

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL CONTROL DE DOS HORNOS
INDUSTRIALES UTILIZADOS EN EL PROCESAMIENTO DE
PLANCHAS ACRÍLICAS PARA LA EMPRESA ACRILUX S.A.**

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

NARANJO SÁNCHEZ JOSÉ FERNANDO

nando842@hotmail.com

DIRECTOR: ING. EFRAÍN OSWALDO BUITRÓN BUITRÓN

obuitrón@mailfiec.epn.edu.ec

QUITO ABRIL 2013

DECLARACIÓN

Yo, José Fernando Naranjo Sánchez, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis 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.

José Fernando Naranjo Sánchez

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por José Fernando Naranjo Sánchez, bajo mi supervisión.

Ing. Oswaldo Buitrón
DIRECTOR DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTO

Agradezco al Ing. Ricardo Medina, Gerente General de ACRILUX S.A y al Ing. Joe Hidalgo, Jefe de Planta, por brindarme la confianza y darme la oportunidad de realizar el proyecto de titulación en su empresa.

También agradezco al Ing. Oswaldo Buitrón, ya que gracias a sus consejos y en especial a sus conocimientos, fue un excelente guía para la culminación de este proyecto.

Agradezco a Dios por guiar mi camino así como a mi querida familia, mi mamá Maritza que en paz descansa, gracias por ayudarme hasta media carrera, y la otra mitad yo sé que me diste fuerzas desde el cielo para que culmine lo más pronto posible, a mi papá José, gracias por guiarme y apoyarme pese a la distancia, y a mi hermano Andrés, gracias por brindarme tu apoyo a pesar de los malos momentos.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres: Maritza y José, que desde pequeño me supieron guiar a base de sacrificio y amor, a mi hermano Andrés, por estar conmigo en las buenas y en las malas, y a Evelyn, por tu cariño y sinceridad, me ayudaron a culminar con éxito este proyecto.

Igualmente dedico este proyecto a mis tíos, abuelos y a todas las personas que se preocuparon por mí.

CONTENIDO

DECLARACIÓN.....	I
CERTIFICACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
DEDICATORIA.....	IV
CONTENIDO.....	V
RESUMEN.....	IX
PRESENTACIÓN.....	X

CAPITULO 1

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

1.1	EL ACRÍLICO.....	1
1.2	GENERALIDADES DEL ACRILICO.....	1
1.2.1	DEFINICIÓN DEL ACRÍLICO.....	1
1.2.2	PROPIEDADES Y APLICACIONES DEL ACRÍLICO.....	2
1.2.3	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL ACRÍLICO.....	4
1.3	PROCESOS DE FABRICACIÓN DE PLANCHAS ACRÍLICAS.....	5
1.3.1	POLIMERIZACIÓN EN MASA.....	5
1.3.1.1	Polimerización en masa por lotes de células.....	6
1.3.1.2	Polimerización en masa continua.....	8
1.3.2	PROCESO DE EXTRUSIÓN.....	9
1.3.3	DIFERENCIAS ENTRE PROCESO DE POLIMERIZACIÓN EN MASA Y EXTRUSIÓN.....	11
1.4	TRATAMIENTOS TÉRMICOS EN PLANCHAS ACRÍLICAS.....	13
1.4.1	POLÍMEROS ADECUADOS PARA EL PROCESO DE COCCIÓN....	15
1.4.2	EQUIPOS PARA LA COCCIÓN DE LAS PLANCHAS ACRÍLICAS....	16
1.5	CONSIDERACIONES TÉRMICAS PARA POSIBLES CAUSAS Y SOLUCIONES PARA DEFECTOS EN PLANCHAS ACRÍLICAS.....	19
1.6	HORNOS SIMILARES PARA EL PROCESO DE COCCIÓN.....	21

CAPITULO 2

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL HARDWARE DEL SISTEMA

2.1	DESCRIPCIÓN ACTUAL DEL SISTEMA.....	22
2.2	DISEÑO DEL NUEVO SISTEMA DE CONTROL.....	29
2.2.1	DEFINICIONES DE LOS ELEMENTOS DEL NUEVO SISTEMA DE CONTROL.....	32
2.2.1.1	PLC.....	32
2.2.1.2	Termopares tipo K.....	37
2.2.1.3	Electroválvula.....	39
2.2.1.4	Motor de inducción jaula de ardilla.....	40
2.2.2	CURVA DE TEMPERATURA REQUERIDA PARA EL PROCESO.....	40
2.2.2.1	Control por Histéresis.....	43
2.3	CONSIDERACIONES GENERALES PARA DIMENSIONAR EL PLC...	45
2.4	ANÁLISIS DE ENTRADAS Y SALIDAS DEL SISTEMA DE CONTROL	46
2.4.1	ANÁLISIS DE ENTRADAS.....	46
2.4.2	ANÁLISIS DE SALIDAS.....	47
2.4.3	SELECCIÓN Y CARACTERÍSTICAS DEL PLC CON SUS MÓDULOS	47
2.4.3.1	Características generales del PLC SIEMENS S7-1200 CPU 1212C....	48
2.4.3.2	Característica del Módulo SM1223.....	49
2.4.3.3	Características del Módulo SM1231 AI4XTC.....	51
2.5	INTERFAZ HMI DEL SISTEMA DE CONTROL.....	56
2.5.1	CARACTERÍSTICAS DEL PANEL VIEW KTP600 BASIC MONO.....	57
2.6	INSTALACIÓN DEL PANEL DE CONTROL.....	58
2.6.1	CONTROL DEL HORNO INDUSTRIAL 1.....	58
2.6.2	DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL CIRCUITO DE FUERZA DEL ARRANQUE DE MOTORES DEL HORNO INDUSTRIAL 2.....	66
2.6.2.1	Circuito de Fuerza para el arranque de los motores.....	67
2.6.2.2	Instalación del chasis para el circuito de fuerza.....	68
2.6.3	INSTALACIÓN DE LAS ELECTROVÁLVULAS.....	69
2.6.4	INSTALACIÓN DE LOS TERMOPARES.....	70

CAPITULO 3

DESARROLLO DEL SOFTWARE DEL SISTEMA DE CONTROL

3.1	PRINCIPIOS BÁSICOS DE PROGRAMACIÓN.....	71
3.1.1	TIPOS DE BLOQUE DE PROGRAMA EN EL S7-1200.....	71
3.1.1.1	Bloque de Organización (OB).....	71
3.1.1.2	Bloque Lógico (FC).....	72
3.1.1.3	Bloque de Función (FB).....	73
3.1.1.4	Bloque de Datos (DB).....	74
3.1.2	ALMACENAMIENTO DE DATOS, ÁREAS DE MEMORIA Y TIPOS DE DATOS.....	74
3.1.3	SIMBOLOGÍA Y DESCRIPCIÓN DE TODOS LOS ELEMENTOS USADOS EN EL PROGRAMA.....	77
3.2	DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO.....	86
3.3	DESARROLLO DEL PROGRAMA EN EL PLC.....	95
3.3.1	TABLA DE VARIABLES DEL PLC.....	100
3.4	PROGRAMACIÓN DEL HMI EN EL PANEL VIEW.....	104
3.4.1	TABLA DE VARIABLES DEL HMI.....	114

CAPITULO 4

PRUEBAS Y RESULTADOS

4.1	ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO TÉRMICO DEL PROCESO.....	116
4.1.1	CONFIGURACIÓN DEL MÓDULO DE TEMPERATURA SM1231.....	116
4.1.2	ANÁLISIS TÉCNICO DE LOS HORNOS.....	117
4.1.3	ANÁLISIS DE LA CURVA DEL PROCESO DEL HORNO 1.....	121
4.1.4	ANÁLISIS DE LA CURVA DEL PROCESO DEL HORNO 2.....	124
4.2	ANÁLISIS DE CORRIENTES EN LOS TABLEROS.....	127

CAPITULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1	CONCLUSIONES.....	129
5.2	RECOMENDACIONES.....	130
	BIBLIOGRAFÍA.....	131

ANEXO 1: P&D DEL PROCESO

ANEXO 2: INSTALACIÓN DEL PANEL DE OPERACIÓN DEL NUEVO

SISTEMA DE CONTROL

ANEXO 3: MANUAL DEL USUARIO

ANEXO 4: COMPONENTES DEL HMI

ANEXO 5: PDF ELECTROVÁLVULAS USADAS PARA EL CONTROL

ANEXO 6: PLANOS

RESUMEN

El presente proyecto de titulación consiste en automatizar el proceso de cocción de las planchas acrílicas en dos hornos industriales en la empresa ACRILUX S.A., ya que el anterior control era totalmente manual.

La cocción o recocido, consiste en calentar el material hasta altas temperaturas para endurecer el mismo.

La automatización se lo hará mediante PLC (Controlador Lógico Programable) y la interfaz hombre máquina (HMI) se lo hará mediante un Panel View por lo cual el operador podrá controlar y monitorear el proceso de calentamiento de los dos hornos industriales.

Para el sensado de temperatura se usarán 4 termopares tipo K, 2 por cada horno, que serán acondicionadas e instaladas correctamente para que no exista ningún problema durante el proceso. En el plan de tesis se planteó medir la temperatura con 3 termopares por horno, pero por requerimiento de la fábrica, se decidió utilizar 2 termopares para dicha medición.

Se reemplazarán las válvulas con la instalación de electroválvulas para que mediante el programa del PLC permitir la apertura o cierre de circulación de vapor dentro de los hornos. El vapor es el encargado de calentar el proceso.

Además, se controlarán seis motores que son los que impulsan aire dentro de los hornos para mantener la temperatura constante. En el horno industrial 1 hay un control manual y un circuito de fuerza con arranque Y- Δ . Dicho circuito de fuerza se mantendrá pero el control de los motores será automático. En el horno industrial 2 se diseñará y se implementará un circuito de fuerza para arranque directo y el control será automático.

Se instalará un panel de control con pulsadores, interruptores, luces piloto, alarmas audibles para operar y visualizar de mejor manera el proceso.

PRESENTACIÓN

El presente proyecto de titulación está estructurado en 5 capítulos, que están desarrollados de la siguiente manera:

En el Capítulo 1 se presenta el fundamento teórico, haciendo especial énfasis en todo lo que tiene que ver con el acrílico: definición, propiedades, aplicaciones, así como también el proceso de cocción de las planchas acrílicas; con la finalidad de disponer de los conocimientos básicos para el desarrollo del trabajo.

En el Capítulo 2 se describe la instrumentación actual del proceso para el tratamiento de las planchas acrílicas, el proceso exacto para dicho tratamiento, las definiciones y la implementación de los elementos que serán usados para el nuevo control.

En el Capítulo 3 se describe los conceptos básicos para programar en el Software de Siemens Step7 V11, el diagrama de flujo del proceso, la configuración de parámetros y programación del PLC S7-1200 para el nuevo sistema de control. También se describe la configuración y programación del HMI KTP600 PN Basic Mono.

En el Capítulo 4 se describe las pruebas y resultados mediante la toma de datos durante todo el proceso en los dos hornos para comprobar su buen funcionamiento, así como también la toma de la lectura de las corrientes para comprobar que los elementos se encuentran correctamente dimensionados.

En el Capítulo 5 se presentan las Conclusiones y Recomendaciones de todo el trabajo realizado en este proyecto de titulación.

CAPITULO 1

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

1.1 EL ACRÍLICO

El acrílico es un polímero. La palabra polímero viene del griego poli que significa muchos y meros que significa parte. Un polímero, por lo tanto, es un material compuesto de muchas moléculas, o partes, unidas como una cadena. Los polímeros pueden tener cientos o incluso miles de moléculas unidas entre sí.

El acrílico fue descubierto en Alemania, en 1902, por los químicos alemanes Otto Röhm y Walter Bauer. Fue patentado en 1933 y se trató de un nuevo material plástico transparente capaz de sustituir al vidrio, ya que tiene la ventaja de que no se astilla. A partir de la Segunda Guerra Mundial este plástico fue producido a escala industrial. Es el más importante de los polímeros derivados del ácido acrílico.

1.2 GENERALIDADES DEL ACRÍLICO

1.2.1 DEFINICIÓN DEL ACRÍLICO

El Acrílico es una variante del plástico y es un polímero de metil metacrilato, PMMA.

La fórmula química del MMA, el monómero de metil metacrilato, es $C_5O_2H_8$ y el de PMMA es $(C_5O_2H_8)_n$, la " n " indica el número de moléculas de MMA que forman parte de la cadena lineal de PMMA.

La densidad del acrílico es del orden de 1190 kg/m^3 , aproximadamente 1.19 gr/cm^3 , esto es algo menos de la mitad de aquella del vidrio que cae dentro del rango de $2400 \text{ a } 2800 \text{ kg/m}^3$, por esta razón una de las ventajas del acrílico es que es más ligero que el vidrio.

1.2.2 PROPIEDADES Y APLICACIONES DEL ACRÍLICO

El acrílico es un termoplástico naturalmente transparente; sin embargo, se dispone de una gama amplia de pigmentación. Una propiedad muy importante es su resistencia excelente contra la intemperie, es decir soporta largas horas a la exposición de los rayos ultravioleta emitidos por el sol, sin dañar su estructura, con lo cual, uno no se tiene que preocupar en qué lugar estará el acrílico a utilizar. Por lo mismo, es tan utilizado en los anuncios publicitarios, considerando que normalmente están a la intemperie, como se ilustra en la figura 1.1.



Figura 1.1: Anuncios publicitarios en acrílico

El acrílico también es muy usado en las construcciones, debido principalmente, al hecho de que es un tipo de plástico, más flexible de lo normal, lo que lo hace aún más fácil de trabajar. Pero en la construcción, no es el único campo donde se utiliza el acrílico, también es utilizado en ciertos medios de transporte, como por ejemplo en automóviles, motos, lanchas a motor, etc., ya que éste material, se utiliza para la fabricación de los parabrisas, como se muestra en la figura 1.2. Asimismo, el acrílico es ocupado en la protección de equipos eléctricos.

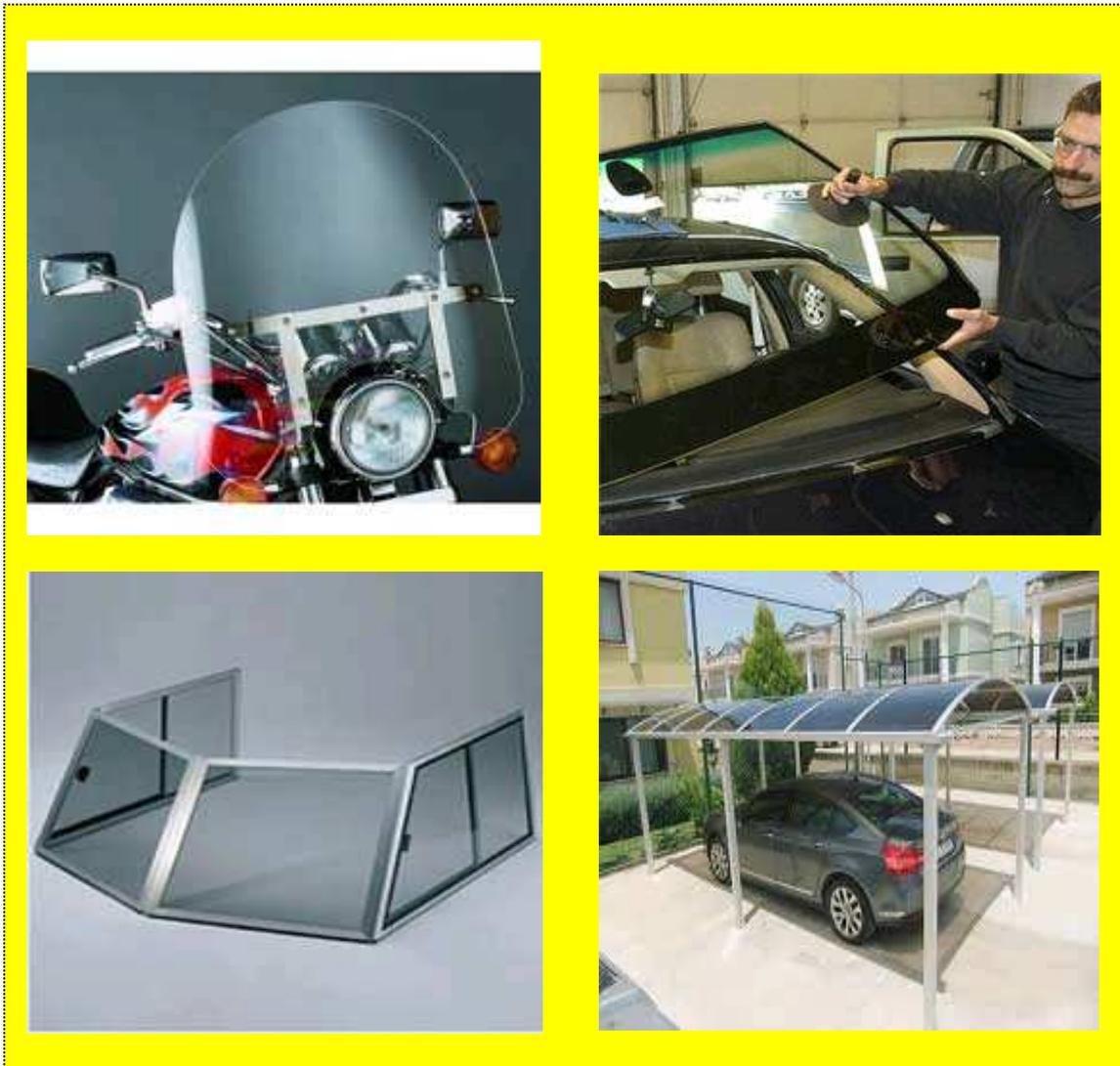


Figura 1.2: Aplicaciones del acrílico a medios de transporte

Con respecto al índice de luz, que permite que lo traspase, el acrílico, es muy superior al vidrio. Asimismo, el peso del acrílico es bastante más reducido que el del vidrio. Otra de las ventajas del acrílico es que en él se pueden combinar diversos colores, además soporta muy bien la adhesión de los mismos.

Por otra parte, el acrílico es también utilizado, en el envasado de alimentos, por su alta capacidad de conservación, como se ilustra en la figura 1.3. Estas cualidades más las mencionadas anteriormente convierten al acrílico en un material bastante difundido en la actualidad.



Figura 1.3: Mostradores de acrílico para la conservación de alimentos

1.2.3 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL ACRÍLICO

Resistencia a la intemperie: Virtualmente no es afectado por el sol, lluvia, frío o calor extremos. Es estable hasta 80°C.

Apariencia: Brillantez, claridad y transparencia equivalentes a la del vidrio.

Transmisión y ligereza de luz: 50% mayor que el vidrio y 43% más que el aluminio. Las láminas de acrílico cristal tienen un 92% de transmisión de luz y no se amarillenta. Las láminas de acrílico translúcido dispersan la luz, por lo que se emplean para difusores de iluminación. Se encuentra disponible en una gran variedad de colores translúcidos y opacos.

Resistencia al impacto: Resiste hasta 17 veces más que el vidrio ordinario en espesores de 3 a 6 mm. Aislante térmico 20% mejor que el vidrio.

Resistencia a esfuerzos mecánicos considerables: No se deforma, no se astilla ni se rompe. Como la mayoría de los plásticos la lámina de acrílico responde a los cambios de temperatura, expandiéndose y contrayéndose en un rango mayor que el vidrio.

Resistencia química: Resiste al ataque de una gran variedad de productos químicos, afectándola sustancias tales como el tiñero, alcohol metílico o etílico, benceno, tolueno, y cetonas.

Propiedades eléctricas: Es un excelente aislante. La resistencia superficial es más alta que la mayoría de los plásticos y ésta se mantiene a pesar de su exposición continua a la intemperie.

Material termo plástico: Debido a esta propiedad es fácil de termoformar, siendo ésta una de las más importantes características de la lámina de acrílico, recomendando se realice a una temperatura de 170° C a 190° C. Cuando es calentado puede ser cortado, perforado y maquinado tal como se hace con la madera o los metales blandos, como el aluminio y el bronce.

1.3 PROCESOS DE FABRICACIÓN DE PLANCHAS ACRÍLICAS

Las planchas acrílicas son comúnmente fabricadas por dos técnicas. Estas técnicas ofrecen ventajas únicas de las propiedades físicas, de los costos, variedad de color y acabado. Dependiendo de las necesidades de los fabricantes, un tipo de proceso puede ser más apropiado que el otro.

Entre los principales procesos para fabricar planchas acrílicas se tiene:

1.3.1 POLIMERIZACIÓN EN MASA

El proceso original es el de polimerización en masa; esto quiere decir que el monómero es catalizado para efectuar el proceso de polimerización dentro del molde que le dará la forma final al producto. En el caso de la lámina o plancha este proceso se lleva a cabo entre dos placas de vidrio templado con un sello de PVC circundante para cerrar la celda. Este proceso permite un alto grado de planicidad y muy buenas propiedades ópticas. La parte difícil de éste proceso es que la reacción de polimerización es exotérmica por lo que se requiere de calor

para que se inicie dicha reacción y que la masa del material sufre un incremento en densidad.

Una de las principales ventajas de este proceso es que no se requiere variar la presión.

El peso específico del MMA es del orden de 1.0 y el del PMMA es del orden de 1.19. En inglés el producto obtenido por esta vía es conocido como "cast acrylic"; de ahí que esta lámina se conoce en español como "lámina cast".

Existen dos métodos de polimerización en masa: Lotes de células y continua.

1.3.1.1 Polimerización en masa por lotes de células

El método de lotes de células es el más común porque es sencillo y se adapta fácilmente para la fabricación de hojas de acrílico con un grosor 0,06 a 6,0 pulgadas (0,16 a 15 cm) y ancho de 3 pies (0,9 m) hasta varios cientos de pies.

El molde para la producción de hojas se ensambla a partir de dos placas de vidrio pulido separadas por un marco flexible (espaciador). El espaciador se encuentra a lo largo del perímetro exterior de la superficie de las placas de vidrio y forma una cavidad sellada entre las placas. El hecho de que el separador sea flexible, permite que la cavidad del molde para reducir el tamaño durante el proceso de polimerización para compensar la contracción del volumen del material ya que la reacción va de moléculas individuales a los polímeros vinculadas. En algunas aplicaciones de producción, las placas de metal pulido se utilizan en lugar de vidrio. Varias placas pueden ser apiladas una encima de la otra. Las placas y los separadores se sujetan con abrazaderas.

Un rincón abierto de cada cavidad del molde se llena con un jarabe líquido pre-medidos de monómero de metil metacrilato y un catalizador. En algunos casos, un pre polímero de metacrilato de metilo también se agrega. Un pre polímero es un

material parcialmente formada con las cadenas de polímero que se usa para ayudar a avanzar en el proceso de polimerización. El jarabe líquido fluye a través de la cavidad del molde para llenarlo.

El molde se cierra a continuación y el calor se puede aplicar para ayudar a los catalizadores a iniciar la reacción. Estos moldes por lo general son calentados dentro de piscinas de agua caliente.

Un ciclo de temperatura programada se sigue para garantizar un tiempo de maduración adecuado, sin vaporización adicional de la solución de monómero. Esto también evita que se formen burbujas. Planchas delgadas pueden curarse de 10 a 12 horas, pero planchas más gruesas pueden requerir varios días.

Cuando las planchas acrílicas se curan, los moldes se enfrían y se abren. Las placas de vidrio o de metal se limpian y se vuelven a reunir para el siguiente lote.

De ahí las planchas acrílicas son recocidas por calentamiento a 284-302 °F (140-150 °C) durante varias horas para reducir los esfuerzos residuales en el material que puede causar deformaciones u otras inestabilidades.

Cualquier exceso de material se elimina y el papel protector o película de plástico se aplica a la superficie de las hojas de acabado para la protección durante la manipulación y envío. El papel protector es a menudo marcado con el nombre de la marca del material, el tamaño y las instrucciones de manejo.

En la figura 1.4 se ilustra el proceso de polimerización por lotes de células para la fabricación de planchas acrílicas antes de ser recocidas.

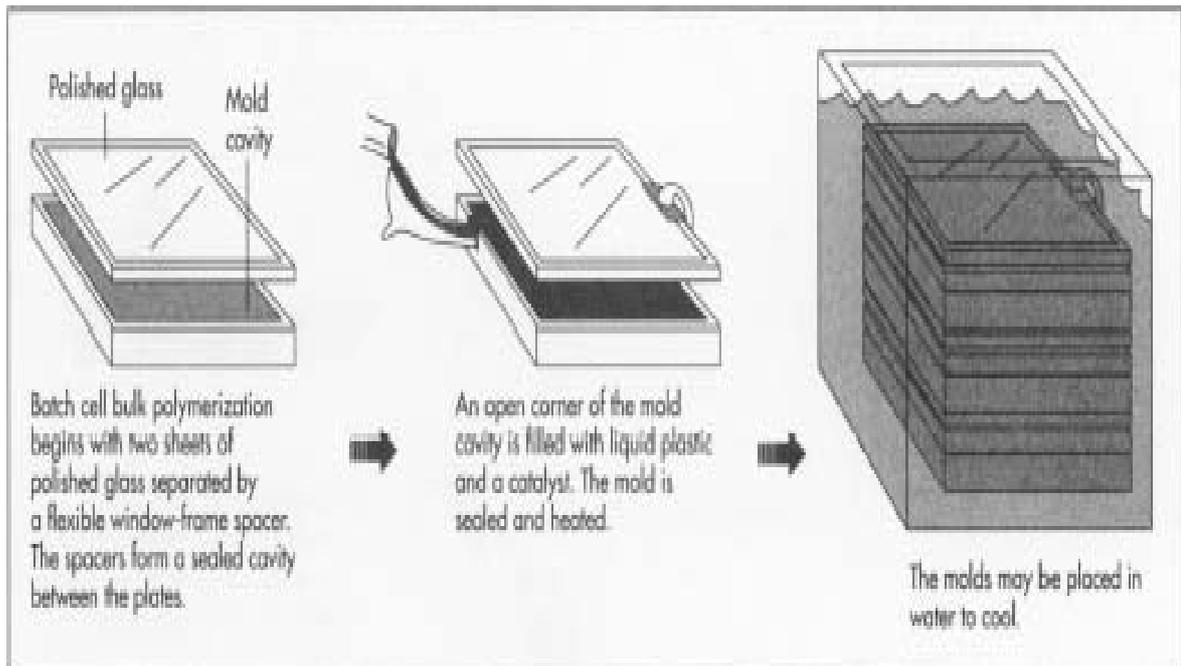


Figura 1.4: Proceso de fabricación de planchas acrílicas por lotes de células

1.3.1.2 Polimerización en masa continua

El proceso continuo es diferente al proceso por lotes de células, por lo que las hojas o planchas son más delgadas y más pequeñas, los tiempos del proceso son mucho más cortos. El monómero y el catalizador se introducen en un extremo de un conjunto de bandas horizontales de acero inoxidable en paralelo, uno encima del otro. La distancia entre las cintas determina el espesor de la lámina que se forma.

Las cintas mantienen la reacción entre el monómero y el catalizador y se mueven a través de una serie de zonas de calentamiento y enfriamiento de acuerdo con un ciclo de temperatura programado para curar el material.

Los calentadores eléctricos o de aire caliente a continuación, pueden recocer el material a medida que sale del extremo de las cintas.

Las hojas se cortan a la medida y el papel protector o película de plástico se aplica.

1.3.2 PROCESO DE EXTRUSIÓN

El segundo proceso para la fabricación de planchas acrílicas es por extrusión. En este, que se asemeja a los procesos de producción para la gran mayoría de los termoplásticos, se obtiene primero grano de PMMA que subsecuentemente es extruido mediante la aplicación de calor para formar lámina, tubo, varilla etc., o inyectado para obtener formas finales como vasos, calaveras automotrices, etc.

La extrusión es un método de producción continua de la fabricación de láminas de acrílico. En el proceso, los pellets de resinas o granos de PMMA se introducen en un extrusor que les calienta hasta que sea una masa fundida. Esta masa es forzada a través de una matriz en una hoja fundida. La hoja de fundido se introduce en rodillos para calandrias, el espaciamiento son los que determinan el espesor de la lámina y en algunos casos, el acabado superficial. La banda continua de la hoja de continuación puede ser cortada o recortada a su tamaño final.

Este proceso es utilizado para crear láminas con un espesor de 0,5 a 25mm y ancho de 0,5 a 9m. Se obtienen productos como revestimientos de bases y tapas de terraplenes, o para túneles viales o ferroviarios, de protección para concreto, láminas para termoformado, etc.

La extrusión es un proceso de compresión en el cual se fuerza al material a fluir a través del orificio de una matriz para generar un producto largo y continuo, cuya forma de la sección transversal queda determinada por la forma del orificio. Es un proceso de conformado de polímeros que se usa ampliamente con termoplásticos y elastómeros (pero rara vez con termoendurecibles para producir masivamente artículos como tubos, mangueras, perfiles estructurales (como molduras de ventanas y puertas), láminas y películas, filamentos continuos, recubrimientos de alambres y cables eléctricos. Para este tipo de productos, la extrusión se lleva a cabo como un proceso continuo: el producto extruido se corta inmediatamente en las longitudes deseadas.

En la extrusión de polímeros el material se alimenta en forma de granza (trozo o partícula de un material plástico, metálico o arcilloso con una medida de entre 15 y 25 mm.) a un cilindro de extrusión, donde se calienta y se le hace fluir a través del orificio de una matriz por medio de un tornillo giratorio (husillo), como se ilustra en la figura 1.5. Los dos componentes principales del extrusor son el cilindro y el tornillo. La matriz no es un componente del extrusor, sino una herramienta especial que debe fabricarse con el perfil particular a producir.

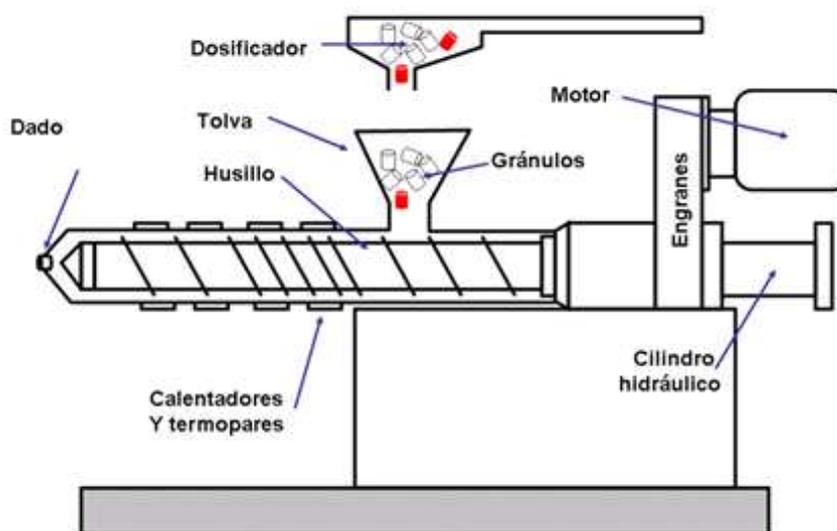


Figura 1.5: Diseño genérico de un extrusor

No es indistinto el material producido por uno u otro de los principales procesos de manufactura de acrílico. Por un lado las propiedades físicas del material son distintas. Por otro lado el costo del material ya producido es diferente; el material cast es más caro que el material extruido, obedeciendo al costo mucho mayor de producción. Para que extruya o inyecte bien el material es necesario controlar el peso molecular del PMMA, es decir el largo de las cadenas poliméricas. Esto se hace utilizando mercaptanos en el proceso de producción del PMMA. El efecto es que el peso molecular promedio de PMMA cast es muy superior al de la lámina extruida. Esto se traduce en propiedades físicas diferentes para un material y otro. Por ejemplo el material cast se puede moldear con relativa facilidad; el material extruido es mucho más difícil de moldear. Se nota la diferencia entre uno y el otro en el momento de corte. El material extruido suele hacerse "chicloso" por el calor producido por el trabajo de la sierra al cortarlo.

Fuente: <http://www.laminadeacrilico.com.mx/gpage18.html>

1.3.3 DIFERENCIAS ENTRE EL PROCESO DE POLIMERIZACIÓN EN MASA Y EXTRUSIÓN

Peso Molecular

Los dos tipos de acrílico son fabricados a partir de metacrilato de metilo, pero los pesos moleculares son muy distintos: polimerización en masa o colado con 2.200.000 y extruido con 150.000. Estas diferencias hacen al extruido más sensible a la temperatura y al ataque con solventes.

Temperaturas de termoformado

La temperatura de termoformado o cocción para el proceso de polimerización en masa va entre los 150 a 170°C, mientras que para el proceso de extruido va entre los 140 a 160°C.

Tanto el colado como el extruido requieren la utilización de hornos por circulación de aire para conseguir en el producto terminado las excelentes propiedades ópticas.

Comportamiento térmico

El acrílico extruido necesita que las superficies de contacto tengan un tratamiento antiadherente, pues existe tendencia a pegarse a los metales en caliente. Se recomienda la utilización de estufas verticales para simplificar su uso.

Comportamiento térmico

Las planchas de acrílico extruido requieren de un calentamiento muy uniforme; diferencias superiores a 5°C producirán importantes tensiones internas, provocando distorsiones ópticas y posibilidad de cuarteamiento. En el acrílico colado, estas diferencias pueden ser de hasta 15°C dentro de una misma plancha sin por ello ver afectada la calidad final.

Encogimiento por calentamiento

El acrílico extruido tiene distintos porcentajes de encogimiento, uno mayor, del orden de 3 a 6%, dependiendo del espesor en el sentido de extrusión, y otro en el sentido transversal que va desde un 0,5 a 1%. En el acrílico colado encoge uniformemente un 2% en ambas direcciones.

Memoria elástica

Las planchas extruidas, a diferencia de las de colado, no tienen memoria elástica, esto significa que luego de termoconformada no acepta otro proceso similar. Por esta limitación para el moldeo con método combinado de vacío y macho se recomienda el uso de las planchas de colada.

Facilidad de moldeo

Por su baja viscosidad a las temperaturas de moldeo, las planchas extruidas son más fácilmente moldeables, pudiéndose lograr diseños más complejos con menores fuerzas de moldeo.

Presecado

A diferencia del acrílico colado que se puede moldear directamente, las extruidas necesitan un proceso de secado previo para eliminación de humedad residual. Con temperaturas entre 75 a 80 °C durante aproximadamente 1 hora por cada milímetro de espesor.

Temperatura de servicio

Las planchas de acrílico extruido tienen una temperatura máxima de servicio de 71°C, a diferencia de las de colado que alcanza los 85°C.

Combustión

La combustión del acrílico extruido produce goteo de material fundido, no así con las planchas de colado. Pulido a la llama: este proceso no es recomendado para planchas extruidas pues pueden inflamarse. Esto no ocurre con las de colada.

Maquinado

Las planchas de acrílico extruido al ser maquinadas tienen tendencia a empastar la zona de trabajo. Se deberán bajar las velocidades de maquinado y realizar un avance más lento; es indispensable un buen sistema de refrigeración con el fin de evitar la fusión del material.

1.4 TRATAMIENTOS TÉRMICOS EN PLANCHAS ACRÍLICAS

En el proceso de fabricación de la lámina o plancha acrílica la temperatura es el factor más importante. Temperaturas muy bajas ocasionan un exceso de esfuerzos internos disminuyendo su resistencia, haciéndola susceptible a la deformación y al craqueo.

En el debate del fenómeno térmico es indispensable incluir algunos términos y conceptos.

Temperatura

La temperatura es una medida del grado de "calor" o "frío" de un objeto. Siendo indispensable establecer una escala de temperatura, se tomó como parámetro las propiedades del agua, en particular el punto de fusión del hielo y el punto de ebullición del agua. Existen tres escalas para medir la temperatura de una sustancia, la escala en grados centígrados (°C), Fahrenheit (°F) y Kelvin (°K), siendo las primeras dos, las más utilizadas.

Calor

El calor es simplemente una de las formas de energía y por eso la unidad física apropiada para medir el calor es la misma que para la energía mecánica y esta es el joule. Como en el mismo caso de las escalas de temperatura, el agua es usada como parámetro de sustancia para la definición de la unidad de calor. La cantidad de calor requerida para elevar la temperatura de 1 kg. de agua en un grado (actualmente se toma como 14.5 °C a 15.5 °C) es definida como 1 caloría (cal.).

Calor específico

Cuando 1 caloría es suministrada a 1 kg. de agua, la temperatura del agua se incrementará 1 grado, por ejemplo, si la misma cantidad de calor es suministrada a la misma masa de alcohol metílico, la temperatura se incrementará en aproximadamente a 1.7 grados, o si 1 cal. es suministrada a 1 kg. de aluminio, la temperatura del metal se incrementará unos 5 grados. De hecho cada sustancia responderá en diferente grado cuando se somete a calor. La cantidad de calor requerido para elevar 1 kg. De una sustancia en un grado es denominado calor específico de esa sustancia. El agua sirve como parámetro y se ha determinado como 1 cal/kg., tomándose como base para comparar con todos los materiales. Con excepción del agua, la mayor parte de los materiales tienen un calor específico más bajo que los plásticos.

Conductividad térmica

La conductividad térmica es una de las tres formas por la cual la energía calorífica puede ser transferida de un lugar a otro; tiene lugar como resultado del movimiento molecular y por lo tanto, requiere de la presencia de materia. La energía calorífica es transferida por colisiones en donde el rápido movimiento de átomos y moléculas del objeto más caliente pasa parte de la energía al objeto más frío o con movimiento más lento de átomos y moléculas. Cuando una

substancia es calentada se expande, el calor provoca que el volumen de una substancia se incremente y que su densidad disminuya.

La conductividad térmica del acrílico es de $5 * 10^{-4} \frac{cal/s}{cm * ^\circ C}$.

Expansión Térmica

La expansión térmica es el resultado de incrementar la temperatura de una substancia, y como consecuencia esta se expande, de hecho; casi todas las sustancias, sólidos, líquidos o gases tienen la propiedad de incrementar su tamaño, cuando se eleva su temperatura. En lo que se refiere al termoformado, cuando un polímero es calentado se incrementa la movilidad de las cadenas moleculares, por lo tanto tienden a separarse unas con respecto a otras, aumentando el volumen y área del polímero. Esta propiedad es de suma importancia sobre todo en piezas termoformadas que están expuestas a cambios bruscos de temperatura. En el termoformado la hoja de plástico se expande más rápido que el marco metálico, provocando arrugas cercanas al marco, estas arrugas desaparecerán cuando la hoja se contraiga. Los valores numéricos de los coeficientes para el calentamiento y enfriamiento son idénticos; esto quiere decir que toma el mismo tiempo para calentarse que para enfriarse.

Hay que tomar en cuenta que se pueden presentar problemas cuando las partes termoformadas deban estar dentro de una tolerancia dimensional muy cerrada, otro tipo de problemas se puede presentar, cuando el encogimiento ocurre en un molde macho, dificultándose desmoldar la parte. El coeficiente de expansión térmica del acrílico es de $9 * 10^{-5} \frac{cm}{cm * ^\circ C}$.

1.4.1 POLÍMEROS ADECUADOS PARA EL PROCESO DE COCCIÓN

Básicamente, todos los polímeros termoplásticos son adecuados para el proceso de cocción o 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., 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.

La tabla 1.1 contiene los polímeros adecuados y más comunes para el termoformado, así como su temperatura de formado.

Tabla 1.1: Polímeros más comunes usados para el termoformado

Polímeros	Temperatura de deflexión del calor			Temperatura de Termoformado		
	264 PSI (°C)	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 (R.V.C.)	70	75	110	135-175	45	80
Policarbonato	130	140	160	180-230	95-120	140

Fuente: <http://es.scribd.com/doc/50710267/2/Polimeros-adecuados-para-eltermoformado>

El calor específico y la conductividad térmica son dos de las propiedades físicas de los polímeros que se usan extensivamente en el termoformado.

1.4.2 EQUIPOS PARA LA COCCIÓN DE LAS PLANCHAS ACRÍLICAS

Originalmente, los hornos de convección fueron los primeros equipos para el calentamiento de planchas acrílicas para termoformado y hasta hoy en día se mantiene esta preferencia para el calentamiento de láminas de diferentes espesores y para una distribución uniforme de la temperatura.

El calentamiento puede ser suministrado por medio de gas, vapor o por unidades de resistencias eléctricas. La recirculación forzada de aire y deflectores para lograr que el aire circule de 4500 a $6100 \frac{cm^3}{min}$ (150 a $200 \frac{pies^3}{min}$), son cruciales para obtener una temperatura homogénea. La temperatura del horno debe ajustarse a la temperatura de formado del plástico.

El calentamiento por radiación infrarroja, en comparación con la de inmersión en aceite o calentamiento por contacto (las dos últimas muy limitadas en la práctica), es extremadamente rápida. Por ejemplo, el tiempo de calentamiento por radiación infrarroja en una lámina de 3mm se puede lograr en un minuto a $10 \frac{watts}{pulg^2}$, aproximadamente.

Debido a que en el calentamiento por radiación infrarroja el tiempo es extremadamente corto, la energía calorífica que absorbe la lámina puede provocar un sobrecalentamiento que inclusive, repercutirá en la degradación del material (burbujas o quemaduras) si no se controla. Es importante considerar que en corridas largas, es necesario disminuir gradualmente la temperatura del horno.

En algunos casos, cuando el producto tenga secciones intrincadas o muy profundas, se correrá el riesgo de un adelgazamiento considerable en el espesor del material; aquí es necesaria la utilización de pantallas (pueden ser hechas con lámina perforada o desplegada metálica) para evitar el sobrecalentamiento.

Los elementos de radiación infrarroja se pueden obtener en una gama muy amplia de diseños, en orden de importancia son:

- Filamentos de tungsteno en tubos de cuarzo o lámparas (2200° C de temperatura)
- Resistencia tipo resorte de nicromo en bases de cerámica refractaria.
- Resistencias de nicromo protegidas por tubular de lámina o acero inoxidable.

Existen fabricantes de máquinas termoformadoras de radiación infrarroja en una gran variedad de tamaños, capacidad, grado de automatización y versatilidad.

Las especificaciones para la adquisición de una máquina termoformadora varían, dependiendo del producto terminado que se pretende obtener y por lo tanto es necesario considerar: voltaje, potencia, amperaje, área útil de formado, número de calefactores (inferior y superior), controles de regulación de temperaturas por zonas, grado de automatización, capacidad para aceptar ayudas mecánicas, tipo de sujeción de la lámina (clamps mecánicos, neumáticos, etc.), ventiladores para el enfriamiento de la pieza, capacidad de producción, costo-beneficio, etc.

Los hornos de gas requieren de intercambiadores de calor para prevenir la acumulación de tizne provocado por el flujo de gas, así como controles para interrumpir el paso de gas en caso de ser necesario.

Los hornos eléctricos pueden ser calentados, utilizando grupos de resistencias de 1000 watts. En el caso de usar un horno con capacidad de $10 m^3$, se consumirán, aproximadamente 25000 watts de potencia y la mitad de ésta será utilizada para compensar la pérdida de calor por fugas, transmisión del aislamiento y por el uso de puertas. Se sugiere que el espesor de aislamiento sea de 2" como mínimo y que las puertas del horno sean lo más angostas posibles, para reducir al máximo la pérdida de temperatura.

Se deben utilizar dispositivos automáticos para el control estricto de temperatura entre 0°C y 250°C . Para obtener un calentamiento más uniforme de la lámina es importante que se cuelgue en forma vertical y esto se puede lograr contando con un sistema que sujete el material a lo largo con broches o canales con resortes y que éstos se recorran por medio de carretillas que se deslicen sobre rieles tipo clóset.

1.5 CONSIDERACIONES TÉRMICAS PARA POSIBLES CAUSAS Y SOLUCIONES PARA DEFECTOS EN PLANCHAS ACRÍLICAS

En la tabla 1.2 se muestra las posibles causas para los defectos de las planchas acrílicas, antes, durante y después de su cocción.

Tabla 1.2: Posibles causas de los defectos de planchas acrílicas.

Defecto	Posibles Causas
Crazing (cuarteamiento)	<ul style="list-style-type: none"> • Pieza sometida a variaciones de temperatura con fijaciones que no le permiten dilatación o contracción. • Pieza curvada en frío en exceso. • Pieza termoformada y aplicación de solvente para pegado en áreas débiles o sin darle tiempo a eliminar tensiones. • Pieza termoformada y sometida a baja temperatura muy rápidamente.
Pieza ampollada o con burbujas	<ul style="list-style-type: none"> • La plancha fue calentada en exceso.
Mala definición de la pieza termoformada	<ul style="list-style-type: none"> • La plancha se termoformó demasiado fría.
Fondos y esquinas finas de bajo espesor	<ul style="list-style-type: none"> • La plancha estaba demasiado fría.
La pieza sale con comba o con gran variación de espesores	<ul style="list-style-type: none"> • La plancha se calentó en forma muy dispereja. • El molde estaba demasiado frío. • La plancha estaba demasiado caliente.
La pieza presenta distorsiones	<ul style="list-style-type: none"> • La pieza se sacó demasiado caliente del molde. • La plancha se calentó en forma dispereja. • No se permitió que enfriara en forma uniforme.
Las piezas termoformadas se rompen	<ul style="list-style-type: none"> • El calentamiento de la plancha fue insuficiente. • El molde estaba muy frío.
Piezas de color desteñidas o que cambian de color	<ul style="list-style-type: none"> • El color no estaba definido como estable para su exposición al sol. • La plancha fue sobrecalentada.

Fuente: <http://www.acrilicosegox.com.ar/detalle.php?a=guia-de-fallas-en-planchas-acrilicas&t=8&d=11>

En la tabla 1.3 se muestra las posibles soluciones para los defectos de las planchas acrílicas, antes, durante y después de su cocción.

Tabla 1.3: Posibles soluciones de los defectos de las planchas acrílicas

Defecto	Posible Solución
Crazing por acción mecánica sobre la placa	<ul style="list-style-type: none"> • Dar a la pieza tiempo prudencial para enfriarse a temperatura ambiente luego del termoformado, o calentarla suavemente durante un período eliminando tensiones antes de nuevos procesos como corte, fresado, pegado o pulido.
Acristalamientos arqueados	<ul style="list-style-type: none"> • Verificar que la placa tenga espacio para dilatar y contraer libremente.
Piezas ampolladas por exceso de temperatura	<ul style="list-style-type: none"> • Reducir tiempo de calentamiento, reducir potencia de calefactores, alejar los calefactores, colocar una malla metálica entre los calefactores y la placa como pantalla para disipar el calor directamente
Piezas termoformadas con mala definición	<ul style="list-style-type: none"> • Aumentar la temperatura de la plancha
Piezas con fondos y esquinas de bajo espesor	<ul style="list-style-type: none"> • Controlar mejor la temperatura
Piezas combadas o con gran variación de espesores	<ul style="list-style-type: none"> • Controlar la temperatura, controlar el funcionamiento de los calefactores, reducir tiempo de calentamiento o temperatura.
Piezas con distorsiones	<ul style="list-style-type: none"> • Aumentar el tiempo de enfriamiento, controlar el perfil de temperatura de moldeo.
Piezas que se rompen	<ul style="list-style-type: none"> • Controlar temperaturas y/o tiempos de calefacción.
Piezas desteñidas o con cambio de color	<ul style="list-style-type: none"> • Recomendar materiales con colores estables a la luz solar, disminuir temperaturas.

Fuente: <http://www.acrilicosegox.com.ar/detalle.php?a=guia-de-fallas-en-planchas-acrilicas&t=8&d=11>

1.6 HORNOS SIMILARES PARA EL PROCESO DE COCCIÓN

Hornos utilizados para la cocción de materiales acerosos.

Los Hornos utilizados para cocer materiales acerosos como el que se ilustra en la figura 1.6, están revestidos de un material refractario, cuya función es aislar para así reducir las pérdidas de energía calórica. Estos hornos son usados para temperaturas que oscilan entre los 1000 a 1200°C.



Figura 1.6: Horno para cocer materiales acerosos

Hornos utilizados para la cocción de ladrillos

Los Hornos utilizados para cocer ladrillos como el que se ilustra en la figura 1.7, igualmente están revestidos de un material refractario, para aislar para así reducir las pérdidas de energía calórica. Los ladrillos se cocen aproximadamente de 800 a 1000°C. Esta temperatura depende del material del ladrillo.



Figura 1.7: Horno para cocer ladrillos

CAPITULO 2

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL HARDWARE DEL SISTEMA

2.1 DESCRIPCIÓN ACTUAL DEL SISTEMA

El control actual del horno industrial 1 para el proceso de cocción de las planchas acrílicas en la empresa ACRILUX S.A. se ilustra en la figura 2.1 y es totalmente manual, ya que el operador debe accionar pulsantes secuencialmente para encender y apagar los motores los cuales cuentan con un arranque Y- Δ , sus respectivas protecciones y en el panel se dispone de luces piloto para visualizar.

El control del horno industrial 2 está dañado por lo que para encender los motores se lo hace directamente de los breakers. El arranque de estos motores es directo.

Por esta razón el presente proyecto de titulación contempla automatizar totalmente el control de los mismos, manteniendo solamente el circuito de fuerza del arranque de los motores del horno 1 que ya está instalado.



Figura 2.1: Control actual del horno industrial 1

El horno industrial 1 se ilustra en la figura 2.2 y el horno industrial 2 se ilustra en la figura 2.3.



Figura 2.2: Horno industrial 1



Figura 2.3: Horno industrial 2

Para aumentar la temperatura de los hornos el operador acciona válvulas para permitir la entrada de vapor, y abre y cierra las válvulas para mantener la temperatura. La válvula de 1 ¼" del horno 1 se ilustra en la figura 2.4, y la válvula de 2" del horno 2 se ilustra en la figura 2.5.



Figura 2.4: Válvula Horno industrial 1



Figura 2.5: Válvula Horno industrial 2

El vapor proviene de un caldero que se ilustra en la figura 2.6. Este caldero se encuentra automatizado mediante un PLC, dicho control se ilustra en la figura 2.7.



Figura 2.6: Caldero



Figura 2.7: Control automatizado del caldero

Se accionan manualmente unas compuertas de entrada y salida de aire mediante palancas para disminuir rápidamente la temperatura dentro de los hornos. Este control se ilustra en la figura 2.8.



Figura 2.8: Accionadores para entrada y salida de aire

Se accionan tres motores jaula de ardilla clase B como impulsores por cada horno para recircular el aire dentro del mismo, para que la temperatura sea lo más uniforme posible. En la figura 2.9 se ilustra los motores usados en el horno 1, y en la figura 2.10 se ilustra los motores usados en el horno 2.



Figura 2.9: Motores de recirculación Horno1



Figura 2.10: Motores de recirculación Horno2

Las principales características de los datos de placa de los motores se indican en la tabla 2.1. Los motores se encuentran colocados encima de cada horno.

Tabla 2.1: Características Principales de los Motores

Motores (Horno 1)		Motores (Horno 2)	
Marca	Lact Norm	Marca	ASEA
Alimentación	Trifásico	Alimentación	Trifásico
Voltaje	Y: 380V ; Δ : 220V	Voltaje	440/220V
Amperaje	Y: 12.8A ; Δ : 21.6A	Amperaje	11.5/23A
Potencia	7.5 CV	Potencia	7.5 CP
Frecuencia de Operación	60 Hz	Frecuencia de Operación	60 Hz
RPM	1120	RPM	1140
# de terminales	6	# de terminales	9

Los sensores de temperatura en el horno 1 se encuentran dañados por lo que el operador mide la temperatura por medio de dos termómetros colocados en la parte izquierda central y derecha central del horno.

Los sensores de temperatura del horno 2 ilustrados en la figura 2.11, son viejos pero aún operables y se puede visualizar la temperatura por medio de un controlador de marca WATLOW, que se ilustra en la figura 2.12. Estos sensores son termopares tipo K y se instalaron 3 en razón a que la temperatura al inicio no es constante en todo el horno ya que primero el vapor entra por un lado y este lado es el que se calienta primero, por eso se utilizan los motores de recirculación de aire para mantener la temperatura constante en todo el horno.



Figura 2.11: Termopar tipo K, instalado en el horno industrial 2



Figura 2.12: Controlador WATLOW

Para evitar posibles fallos, es necesario implementar un nuevo control que automatice todo el proceso de cocción de las planchas acrílicas, ya que si la temperatura de cocción de las planchas acrílicas sobrepasa los rangos establecidos, el producto terminado presenta problemas como quebraduras, distorsiones, burbujas, etc.

2.2 DISEÑO DEL NUEVO SISTEMA DE CONTROL

El nuevo control de los hornos que se instalará en la empresa ACRILUX S.A. para el procesamiento de planchas acrílicas se lo hará sobre la base de un PLC (controlador lógico programable). El PLC será el dispositivo encargado de controlar en forma automática todo el proceso mediante el accionamiento de actuadores para mantener la temperatura dentro de los rangos deseados.

Se mantendrá el mismo circuito de fuerza para el arranque de los motores del horno industrial 1, ya que éste funciona correctamente. Para el horno industrial 2 se diseñará e implementará un nuevo circuito de fuerza para el arranque.

Se instalará una electroválvula de 1 ¼" para el horno 1 y una electroválvula de 2" para el horno 2. Ambas electroválvulas serán para una presión máxima de 150PSI y una temperatura máxima de 180°C de acuerdo a los requerimientos del sistema, normalmente cerradas y para circulación de vapor y podrán ser controladas mediante el PLC.

El proceso será monitoreado y visualizado mediante una interfaz hombre máquina (HMI), que se lo hará mediante un Panel View.

Para el sensado de temperatura se instalarán dos termopares tipo K por cada horno, que serán colocados estratégicamente dentro de los mismos ya que los hornos tienen puntos calientes y fríos. El termopar instalado en el punto caliente o crítico será el encargado del control del proceso, mientras el termopar instalado en el punto frío será una referencia. Estas temperaturas podrán ser visualizadas en el Panel View.

El nuevo sistema de control de los hornos también contará con un panel de control que tendrá un interruptor de encendido, pulsadores de emergencia en caso de algún fallo, también serán instalados unos zumbadores que alertarán al operador si la temperatura rebasa los límites establecidas en el proceso y por último se instalarán luces piloto que servirán para que el operador pueda visualizar que variables del proceso se encuentran en funcionamiento.

En la figura 2.13 se muestra un esquema general del nuevo sistema de control.

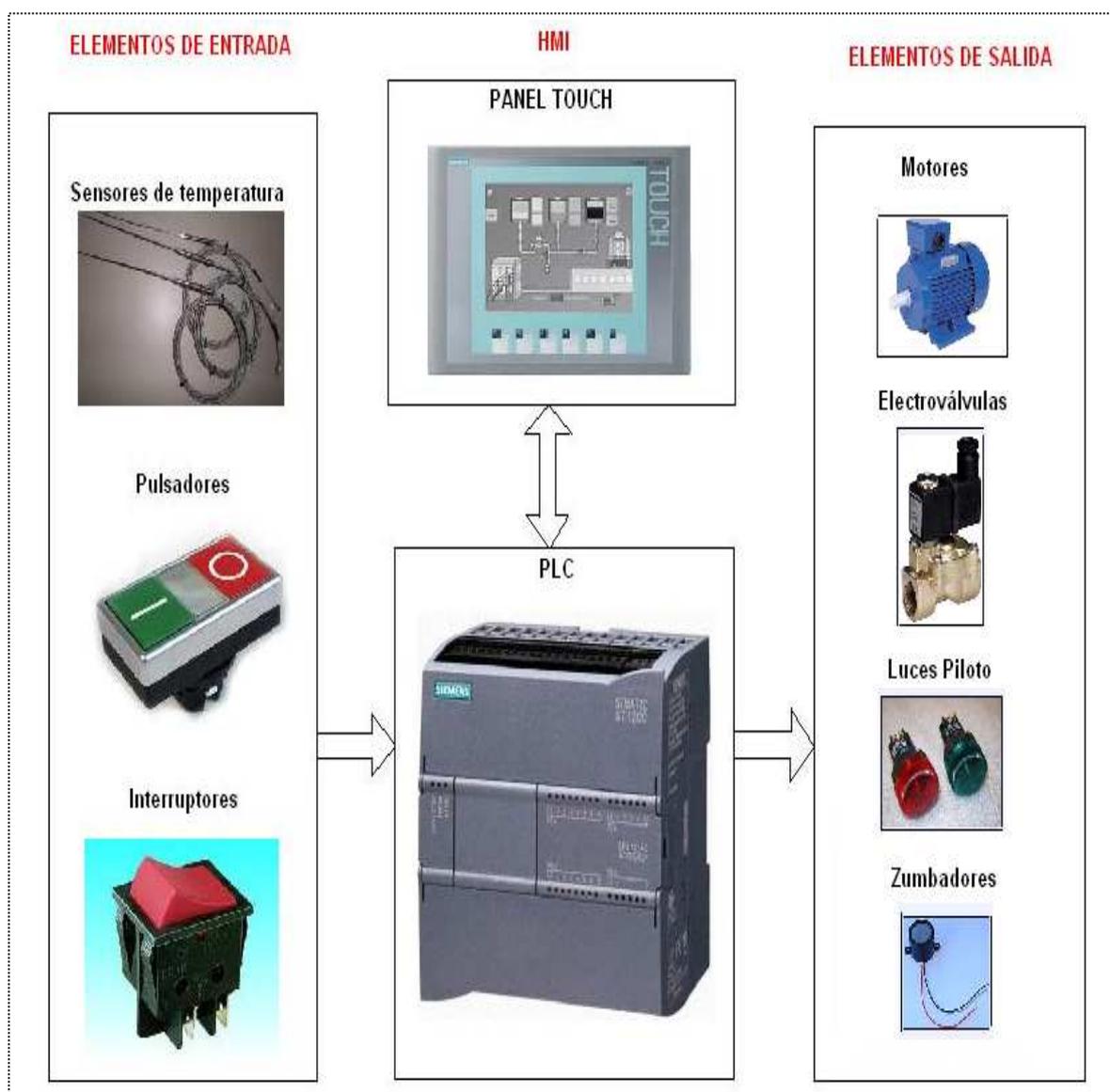


Figura 2.13: Esquema general del nuevo sistema de control

En la figura 2.14 se ilustra un diagrama de conexiones del nuevo sistema de control para el proceso.

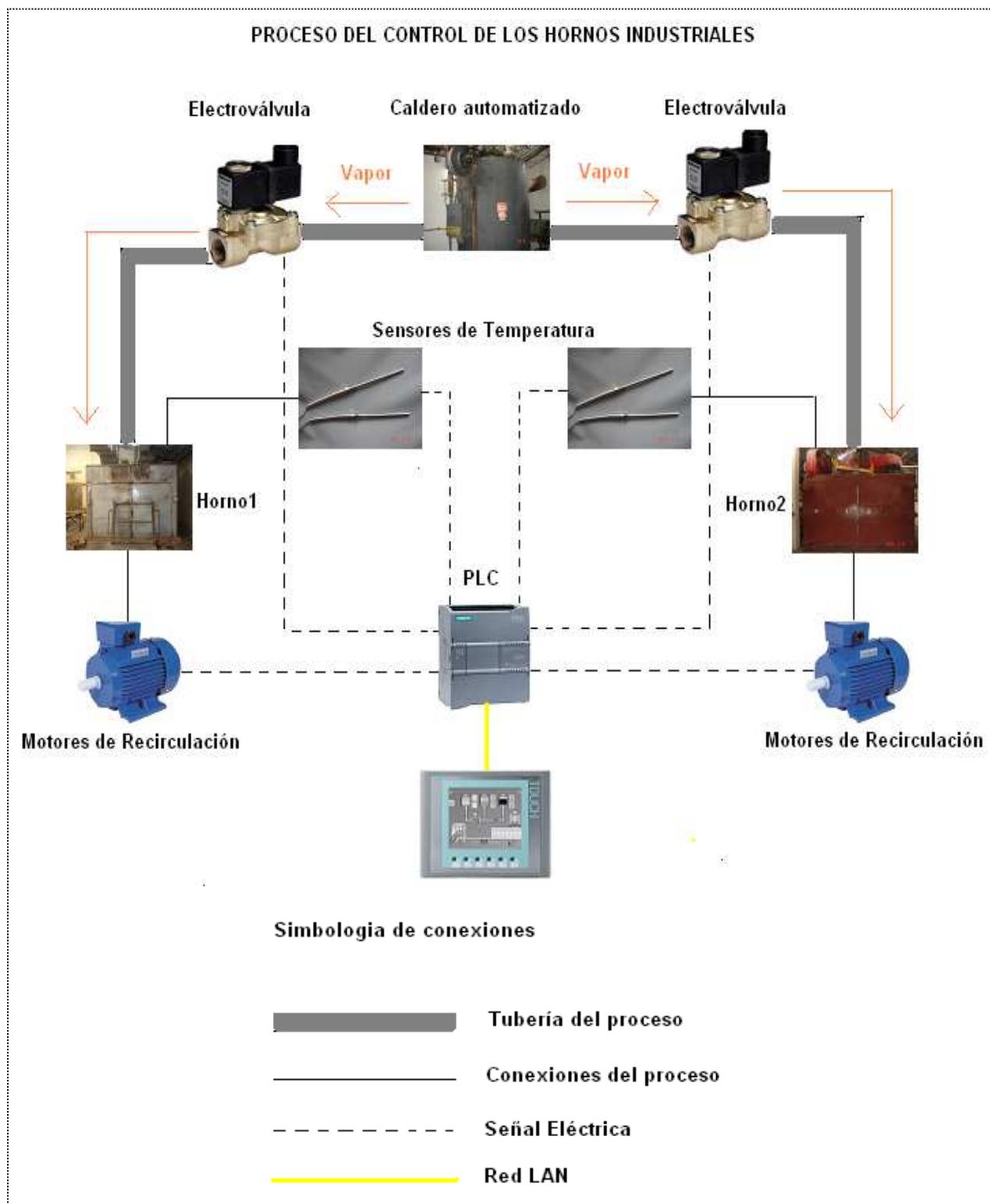


Figura 2.14: Diagrama de conexiones del nuevo sistema de control

2.2.1 DEFINICIONES DE LOS ELEMENTOS DEL NUEVO SISTEMA DE CONTROL

Es de gran importancia saber las definiciones de los elementos que se usarán para implementar el nuevo sistema de control que tendrá el proceso para familiarizarse con ellos, conocer sus ventajas, desventajas.

2.2.1.1 PLC



Figura 2.15: Controlador Lógico Programable

Fuente: <http://the3isolutions.com/courses.html>

El PLC, que se muestra en la figura 2.15, se trata de un equipo electrónico, que, ha sido diseñado para programar y controlar procesos secuenciales en tiempo real. Por lo general, es posible encontrar este tipo de equipos en ambientes industriales.

Para que un PLC logre cumplir con su función de controlar, es necesario programarlo con la información necesaria acerca de los procesos que se quiere

controlar. Esta información es recibida por el PLC, y gracias al programa lógico interno, logran procesarla para dar las señales a los actuadores de la instalación.

Dentro de las funciones que un PLC puede cumplir se encuentran operaciones como las de detección y de mando, en las que se procesan y envían datos de acción a los preaccionadores y accionadores. Además, son dispositivos que permiten su programación, pudiendo introducir, crear y modificar las aplicaciones del programa.

Ventajas de un PLC:

- Menor tiempo empleado en la elaboración de proyectos.
- No es necesario dibujar el esquema de contactos.
- No es necesario simplificar las ecuaciones lógicas, ya que, por lo general la capacidad de almacenamiento del módulo de memoria es lo suficientemente grande.
- La lista de materiales queda sensiblemente reducida, y al elaborar el presupuesto correspondiente eliminaremos parte del problema que supone el contar con diferentes proveedores, distintos plazos de entrega.
- Posibilidad de introducir modificaciones sin cambiar el cableado ni añadir aparatos.
- Mínimo espacio de ocupación.
- Menor costo de mano de obra de la instalación.
- Economía de mantenimiento. Además de aumentar la fiabilidad del sistema, al eliminar contactos móviles, los mismos autómatas pueden indicar y detectar averías.
- Posibilidad de controlar varias máquinas con un mismo autómata.
- Menor tiempo para la puesta en funcionamiento del proceso al quedar reducido el tiempo cableado.
- Si por alguna razón la máquina queda fuera de servicio, el autómata sigue siendo útil para otra máquina o sistema de producción.

Desventajas de un PLC:

- Como inconvenientes se puede señalar que hace falta un programador, lo que obliga a adiestrar a uno de los técnicos en tal sentido, pero hoy en día ese inconveniente está solucionado porque las universidades ya se encargan de dicho adiestramiento.
- El costo inicial también puede ser un inconveniente, pero que es amortizado en el tiempo.

Arquitectura de un PLC

En la figura 2.16 se ilustra el diagrama de bloques de la arquitectura de un PLC.

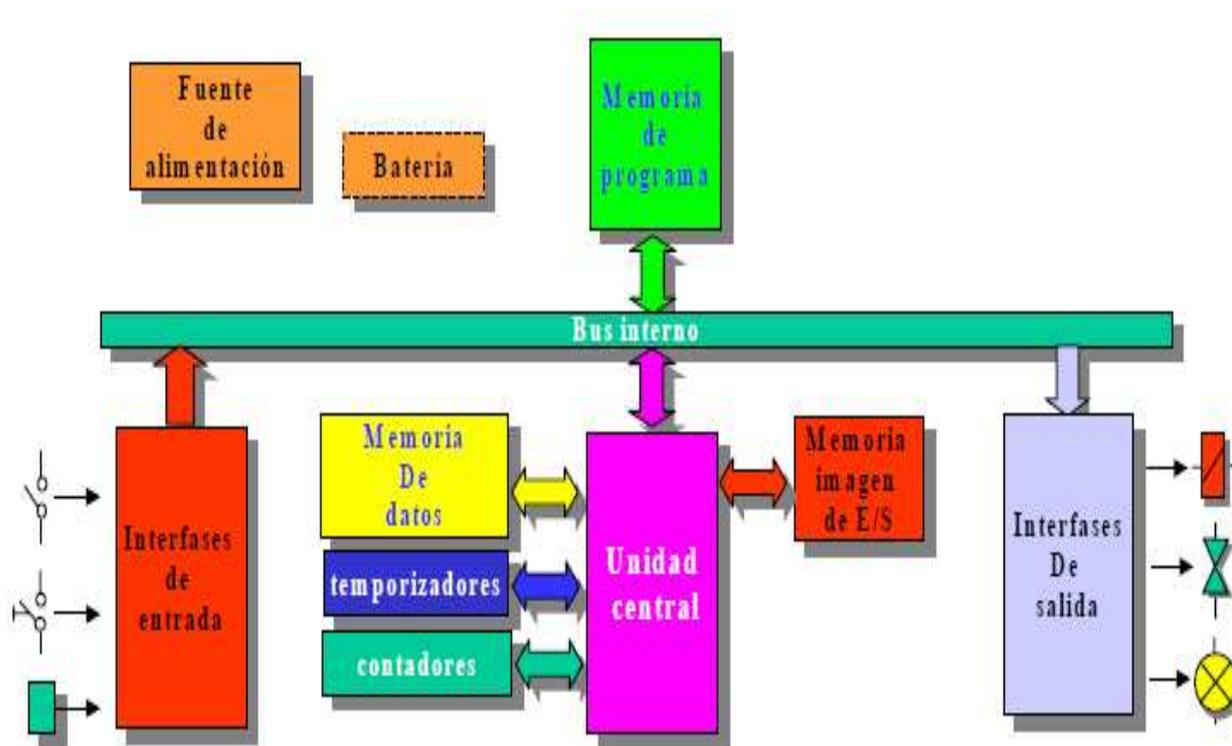


Figura 2.16: Diagrama de bloques de la arquitectura de un PLC.

Fuente: http://galia.fc.uaslp.mx/~cantocar/automatas/APUNTES_CURSO/CAPITUL2.PDF

CPU (Central Process Unit)

La CPU es el elemento inteligente que está en capacidad de leer e interpretar las instrucciones almacenadas en la memoria y sobre la base de los estados de las entradas, toma de decisiones sobre las salidas.

Generalmente, todas las unidades de procesamiento de los PLC están basadas en microprocesadores de 8, 16, 32 ó 64 bits, los cuales tienen capacidad de manejar los comandos o instrucciones de entradas, los estados de las señales, también proveen la capacidad de procesamiento lógico, es decir se encarga de resolver lógica booleana, temporización, secuenciamiento, suma, resta, multiplicación, división y conteo.

Se debe tener cuidado al estudiar los requerimientos de la aplicación de control para decidir cuáles deben ser las características del equipo que se pretende instalar, y cuáles son las posibles necesidades futuras. Otro factor que debe ser considerado al elegir un PLC es el tiempo que este requiere para ejecutar las instrucciones y todo el programa, en sí mismo, a fin de que se aproxime, en lo posible, al tiempo real.

Memoria

La memoria es el recurso en donde se almacena el programa principal y todos los datos inherentes a la lógica de control. La memoria varía de acuerdo a su tipo y a su capacidad. Según su tipo puede ser: ROM (Read Only Memory), RAM (Random Access Memory), PROM (Programmable Read Only Memory), EEPROM (Electrical Erasable Programmable Read Only Memory). La capacidad de la memoria es un factor vital cuando se está considerando la aplicación del PLC.

Se debe especificar la cantidad adecuada de memoria que sea requerida por la aplicación y al mismo reservar capacidad para requerimientos futuros.

Fuente de alimentación

Los requerimientos más comunes son las fuentes de 120 VAC o 220 VAC, mientras algunos pocos controladores aceptan 24 VDC.

En vista de que es una experiencia común encontrar en las industrias fluctuaciones en las líneas de voltaje y en la frecuencia, una especificación importante para la fuente de poder de un PLC es la de tolerar ciertas condiciones de variación en la línea que está entre un 10% y un 15%.

Cuando la línea de voltaje excede estos límites ya sea por exceso o por defecto durante un tiempo específico (usualmente de 1 a 3 ciclos), muchas fuentes de poder están diseñadas para emitir un comando de parada (Shutdown) al procesador.

El sistema de suministro de poder provee la tensión DC para el circuito lógico del CPU y los circuitos de entrada / salida (E/S). Cada fuente de poder tiene una máxima cantidad de corriente que puede proveer a un nivel de voltaje dado (por ejemplo 10 A a 5 V).

Deben ser consideradas cuidadosamente las combinaciones de los módulos de E/S en el diseño del PLC, tomando en cuenta cuales son los requerimientos de corriente y voltaje. Las especificaciones típicas de los requerimientos de voltaje y corriente de los módulos de E/S, deben ser suministrados por el fabricante de los mismos.

Sistema de Entradas y Salidas

La característica principal que hace extremadamente atractivo a un PLC y que lo diferencia de un computador es su sistema de entradas y salidas (E/S) compuesto en la mayoría de los casos por módulos diseñados especialmente para proveer la

conexión física entre el mundo exterior (Equipos de Campo) y la unidad de procesamiento.

A través de varios circuitos de interfaz y el uso de los dispositivos de campo (Sensores de Límites, Transductores, etc.), el controlador puede sentir y medir cantidades físicas requeridas de procesos tales como: proximidad, posición, movimiento, nivel, temperatura, presión, voltaje.

Basados en el estado de los dispositivos de campo sentidos o los valores medidos en el proceso, el CPU emite comandos que controlan variados dispositivos así como son válvulas, motores, bombas y alarmas.

Resumiendo, los circuitos de Entradas / Salidas son la interfaz requerida por el CPU para ejercer el control sobre máquinas y procesos.

Hace pocos años los procesos requerían de circuitos adicionales para realizar las medidas analógicas y manipulación de valores numéricos para el control de dispositivos analógicos y de instrumentación. Los controladores de hoy, sin embargo, tienen un rango completo y variedad de interfaces analógicas y discretas que les permiten ser aplicados prácticamente en cualquier tipo de control.

2.2.1.2 Termopares tipo K

Un termopar o termocupla es un sensor de temperatura formado por dos metales distintos que produce un voltaje (efecto seebeck) que está en función de la diferencia de temperatura entre los extremos denominados "punto caliente" o de medida y el otro denominado "punto frío" o de referencia. La configuración de un termopar es ilustrado en la figura 2.17.

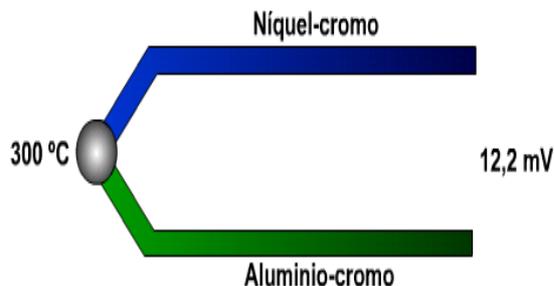


Figura 2.17: Configuración de un termopar

Entre las características principales del termopar tipo K están las siguientes:

- Son usados desde -270°C hasta 1372°C .
- Bajo costo y en una variedad de sondas.
- Calibración sin recubrimiento hasta 1100°C .
- Con recubrimiento hasta 1260°C .
- Termoelemento positivo: Ni90%, Cr10%
- Termoelemento negativo: Ni95%, Mn2%, Si1%, Al 2%
- F.E.M. producida: $-6,458\text{ mV}/^{\circ}\text{C}$ a $48,838\text{ mV}/^{\circ}\text{C}$
- Tiene una sensibilidad de $41\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$ aproximadamente .
- Pueden tener falta de homogeneidad de tipo mecánico.
- Descomposición Verde: oxidación preferentemente del cromo sobre el Níquel en el exterior del elemento positivo, el cual se convierte entonces en negativo. Esto reduce la sensibilidad.
- El ataque del azufre sobre el elemento negativo lo convierte en quebradizo.
- Tanto el efecto de fragilidad del azufre, como la descomposición verde se pueden reducir con el empleo de tubos limpios protectores libre de grasa.
- En los termopares compactados, debido al cemento de óxido mineral, los alambres funcionan en una atmósfera neutra incluso aunque la vaina del par compactado se exponga al hidrógeno o a otro tipo de atmósfera reductora.

- No debe ser utilizado en atmósferas reductoras ni sulfurosas a menos que disponga de una protección (evitarse hidrógeno, monóxido de carbono u otros gases fuertemente reductores).

2.2.1.3 Electroválvula



Figura 2.18: Electroválvula

Una electroválvula como la que se ilustra en la figura 2.18, es una válvula electromecánica, diseñada para controlar el flujo de un fluido a través de un conducto como puede ser una tubería. La válvula está controlada por una corriente eléctrica a través de una bobina solenoidal.

Una electroválvula tiene dos partes fundamentales: el solenoide y la válvula. El solenoide convierte energía eléctrica en energía mecánica para actuar la válvula.

Las electroválvulas se clasifican por:

- Número de vías (2 o 3 vías)
- Situación de reposo (normalmente abierta o normalmente cerrada)
- Voltaje de alimentación (24V, 110-220V)
- Presión máxima
- Tipo de fluido (agua caliente, vapor, gas, etc.)
- Según su actuación

2.2.1.4 Motor de inducción jaula de ardilla

Estos motores provienen de los motores polifásicos de inducción. Suponiendo que un motor de inducción comercial de jaula de ardilla se haga arrancar con el voltaje nominal de las terminales de línea de su estator desarrollará un par de arranque que hará que aumente la velocidad. Al aumentar la velocidad a partir del reposo (100% de deslizamiento) disminuye su deslizamiento y su par disminuye hasta que se desarrolla un par máximo. Esto hace que la velocidad aumente todavía más, reduciéndose en forma simultánea el deslizamiento y el par que desarrolla el motor de inducción. En la figura 2.19 se ilustra la estructura interna de un motor jaula de ardilla.

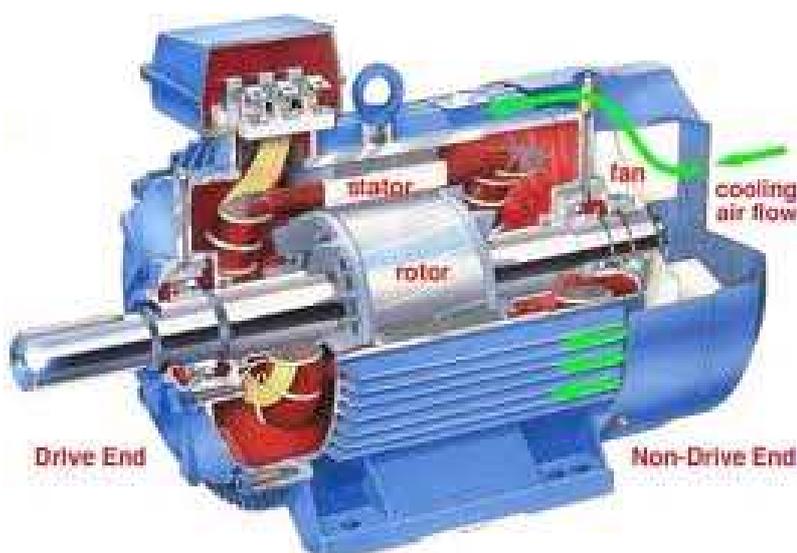


Figura 2.19: Estructura interna de un motor jaula de ardilla

En el Horno 1 se utilizan 3 motores jaula de ardilla con arranque Y-D para la recirculación de aire, mientras que en el Horno 2 se utilizan 3 motores jaula de ardilla pero con arranque directo.

2.2.2 CURVA DE TEMPERATURA REQUERIDA PARA EL PROCESO

La figura 2.20, representa la curva de temperatura vs tiempo, que es la que se va a controlar a través del PLC.

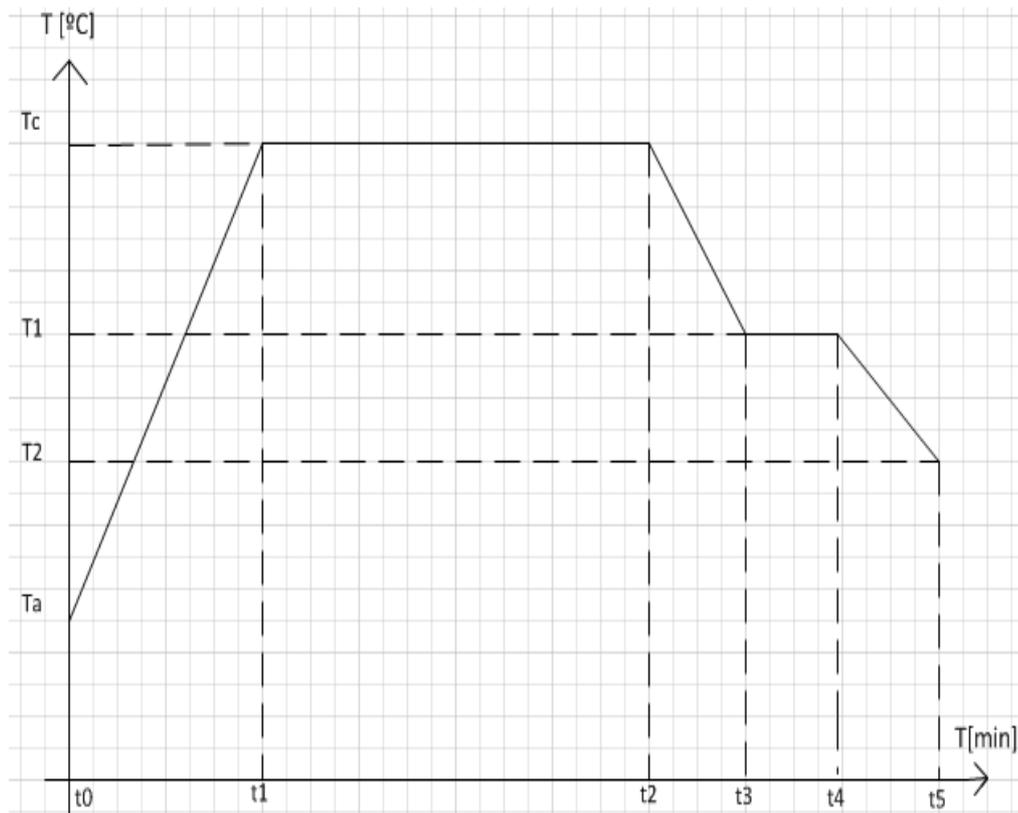


Figura 2.20: Curva de temperatura vs tiempo

En la tabla 2.2 se ilustra las variables de la curva de temperatura requerida para el proceso de cocción de las planchas acrílicas.

Tabla 2.2: Variables de la curva requerida para el proceso

T	Temperatura
Ta	Temperatura ambiente
Tc	Temperatura de cocción
T1	Temperatura 1
T2	Temperatura 2
t	Tiempo
t0	Tiempo inicial

Antes de comenzar el proceso de calentamiento se accionan secuencialmente los 3 motores para recircular el aire y mantener uniforme la temperatura dentro del horno. Los motores deben funcionar hasta que se acabe el proceso.

De ahí el primer paso del proceso consiste en calentar el horno de la temperatura ambiente hasta la temperatura de cocción. Para calentar se abre la electroválvula para permitir el ingreso de vapor dentro del horno. El tiempo de este paso es de t_0 a t_1 . Si bien en este paso el proceso es automático, no existe control, ya que no se tiene acceso al caldero, por tal razón no se puede controlar el tiempo de calentamiento hasta la temperatura de cocción.

El segundo paso consiste en mantener la temperatura de cocción. Para mantener esta temperatura es necesario abrir y cerrar la electroválvula con una cierta histéresis. El tiempo de este paso es de t_1 a t_2 o tiempo de permanencia 1 (tp_1). Solamente en este paso se hace control, en este caso por Histéresis.

El tercer paso del proceso consiste en un enfriamiento manual desde la temperatura de cocción (T_c) hasta T_1 . En éste paso se cierra la electroválvula, se abren manualmente las compuertas de entrada y salida de aire para enfriar el proceso y se cierra manualmente la recirculación de aire. El tiempo de este paso es de t_2 a t_3 .

El cuarto paso del proceso consiste en mantener la temperatura T_1 . En este paso se cierran las compuertas de entrada y salida de aire y se abre la recirculación de aire para aumentar la temperatura y se abren las compuertas de entrada y salida de aire y se cierra la recirculación de aire para disminuir la temperatura. El tiempo de este paso es de t_3 a t_4 o tiempo de permanencia 2 (tp_2).

El quinto paso del proceso consiste en bajar la temperatura de T_1 a T_2 . Se abren las compuertas de entrada y salida de aire para facilitar el enfriamiento del proceso y se cierra la recirculación de aire. El tiempo de este paso es de t_4 a t_5 . Cuando el proceso llega a T_2 se apagan secuencialmente los motores y ya se

puede abrir el horno para sacar las planchas acrílicas ya termoformadas. La temperatura T2 en la práctica es de 60°C aproximadamente.

Es decir, el primer y segundo paso (t_0-t_2) el proceso es automático, y del tercer al quinto paso (t_2-t_5), es manual, por lo que el operador es el encargado de abrir y cerrar compuertas para enfriar y mantener la temperatura, para que las planchas acrílicas no salgan con imperfecciones por un enfriamiento brusco.

Con la ayuda del Panel View el operador podrá visualizar y monitorear el proceso. En este panel que será touch screen, el operador podrá seleccionar las temperaturas y tiempos del proceso.

Las temperaturas y tiempos del proceso serán programados estrictamente tomando la curva teórica de la figura 2.20.

En el panel view (HMI) los valores que se deberán establecer o ingresar para el control del proceso, serán los siguientes:

- TCmax: Temperatura de cocción máxima
- TCmin: Temperatura de cocción mínima
- tp1 (t_1-t_2): Tiempo de permanencia 1
- toff (t_2-t_5): Tiempo de apagado de motores

2.2.2.1 Control por Histéresis

Para mantener la temperatura de cocción se usará control por Histéresis, también llamado Controlador On-Off. Es la regulación más simple y económica, en numerosas aplicaciones en las que puede admitirse una oscilación continua entre dos límites, siempre y cuando se trate de procesos de evolución lenta, como en este caso. En la figura 2.21 se ilustra la curva de temperatura vs tiempo mediante un controlador on-off.

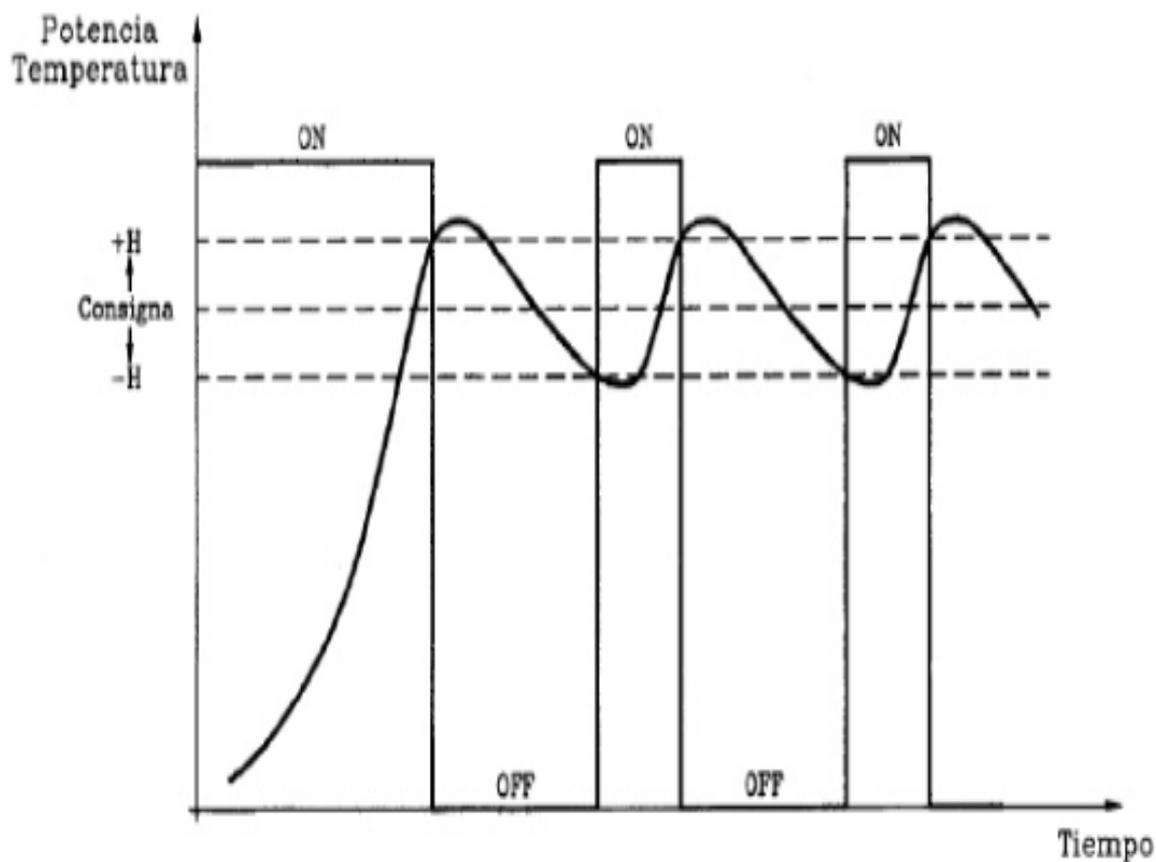


Figura 2.21: Curva Temperatura vs tiempo mediante controlador por Histéresis

Por medio del HMI se pondrán los valores de histéresis máxima y mínima, mas no el valor de consigna o set point, ya que los mencionados valores de histéresis cambian según las características de las planchas acrílicas.

En el control cuando la temperatura llegue al valor de histéresis máxima (TCmax), la electroválvula se cierra y cuando la temperatura llegue al valor de histéresis mínimo (TCmin) la electroválvula se abre.

Este control se justifica ya que en la práctica pasado los 100°C el proceso se hace lento y permite un rango de error hasta de 5°C tanto en los límites inferior y superior.

2.3 CONSIDERACIONES GENERALES PARA DIMENSIONAR EL PLC

Para la selección del PLC que se usará en el proceso de tratamiento de planchas acrílicas hay que seguir los siguientes pasos:

- 1.- Estudiar el proceso que va a ser controlado.
- 2.- Determinar el tipo de control que se va a implementar.
 - Control distribuido.
 - Control centralizado.
 - Control individual.
- 3.- Determinar las interfaces de entrada/salida requeridas.
 - Número de entradas y salidas análogo/digitales.
 - Especificaciones de las entradas y salidas.
 - Requerimientos de módulos remotos.
 - Necesidad de módulos especiales.
 - Futuras expansiones.
- 4.- Determinar el software y el tipo de funciones.
 - Diagrama Ladder, FBD, SFC, etc.
 - Instrucciones básicas (times, contadores, etc.)
 - Instrucciones especiales (Control PI, PID, curvas, etc.)
- 5.- Considerar el tipo de memoria.
 - Volátiles
 - No volátiles (EPROM, EEPROM, etc.)
 - Combinación de memorias.
- 6.- Estimar la capacidad de las memorias.
 - Aproximación basada en requerimientos de memoria por instrucción.
 - Capacidad adicional de las futuras expansiones.

7.- Definir los requerimientos de programación, procesamiento y almacenamiento.

- Computadoras.
- Discos de almacenamiento.
- Programadores manuales.

8.- Definir los periféricos requeridos.

- Monitores gráficos.
- Interfaz HMI.
- Impresoras.
- Registro de datos.

9.- Determinar restricciones físicas o ambientales.

- Espacio disponible para el sistema.
- Condiciones ambientales.
- Puesta a tierra.

10.- Determinar otros factores.

- Vendedores o suplidores.
- Confiabilidad y disponibilidad de los proveedores.
- Adaptación a las normas de la planta.

2.4 ANÁLISIS DE ENTRADAS Y SALIDAS DEL SISTEMA DE CONTROL

2.4.1 ANÁLISIS DE ENTRADAS

En la tabla 2.3 (a) y (b) se muestran las entradas digitales y analógicas respectivamente que tendrá el proceso.

Tabla 2.3 (a): Entradas Digitales

Entradas Digitales	
Interruptor	2
Pulsador de emergencia	2
Pulsador marcha paro	4
Σ	8

Tabla 2.3 (b): Entradas Analógicas

Entradas Analógicas	
Sensores de temperatura (termopar tipo K)	4
Σ	4

2.4.2 ANÁLISIS DE SALIDAS

En la tabla 2.4 se muestra las salidas digitales que tendrá el proceso.

Tabla 2.4: Salidas Digitales

Salidas Digitales	
Relés para control de motores del Horno 1	6
Luz piloto verde [Indicadores Motores Horno 1 (ON)]	3
Contactador Motor Horno 2 (Luz Piloto Verde)	3
Electroválvula (Luz Piloto Rojo)	2
Luz piloto amarilla	2
Luz piloto roja (emergencia)	2
Zumbador (Sirena)	2
Σ	20

2.4.3 SELECCIÓN Y CARACTERÍSTICAS DEL PLC CON SUS MÓDULOS

Conociendo el número de entradas y salidas requeridas para el proceso, y que el mismo será exclusivo para el control de los hornos se decidió seleccionar el PLC Siemens S7-1200 CPU 1212, por su diseño compacto, bajo costo y capacidad de controlar una gran cantidad de dispositivos para las distintas tareas de automatización, además que para la programación solo se necesita un cable de red, mas no como en otras marcas de PLC, el cable de programación resulta costoso.

Además del PLC se requiere módulos de expansión por la falta de salidas digitales y entradas análogas para señal de termopar, necesarias para controlar el proceso.

2.4.3.1 Características generales del PLC SIEMENS S7-1200 CPU 1212C

El controlador modular **SIMATIC S7-1200** como se ilustra en la figura 2.22, es el núcleo de la nueva línea de productos Siemens para tareas de automatización sencillas pero de alta precisión.



Figura 2.22: PLC SIMATIC S7-1200

Características generales del PLC S71200 CPU1212C

- Tamaño Físico: 90mm X 100mm X 75mm.
- Alta capacidad de procesamiento. Cálculo de 64 bits.
 - Velocidad de ejecución de funciones matemáticas con números reales: 18 μ s/instrucción.
 - Velocidad de ejecución Booleana: 0,1 μ s/instrucción.
- Interfaz Ethernet / PROFINET integrado.
- Bloques de función para control de ejes conforme a PLCopen.

- Programación mediante la herramienta de software STEP 7 Basic v11 para la configuración y programación no sólo del S7-1200, sino de manera integrada los paneles de la gama Simatic Basic Panels.
- 8 entradas digitales y 2 analógicas.
- 6 salidas digitales tipo rele.
- Módulos de expansión.
 - Módulos de señales: 2 (se colocan a la derecha de la CPU).
 - Módulos de comunicación: 3 (se colocan a la izquierda de la CPU).
 - Signal Board: 1
- Memoria de usuario.
 - Memoria de trabajo: 25KB.
 - Memoria de carga: 1MB.
 - Memoria remanente: 2KB.
- Tamaño de la memoria imagen de proceso.
 - 1024 bytes para entradas (I).
 - 1024 bytes para salidas (Q).
 - 4096 bytes para marcas (M).
- Contadores rápidos.
 - Fase simple (3 a 100kHz y 1 a 30kHz).
 - Fase en cuadratura (3 a 80kHz y 1 a 20kHz).
- Controlador PID básico.
- Reloj de tiempo real integrado.
- Entradas de alarma.

2.4.3.2 Característica del Módulo SM1223

Este módulo de expansión que se muestra en la figura 2.23, es compatible con el PLC S7-1200, considerando que es del mismo fabricante. Este módulo tiene 16 entradas a 24VDC y 16 salidas digitales tipo relé de 2A.



Figura 2.23: Módulo de expansión SM1223

A continuación se señala detalladamente las características del módulo SM1223:

- Voltaje de alimentación: 24VDC.
 - Límite inferior permisible: 20.4VDC.
 - Límite superior permisible 28.8VDC.
- Corriente de entrada: 180mA.
- **Entradas digitales**
 - Número de entradas: 16
 - Voltaje de entrada:
 - Tipo de voltaje de entrada: DC
 - Valor DC: 24
 - Para señal "0": 5VDC a 1mA.
 - Para señal "1": 15VDC a 2.5mA.
 - Corriente de entrada:
 - Para señal "0" máximo: 1mA.
 - Para señal "1" mínimo: 2.5mA.
 - Para señal "1" típico: 4mA.

- **Salidas digitales**
 - Número de salidas: 16
 - Voltaje de salida:
 - Valor nominal (AC): 5 a 250VAC.
 - Valor nominal (DC): 5 a 30VDC.
 - Corriente de salida:
 - Para señal "1": 2A
 - Capacidad de conmutación de las salidas
 - Con carga resistiva o inductiva, máx.: 2A; 30WDC, 200WAC.

- **Dimensiones:**
 - Altura: 100mm
 - Ancho: 70mm
 - Profundidad: 75mm

- **Peso: 350gr.**

2.4.3.3 Características del Módulo SM1231 AI4 X TC

El módulo SM1231 ilustrado en la figura 2.24, tiene 4 entradas analógicas especiales para termopar y tiene una resolución de 16 bits.

Este módulo permite medir el valor de la tensión conectada a las entradas del módulo. Este valor puede ser tanto la temperatura de un termopar como un voltaje externo.

- Si se trata de voltios, el valor máximo del rango nominal serán 27648 decimales.
- Si se trata de temperatura, el valor se expresará en grados multiplicados por 10. Ej.: 25,3 grados se expresará como 253 decimales.

Las características principales del módulo SM1231 se muestra en la tabla 2.5.

Tabla 2.5: Características principales del modulo de expansión 1231

Modelo	SM 1231 AI4 x TC x16 bit
Referencia (MLFB)	6ES7 231-5QD30-0XB0
Dimensiones An. x Al. x P. (mm)	45 x 100 x 75
Peso	180 g
Pérdidas	1,5 W
Consumo (bus SM)	80 mA
Consumo (24 V DC) [1]	40 mA
Número de entradas	4
Tipo	TC aislado y mV
Rango	Véase Tabla de selección de termopares
Rango nominal	Véase Tabla de selección de termopares
Rango de saturación superior/inferior	Véase Tabla de selección de termopares
Rebase por exceso/defecto (palabra de datos)	Véase Tabla de selección de termopares
Resolución Temperatura Tensión	0,1°C/0,1°F 15 bits más signo
Tensión máx. de ensayo	± 35 V
Supresión de ruido	85 dB para el filtro seleccionado (10 Hz, 50 Hz, 60 Hz o 400 Hz)
Supresión en modo común	> 120dB a 120 V AC
Impedancia	≥ 10 MΩ
Aislamiento Campo a circuito lógico Campo a 24 V DC 24 V DC a circuito lógico Canal a canal	500 V AC 500 V AC 500 V AC ninguno
Exactitud (25°C / 0 a 55°C)	Véase Tabla de selección de termopares
Repetitibilidad	±0,05% FS
Principio de medición	Integrador
Tiempo de actualización del módulo	Ver tabla de selección de filtros
Error de unión fría	±1,5°C
Longitud de cable	100 metros hasta el sensor (máx.)
Resistencia del cable	100 Ω máx.
Diagnóstico	
Rebase por exceso/defecto [2]	Sí
Rotura de hilo [3]	Sí
Baja tensión 24 V DC [2]	Sí

Fuente:

<http://www.swe.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/simatic/controladores/Documents/S71200%20-%20SM1231TC.PDF>

[1] 20,4 a 28,8 V DC (clase 2, potencia limitada o alimentación de sensor por PLC).

[2] La información de las alarmas de diagnóstico de baja tensión y de rebase por exceso/por defecto será indicada en los valores analógicos aunque las alarmas estén deshabilitadas en la configuración del módulo.

[3] Si la alarma de rotura de hilo está deshabilitada y se presenta una condición de rotura de hilo en la línea del sensor, el módulo puede señalar valores aleatorios.

Tabla de selección de termopares del SM 1231

Los rangos y la exactitud de los diferentes tipos de termopares soportados por el módulo de señales de termopar SM 1231 se indican en la tabla 2.6.

Tabla 2.6: Selección de termopares

Tipo de termopar	Rango de saturación mínimo	Rango nominal límite inferior	Rango nominal límite superior	Rango de Saturación máximo	Exactitud rango Normal @ 25°C [1],[2]	Exactitud rango normal 0°C a 55°C [1]
J	-210,0°C	-150,0°C	1200,0°C	1450,0°C	±0,3°C	±0,6°C
K	-270,0°C	-200,0°C	1372,0°C	1622,0°C	±0,4°C	±1,0°C
T	-270,0°C	-200,0°C	400,0°C	540,0°C	±0,5°C	±1,0°C
E	-270,0°C	-200,0°C	1000,0°C	1200,0°C	±0,3°C	±0,6°C
R&S	-50,0°C	+100,0°C	1768,0°C	2019,0°C	±1,0°C	±2,5°C
N	-270,0°C	-200,0°C	1300,0°C	1550,0°C	±1,6°C	±1,0°C
C	0,0°C	100,0°C	2315,0°C	2500,0°C	±0,7°C	±2,7°C
TXK/XK(L)	-200,0°C	-150,0°C	800,0°C	1050,0°C	±0,6°C	±1,2°C
Tensión	-32512 -94,07mV	-27648 -80mV	27648 80mV	32511 94,07mV	±0.05%	±0.1%

Fuente:

<http://www.swe.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/simatic/controladores/Documents/S71200%20-%20SM1231TC.PDF>

[1] El error de la unión fría interna es de ±1,5°C en todos los rangos. Esto debe añadirse al error en esta tabla. Para cumplir estas especificaciones, el módulo requiere como mínimo 30 minutos de calentamiento.

[2] En presencia de radiofrecuencia radiada de 970 MHz a 990 MHz, la exactitud puede verse reducida.

En la tabla 2.7 se ilustra la selección de filtros.

Tabla 2.7: Selección de filtros

Supresión de frecuencias (Hz)	Tiempo de integración (ms)	Tiempo de actualización 4 canales del módulo (segundos)
10	100	1.205
50	20	0.245
60	16.67	0.205
400 [1]	10	0.125

[1] Para mantener la resolución y exactitud del módulo con el filtro de 400 Hz, el tiempo de integración es de 10 ms. Esta selección también suprime perturbaciones de 100 Hz y 200 Hz.

Para medir termopares se recomienda utilizar un tiempo de integración de 100 ms. El uso de tiempos de integración inferiores aumentará el error de repetitividad de las lecturas de temperatura.

El diagrama de cableado del módulo SM1231 es ilustrado en la figura 2.25.



Figura 2.24: Módulo de termopares SM1231

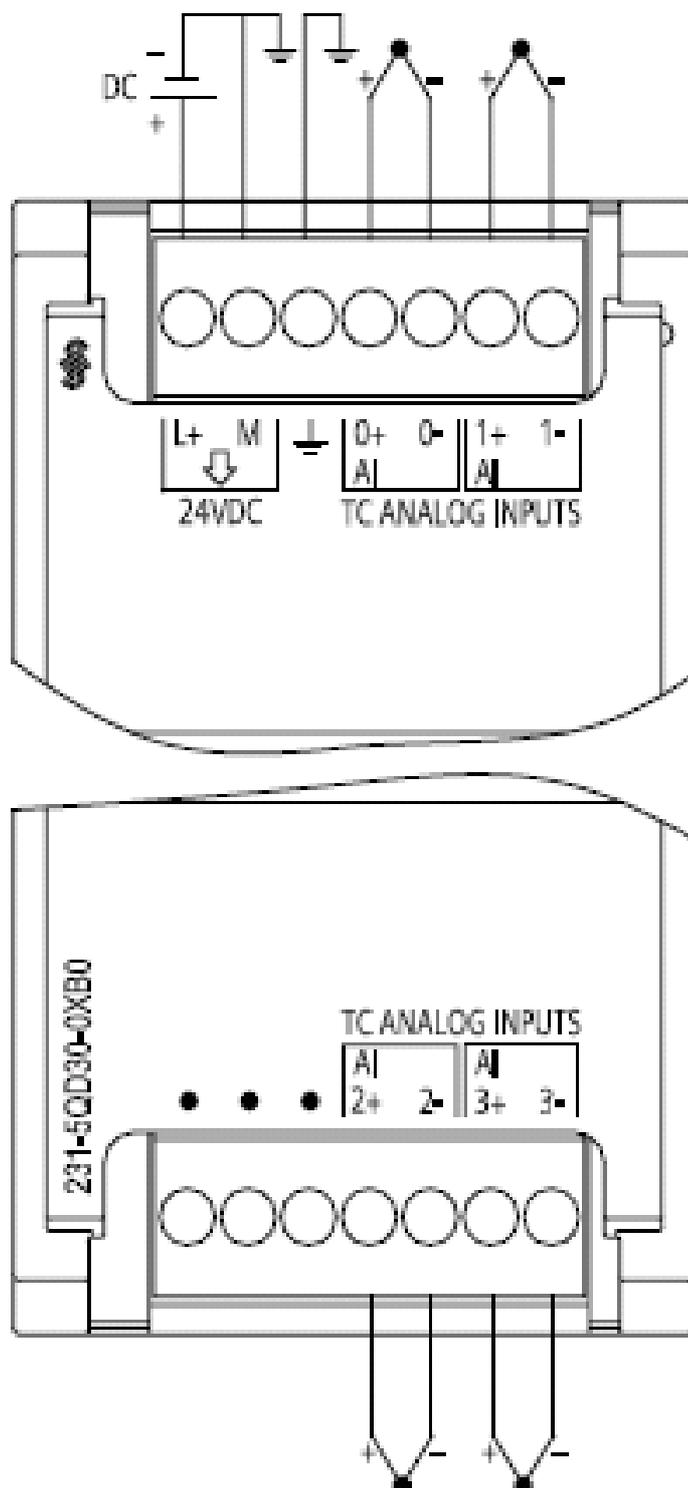


Figura 2.25: Diagrama de cableado del SM 1231 AI4 x TC

2.5 INTERFAZ HMI DEL SISTEMA DE CONTROL

La interfaz hombre máquina (HMI) se lo hará mediante un Panel View. Este panel será el modelo KTP600 Basic Mono de marca Siemens ilustrado en la figura 2.26.



Figura 2.26: Panel View KTP600 BasicMono de Siemens

A través de este panel el operador podrá controlar, monitorear y visualizar el proceso de tratamiento térmico de las planchas acrílicas.

El operador establecerá en el Panel View los valores de tiempo y temperaturas requeridos para dar inicio al proceso.

2.5.1 CARACTERÍSTICAS DEL PANEL VIEW KTP600 BASIC MONO

Este es un panel básico que cuenta con una pantalla de 5,7 pulgadas y un display STN monocromático a escala de grises. También combina la operación mediante teclas de función y modo táctil.

Este panel tiene una resolución de 320 x 240 píxeles que permite la representación de las pantallas de operación de menor complejidad a un tamaño conveniente. El panel puede ser operado por una pantalla táctil resistiva analógica y, además por 6 teclas de función configurables, que cuando son accionadas proporcionan una retroalimentación táctil.

El KTP600 Basic mono es un HMI, compatible con el PLC S7-1200. Se puede configurar mediante el uso del programa Step7 V10.5 o superior, WinCC Básico (TIA Portal) y WinCC flexible.

El KTP600 ofrece una funcionalidad básica HMI (alarmas, curvas, etc.), con 500 etiquetas, tiene una memoria de usuario de 512KB y una interfaz de comunicación RJ45 Ethernet para PROFINET.

Tiene un grado de protección: IP65 ó Nema4x si es que está montada de frente ó IP20 si está instalado por detrás.

Las dimensiones del Panel View KTP600 Basic Mono son:

Largo (cm)	21.4
Alto (cm)	15.8
Profundidad (cm)	4.4

2.6.- INSTALACIÓN DEL PANEL DE CONTROL

El panel de control del nuevo sistema tendrá instalado los siguientes componentes para la automatización de los dos hornos.

- PLC Siemens S7 CPU1212C.
- Módulo de entradas y salidas digitales SM1232.
- Módulo para entradas análogas para termopar SM1231.
- Panel View KTP600 PN monocromático (HMI).
- Selectores para escoger entre mando manual o automático.
- Pulsantes marcha-paro
- Luces Piloto (roja, verde y amarillo) para visualizar el proceso.
- Pulsantes de paros de emergencia con enclavamiento.
- Riel din para sostener los elementos.
- Breakers y fusibles para protección.
- Zumbadores.

Además del panel de control, se diseñó e implementó el circuito de fuerza para el arranque de los motores del horno 2. El gabinete o chasis para el circuito de fuerza para este horno tendrá instalados los siguientes componentes.

- Contactores trifásicos.
- Riel din para sostener los elementos.
- Breakers y Relés térmicos para protección.

2.6.1.- CONTROL DEL HORNO INDUSTRIAL 1

El nuevo sistema de control utilizará el circuito de fuerza y control existente del horno industrial 1 para la automatización del proceso de tratamiento térmico.

El control del horno industrial 1 se ilustra en la figura 2.27, tiene instalado un circuito para el control del arranque de los motores. Este arranque es Y- Δ y es manual, y mediante pulsantes el operador enciende y apaga los motores de manera secuencial:

- Arranque: Motor1-Motor2-Motor3. (M1-M2-M3)
- Apagado: Motor3-Motor2-Motor1. (P3-P2-P1)

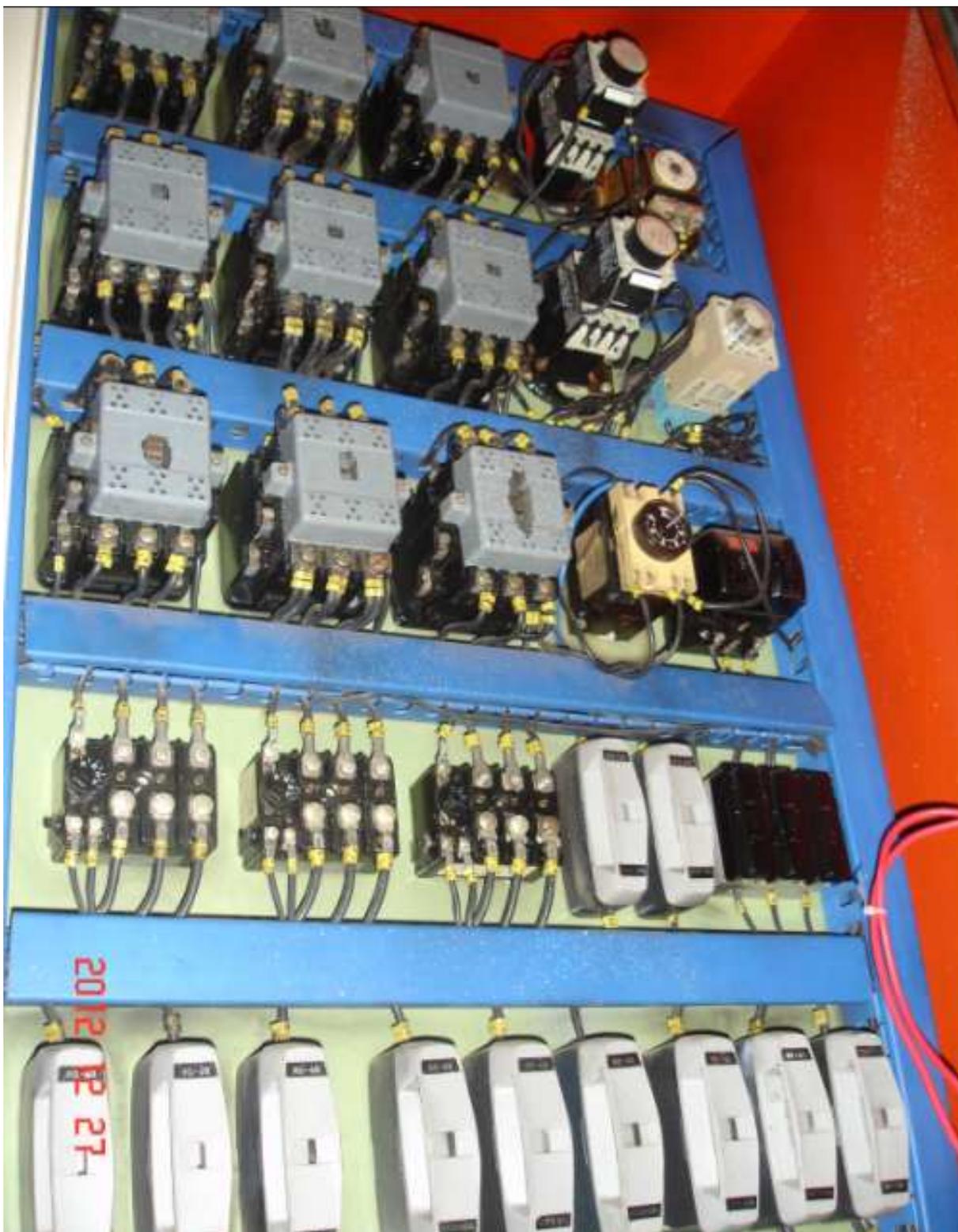


Figura 2.27: Control del Horno Industrial 1

Además, se tienen instalados relés de tiempos on delay físicos que permite al operador mediante luces piloto saber en qué momento se debe accionar los pulsantes. En la figura 2.28 (a y b) se ilustra el circuito de fuerza y en la figura 2.29 (a, b y c) se ilustra el circuito de control del arranque de los motores del horno industrial 1.

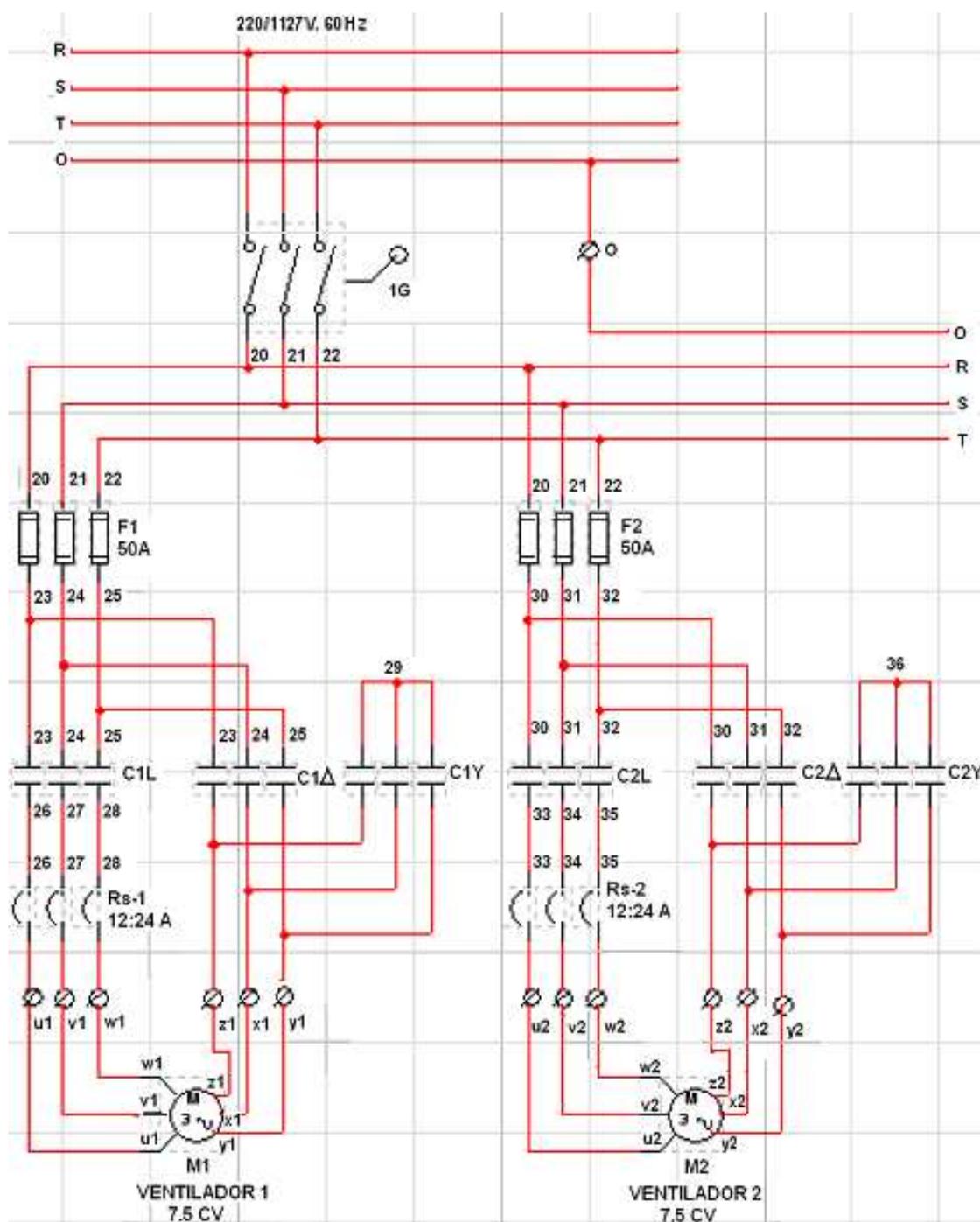


Figura 2.28 (a): Circuito de Fuerza del Arranque de los Motores del Horno Industrial1

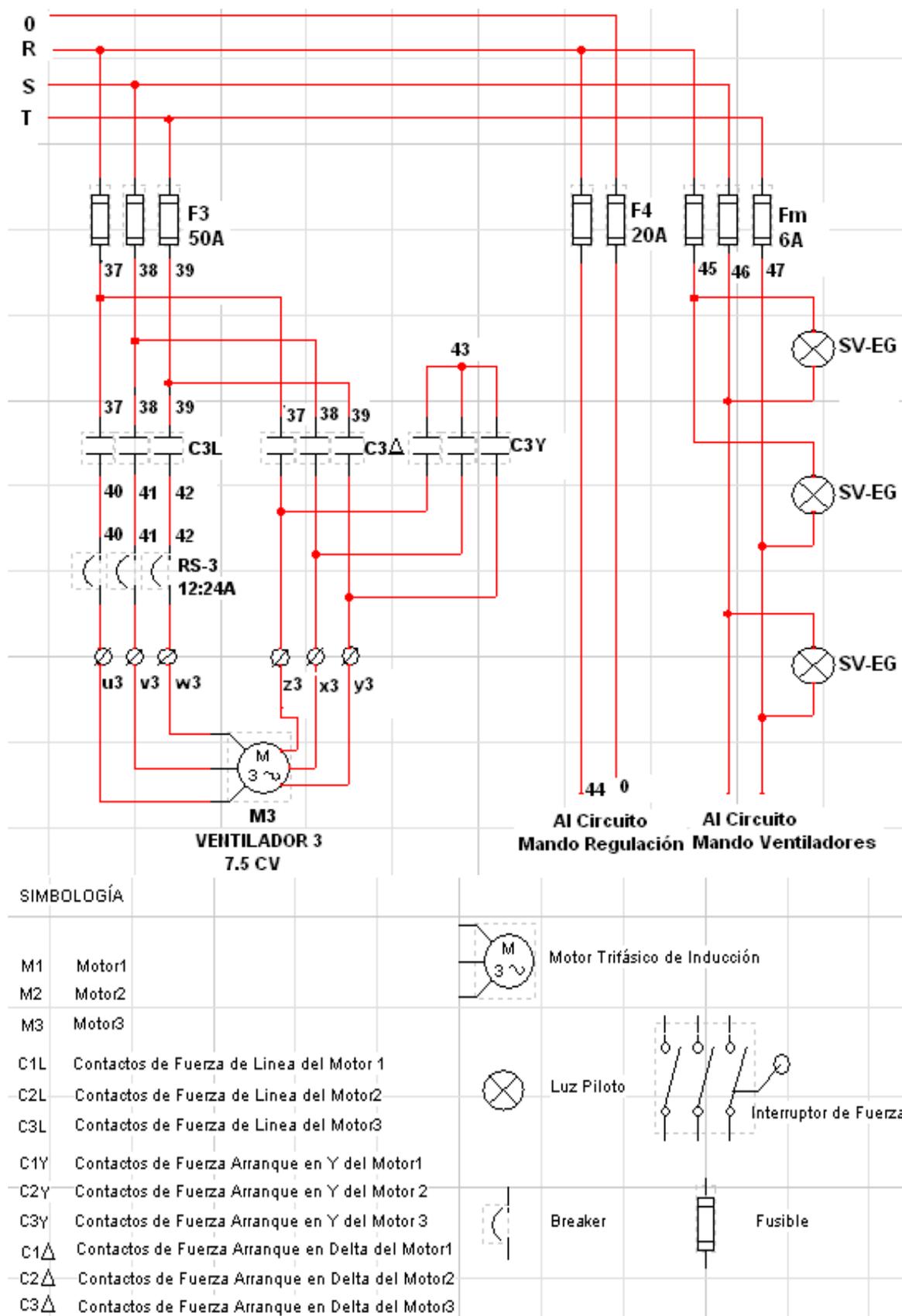


Figura 2.28 (b): Circuito de Fuerza del Arranque de los Motores del Horno Industrial 1 (continuación).

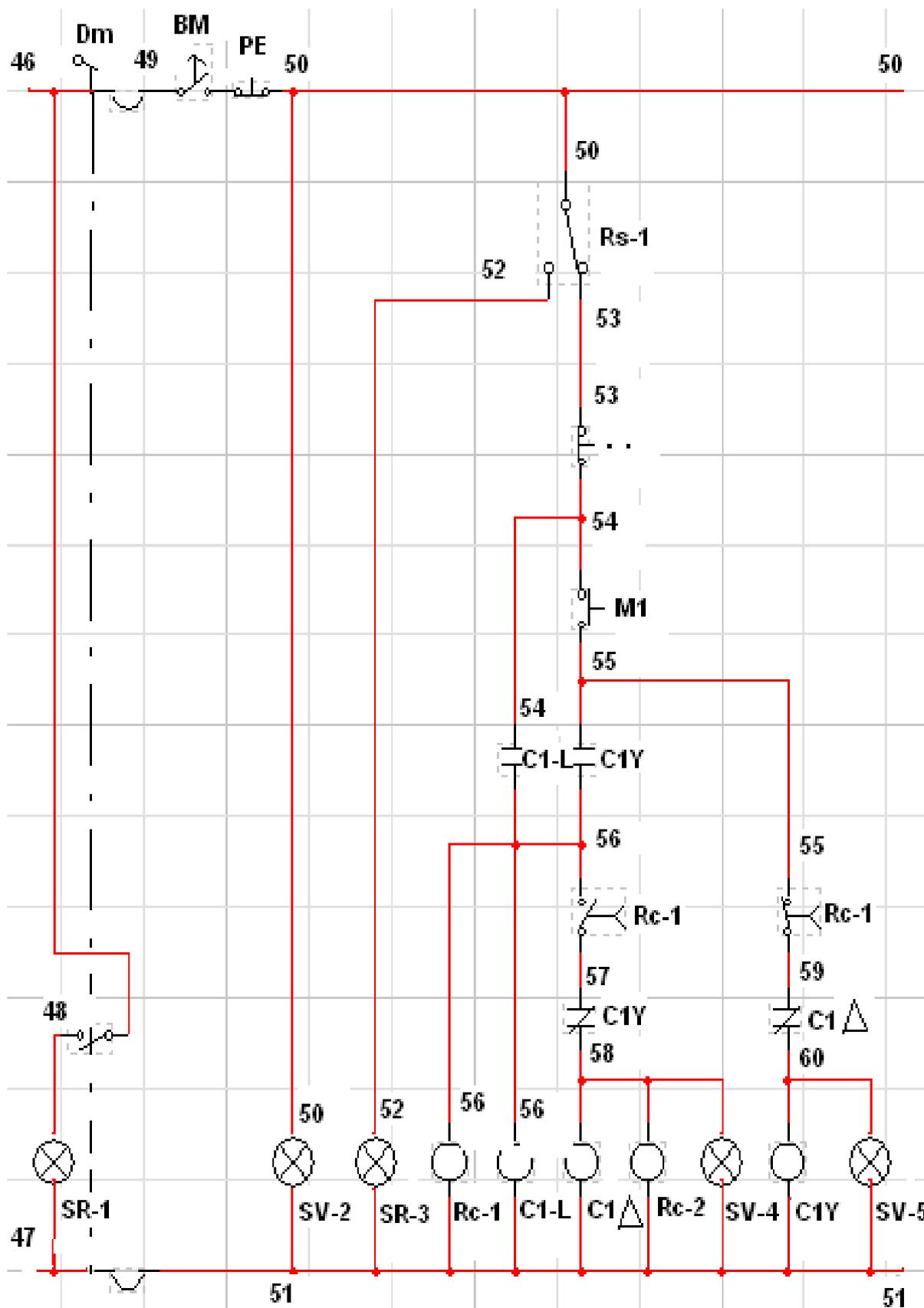


Figura 2.29 (a): Circuito de Control del Arranque de los Motores del Horno Industrial 1

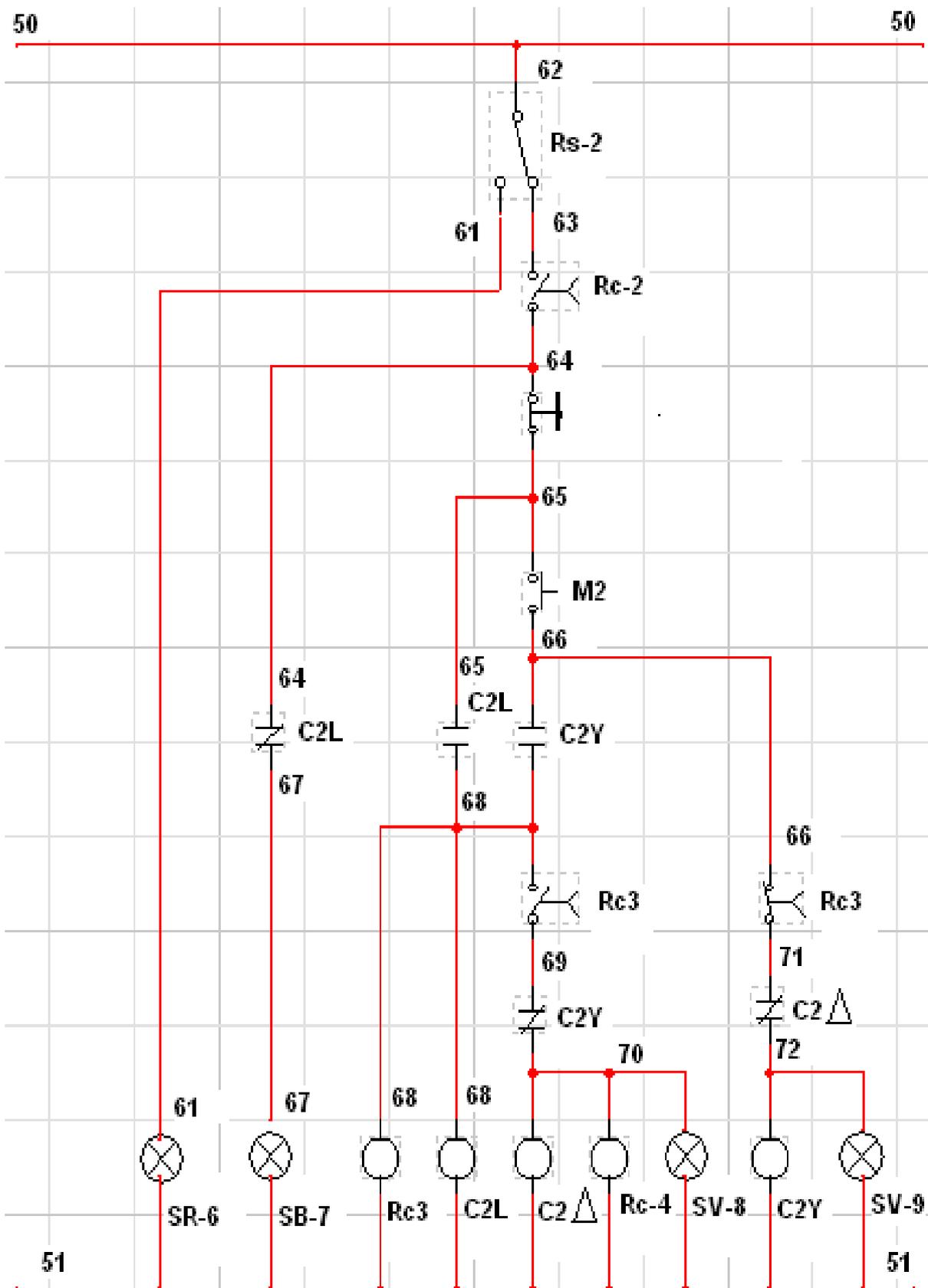


Figura 2.29 (b): Circuito de Control del Arranque de los Motores del Horno Industrial 1 (continuación1).

En la figura 2.30 se ilustra la simbología del circuito de control del arranque de los motores.

SIMBOLOGIA DEL DIAGRAMA DE CONTROL DEL HORNO 1					
	<i>Bobina de un Contactor</i>				<i>Contacto normalmente abierto de un contactor</i>
	<i>Luz Piloto</i>				<i>Contacto normalmente cerrado de un contactor</i>
	<i>Contacto normalmente abierto de un temporizador On-delay</i>				<i>Pulsante normalmente abierto</i>
	<i>Contacto normalmente cerrado de un temporizador On delay</i>				<i>Pulsante normalmente cerrado</i>
	<i>Breaker</i>	C1 L	<i>Contacto Motor 1 Linea</i>	Rc1	<i>Temporizador On delay 1</i>
P1	<i>Paro Motor 1</i>	C2 L	<i>Contacto Motor 2 Linea</i>	Rc2	<i>Temporizador On delay 2</i>
P2	<i>Paro Motor 2</i>	C3 L	<i>Contacto Motor 3 Linea</i>	Rc3	<i>Temporizador On delay 3</i>
P3	<i>Paro Motor 3</i>	C1 Y	<i>Contacto Motor 1 Arranque Estrella</i>	Rc4	<i>Temporizador On delay 4</i>
PE	<i>Paro Emergencia</i>	C2 Y	<i>Contacto Motor 2 Arranque Estrella</i>	Rc5	<i>Temporizador On delay 5</i>
M1	<i>Marcha Motor 1</i>	C3 Y	<i>Contacto Motor 3 Arranque Estrella</i>	Rs-1	<i>Temporizador on delay Rs-1</i>
M2	<i>Marcha Motor 2</i>	C1 D	<i>Contacto Motor 1 Arranque Triángulo</i>	Rs-2	<i>Temporizador on delay Rs-2</i>
M3	<i>Marcha Motor 3</i>	C2 D	<i>Contacto Motor 2 Arranque Triángulo</i>	Rs-3	<i>Temporizador on delay Rs-3</i>
		C3 D	<i>Contacto Motor 3 Arranque Triángulo</i>		

Figura 2.30: Simbología del Circuito de Control del Horno Industrial 1

Se instaló un selector para escoger entre control automático y manual.

Para automatizar el proceso se instaló relés en paralelo con los pulsantes de marcha y paro, estos relés serán controlados mediante el PLC, y serán los encargados de encender o apagar los motores del Horno Industrial 1.

2.6.2 DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL CIRCUITO DE FUERZA DEL ARRANQUE DE MOTORES DEL HORNO INDUSTRIAL 2.

Los motores de ventilación del horno industrial 2, son del tipo jaula de ardilla y tienen 9 terminales, es decir solamente hay como realizar arranque directo. En la tabla 2.8 se ilustra las características para las 2 conexiones que tienen estos motores.

Tabla 2. 8: Datos de las conexiones de los Motores

	Alimentación	Voltaje	Corriente	Potencia	RPM
Conexión Y	Trifásica	440 V	11.5 A	7.5 CV	1140
Conexión YY	Trifásica	220 V	23 A	7.5 CV	1140

En la figura 2.31 se ilustra como conectar los terminales del motor para que el mismo funcione a un voltaje de 220V con la conexión YY.

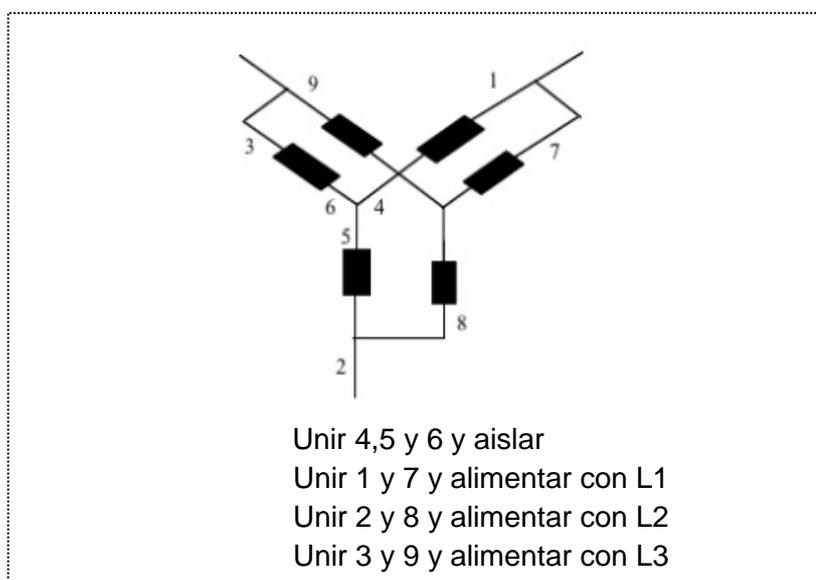


Figura 2.31: Diagrama de conexión YY para un motor de 9 terminales

El contactor trifásico, el breaker de 3 polos y el relé térmico para cada motor se dimensionan en base a la corriente nominal. En este caso se dimensionan los tres elementos para una corriente de 30A, ya que su corriente nominal es de 23A.

2.6.2.1 Circuito de Fuerza para el arranque de los motores

Una vez dimensionados los elementos de control y protección de los motores se instaló el circuito de fuerza. En la figura 2.32 se ilustra el circuito de fuerza del arranque instalado para cada motor.

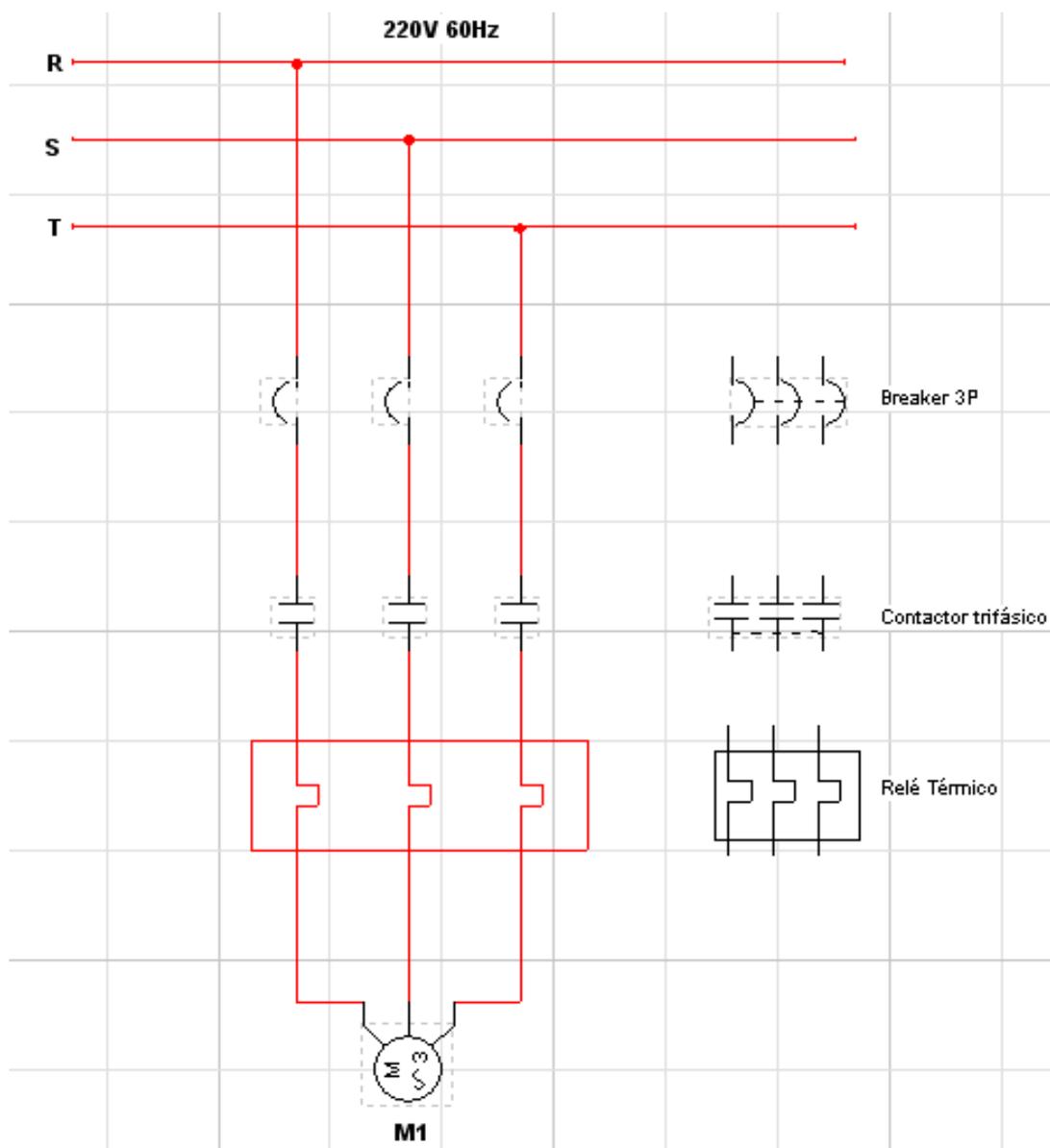


Figura 2.32: Circuito de Fuerza para los Motores del Horno Industrial 2

2.6.2.2 Instalación del chasis para el circuito de fuerza

El gabinete o chasis del circuito de fuerza para el arranque de los motores de recirculación de aire del horno 2 fue instalado cerca del mismo. La caja tiene unas dimensiones de 60cmx40cmx20cm y tiene una puerta con llave por seguridad.

En la figura 2.33 se ilustra todas las conexiones del nuevo circuito de fuerza para el arranque de los motores.

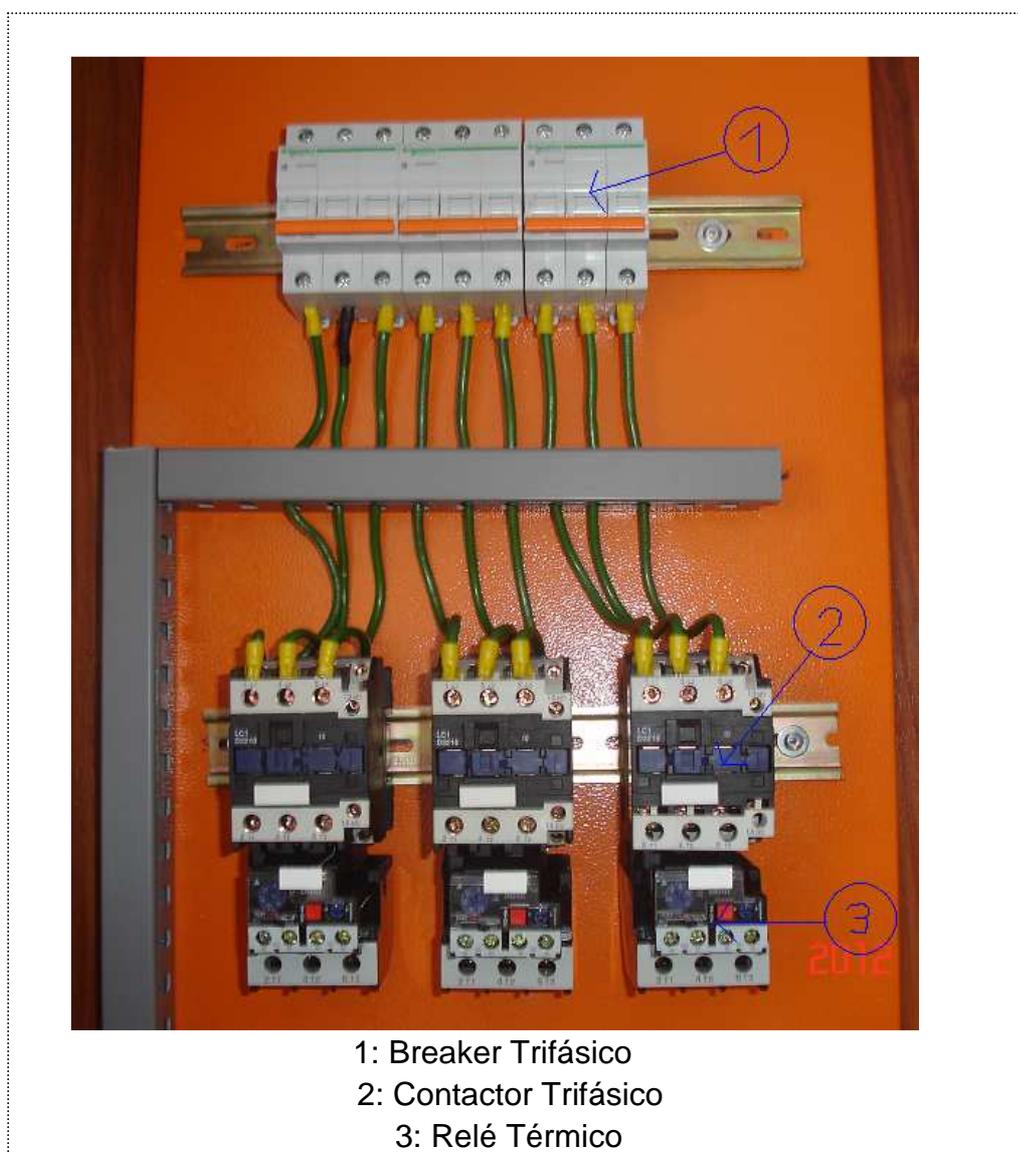


Figura 2.33: Circuito de Fuerza para los Motores del Horno Industrial 2

2.6.3 INSTALACIÓN DE LAS ELECTROVÁLVULAS

En la figura 2.34 se ilustra la electroválvula de 1 ¼" instalada en el Horno 1, y en la figura 2.35 se ilustra la electroválvula de 2" instalada en el Horno 2. Ambas electroválvulas permiten la apertura o cierre de la circulación de vapor.



Figura 2.34: Electroválvula instalada en el Horno 1



Figura 2.35: Electroválvula instalada en el Horno 2

2.6.4 INSTALACIÓN DE TERMOPARES

En la figura 2.36 se ilustra los dos termopares tipo K instalados para sensar la temperatura en el Horno 1, y en la figura 2.37 se ilustra los dos termopares instalados para sensar la temperatura en el Horno 2.

Se instalaron 2 termopares por cada horno, ya que éstos tienen puntos calientes y fríos en vista a que el vapor entra solamente por el lado izquierdo. El termopar instalado en el punto caliente o crítico (lado izquierdo central) será el encargado del control, mientras el termopar instalado en la zona fría (lado derecho central) será una referencia.



Figura 2.36: Instalación de termopares en el Horno 1



Figura 2.37: Instalación de termopares en el Horno 2

CAPITULO 3

DESARROLLO DEL SOFTWARE DEL SISTEMA DE CONTROL

3.1 PRINCIPIOS BÁSICOS DE PROGRAMACIÓN

3.1.1 TIPOS DE BLOQUES DE PROGRAMA EN EL S7-1200

- Bloques de Organización (OB)
- Función (FC)
- Bloque de Función (FB)
- Bloque de Datos (DB)

3.1.1.1 Bloque de Organización (OB)

Los bloques de organización permiten estructurar el programa. Estos bloques sirven de interfaz entre el sistema operativo y el programa de usuario. Los OBs son controlados por eventos. Ejemplo: Una alarma de diagnóstico o un intervalo, hace que la CPU ejecute un OB. Algunos OBs tienen eventos de arranque y comportamiento en arranque predefinidos.

El OB de ciclo contiene el programa principal. Es posible incluir más de un OB de ciclo en el programa de usuario. En estado operativo RUN, los OBs de ciclo se ejecutan en el nivel de prioridad más bajo y pueden ser interrumpidos por todos los demás tipos de procesamiento del programa. El OB de arranque no interrumpe el OB de ciclo, puesto que la CPU ejecuta el OB de arranque antes de pasar al estado operativo RUN.

Tras finalizar el procesamiento de los OBs de ciclo, la CPU vuelve a ejecutarlos inmediatamente. Esta ejecución cíclica es el tipo de procesamiento "normal" que se utiliza para los controladores lógicos programables. En numerosas

aplicaciones, el programa de usuario entero está contenido en un solo OB de ciclo.

Es posible crear otros OBs para ejecutar funciones específicas, tales como tareas de arranque, procesamiento de alarmas y tratamiento de errores, o ejecución de un código de programa específico en determinados intervalos. Estos OBs interrumpen la ejecución de los OBs de ciclo.

En función de su nivel de prioridad, un OB puede interrumpir a otro OB. Las alarmas se procesan siempre de forma controlada por eventos. Cuando ocurre un evento, la CPU interrumpe la ejecución del programa de usuario y llama el OB configurado para procesar ese evento. Una vez finalizada la ejecución del OB de alarma, la CPU reanuda la ejecución del programa de usuario en el punto donde se produjo la interrupción.

Tipos de bloques de organización (OB) del S7-1200:

- Ciclo del programa OB1
- OBs de arranque OB100
- Alarmas de retardo OB200
- Alarmas cíclicas OB200
- Alarmas de proceso OB200
- Alarmas de error de tiempo OB80
- Alarma de error de diagnóstico OB82

3.1.1.2 Bloque Lógico (FC)

Una función (FC) es un bloque lógico que, por lo general, realiza una operación específica en un conjunto de valores de entrada. La FC almacena los resultados de esta operación en posiciones de memoria.

Las FCs se utilizan para realizar las tareas siguientes:

- Para ejecutar operaciones estándar y reutilizables. Ejemplo: en cálculos matemáticos.
- Para ejecutar funciones tecnológicas. Ejemplo: controles individuales con operaciones lógicas binarias.

Una FC también se puede llamar varias veces en diferentes puntos de un programa. Esto facilita la programación de tareas que se repiten con frecuencia.

Una FC no tiene ningún bloque de datos instancia asociado (DB). La FC usa la pila de datos locales para los datos temporales utilizados para realizar los cálculos requeridos en la operación. Los datos temporales no se almacenan. Para almacenar los datos de forma permanente es preciso asignar el valor de salida a una posición de memoria global, p. ej. el área de marcas o un DB global.

3.1.1.3 Bloque de Función (FB)

Un bloque de función (FB) es un bloque lógico que utiliza un bloque de datos instancia para sus parámetros y datos estáticos. Los FBs tienen una memoria variable ubicada en un bloque de datos (DB) o DB "instancia". El DB instancia ofrece un bloque de memoria asociado a esa instancia (o llamada) del FB y almacena datos una vez que haya finalizado el FB. Es posible asociar distintos DBs de instancia a diferentes llamadas del FB. Los DBs instancia permiten utilizar un FB genérico para controlar varios dispositivos. El programa se estructura de manera que un bloque lógico llame un FB y un DB instancia. La CPU ejecuta luego el código del programa en ese FB y almacena los parámetros del bloque y los datos locales estáticos en el DB instancia. Cuando finaliza la ejecución del FB, la CPU regresa al bloque lógico que ha llamado el FB. El DB instancia conserva los valores de esa instancia del FB. Estos valores están disponibles para las llamadas posteriores al bloque de función, bien sea en el mismo ciclo o en otros ciclos.

3.1.1.4 Bloque de Datos (DB)

Los bloques de datos (DB) se crean en el programa de usuario para almacenar los datos de los bloques lógicos. Todos los bloques del programa de usuario pueden acceder a los datos en un DB global. En cambio, un DB instancia almacena los datos de un bloque de función (FB) específico. Un DB se puede definir de manera que sea de sólo lectura. Los datos almacenados en un DB no se borran cuando finaliza la ejecución del bloque lógico asociado. Hay dos tipos de DBs, a saber:

- Un DB global almacena los datos de los bloques lógicos en el programa. Cualquier OB, FB o FC puede acceder a los datos en un DB global.
- Un DB instancia almacena los datos de un FB específico. La estructura de los datos en un DB instancia refleja los parámetros (Input, Output e InOut) y los datos estáticos del FB. (La memoria temporal del FB no se almacena en el DB instancia.)

3.1.2 ALMACENAMIENTO DE DATOS, ÁREAS DE MEMORIA Y TIPOS DE DATOS

El programa Step7, facilita la programación simbólica. Se crean nombres simbólicos o “variables” para las direcciones de los datos, ya sea como variables PLC asignadas a direcciones de memoria y E/S o como variables locales utilizadas dentro de un bloque lógico. Para utilizar estas variables en el programa de usuario, se introduce el nombre de la variable para el parámetro en la respectiva instrucción.

El PLC ofrece varias opciones para almacenar datos durante la ejecución del programa de usuario:

- Memoria Global: La CPU ofrece distintas áreas de memoria, incluyendo entradas (I), salidas (Q) y marcas (M).

- Bloque de datos (DB): Es posible incluir DBs en el programa de usuario para almacenar los datos de los bloques lógicos. Los datos almacenados se conservan cuando finaliza la ejecución del bloque lógico asociado. Un DB “global” almacena datos que pueden ser utilizados por todos los bloques lógicos; mientras que un DB instancia almacena datos para un bloque de función (FB) específico y está estructurado según los parámetros del FB.
- Memoria temporal: Cada vez que se llama un bloque lógico, el programa almacenado de la CPU asigna la memoria temporal o local (L) que debe utilizarse durante la ejecución del bloque. Cuando finaliza la ejecución del bloque lógico, la CPU reasigna la memoria local para la ejecución de otros bloques lógicos.

En la tabla 3.1 se ilustra el área de memoria de la CPU S7-1200.

Tabla 3.1: Área de memoria de la CPU S7-1200

Área de Memoria	Descripción	Forzado Permanente	Remanente
I (Memoria imagen de proceso de las entradas)	Se copia las entradas físicas al inicio del ciclo	NO	NO
I_:P Entrada física	Lectura inmediata de las entradas físicas de la CPU, SB y SM	SI	NO
Q (Memoria imagen de proceso de las salidas)	Se copia las salidas físicas al inicio del ciclo	NO	NO
Q_:P Salida física	Escritura inmediata de las salidas físicas de la CPU, SB y SM	SI	NO
M Área de marcas	Control y memoria de datos	NO	SI (opcional)
L Memoria temporal	Datos locales temporales de un bloque	NO	NO
DB Bloque de datos	Memoria de datos y de parámetros de FBs	NO	SI (opcional)

Los tipos de datos se utilizan para determinar el tamaño de un elemento de datos y cómo deben interpretarse los mismos. Todo parámetro en la instrucción se encuentra definido como un tipo de datos. Algunos parámetros soportan varios tipos de datos.

En la tabla 3.2 se ilustra los tipos de datos simples soportados, incluyendo ejemplos de entrada de constantes.

Tabla 3.2: Tipos de datos de la CPU S7-1200.

Tipo de datos	Tamaño bits	Rango	
Bool	1	0 a 1	TRUE, FALSE, 0, 1
Byte	8	16#00 a 16#FF	16#12, 16#AB
Word	16	16#0000 a 16#FFFF	16#ABCD, 16#0001
Dword	32	16#00000000 a 16#FFFFFFFF	16#02468ACE
Char	8	16#00 a 16#FF	'A', 't', '@'
SInt	8	128 a 127	123, -123
Int	16	32.768 a 32.767	123, -123
Dint	32	-2.147.483.648 a 2.147.483.647	123, -123
USint	8	0 a 255	123
UInt	16	0 a 65.535	123
UDInt	32	0 a 4.294.967.295	123
Real	32	+/-1,18 x 10 ⁻³⁸ a +/-3,40 x 10 ³⁸	123,456, -3,4, -1,2E+12, 3,4E-3
LReal	64	+/-2,23 x 10 ⁻³⁰⁸ a +/-1,79 x 10 ³⁰⁸	12345.123456789 - 1,2E+40
Time	32	T#-24d_20h_31m_23s_648ms a T#24d_20h_31m_23s_647ms Almacenado como: -2,147,483,648	T#5m_30s 5#-2d T#1d_2h_15m
String	Variable	0 a 254 caracteres en tamaño de byte	'ABC'

3.1.3 SIMBOLOGÍA Y DESCRIPCIÓN DE TODOS LOS ELEMENTOS USADOS EN EL PROGRAMA

➤ Contacto normalmente abierto

Símbolo: ---|I---

Descripción:

La activación de un contacto normalmente abierto depende del estado lógico del operando correspondiente. Si el estado lógico del operando es "1", se cierra el contacto normalmente abierto y el estado lógico de la salida de la instrucción se pone a "1".

Si el estado lógico del operando es "0", el contacto normalmente abierto no se activa y el estado lógico de la salida luego de la ejecución de la instrucción se pone a "0".

En una conexión en serie, dos o más contactos normalmente abiertos se combinan de bit en bit mediante una operación lógica Y.

En una conexión en paralelo, los contactos normalmente abiertos se combinan mediante una operación lógica O.

Parámetros:

En la tabla 3.3 se ilustra los parámetros de la instrucción:

Tabla 3.3: Parámetros de la instrucción: Contacto normalmente abierto

Parámetro	Declaración	Tipo de datos	Área de Memoria	Descripción
Operando	Entrada	Bool	I,Q,M,D,L	Operando cuyo estado lógico puede ser 0 ó 1

➤ **Contacto normalmente cerrado**

Símbolo: ---| / |---

Descripción:

La activación de un contacto normalmente cerrado depende del estado lógico del operando correspondiente. Si el estado lógico del operando es "1", se abre el contacto normalmente cerrado y el estado lógico de la salida de la instrucción se pone a "0".

Si el estado lógico del operando es "0", el contacto normalmente cerrado no se activa y el estado lógico de la salida de la instrucción se pone a "1".

En una conexión en serie, dos o más contactos normalmente cerrados se combinan de bit en bit mediante una operación lógica Y.

En una conexión en paralelo, los contactos normalmente cerrados se combinan mediante una operación lógica O.

Parámetros:

En la tabla 3.4 se ilustra los parámetros de la instrucción:

Tabla 3.4: Parámetros de la instrucción: Contacto normalmente cerrado

Parámetro	Declaración	Tipo de datos	Área de Memoria	Descripción
Operando	Entrada	Bool	I,Q,M,D,L	Operando cuyo estado lógico puede ser 0 ó 1

➤ **Asignación o Bobina**

Símbolo: ---()---

Descripción:

La instrucción "Asignación" permite activar el bit de un operando indicado. Si el resultado lógico (RLO) en la entrada de la bobina es "1", el operando indicado adopta el estado lógico "1". Si el estado lógico en la entrada de la bobina es "0", el bit del operando indicado se pone a "0".

La instrucción no afecta el RLO. El RLO de la entrada de la bobina se transfiere directamente a la salida.

La instrucción "Asignación" puede colocarse en cualquier posición del segmento.

Parámetros:

En la tabla 3.5 se ilustra los parámetros de la instrucción "Asignación":

Tabla 3.5: Parámetros de la instrucción: Asignación

Parámetro	Declaración	Tipo de datos	Área de Memoria	Descripción
Operando	Salida	Bool	I,Q,M,D,L	Operando al que se asigna el RLO

➤ **Desactivar Salida (Reset)**

Símbolo:

---(R)---

Descripción:

La instrucción "Desactivar salida" permite poner a "0" el estado lógico de un operando indicado.

La instrucción se ejecuta sólo si el resultado lógico (RLO) de la entrada de la bobina es "1". Si fluye corriente hacia la bobina (RLO = "1"), el operando indicado se pone a "0". Si en la entrada de la bobina hay un RLO de "0" (no hay flujo de señales en la bobina), el estado lógico del operando indicado no varía.

La ejecución de la instrucción no afecta al RLO. El RLO de la entrada de la bobina se transfiere directamente a la salida de la bobina.

Parámetros:

En la tabla 3.6 se ilustra los parámetros de la instrucción "Desactivar salida":

Tabla 3.6: Parámetros de la instrucción: Desactivar salida

Parámetro	Declaración	Tipo de datos	Área de Memoria	Descripción
Operando	Salida	Bool	I,Q,M,D,L	Operando que se desactiva si RLO = "1".

➤ **TON: Retardo al conectar**

Símbolo:

Descripción:

La instrucción "Retardo al conectar" retarda la activación de la salida Q por el tiempo programado PT. La instrucción se inicia cuando el resultado lógico (RLO) de la entrada IN cambia de "0" a "1" (flanco de señal ascendente). Al iniciar la instrucción, el tiempo programado PT deja de contar. Una vez transcurrido el tiempo PT, la salida Q devuelve el estado lógico "1". La salida Q permanece activada mientras la entrada de arranque esté puesta a "1". Cuando el estado lógico de la entrada de arranque cambia de "1" a "0", se desactiva la salida Q. La función de temporización se reinicia al detectarse un flanco positivo nuevo en la entrada de arranque.

El valor de tiempo actual se puede consultar en la salida ET. Este valor de tiempo empieza a partir de T#0s y termina al alcanzarse el valor del tiempo PT. La salida ET se desactiva en cuanto el estado lógico de la entrada IN cambia a "0".

Parámetros:

En la tabla 3.7 se ilustra los parámetros de la instrucción "Retardo al conectar":

Tabla 3.7: Parámetros de la instrucción: Retardo al conectar

Parámetro	Declaración	Tipo de datos	Área de Memoria	Descripción
IN	Entrada	Bool	I,Q,M,D,L	Entrada de arranque
PT	Entrada	Time	I,Q,M,D,L o constante	Duración del retardo al conectar. El valor del parámetro PT debe ser positivo
Q	Salida	Bool	I,Q,M,D,L	Salida que se activa una vez transcurrido el tiempo PT
ET	Salida	Time	I,Q,M,D,L	Valor de tiempo actual

Diagrama de Impulsos:

En la figura 3.1 se muestra el diagrama de tiempos donde se observa la respuesta de la instrucción "Retardo al conectar":

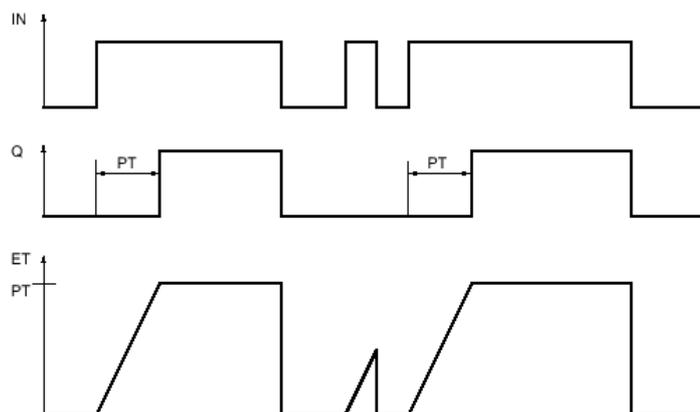
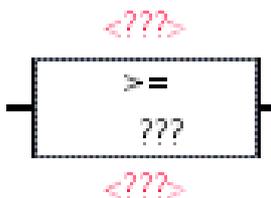


Figura 3.1: Diagrama de impulsos de la instrucción: Retardo al conectar

➤ **CMP>=: Mayor o igual**

Símbolo:



Descripción:

La instrucción "Mayor o igual" permite consultar si el primer valor de comparación (<Operando1>) es mayor o igual al segundo (<Operando2>). Ambos valores de comparación deben ser del mismo tipo de datos.

Si se cumple la condición de la comparación, la instrucción devuelve el resultado lógico (RLO) "1". Si la condición de la comparación no se cumple, la instrucción devuelve el RLO "0".

Parámetros:

En la tabla 3.8 se ilustra los parámetros de la instrucción "Mayor o igual":

Tabla 3.8: Parámetros de la instrucción: Mayor o igual

Parámetro	Declaración	Tipo de datos	Área de Memoria	Descripción
Operando 1	Entrada	Enteros, números en coma flotante, caracteres, TIME, DATE, TOD, DTL	I,Q,M,D,L o constante	Primer valor de comparación
Operando 2	Entrada	Enteros, números en coma flotante, caracteres, TIME, DATE, TOD, DTL	I,Q,M,D,L o constante	Segundo valor de comparación

En la lista desplegable "<???" del cuadro de la instrucción se puede seleccionar el tipo de datos de la instrucción.

➤ **CMP<=: Menor o igual**

Simbología:

El diagrama muestra la instrucción `CMP<=:>` con los operandos `<???` y `???`. El símbolo `<???` está en rojo y se encuentra tanto arriba como abajo del símbolo `<=`. El símbolo `???` está en negro y se encuentra entre los dos símbolos `<???`. El símbolo `<=` está en negro y se encuentra entre los dos operandos.

Descripción:

La instrucción "Menor o igual" permite consultar si el primer valor de comparación (<Operando1>) es menor o igual al segundo (<Operando2>). Ambos valores de comparación deben ser del mismo tipo de datos.

Si se cumple la condición de la comparación, la instrucción devuelve el resultado lógico (RLO) "1". Si la condición de la comparación no se cumple, la instrucción devuelve el RLO "0".

Parámetros:

En la tabla 3.9 se ilustra los parámetros de la instrucción "Menor o igual":

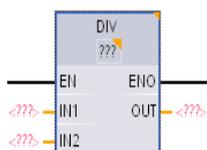
Tabla 3.9: Parámetros de la instrucción: Menor o igual

Parámetro	Declaración	Tipo de datos	Área de Memoria	Descripción
Operando 1	Entrada	Enteros, números en coma flotante, caracteres, TIME, DATE, TOD, DTL	I,Q,M,D,L o constante	Primer valor de comparación
Operando 2	Entrada	Enteros, números en coma flotante, caracteres, TIME, DATE, TOD, DTL	I,Q,M,D,L o constante	Segundo valor de comparación

En la lista desplegable "<???" del cuadro de la instrucción se puede seleccionar el tipo de datos de la instrucción.

➤ DIV: Dividir

Simbología:



Descripción:

La instrucción "Dividir" permite dividir el valor de la entrada IN1 por el valor de la entrada IN2 y consultar el cociente en la salida OUT ($OUT = IN1/IN2$).

La instrucción se ejecuta sólo si el estado lógico de la entrada de habilitación EN es "1". Si no ocurren errores al ejecutar la instrucción, la salida ENO también devuelve el estado lógico "1".

La salida de habilitación ENO devuelve el estado lógico "0" cuando se cumple una de las condiciones siguientes:

- La entrada EN devuelve el estado lógico "0".
- El resultado de la instrucción está fuera del rango permitido para el tipo de datos indicado en la salida OUT.
- Un número en coma flotante tiene un valor no válido.

Parámetros:

En la tabla 3.10 se ilustra los parámetros de la instrucción "Dividir":

Tabla 3.10: Parámetros de la instrucción: Dividir

Parámetro	Declaración	Tipo de datos	Área de Memoria	Descripción
EN	Entrada	BOOL	I,Q,M,D,L	Entrada de habilitación
ENO	Salida	BOOL	I,Q,M,D,L	Salida de habilitación
IN1	Entrada	Enteros, números en coma flotante	I,Q,M,D,L o constante	Dividendo
IN2	Entrada	Enteros, números en coma flotante	I,Q,M,D,L o constante	Divisor
OUT	Salida	Enteros, números en coma flotante	I,Q,M,D,L	Valor del cociente

3.2 DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO

En la figura 3.2 se ilustra el diagrama de flujo para la selección del control entre Manual y Automático de los dos hornos.

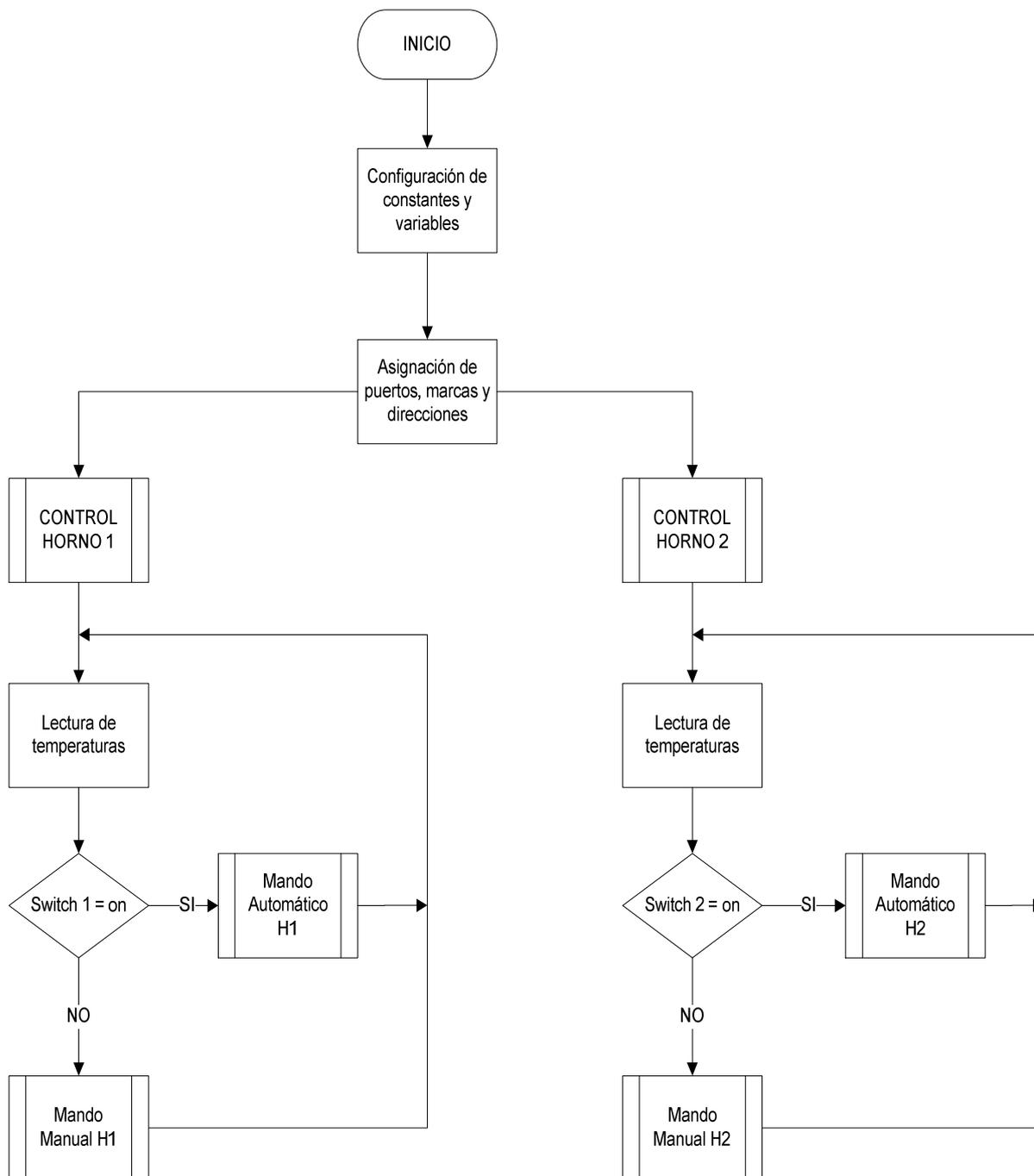


Figura 3.2: Diagrama de Flujo para el Control de los 2 Hornos

En la figura 3.3 se ilustra el diagrama de flujo del Mando Automático de cada horno.

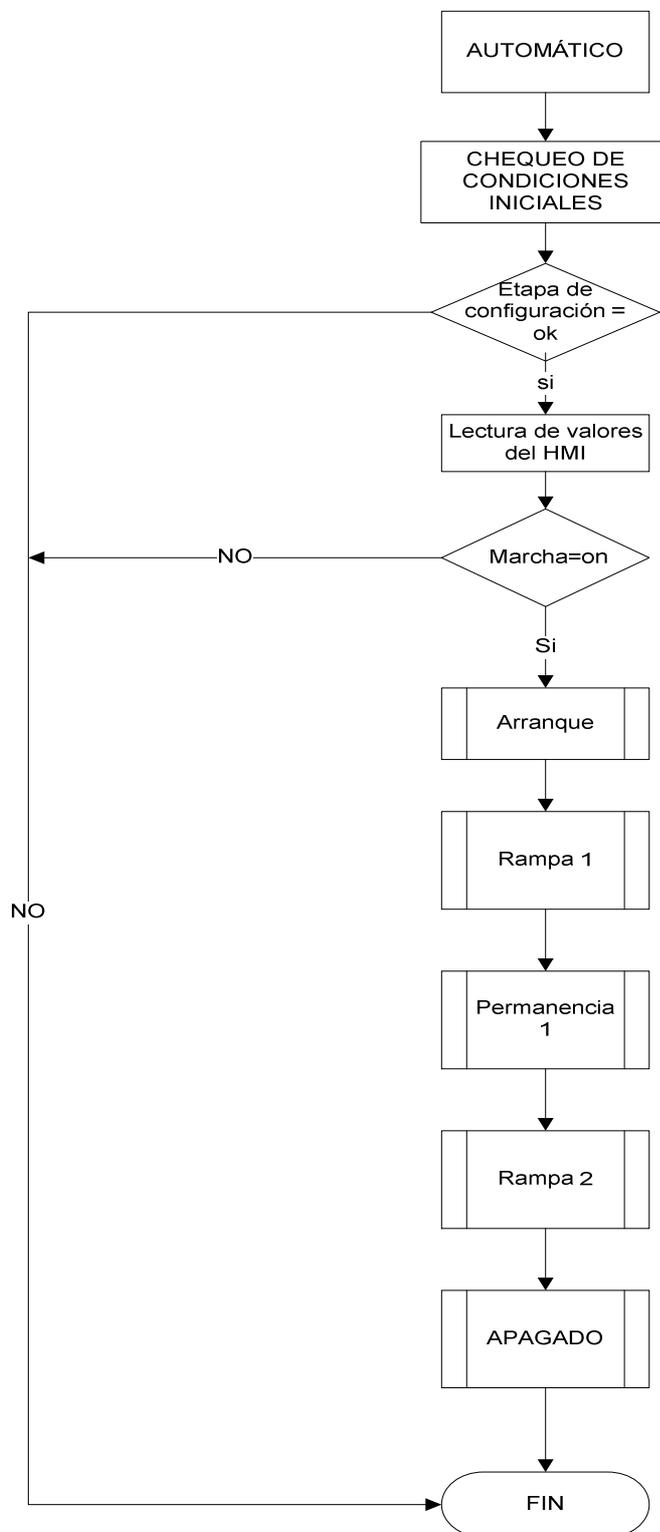


Figura 3.3: Diagrama de Flujo del Mando Automático para ambos hornos

En la figura 3.4 se ilustra el diagrama de flujo para realizar el arranque de los motores en el control automático para el Horno 1.

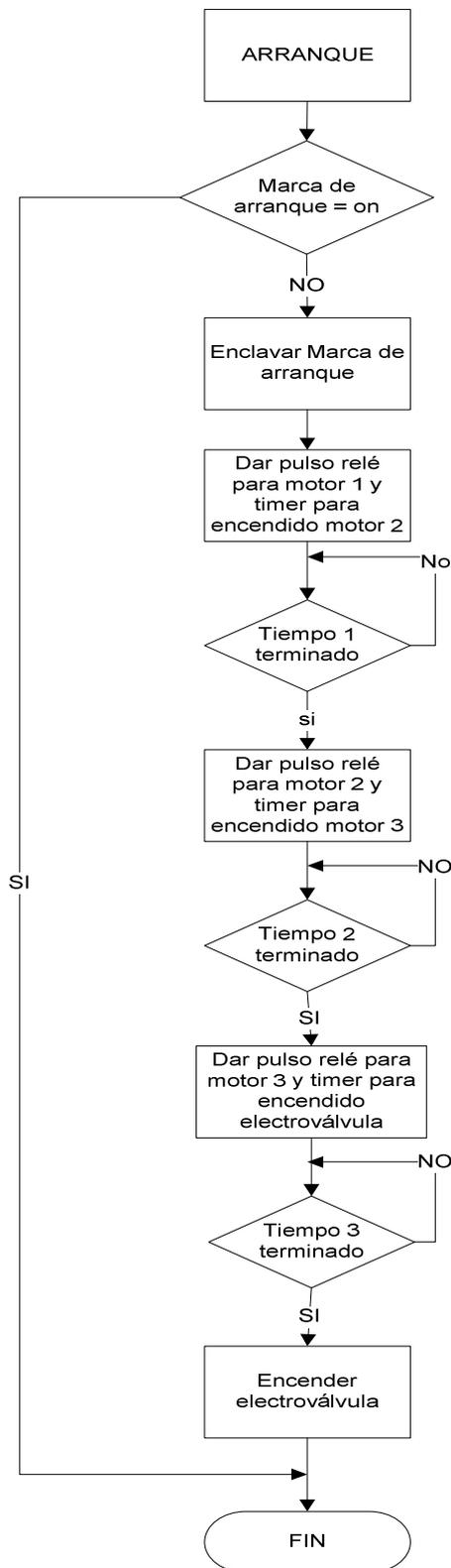


Figura 3.4: Diagrama de Flujo del arranque de los motores para el Horno 1

En la figura 3.5 se ilustra el diagrama de flujo para realizar el arranque de los motores en el control automático para el Horno 2.

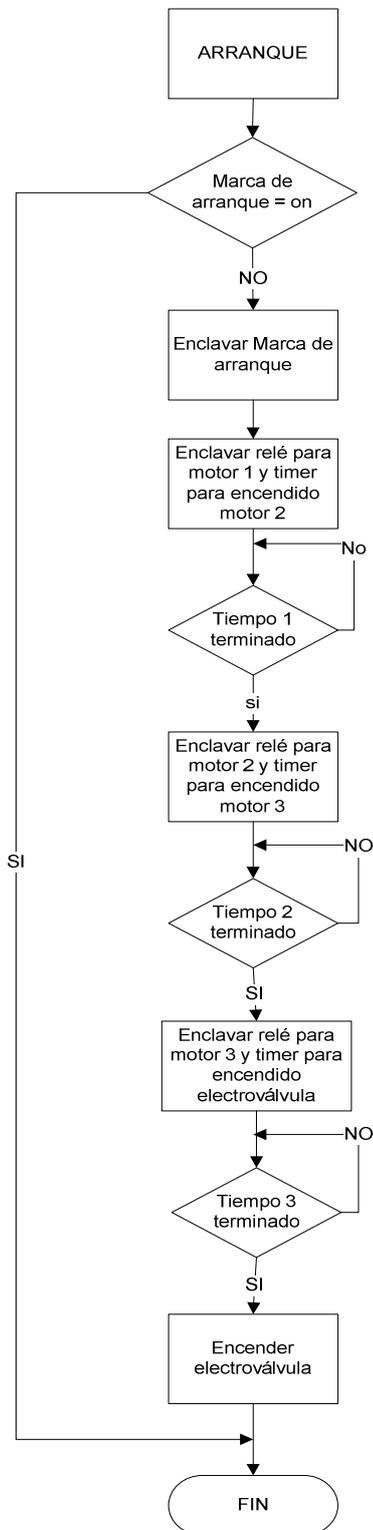


Figura 3.5: Diagrama de Flujo del arranque de los motores para el Horno 2

En la figura 3.6 se ilustra el diagrama de flujo de la Rampa 1 del control automático de los dos hornos.

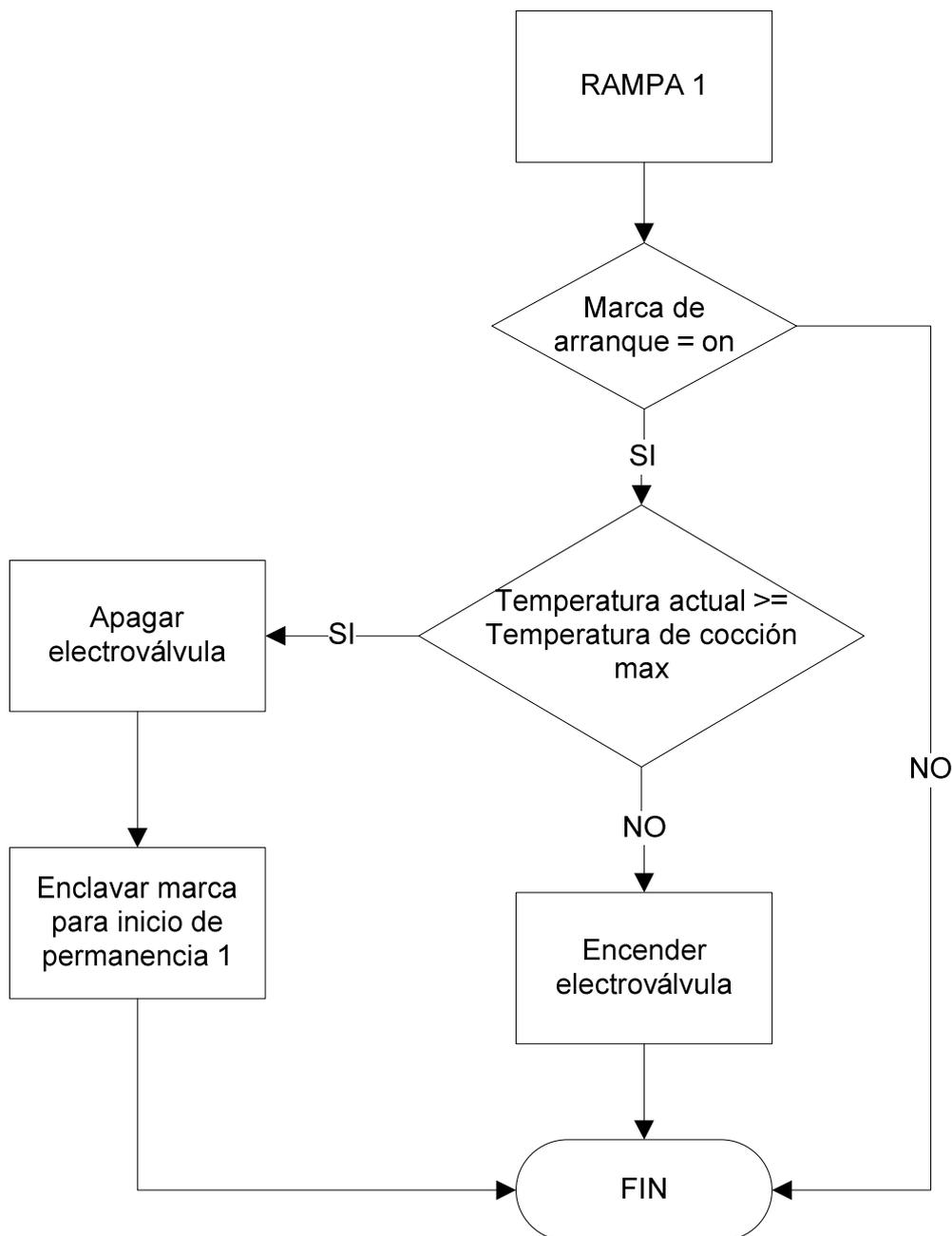


Figura 3.6: Diagrama de Flujo de la Rampa 1

En la figura 3.7 se ilustra el diagrama de flujo del tiempo de permanencia 1 (tp1) del control automático de los dos hornos.

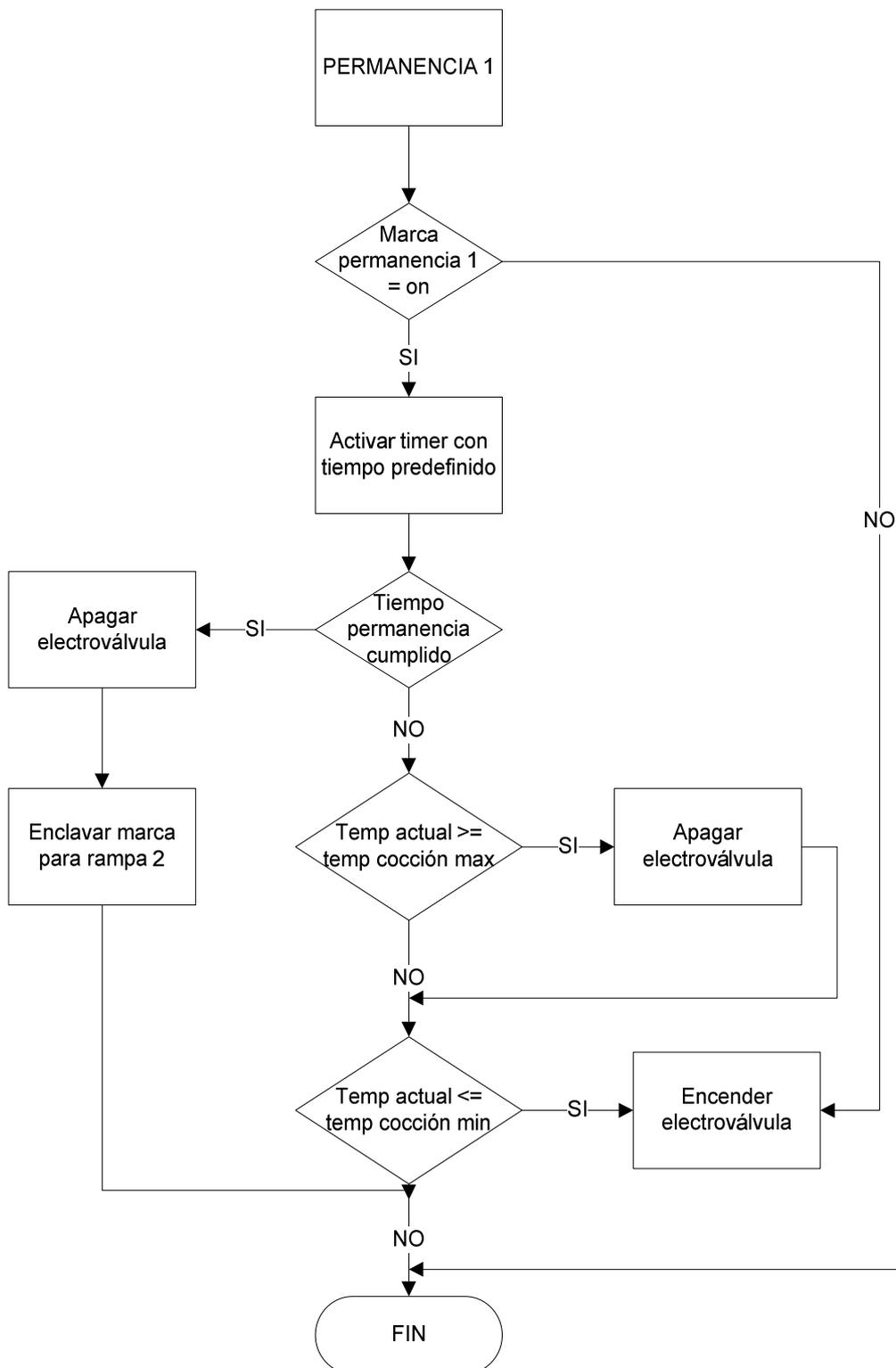


Figura 3.7: Diagrama de Flujo del tiempo de permanencia 1

En la figura 3.8 se ilustra el diagrama de flujo de la Rampa 2 para el control automático de los dos hornos.

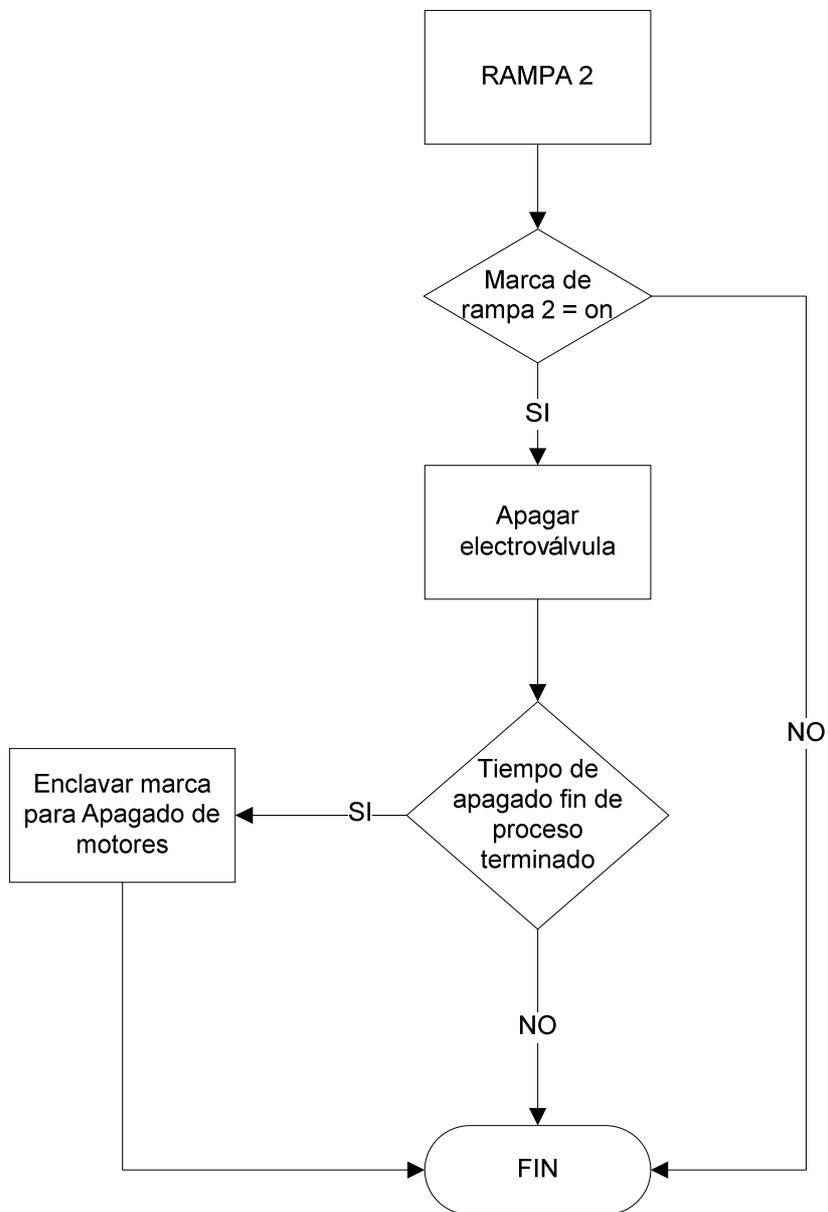


Figura 3.8: Diagrama de Flujo de la Rampa 2

En la figura 3.9 se ilustra el diagrama de flujo del apagado de motores del control automático de los dos hornos.

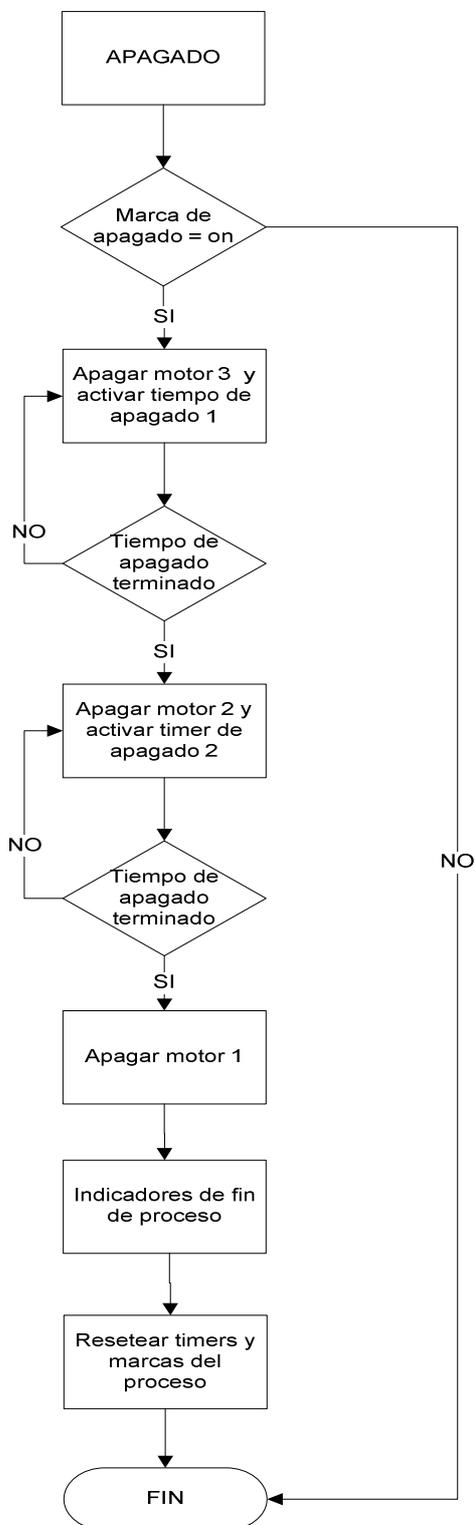


Figura 3.9: Diagrama de Flujo del apagado de Motores

En la figura 3.10 se ilustra el diagrama de flujo del Mando Manual del Horno 1.

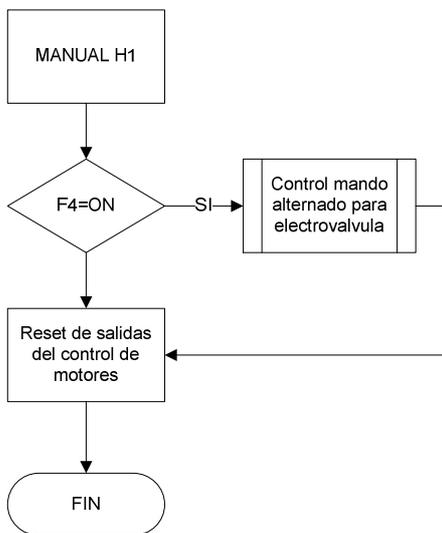


Figura 3.10: Diagrama de Flujo del Control Manual del Horno 1

En la figura 3.11 se ilustra el diagrama de flujo del Mando Manual del Horno 2.

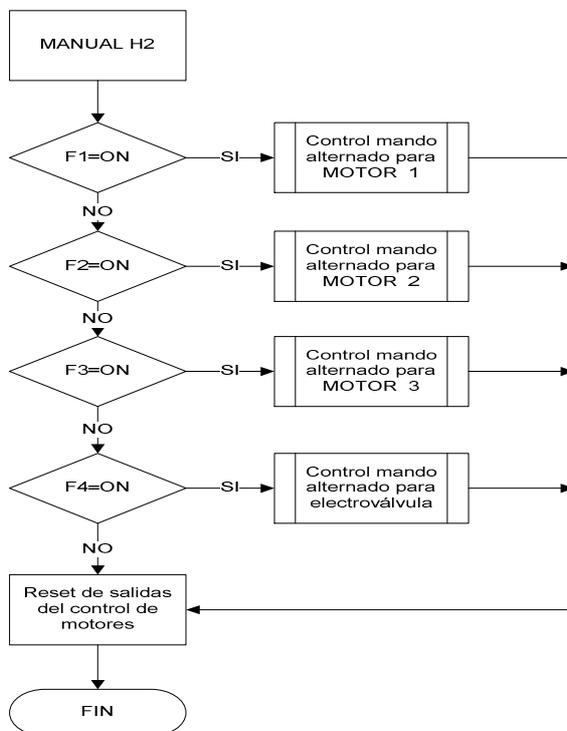


Figura 3.11: Diagrama de Flujo del Control Manual del Horno 2

3.3 DESARROLLO DEL PROGRAMA EN EL PLC

El programa de control en el PLC S71200 CPU1212C del fabricante Siemens se lo realizó con el software computacional STEP7 Basic V.11, del mismo fabricante.

Una vez abierto el programa se pone la opción crear proyecto y se escribe el nombre del proyecto como se indica en la figura 3.12.

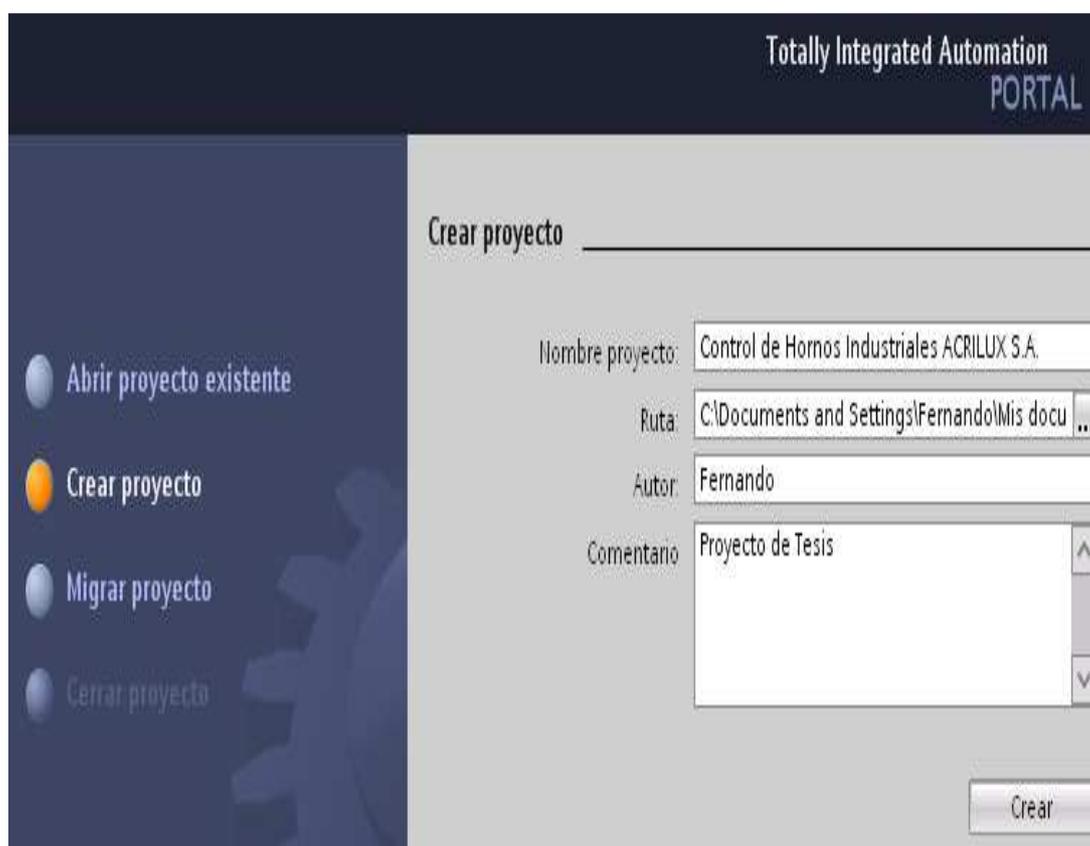


Figura 3.12: Programa STEP7 Basic V11. Creación del Proyecto

De ahí se ingresa a la opción Dispositivos de redes, a continuación se pone la opción Agregar dispositivo, PLC, SIMATIC S7-1200, CPU y se escoge el controlador que se usará en este proyecto, en este caso es el CPU 1212C AC/DC/Rly (6ES7 212-1BD30-0XB0), como se indica en la figura 3.13.

En la figura 3.14 se indica las características generales del PLC visto desde el programa STEP7 V11.



Figura 3.13: Selección del PLC para el proyecto



Figura 3.14: Características generales del PLC S71200 CPU1212C

Después, como se indica en la figura 3.15 se puede apreciar todas las herramientas para hacer el proyecto, tales como árbol del proyecto, catálogo, propiedades, donde ya se encuentra definido el PLC que se seleccionó.

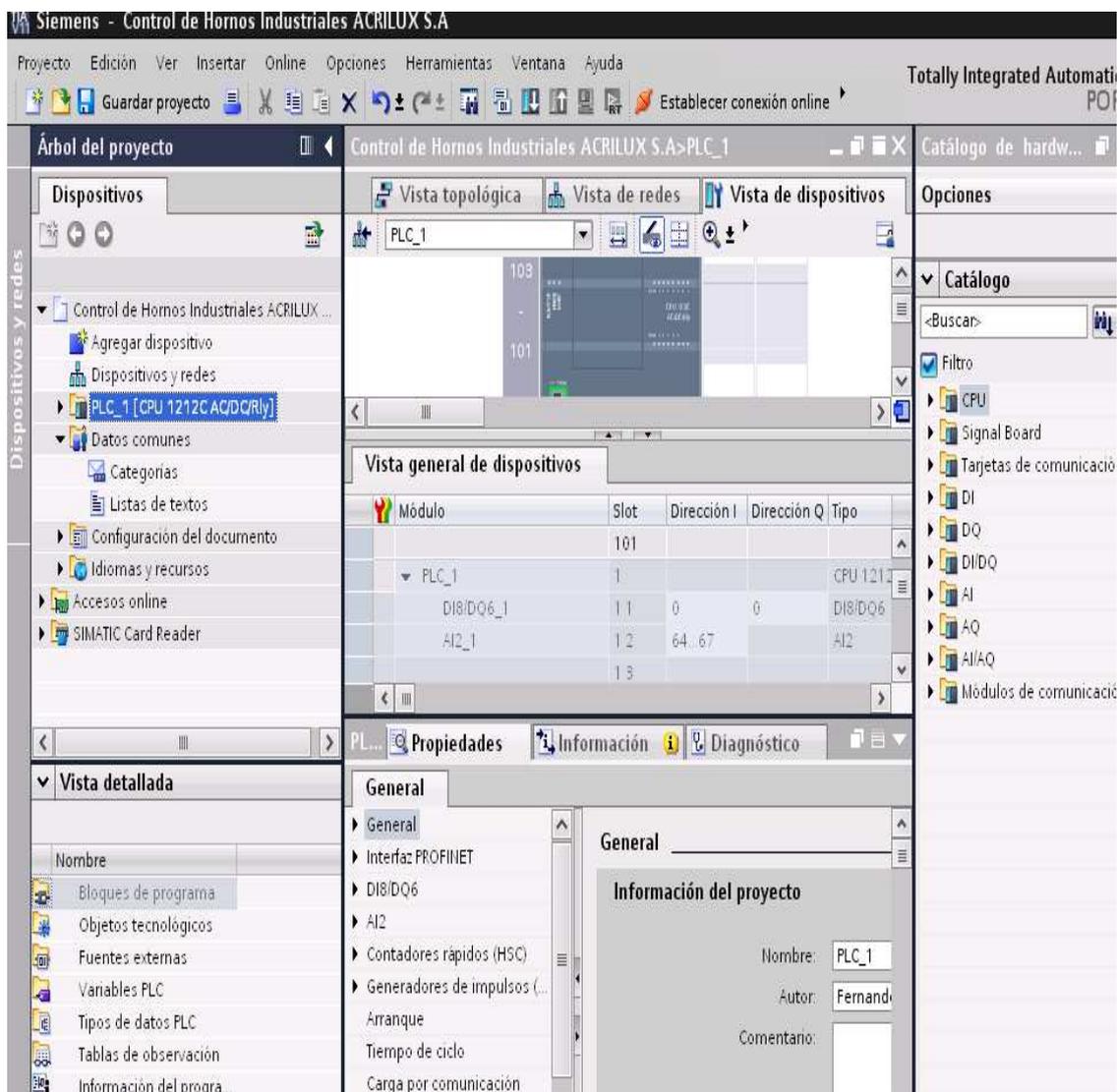


Figura 3.15: Cuadro de herramientas para comenzar la programación.

En la parte derecha en Catálogo se puede añadir los módulos que serán necesarios para la programación de los hornos. En este caso se selecciona DI/DO, de ahí se selecciona el módulo DI16 x DC24V / DO16 x relé (6ES7 223-1PL30-0XB0) y también AI, AI4 x TC (6ES7 231-5QD30-0XB0). En la figura 3.16 se ilustra los módulos añadidos al PLC, necesarios para el control de los hornos industriales.

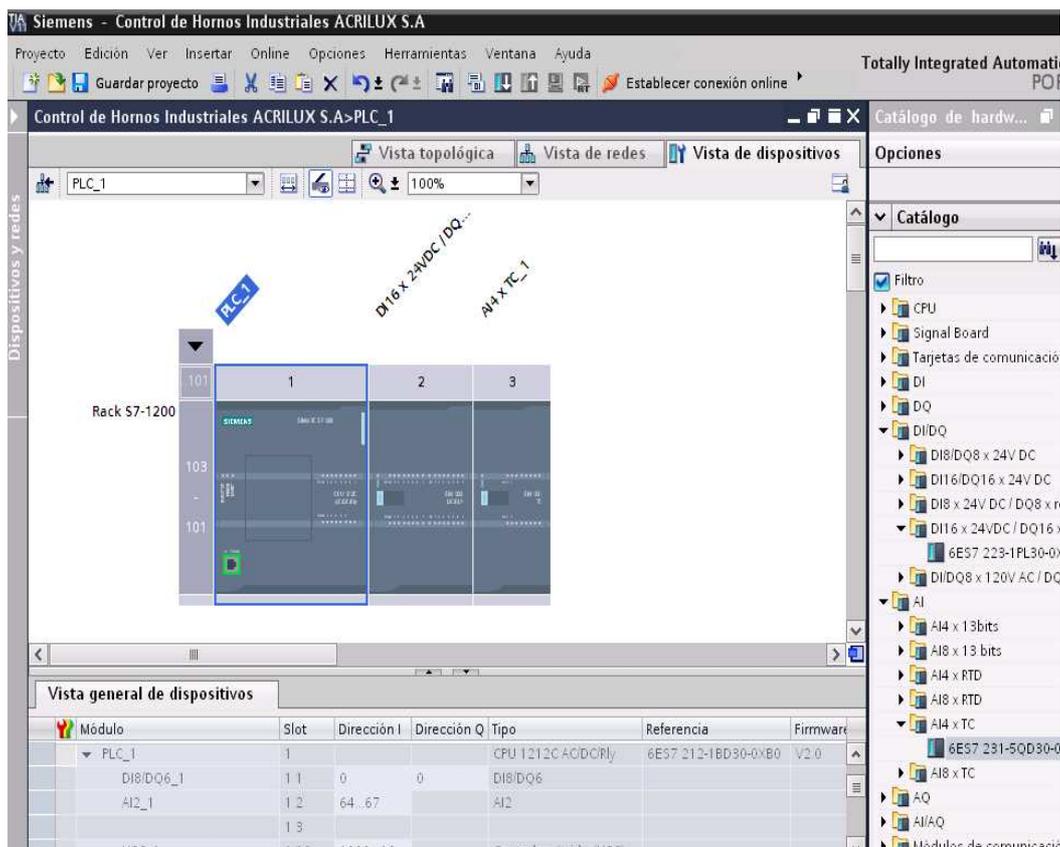


Figura 3.16: Módulos de señal añadidos al PLC

Luego en el árbol del proyecto se selecciona la opción Configuración de dispositivos, de ahí en la opción Propiedades, se selecciona Interfaz PROFINET, de ahí en la opción Direcciones Ethernet se da la dirección IP al PLC, en este caso será 192.168.0.1 y la máscara de subred se pondrá automáticamente, pero previamente se da una dirección IP diferente a la PC para que no exista conflicto. En la figura 3.17 se ilustra todos estos pasos.

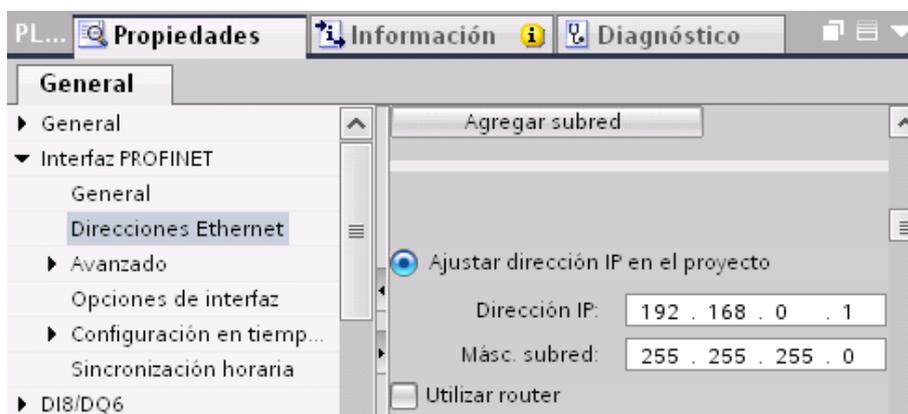


Figura 3.17: Dirección IP del PLC

Continuando con la programación en el árbol de proyecto se selecciona la opción PLC_1 [CPU 1212C AC/DC/Rly], después se selecciona bloques de programa, luego se selecciona Main [OB1] para comenzar a programar el PLC. Todos estos pasos se ilustran en la figura 3.18.

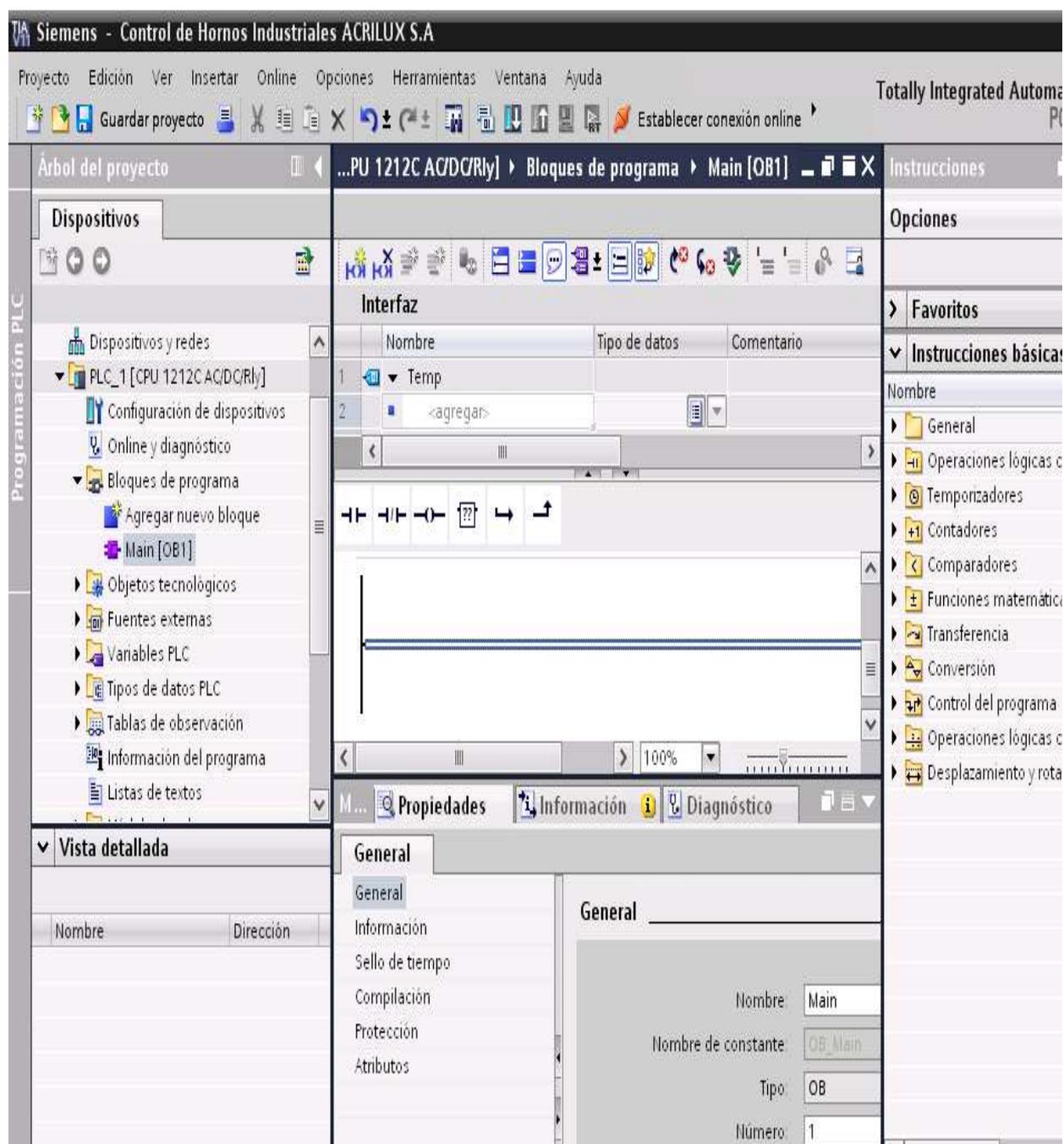


Figura 3.18: Pasos previos para comenzar a programar el PLC

3.3.1 TABLA DE VARIABLES DEL PLC

En las tablas 3.11 (a, b, c y d), se ilustran las variables del programa de control de los hornos, dicha tabla ha sido tomada de la opción Variables PLC, del programa Step7 V.11

Tabla 3.11 (a): Variables del programa

Variables PLC				
	Nombre	Tabla de variables	Tipo de datos	Dirección ▲
1	 MANUAL/AUTO (H1)	Tabla de variables ...	Bool	%I0.0
2	 MANUAL/AUTO (H2)	Tabla de variables ...	Bool	%I0.1
3	 MARCHA (H1)	Tabla de variables ...	Bool	%I0.2
4	 PARO (H1)	Tabla de variables ...	Bool	%I0.3
5	 MARCHA (H2)	Tabla de variables ...	Bool	%I0.4
6	 PARO (H2)	Tabla de variables ...	Bool	%I0.5
7	 PE H1	Tabla de variables ...	Bool	%I0.6
8	 PE H2	Tabla de variables ...	Bool	%I0.7
9	 Termopar1_H1	Tabla de variables ...	Int	%IW96
10	 Termopar2_H1	Tabla de variables ...	Int	%IW98
11	 Termopar1_H2	Tabla de variables ...	Int	%IW100
12	 Termopar2_H2	Tabla de variables ...	Int	%IW102
13	 Electroválvula (H1)	Tabla de variables ...	Bool	%Q0.0
14	 MOTOR1 (H1)	Tabla de variables ...	Bool	%Q0.1
15	 MOTOR2 (H1)	Tabla de variables ...	Bool	%Q0.2
16	 MOTOR3 (H1)	Tabla de variables ...	Bool	%Q0.3
17	 Apagado M1 H1	Tabla de variables ...	Bool	%Q0.4
18	 Luz de indicación (H1)	Tabla de variables ...	Bool	%Q0.5
19	 Electroválvula (H2)	Tabla de variables ...	Bool	%Q12.0
20	 MOTOR1 (H2)	Tabla de variables ...	Bool	%Q12.1
21	 MOTOR2 (H2)	Tabla de variables ...	Bool	%Q12.2
22	 MOTOR3 (H2)	Tabla de variables ...	Bool	%Q12.3
23	 Luz de indicación (H2)	Tabla de variables ...	Bool	%Q12.4
24	 Luz sobre temperatura (H2)	Tabla de variables ...	Bool	%Q12.5
25	 Luz sobre temperatura (H1)	Tabla de variables ...	Bool	%Q12.6
26	 Alarma (H1)	Tabla de variables ...	Bool	%Q12.7
27	 Alarma (H2)	Tabla de variables ...	Bool	%Q13.0
28	 Luz de activación Motor 1 H1	Tabla de variables ...	Bool	%Q13.1
29	 Luz de activación Motor 2 H1	Tabla de variables ...	Bool	%Q13.2
30	 Luz de activación Motor 3 H1	Tabla de variables ...	Bool	%Q13.3

Tabla 3.11 (b): Variables del programa (continuación)

Variables PLC				
	Nombre	Tabla de variables ...	Tipo de datos	Dirección ▲
31	Apagado M2 H1	Tabla de variables ...	Bool	%Q13.4
32	Apagado M3 H1	Tabla de variables ...	Bool	%Q13.5
33	AUTO (H1)	Tabla de variables ...	Bool	%M0.0
34	MANUAL (H1)	Tabla de variables ...	Bool	%M0.1
35	AUTO (H2)	Tabla de variables ...	Bool	%M0.2
36	MANUAL (H2)	Tabla de variables ...	Bool	%M0.3
37	B EV (H1)	Tabla de variables ...	Bool	%M0.4
38	MANEV(H1)ON	Tabla de variables ...	Bool	%M0.5
39	MANEV(H1)OFF	Tabla de variables ...	Bool	%M0.6
40	Aux EV (H1)	Tabla de variables ...	Bool	%M0.7
41	CI (H1)	Tabla de variables ...	Bool	%M1.0
42	CONFIG (H1)	Tabla de variables ...	Bool	%M1.1
43	INICIO (H1)	Tabla de variables ...	Bool	%M1.2
44	Apaga Electrov. (H1)	Tabla de variables ...	Bool	%M1.3
45	EV (H1) AUT	Tabla de variables ...	Bool	%M1.4
46	EV (H1) OFF	Tabla de variables ...	Bool	%M1.5
47	EV (H1) ON	Tabla de variables ...	Bool	%M1.6
48	Aux tp1 (H1)	Tabla de variables ...	Bool	%M1.7
49	Permanencia2 (H1)	Tabla de variables ...	Bool	%M2.2
50	OFF (H1)	Tabla de variables ...	Bool	%M2.3
51	on motor1 (H1)	Tabla de variables ...	Bool	%M2.4
52	on motor2 (H1)	Tabla de variables ...	Bool	%M2.5
53	on motor3 (H1)	Tabla de variables ...	Bool	%M2.6
54	Apagado (H1)	Tabla de variables ...	Bool	%M2.7
55	Resetear proceso (H1)	Tabla de variables ...	Bool	%M3.0
56	B EV (H2)	Tabla de variables ...	Bool	%M3.3
57	MAN EV (H2) ON	Tabla de variables ...	Bool	%M3.4
58	MAN EV (H2) OFF	Tabla de variables ...	Bool	%M3.5
59	Aux EV (H2)	Tabla de variables ...	Bool	%M3.6
60	B MOTOR1 (H2)	Tabla de variables ...	Bool	%M3.7

Tabla 3.11 (c): Variables del programa (continuación 2)

Variables PLC					
		Nombre	Tabla de variables	Tipo de datos	Dirección ▲
61		MAN MOTOR1 (H2) ON	Tabla de variables ...	Bool	%M4.0
62		MAN MOTOR1 (H2) OFF	Tabla de variables ...	Bool	%M4.1
63		Aux Motor1 (H2)	Tabla de variables ...	Bool	%M4.2
64		B MOTOR2 (H2)	Tabla de variables ...	Bool	%M4.3
65		MAN MOTOR2(H2) ON	Tabla de variables ...	Bool	%M4.4
66		MAN MOTOR2(H2) OFF	Tabla de variables ...	Bool	%M4.5
67		Aux Motor2(H2)	Tabla de variables ...	Bool	%M4.6
68		B MOTOR3 (H2)	Tabla de variables ...	Bool	%M4.7
69		MAN MOTOR3(H2) ON	Tabla de variables ...	Bool	%M5.0
70		MAN MOTOR3(H2) OFF	Tabla de variables ...	Bool	%M5.1
71		Aux Motor3(H2)	Tabla de variables ...	Bool	%M5.2
72		RELE PRINCIPAL	Tabla de variables ...	Bool	%M5.3
73		Resetear proceso (H2)	Tabla de variables ...	Bool	%M5.6
74		write time	Tabla de variables ...	Bool	%M5.7
75		CI (H2)	Tabla de variables ...	Bool	%M6.0
76		CONFIG (H2)	Tabla de variables ...	Bool	%M6.1
77		INICIO (H2)	Tabla de variables ...	Bool	%M6.2
78		Arranque Motores (H2)	Tabla de variables ...	Bool	%M6.3
79		on motor1 (H2)	Tabla de variables ...	Bool	%M6.4
80		on motor2 (H2)	Tabla de variables ...	Bool	%M6.5
81		on motor3 (H2)	Tabla de variables ...	Bool	%M6.6
82		EV (H2) AUT	Tabla de variables ...	Bool	%M6.7
83		Apaga Electrov. (H2)	Tabla de variables ...	Bool	%M7.0
84		EV (H2) ON	Tabla de variables ...	Bool	%M7.1
85		aux tp1 (H2)	Tabla de variables ...	Bool	%M7.2
86		Permanencia 2 (H2)	Tabla de variables ...	Bool	%M7.5
87		apagado (H2)	Tabla de variables ...	Bool	%M7.6
88		EV (H2) OFF	Tabla de variables ...	Bool	%M7.7
89		tp1 (ms) (H1)	Tabla de variables ...	DInt	%MD8
90		CONT	Tabla de variables ...	Bool	%M10.1

Tabla 3.11 (d): Variables del programa (continuación 3)

Variables PLC				
	Nombre	Tabla de variables	Tipo de datos	Dirección ▲
91	 tp1(min) (H1)	Tabla de variables ...	Int	%MW12
92	 tp1(seg) (H1)	Tabla de variables ...	Int	%MW14
93	 tp1 seg (H1)	Tabla de variables ...	DInt	%MD14
94	 toff (ms) (H1)	Tabla de variables ...	DInt	%MD18
95	 toff (min) (H1)	Tabla de variables ...	Int	%MW26
96	 toff seg (H1)	Tabla de variables ...	DInt	%MD28
97	 toff (seg) (H1)	Tabla de variables ...	Int	%MW28
98	 Temp. termopar1H1_HMI	Tabla de variables ...	Int	%MW38
99	 Temp. termopar2H1_HMI	Tabla de variables ...	Int	%MW42
100	 Garbage	Tabla de variables ...	Bool	%M50.0
101	 TEMP ALTA (H1)	Tabla de variables ...	Int	%MW52
102	 Temp. cocción min. (H1)	Tabla de variables ...	Int	%MW68
103	 Temp. cocción max. (H1)	Tabla de variables ...	Int	%MW78
104	 Ret Val 1	Tabla de variables ...	Int	%MW92
105	 Ret Val 2	Tabla de variables ...	Int	%MW94
106	 Temp. cocción max. (H2)	Tabla de variables ...	Int	%MW104
107	 tp1 (ms) (H2)	Tabla de variables ...	DInt	%MD108
108	 tp1 (min) (H2)	Tabla de variables ...	Int	%MW112
109	 tp1 (seg) (H2)	Tabla de variables ...	Int	%MW114
110	 tp1 seg (H2)	Tabla de variables ...	DInt	%MD114
111	 toff (ms) (H2)	Tabla de variables ...	DInt	%MD118
112	 toff seg (H2)	Tabla de variables ...	DInt	%MD128
113	 toff (seg) (H2)	Tabla de variables ...	Int	%MW128
114	 Temp. termopar1H2_HMI	Tabla de variables ...	Int	%MW138
115	 Temp. termopar2H2_HMI	Tabla de variables ...	Int	%MW142
116	 TEMP ALTA (H2)	Tabla de variables ...	Int	%MW152
117	 Temp. cocción min. (H2)	Tabla de variables ...	Int	%MW168
118	 toff (min) (H2)	Tabla de variables ...	Int	%MW226
119	 Tiempo de proceso H1	Tabla de variables ...	Int	%MW428
120	 Tiempo de proceso H2	Tabla de variables ...	Int	%MW528

3.4 PROGRAMACIÓN DEL HMI EN EL PANEL VIEW

El programa del HMI se lo realizó con el mismo software computacional STEP7 V.11 BASIC. En el árbol del proyecto se selecciona la opción Agregar dispositivo, a continuación se selecciona el HMI, luego en la opción SIMATIC Basic Panels seleccionamos 6" Display, luego se debe seleccionar KTP600 mono PN, que será el HMI del proceso. Todos estos pasos se ilustran en la figura 3.19, además de las principales características de este panel view.

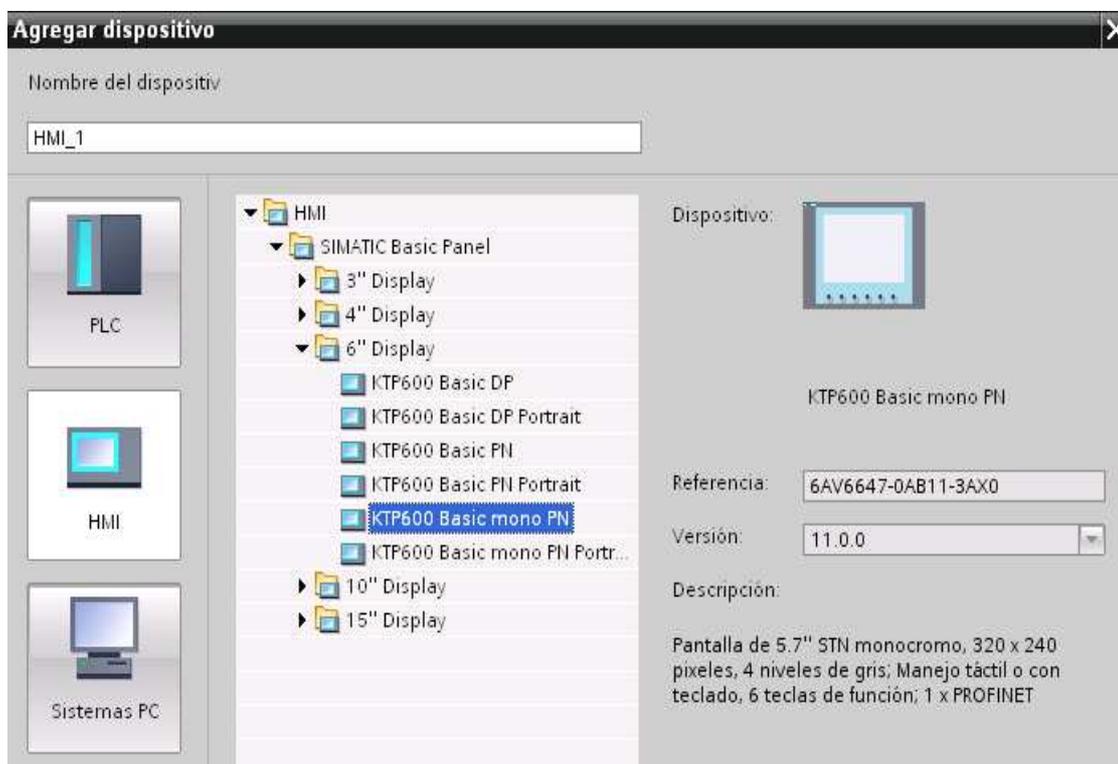


Figura 3.19: Pasos para seleccionar el HMI.

Después aparece un cuadro de asistente del panel operador. En la opción Conexiones del PLC se selecciona Examinar y se escoge el PLC que ya está agregado. Como se ilustra en la figura 3.20 el PLC ya se podrá comunicar con el panel HMI a través de una interfaz PROFINET.

Además de la opción Conexiones del PLC, en el asistente del panel operador se dispone de las siguientes opciones:

- Presentación de la imagen: En esta opción se puede cambiar el color de fondo (blanco, plomo claro, plomo oscuro o negro), también podemos poner el encabezado original o cambiarlo así como también la fecha y la hora.
- Avisos: En esta opción se puede poner avisos de alarmas y sistema de eventos activos.
- Imágenes: En esta opción se puede ordenar las imágenes que tendrá el HMI para poder operar de manera correcta el proceso.
- Botones: En esta opción se puede colocar botones generalizados como: Idioma, Cancelar, Imagen Inicial, Iniciar Sesión.

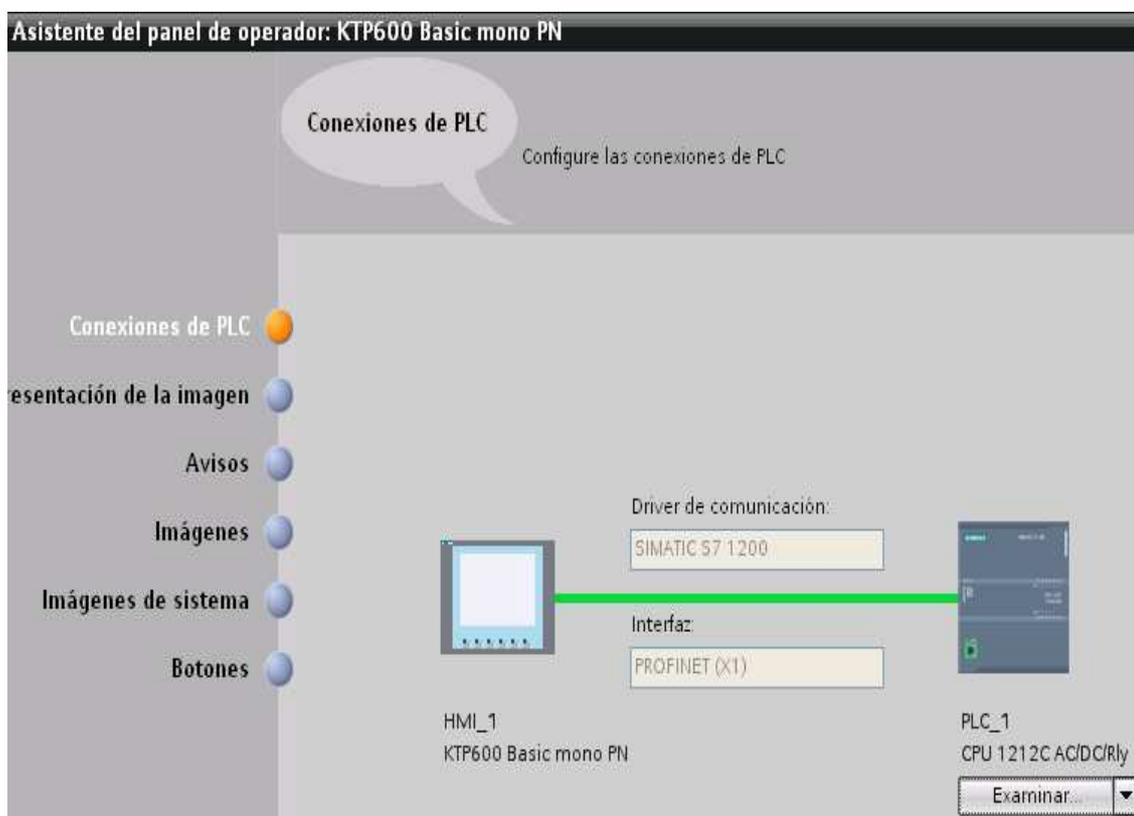


Figura 3.20: Conexión entre el PLC y el HMI KTP600 mono PN

Después de escoger las opciones del asistente del panel operador, se escogió una dirección IP para el HMI. Para llegar a esta opción se direcciona de la siguiente manera: Árbol del proyecto, dispositivos y redes, HMI_1, configuración de dispositivos, luego se hace clic en la imagen del HMI, y en la parte inferior en la opción Propiedades se selecciona PROFINET Interface (X1). Como se ilustra

en la figura 3.21 ponemos la dirección IP del HMI, en este caso 192.168.0.2, y la máscara de red se pone automáticamente.

Después, en adelante se procede a programar el HMI directamente en las imágenes de tal manera que se pueda operar de forma rápida y eficaz el proceso del calentamiento de las planchas acrílicas.

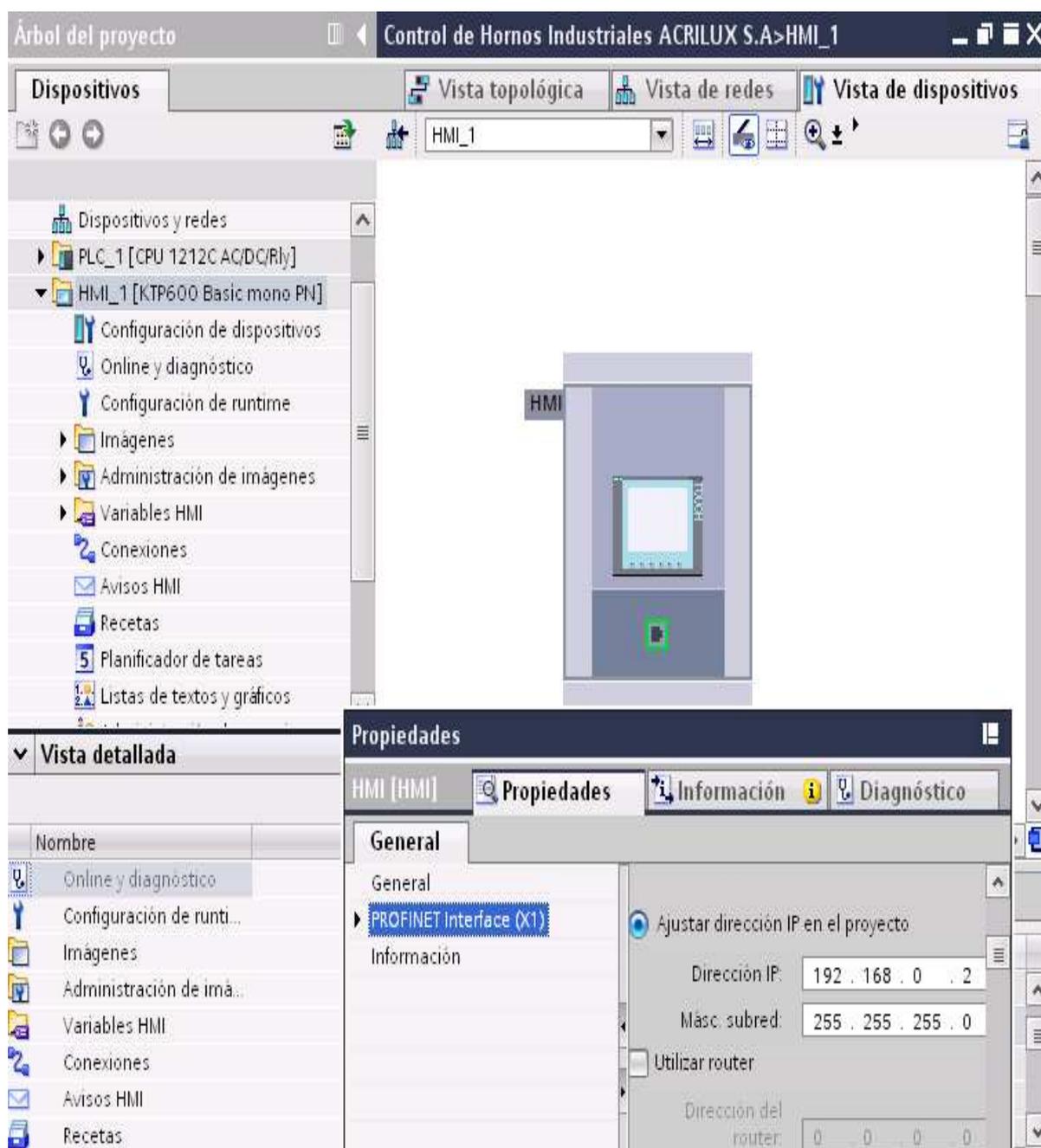


Figura 3.21: Dirección IP del panel HMI

En la figura 3.22 se ilustra como quedaron las imágenes para su respectivo control:

- Selección de Horno: En esta imagen se selecciona el horno a controlar



- Ingreso de datos Horno 1: En esta imagen se ingresan los datos para mando automático del Horno 1. Si no se ingresa los datos, se direcciona a Inicio Mando manual.
- Ingreso de datos Horno 2: En esta imagen se ingresan los datos para mando automático del Horno 2. Si no se ingresa los datos, se direcciona a Inicio Mando manual.
- Visualización Proceso H1: En esta imagen se visualiza todo el proceso en el Horno 1: las temperaturas que sensan los termopares instalados, la curva temperatura vs tiempo y el tiempo del proceso desde que arrancan los motores hasta que se apaga el último motor. En esta imagen también se realiza el control manual mediante las teclas de función.
- Visualización Proceso H2: En esta imagen se visualiza todo el proceso en el Horno 2.

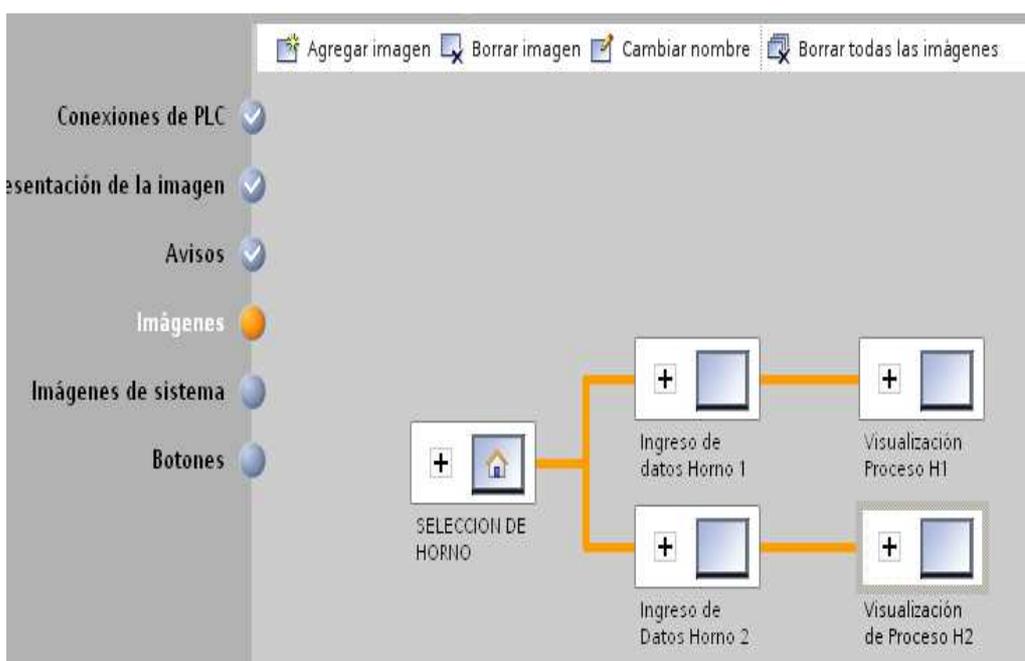


Figura 3.22: Orden de las Imágenes del HMI

CONFIGURACIÓN DE LA IMAGEN DE SELECCIÓN DEL HORNO

En la imagen Selección de Horno por default aparecen 2 links, que direccionarán automáticamente al Horno que se requerirá controlar. Para poner texto en la opción de “**Herramientas**”, se selecciona la opción “**Objetos básicos**” y se arrastra a la imagen, la opción “**Campo de texto**”. Todos estos pasos se ilustran en la figura 3.23.

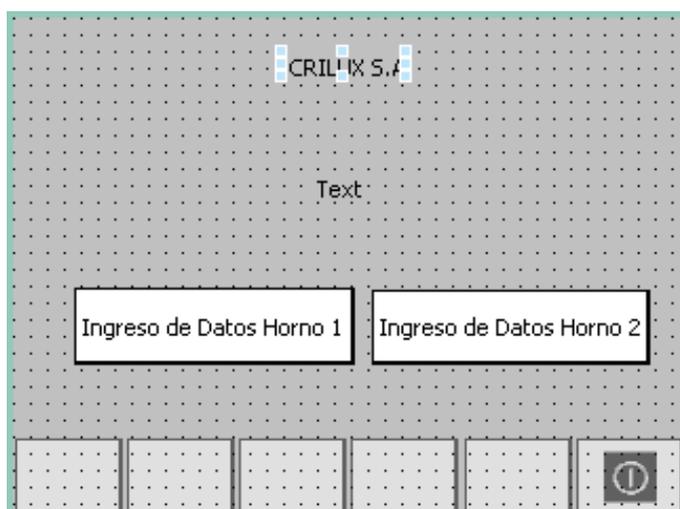


Figura 3.23: Creación paso a paso Imagen Selección de Horno

Para configurar el texto, como por ejemplo el tamaño, el tipo de letra, etc., se hace clic derecho en el texto y en la opción “**Propiedades**” se selecciona “**Formato de texto**” como se ilustra en la figura 3.24.



Figura 3.24: Configuración de texto en el HMI

CONFIGURACION DE IMÁGENES DE INGRESO DE DATOS

En las imágenes de ingreso de datos de ambos hornos, para poder ingresarlos y ser leídos desde el PLC a través de una marca, en **“Herramientas”**, se selecciona **“Elementos”** y después se selecciona y arrastra a la imagen la opción **“Campo E/S”**. En la figura 3.25 se ilustran estos pasos, además de cómo se agregan líneas y círculos al HMI a través de la opción **“Objetos Básicos”** en **“Herramientas”**.

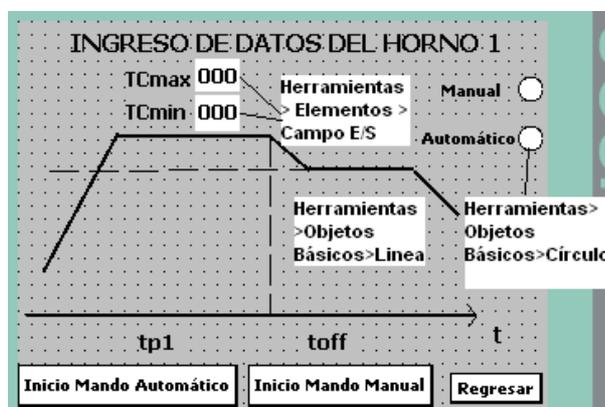


Figura 3.25: Configuración de la Imagen de Ingreso de datos

Luego se hace clic derecho al campo E/S seleccionado, y en la opción **“Propiedades”** se selecciona **“General”**. Como se ilustra en la figura 3.26 en **“Proceso”** se enlaza a la variable del PLC, En **“Tipo”** se pone Modo Entrada, y en Formato se configura la representación y tipo del número

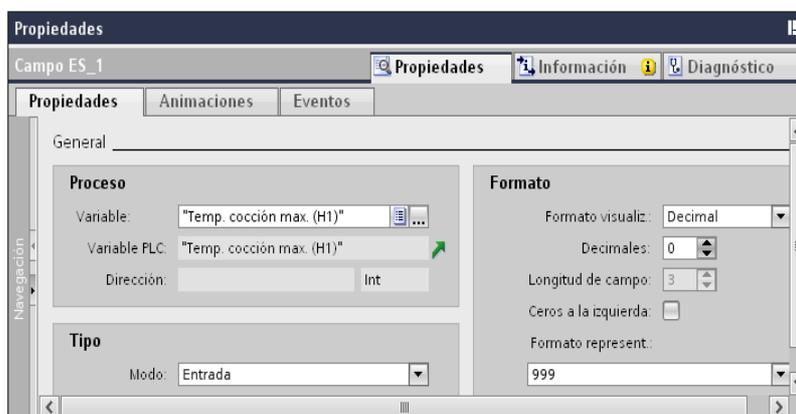


Figura 3.26: Configuración de Ingreso de datos del HMI

CONFIGURACIÓN DE IMÁGENES DE VISUALIZACIÓN DEL PROCESO

En las imágenes de visualización del proceso de ambos hornos, para poder ver las temperaturas que son sensadas mediante el módulo SM1231 a través de las direcciones IW96, IW98, IW100 e IW102; en la opción “**Herramientas**”, se selecciona “**Elementos**” y después se selecciona y arrastra a la imagen la opción “**Campo E/S**”. En la figura 3.27 se ilustra estos pasos, además de cómo se pone el Visor de curvas del proceso mediante la opción “**Herramientas>Controles>Visor de Curvas**”.

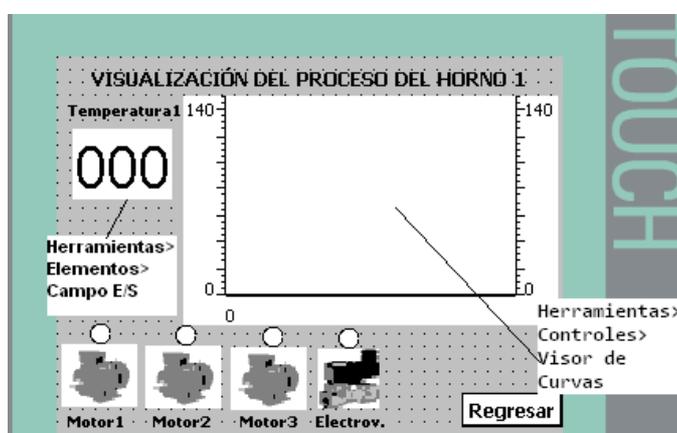


Figura 3.27: Configuración de la Imagen de Visualización de datos

Luego se hace clic derecho al campo E/S seleccionado, y en la opción “**Propiedades**” se selecciona “**General**”. Como se ilustra en la figura 3.28 en “**Proceso**” se enlaza a la variable del PLC, En “**Tipo**” se pone Modo Salida, y en Formato se configura la representación y tipo del número

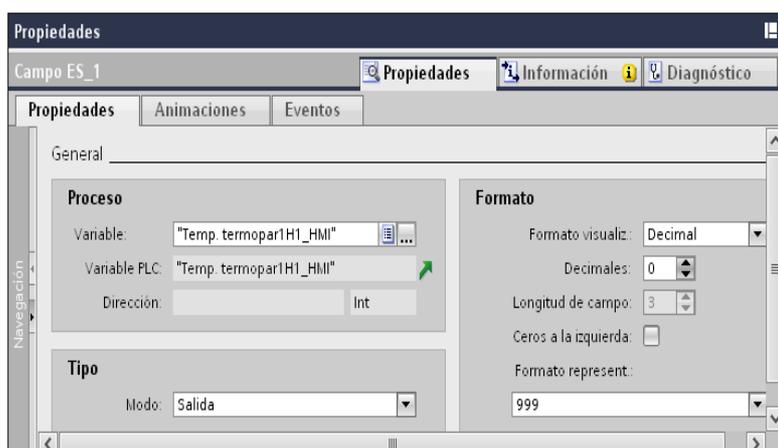


Figura 3.28: Configuración de Visualización de la Temperatura

En el visor de curvas se hace clic derecho para su respectiva configuración a través de la opción **Propiedades>Curva**.

En la figura 3.29 se ilustra toda la configuración para la curva del proceso.

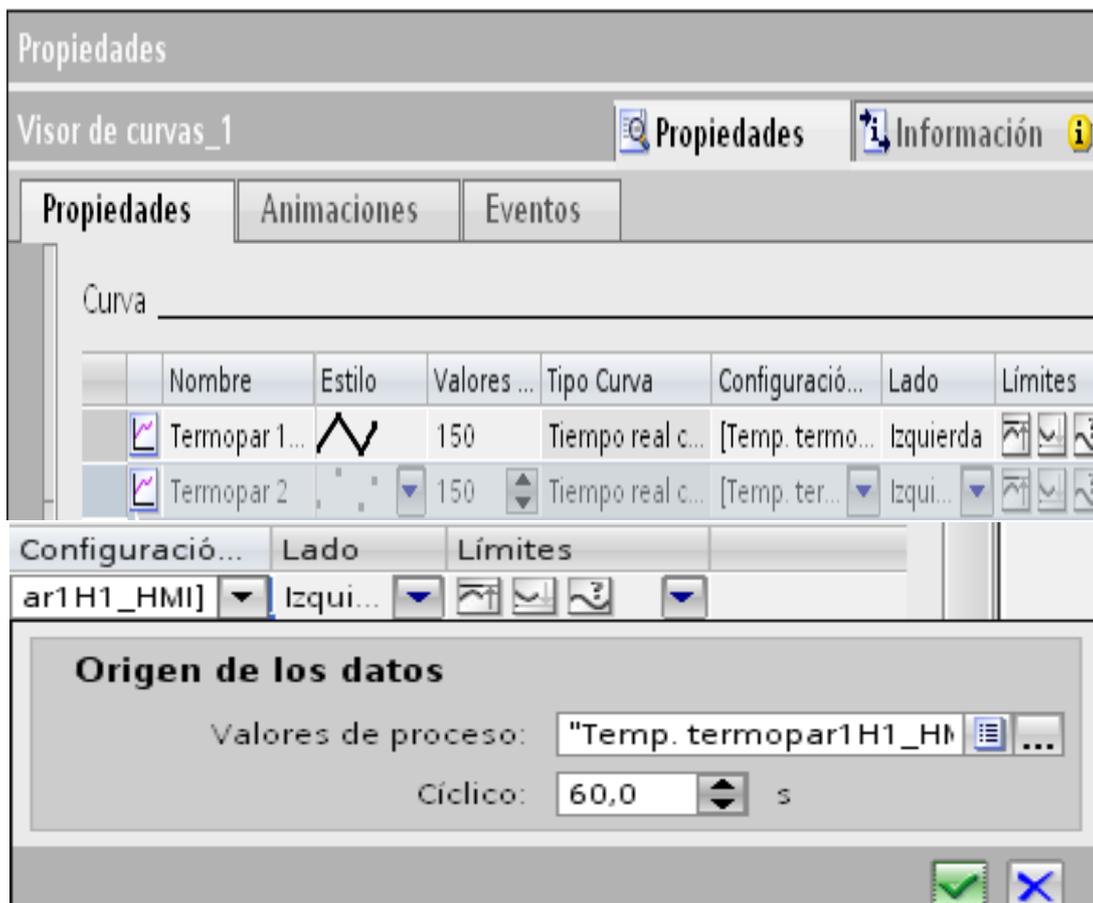


Figura 3.29: Configuración del Visor de curvas del Proceso

- Nombre: Nombre de la curva del proceso.
- Estilo: Forma de la curva del proceso.
- Valores: Establece el valor máximo de la curva en el eje Y.
- Configuración: En esta opción se enlaza con la variable de salida (sensor de temperatura) del PLC y se pone el tiempo de ciclo.

En las figuras 3.30 (a, b, c y d) se ilustran todas las imágenes creadas para el HMI.



Figura 3.30 (a): Imagen HMI (1)



Figura 3.30 (b): Imagen HMI (2)

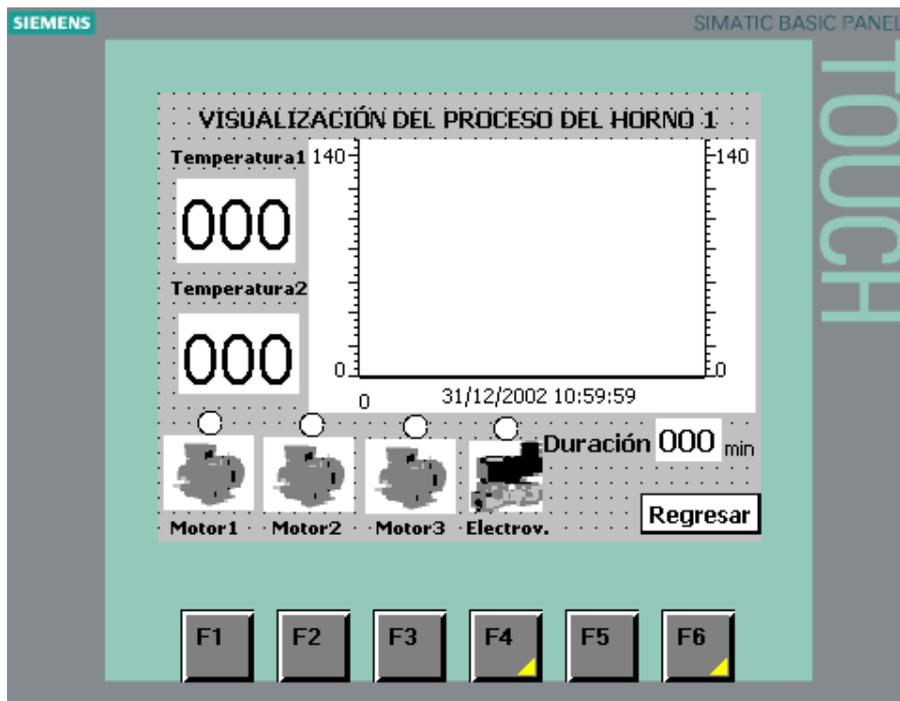


Figura 3.30 (c): Imagen HMI (3)

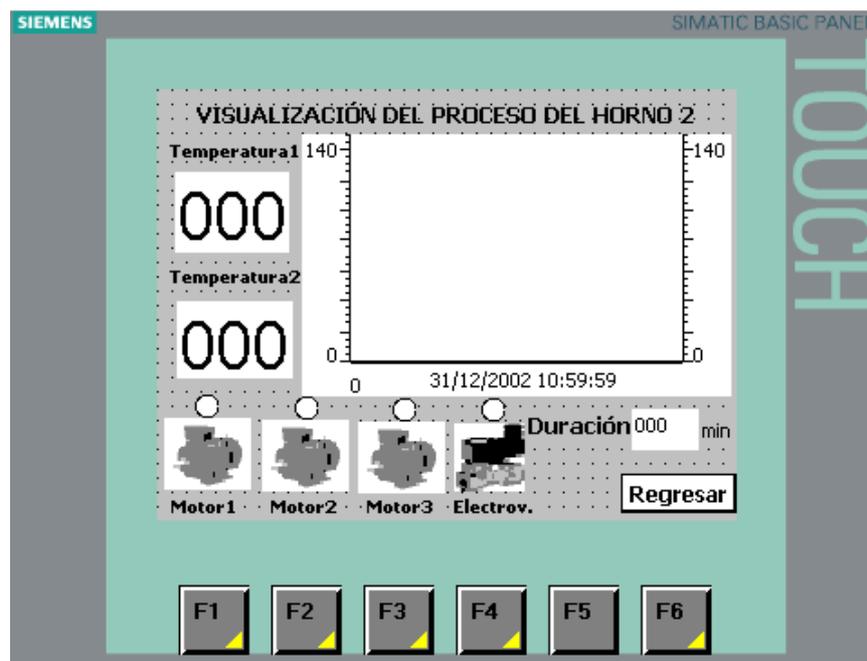


Figura 3.30 (d): Imagen HMI (4)

En todas las figuras 3.30 la tecla de función F6 sirve para inicializar la pantalla.

En la figura 3.30 (a) se selecciona el horno que será controlado y se establece la fecha y hora.

La figura 3.30 (b) es la misma, para el ingreso de datos del horno 1 y del horno 2.

En la figura 3.30 (c) la tecla de función F4 sirve para el mando alternado de la electroválvula del Horno 1, en el mando manual.

En la figura 3.30 (d) las teclas de función sirven para accionar los motores y la electroválvula en mando manual del Horno 2.

- F1 Mando alternado Motor 1
- F2 Mando alternado Motor 2
- F3 Mando alternado Motor 3
- F4 Mando alternado electroválvula

3.4.1 TABLA DE VARIABLES DEL HMI

En la tabla 3.12 se ilustra todas las variables del HMI usadas para el control de los hornos industriales.

Tabla 3.12: Variables del HMI

Variables HMI			
	Nombre ▲	Tipo de datos	Variable PLC
	AUTO H1	Bool	"AUTO (H1)"
	AUTO H2	Bool	"AUTO (H2)"
	B EV (H1)	Bool	"B EV (H1)"
	B EV (H2)	Bool	"B EV (H2)"
	B MOTOR1 (H2)	Bool	"B MOTOR1 (H2)"
	B MOTOR2 (H2)	Bool	"B MOTOR2 (H2)"
	B MOTOR3 (H2)	Bool	"B MOTOR3 (H2)"
	date_time_system_READ	DTL	date.time_system_READ
	date_time_system_WRITE	DTL	date.time_system_WRITE
	Electroválvula (H1)	Bool	"Electroválvula (H1)"
	Electroválvula (H2)	Bool	"Electroválvula (H2)"
	INICIO (H1)	Bool	"INICIO (H1)"
	INICIO (H2)	Bool	"INICIO (H2)"

Tabla 3.12: Variables del HMI

Variables HMI			
	Nombre ▲	Tipo de datos	Variable PLC
	luz m1	Bool	"Luz de activación Motor 1 H1"
	luz m2	Bool	"Luz de activación Motor 2 H1"
	luz m3	Bool	"Luz de activación Motor 3 H1"
	MANUAL H1	Bool	"MANUAL (H1)"
	MANUAL H2	Bool	"MANUAL (H2)"
	MOTOR1 (H2)	Bool	"MOTOR1 (H2)"
	MOTOR1(H1)	Bool	"MOTOR1 (H1)"
	MOTOR2 (H2)	Bool	"MOTOR2 (H2)"
	MOTOR2(H1)	Bool	"MOTOR2 (H1)"
	MOTOR3 (H2)	Bool	"MOTOR3 (H2)"
	MOTOR3(H1)	Bool	"MOTOR3 (H1)"
	Temp. cocción max. (H1)	Int	"Temp. cocción max. (H1)"
	Temp. cocción max. (H2)	Int	"Temp. cocción max. (H2)"
	Temp. cocción min. (H1)	Int	"Temp. cocción min. (H1)"
	Temp. cocción min. (H2)	Int	"Temp. cocción min. (H2)"
	Temp. termopar1H1_HMI	Int	"Temp. termopar1H1_HMI"
	Temp. termopar1H2_HMI	Int	"Temp. termopar1H2_HMI"
	Temp. termopar2H1_HMI	Int	"Temp. termopar2H1_HMI"
	Temp. termopar2H2_HMI	Int	"Temp. termopar2H2_HMI"
	Tiempo de proceso H1	Int	"Tiempo de proceso H1"
	Tiempo de proceso Horno 2	Int	"Tiempo de proceso H2"
	toff (min) (H1)	Int	"toff (min) (H1)"
	toff (min) (H2)	Int	"toff (min) (H2)"
	tp1 (min) (H1)	Int	"tp1 (min) (H1)"
	tp1 (min) (H2)	Int	"tp1 (min) (H2)"
	write time	Bool	"write time"

CAPITULO 4

PRUEBAS Y RESULTADOS

Las pruebas consistieron en configurar el modulo de termopares, estudiar el comportamiento del horno, en la respuesta del sistema a las temperaturas del proceso con el nuevo control implementado, así como la medición de las corrientes en el tablero de control y en el tablero de fuerza para el arranque de los motores de recirculación del Horno 2.

4.1 ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO TÉRMICO DEL PROCESO

4.1.1 CONFIGURACIÓN DEL MÓDULO DE TEMPERATURA SM1231

Se procedió a configurar correctamente el módulo de temperatura, para que así las lecturas de los termopares sean precisas. En la figura 4.1 se muestra la configuración del módulo de temperaturas.

The image shows a software configuration window for 'Entradas analógicas' (Analog Inputs). The window is divided into sections. The first section is 'Reducción de ruido' (Noise Reduction), which contains a dropdown menu for 'Tiempo de integración' (Integration Time) set to '10 Hz (100 ms)'. Below this is a section for 'Canal0' (Channel 0). This section contains several configuration options: 'Dirección de canal' (Channel Direction) is set to 'IW96'; 'Tipo de medición' (Measurement Type) is 'Termopar' (Thermocouple); 'Termopar' (Thermocouple) is 'Tipo K (NiCr-Ni)'; 'Escala de temperatura' (Temperature Scale) is 'Celsius'; 'Filtrado' (Filtering) is 'Fuerte (32 ciclos)'; 'Origen temperatura de referencia' (Reference Temperature Origin) is 'Referencia interna'; and 'Temperatura de referencia' (Reference Temperature) is '-/-' (None). At the bottom of the 'Canal0' section, there are three checked checkboxes: 'Activar diagnóstico de rotura de hilo' (Activate wire break diagnosis), 'Activar diagnóstico de rebase por exceso' (Activate overflow diagnosis), and 'Activar diagnóstico de rebase por defecto' (Activate underflow diagnosis).

Figura 4.1: Configuración del Módulo de Temperatura

Se configuró un tiempo de integración de 100[ms] para evitar el error de repetibilidad, un filtrado fuerte de 32 ciclos y referencia interna como origen de temperatura.

4.1.2 ANÁLISIS TÉCNICO DE LOS HORNOS

Antes de realizar pruebas en los hornos es de gran importancia conocer sus características, tales como: capacitancia, límite de planta y el análisis de inercia del horno en varias temperaturas.

Capacitancia

La capacitancia de un proceso es un factor muy importante en el control automático. Es una medida de las características propias del proceso para mantener o transferir una cantidad de energía o de material con relación a una cantidad unitaria de alguna variable de referencia. En un proceso, una capacitancia relativamente grande es favorable para mantener constante la variable controlada a pesar de los cambios de carga que puedan presentarse. En este caso ambos hornos tienen una gran capacitancia.

Límite de planta

El Límite de planta es hacer llegar al proceso al máximo, en este caso el tiempo en el que el horno alcanza su máxima temperatura.

En este caso no se realizó el límite de planta ya que se necesitan algunas horas para realizarlo además que la empresa no podía parar la producción, pero por experiencia en otros hornos similares el límite de planta es de aproximadamente 140-160°C en un tiempo aproximado de 4 a 6 horas.

Pruebas de inercia en el Horno a 70, 90 y 110°C

En la figura 4.2 se ilustra la curva de temperatura vs tiempo para hacer una prueba del control de histéresis sin carga, a un set point de 70°C, por lo que los valores de histéresis superior e inferior fueron 71 y 69°C respectivamente.

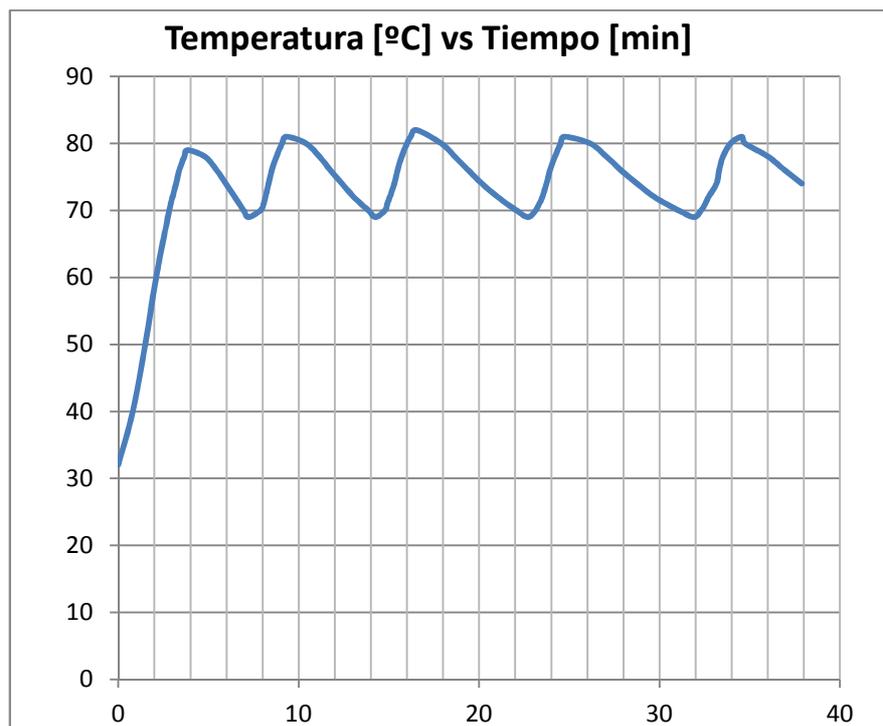


Figura 4.2: Curva de Temperatura vs tiempo a un punto de consigna de 70°C

Como se puede apreciar en la figura 4.2, la temperatura subió del límite superior de histéresis un máximo de 11°C y bajó del límite inferior solamente 1°C, por lo que en esta temperatura de consigna existe mucha inercia.

En la figura 4.3 se ilustra la curva de temperatura vs tiempo para hacer una prueba del control de histéresis sin carga, a un set point de 90°C, por lo que los valores de histéresis superior e inferior fueron 91 y 89°C respectivamente.

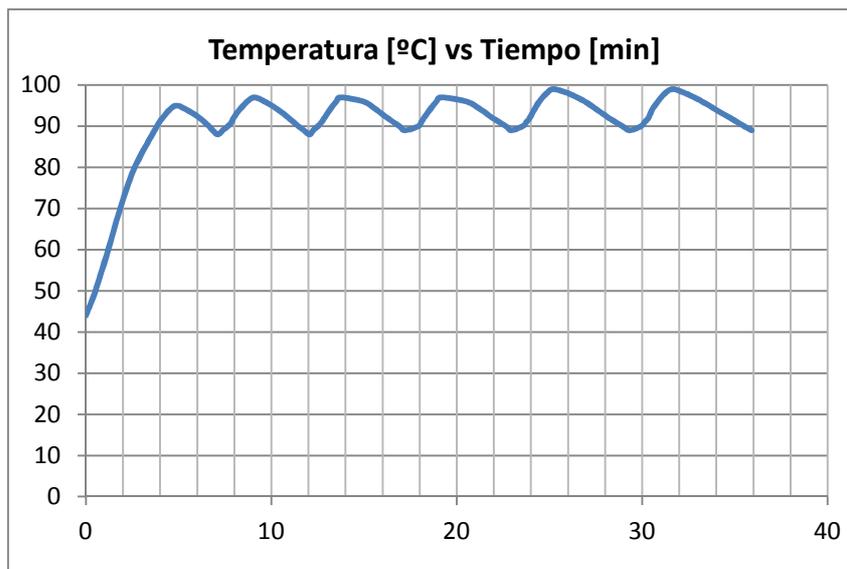


Figura 4.3: Curva de Temperatura vs tiempo a un punto de consigna de 90°C

Como se puede apreciar en la figura 4.3, la temperatura subió del límite superior de histéresis un máximo de 9°C y bajo del límite inferior solamente 1°C, por lo que en esta temperatura de consigna aún existe mucha inercia.

En la figura 4.4 se ilustra la curva de temperatura vs tiempo para hacer una prueba del control de histéresis sin carga, a un set point de 110°C, por lo que los valores de histéresis superior e inferior fueron 111 y 109°C respectivamente.

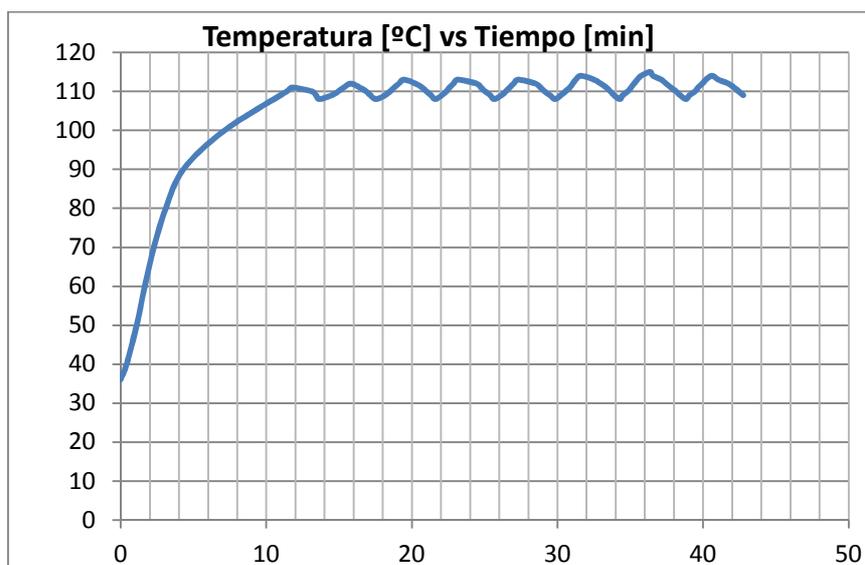


Figura 4.4: Curva de Temperatura vs tiempo a un punto de consigna de 110°C

Como se puede apreciar en la figura 4.4, la temperatura subió del límite superior de histéresis un máximo de 4°C y bajó del límite inferior solamente 1°C, por lo que en esta temperatura de consigna se redujo la inercia con respecto a las pruebas realizadas para puntos de consigna de 70 y 90 °C.

En la figura 4.5 se ilustra la curva de temperatura para un punto de control o set point de 109°C, por lo que los valores de histéresis superior e inferior fueron de 110°C y 108°C respectivamente. Esta prueba ya se lo realizó con carga.

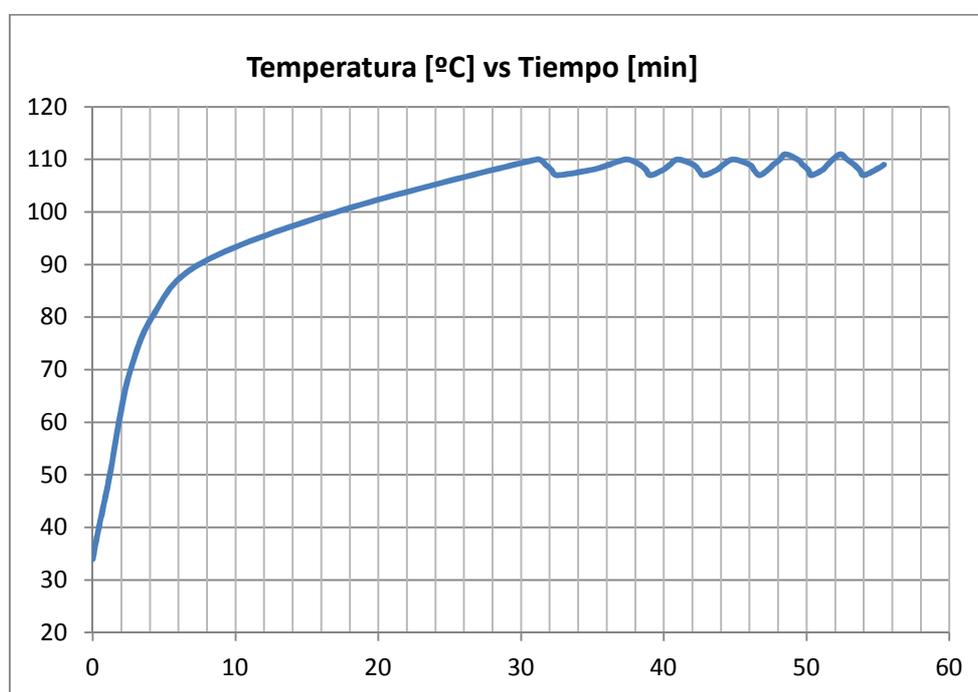


Figura 4.5: Curva de Temperatura vs tiempo a un punto de consigna de 110°C

Como se puede apreciar en la figura 4.5, la temperatura subió del límite superior de histéresis 1°C y bajó del límite inferior 1°C, por lo que en el proceso de cocción de las planchas acrílicas cuyas temperaturas oscilan entre 100 hasta los 120°C, existe poca inercia, por lo que se justifica plenamente el control por histéresis que se hizo para mantener la temperatura de cocción.

4.1.3 ANÁLISIS DE LA CURVA DEL PROCESO DEL HORNO 1

En la figura 4.6 se ilustran los parámetros que se ingresaron en el HMI para el proceso de calentamiento de planchas acrílicas de 2mm.

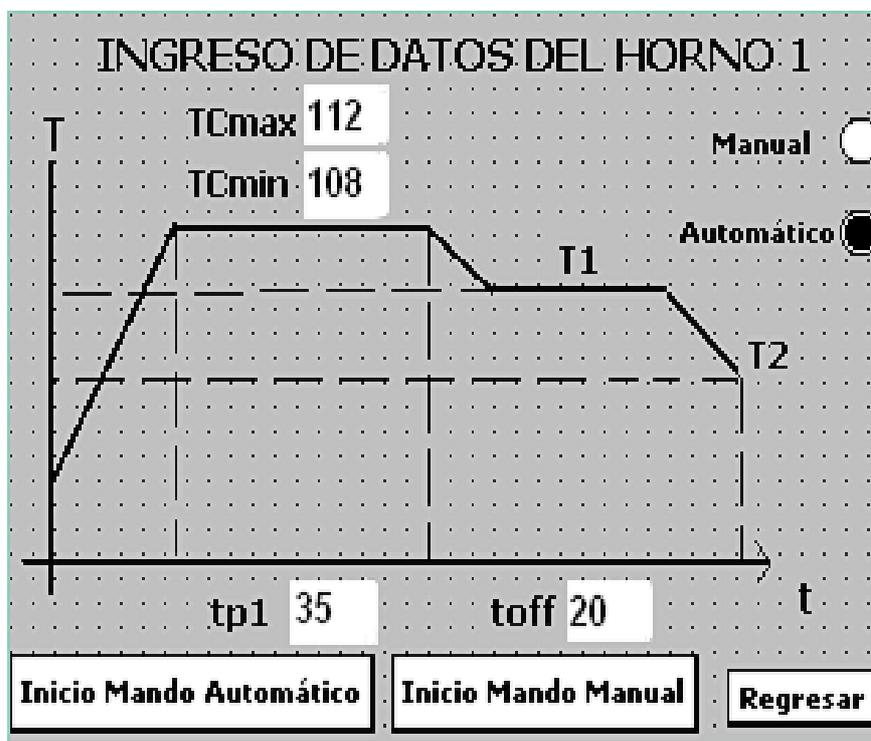


Figura 4.6: Ingreso de datos en el HMI para el Horno 1

TCmax: temperatura de cocción máxima [°C]

TCmin : temperatura de cocción mínima [°C]

tp1: tiempo de permanencia de cocción [min]

toff: tiempo de apagado de motores [min]

Como los valores programables de histéresis máxima y mínima son de 112°C Y 108°C respectivamente, el valor del set point será de 110°C

En la tabla 4.1 se ilustra los tiempos vs temperatura tomados durante el proceso.

Tabla 4.1: Datos del proceso del Horno 1

Tiempo (minutos)	Temperatura °C			
	Termómetro 1	Termómetro 2	Termopar 1	Termopar 2
0	40	35	33	33
1	46	36	37	38
2	54	40	49	47
3	63	46	64	57
4	71	51	75	66
5	77	55	80	71
6	80	58	84	74
7	83	61	86	77
8	86	63	89	79
9	88	65	91	81
10	89	67	92	82
12	92	70	94	85
14	94	73	96	87
16	96	75	98	89
18	98	77	100	91
20	100	79	102	93
25	105	85	107	98
30	107	88	109	101
35	107	90	107	101
40	107	92	107	101
45	109	94	109	103
50	111	95	111	105
55	108	96	108	103
60	110	97	109	105
65	110	98	109	105
70	79	83	71	80
71	75	79	65	75
75	76	77	75	77
78	58	65	51	58
80	63	67	59	62
85	70	68	67	68

En la figura 4.7 se ilustra la curva de temperatura vs tiempo de todo el proceso.

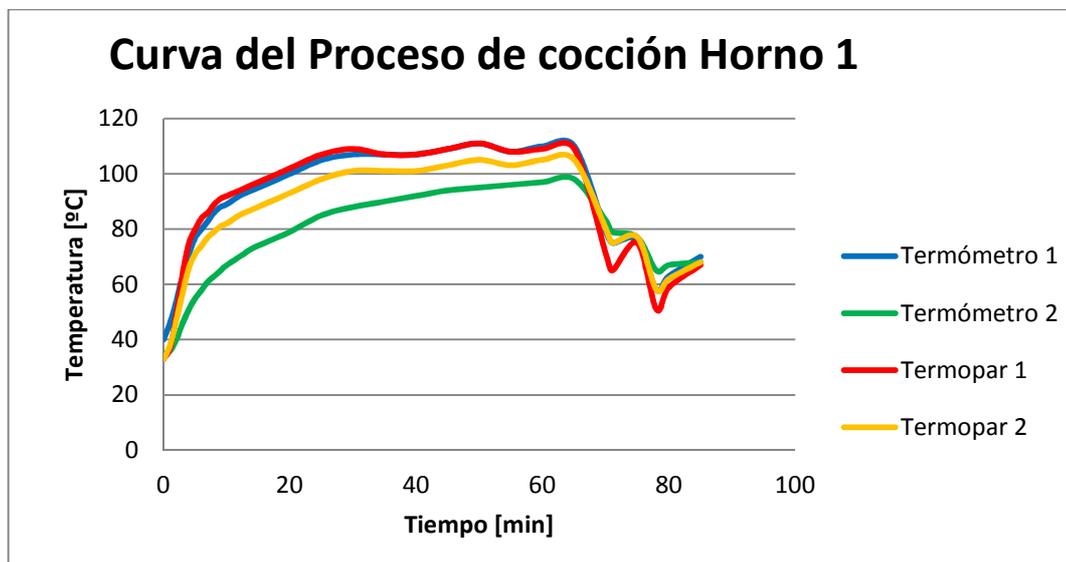


Figura 4.7: Curva del proceso del Horno 1

En la figura 4.7, la curva del Termómetro 1 debe ser similar a la curva del termopar 1, ya que éste último es el encargado de realizar todo el proceso en modo automático. La temperatura del termómetro 2 y el termopar 2 solamente son referencias.

Se tomará un tiempo en el rango de la temperatura de cocción (112-108°C) en el cual se produzca el mayor error entre la temperatura del termómetro 1 y termopar 1. En la tabla 4.2 se ilustra la toma de estos datos.

Tabla 4.2: Datos para calcular el error

Tiempo [min]	Temperatura [°C]	
	Termómetro 1	Termopar 1
30	107	109

La siguiente ecuación sirve para calcular el error entre ambas temperaturas.

$$e\% = \frac{109-107}{107} * 100=1.8\%$$

El error es pequeño, así que la curva del termopar 1 es similar a la curva del termómetro 1. Los valores del termómetro 1 eran la referencia para que los operadores realicen el control manual del proceso. De acuerdo con estos resultados se puede decir que efectivamente se logró cumplir con el objetivo del trabajo.

En la figura 4.8 se ilustra la curva y duración de todo el proceso tomado del HMI.



Figura 4.8: Visualización del Proceso del Horno 1

4.1.4 ANÁLISIS DE LA CURVA DEL PROCESO DEL HORNO 2

En la figura 4.9 se ilustran los parámetros que se ingresaron en el HMI para el proceso de calentamiento de planchas acrílicas de 2mm.

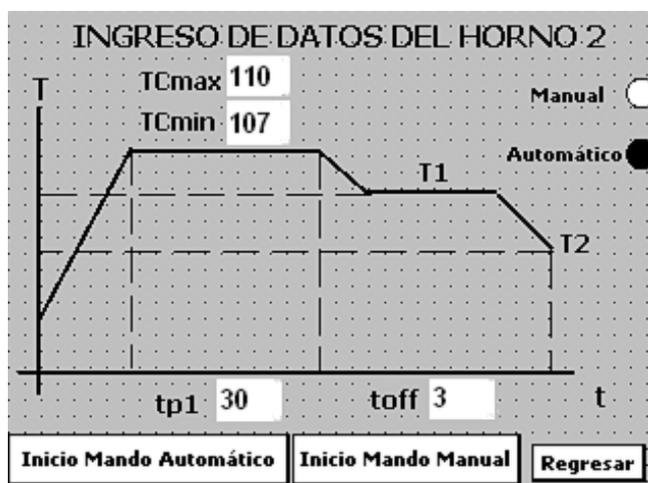


Figura 4.9: Ingreso de datos en el HMI para el Horno 2

En la tabla 4.3 se ilustra los tiempos vs temperatura tomados durante el proceso

Tabla 4.3: Datos del proceso del Horno 2

tiempo	Temperatura °C			
	Termómetro 1	Termómetro 2	Termopar 1	Termopar 2
0	30	25	28	27
1	35	26	31	31
2	40	27	36	38
3	47	28	43	46
4	52	29	49	52
5	56	30	54	57
6	59	32	58	61
7	62	34	62	65
8	65	35	65	68
9	67	36	68	70
10	69	38	71	73
12	73	41	76	78
14	75	43	80	81
16	77	45	82	83
18	79	48	84	85
20	80	50	85	86
25	83	54	88	89
30	85	57	90	91
35	87	60	93	93
40	89	62	95	95
45	91	65	97	98
50	94	67	100	100
55	95	69	100	101
60	95	71	101	101
65	96	72	101	101
70	97	73	102	103
75	99	74	104	105
80	101	76	106	107
85	102	77	107	108
90	103	78	108	108
95	102	79	107	107
100	104	80	109	109
105	102	80	106	106
110	105	81	109	110
115	103	81	107	107
120	102	82	107	107
125	106	82	110	111
130	105	82	108	109
135	102	82	105	104

En la figura 4.10 se ilustra la curva de temperatura vs tiempo de todo el proceso.

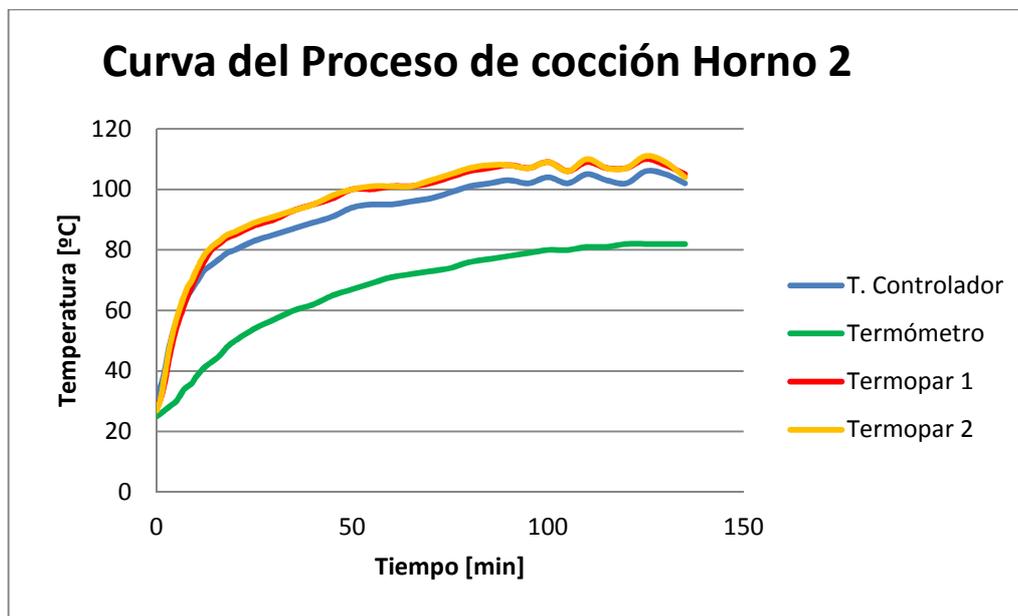


Figura 4.10: Curva del proceso del Horno 2

En esta figura 4.10, la curva del controlador debe ser similar a la curva del termopar 1, ya que éste último es el encargado de realizar todo el proceso en modo automático. La temperatura del termómetro y el termopar 2 solamente son referencias.

Se tomará un tiempo en el rango de la temperatura de cocción (110-107°C) en el cual se produzca el mayor error entre la temperatura del controlador y termopar 1. En la tabla 4.4 se ilustra la toma de estos datos.

Tabla 4.4: Datos para calcular el error

Tiempo (minutos)	Temperatura	
	Controlador	Termopar 1
95	102	107

$$e\% = \frac{|102 - 107|}{107} * 100 = 4.67\%$$

El error es pequeño, así que la curva del termopar 1 es similar a la curva del controlador. Los valores del controlador eran la referencia para que los operadores realicen el control manual del proceso; por tanto los resultados son los esperados y el control automático cumple con las metas propuestas.

En la figura 4.11 se ilustra la curva y duración de todo el proceso tomado del HMI.



Figura 4.11: Visualización del Proceso del Horno 2

4.2. ANÁLISIS DE CORRIENTES EN LOS TABLEROS

En la figura 4.12 y 4.13 se ilustran los puntos donde se realizó la medición de corrientes en el Tablero de Fuerza de los Motores del Horno1/ Tablero de Control y en el tablero de Fuerza para el arranque de los Motores del Horno 2 respectivamente.

Las mediciones se las tomaron cuando los motores funcionaban a plena carga, y a un voltaje de 220V. En el caso de los motores del Horno 1 la corriente de línea de cada motor se lo midió después del arranque Δ .

La corriente medida en el tablero de control, antes del transformador se la tomó cuando estaban activas todas las salidas: Electroválvulas, PLC, HMI, fuente de 24VDC e indicadores luminosos.

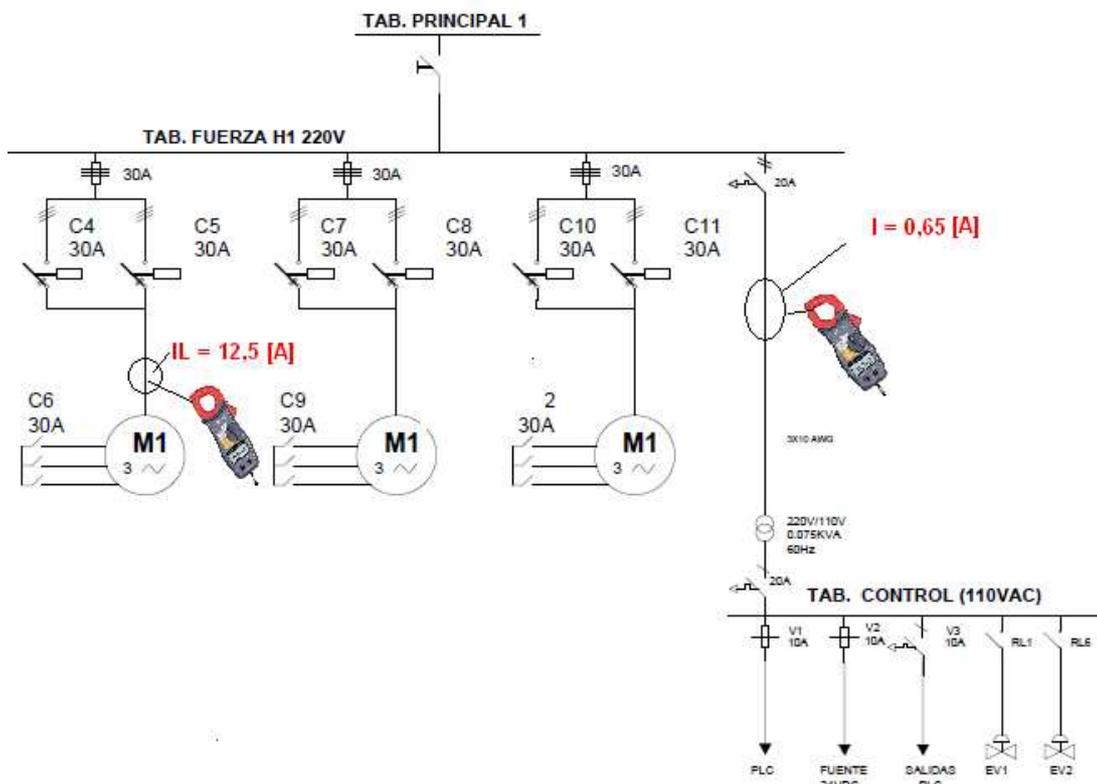


Figura 4.12: Medición de corrientes en el tablero de Control y Tablero de Fuerza del H1

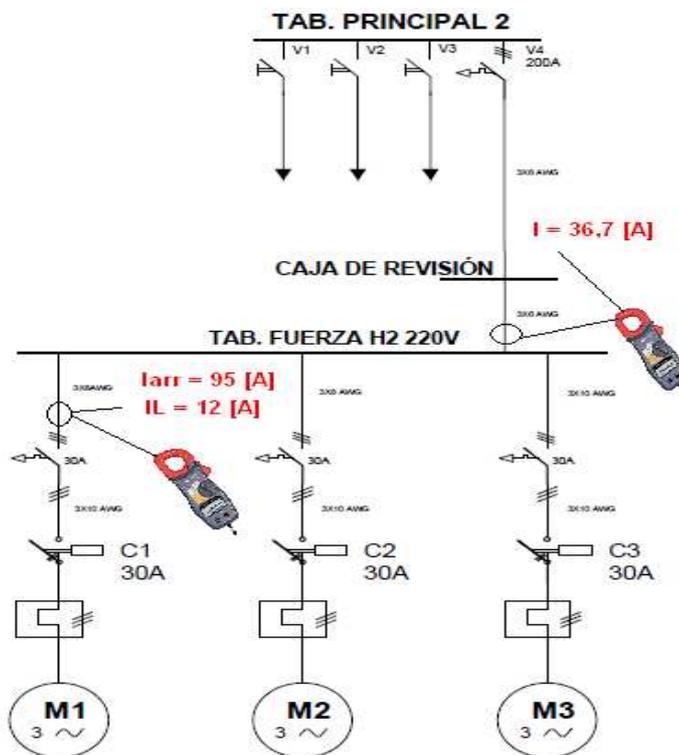


Figura 4.13: Medición de Corrientes en el Tablero de Fuerza del Horno 2

CAPITULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES:

- Es muy importante conocer bien el proceso que se va a controlar para de esta manera poder dimensionar bien los elementos que controlarán al mismo y diseñar adecuadamente el algoritmo de control.
- El PLC Siemens S71200 CPU 1212C solamente es expandible a 2 módulos, mientras el PLC Siemens S71200 CPU1214C es expandible a 8 módulos. Se seleccionó el CPU 1212C ya que este PLC controlará exclusivamente a los Hornos, con un módulo de entradas y salidas y un módulo para termopares.
- A pesar de disponer del módulo de temperatura para termopares, hubo que hacer las configuraciones correctas para su buen funcionamiento.
- En la configuración de los termopares, para evitar el error de repetibilidad y para reducir el ruido se escogió el mayor tiempo de integración o menor frecuencia, en este caso 100ms (10Hz).
- En los motores de 9 terminales solamente hay como hacer arranque directo.
- El dimensionar los breakers y relés térmicos del circuito de fuerza para el arranque de motores del Horno 2, se lo realizó en base a los datos de placa, en, especial la corriente nominal, voltaje nominal y potencia.

- Para dimensionar los cables del circuito de fuerza para el arranque de los motores del Horno 2, es necesario saber la máxima corriente que circulará a través de ellos, y su caída de voltaje.
- En el circuito de fuerza para el arranque de los motores de recirculación del Horno 2, las protecciones existentes son el breaker para proteger en caso de sobre voltaje, y relés térmicos para proteger en caso de sobre temperatura y sobre corriente.
- Para seleccionar las electroválvulas se tomó parámetros muy importantes como, la temperatura y presión máxima de operación, el tipo de fluido que circulará, si es normalmente abierto o cerrado y el voltaje de su bobina.
- El control por histéresis implementada es ideal para el proceso de cocción de las planchas acrílicas, ya que es un proceso lento o con poca inercia, ya que los hornos tienen una gran capacitancia.
- El sistema se encuentra operando de acuerdo a lo esperado, por lo que se logró cumplir con el objetivo del trabajo.

5.2 RECOMENDACIONES:

- La temperatura de cocción de las planchas acrílicas puede variar según su espesor, tamaño, etc., por lo que los datos del proceso variarán y es una situación que debe ser tomada en cuenta.
- Las planchas acrílicas se pueden quebrar por sobre temperatura, por lo que en el programa se instaló una alarma cuando llegue a esta condición crítica, se recomienda que la misma sea atendida oportunamente.

- Es de gran importancia poner marquillas en todo tablero de control, para que al momento de hacer una revisión, mantenimiento o arreglo, la persona encargada no tenga dificultad al realizar estas actividades.
- En la programación es muy importante ir segmentando y nombrando las diferentes partes para el control, así se podrá entender de manera fácil y rápida todo el desarrollo del programa.
- Toda instalación de cables externos siempre tienen que ir a través de tuberías, estas pueden ser Conduit o BX.

BIBLIOGRAFIA:

Libros:

- *BAIRD, J. Ronald; BAIRD David T, Plásticos industriales, La Compañía Goodheart-Willcox, 1986.*
- *COWIE, JMG, Polímeros: Química y Física de los materiales modernos Chapman and Hall, 1991.*
- *WILEY, John; & Sons, Enciclopedia de Ciencia de Polímeros e Ingeniería, Volumen, 1985.*
- *ROSATO, Dominick V, Enciclopedia y Diccionario de plástico, Hanser Publicaciones, 1993.*
- *SEYMOUR, Raymond B., Ingeniería Libro de polímero, McGraw-Hill, 1990.*
- *SMITH, Edward H., Libro de ingeniero mecánico de referencia, Society of Automotive Engineers, 1994.*
- *ANGULO, Pablo, Diagramas de Control Industrial. Quito. 1990*
- *BOLTON, W., Programmable Logic Controllers, Cuarta Edición.*
- *BOIOX, Oriol; SAIGUI, Miquel; ZABALETA, Ferran, Automatismos Eléctricos Programables, 1998.*
- *AVILÉS Fausto G., Instalaciones Eléctricas.*

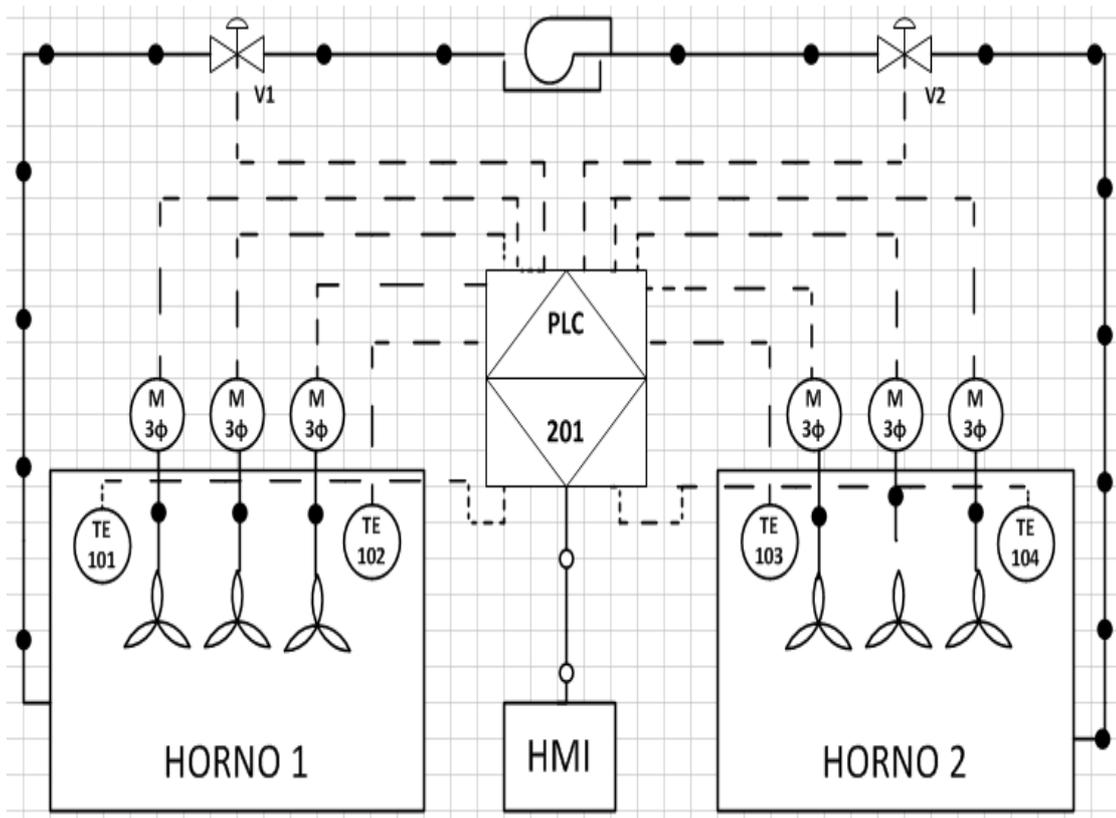
PÁGINAS WEB:

- http://translate.googleusercontent.com/translate_c?hl=es&langpair=en%7Ces&rurl=translate.google.com.ec&u=http://www.madehow.com/Volume-2/AcrylicPlastic.html&usg=ALkJrhgrIAA5WBw8IQxMoyPu110m7eGGig#ixz1gXpwNWAE
- <http://www.acrilicosegox.com.ar/detalle.php?a=guia-de-fallas-en-planchas-acrilicas&t=8&d=11>
- <http://es.scribd.com/doc/50710267/2/Polimeros-adecuados-para-el-termoformado>
- <http://www.misrespuestas.com/que-es-el-acrilico.html>
- <http://www.laminadeacrilico.com.mx/gpage18.html>
- <http://www.artdental.com.ar/ACRILICO/QUE%20SABE%20USTED.htm>
- http://www.pac.com.ve/index.php?option=com_content&view=article&catid=64:industria&Itemid=87&id=5603.
- <http://www.cosmos.com.mx/j/tec/c7fh.htm>.
- <http://www.madehow.com/Volume-2/Acrylic-Plastic.html>
- <http://www.misrespuestas.com/que-es-un-plc.html>
- http://www.grupomaser.com/PAG_Cursos/Auto/auto2/auto2/PAGINA%20PRINCIPAL/PLC/plc.htm#Funciones%20b%C3%A1sicas%20de%20un%20PLC
- http://www.oocities.org/gabrielordonez_ve/ARQUITECTURA_PLC.htm
- http://es.wikiversity.org/wiki/Principios_del_procesado_de_los_pol%C3%ADmeros._Procesados_de_pol%C3%ADmeros

PROGRAMAS:

- *Ayuda del Programa Siemens STEP7 Basic V11*

ANEXO 1: P&D DEL PROCESO



SIMBOLOGÍA:

	Controlador Lógico Programable		Ventilador
	Elemento de Temperatura		Señal eléctrica
	Motor Trifásico		Conexión del proceso
	Electroválvula		Señal de datos
	Quemador		

ANEXO 2: INSTALACIÓN DEL PANEL DE OPERACIÓN DEL NUEVO SISTEMA DE CONTROL

La caja del panel de control tiene las siguientes dimensiones: 60cmx40cmx20cm y por seguridad tendrá una puerta con llave y contará con cuatro regletas.

En la primera regleta se instaló: el transformador de aislamiento, la fuente DC de 24V, para alimentar al panel HMI, a los módulos de expansión y las entradas digitales.

En la segunda regleta se instaló: el PLC, los módulos de expansión y las protecciones.

En la tercera regleta se instaló todas las borneras de conexión.

En la cuarta regleta se instaló los relés y los zumbadores.

En la puerta se empotró el HMI y se colocaron todos los elementos de maniobra y visualización: pulsadores marcha-paro, selectores y luces piloto. Arriba se instalaron balizas y sirenas. En las figuras A, B, C, D y E se ilustra la instalación del tablero de control.



Figura A: Instalación del tablero de control (1)



Figura B: Instalación del tablero de control (2)



Figura C: Instalación del tablero de control (3)



Figura D: Instalación del tablero de control (4)

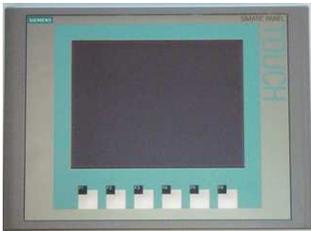


Figura E: Instalación del tablero de control (5)

ANEXO 3: MANUAL DEL USUARIO

CONTROL DE HORNOS PARA EL PROCESO DE COCCIÓN DE PLANCHAS ACRÍLICAS

A través del HMI, los selectores de mando manual/automático y los pulsantes marcha/paro, se controlará el proceso de calentamiento de las planchas acrílicas para los dos hornos.



- El encendido y apagado del control se lo hace mediante un breaker.
- Una vez encendido el sistema, esperar 20 segundos para que se inicialice el HMI.
- Una vez inicializado el HMI aparece la figura F. Aquí se selecciona el Horno que se requiere controlar.



Figura F: Imagen Inicial / Selección de Horno

- Para seleccionar el Horno a controlar, se pulsa Horno 1 u Horno 2 en la imagen inicial como se ilustra en la figura G.

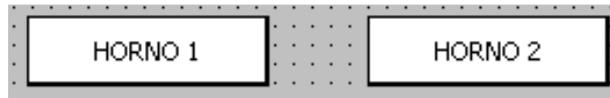


Figura G: Pulsantes para selección Horno

CONTROL AUTOMÁTICO DEL PROCESO PARA EL HORNO 1

Al seleccionar Horno 1, aparecerá la figura H, donde se ingresarán los datos para comenzar el proceso de calentamiento de las planchas acrílicas. Antes de ingresar los datos, colocar el selector en mando automático.



Figura H: Ingreso de datos del Horno 1 para mando automático

Para ingresar los datos, pulsar el ícono  en cada variable del proceso de la

Tabla A, después de ingresar los datos (números) pulsar 

Tabla A: Variables controlables del proceso

TCmax	Temperatura de cocción máxima
TCmin	Temperatura de cocción mínima
tp1	Tiempo de permanencia de cocción
toff	Tiempo de apagado de motores.

Una vez ingresados los datos en las 4 variables del proceso, pulsar el ícono **Inicio Mando Automático** y luego accionar el pulsante de marcha (color verde) del Horno 1 para comenzar el proceso.

Al pulsar **Inicio Mando Automático** se visualiza la figura I.



Figura I: Visualización del Proceso del Horno 1

En la figura I, se visualiza las temperaturas, la activación de los motores y de la electroválvula si están accionadas (círculo en negrilla), y la curva de temperatura con respecto al tiempo. La Temperatura 1 es la que realiza todo el control. La Temperatura 2 es una referencia.

Al accionar el pulsante de marcha el proceso completo es el siguiente:

- 1.- Se acciona el primer motor de recirculación.
- 2.- Se acciona el segundo motor de recirculación después de 30 segundos de activado el primer motor.

3.- Se acciona el tercer motor de recirculación después de 15 segundos de activado el segundo motor.

4.- Se acciona la electroválvula después de 10 segundos de activado el tercer motor de recirculación para ingresar vapor para calentar el horno.

5.- Cuando la temperatura 1 llega al valor ingresado **TCmax**, empieza a correr el tiempo de permanencia **tp1** de la temperatura de cocción. En ese momento se activa la luz piloto amarilla que es el indicador de dicha permanencia. Durante este tiempo se mantiene la histéresis entre **TCmax** y **TCmin**. Cuando la temperatura llega a **TCmax** la electroválvula se cierra para enfriar el proceso y cuando llega a **TCmin** la electroválvula se abre para calentar el proceso.

6.- Cuando el tiempo de permanencia **tp1** se termina, se desactiva la luz piloto amarilla, se desactiva la electroválvula en caso de que este activada, y empieza el conteo del tiempo de apagado automático de motores **toff**, y se activan la sirena y la licuadora verde durante 8 segundos.

7.- Cuando se termina el tiempo de apagado de motores, primero se desactiva el motor 3, 10 segundos después se desactiva el motor 2, 10 segundos después se desactiva el motor 1 y en ese instante se activa nuevamente la sirena y licuadora verde durante 8 segundos, indicando el fin del proceso.

8.- Cuando se desactivan la sirena y licuadora, se resetea todo el proceso, por lo cual si el siguiente proceso tiene los mismos datos, solo se acciona el pulsante de marcha para iniciar con otro ciclo.

9.- Cuando la temperatura sube 6 grados centígrados más del valor de **TCmax**, se activa la luz piloto roja de sobre temperatura, al igual que la sirena y la licuadora verde.

10.- Durante el proceso al accionar el pulsante de paro, se resetea el proceso y los motores se desactivan secuencialmente.

CONTROL MANUAL DEL PROCESO PARA EL HORNO 1

Al seleccionar Horno 1, aparecerá la figura H. Colocar el selector en mando

manual, y luego pulsar .

Después de pulsar  aparecerá la figura I, igual que en el control automático, para visualizar el proceso.

La tecla de función  es el que realiza el mando alternado de la electroválvula.

CONTROL AUTOMÁTICO DEL PROCESO PARA EL HORNO 2

Al seleccionar Horno 2, aparecerá la figura J, donde se ingresarán los datos para comenzar el proceso de calentamiento de las planchas acrílicas. Antes de ingresar los datos, colocar el selector en mando automático.



Figura J: Ingreso de datos del Horno 2 para mando automático

Para ingresar los datos, pulsar el ícono  en cada variable del proceso de la

Tabla B, después de ingresar los datos (números) pulsar .

Tabla B: Variables controlables del proceso

TCmax	Temperatura de cocción máxima
TCmin	Temperatura de cocción mínima
tp1	Tiempo de permanencia de cocción
toff	Tiempo de apagado de motores.

Una vez ingresados los datos en las 4 variables del proceso, pulsar el ícono **Inicio Mando Automático** y luego accionar el pulsante de marcha (color verde) del Horno 2 para comenzar el proceso.

Al pulsar **Inicio Mando Automático** se visualiza la figura K.

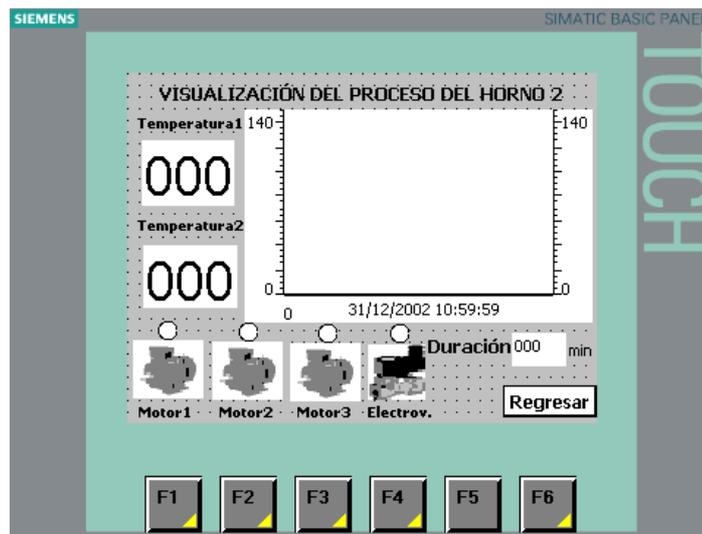


Figura K: Visualización del Proceso del Horno 2

En la figura K se visualiza las temperaturas, la activación de los motores y de la electroválvula si están accionadas (círculo en negrilla), y la curva de temperatura con respecto al tiempo. La Temperatura 1 es la que realiza todo el control. La Temperatura 2 es una referencia.

Al accionar el pulsante de marcha el proceso completo es el siguiente:

- 1.- Se acciona el primer motor de recirculación.

2.- Se acciona el segundo motor de recirculación después de 10 segundos de activado el primer motor.

3.- Se acciona el tercer motor de recirculación después de 10 segundos de activado el segundo motor.

4.- Se acciona la electroválvula después de 10 segundos de activado el tercer motor de recirculación para ingresar vapor para calentar el horno.

5.- Cuando la temperatura 1 llega al valor ingresado **TCmax**, empieza a correr el tiempo de permanencia **tp1** de la temperatura de cocción. En ese momento se activa la luz piloto amarilla que es el indicador de dicha permanencia. Durante este tiempo se mantiene la histéresis entre **TCmax** y **TCmin**. Cuando la temperatura llega a **TCmax** la electroválvula se cierra para enfriar el proceso y cuando llega a **TCmin** la electroválvula se abre para calentar el proceso.

6.- Cuando el tiempo de permanencia **tp1** se termina, se desactiva la luz piloto amarilla, se desactiva la electroválvula en caso de que este activada, y empieza el conteo del tiempo de apagado automático de motores **toff**, y se activan la sirena y la licuadora naranja durante 8 segundos.

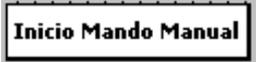
7.- Cuando se termina el tiempo de apagado de motores, primero se desactiva el motor 3, 10 segundos después se desactiva el motor 2, 10 segundos después se desactiva el motor 1 y en ese instante se activa nuevamente la sirena y licuadora naranja durante 8 segundos, indicando el fin del proceso.

8.- Cuando se desactivan la sirena y licuadora, se resetea todo el proceso, por lo cual si el siguiente proceso tiene los mismos datos, solo se acciona el pulsante de marcha para iniciar con otro ciclo.

9.- Cuando la temperatura sube 6 grados centígrados más del valor de **TCmax**, se activa la luz piloto roja de sobre temperatura, al igual que la sirena y la licuadora naranja.

10.- Durante el proceso al accionar el pulsante de paro, se resetea el proceso y los motores se desactivan secuencialmente.

CONTROL MANUAL DEL PROCESO PARA EL HORNO 2

Al seleccionar Horno 2, aparecerá la figura J. Colocar el selector en mando manual, y luego pulsar .

Después de pulsar  aparecerá la figura K, igual que en el control automático, para visualizar el proceso.

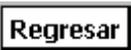
La tecla de función  es el que realiza el mando alternado del motor 1.

La tecla de función  es el que realiza el mando alternado del motor 2.

La tecla de función  es el que realiza el mando alternado del motor 3.

La tecla de función  es el que realiza el mando alternado de la electroválvula.

En el control manual y en el automático de los 2 hornos, el sistema cuenta con un paro de emergencia, el cual desactiva todas las salidas en caso de algún siniestro.

En caso de que requiera controlar los 2 hornos al mismo tiempo, mediante el ícono , se puede volver a la imagen inicial para poder seleccionar otro horno.

En todas las imágenes la tecla de función  inicializa el HMI.

GLOSARIO

HMI (Interfaz hombre máquina): Es un mecanismo que le permite a un operador humano interactuar con una máquina o proceso y determinar el estado (prendido/apagado) o magnitud de los dispositivos y/o variables físicas que están presentes en una planta o proceso industrial.

Breaker: Es un dispositivo cuya función es proteger dispositivos eléctricos de sobrecargas.

Selector: Son elementos de mando similares a los pulsantes pero sin retroceso, su acción es instantánea tanto al cierre como en la apertura. Generalmente se construyen de dos y tres posiciones; y existen en el mercado, con accionamiento por palanca, botón, llave, etc.

Pulsador: Son aparatos de maniobra clasificados como interruptores, que tienen retroceso, que son accionados manualmente y se emplean para el mando de pequeñas potencias

Electroválvula: Es una válvula electromecánica diseñada para controlar el flujo de un fluido a través de un conducto. La válvula es controlada por una corriente eléctrica a través de una bobina solenoidal.

Profinet: Es una red que permite la comunicación entre los autómatas y los aparatos de campo.

Termocupla: Es un sensor de temperatura formado por dos metales distintos que produce un voltaje.

PLC (Controlador Lógico Programable): Es un equipo electrónico diseñado para programar y controlar procesos secuenciales en tiempo real.

Contactador: Es un dispositivo designado a cerrar o interrumpir la corriente en uno o más circuitos eléctricos, que normalmente funciona con mando a distancia. Está diseñado para maniobras frecuentes bajo cargas y sobrecargas normales.

Relé: Es un dispositivo electromecánico, que en función de la variación de una magnitud física o eléctrica, actúa, determinando el funcionamiento de otro dispositivo.

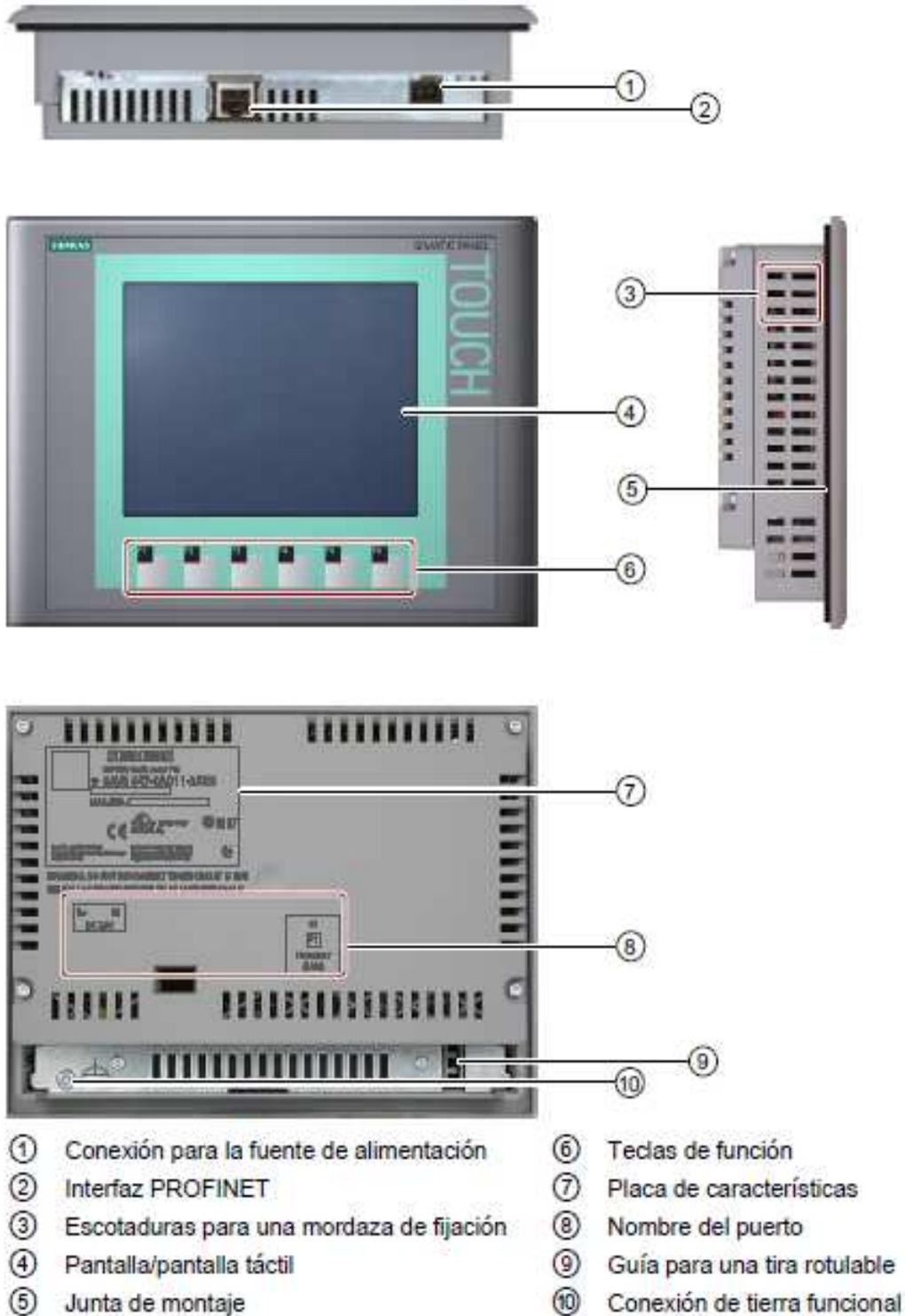
Fusible: Es un aparato de maniobra destinado a desconectar automáticamente un circuito eléctrico al rebasarse una determinada cantidad de corriente.

Seccionador: El seccionador es un aparato mecánico de conexión que asegura, en posición abierta, una distancia de seccionamiento que satisface condiciones especificadas. Un seccionador es capaz de abrir y de cerrar un circuito cuando se establece o interrumpe una corriente de valor despreciable, o bien no se produce ningún cambio importante de la tensión entre los bornes de cada uno de los polos del seccionador.

AWG (American Wire Gauge): Calibre de alambres en el sistema americano.

ANEXO 4: COMPONENTES DEL HMI

Componentes del KTP600 Basic mono/color PN



ANEXO 5: PDF ELECTROVÁLVULAS USADAS PARA EL CONTROL

MUS series Normally closed

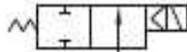
SOLENOID VALVE



Model: MUS-15, 20, 25, 35, 40, 50 (High flow type)

MUS-8, 10 (Low flow type)

Available fluid: Steam, water, air & oil.



Specification:

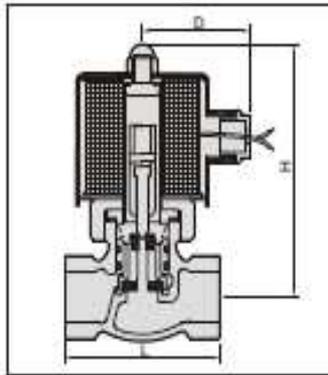
- 2-WAY normally closed solenoid valve.
- Type MUS withstand high temperature.
- Available fluid: Steam, Water, Air & Oil.
- Standard voltage: AC 110V/220V (50/60 Hz).
- Voltage is with $\pm 10\%$ differential.
- Simple construction & easy assembly.
- Other voltage of AC/DC available when required.
- Installation: Mountable in LEVEL position only (Prohibition in vertical position).
- Port thread BSP, NPT, are also available.

Not for fluid of:

- Liquid when heat, solid when cool.
- Corrosive fluid.
- Viscosity over 20 cst.
- Temperature over 185°C.

Caution:

- Pipes must be washed neat and clean before filled.
- A Y-STRAINER has to be installed in the front of solenoid valve, that is best for long life.



Material:

Parts name	Material
Coil	Special copper wire H grade
Tube	Special stainless steel
Fixed steel	Stainless steel
Spring	Stainless steel
Piston	Brass
Plug	PTFE
Body	Cast brass

Model (order code)	Connection pipe size	Cv	Orifice (mm)	Fluid temp	Max. operating pressure diff. kg/cm ²						L (mm)	H (mm)	D (mm)	Weight (kg)
					Steam	Water	Air	Light oil	Gas	Vacuum				
MUS-15	PT 1/2"	4	17	-5°C 185°C	0.5-10	0.5-10	0.5-15	0.5-10	0.5-10	-	82	120	58	1.7
MUS-20	PT 3/4"	6	17		0.5-10	0.5-10	0.5-15	0.5-10	0.5-10	-	82	123	58	1.7
MUS-25	PT 1"	12	22		0.5-10	0.5-10	0.5-15	0.5-10	0.5-10	-	91	130	58	2.0
MUS-35	PT 1 1/4"	18	30		1-10	1-10	1-15	1-10	1-10	-	110	141	58	3.1
MUS-40	PT 1 1/2"	22	32		1-10	1-10	1-15	1-10	1-10	-	110	144	58	3.3
MUS-50	PT 2"	48	50		1-10	1-10	1-15	1-10	1-10	-	163	173	58	7.2

⚠ The pressure ratings indicated above are based on AC 110V/220V. The maximum pressure may vary in case on DC/AC 24V.
Special order: AC 380V, 415V, 440V.

ANEXO 6: PLANOS