARQUITECTURA DEL PROGRAMA DE CONTROL.

De lo anteriormente expuesto se puede concluir que el proceso conservará la misma secuencia de ciclos, pero para que éstos se cumplan automáticamente de la mejor forma se debe incluir medios de realimentación.

Adicionalmente se incorporará la opción de un modo de manejo manual, con la finalidad de realizar mantenimiento y pruebas a los respectivos actuadores, sensores, etc.

Siendo de esta manera la estructura del programa tomará la siguiente forma.

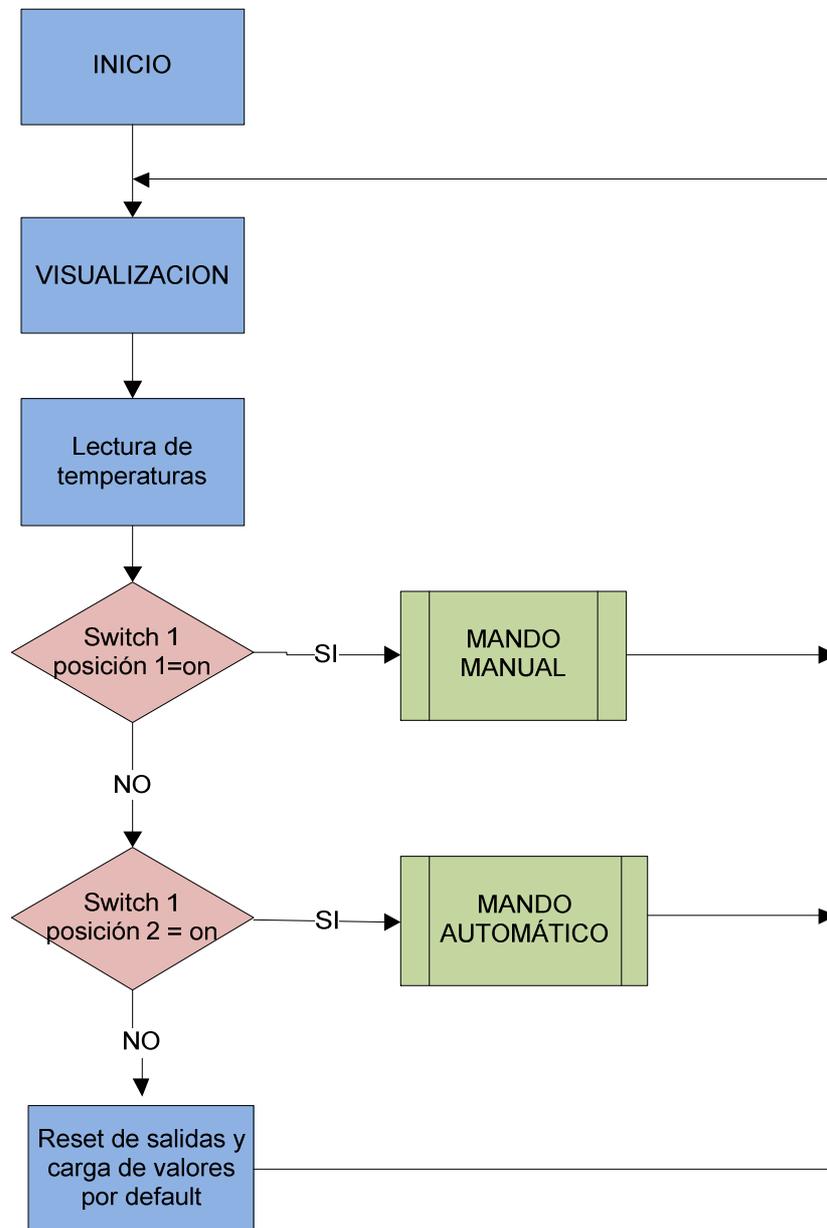


Fig. 3.3. Diagrama de flujo de selección de mando.

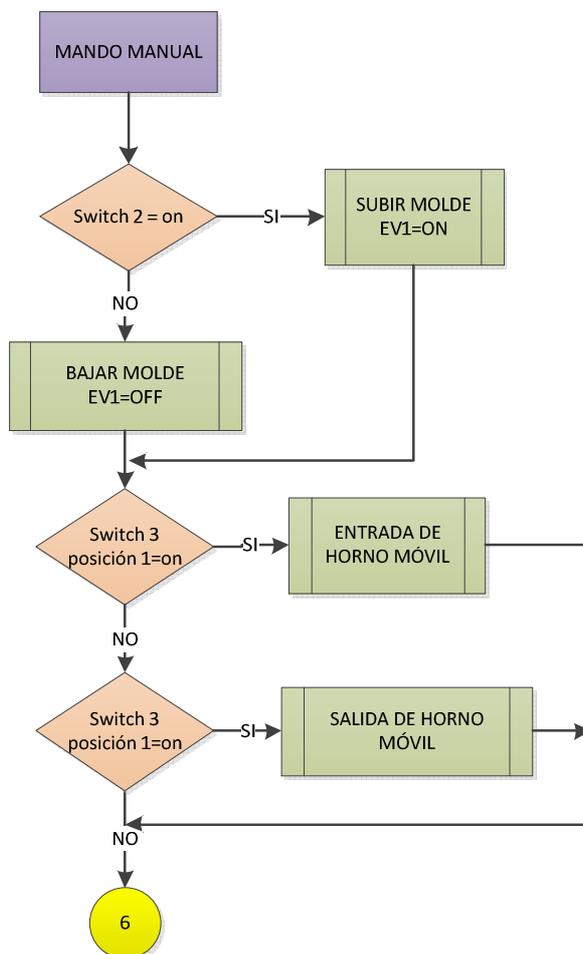
3.2.1 MANDO MANUAL.

El mando manual contempla el accionamiento individual, sin secuencia alguna de los diferentes actuadores, a través de la manipulación de los controles antes mencionados; tomando en cuenta que switches y botones no son suficientes para

comandar todos los actuadores, se dispondrá de las teclas incluidas en el LCD TD 400.

ACTUADOR	COMANDO
Cilindros neumáticos para subir y bajar molde.	Switch on/off.
Motor monofásico para ingreso y salida de horno móvil.	Switch on/off.
Pistón para el control de molde.	Pulsador ON.
Contactador para zona de resistencias No. 1	Tecla F1.
Contactador para zona de resistencias No. 2	Tecla F2.
Contactador para zona de resistencias No. 3	Tecla F3.
Ventiladores para enfriamiento.	Tecla F5.
Electroválvula para succión.	Tecla F6.
Electroválvula para soplado.	Shif_F5.

Tabla. 3.1 Asignación de teclas del LCD TD400, mando manual.



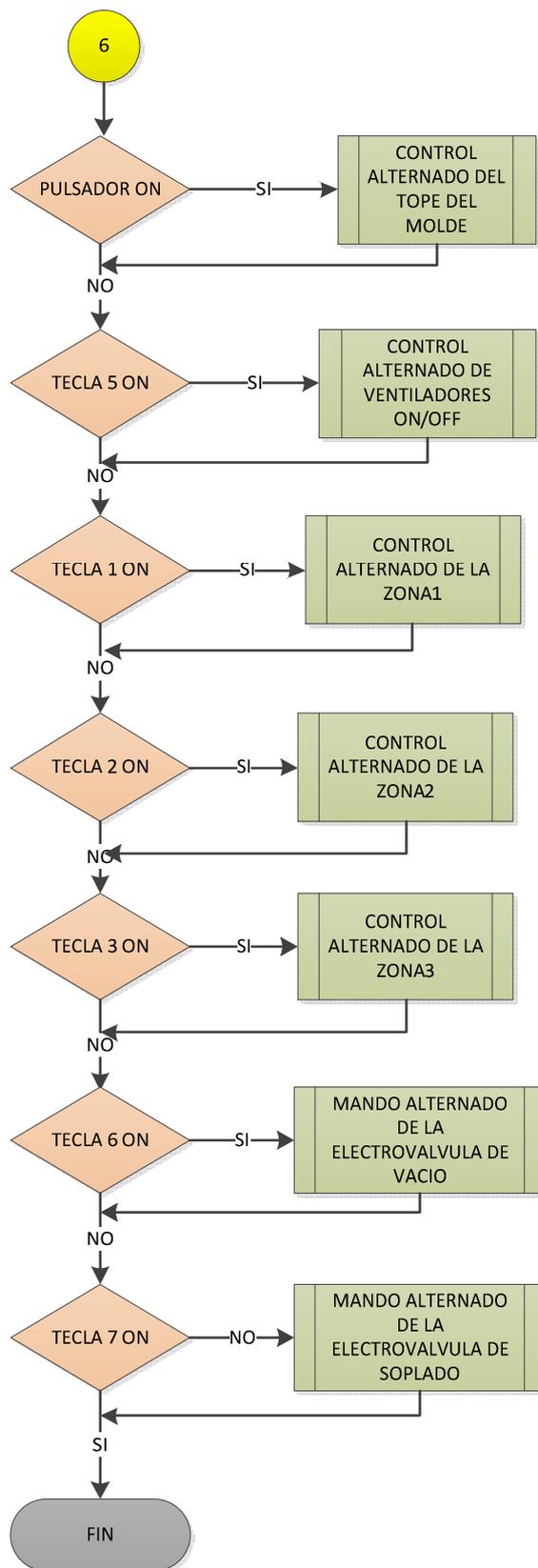
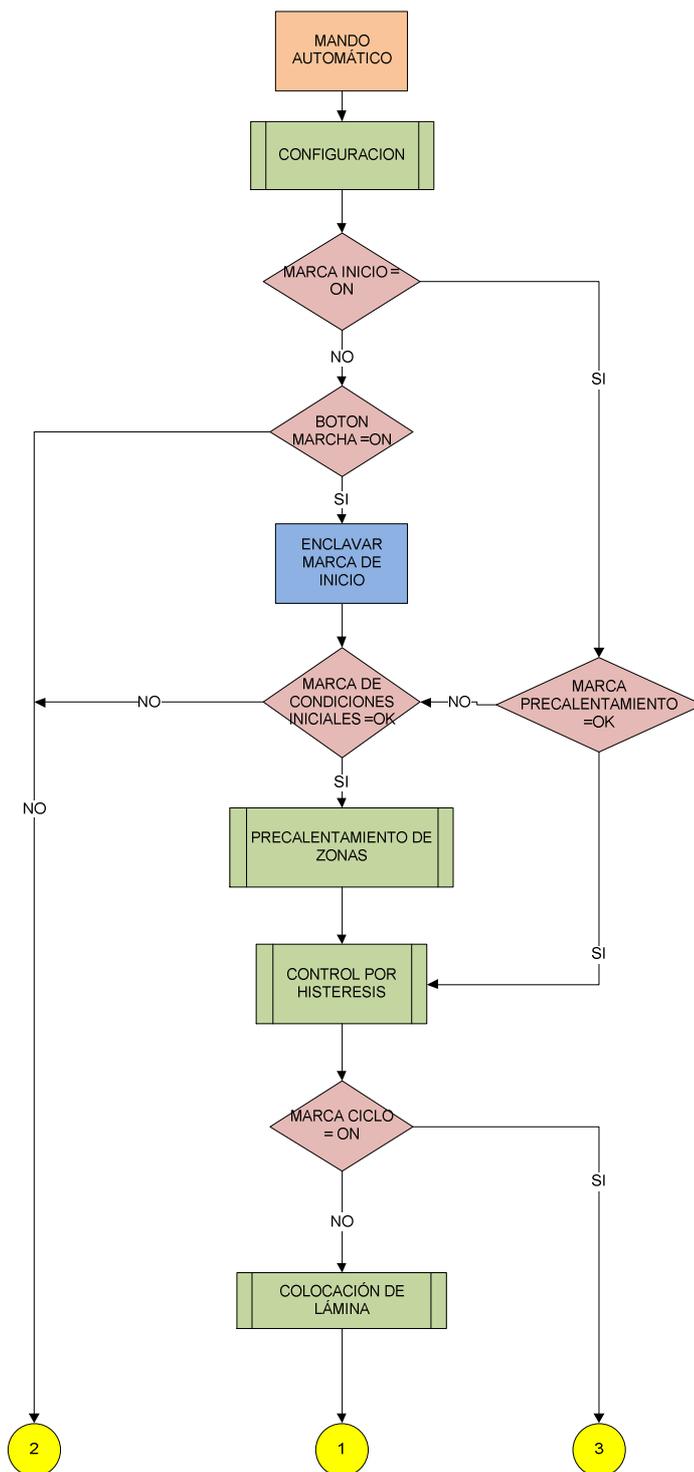
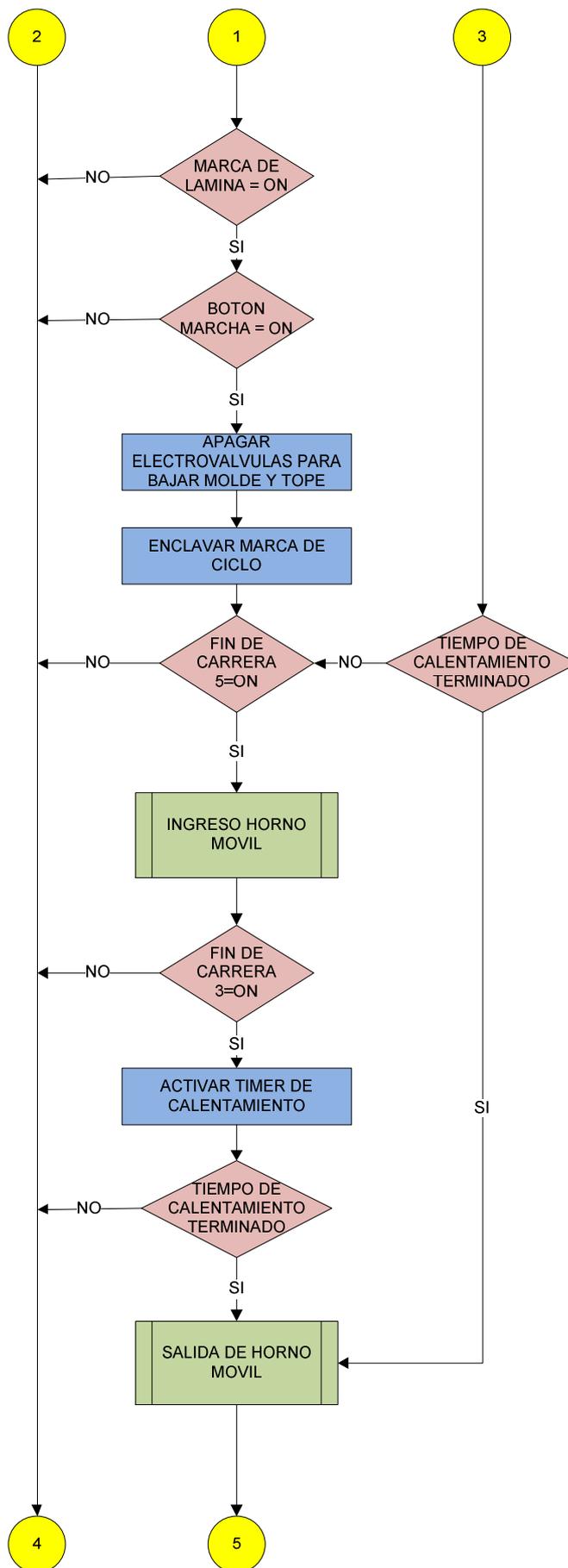


Fig.3.4. Diagrama de flujo del mando manual.

3.2.2 MANDO AUTOMÁTICO.

Con la finalidad de cumplir con los ciclos con los que cuenta el proceso descrito anteriormente, se incorporará al programa una serie de subrutinas que tomarán parte de forma secuencial, de tal manera que los fines de carrera y valores de variables darán las señales de inicio y fin de las mismas.





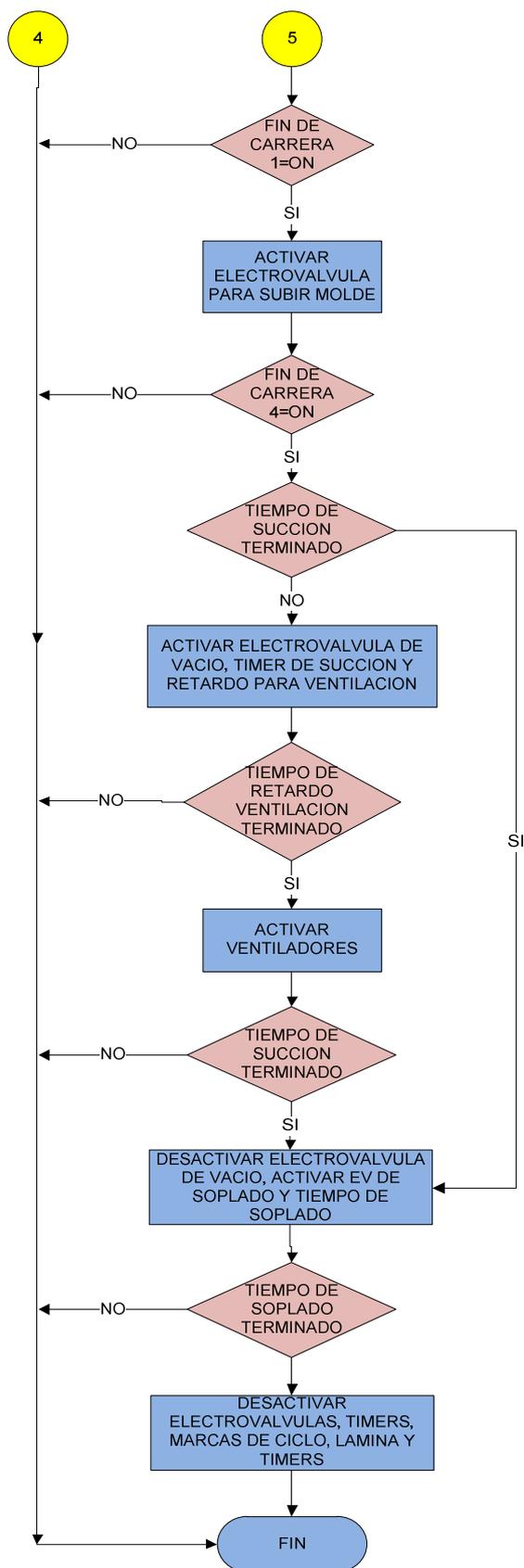
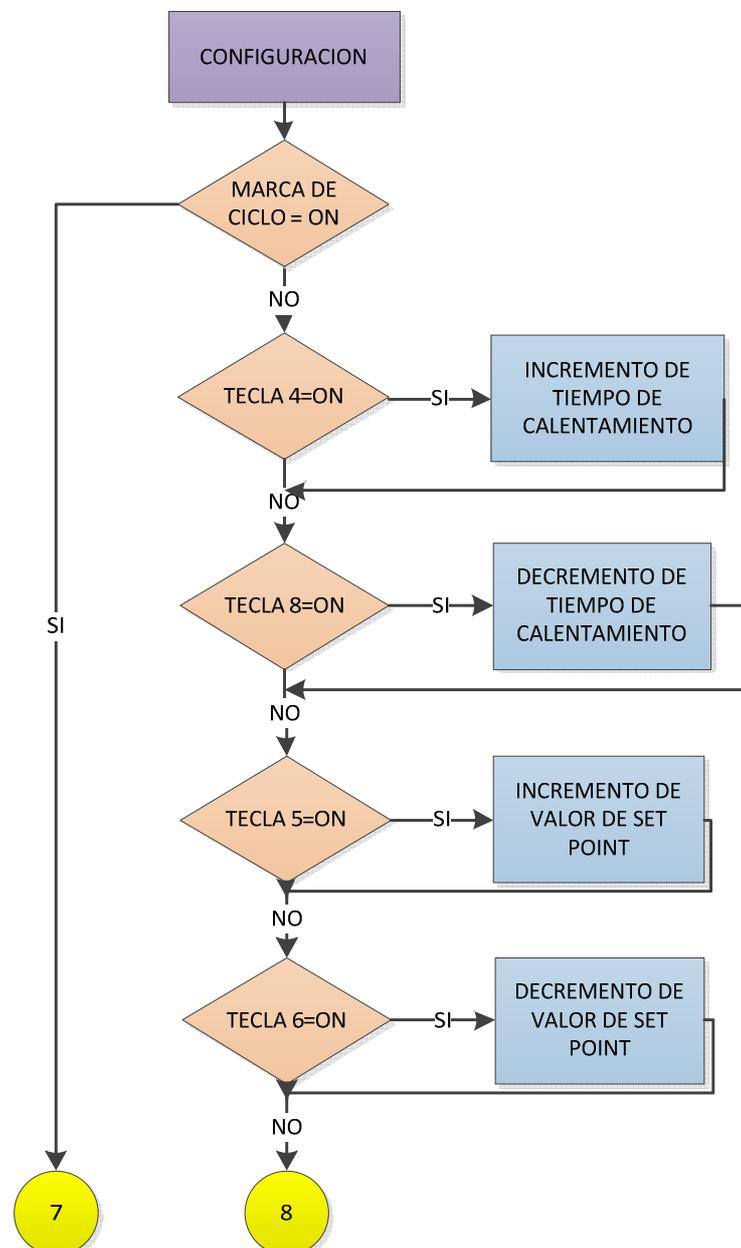


Fig.3.5 Diagrama de flujo del mando automático.

3.2.2.1 Configuración de variables.

La primera etapa del mando automático contempla el ingreso de los valores necesarios para realizar el futuro control de los diferentes ciclos, como la temperatura del horno, los tiempos de calentamiento, succión, enfriamiento, soplado y el número de zonas a utilizar.

Una vez que todos los parámetros estén configurados en base al producto que se desea obtener, se dará la señal de terminada la etapa.



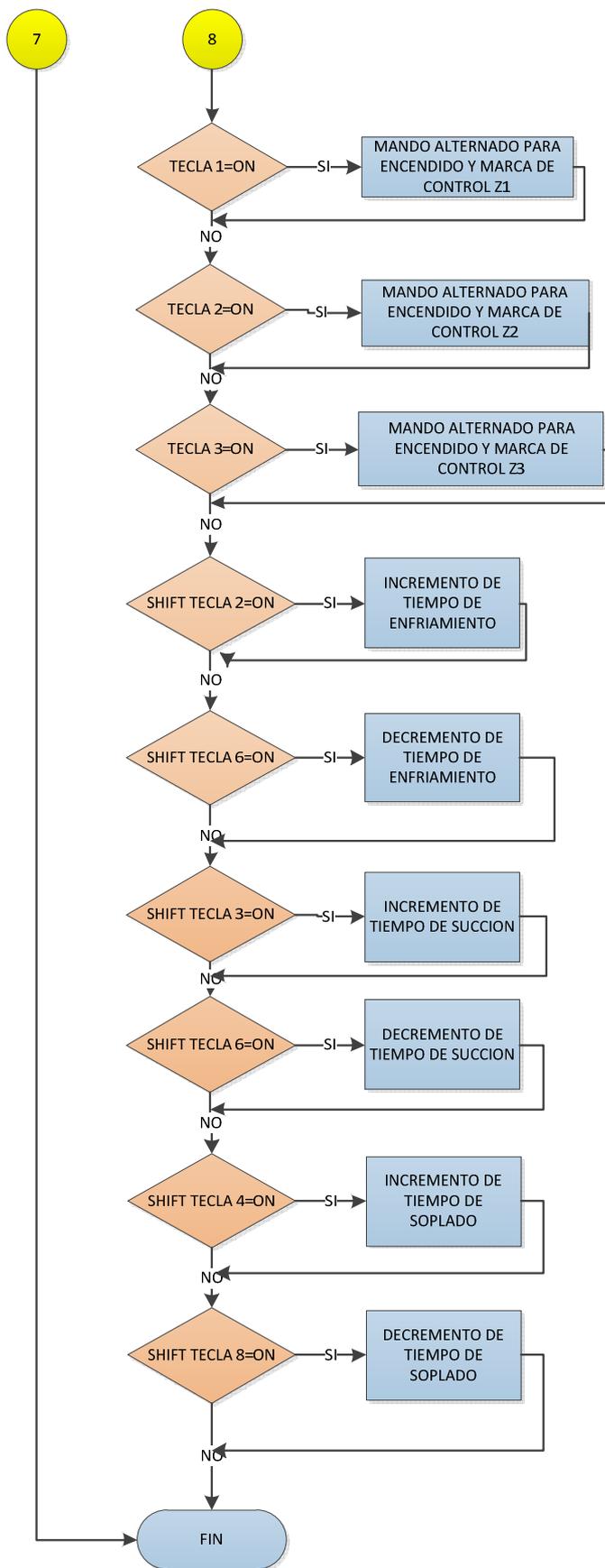


Fig. 3.6 Diagrama de flujo de configuración de variables

3.2.2.2 Condiciones Iniciales.

Continuando con la preparación de la máquina, ésta necesita posicionar sus actuadores, de tal manera que se encuentren listos para ejecutar sus respectivas funciones en un orden dado. Para esto se implementará una subrutina que contemplará las siguientes condiciones iniciales.

3.2.2.2.1 Posición del horno móvil.

Este elemento debe encontrarse fuera del área de formado, con la finalidad de que se precaliente y esté listo para ingresar una vez que la lámina esté fija en su posición de trabajo.

3.2.2.2.2 Posición del Molde.

Con la finalidad de que el operador pueda colocar la lámina plástica, la estructura del molde debe ubicarse en su posición inferior, lo que también evitará que ésta choque con el horno entrante.

3.2.2.2.3 Zonas de Calentamiento.

Se tiene tres zonas de calentamiento, las cuales se activarán de acuerdo a la etapa de configuración establecida; para iniciar el proceso, al menos una zona de calentamiento debe estar activa.

3.2.2.2.4 Enfriamiento.

Debido a que una perturbación por corriente de aire puede generar fallas en el producto, se necesita que el juego de ventiladores permanezca inactivo antes de iniciar el proceso.

Adicionalmente las electroválvulas que intervienen en el proceso deben estar apagadas.

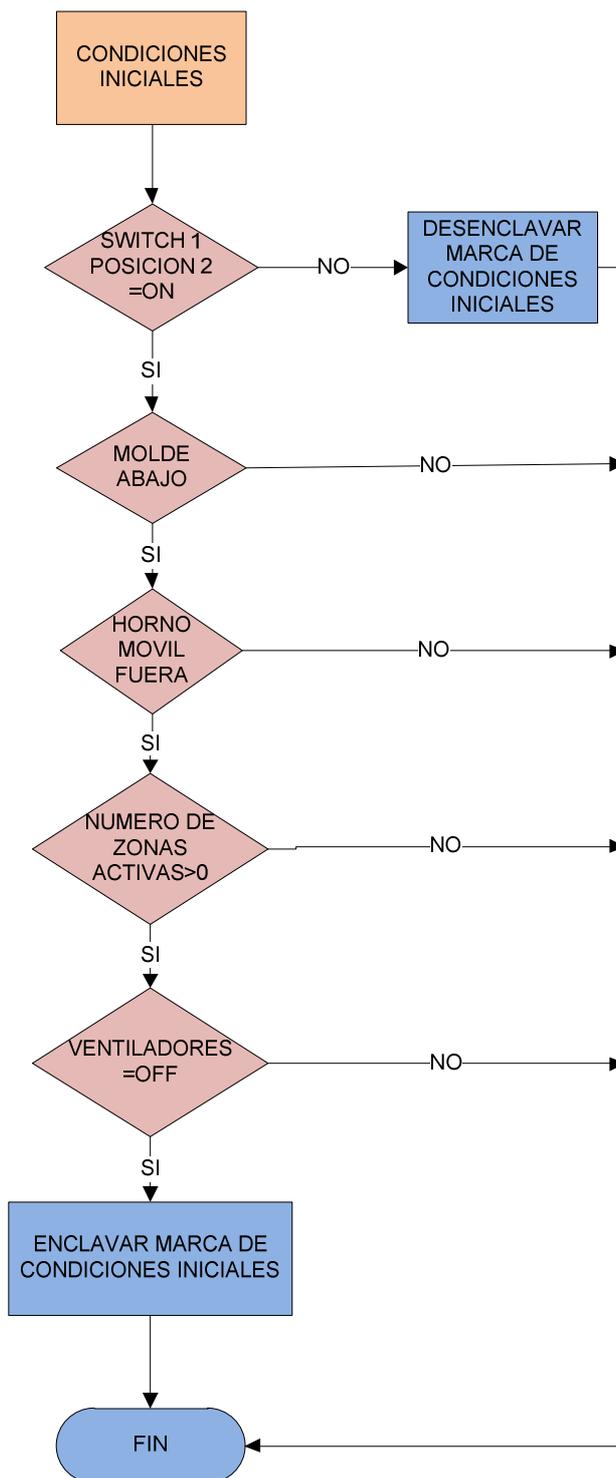


Fig.3.7 Diagrama de flujo de las condiciones iniciales en el proceso de termoformado.

3.2.2.3 Precalentamiento.

En esta etapa se preparará al horno con la temperatura configurada anteriormente, para lo cual se ha dispuesto un juego de termocupas tipo J que proporcionarán el valor de la variable de dos regiones para que luego de comparar con el valor del set point, realice un control por histéresis de las zonas previamente activadas.

Es importante destacar que las termocupas están dispuestas sobre las zonas uno, dos y tres respectivamente.

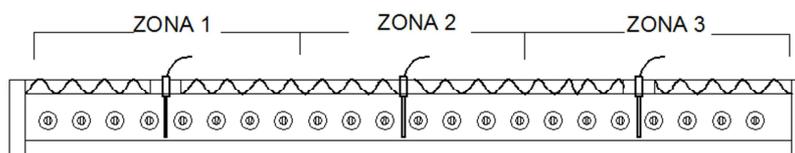


Fig.3.8 Zonas de calentamiento del horno móvil.

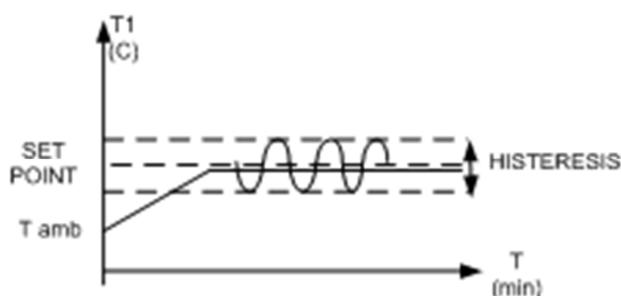


Fig.3.9 Curvas del control por histéresis de las zonas de calentamiento.

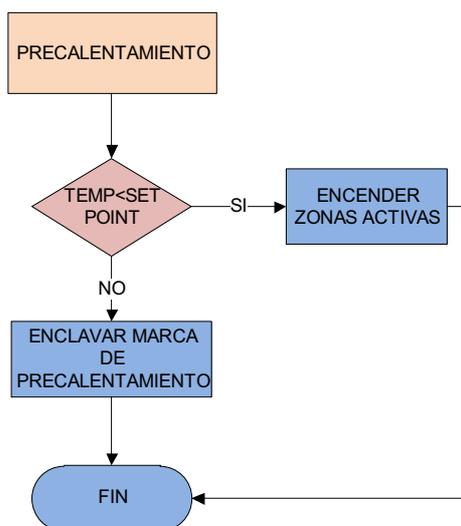


Fig. 3.10 Diagrama de flujo del subproceso de precalentamiento del proceso del termoformado.

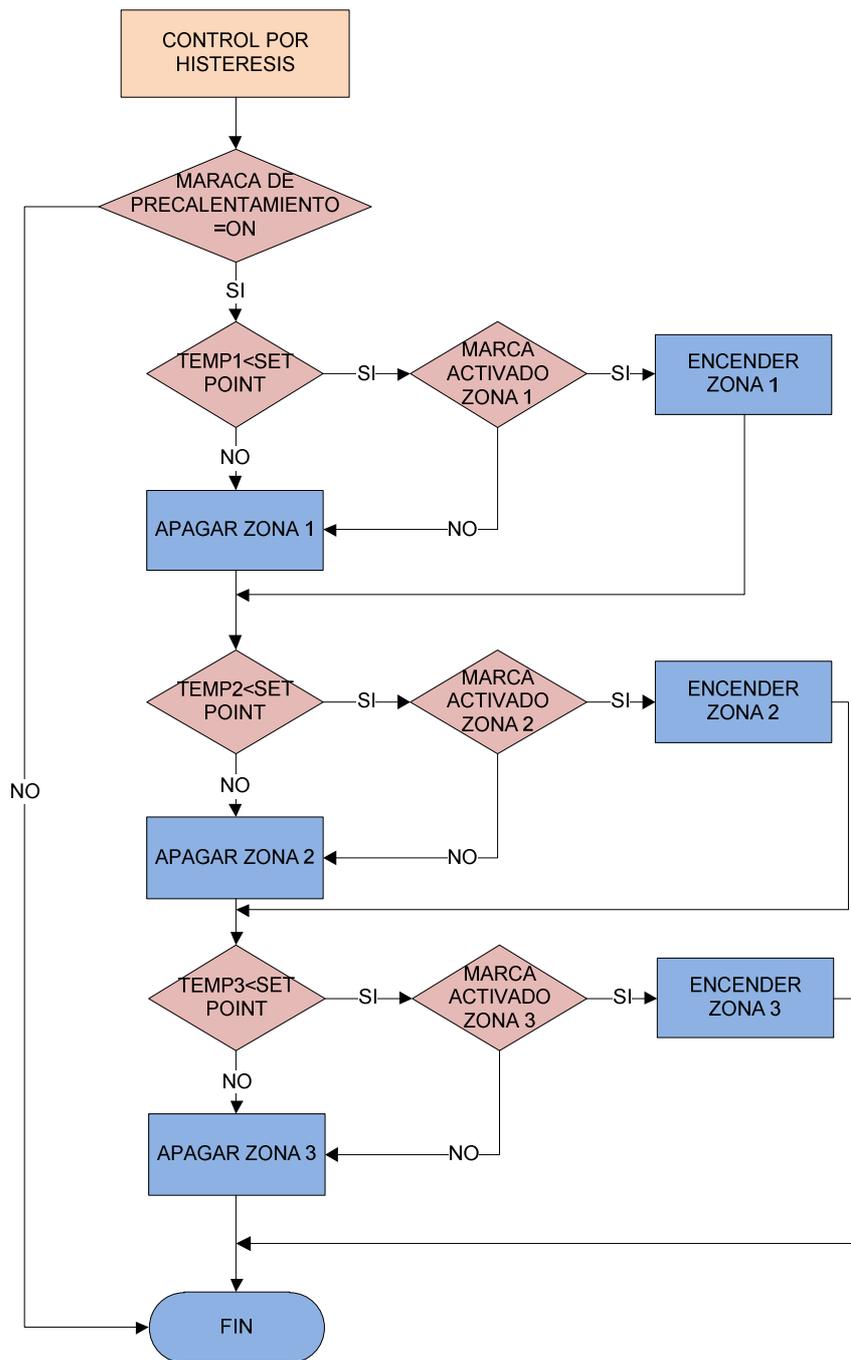


Fig. 3.11 Diagrama de flujo de la subrutina de control de histéresis.

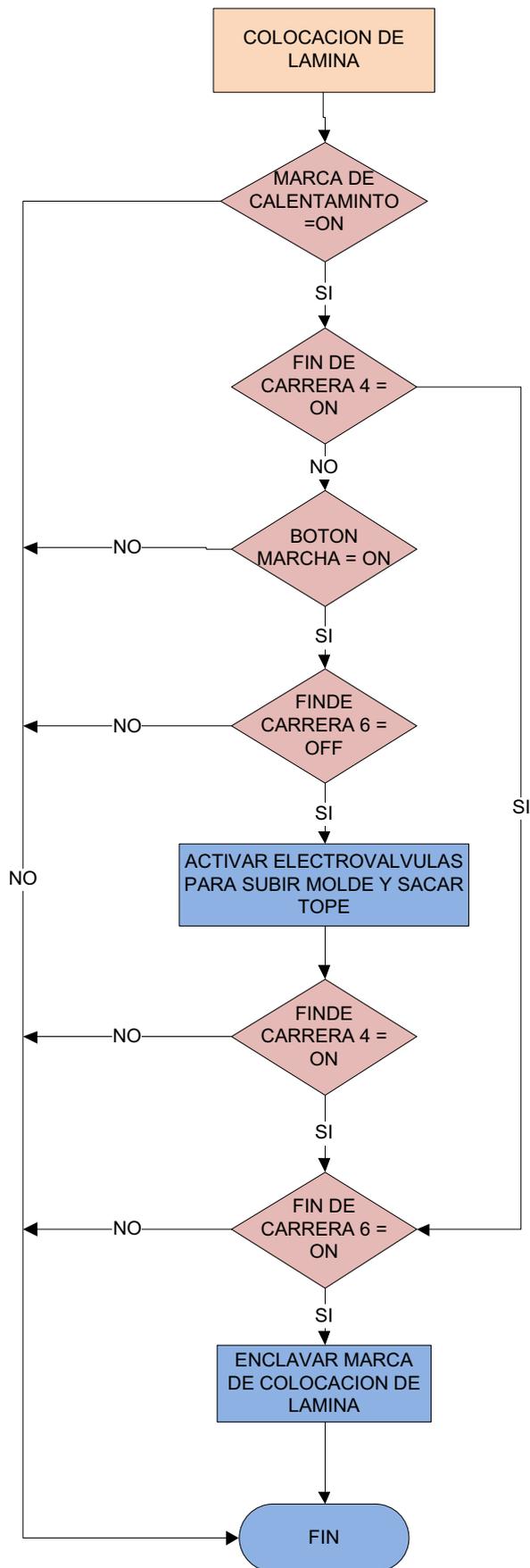


Fig. 3.12 Diagrama de flujo de la subrutina de colocación de la lámina.

3.2.2.4 Entrada del horno móvil.

La siguiente subrutina que no solo es usada en el mando automático, incluye las restricciones que se debe tomar en cuenta para que el horno pueda pasar a la zona donde se encuentra la plancha plástica.

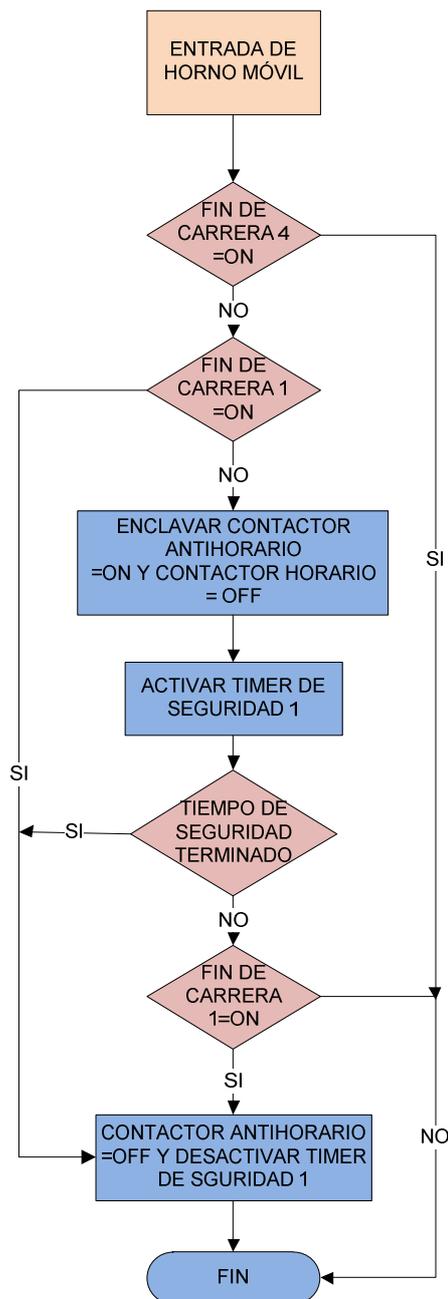


Fig.3.13 Diagrama de flujo del subproceso de entrada de horno móvil.

3.2.2.5 Tiempo de calentamiento.

Si bien a esta etapa concierne la programación de un valor de tiempo en un bloque de programación on delay, este valor es de vital importancia pues el tiempo que permanezca el horno sobre la lámina determinará el calentamiento de ésta.

Para el cálculo del tiempo que el horno debe permanecer sobre la lámina se tomará valores de forma experimental para poder obtener un valor aproximado de la temperatura ideal del horno.

3.2.2.6 Salida del horno móvil.

La siguiente subrutina que no solo es usada en el mando automático, incluye las restricciones que se debe tomar en cuenta para que el horno pueda salir de la zona donde se encuentra la lámina plástica.

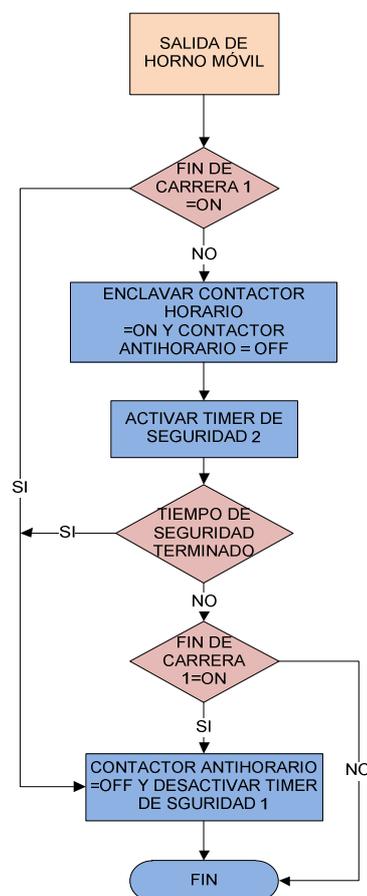


Fig.3.14 Diagrama de flujo del subproceso de salida de horno.

3.3 SOFTWARE DEL PLC.



Fig.3.15 Programa computacional Step7- Micro/Win 32.

Micro Win STEP 7 es un entorno profesional flexible que permite programar un gran número de autómatas de la familia SIEMENS. Para ello está dotado de una potente colección de librerías que almacenan las características específicas HW (perfiles) de cada autómata y los elementos de conexionado para configuraciones en red y pantallas (HMI).

Además de los lenguajes de representación ya conocidos (KOP, AWL y FUP), STEP 7 posee un potente lenguaje gráfico denominado S7-GRAPH que permite programar usando directamente graficets enfocado a la creación de menús en las diferentes pantallas compatibles con la CPU.

A continuación se muestra una tabla del tipo de datos que el programa puede manejar y un ejemplo de cómo se estructuraría una aplicación.

Número	Tamaño (bits)	Formato	Rango	Ejemplo
12	16		$\pm 2^{15}$	L 12
100000	32	L#	$\pm 2^{31}$	L L#10000
AF	8	B#	2^8	L B#16#AF
FF99	16	W#	2^{16}	L W#16#FF99
FF99AFAF	32	DW#	2^{32}	L DW#16#FF99AFAF
Binario	16	2#	2^6	L 2#0010101...
Binario	32	2#	2^{32}	L 2#100101000101...
5min 3seg	16	S5T#	0-9990 seg.	L S5T# 5M3S
BCD	16	C#	0-999	L C#890

Tabla.3.2 Tipos de datos que acepta Micro Win STEP 7.

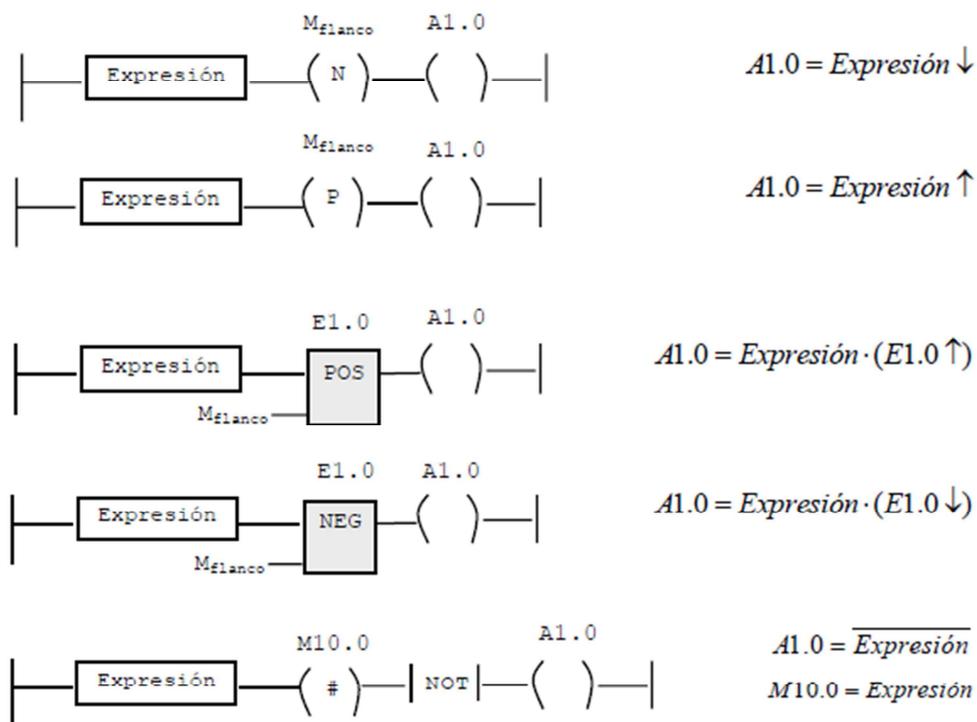


Fig.3.16 Estructura de una aplicación en el programa computacional Micro Win STEP 7.

3.4 ARQUITECTURA DEL PROGRAMA DE MONITOREO.

3.4.1 SOFTWARE DE PROGRAMACIÓN.

Como se mencionó anteriormente el programa elegido para realizar la interface gráfica fue LabVIEW de Nacional Instruments, la cual es una herramienta gráfica para pruebas, control y diseño mediante la programación a través de un lenguaje de programación tipo G (lenguaje gráfico).

Los programas desarrollados con LabVIEW se llaman Instrumentos Virtuales, o VIs, y su origen provenía del control de instrumentos, aunque hoy en día se ha expandido ampliamente al control de todo tipo de electrónica.

Para la aplicación aquí expuesta se ha tomado la versión LABVIEW 2009 y el TOOLKID DSC (Datalogging and Supervisory Control), el cual presenta la facilidad de comunicarse con una amplia gama de instrumentos y PLCs de diferentes marcas y diferentes protocolos comerciales.

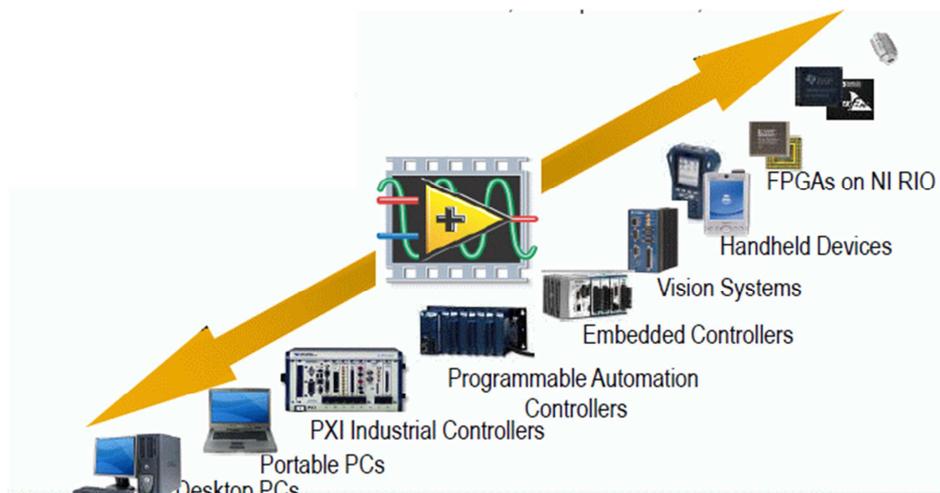


Fig.3.17 Ejemplos de la gama de instrumentos compatibles con el toolkit DSC de Labview.

De las múltiples aplicaciones que LABVIEW presenta se destaca la posibilidad de leer sistemas OPC (OLE for Process Control), que es un estándar de comunicación en el campo del control y supervisión de procesos industriales, basado en una tecnología Microsoft, que ofrece una interface común para comunicación, que permite que componentes de software individuales interactúen y compartan datos.

3.4.2 OPC SERVER

La comunicación OPC se realiza a través de una arquitectura Cliente-Servidor. El servidor OPC es la fuente de datos (como un dispositivo hardware a nivel de planta) y cualquier aplicación basada en OPC puede acceder a dicho servidor para leer/escribir cualquier variable que ofrezca el servidor.

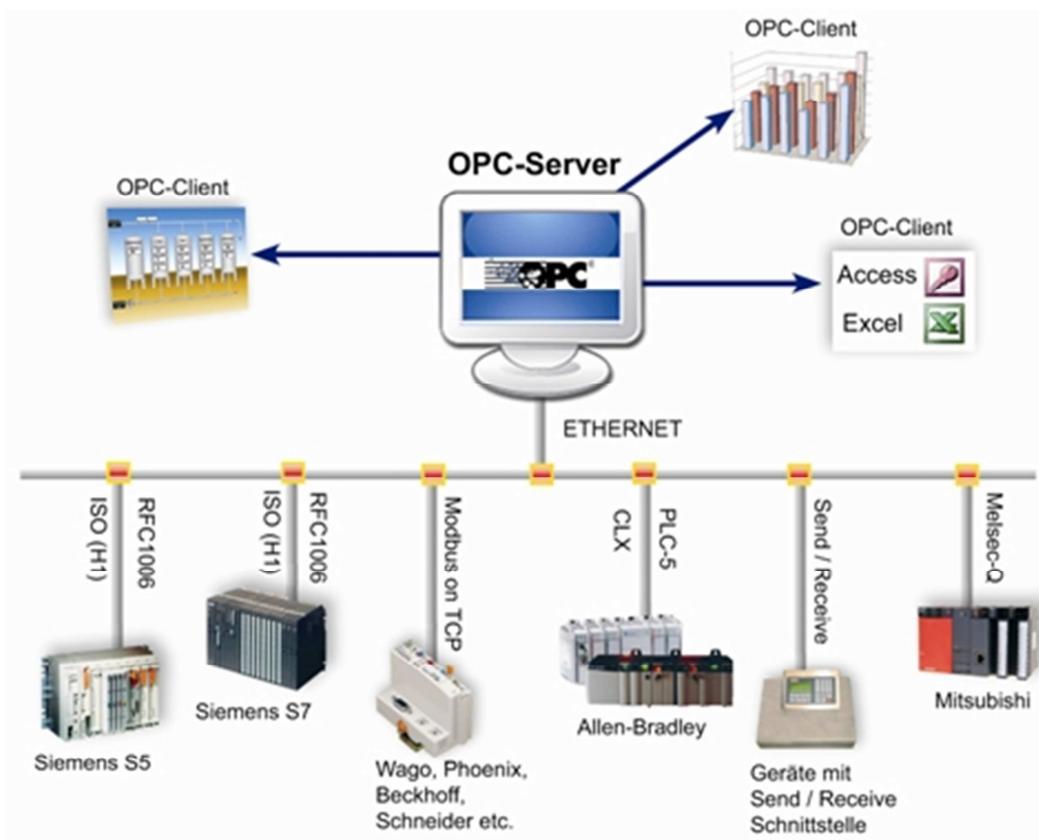
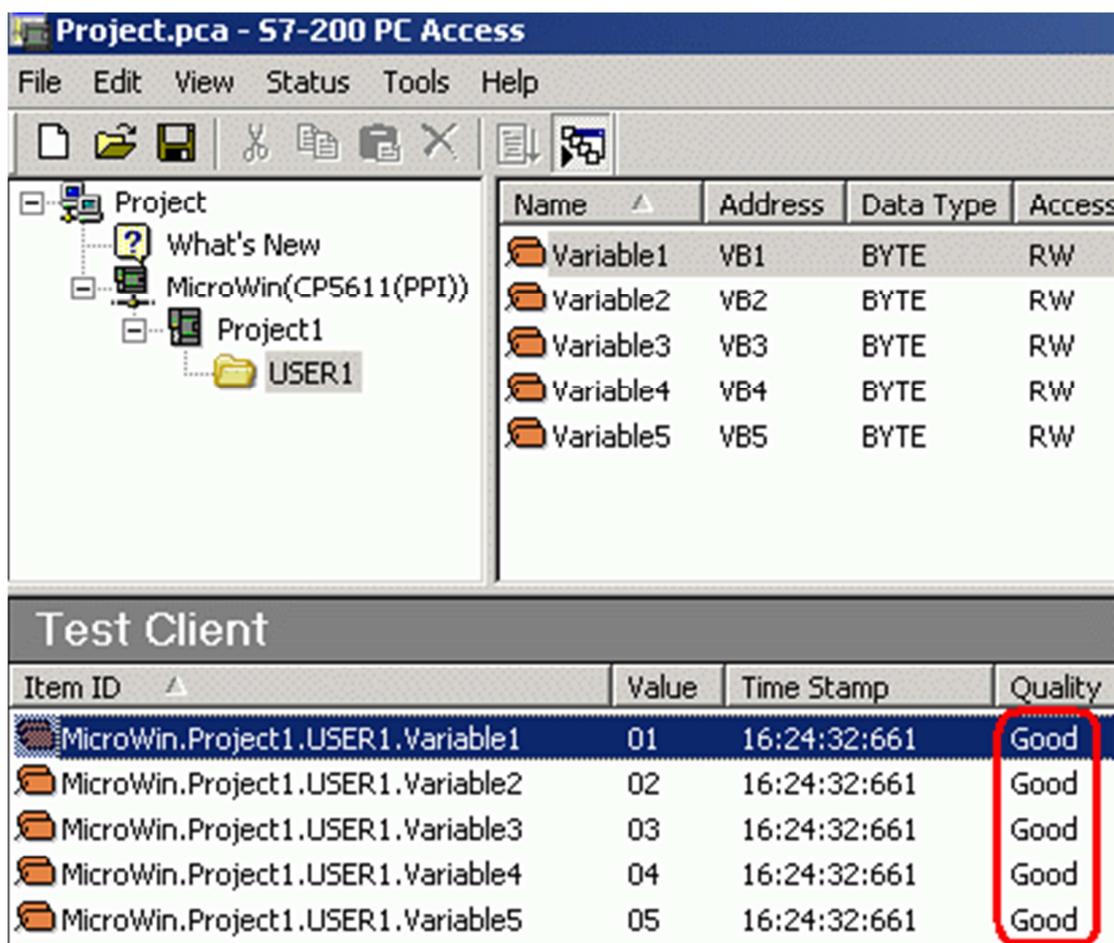


Fig.3.18 Arquitectura cliente servidor.

Si bien el toolkit DSC mencionado cuenta con un OPC incorporado el cual puede leer sin problemas los datos del PLC s7200, la capa física del cable de

programación hace que el direccionamiento sea diferente a casos tradicionales donde la comunicación se realiza en base a Rs-232 o Rs-485 a través de la utilización del puerto serial de la máquina. Para este caso particular el cable proporcionado por el distribuidor hace la conversión de RS-485 a USB generando así un problema de direccionamiento del puerto a leer pues éste no se reconoce como un puerto COM.

Es entonces que se hace necesaria la utilización de un OPC propio de Siemens como lo es Simantic PC ACCES el cual puede leer cualquier PLC de la marca con pocos parámetros de configuración como tipo de cable de comunicación que para el caso es Serial PPI PG/CPU, velocidad, número de bits, etc.



The screenshot displays the 'Project.pca - S7-200 PC Access' software interface. The top menu bar includes 'File', 'Edit', 'View', 'Status', 'Tools', and 'Help'. Below the menu is a toolbar with various icons. The left pane shows a project tree with 'Project' expanded to show 'What's New', 'MicroWin(CP5611(PPI))', 'Project1', and 'USER1'. The right pane shows a table of variables:

Name	Address	Data Type	Access
Variable1	VB1	BYTE	RW
Variable2	VB2	BYTE	RW
Variable3	VB3	BYTE	RW
Variable4	VB4	BYTE	RW
Variable5	VB5	BYTE	RW

Below the project tree is a 'Test Client' section with a table showing data from the PLC:

Item ID	Value	Time Stamp	Quality
MicroWin.Project1.USER1.Variable1	01	16:24:32:661	Good
MicroWin.Project1.USER1.Variable2	02	16:24:32:661	Good
MicroWin.Project1.USER1.Variable3	03	16:24:32:661	Good
MicroWin.Project1.USER1.Variable4	04	16:24:32:661	Good
MicroWin.Project1.USER1.Variable5	05	16:24:32:661	Good

The 'Quality' column in the 'Test Client' table is highlighted with a red box, indicating that all variables are being read successfully.

Fig.3.19 Pantalla de trabajo del PC ACCES.

Una vez lograda la comunicación entre el PLC y un computador convencional, la siguiente etapa es la generación del código que nos permitirá acceder a los datos del proceso.

Para llegar a una eficiente estructura de programación se ha tomado en cuenta la creación del algoritmo en forma secuencial de tal manera que éste se ejecutará en una serie de casos regidos por diferentes variables y señales que darán forma a un lazo.

La estructura que permite desarrollar el proceso antes descrito se denomina máquina de estados la misma que incorpora un lazo WHILE que hace que el ciclo sea continuo, una estructura CASE que comandado por un ENUM permite la creación de varios pasos que pueden ser condicionados de la manera que se requiera, un SHIFT REGISTER que cableado a estructuras tipo CLUSTER dan la disponibilidad de introducir una gran variedad de datos y manipularlos en los diferentes casos de una manera ordenada.

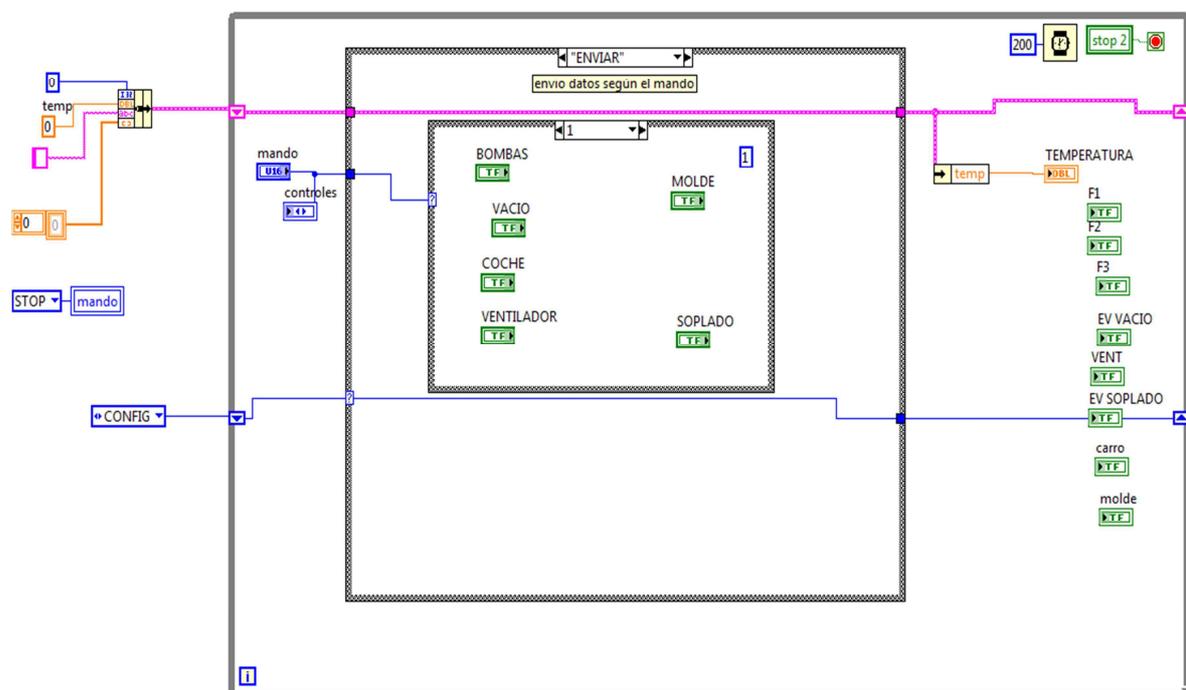
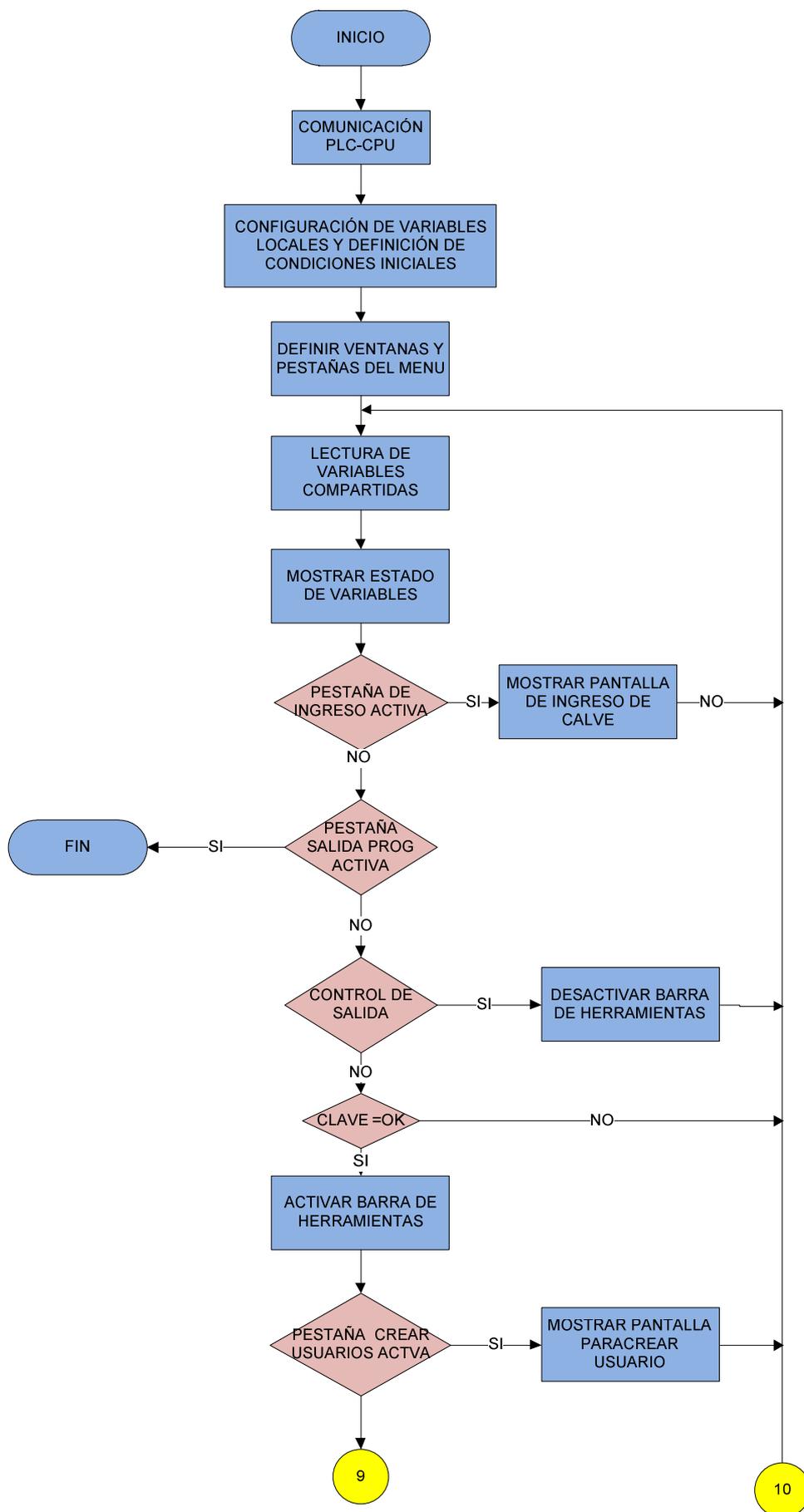


Fig.3.20 Pantalla de programa ejemplo realizado en el programa computacional Labview.

De lo expuesto anteriormente se puede definir la siguiente secuencia de proceso.



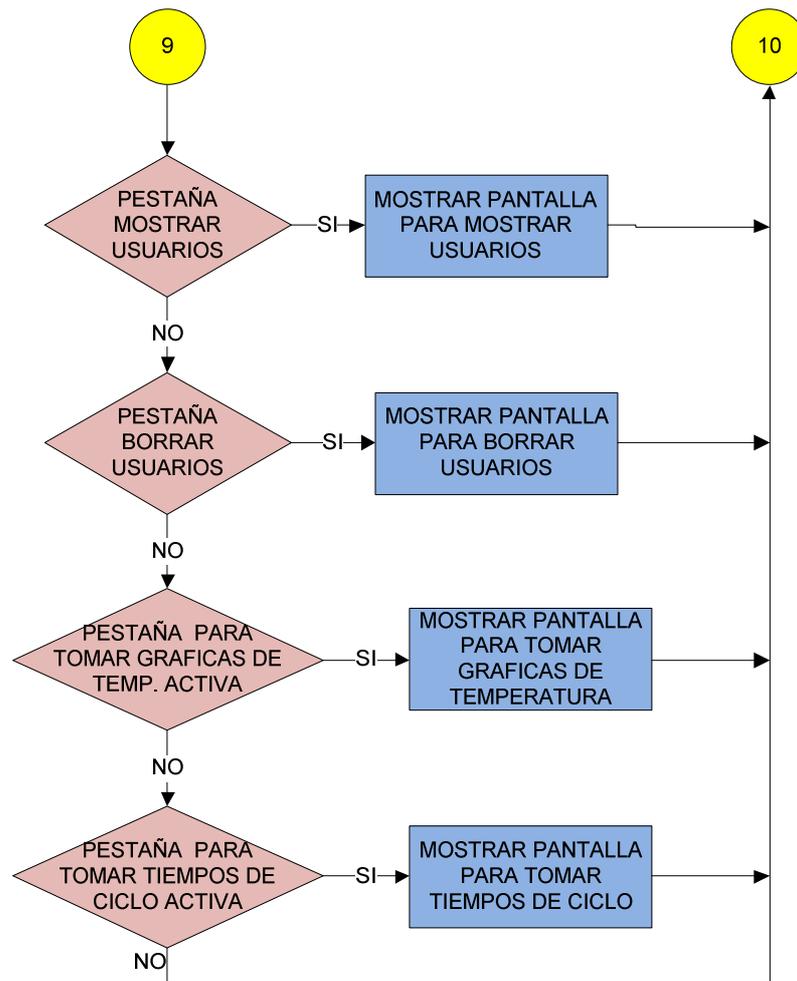


Fig.3.21 Diagrama de flujo de la interfaz hombre máquina.

En el siguiente capítulo se dará paso a las pruebas y resultados de la implementación y desarrollo del sistema de termoformado.

CAPÍTULO 4

PRUEBAS Y RESULTADOS

4.1 INTRODUCCIÓN

Este capítulo tiene como fin describir las pruebas de funcionamiento efectuados en la máquina termoformadora, realizadas en cada uno de los equipos y dispositivos eléctricos que intervienen en los subprocesos del proceso de termoformado de láminas plásticas.

4.2 PRUEBAS DE CONEXIONES ELÉCTRICAS.

Antes de realizar la instalación de los equipos y dispositivos eléctricos se comprobó su buen desempeño analizando que cumplan con los requerimientos y operatividad de los mismos, tanto para dispositivos adquiridos como para los que se conservaron realizando su respectivo mantenimiento.

Las pruebas se realizaron de la siguiente forma:

1. Pruebas de continuidad entre el panel de control y el tablero de control manual y demás dispositivos electrónicos instalados.
2. Pruebas de alimentación al panel de control y al panel de potencia.
3. Medidas de corriente y voltaje, obteniendo valores dentro de los rangos esperados, principalmente en los bancos de resistencias.



Fig. 4.1 Tablero de control.

Con estas pruebas se determinó que las conexiones estén correctamente ajustadas, conectadas y aisladas.

4.3 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL PROGRAMA EN EL PLC SIEMENS S7-200

Como se mencionó en el capítulo tres, el algoritmo de control consta de dos partes, una para el mando manual y otra para el mando automático. Cabe mencionar que los siguientes pasos se realizaron sin alimentación en los actuadores, gracias al seccionamiento a través de los elementos de protección.

Las pruebas se realizaron de la siguiente forma:

1.- Con el selector activado en mando manual se puede activar sin secuencia alguna los diferentes actuadores, teniendo en cuenta que para la activación de

todos los actuadores se utilizan las teclas de la pantalla TD-400 cuya disposición se ilustró en el capítulo 3.



Fig.4.2 Panel de instrumentos.



Fig.4.3 Panel de controles.

Al activar cada comando se tiene la respuesta esperada, dando como positiva ésta prueba de funcionamiento.

2.- Con el selector activado en mando automático se tiene una serie de subrutinas que en forma secuencial darán paso al proceso de termoformado.

Para esto es necesario pulsar el botón de inicio y simular los movimientos de la máquina activando los fines de carrera; con lo cual, al realizar esta prueba se obtiene una respuesta satisfactoria de todos los subprocesos que intervienen en esta etapa, como el cumplimiento de tiempos y activación de salidas.

4.4 PRUEBAS DEL SISTEMA NEUMÁTICO.

Este paso contempla la evaluación del estado y funcionamiento de las líneas de alimentación de aire, así como de los actuadores relacionados con el sistema.

Las pruebas se realizaron de la siguiente forma:

1. Se dio paso a la entrada de aire en la toma principal revisando si existen fugas en la misma.
2. Con la ayuda del mando manual se puede energizar cada una de las electroválvulas aislando los subprocesos y así poder encontrar y corregir errores del sistema neumático.

Con esto se logró verificar el accionamiento individual de cada electroválvula y se revisó si existen fugas de aire en las mangueras que conectan éstas.

Al encontrar fugas en mangueras y acoples debido al deterioro se reemplazó todos los acoples y mangueras normalizando su diámetro, excepto para los cilindros grandes que requieren de un calibre mayor de manguera.

4.5 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DE PARTES MÓVILES.

Para poder realizar esta prueba se procede a energizar todos los actuadores, excepto el banco de resistencias, las cuales se evaluarán posteriormente.

Se procede de la siguiente manera:

1. Con el mando en posición manual se activa individualmente cada uno de los actuadores, empezando por aquellos que no implican un movimiento, como ventiladores, contactores para resistencias y electroválvulas de vacío y soplado.



Fig. 4.4 Ventiladores.

Se obtiene un resultado satisfactorio del funcionamiento de los actuadores.

2. Con uno de los interruptores se procede a activar la subida del molde donde se observa que éste sube sin novedad alguna.
3. Con el último de los interruptores se comanda la entrada y salida del coche de resistencias, observando que la calibración de los fines de carrera sea la adecuada para evitar golpes en la estructura, adicionalmente se toma el tiempo que este elemento se mueve, con la finalidad de implementar un seguro en el programa de control y así, en caso de fallar uno de los fines de carrera, se desactivará el contactor correspondiente al movimiento del motor.



Fig. 4.5 Motor.

4. Por último, se prueba la sujeción de la lámina comprobando que la implementación de los dos cilindros adicionales brinda mayor estabilidad y presión.

4.6 PRUEBAS DEL SISTEMA DE CALENTAMIENTO.

Para esta prueba se acciona el seccionador principal del circuito de resistencias y se procede con los siguientes pasos:

1. Se enciende cada una de las zonas de calentamiento y se registra los valores de temperatura proporcionados por la pantalla, lo que muestra que es necesario aislar las termocupas para que solo recojan el valor de temperatura del ambiente y no el de las resistencias cercanas. Para ello se recubren las vainas con una chaqueta aislante de alta temperatura, de manera que solo sobresale el extremo de cada termocupla logrando valores razonables comparados con un medidor externo.



Fig. 4.6 Disposición de termocuplas con aislante térmico.

2. Una vez que el valor de temperatura es confiable, se procede a elevar la temperatura a un punto máximo y se pudo evidenciar que la estructura, a valores mayores a 250 °C tiende a deformarse y a ocasionar fricciones en las partes móviles. Para solucionar este inconveniente se decide reforzar la estructura que transporta las resistencias, colocando tensores en los extremos y robusteciendo los rodamientos laterales, dando como resultado una estructura ligeramente más pesada pero mucho más firme, claro está sin perjudicar el movimiento.
3. Luego de las mencionadas modificaciones se vuelve a tomar medidas de temperatura a puntos máximos, manteniendo el valor por un tiempo de más de 2 horas, obteniendo los siguientes resultados.
 - Estabilidad en la estructura a temperaturas altas.
 - Temperatura máxima del horno 264°C.
 - Tiempo en alcanzar temperatura máxima aproximadamente 20min.

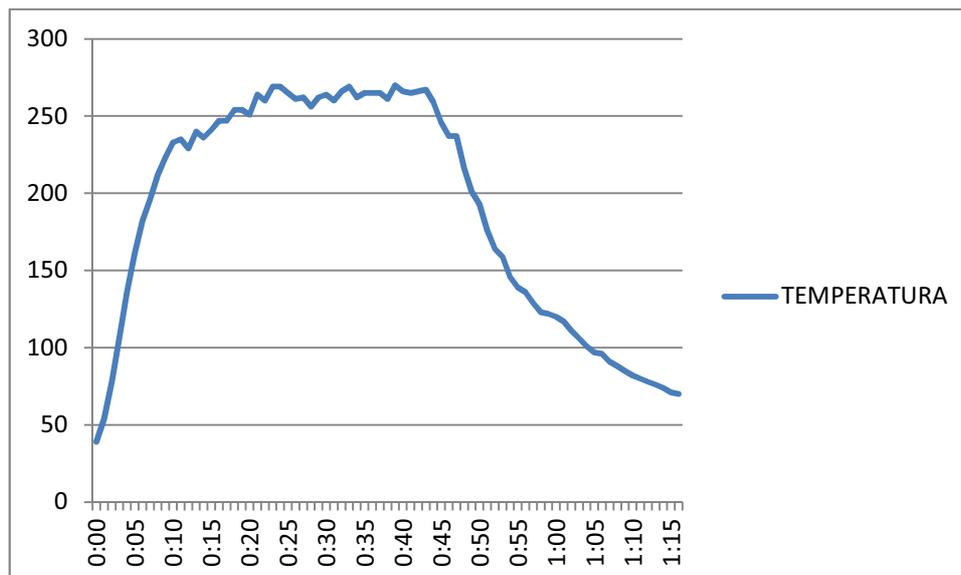


Fig.4.7 Gráfica temperatura [°C] vs tiempo del horno [Horas].

4. Prueba del control de temperatura obteniendo los resultados que se muestran en la siguiente gráfica.

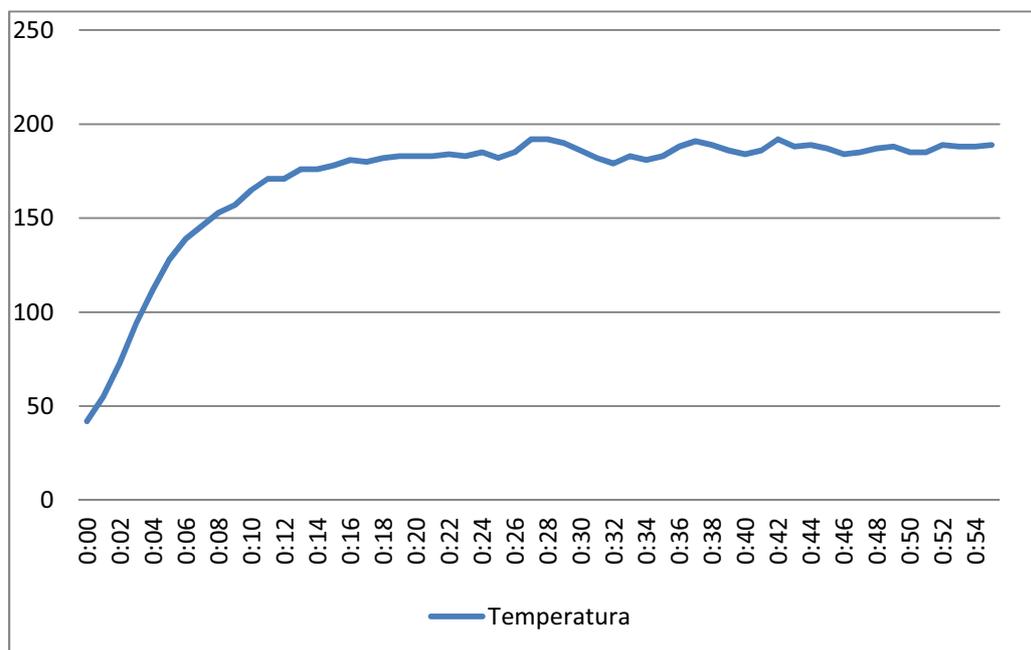


Fig.4.8 Gráfica temperatura [°C] vs tiempo del control del horno [Horas]..

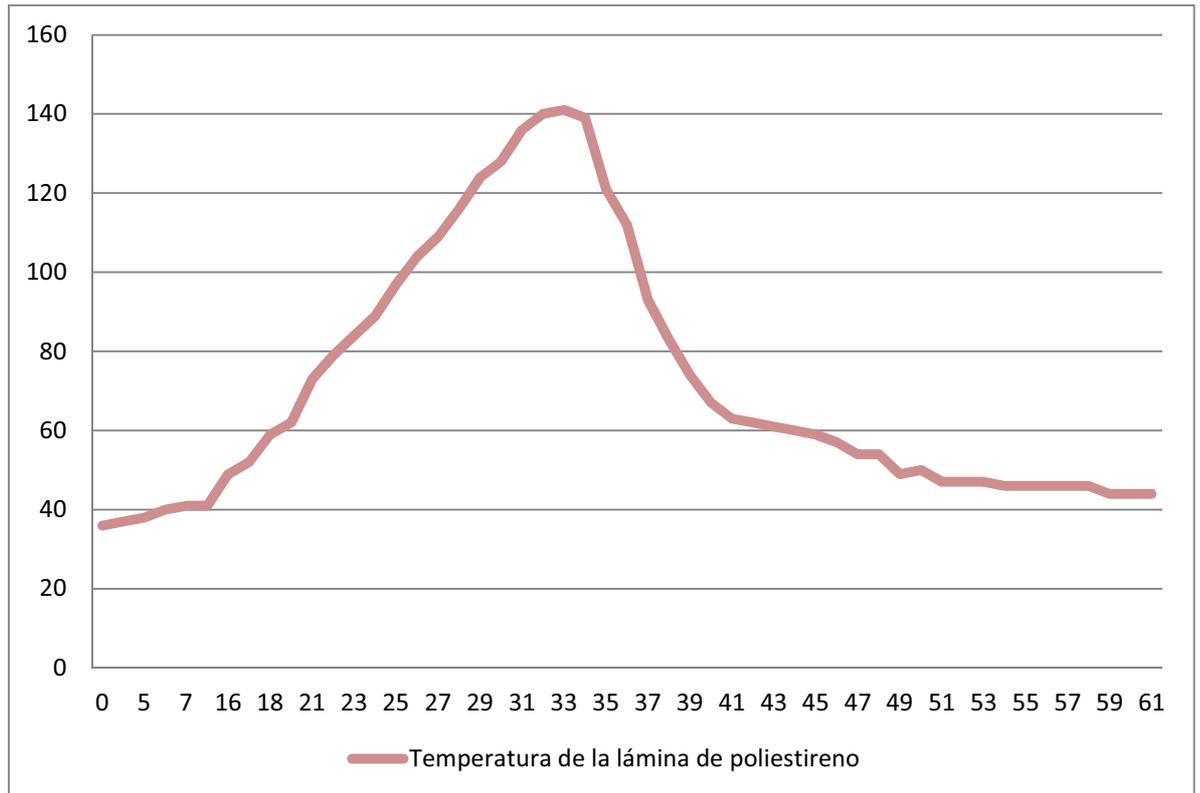


Fig.4.9 Temperatura de la lámina de poliestireno durante el proceso de termoformado. T [°C] vs t[s]

A continuación se detallan los tiempos con los respectivos subprocesos desarrollados durante el termoformado de la lámina de poliestireno.

TIEMPO [s]	SUBPROCESO
0 a 15	Lámina en condiciones ambientales.
16	Ingreso del calentador.
16 a 30	Calentamiento de la lámina.
32	Salida del calentador.
33	Sube molde.
34 a 38	Succión.
38 a 53	Enfriamiento.
53	Soplado (se realiza el desmolde).
53 a 61	Lámina terminada.

Tabla 4.1 Tiempos y subprocesos mostrados en la Fig. 4.10

4.7 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL OPC

En esta prueba se verifica si las variables inmersas en el algoritmo del PLC pueden ser leídas y modificadas por computador teniendo los siguientes resultados:

The screenshot shows the 'TERMOF-1 - S7-200 PC Access' window. It features a tree view on the left with 'termo1' selected. The main area displays a table of variables with columns for Name, Direction, Data Type, Access, and Comment. Below this is a 'Cliente de prueba' (Test Client) table showing the status of various tests.

Nombre	Dirección	Tipo de datos	Acceso	Comentario
MAN	M0.2	BOOL	RW	
CICLO	M0.3	BOOL	RW	Marca del ciclo on
PRENSADO	M1.6	BOOL	RW	Marca para el prensado
aux marcha	M3.1	BOOL	RW	
Fin	M6.3	BOOL	RW	Fin del ciclo
PESTON	Q0.0	BOOL	RW	
MOLDE	Q0.1	BOOL	RW	
SOPLADO	Q0.2	BOOL	RW	
YACIO	Q0.3	BOOL	RW	
VENTILADORES	Q0.4	BOOL	RW	
ZONA 1	Q0.5	BOOL	RW	
ZONA2	Q0.6	BOOL	RW	
ZONA3	Q0.7	BOOL	RW	
COHE IN	Q1.0	BOOL	RW	
COHE OUT	Q1.1	BOOL	RW	INDECA CONTACTOR AH ACTIVO
tin enfriamiento	VW102	INT	RW	
temp vacío	VW104	INT	RW	Tiempo de vacío
T SOP	VW106	INT	RW	Tiempo de soplado
Temp Z2	VW118	INT	RW	
Temp z3	VW120	INT	RW	
temperatura z1	VW122	INT	RW	
temp cal	VW130	INT	RW	Tiempo de calentamiento de la lamina

ID de Item	Valor	Marca de hora	Calidad
MicroWin.termo1.tin enfriamiento	+29796	11:32:04:460	Good
MicroWin.termo1.INTER MANUAL	0	11:32:04:460	Good
MicroWin.termo1.INTER AUTO	1	11:32:04:460	Good
MicroWin.termo1.interrupt molde	0	11:32:04:460	Good
MicroWin.termo1.F2 MED	0	11:32:04:460	Good
MicroWin.termo1.F4 DOWN	1	11:32:04:460	Good
MicroWin.termo1.F3 IN	0	11:32:04:460	Good
MicroWin.termo1.F1	1	11:32:04:460	Good
MicroWin.termo1.F5 UP	0	11:32:04:460	Good
MicroWin.termo1.FARO EMERGENCIA	1	11:32:04:460	Good
MicroWin.termo1.F6 PRENSA	1	11:32:04:460	Good

Fig. 4.10 Recepción de datos PC ACCES.

Se puede observar que el software PC ACCES de SIEMENS logra establecer correctamente la comunicación entre el PLC y un computador con plataforma Windows XP a través del puerto USB.

4.8 PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO DEL HMI.

Una vez que los datos son almacenados en el computador, se procede a verificar si éstos pueden ser procesados por la interfaz gráfica desarrollada, se obtienen los siguientes resultados:

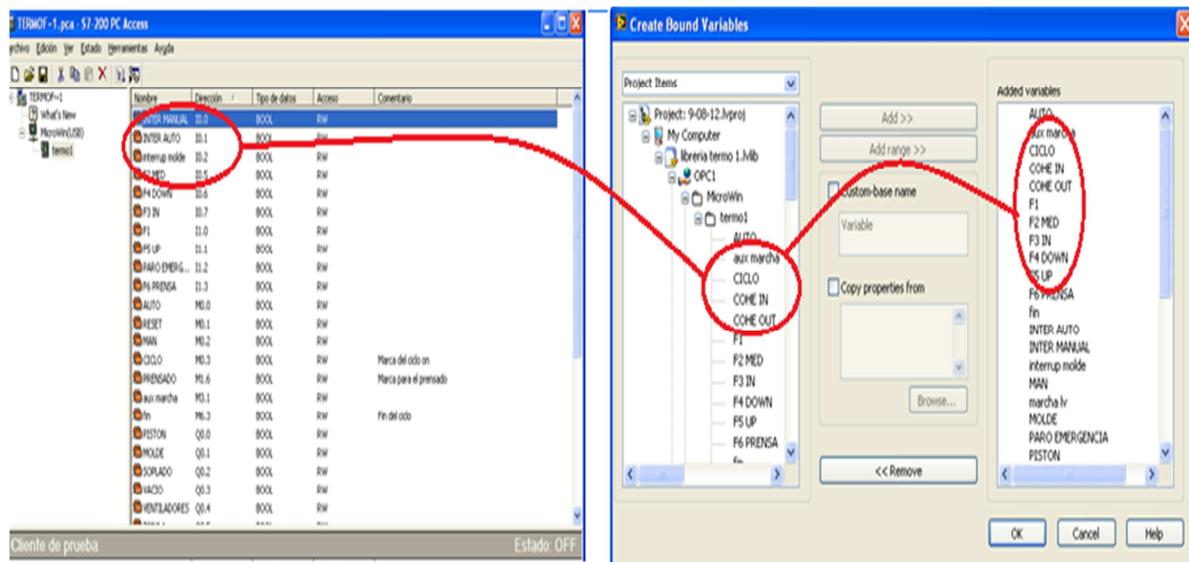


Fig.4.11 Intercambio Labview PC Acces.

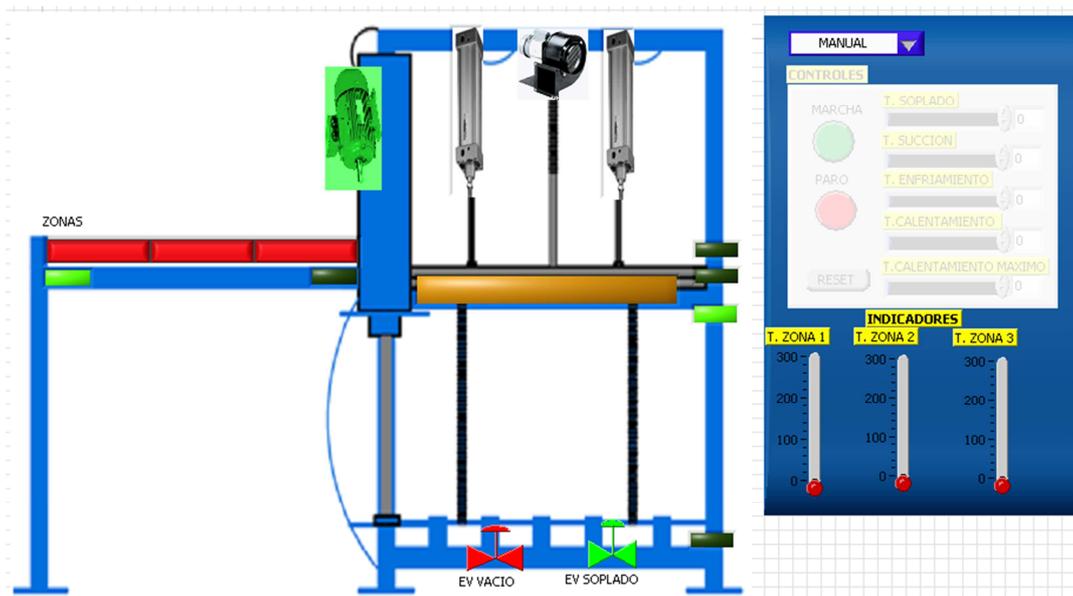


Fig.4.12 Pantalla frontal

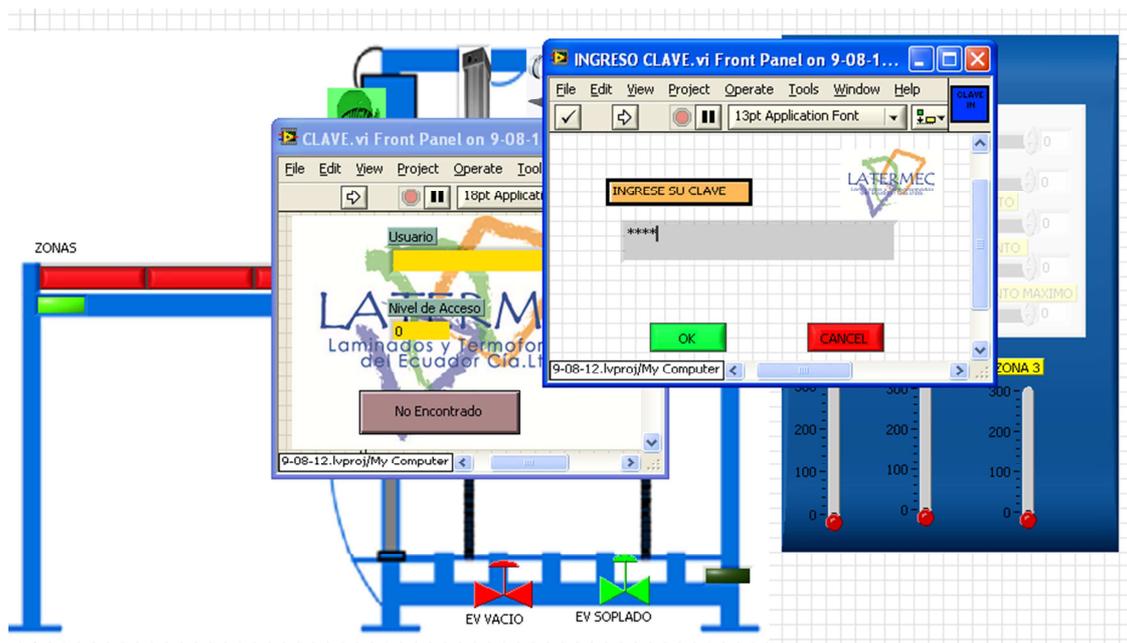


Fig. 4.13 Ingreso de clave.

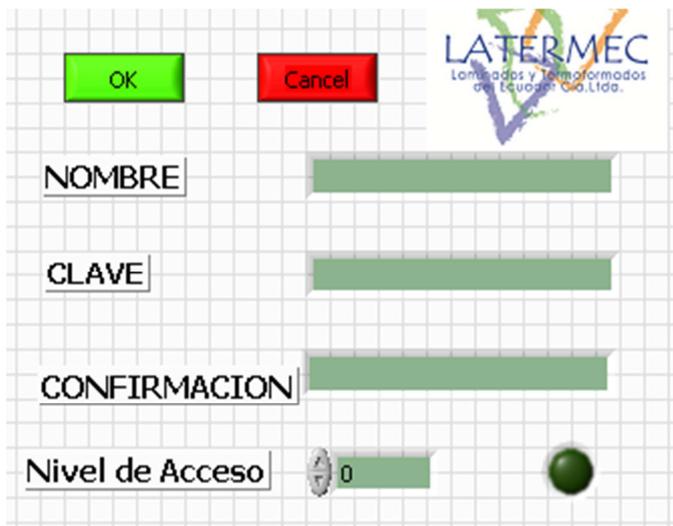


Fig.4.14 Creación de un nuevo usuario.

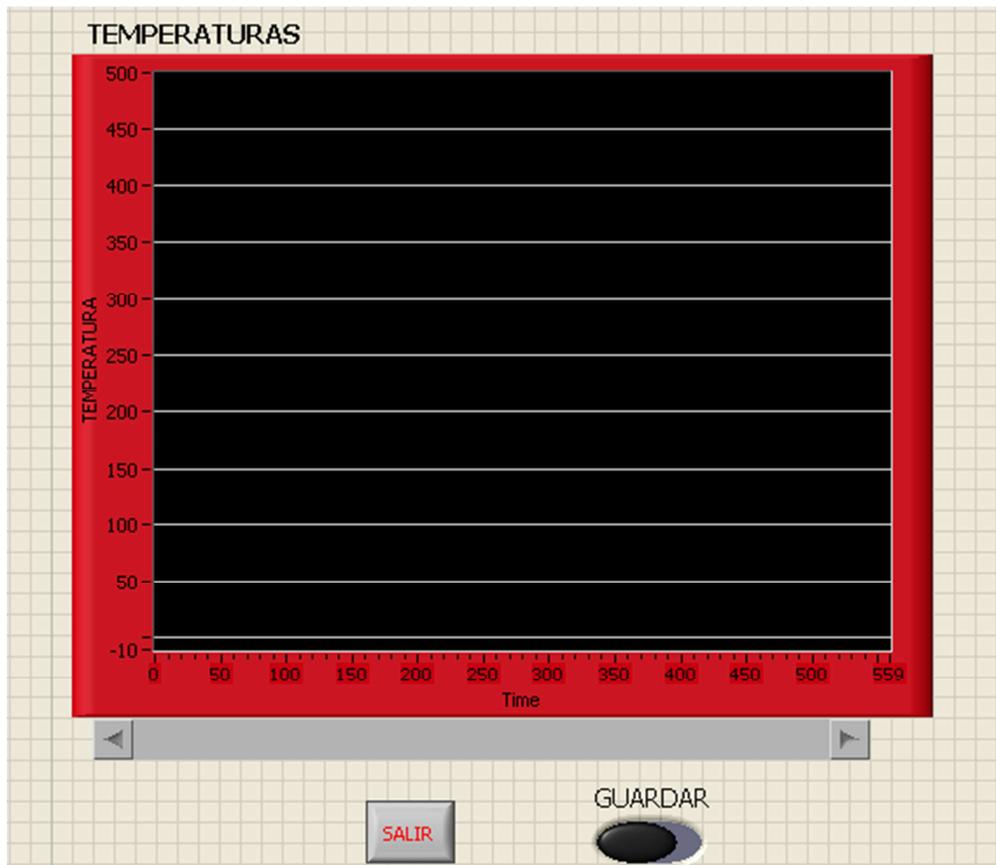


Fig.4.15 Pantalla de monitoreo de temperaturas.

4.9 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL PROCESO DE TERMOFORMADO.

Para esta prueba es necesaria la colocación de un molde para realizar el termoformado de las tapas de chova para lo cual, según especificaciones, se requiere de láminas de poliestireno de 0,4 mm de espesor cuyo termoformado constituye el propósito de este proyecto de titulación.

Para esta prueba se requiere de un operario previamente capacitado en el manejo de la máquina termoformadora el cual realiza lo siguiente:

1. Precalentamiento por aproximadamente 15 minutos la máquina termoformadora antes de iniciar el proceso, esto se lo hace para calentar las zonas frías así como la estructura propia de la máquina.

2. Se teja los parámetros tanto para el tiempo de calentamiento, temperatura de calentamiento, succión, soplado y enfriamiento.
3. Coloca la lámina sobre el área a termoformar presando con el marco metálico.
4. Se pulsa el botón de inicio.

Se obtuvieron los siguientes resultados:

1. El termoformado cumple con los requerimientos establecidos por la empresa.
2. Los tiempos en la etapa de calentamiento bajaron, ya que comparando con una máquina termoformadora de similares características antes de la automatización se tienen tiempos de 40 a 45 segundos en la etapa de calentamiento de la lámina y ahora se tienen entre 10 a 15 segundos.
3. Las perturbaciones que se tienen debido a condiciones ambientales son mínimas en el proceso de termoformado.



Fig. 4.16 Producto termoformado.

En la Fig. 4.16 se puede apreciar el producto termoformado con la máquina automatizada.



Fig. 4.17 Producto terminado.

En la Fig. 4.17 se encuentra el producto terminado el cual pasa por los procesos de termoformado, troquelado y pegado adhesivo.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES.

- Con este proyecto de titulación, se logra automatizar la máquina termoformadora de la empresa Latermec Cía. Ltda., reemplazando la instrumentación existente en el proceso de termoformado, creando un algoritmo de control el cual permite que los subprocesos del proceso de termoformado se desarrollen secuencialmente. Se implementó una interfaz hombre máquina la cual nos permite manipular y visualizar los subprocesos del proceso de termoformado.
- Para la automatización de la máquina de termoformado se realizó un estudio previo de ésta, conociendo el proceso y los subprocesos que intervienen en la automatización y debido a la antigüedad de esta máquina, fue importante la experiencia del operador quien supo dar información relevante de las falencias que tiene la máquina al realizar el termoformado así como sugerencias para mejorar el termoformado, realizando así un correcto diseño e implementación del nuevo sistema de control.
- La realización de los diagramas de flujo de una forma adecuada es importante para el diseñador, ya que estos diagramas indican la secuencia del proceso ayudando a programar de una forma ordenada y correcta, con lo cual el diseñador realiza un análisis del problema y da solución de una mejor manera al problema.
- En el desarrollo de este proyecto de titulación se pudo comprobar que la Electrónica y Control va de la mano de la parte mecánica, ya que al realizar

el control sin un correcto diseño mecánico se tiene un control deficiente obteniendo una mala automatización.

- Se debe considerar la dilatación de los materiales mecánicos empleados cuando se trabaja con temperatura ya que en este caso al llegar el horno a temperaturas superiores a 220 °C, las partes mecánicas comenzaron a pandearse creando un gran problema en el desarrollo de este proyecto, por lo que se tuvo que realizar un rediseño de la parte estructural de la máquina termoformadora.
- Al considerar las pruebas y resultados, se puede concluir que la automatización de la máquina termoformadora cumple con los requerimientos exigidos por la empresa, así como los objetivos y alcances propuestos en este proyecto de titulación.

5.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda que la empresa debe dar un mantenimiento preventivo y no solo correctivo en el sistema de termoformado, debido a la antigüedad de algunas partes mecánicas de la máquina.
- Se recomienda adquirir un nuevo sistema de bombas de succión, ya que éstas presentan fallas mecánicas debido a su antigüedad.
- El personal que va operar la máquina debe ser previamente capacitado, ya que un uso inadecuado de la máquina podría ocasionar serias lesiones al personal.
- La empresa debe capacitar al personal en seguridad ya que se trabaja con plásticos y el calentamiento de éstos y su inadecuado uso ocasionarían serios daños en la planta industrial.

- Se recomienda que para garantizar un buen funcionamiento y una vida prolongada del equipo, se revisen y distribuyan de mejor manera las instalaciones de acometidas principales, pues a pesar de las protecciones consideradas, un siniestro cercano podría afectar al sistema descrito.

- Pensando en el mejoramiento del sistema se recomienda incorporar un módulo de entradas adicionales al PLC con el fin de agregar sensores que permitan garantizar la seguridad del operario tales como sensores de presencia.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] WIKIPEDIA, “Plásticos”,

<http://sena-prov-2009-suarezjurado.lacoctelera.net/post/2009/03/21/plasticos-materias-primas-utiles-y-han-formado-grandes>

[2] WIKIPEDIA, “Extrusión de polímero”,

http://es.wikipedia.org/wiki/Extrusi%C3%B3n_de_pol%C3%ADmero

[3] WIKIPEDIA, “Moldeo por inyección”,

http://es.wikipedia.org/wiki/Moldeo_por_inyecci%C3%B3n

[4] WIKIPEDIA, “Moldeo por soplado”,

http://www.quimica.es/enciclopedia/Moldeo_por_soplado.html

[5] WIKIPEDIA, “Calandria”,

[http://es.wikipedia.org/wiki/Calandria_\(m%C3%A1quina\)](http://es.wikipedia.org/wiki/Calandria_(m%C3%A1quina))

[6] TECNOIND1ZURITA, “Métodos de conformado”,

<http://tecnoind1zurita.wikispaces.com/M%C3%A9todos+de+conformado>

[7] WIKIPEDIA, “Moldeo por compresión”,

http://es.wikipedia.org/wiki/Moldeo_por_compresi%C3%B3n

[8] QUIMINET, “Termoformado”,

<http://www.quiminet.com/articulos/que-es-el-termoformado-32016.htm>

[9] CURSO DE CEATECI, “Termoformado a nivel pyme”. Tomo 1 año 2010

[10] PLASTIGAS, “Termoformado”,

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

[11] **LATERMEC**, “Exhibidores”,

<http://www.latermec.com.ec/exhibidores.htm>

[12] **SIEMENS**, “Manual de usuario S7-200 CPU 224”, Edición 08/2005

[13] **JORGE MOLINA**, “Apuntes de control industrial”.