

**Diseño e Implementación del sistema de Control y Monitoreo Automático para Prensa  
Hidráulica Térmica Industrial ubicada en Empresa Textil (Tejidos Especiales SAS)**

Beymar López Sánchez

Tutora

Adriana del Pilar Noguera Torres

Universidad Nacional Abierta Y A Distancia

Escuela De Ciencias Básicas, Tecnología E Ingeniería

Ingeniería Electrónica

2023

## **Dedicatoria**

A mi Padre y mis hermanos, individuos de singular valía que depositan su plena confianza en mis empeños y siempre muestran un respaldo constante a mis proyectos. La fuerza inherente de sus intenciones y voluntades han impulsado mi afán y solicitud tan ostensiblemente en mi vida que sus indicios se han hecho indelebles.

## Resumen

La propuesta consiste en desarrollar un sistema de control y monitoreo automático para una maquina industrial encargada de producir láminas de Kevlar (fibra sintética resistente al calor) empleando métodos de prensado térmico utilizando cuatro placas de aluminio a alta temperatura y nueve cilindros hidráulicos.

El proceso de la maquina consiste en prensar el material aplicando fuerza hidráulica a las placas de aluminio. Mientras se realiza este prensado se va aumentando la temperatura en las placas de aluminio hasta una temperatura establecida por el operador para después disminuir la temperatura aplicando aire frio en la prensa y posteriormente abrir la maquina y extraer el producto final prensado en laminas.

Al finalizar el proyecto se espera desarrollar un sistema automatizado controlado por temperatura y presión hidráulica que permita optimizar el proceso de prensado disminuyendo tiempos y costos de producción.

**Palabras clave:** automatización, control, temperatura, presión, PLC, HMI, contactor, relé, SSR, interfaz, sensor, proceso.

### **Abstract**

The proposal consists of developing an automatic control and monitoring system for an industrial machine responsible for producing Kevlar sheets (which is a synthetic fiber resistant to heat) applying thermal pressing methods using four high-temperature aluminum plates and nine hydraulic cylinders.

The machine's process involves pressing the material by applying hydraulic force to the aluminum plates. While this pressing is carried out, the temperature in the aluminum plates is increased to a temperature established by the operator after which the temperature is decreased by applying cold air to the hydraulic press and then the machine is opened, and the final product is extracted in sheets.

At the end of the project, it is expected to develop an automated system controlled by temperature and hydraulic pressure that will optimize the pressing process by reducing production times and costs.

**Keywords:** automation, control, temperature, pressure, PLC, HMI, contactor, relay, SSR, interface, sensor, process.

## Tabla de Contenido

Introducción.....	11
Planteamiento del Problema.....	12
Justificación.....	14
Estado del Arte.....	15
Metodología.....	17
Desarrollo.....	18
Necesidad de la Adecuación.....	25
Soluciones Propuestas en la Automatización.....	27
Elaboración Planos Eléctricos Tablero para Prensa Hidráulica Térmica.....	30
Ensamble Encerramiento Tablero Prensa Hidráulica Térmica.....	48
Desarrollo Etapa Lógica.....	58
Características de la HMI.....	65
Análisis de los Resultados.....	76
Antes y Después.....	83
Relación Costo Beneficio.....	84
Conclusiones.....	85
Referencias Bibliográficas.....	86

**Lista de Tablas**

<b>Tabla 1</b> <i>Elementos para Ensamble del Tablero</i> .....	43
<b>Tabla 2</b> <i>Disposicion Señales de Entrada al PLC</i> .....	59
<b>Tabla 3</b> <i>Señales de Salida desde PLC</i> .....	60

## Lista de Figuras

<b>Figura 1</b> <i>Puerta Cofre Previo</i> .....	18
<b>Figura 2</b> <i>Interior Cofre y Tablero Previo</i> .....	19
<b>Figura 3</b> <i>Puerta Cofre Conexiones Internas</i> .....	20
<b>Figura 4</b> <i>Estado Previo Tablero y Bornas de Conexión</i> .....	21
<b>Figura 5</b> <i>Conexiones y Estado Relé Programable</i> .....	22
<b>Figura 6</b> <i>Previas Conexiones Eléctricas entre Placas</i> .....	23
<b>Figura 7</b> <i>Previas Conexiones Eléctricas y Resistencias Internas en Placas</i> .....	24
<b>Figura 8</b> <i>Diagrama de Fuerza Placa 1 y Placa 2</i> .....	31
<b>Figura 9</b> <i>Diagrama de Fuerza Placa 3 y Placa 4</i> .....	32
<b>Figura 10</b> <i>Diagrama de Fuerza Motores</i> .....	33
<b>Figura 11</b> <i>Diagrama de Control Entradas CPU Siemens S7-1200</i> .....	35
<b>Figura 12</b> <i>Diagrama de Control Entradas Análogas en PLC</i> .....	36
<b>Figura 13</b> <i>Diagrama de Control Salidas CPU Siemens S7-1200</i> .....	37
<b>Figura 14</b> <i>Diagrama de Control Salidas Expansión CPU Siemens S7-1200</i> .....	38
<b>Figura 15</b> <i>Diagrama Conexiones PT100 a PLC</i> .....	39
<b>Figura 16</b> <i>Diagrama Conexiones Controladores de Temperatura Placa 1 y 2</i> .....	40
<b>Figura 17</b> <i>Diagrama Conexiones Controladores de Temperatura Placa 3 y 4</i> .....	40
<b>Figura 18</b> <i>Diagrama Conexiones Ventilación en Tablero y Multímetro</i> .....	41
<b>Figura 19</b> <i>Diagrama de Distribución Controles, Indicadores y HMI en Cofre</i> .....	42
<b>Figura 20</b> <i>Adquisición del Encerramiento</i> .....	48
<b>Figura 21</b> <i>Ensamble de Canaleta y Componentes de Potencia en Doble Fondo</i> .....	50
<b>Figura 22</b> <i>Instalación Botonera</i> .....	51

<b>Figura 23</b>	<i>Instalación Controles de Temperatura y Multímetro</i> .....	52
<b>Figura 24</b>	<i>Cableado SSR's</i> .....	53
<b>Figura 25</b>	<i>Cableado Contactores</i> .....	54
<b>Figura 26</b>	<i>Cableado Botonera</i> .....	55
<b>Figura 27</b>	<i>Cableado PLC</i> .....	56
<b>Figura 28</b>	<i>Ensamble Final Tablero</i> .....	57
<b>Figura 29</b>	<i>Entorno TIA Portal para Programación PLC</i> .....	58
<b>Figura 30</b>	<i>Diagrama de Flujo Programa PLC</i> .....	62
<b>Figura 31</b>	<i>Declaración Variables en PLC</i> .....	63
<b>Figura 32</b>	<i>Normalización y Escalización de Señales Análogas</i> .....	64
<b>Figura 33</b>	<i>Enlace Profinet entre PLC y HMI</i> .....	66
<b>Figura 34</b>	<i>Diagrama de Flujo Lógica HMI</i> .....	67
<b>Figura 35</b>	<i>Pantalla de Inicio</i> .....	68
<b>Figura 36</b>	<i>Pantalla Programar Bache</i> .....	69
<b>Figura 37</b>	<i>Pantalla Instrucciones de Operación</i> .....	70
<b>Figura 38</b>	<i>Pantalla Principal de Proceso</i> .....	71
<b>Figura 39</b>	<i>Pantalla Graficas de Temperatura en Placas</i> .....	72
<b>Figura 40</b>	<i>Pantalla Proceso Finalizado</i> .....	73
<b>Figura 41</b>	<i>Pantalla Alarmas en Maquina</i> .....	74
<b>Figura 42</b>	<i>Código Exportar Datos de Proceso</i> .....	75
<b>Figura 43</b>	<i>Conexión Final Tablero-Maquina</i> .....	76
<b>Figura 44</b>	<i>Conexión Bornes Señales de Control</i> .....	77
<b>Figura 45</b>	<i>Conexiones Protecciones Circuitos de Potencia</i> .....	77
<b>Figura 46</b>	<i>Cableado Nuevo en Placas</i> .....	78

<b>Figura 47</b> <i>Puerta Izquierda Cofre Operando</i> .....	79
<b>Figura 48</b> <i>Puerta Derecha Cofre Operando</i> .....	80
<b>Figura 49</b> <i>Cofre Energizado y Operando</i> .....	81
<b>Figura 50</b> <i>Visualización Registros en Pantalla HMI</i> .....	82

**Lista de Apéndices**

**Apéndice A** *Manual de Operación*..... 89

**Apéndice B** *Formato de Mantenimiento*..... 106

## **Introducción**

Aplicar automatización a procesos industriales es una tarea compleja e intrincada. Siempre es importante tener en cuenta la aplicación de dispositivos que permitan ejecutar las tareas automáticas requeridas en el proceso. Este trabajo pretende encontrar solución a una necesidad problema en un proceso industrial en términos de eficiencia y ahorro energético. Solución en control y monitoreo del proceso a intervenir utilizando conocimientos en lógica cableada programable, control de cargas resistivas e inductivas en corriente alterna, lenguajes de programación y elementos de instrumentación industrial. Todo en función de llegar a una solución óptima y confiable.

## Planteamiento del Problema

Una empresa textil llamada Tejidos Especiales SAS ubicada en la ciudad de Bogotá Colombia cuenta con una maquina fabricada a pedido especial con el propósito de elaborar láminas de Kevlar. Esta máquina es una estructura rectangular con cuatro placas móviles en su interior. Las placas son trasladadas utilizando un sistema hidráulico incorporado en la estructura además de ser sometidas a calentamiento por convección empleando resistencias infrarrojas. La fibra sintética es ingresada entre las placas para ser prensada y calentada con unos parámetros específicos de procesamiento.

El proceso se torna estrictamente manual puesto que una vez se ingresa el material entre las placas se necesita de un operador para accionar la bomba hidráulica e iniciar el prensado del material hasta las 2000 psi reguladas por medio de un presostato el cual abre la línea de control evitando que el operador siga accionando la bomba hidráulica. Una vez la prensa está completamente cerrada con todos los cilindros ejerciendo presión el operador anota en un formato de producción tanto el ingreso del material como la temperatura inicial de proceso. Después, el operador debe estar revisando los controles de temperatura (pirómetro) asociados a cada placa hasta que todos alcancen los 160°C, cuando se han estabilizado las temperaturas en todas las placas el operador debe ir al tablero de mando y control para desactivar el control asociado al calentamiento (Resistencias energizadas por contactores) registrar la temperatura máxima alcanzada en el proceso y activar una campana ventiladora (Motor trifásico energizado por contactor) encargada de enfriar las placas y por ende el material entre ellas todo esto se realiza con la prensa cerrada a 2000 psi. Finalmente, el operador revisa que las temperaturas en cada placa sean inferiores a 65°C después de transcurrido el tiempo de enfriamiento registra la temperatura

mínima de proceso y procede a apagar la campana ventiladora seguido de la apertura de las placas la cual es regulada por el operador mismo quien cuenta con una guía en la máquina que le indica hasta donde le está permitido abrir la máquina.

La prensa hidráulica térmica actualmente posee un control sectorizado de temperatura por cada placa, además de un sensor de presión para la línea hidráulica (Presostato) pero que necesita obligatoriamente la supervisión de los operadores puesto que la operación de la maquina es completamente manual.

Básicamente la maquina recibe entre las placas precalentadas el material a procesar el cual ingresa crudo o blando y después de una sesión de prensado dividido en dos tiempos; uno de calentamiento (Max 160°C) y uno de enfriamiento (Min 65°C) el material termina procesado en laminas rígidas desmoldadas después de más de 3 horas de prensado térmico.

A pesar de que la maquina cumple con el propósito y logra sacar un producto apropiado, la mayor parte de las veces se presentan recurrentemente varias problemáticas ligadas al proceso, considerable consumo de energía, elevados costos de mantenimiento a la unidad hidráulica, así como al chasis de la maquina y tiempos improductivos en el proceso de prensado.

En resumen, la prensa hidráulica térmica necesita un control automático para el procesamiento del producto, un sistema que permita al operador atender otros asuntos en planta y no preocuparse por las etapas de procesamiento que ocurren en la máquina, un sistema que facilite la operación de la maquina y que entregue información del proceso a la empresa para posteriores consultas en producción.

## **Justificación**

Idealmente lo que se busca en el área de producción industrial además de generar productos de calidad es la optimización de procesos. Hacer que un proceso sea optimo implica eficiencia y monitoreo. Es necesario modificar y aplicar técnicas de control e inspección del proceso para hacerlo eficaz y automático. El elevado costo en el pago de la factura de energía por el desproporcionado e ineficiente consumo puede ser solucionado modificando el tipo de control aplicado a las fases que energizan las resistencias en el tiempo de calentamiento de las placas. También se presenta un costo excesivo en el mantenimiento de la unidad hidráulica lo que representa pérdidas económicas además de afectar los tiempos productivos de la máquina. Debido al accionamiento manual desde el tablero de mando de la maquina los cilindros hidráulicos encargados de la labor de prensado suelen dañar los empaques y terminan filtrando el aceite lo que hace que la presión no sea la misma en todos los cilindros. Luego están los tiempos de calentamiento y enfriamiento del proceso donde regularmente el operador no presta atención a los indicadores de temperatura lo que hace que el proceso se prolongue evitando que se puedan procesar mayor cantidad de placas en el turno. Algunas veces se deben reprocesar algunas láminas de Kevlar ya que puede suceder que algunas placas no se calientan uniformemente y el sistema de control no tiene los elementos necesarios para detectar esta falla.

Realizando los cambios pertinentes al tablero de mando y control de la maquina se puede garantizar una mejor operación de la maquina tanto un prensado como un control de temperatura más preciso y competente a la demanda en producción del material.

## Estado del Arte

Según indica el artículo “Particularidades en el desarrollo de diseños de prensas hidráulicas para la producción de materiales superduros (Bobrovnitchii et al., 2015)” Una tendencia observada en el desarrollo de procesos de transformación mecánica es el aumento de los esfuerzos que actúan sobre la pieza a ser transformada. Es un caso típico que ha estado sucediendo en lo que se refiere a la implantación de las tecnologías de obtención de materiales superduros. La prensa hidráulica que se pretende intervenir requiere transformar un material aplicando una presión mayor a 300 Ton y se requiere establecer Dispositivos de Alta Presión (DAP). Las industrias que producen comercialmente los materiales superduros utilizan tres tipos de DAP: Belt, “yunque” con concavidad y multipistones. Cada uno de ellos presenta ventajas y desventajas, pero existen algunas particularidades en común, tales como:

Concentración de la fuerza en una pequeña área de los DAP como condición necesaria para la generación de altas presiones requeridas para el proceso. Dimensiones relativamente pequeñas de los DAP

Pequeños desplazamientos durante la operación de los elementos que componen los DAP

Sensibilidad y perturbaciones relativas en las posiciones de los DAP durante las operaciones de generación y mantenimiento de la elevada presión. Gran estabilidad dimensional para soportar y mantener la presión alta durante mucho tiempo.

Control sobre la velocidad de reducción de la presión durante la etapa final de la operación, de forma que se evite la salida del material del medio comprimible hacia fuera del DAP

En el área de automatización de procesos industriales es muy típico la aplicación de controladores lógicos programables como el S7-1200 de Siemens para control de procesos por lotes o baches para el procesamiento de variables como la temperatura. Según (Tamboli et al., 2015) “la importancia del bucle de control de temperatura en un proceso por lotes radica en el bajo volumen, alto costo, consumo de tiempo y tiempo mínimo de investigación del proceso. Por lo tanto, para evitar el desperdicio de procesos por lotes de alto costo, las estrategias de control avanzado son importantes”. Se han utilizado tanto PLC como HMI para control de procesos como se indica en el artículo “Diseño de Sistema de control para alimentación basado en PLC S7-1200 (Feng & Guangpeng, 2021). En el cual se expone la disposición, diseño y realización de un sistema de alimentación inteligente aplicando el controlador programable de Siemens.

El uso de paneles de control en industria se ha convertido en una opción recurrente para la adquisición de datos y el control y supervisión de procesos. Según se indica en el artículo “Simulación de tráfico para infraestructuras y control de procesos industriales” (Popescu et al., 2022) los sistemas SCADA proporcionan al usuario datos en tiempo real y la posibilidad de grabar y rastrear eventos que ocurren en los diferentes procesos. Si bien el uso de relés y temporizadores ya establecían funciones automáticas, la implementación de paneles HMI permiten una amplia gama de posibilidades en el diagnóstico de fallas y reconfiguración de sistemas.

## **Metodología**

Inicialmente se pretende trabajar en el desarrollo mixto de la automatización aplicando conocimientos adquiridos en Telecontrol, sistemas dinámicos y programación. El proyecto está fundamentado en un PLC Siemens S7-1200 (SiemensPLC, 2022) y una Pantalla táctil de 7" Siemens SIMATIC MTP 700 Unified Comfort Panel (Siemens HMI, 2020). Estos dispositivos serán la columna vertebral del proyecto porque van a realizar las funciones primordiales de control y accionamiento de dispositivos, así como la supervisión y registro de datos y eventos de proceso en la Prensa hidráulica térmica (Desarrollo Cualitativo).

Una vez adquiridos los equipos a programar con el debido software de trabajo, en este caso STEP 7 TIA portal V17 de Siemens se inicia con el planteamiento de la solución al conjunto de problemáticas presentes en la máquina. Un diagrama de bloques secuencial permite organizar el procedimiento adecuado para realizar la automatización, así como para tener en cuenta las variables a controlar y los sensores a utilizar para la adquisición de datos.

Además, se pretende cambiar el tablero de mando y control de la máquina. Este tablero será más grande que el existente en la maquina puesto que se agregaran más componente de maniobra y accionamiento eléctrico (Desarrollo Cuantitativo).

## Desarrollo

### Estado Previo de la Maquina

#### *Características del Tablero de Control*

#### **Puerta del Tablero**

Cuenta con un controlador de temperatura por placa, un selector dos posiciones para encendido y apagado de las resistencias encargadas del calentamiento, Parada de emergencia con retención, encendido general, pulsador para apertura de prensa, pulsador para cierre de prensa y un selector dos posiciones que condiciona la acción tanto manual como automática de la apertura y cierre de la prensa

#### **Figura 1**

#### *Puerta Cofre Previo*

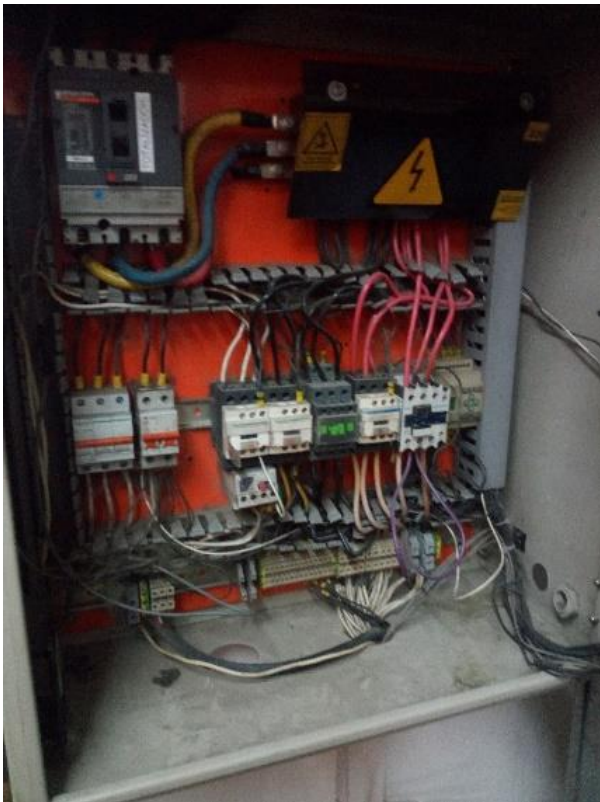


*Fuente. Elaboración Propia*

Interior del tablero con canaletas deformadas por efecto termico excesivo en la operación de la maquina y ausencia de ventilación. La canaleta ranurada en PVC tiene una temperatura trabajo inferior a  $60^{\circ}$  C y la cantidad de energía disipada en calor dentro del tablero ha deteriorado la calidad de esta canaleta empleada para organizar y proteger los conductores eléctricos. La ausencia de ventilación y circulación de aire apropiada dentro del tablero ha contribuido al deterioro de tanto de las canaletas como de los cables y bornes de conexión. No hay protecciones termomagnéticas específicas para cada grupo de resistencias por placa lo que deja muy expuesta la maquina y el tablero a daños por cortocircuito.

## Figura 2

*Interior Cofre y Tablero Previo*



*Fuente. Elaboración Propia*

Como se mencionó anteriormente el deterioro de los conductores eléctricos también se presenta en la cara interna de la puerta del cofre. La ausencia de terminales de conexión en la mayoría de las bornas de conexión tanto en los controles de temperatura como en los selectores y pilotos luminosos genera fallas de operación en la máquina, así como problemas de aislamiento generalizado de señales eléctricas

### **Figura 3**

*Puerta Cofre Conexiones Internas*

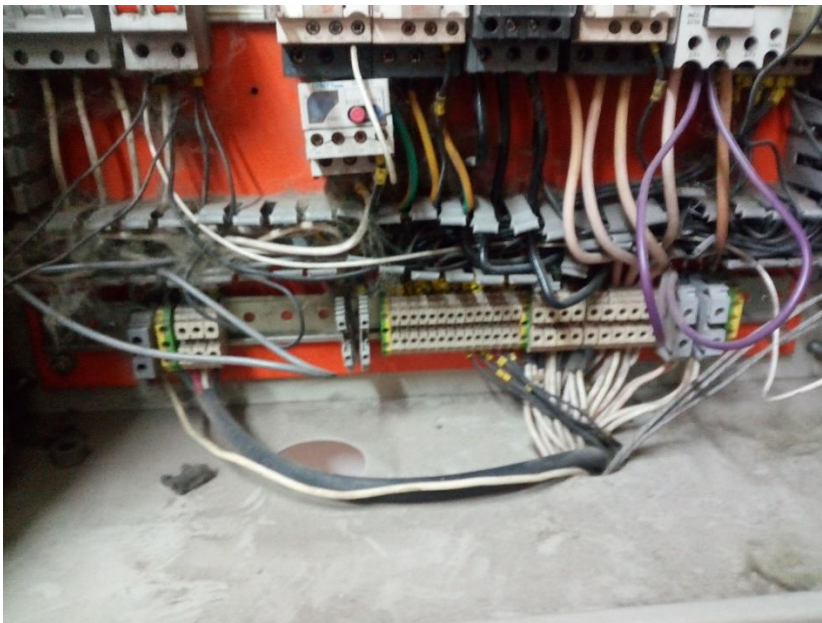


*Fuente. Elaboración Propia*

La parte inferior del tablero con canaleta deformada, también por problemas de ventilación y refrigeración interna del tablero. Se presentan problemas en las bornas de conexión debido al elevado consumo de corriente en la maquina y la constante interacción encendido y apagado de los contactores que energizan las resistencias internas en las placas de la máquina. Debido a cortos circuitos producidos en las placas de la maquina y la falta de mantenimiento general dentro del tablero se pueden observar varios conductores eléctricos deteriorados en la parte del aislante. El polvo y la fibra del material a procesar en la maquina han contribuido al detrimento del cofre. Las bornas de conexión más gruesas son las que conectan las resistencias de las placas con los contactores que las energizan, en ningún punto hay protección contra cortocircuito o aumento de temperatura para estos puntos de conexión.

#### **Figura 4**

*Estado Previo Tablero y Bornas de Conexión*

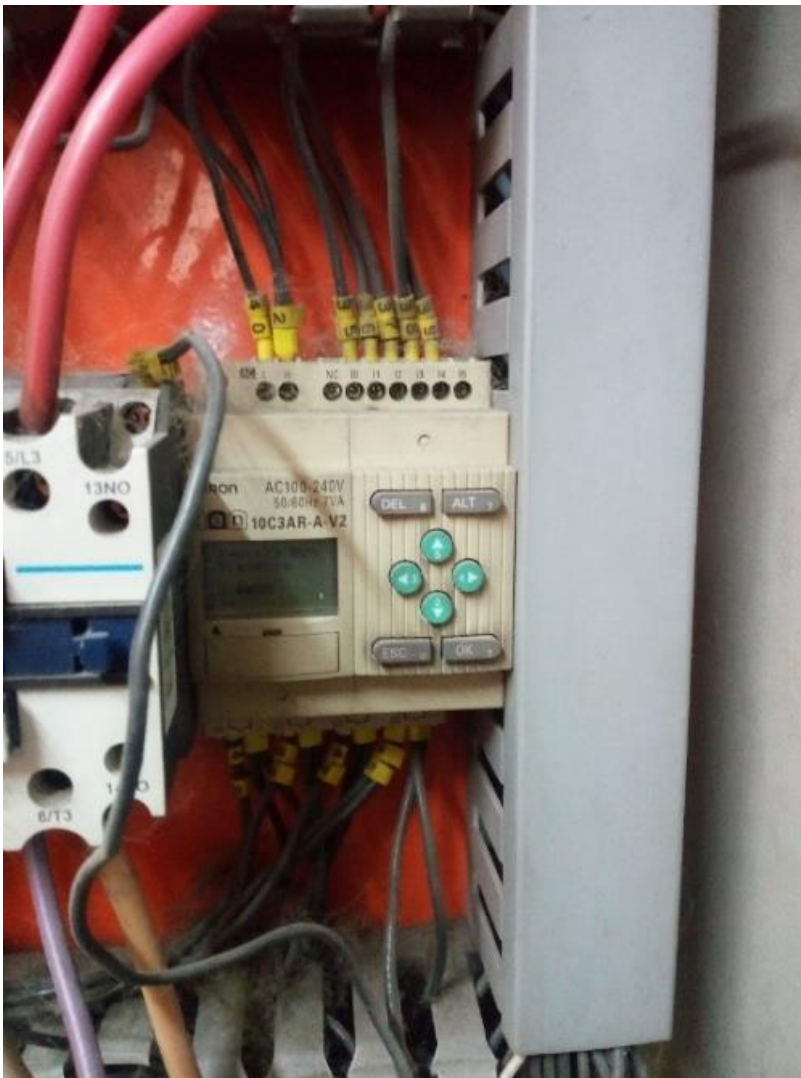


*Fuente. Elaboración Propia*

Falta de limpieza y mantenimiento en relé programable Omron encargado de operación manual y automática del cierre y apertura de la prensa. A pesar de que el relé programable funciona y cumple con la operación es necesario realizar un mantenimiento correctivo en el cableado. Reapretar tornillos en puntos de conexión y limpieza general de los componentes hacen parte del mantenimiento apropiado para este tipo de dispositivos

### **Figura 5**

*Conexiones y Estado Relé Programable*

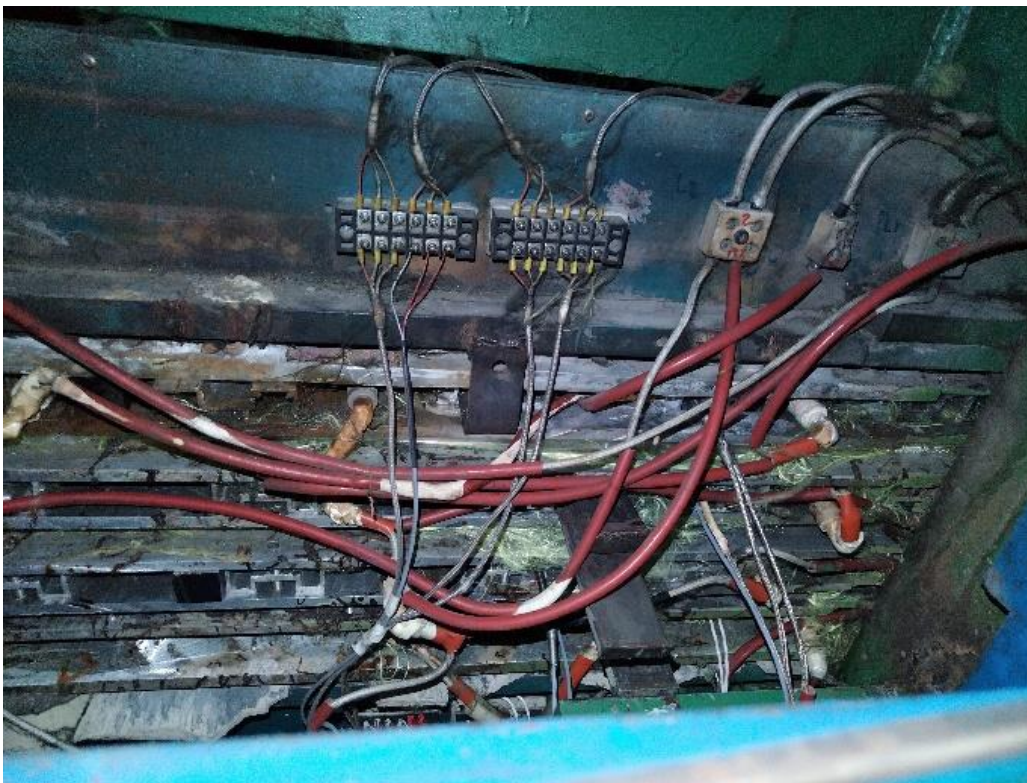


*Fuente. Elaboración Propia*

El cableado entre placas se encuentra desorganizado y desgastado por el uso. Tanto los cables de los sensores de temperatura conectados a los bornes negros como los cables de potencia de las resistencias conectados a los bornes blancos cerámicos. Estos cables se cruzan arbitrariamente entre las placas que eventualmente se movilizan y ejercen presión en el material que se ingresa entre ellas por parte del operario de la máquina. El riesgo principal de estos conductores eléctricos desordenados y expuestos es el potencial deterioro del aislamiento de los cables que se quedan atrapados entre las placas metálicas y ocasionan cortos circuitos con el chasis de la maquina generando daños tanto en las placas como en el tablero de control de la máquina.

### **Figura 6**

#### *Previas Conexiones Eléctricas entre Placas*



*Fuente. Elaboración Propia*

Las conexiones entre cables y resistencias se encuentran en mal estado y con rastro de corto circuito debido al movimiento al que se exponen estos componentes en la apertura y cierre de las placas de la máquina. Como mencionaba anteriormente los cables que energizan las resistencias están demasiado expuestos a quedar atrapados entre el movimiento de las placas en la apertura y cierre de la prensa. El elevado consumo de corriente de cada resistencia encargada de calentar el interior de la placa representa un riesgo de incendio en caso de aplastamiento del cable que la alimenta. Lo más adecuado sería instalar protecciones termomagnéticas desde el tablero de control cuya acción de disparo rápido evitará un potencial incendio entre las placas.

### **Figura 7**

*Previas Conexiones Eléctricas y Resistencias Internas en Placas*



*Fuente. Elaboración Propia*

### **Necesidad de la Adecuación**

El control On-Off por contactores de las resistencias de calentamiento es deficiente y aumenta el consumo de energía en cada intervención en la operación. Es necesario aplicar un sistema de control integrado automático que permita establecer una temperatura referente para todas las placas y que aproveche de manera más eficiente la carga otorgada por la red de alimentación.

El estado de los componentes eléctricos y electrónicos del tablero es precario y defectuoso y requiere intervención y mantenimiento

A pesar de que la maquina cuenta con apertura y cierre automática de la prensa, esta operación debe estar integrada al sistema automático que se pretende instalar. Esto con el fin de garantizar un control y monitoreo total del equipo.

El sistema hidráulico de la maquina ya cuenta con un presostato de seguridad para condicionar la acción de cierre de la prensa. Se considera necesario reemplazar este presostato y además agregar un transmisor de presión análogo que entregue una señal eléctrica cuantificable y procesable por un sistema de supervisión y monitoreo que garantice un control sólido y preciso al sistema hidráulico de la prensa.

Es evidente un cambio total del cableado entre el tablero y las resistencias de calentamiento entre placas además de la implementación de un microswitch mecánico que detenga la apertura de la prensa y limite el recorrido de los cilindros hidráulicos para evitar daño a los empaques internos de estos actuadores.

La vigilancia e intervención del operario de la maquina es muy recurrente en el procesamiento del material, tanto desde la programación independiente de cada control de

temperatura por placa como en el apagado del tiempo de calentamiento y el inicio del ventilador cuya función es la de refrigerar las placas. La necesidad de integrar todas estas funciones en un sistema automático que controle y supervise el proceso además de registrar las variables tratadas durante el proceso es casi perentoria y definitiva

### **Soluciones Propuestas en la Automatización**

Instalación de un sensor de presión hidráulica con un rango de 0 a 2900 psi y salida de corriente de 4-20 mA (Pnomek, 2015) . Este sensor se ubica en la línea de suministro entre la bomba hidráulica y los cilindros encargados del prensado para monitorear la presión exacta de la línea hidráulica y enviar este dato hacia el PLC para ser visualizado en la HMI

Instalación de dos controles de temperatura digitales por placa con su respectivo sensor de temperatura RTD PT 1000 el cual es más preciso en la lectura de temperatura que la actual termocupla instalada en cada placa de la máquina. Los controles de temperatura van a establecer la temperatura máxima permitida de trabajo con un control PID integrado para otorgar eficiencia en el consumo de energía de la maquina

En la pantalla HMI también se debe supervisar el proceso de calentamiento y enfriamiento de cada placa por lo que al PLC también deben ir conectados los sensores de temperatura que enviaran los datos de variación de temperatura del proceso

Relés de estado sólido con salida triac de 60 Amp serán los encargados de controlar la corriente de trabajo de las resistencias. Esto garantiza llegar más rápido al valor de temperatura establecido por el operador, así como la estabilización de temperatura de placa en menor tiempo. Aunque se conservaran los contactores para desenergizar las resistencias automáticamente se cumpla el tiempo de calentamiento controlado por el PLC.

La etapa de enfriamiento también debe ser controlada y supervisada por el PLC y la HMI desenergizando las resistencias de calentamiento y encendiendo el motor trifásico de la campana refrigeradora.

Instalación de un final de carrera en la base de la prensa para restringir la apertura de las placas deteniendo los cilindros a tiempo para evitar sobrecargas en la línea hidráulica.

La apertura y cierre de las placas de la prensa también debe estar controlada por el PLC accionada desde la pantalla HMI la cual registra el evento y lo guarda en una base de datos que posteriormente se migra a una memoria USB

La base de datos indicara hora de apertura inicial de prensa e ingreso del material, hora de cierre de prensa, presión de trabajo indicada en psi, temperatura inicial de proceso, temperatura máxima de proceso, tiempo de meseta y procesamiento de material, tiempo total de calentamiento, tiempo total de enfriamiento, tiempo total de bache o proceso, hora final de bache y apertura de la prensa.

La pantalla HMI dispondrá de la información de proceso para que sea visualizada por el operador en cualquier momento. Una vez que el operador ingrese el material a la prensa el PLC inicia el cierre automático de las placas hasta alcanzar la presión deseada para que después se inicie la etapa de calentamiento automáticamente hasta la temperatura designada previamente por el operador. Estas variables deben ser configuradas previamente por el operador ingresando los datos de proceso en la pantalla HMI

Posteriormente al desarrollo y programación de los equipos encargados de la automatización se deben realizar planos de conexión de los equipos en el tablero de mando y control. Los planos serán una guía referencial para la adecuada conexión de los equipos dentro del tablero, así como los dispositivos periféricos que se encuentran en la máquina.

Para el ensamble del tablero se debe contar con las herramientas apropiadas para conectar los equipos (Barraje, Disyuntores, protecciones, SSR's, contactores y bornes de

conexión). Después se debe energizar el tablero una vez este instalado junto a la prensa hidráulica térmica para las debidas pruebas de funcionamiento

**Bloques o Etapas que comprenden la Implementación o Diseño**

- a. Diseño de Planos Eléctricos, Conexiones y Disposición de elementos
- b. Ensamble de tablero y adecuaciones eléctricos de infraestructura
- c. Adquisición de datos
- d. Etapa de control – PLC
- e. Etapa de monitoreo y registro – interfaz

### **Elaboración Planos Eléctricos Tablero para Prensa Hidráulica Térmica**

El programa utilizado para desarrollar los planos eléctricos presentados a continuación es CADE SIMU. Este programa es utilizado para crear diagramas de potencia y control eléctricos además de poder simularlos en tiempo real. Considerado uno de los mejores programas de simulación por su simplicidad y facilidad de uso (CADE SIMU, 2023).

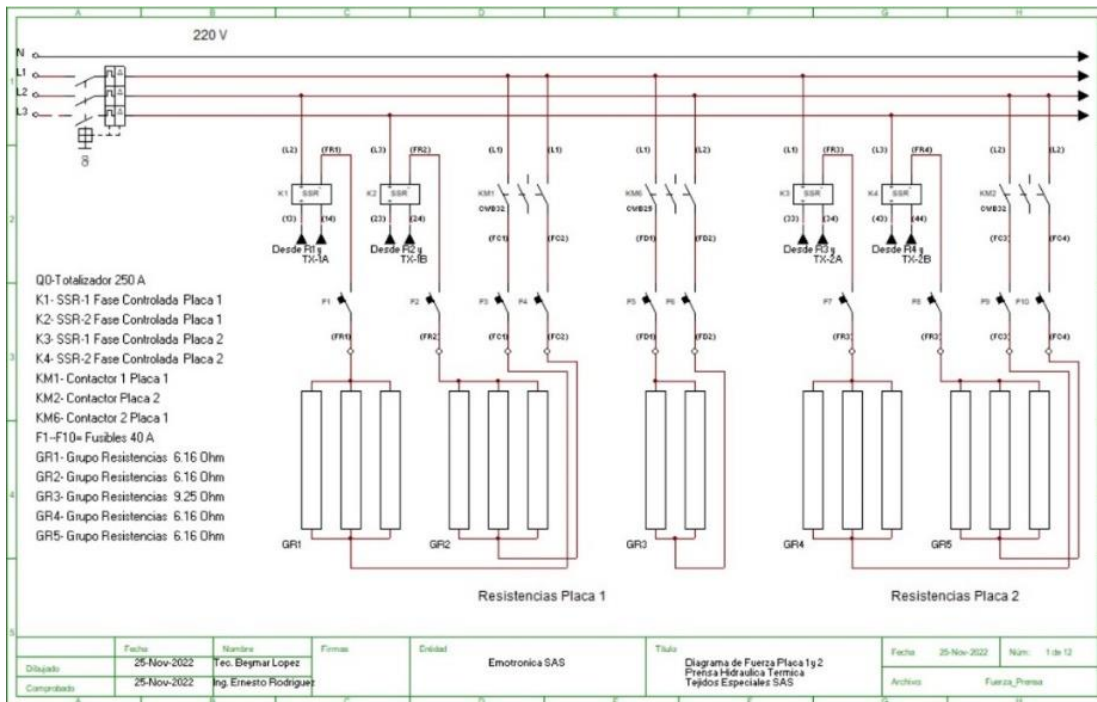
Los usuarios de este programa pueden usar todos los componentes eléctricos en una forma organizada por medio de las librerías, una vez elaborados los diagramas se pueden simular para que el programa permita ejecutar un estado de los componentes eléctricos y por ejemplo seleccionar un conductor eléctrico y revisar la corriente que fluye a través de este.

Se ha seleccionado este programa gracias a su facilidad de manejo y diseño en los diferentes diagramas necesarios para el ensamble posterior del tablero eléctrico. Las librerías con las que cuenta este programa no son las más completas, pero si las necesarias para realizar los diagramas y establecer las conexiones optimas que se deben realizar en el tablero físicamente y llevar a buen término la operación de la máquina.

Los elementos para abordar inicialmente son los que constituyen la etapa de potencia, esos componentes que se encargan de la maniobra y control de las cargas eléctricas de mayor consumo y potencia en el tablero y la máquina,

**Figura 8**

*Diagrama de Fuerza Placa 1 y Placa 2*

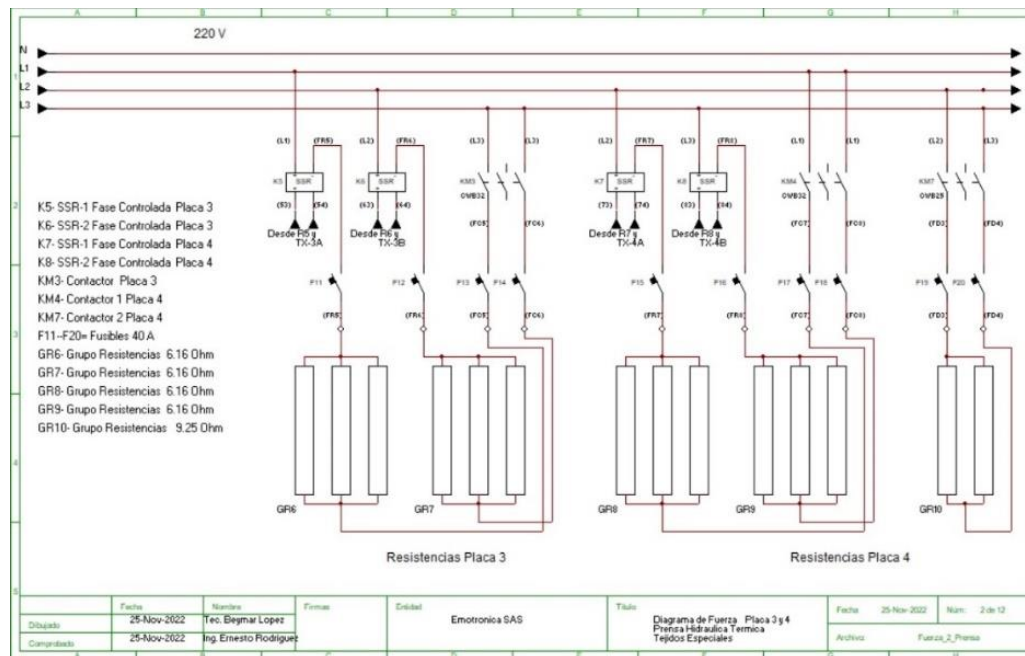


*Fuente.* Elaboración Propia

Los contactores trifásicos son los componentes encargados de energizar y desenergizar las resistencias internas en las placas de aluminio de la prensa conmutando el estado encendido y apagado de cada grupo de resistencias. Las placas 1 y 4 cuentan con tres grupos de resistencias (dos grupos de tres resistencias en paralelo cada uno y un grupo de dos resistencias en paralelo). Las placas 2 y 3 tienen dos grupos de tres resistencias cada uno. Hay un total de 28 resistencias en las placas de la máquina. Las resistencias deben ser controladas por SSR para evitar que los contactores se mantengan en constante encendido y apagado generando arcos eléctricos y sobrecarga en la operación. El control por SSR es ideal para control de cargas resistivas de alta temperatura. Además, se contempla protección termomagnética para cada fase de alimentación en cada grupo de resistencias

**Figura 9**

*Diagrama de Fuerza Placa 3 y Placa 4*



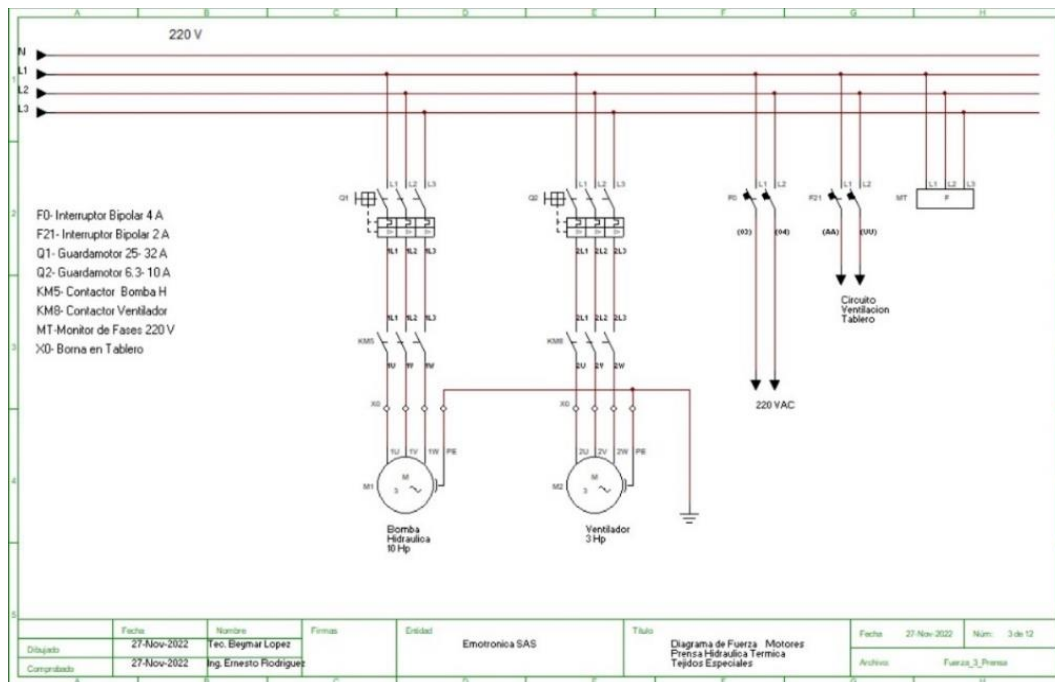
*Fuente.* Elaboración Propia

En la figura Diagrama de Fuerza Motores se muestra el diseño y distribución de las dos principales cargas inductivas presentes en la máquina. El motor de la bomba hidráulica y el motor ventilador. El motor de la bomba hidráulica es trifásico con una potencia de 7.5 kW y un consumo nominal de 27 A. para este motor se utiliza una protección termomagnética con capacidad de interrupción de corto circuito. Se utiliza un guardamotor con rango de operación de 25 - 32 Amp. El motor ventilador también es trifásico con una potencia de 2.2 kW y un consumo nominal de 8.8 Amp. Para este motor se utiliza un guardamotor con rango de operación de 6.3 – 10 Amp. Desde el barraje de distribución se tienen en cuenta las líneas de alimentación para circuitos de control, circuito de ventilación del cofre con sus respectivas protecciones y un dispositivo monitor de fases encargado de

verificar el estado de la alimentación trifásica general del tablero.

**Figura 10**

*Diagrama de Fuerza Motores*



*Fuente.* Elaboración Propia

La etapa de control se centra básicamente en el PLC. Dispositivo encargado del control y operación de todas las acciones en la maquina tanto en estado manual como en estado automático. El PLC proyectado para esta automatización es una CPU de la marca Siemens que cuenta con 14 entradas digitales, 2 entradas analógicas y 10 salidas digitales.

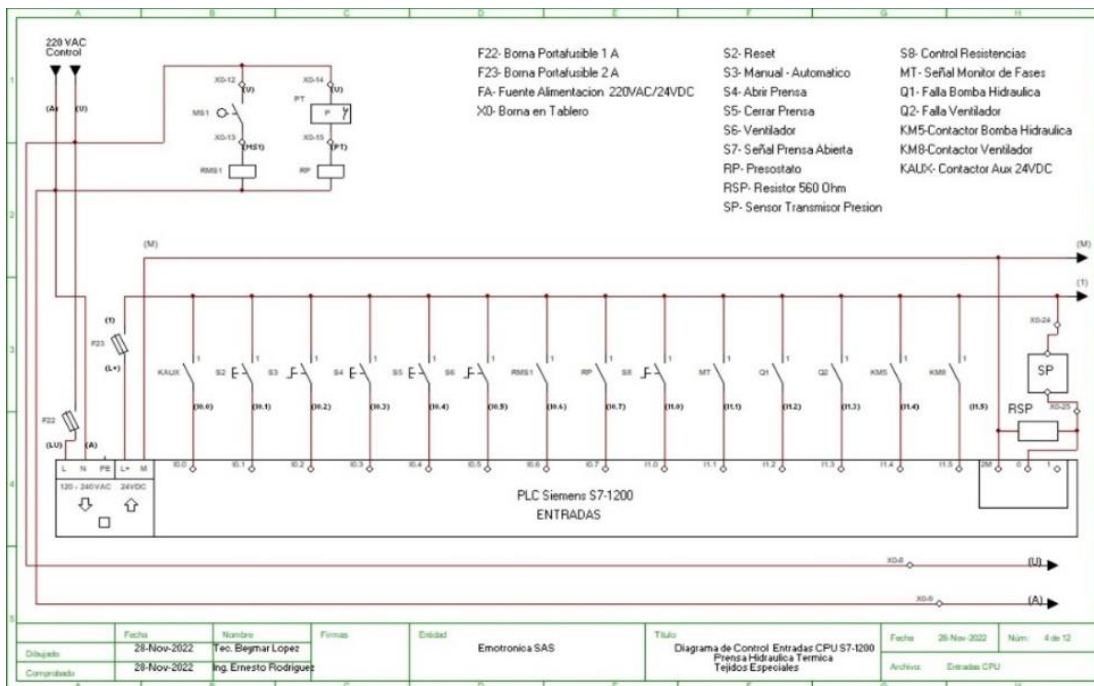
Inicialmente se deben tener en cuenta las protecciones contra cortocircuito del dispositivo de control general. Para este propósito se proyectan fusibles de acción rápida tanto en la entrada de alimentación del PLC como en la salida de voltaje generado por este dispositivo. En esta parte del diseño se tiene en cuenta los mandos manuales presentes en la

puerta del cofre y que eventualmente van a permitirle al operario de la maquina activar la maquina en modo manual. Mandos tales como: Paro de emergencia con retención, apertura y cierre de la prensa manual, encendido y apagado del calentamiento de las placas en manual y encendido y apagado del ventilador encargado del enfriamiento de la maquina en modo manual.

Señales de monitoreo y control como presostato, monitor de Fases, microswitch prensa abierta y falla en motor bomba hidráulica y falla motor ventilador son concebidas en el diseño como entradas digitales al PLC además de utilizar una entrada analógica para la señal de un transmisor de presión hidráulica. La CPU Siemens S7-1200 genera un voltaje interno de 24 VDC el cual sirve para habilitar sus entradas tanto análogas como digitales por lo que el microswitch que limita la apertura de la prensa y el presostato accionado por presión hidráulica van a accionar relés electromagnéticos respectivamente y estos a su vez cambian el estado de las entradas digitales a donde se van a asignar.

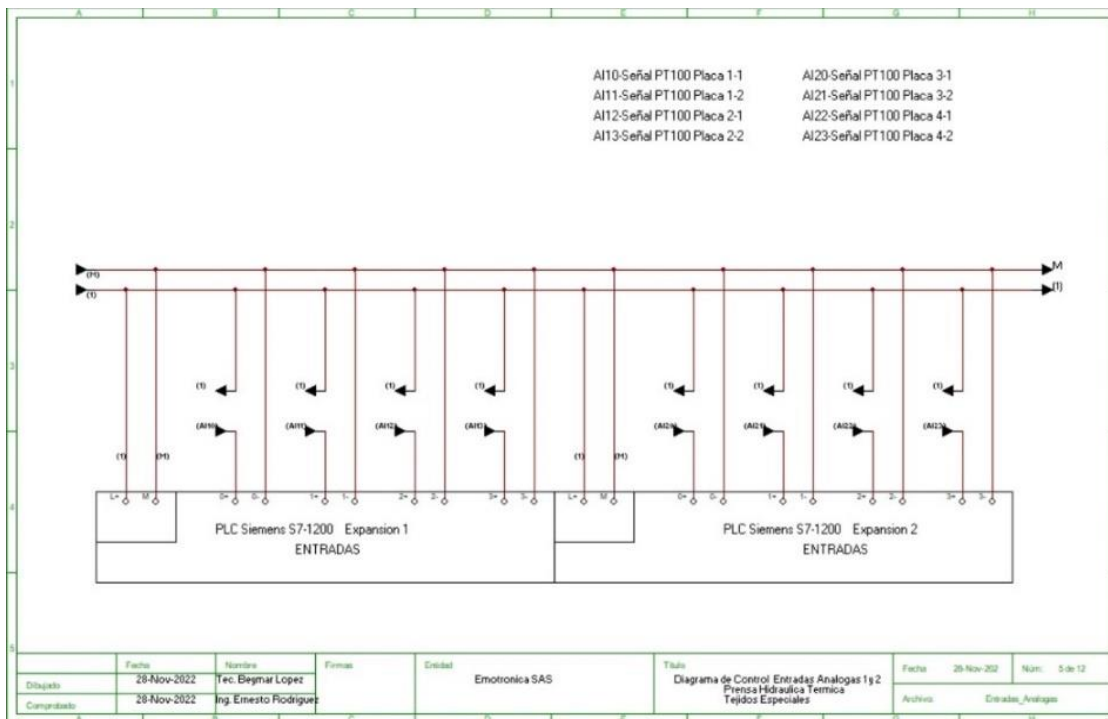
**Figura 11**

*Diagrama de Control Entradas CPU Siemens S7-1200*



*Fuente.* Elaboración Propia

Además de la CPU mencionada anteriormente se deben incluir en el diseño y posterior automatización dos expansiones de cuatro entradas analógicas cada uno, para un total de 8 entradas analógicas que corresponde a las 8 señales generadas por los sensores de temperatura que se van a instalar entre las placas de aluminio. Estas señales se alimentan con los 24 VDC que genera el PLC y son las encargadas de adquirir el dato de temperatura de cada placa y de esta forma controlar y monitorear el proceso en modo automático por el sistema. A pesar de tener 4 placas en la maquina se decide instalar dos sensores por cada una debido a la dimensión de cada placa (2.40 m x 1.60m). Contar con dos puntos de sensado en la superficie le permite un monitoreo más acertado al sistema.

**Figura 12***Diagrama de Control Entradas Análogas en PLC*

*Fuente.* Elaboración Propia

En la figura diagrama de control salidas CPU se observa la disposición de las 10 salidas disponibles en el módulo. Idealmente se contemplan relés de interfaz en cada salida del PLC para no exponer la carga externa a la salida directa del módulo y evitar daños posteriores.

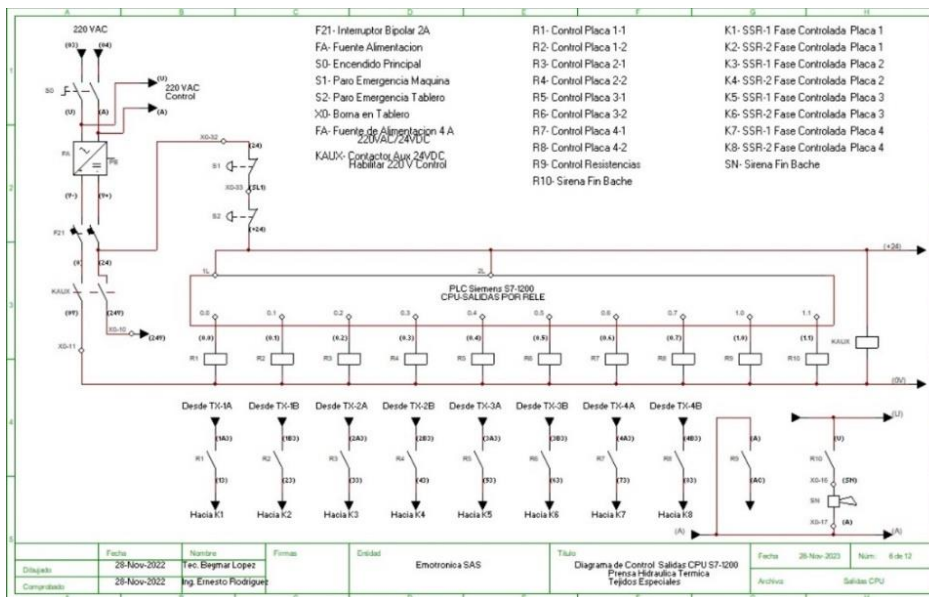
Los contactos de cada relé de interfaz van a encender y apagar la señal de activación de los SSR's de la etapa de potencia por acción del PLC en estados específicos del proceso.

El selector de encendido principal del sistema y del tablero está contemplado en esta parte del control el cual alimenta con voltaje 220 VAC una fuente de alimentación que genera 24 VDC la cual entrega una carga máxima de 4,2 Amp a 100 W. Una salida del PLC

está destinada a una sirena luminosa que se encenderá al finalizar cada bache en producción.

**Figura 13**

*Diagrama de Control Salidas CPU Siemens S7-1200*

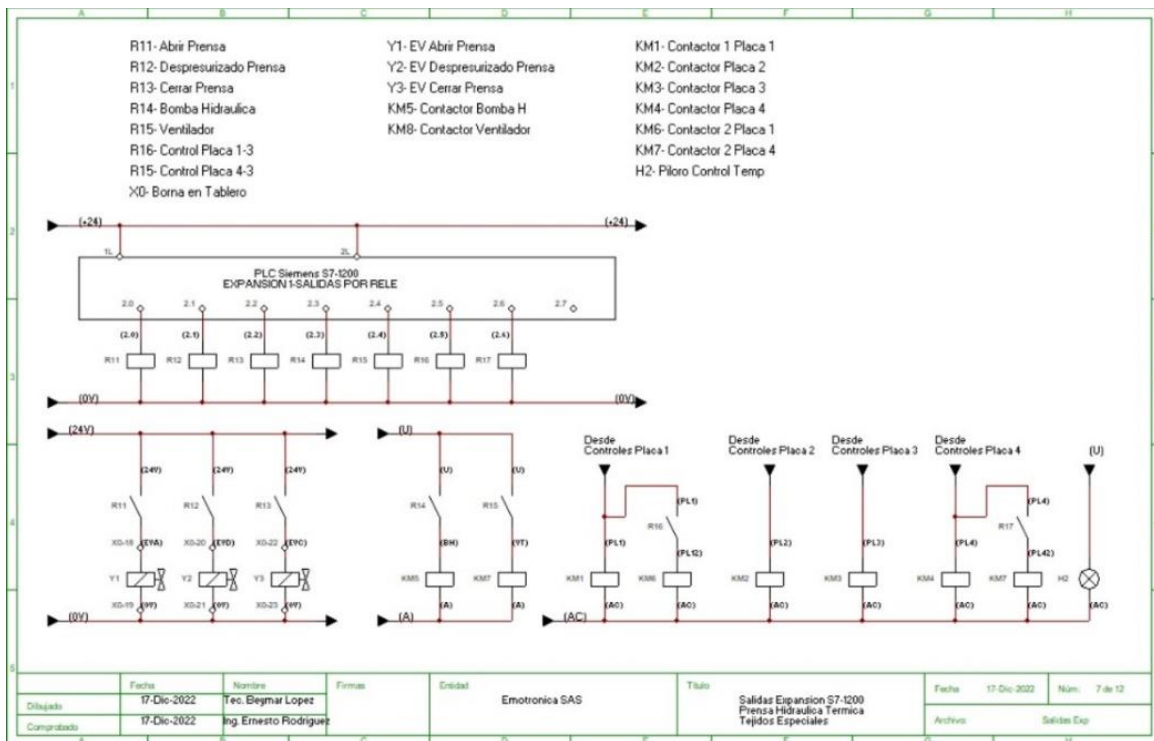


*Fuente. Elaboración Propia*

Es necesario agregar una expansión más al bloque total que constituye el PLC. Esta última expansión contempla 8 salidas digitales adicionales necesarias para el control total del proceso en la maquina por parte del controlador programable. Estas salidas también cuentan con relés de interfaz alimentados a 24 VDC y que van a activar las electroválvulas de apertura y cierre de la prensa, los contactores de los motores trifásicos y los contactores de corte de cada grupo de resistencias

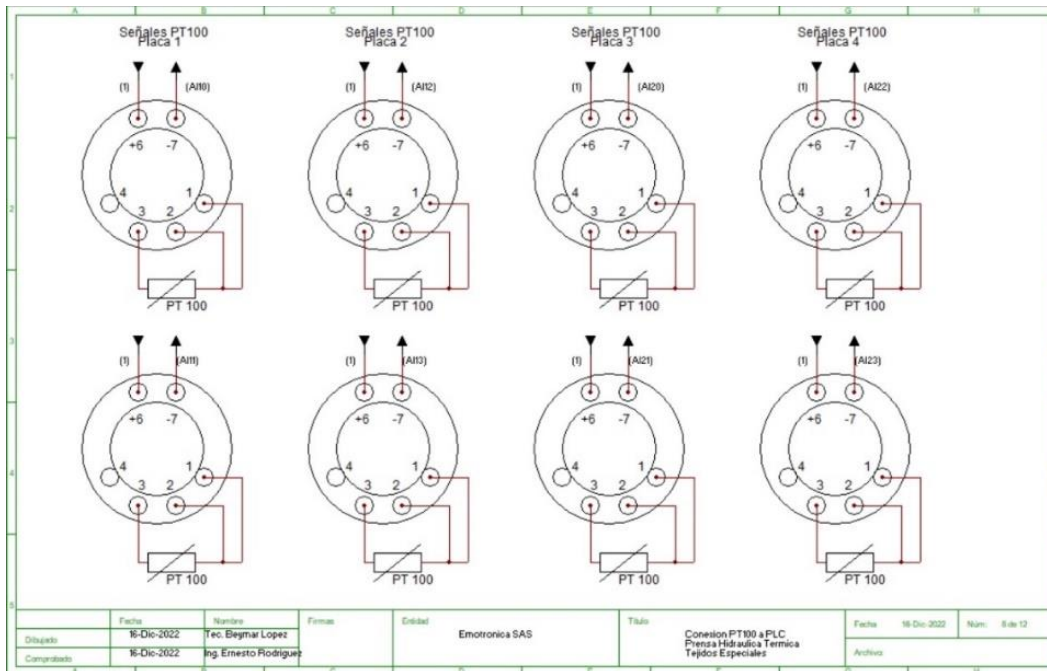
**Figura 14**

*Diagrama de Control Salidas Expansión CPU Siemens S7-1200*



*Fuente.* Elaboración Propia

Los sensores de temperatura empleados para la adquisición de datos y variación de temperatura en las placas son sensores PT100. En el diseño se pretende configurar la disposición y marquillado de cada sensor hasta cada moneda transmisora de temperatura programable. La función del transmisor programable es recibir la señal tres hilos del sensor y convertirla en una señal 4-20 mA dos hilos fáciles de leer por el PLC. Cada conexión es especificada en el diagrama.

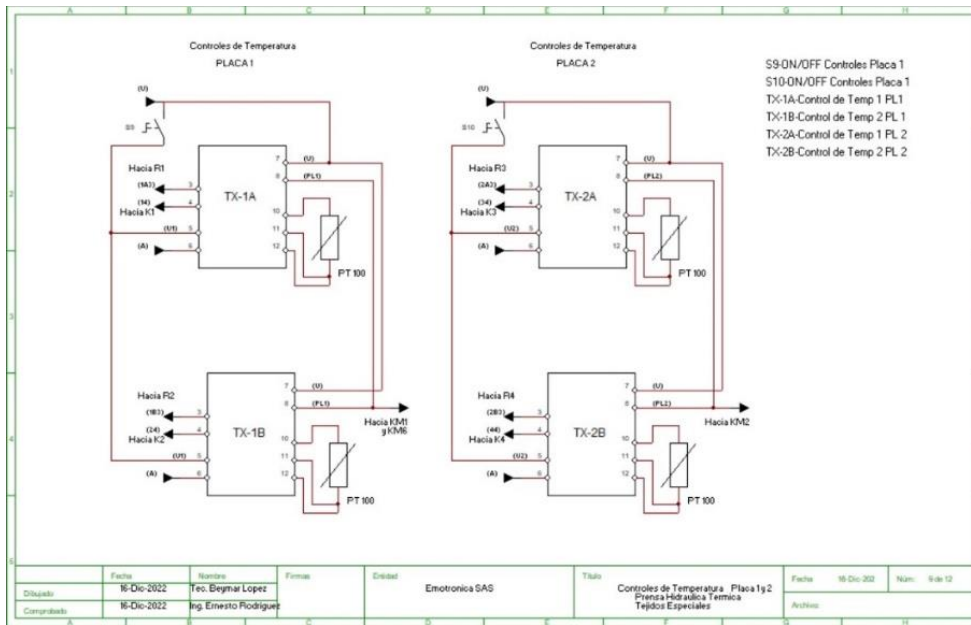
**Figura 15***Diagrama Conexiones PT100 a PLC*

*Fuente.* Elaboración Propia

En la puerta del cofre se proyecta instalar controles de temperatura que su vez permitirán visualizar el valor de temperatura real en cada placa de la máquina. En las figuras de conexiones de los controladores de temperatura se especifican el marquillado y los puntos de conexión a utilizar en cada pirómetro. Se comprenden dos controladores de temperatura por placa y cada uno con su respectivo sensor PT100 el cual se conecta directamente al módulo entregando un valor de temperatura en tiempo real para que sea visualizado por el operario en el mismo momento de encendido del sistema. Estos controles de temperatura también están conectados a los SSR's de la etapa de potencia mencionados previamente.

**Figura 16**

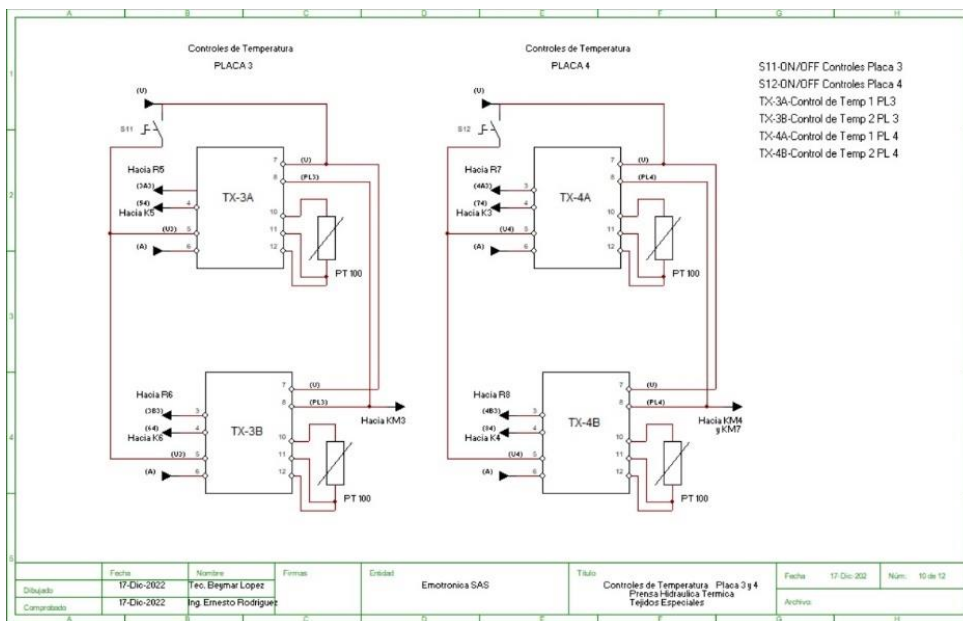
*Diagrama Conexiones Controladores de Temperatura Placa 1 y 2*



Fuente. Elaboración Propia

**Figura 17**

*Diagrama Conexiones Controladores de Temperatura Placa 3 y 4*



Fuente. Elaboración Propia

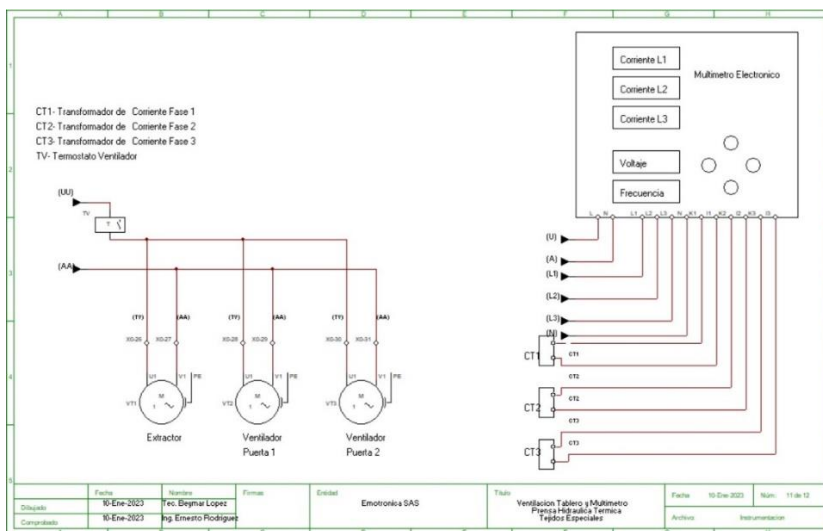
Es necesario incluir en los diagramas el circuito de ventilación interna del cofre, así como las conexiones al multímetro electrónico instalado en la puerta del cofre respectivamente.

Dentro del tablero se debe instalar un termostato con función ventilador para que active los ventiladores ubicados en las puertas y paredes superiores del cofre. Todo esto con el propósito de garantizar una circulación de aire desde el exterior al interior del cofre y evitar recalentamiento y daños potenciales en los elementos del tablero.

Las conexiones necesarias para el multímetro son referidas en el diseño igualmente. Desde las fases del barraje de distribución general hasta los transformadores de corriente que detectan el flujo de electrones en cada línea de alimentación que compone la acometida de entrada al tablero. El multímetro electrónico como elemento de supervisión es perentorio para visualizar el consumo de corriente en tiempo real de la máquina.

## Figura 18

### Diagrama Conexiones Ventilación en Tablero y Multímetro

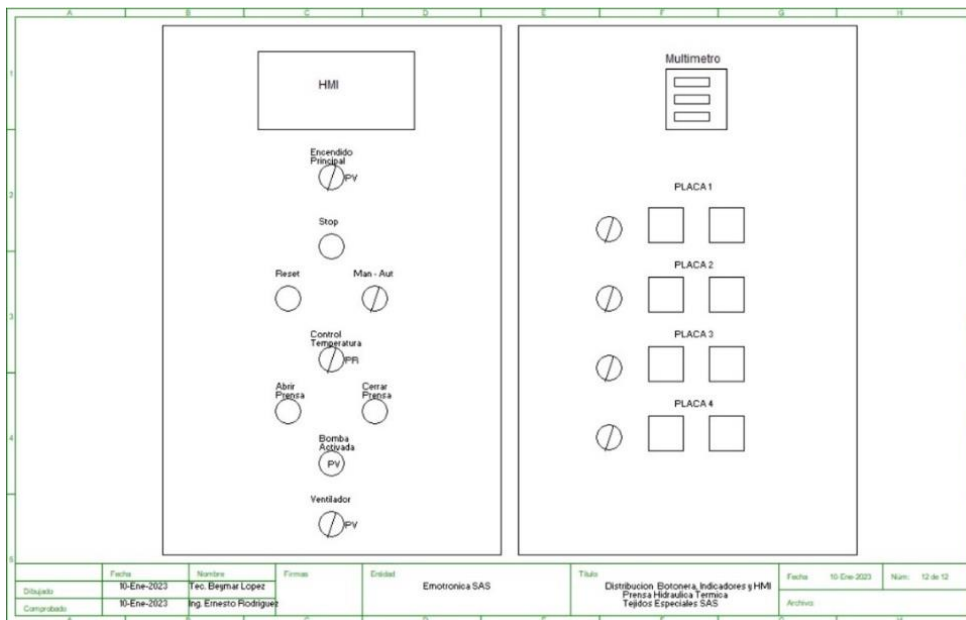


Fuente. Elaboración Propia

En la figura de distribución de controles, indicadores y HMI en cofre se muestra la organización y reparto de los selectores, pulsadores, controles de temperatura, multímetro y HMI como una guía y estructura de la disposición de todos estos elementos en las puertas del cofre.

**Figura 19**

*Diagrama de Distribución Controles, Indicadores y HMI en Cofre*



*Fuente. Elaboración Propia*

Es importante listar los elementos más preponderantes en el ensamble del tablero y que se deben tener en cuenta tanto por su funcionalidad como por sus características en la Tabla 1 se relacionan los componentes, cantidades y características puntuales para el ensamble

**Tabla 1***Elementos para Ensamble del Tablero*

<i>N°</i>	<i>Ítem</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Descripción</i>
1	<b>Relé de estado sólido</b>	8	Dispositivos electrónicos con salida tipo Triac, señal de control <i>análoga</i> 4-20 mA y voltaje de carga desde 24 a 240 VAC. Cada SSR (Solid State Relay) va a controlar una fase de cada grupo de resistencias en paralelo encargadas de calentar las placas de aluminio en la máquina.
2	<b>Interruptor Tripolar Totalizador 250 Amp</b>	1	Protección general del tablero ubicada antes del barraje de distribución
3	<b>Barraje de distribución Trifásico 250 A</b>	1	Disposición de tres barras de cobre perforadas encargadas de distribuir los conductores eléctricos de baja y alta carga hacia todos los diferentes dispositivos del tablero
4	<b>Interruptor Bipolar 2 A</b>	2	Interruptores termomagnéticos de dos polos encargados de proteger contra sobrecarga y cortocircuito los circuitos de ventilación interna del cofre y la salida de voltaje DC de la fuente de alimentación

5	<b>Fuente de Alimentación Switchheada 24 VDC</b>	1	Dispositivo electrónico que convierte la corriente alterna en corriente continua y que es necesaria para el sistema puesto que la mayoría de instrumentación presente en la maquina se alimenta a 24 VDC. Además, los relés de interfaz de salida del PLC también se alimentan con este voltaje. Esta fuente otorga una salida de 4.2 Amp a 100 W.
6	<b>Guardamotor 25-32 A</b>	1	Protección termomagnética para el motor trifásico de la bomba hidráulica.
7	<b>Guardamotor 6.3- 10 A</b>	1	Protección termomagnética para el motor trifásico del ventilador.
8	<b>Contactador 38 Amp</b>	1	Dispositivo de accionamiento para el motor trifásico de la bomba hidráulica.
9	<b>Contactador 32 Amp</b>	4	Dispositivo de accionamiento para encender y apagar instantáneamente las líneas de alimentación de las resistencias de calentamiento.
10	<b>Contactador 9 Amp</b>	1	Dispositivo de accionamiento para el motor trifásico de la bomba hidráulica.
11	<b>Mini contactador 9 Amp</b>	1	Dispositivo de accionamiento para

---

			habilitar las líneas de control 24 VDC.
12	<b>Monitor de Tensión 220 VAC</b>	1	Dispositivo electrónico encargado de supervisar las líneas de alimentación trifásica y en caso de ausencia de alguna entregar una salida digital.
13	<b>Interruptores monopolares 40 Amp</b>	20	Protecciones termomagnéticas encargadas de cortar cada línea de alimentación de cada grupo de resistencias en paralelo en caso de una sobrecarga o cortocircuito.
14	<b>PLC Siemens S7-1200 con dos expansiones para entradas análogas y una expansión para salidas digitales</b>	1	Controlador electrónico programable encargado de todo el monitoreo y control del sistema tanto automático como manual de la maquina
15	<b>Relé Slim 5 Pines</b>	18	Llamado también relé de interfaz se ubica a cada salida digital del PLC para activar diversas cargas tanto en el tablero como en la máquina.
16	<b>Mini relé 8 pines</b>	2	Relé electromagnético con bobina a 220 VAC, se emplea uno para ser activado por un microswitch ubicado en la máquina para cortar la acción de apertura de la prensa y se emplea otro para activar una entrada digital en el PLC en función del estado del Presostato

---

			que interviene la línea de presión hidráulica de la prensa.
17	<b>Controlador de Temperatura Autonics TZN4S</b>	8	Dispositivo electrónico que se encarga de controlar una carga eléctrica en función de la señal de un sensor de temperatura de entrada.(Autonics Corporation, 2020)
18	<b>HMI Siemens SIMATIC MTP 700 Unified Comfort Panel</b>	1	Dispositivo electrónico de visualización e interacción entre la maquina y el operario. Utilizado en esta automatización para programar, controlar y monitorear el sistema.
19	<b>Termostato para tablero</b>	1	Dispositivo electrónico sensible a la temperatura que activa un contacto seco para controlar cargas eléctricas, una carga inductiva como un juego de ventiladores.
20	<b>Indicador Combinado Digital</b>	1	Multímetro electrónico capaz de indicar voltaje, corriente, frecuencia, ausencia o inversión de fase
21	<b>Selectores dos posiciones 22 mm</b>	8	Accionamientos manuales para activar o desactivar señales en el sistema por parte del operador.
22	<b>Pulsadores 22 mm</b>	4	Accionamientos manuales para activar o desactivar señales en el

---

23	<b>Paro de emergencia con retención 22 mm</b>	1	sistema por parte del operador.  Accionamiento manual empleado para bloquear eléctricamente la maquina en caso de emergencia y corte de operaciones.
24	<b>Transmisor de temperatura programable</b>	8	Dispositivo electrónico programables capaz adaptar una señal analógica tres hilos a una señal analógica dos hilos.

---

*Fuente.* Elaboración Propia

### **Ensamble Encerramiento Tablero Prensa Hidráulica Térmica**

La adquisición del cofre o encerramiento se hace en función de la cantidad de elementos que se van a ensamblar en el tablero. Una vez se listan los dispositivos y componentes necesarios para realizar la automatización se estiman las dimensiones y características del encerramiento.

#### **Características Cofre**

Uso Interior e Intemperie IP54

Celda metálica para montaje eléctrico recubierto con pintura electrostática Ral 7032

Celda doble puerta 120 cms x 100 cms x 30 cms doble fondo

#### **Figura 20**

*Adquisición del Encerramiento*



*Fuente. Elaboración Propia*

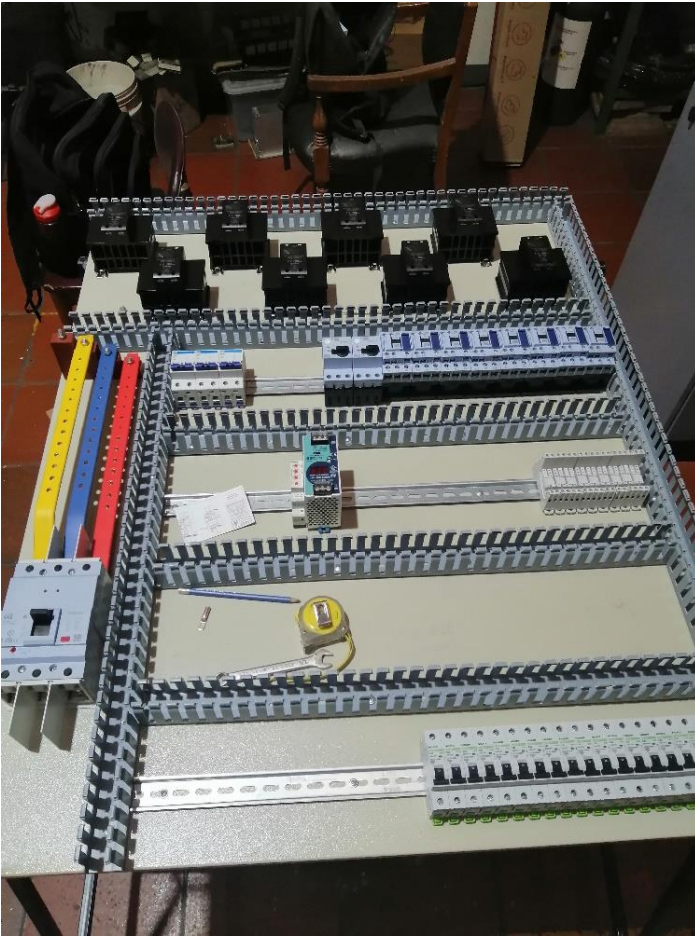
Se colocan los primeros elementos en el doble fondo que trae el cofre o encerramiento. El barraje de distribución y totalizador se disponen de manera vertical en la parte lateral izquierda para garantizar una distribución adecuada de los conductores eléctricos.

Los relés de estado sólido se disponen en la parte superior del tablero puesto que serán los elementos que más se van a calentar en la operación y manejo de las cargas resistivas en la etapa de calentamiento de la máquina, se contempla enfocar en esa zona del cofre un ventilador y un extractor de aire para garantizar una adecuada circulación de aire y así evitar el deterioro por recalentamiento de estos componentes electrónicos de potencia.

Debajo de los SSR's van ubicados los contactores de corte y maniobra de motores de la máquina, debajo de estos se dispone los elementos de control como la fuente de alimentación 24 VDC, PLC y relés de interfaz. Y finalmente en la parte inferior del tablero se ubican las protecciones termomagnéticas que protegen cada conductor eléctrico que se conecta a las resistencias de calentamiento de las placas.

**Figura 21**

*Ensamble de Canaleta y Componentes de Potencia en Doble Fondo*



*Fuente.* Elaboración Propia

Visto de frente el cofre en la puerta izquierda se hacen las perforaciones para distribuir el encendido principal, paro de emergencia, mandos en operación manual y HMI. Por solicitud del cliente se dejan disponibles los pulsadores para operar en modo manual la prensa, donde se pueda abrir y cerrar la prensa, activar y desactivar el calentamiento además de controlar el encendido del ventilador. Todos estos habilitados exclusivamente en modo manual

**Figura 22***Instalación Botonera*

*Fuente.* Elaboración Propia

En la puerta derecha del cofre se organizan los controladores de temperatura, que van dos por cada placa y cuentan con selector de encendido. Se colocan en la puerta por solicitud del cliente para poder visualizar la temperatura actual de cada zona en las placas aparte de la visualización de temperaturas en la HMI. Se instala también un indicador electrónico que mide el consumo de corriente de cada fase de entrada, voltaje entre líneas y voltajes con respecto a neutro y valor de frecuencia. Datos y medidas importantes para el

operario y personal de mantenimiento puesto que se monitorea en tiempo real el comportamiento de la red eléctrica.

### **Figura 23**

#### *Instalación Controles de Temperatura y Multímetro*



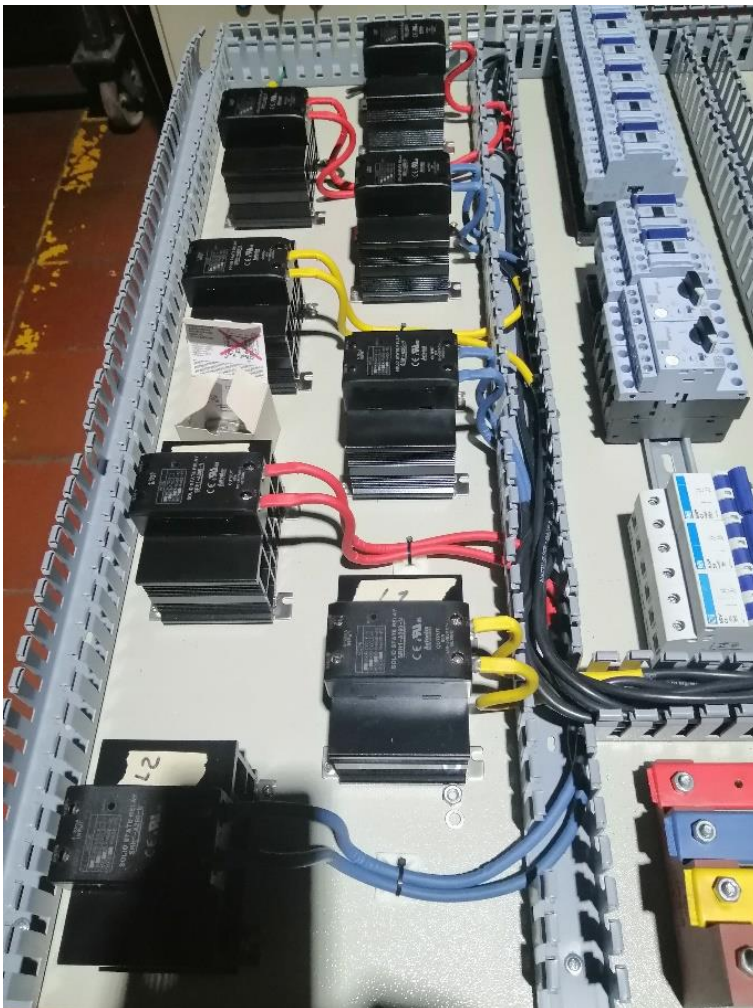
*Fuente.* Elaboración Propia

Los relés de estado sólido o SSR´s cuyas características principales son el control de fase por modulación de onda sinusoidal cuentan con una etapa de control por corriente de 4 a 20 mA que se debe cablear utilizando un conductor eléctrico de medida 20 AWG desde el PLC y pasando por los controladores de temperatura instalados en la puerta del cofre y una etapa de potencia la cual se debe cablear con un conductor eléctrico tipo soldador calibre 8

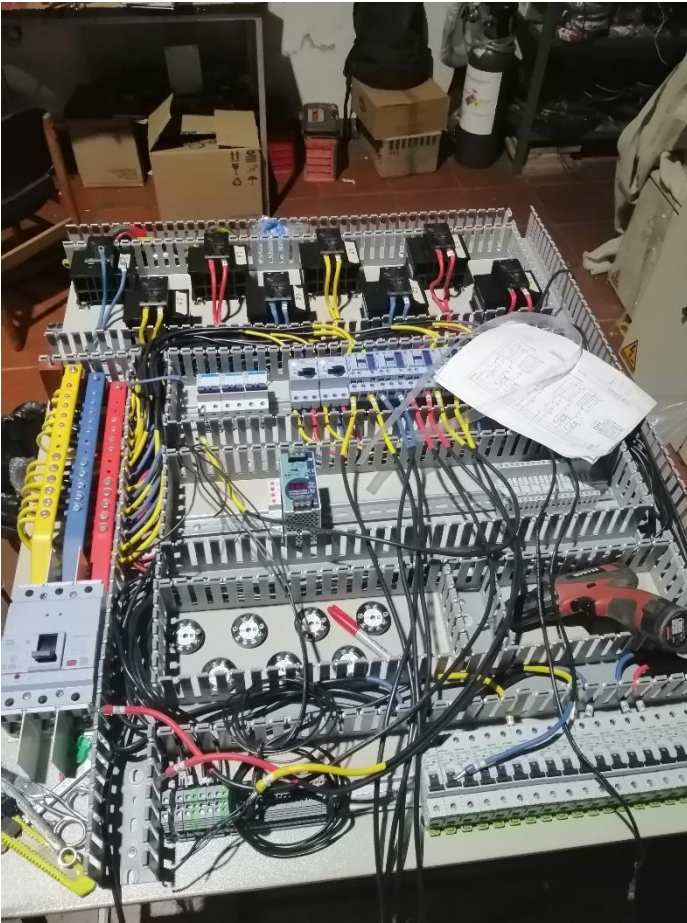
AWG para evitar sobrecalentamiento en el tablero y especialmente en los SSR's. el cableado de la etapa de potencia se realiza con cable en color negro, pero para diferenciar y distinguir la fase conectada desde el barraje se emplea funda termo encogible teniendo en cuenta el código de colores para voltaje trifásico 220 VAC (Amarillo Fase A, Azul Fase B y Rojo Fase C)

### Figura 24

*Cableado SSR's*



*Fuente. Elaboración Propia*

**Figura 25***Cableado Contactores*

*Fuente.* Elaboración Propia

El mismo calibre de conductor eléctrico empleado en los SSR's también se utiliza para el cableado de los contactores de corte para cada grupo de resistencias, se aplica el uso de funda termo encogible de igual manera para distinguir la fase empleada en cada grupo. Los contactores de los motores trifásicos se cablean usando cable multifilar calibre 12 AWG negro además de marquilla termo encogible para distinguir cada punto de conexión siempre teniendo como guía los diagramas eléctricos y el marquillado sugerido en estos.

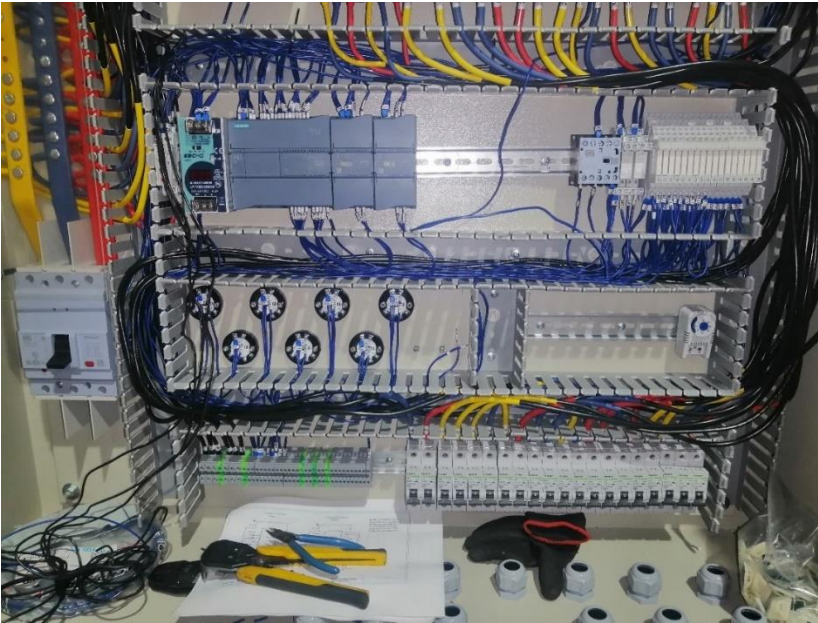
Es necesario utilizar cable multifilar calibre 20 AWG azul, cuyo color distingue el uso de voltaje DC. La botonera dispuesta en la puerta izquierda se cablea desde el PLC hasta cada punto de conexión tanto en los selectores como en los pulsadores. La pantalla HMI también requiere cable para alimentación 24 VDC y también requiere un cable RJ 45 para la conexión Ethernet entre el PLC y HMI. Se tiene en cuenta el cableado del ventilador que se ubica en parte inferior de la puerta. El propósito de este ventilador es mantener refrigerado el bloque donde se ubica el PLC, la fuente de alimentación y relés de interfaz.

### **Figura 26**

*Cableado Botonera*



*Fuente. Elaboración Propia*

**Figura 27***Cableado PLC*

*Fuente.* Elaboración Propia

Para el cableado del PLC también se utiliza cable multifilar calibre 20 AWG azul puesto que todas las señales funcionan a 24 VDC, tanto de la fuente interna del controlador lógico programable como de la fuente de alimentación externa que energiza los relés de interfaz y la instrumentación involucrada en la máquina. Microswitch, transmisor de presión y transmisores de temperatura programable. Es fundamental tener en cuenta los diagramas eléctricos diseñados previamente debido a que la cantidad de conexiones es amplia y abundante lo que hace que el marquillado de los cables sea completamente necesario. El uso de pines y terminales de conexión también es primordial para garantizar una conexión ideal en todos los bornes tanto del PLC como todos los demás elementos periféricos involucrados en el control de la máquina.

Una vez que se conectan todos los cables de control y potencia en los elementos montados en el doble fondo, se dispone a instalar el fondo dentro del cofre para interconectar los elementos que se ubicaron en las puertas del cofre con el PLC y los demás elementos de control. El uso de bases adhesivas y amarres plásticos es crucial para otorgar estética y orden al cableado general del cofre. En la base del cofre se realizan perforaciones igualmente para que se puedan ingresar los cables de interconexión desde la máquina, así como los conductores eléctricos de acometida general que va a ingresar al interruptor tripolar totalizador.

### **Figura 28**

#### *Ensamble Final Tablero*



*Fuente. Elaboración Propia*

## Desarrollo Etapa Lógica

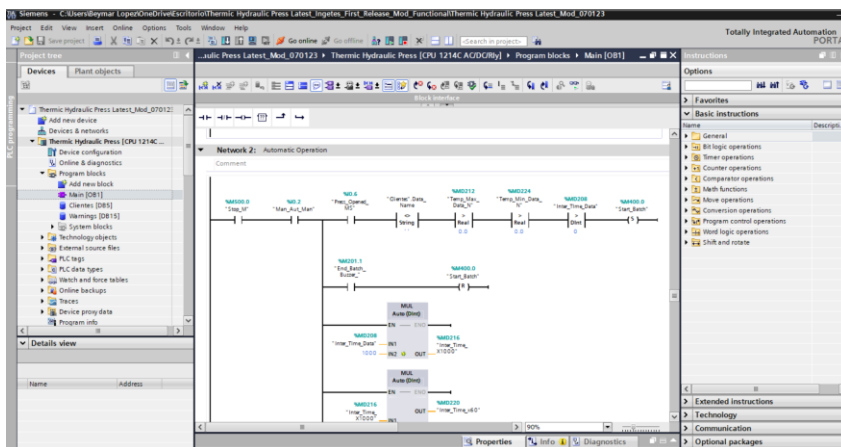
### Lenguaje de Programación

El desarrollo de la automatización de la Prensa Hidraulica está realizado en el entorno TIA Portal (Siemens, 2023b) cuyas herramientas de simulación cuentan con una amplia gama de recursos. Debido a que la aplicación está proyectada con el uso de una pantalla táctil se decidió utilizar este software el cual permite integrar de manera eficiente los dispositivos involucrados en el control de procesos en la máquina. Específicamente se seleccionó TIA Portal V17 por sus características y funcionalidades(Siemens, 2021b).

En términos de lenguajes de programación para la CPU S7-1200(Siemens, 2023a) TIA portal ofrece KOP, SCL, FUP, y CEM para realizar los desarrollos y la lógica a emplear en la automatización. El lenguaje que he seleccionado para programar el PLC ha sido Diagrama en Escalera cuyo entorno está basado en lógica cableada y se presenta de manera más expedita y amigable al programador

### Figura 29

#### Entorno TIA Portal para Programación PLC



Fuente. Elaboración Propia

**Tabla 2***Disposición Señales de Entrada al PLC*

Variable de Entradas	Dirección en PLC
Paro de Emergencia	I0.0
Reset Sistema	I0.1
Manual-Automático	I0.2
Abrir Prensa Manual	I0.3
Cerrar Prensa Manual	I0.4
Encendido Ventilador Manual	I0.5
Final de Carrera Prensa Abierta	I0.6
Presostato Hidráulico	I0.7
Encendido Resistencias Manual	I1.0
Relé Monitor de Fases	I1.1
Falla Guardamotor Bomba Hidraulica	I1.2
Falla Guardamotor Ventilador	I1.3
Contactador Activado Bomba Hidraulica	I1.4
Contactador Activado Ventilador	I1.5
Sensor Transmisor Presión Hidraulica	AI0.0
PT100_1_Placa 1	AI1.0
PT100_2_Placa 1	AI1.1
T100_1_Placa 2	AI1.2
PT100_2_Placa 2	AI1.3
PT100_1_Placa 3	AI2.0
PT100_2_Placa 3	AI2.1
PT100_1_Placa 4	AI2.2
PT100_2_Placa 4	AI2.2

*Fuente.* Elaboración Propia

Considerar las señales y variables que intervienen en la maquina es una de las operaciones más importantes en el proceso de programación de controlador lógico. A partir de estos datos y variables que ingresan al PLC se estructuran las diversas instrucciones y funciones en el programa para lograr desarrollar una automatización completa y optimizada. Se consideran tanto señales de entrada análogas como digitales

**Tabla 3**

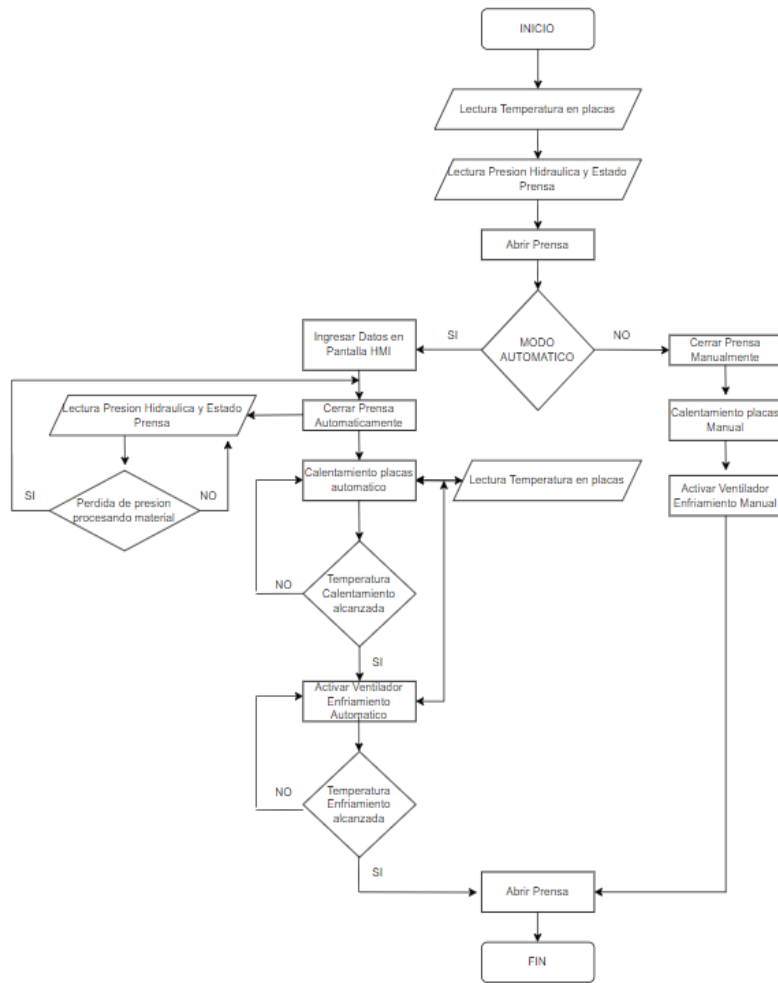
*Señales de Salida desde PLC*

Asignación Señal de Salida	Dirección en el PLC
Control Temperatura Placa 1_1	Q0.0
Control Temperatura Placa 1_2	Q0.1
Control Temperatura Placa 2_1	Q0.2
Control Temperatura Placa 2_2	Q0.3
Control Temperatura Placa 3_1	Q0.4
Control Temperatura Placa 3_2	Q0.5
Control Temperatura Placa 4_1	Q0.6
Control Temperatura Placa 4_2	Q0.7
Control General Resistencias	Q1.0
Activación Sirena Fin Bache	Q1.1
Electroválvula Abrir Prensa	Q2.0
Electroválvula Despresurizado Prensa	Q2.1
Electroválvula Cerrar Prensa	Q2.2
Encendido Bomba Hidraulica	Q2.3
Encendido Ventilador	Q2.4
Control Temperatura Placa 1_3	Q2.5
Control Temperatura Placa 4_3	Q2.6

*Fuente. Elaboración Propia*

En el listado de salidas se tienen en cuenta los actuadores y dispositivos de maniobra listados anteriormente y que accionan e interviene en el proceso. Una vez que se escribe el código y se estructuran los pasos del programa en el PLC se relacionan todas estas operaciones con cada salida del controlador. A cada salida se le asigna y conecta un relé de interfaz a 24 VDC que se encargara de activar electroválvulas, contactores y SSR's que están involucrados en la operación de la máquina.

Es importante desarrollar un diagrama de flujo que permita establecer los pasos a seguir por el controlador en función de las variables que interactúan en la máquina. La función automática es prioridad en el programa a desarrollar en el PLC, aun así, se permite habilitar una función manual en caso de que el operario quiera interrumpir el proceso en el momento que lo considere necesario

**Figura 30***Diagrama de Flujo Programa PLC**Fuente.* Elaboración Propia

Inicialmente se deben declarar las variables a trabajar con el PLC. Se asigna el Nombre, tipo de dato, dirección en la memoria del controlador, acceso, escritura y visibilidad en el proyecto. Las variables booleanas adoptan dos estados lógicos y son las más sencillas de operar. Las variables tipo int son aquellas almacenan un numero ya sea negativo o positivo necesarias para la operación de señales analógicas junto con las

variables tipo real que permiten almacenar números reales. También se declaran variables tipo Dword que se caracterizan por almacenar y operar datos con longitud de 32 bits y variables tipo Wchar que también son necesarias debido al uso de palabras y caracteres ingresados en la pantalla.

**Figura 31**

*Declaración Variables en PLC*

Name	Data type	Address	Retain	Acces...	Writa...	Visibl...	Comment
1 Stop_Man	Bool	%I0.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
2 Reset_Man	Bool	%I0.1		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
3 Man_Aut_Man	Bool	%I0.2		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
4 Open_Press_Man	Bool	%I0.3		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
5 Close_Press_Man	Bool	%I0.4		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
6 Fan_Man	Bool	%I0.5		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
7 Press_Opened_MS	Bool	%I0.6		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
8 Pressure_Switch	Bool	%I0.7		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
9 Heating_Control_Man	Bool	%I1.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
10 Phase_Monitor	Bool	%I1.1		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
11 Fail_Hydraulic_Pump	Bool	%I1.2		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
12 Fail_Fan	Bool	%I1.3		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
13 Hydraulic_Pump_Conf	Bool	%I1.4		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
14 Fan_Conf	Bool	%I1.5		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
15 Pressure_Transmitter	Int	%IW64		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
16 PT100_1_PL1	Int	%IW96		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
17 PT100_2_PL1	Int	%IW98		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
18 PT100_3_PL2	Int	%IW100		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
19 PT100_4_PL2	Int	%IW102		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
20 PT100_5_PL3	Int	%IW112		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
21 PT100_6_PL3	Int	%IW114		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
22 PT100_7_PL4	Int	%IW116		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
23 PT100_8_PL4	Int	%IW118		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
24 Open_Press_EV	Bool	%Q2.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
25 Pressure_Off_EV	Bool	%Q2.1		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
26 Close_Press_EV	Bool	%Q2.2		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
27 Hydraulic_Pump	Bool	%Q2.3		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
28 Fan	Bool	%Q2.4		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
29 Heating_PL1_3	Bool	%Q2.5		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	

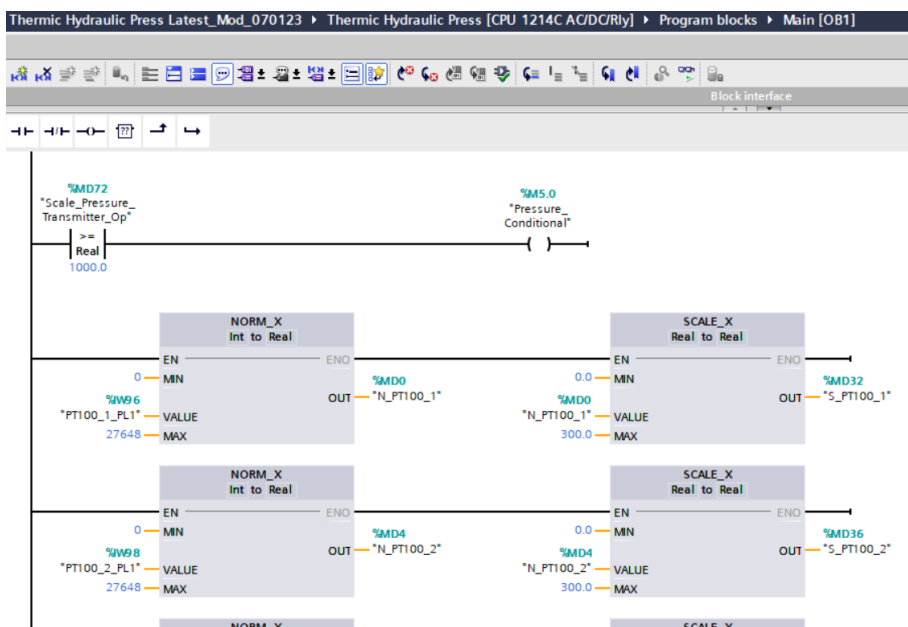
*Fuente.* Elaboración Propia

Una vez que se organizan las variables y sus características se estructura el programa paso a paso. Según (Siemens, 2021a) TIA portal permite utilizar operaciones de conversión como NORM\_X y SCALE\_X con las cuales se puede modificar y procesar valores análogos permitiendo escalarlos para posteriormente implementar instrucciones

de comparación en el programa y lograr relacionar diferentes tipos de variables. Dentro del software de programación del PLC se cuenta con una amplia gama de funciones tales como: Operaciones lógicas entre bits, temporizadores, contadores, comparadores, funciones matemáticas, funciones de traslado, operaciones lógicas entre palabras, instrucciones de cambio y rotación, alarmas, diagnósticos y operaciones de control de programa. Incorporar equipos de la marca Siemens en la automatización garantiza estabilidad y confianza en el producto tanto en software como en hardware.

**Figura 32**

*Normalización y Escalización de Señales Análogas*



Fuente. Elaboración Propia

## Características de la HMI

Según (Siemens AG, 2020 Pag 12) el Unified Comfort Panel de Siemens cuenta con un display de alta resolución de 16 millones de colores con pantalla multi-toque capacitiva. Tienen integrado en su software buscador web, visualizador para documentos PDF, editor de documentos para Word y Excel, administrador de archivos, reproductor de medios y software en tiempo real para funcionalidades de registro y escritura tanto como sistema de diagnóstico para controladores SIMATIC y grafica de tendencias  $f(x)$ ,  $f(t)$  entre otros.

Con respecto al manejo y almacenamiento de datos este dispositivo cuenta con dos ranuras para tarjetas de memoria. Una ranura para tarjeta de memoria SD y guardar datos de usuario y otra ranura para tarjeta de memoria del sistema donde se puede grabar datos del proyecto y configuración del dispositivo, información que es actualizada continuamente en esta memoria de sistema. Además, cuenta con cuatro ranuras para memoria externa USB para almacenar más datos de usuario, registro de eventos, documentos PDF y videos.

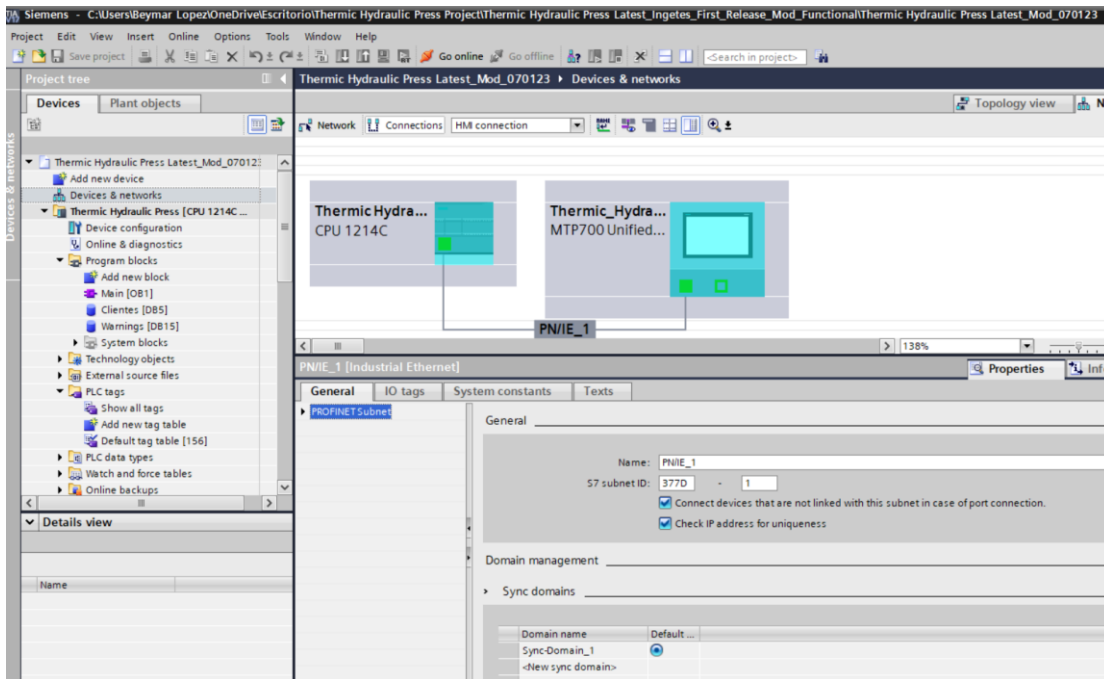
Es importante considerar la interfaz de enlace con la que cuenta el panel para lograr interactuar con el controlador PLC. Esta HMI tiene dos interfaces PROFINET. Una interfaz PROFINET con dos puertos y una interfaz Gigabit PROFINET con un puerto. Además, cuenta con interfaz RS422/485 y cuatro puertos USB 3.1 para conexión a dispositivos externos y memorias extraíbles

En la herramienta de configuración de TIA Portal se logra establecer enlace entre la pantalla y el controlador lógico de manera expedita y simplificada. Una de las ventajas de trabajar con equipos de la misma marca es la de lograr comunicar los dispositivos adecuadamente y poder aprovechar al máximo la amplia gama de funciones y herramientas que estos ofrecen puestos que se encuentran soportados. El panel Unified Comfort soporta

un máximo de 16 conexiones a controladores S7 y 16 conexiones paralelas vía protocolo SIMATIC HTTP.

**Figura 33**

*Enlace Profinet entre PLC y HMI*

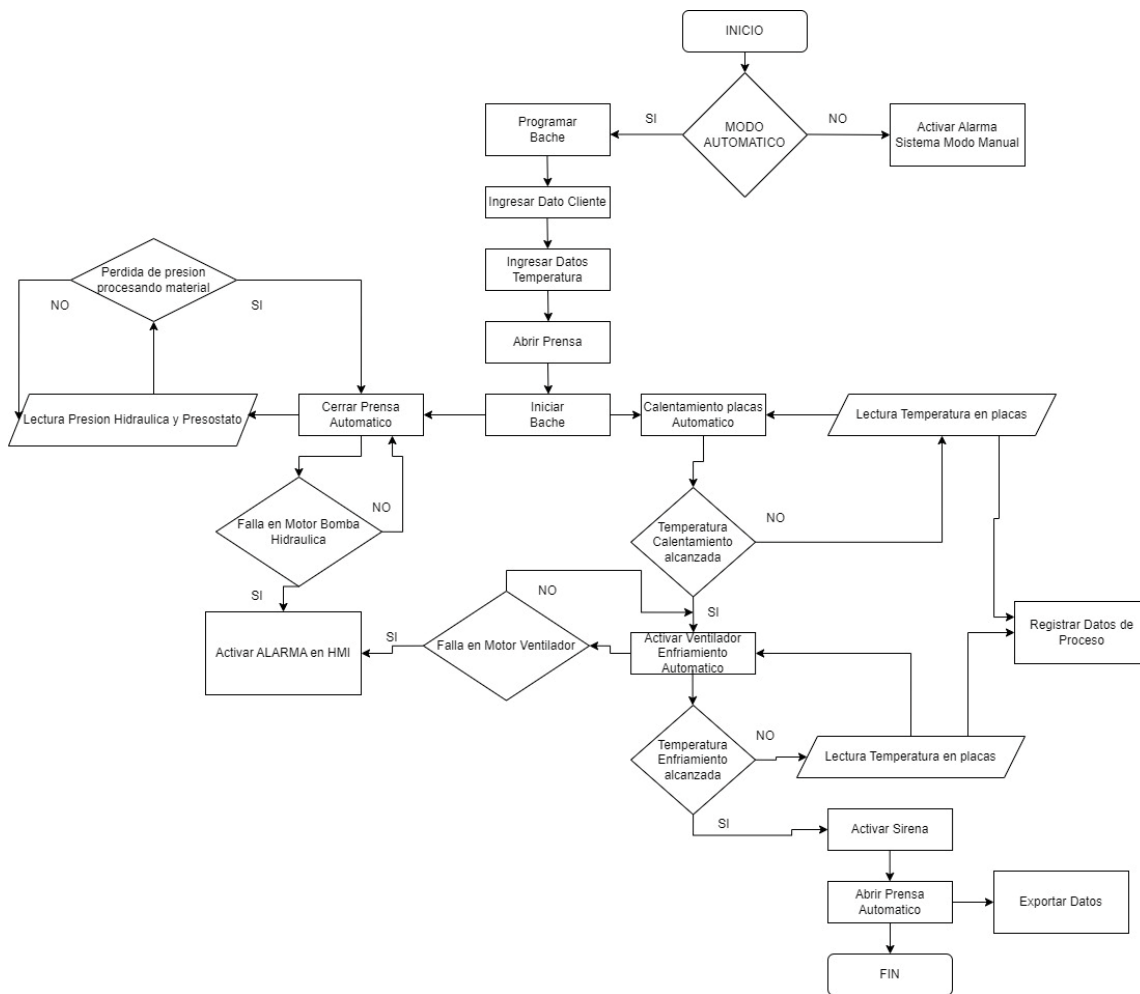


*Fuente. Elaboración Propia*

Así como con el controlador S7-1200 requiere un diagrama lógico para llevar a cabo la programación el software del panel también necesita una secuencia lógica de programa. El diagrama de flujo propuesto considera los pasos más relevantes y primordiales del proceso automático que se requiere en la maquina en función de los datos que ingrese el usuario.

**Figura 34**

*Diagrama de Flujo Lógica HMI*



*Fuente. Elaboración Propia*

## Información por Visualizar

La pantalla de inicio presenta logo de la empresa que utiliza la maquina y tres botones de función que al ser activados van a trasladarse a posteriores pantallas. En la parte superior se destina un texto que estará ligado a las alarmas programadas en el PLC y que se pueden presentar en cualquier momento del proceso, tales como: modo de operación de la maquina manual o automático, activación de paro de emergencia, activación de protecciones termomagnéticas, etc.

En la pantalla dinámica inicial que se le presenta al usuario se pretende indicarle con tres botones los entornos comunes a los que va a tener acceso para operar en la máquina. Un botón inicial de registros que lo va a llevar a la ventana de visualización de archivos, un botón de alarmas que lo va a dirigir a una pantalla donde se van a listar las alarmas vigentes en la maquina y un botón de programar bache que lo dirige al usuario a una pantalla de ingreso de datos de producción.

### Figura 35

#### *Pantalla de Inicio*



*Fuente.* Elaboración Propia

En la pantalla de programación del bache se busca que el operario ingrese los datos básicos de operación y posterior registro del proceso. Dato del cliente final que recibe el producto prensado, temperatura máxima a trabajar durante el calentamiento de las placas, temperatura mínima en la etapa de enfriamiento de la placas y tiempo intermedio de proceso en donde se establece una etapa estabilización de temperatura general en todas las placas previo a que el enfriamiento inicie. Hay botones y letreros dinámicos que se activan en función de ciertas condiciones en la máquina, como por ejemplo el botón de “Inicio Bache” el cual solo aparece en pantalla una vez que todos los datos son ingresados, la maquina está en modo automático y las placas de la prensa se encuentran completamente abiertas

### Figura 36

#### *Pantalla Programar Bache*

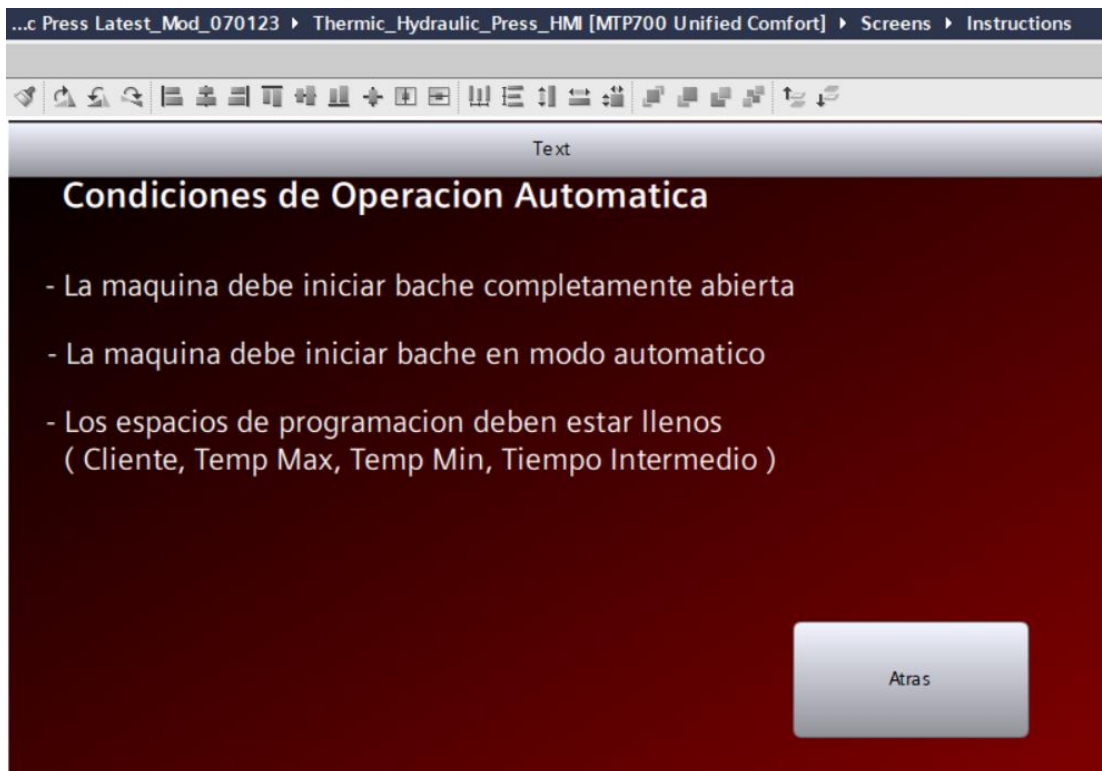
The screenshot shows a software interface for programming a batch process. The window title is "...Press Latest\_Mod\_070123 > Thermic\_Hydraulic\_Press\_HMI [MFP700 Unified Comfort] > Screens > Programming". The main area has a light blue background with the title "Programar Bache". Below the title, there are four input fields: "Cliente", "Temperatura Maxima (°C)", "Temperatura Minima (°C)", and "Tiempo Intermedio (min)". To the left of the "INICIO BACHE" button is the text "Modo Automatico". To the right of the "INICIO BACHE" button are the labels "Abriendo Prensa" and "Prensa Abierta". Below these labels is a large circular button labeled "Abrir Prensa". At the bottom of the screen, there are two buttons: "Atras" and "Instrucciones".

*Fuente.* Elaboración Propia

Una pantalla con instrucciones de operación automática se hace necesaria como recordatorio de condiciones a la persona que esté operando y programando la máquina. Idealmente se espera que la operación de la maquina sea amigable e intuitiva con el usuario independientemente de que la persona haya tenido trayectoria con el equipo o si por el contrario se encuentra con la maquina por primera vez

### Figura 37

#### *Pantalla Instrucciones de Operación*

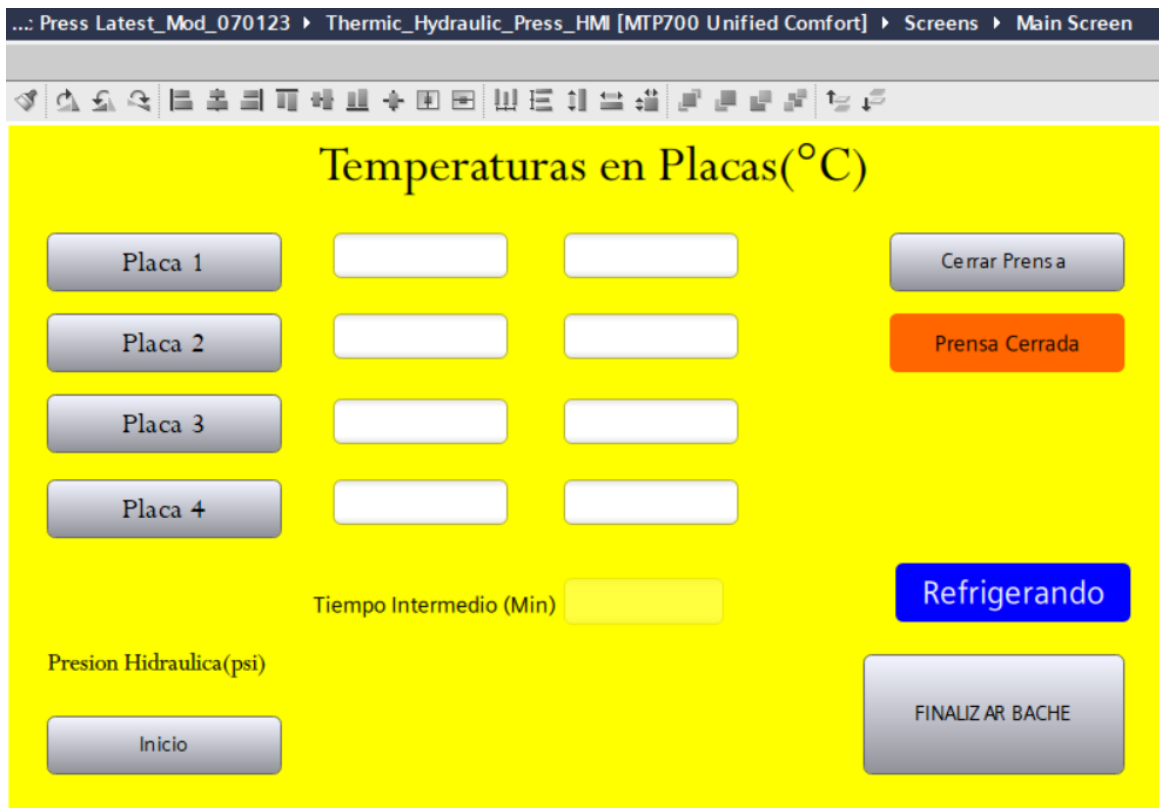


*Fuente.* Elaboración Propia

Una vez que el operario autorizó el inicio del bache se pasa a la pantalla principal donde se visualiza numéricamente la temperatura actual en cada placa, el estado de la prensa, etapa del proceso (Calentamiento o enfriamiento) y la presión hidráulica de trabajo.

**Figura 38**

*Pantalla Principal de Proceso*



*Fuente.* Elaboración Propia

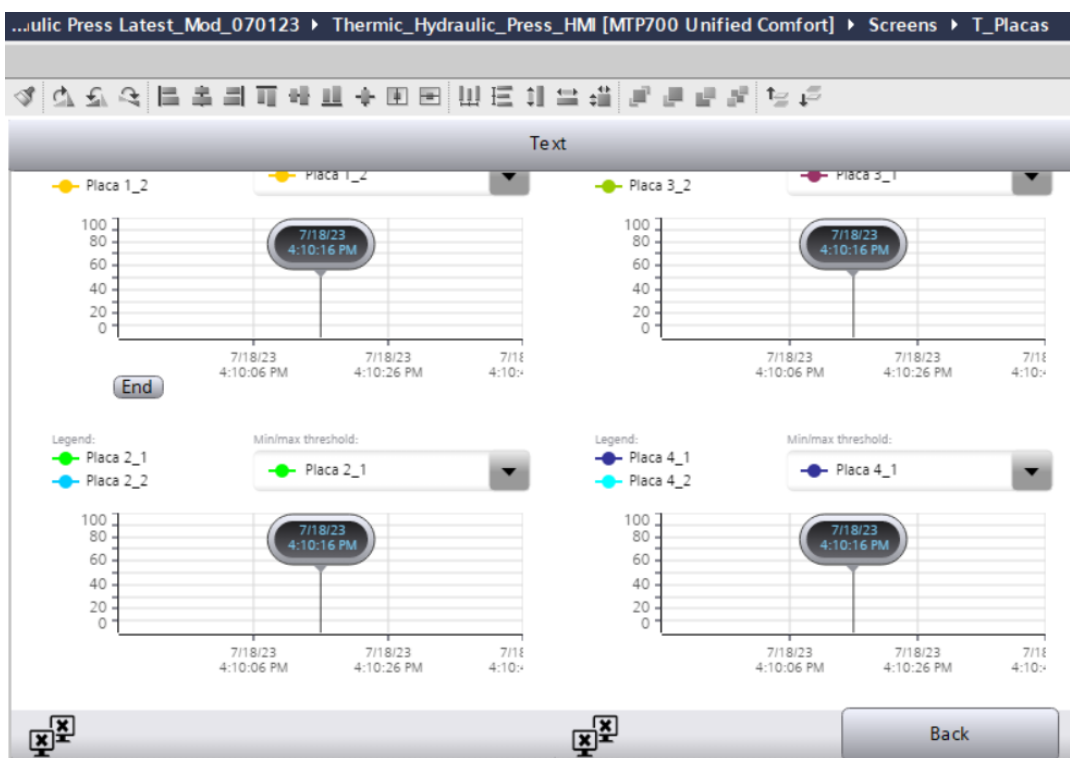
El color de fondo de esta pantalla en particular cambia el tono dependiendo la etapa en que se encuentre el proceso y también cuenta con botones dinámicos que le indican al operario y la prensa está abierta o cerrada, la temperatura deseada ya fue alcanzada según lo

que se programó y el valor numérico de presión hidráulica a la que se encuentra prensando la maquina

Los botones designados para cada placa llevan a otra pantalla que proyecta en tiempo real la curva de temperatura en función del tiempo transcurrido en el bache. Cada grafica cuenta con un cursor móvil que permite buscar el histórico del día en cada placa específicamente y determinar si se encontraba calentando o enfriando, si la maquina trabaja normalmente o si hubo fallas en el control de temperatura

**Figura 39**

*Pantalla Graficas de Temperatura en Placas*



*Fuente. Elaboración Propia*

Una vez que se cumple el proceso de prensado y se han superado las etapas de calentamiento y enfriamiento en la prensa automáticamente se activa la pantalla de finalización y se enciende una sirena luminosa ubicada en la máquina que le avisa al operario que debe abrir la prensa para sacar el producto. Los botones que aparecen en esta pantalla también son dinámicos y aparecen en función del estado en que se encuentra la máquina. Por ejemplo, el botón “regresar inicio” solo aparece cuando la apertura de las placas se completó y un microswitch envía una señal al PLC indicándole que la prensa está completamente. Así el operario puede regresar a la pantalla de inicio y volver a programar un nuevo bache de producción

#### **Figura 40**

##### *Pantalla Proceso Finalizado*

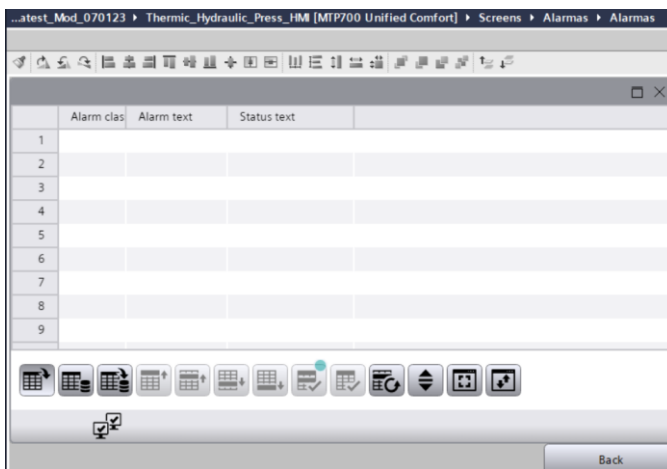


*Fuente. Elaboración Propia*

Otra pantalla disponible para el usuario es la pantalla de alarmas. Una vez que se enciende el equipo en esta pantalla se van a listar los posibles fallos y alarmas ocurridos en la máquina. Calentamiento desactivado, Paro de emergencia activado, Falla en Motor Bomba Hidraulica. Falla en Ventilador son algunas de las alarmas que se van a presentar en esta pantalla

### Figura 41

#### *Pantalla Alarmas en Maquina*



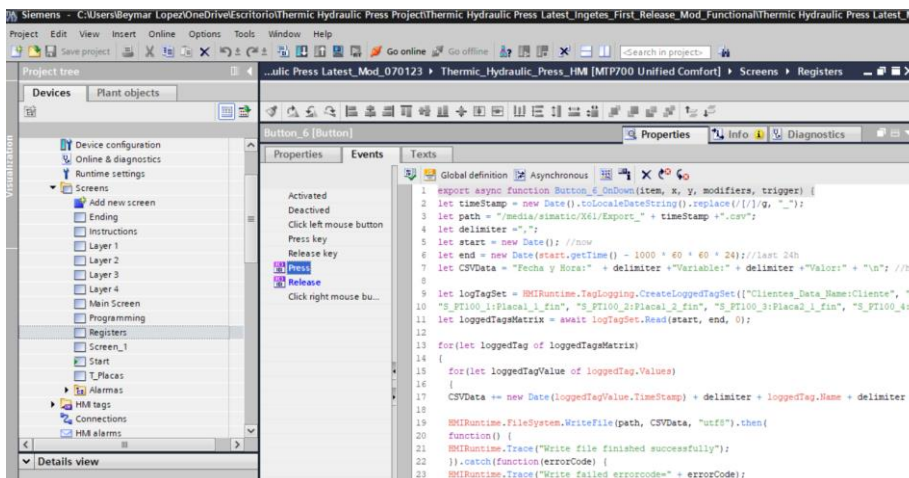
*Fuente.* Elaboración Propia

Una parte fundamental de la automatización es la adquisición de datos y también lo es el registro de estos mismos bien sea en la memoria interna de la pantalla o en una memoria externa. Según el manual de programación y operación de TIA Portal V17(Siemens, 2021c) se puede hacer uso de bloques de datos para exportar archivos .CSV además de designar los datos en un arreglo específico. Gracias a la extensa cantidad de puertos de conexión para memoria USB se puede recurrir a la programación de un código usando lenguaje JavaScript para ejecutar una rutina de almacenamiento y exporte de datos.

Dentro de uno de los recursos más utilizados en el entorno de programación de la HMI se utiliza un botón de eventos el cual al ser presionado va a correr un código donde inicialmente se va a llamar una función de exportar registros que se van a declarar en variables de proceso. Luego utilizando una función cíclica “for” se trasladan los datos registrados a la ubicación de memoria externa referida. Es importante utilizar condicionales para trabajar con el resultado de la operación asíncrona referida previamente de una manera estructurada. Una vez que el bache se ha finalizado el usuario puede acceder a este botón que le permite exportar a la USB los datos registrados durante la jornada. Como parte de las condiciones de operación automática de la maquina el usuario debe programar el bache con los datos mínimos requeridos para que de esta forma las variables declaradas en el código sean convenientes y efectivas en el posterior análisis que el área de producción realice acerca de la máquina.

**Figura 42**

### *Código Exportar Datos de Proceso*



```

1 export async function Button_6_OnDown(item, X, Y, modifiers, trigger) {
2   let timeStamp = new Date().toLocaleDateString().replace(/[/\g, "_");
3   let path = "/media/simatic/X61/Export_" + timeStamp + ".csv";
4   let delimiter = ",";
5   let start = new Date(); //now
6   let end = new Date(start.getTime() - 1000 * 60 * 60 * 24); //last 24h
7   let CSVData = "Fecha y Hora:" + delimiter + "Variable:" + delimiter + "Valor:" + "\n"; //he
8
9   let logTagSet = HMIRuntime.TagLogging.CreateLoggedTagSet({"Clientes_Data_Name+Clientes", "I
10  "S_FT100_1:Placa1_1_fin", "S_FT100_2:Placa1_2_fin", "S_FT100_3:Placa2_1_fin", "S_FT100_4:
11  loggedTagsMatrix = await logTagSet.Read(start, end, 0);
12
13  for(let loggedTag of loggedTagsMatrix)
14  {
15    for(let loggedTagValue of loggedTag.Values)
16    {
17      CSVData += new Date(loggedTagValue.Timestamp) + delimiter + loggedTag.Name + delimiter +
18
19    HMIRuntime.FileSystem.WriteFile(path, CSVData, "utf8").then(
20    function() {
21      HMIRuntime.Trace("Write file finished successfully");
22    }).catch(function(errorCode) {
23      HMIRuntime.Trace("Write failed errorcode=" + errorCode);

```

*Fuente. Elaboración Propia*

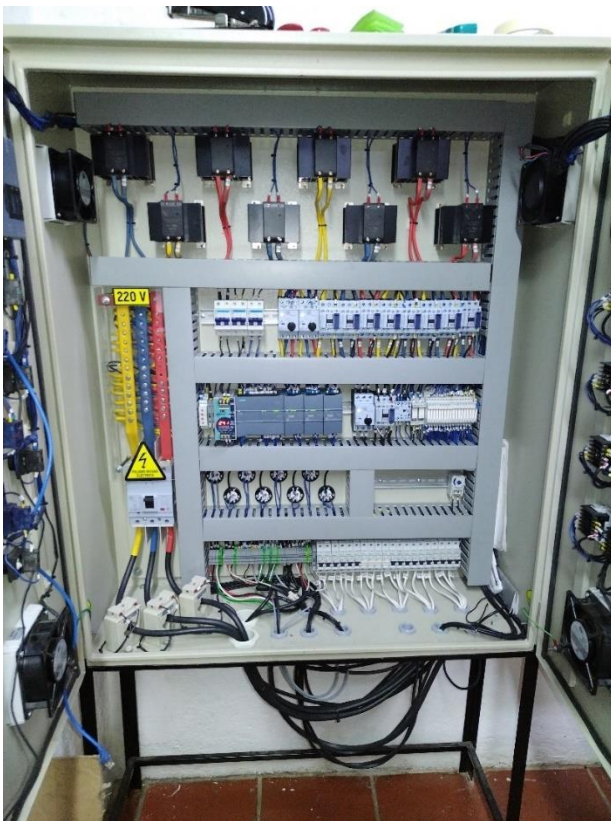
## Análisis de los Resultados

### Instalación y Puesta en Marcha

Una vez se ubicó y se aseguró el cofre junto a la maquina a controlar se realizaron las conexiones eléctricas correspondientes. Inicialmente se conectó la acometida general al totalizador haciendo pasar cada conductor eléctrico (cable soldador calibre 1/0 AWG) por su respectivo transformador de corriente los cuales están conectados al medidor electrónico en la puerta derecha del cofre.

### Figura 43

*Conexión Final Tablero-Maquina*

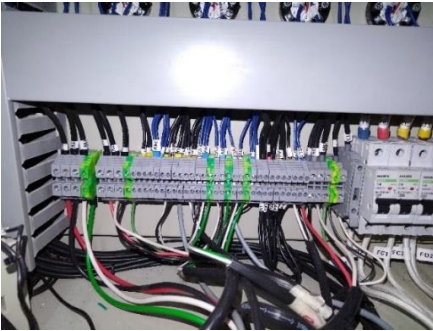


*Fuente. Elaboración Propia*

Luego se conectaron los cables encauchetados que traen señales tanto de sensores, electroválvulas y motores. También se conectaron las resistencias de calentamiento ubicadas dentro de cada placa y para las cuales se utilizó cable siliconado calibre 10 AWG ideal para soportar alta temperatura y alto flujo de corriente. La disposición de los bornes de conexión en la parte inferior del cofre permitió una rápida conexión entre el tablero y la máquina.

**Figura 44**

*Conexión Bornes Señales de Control*



*Fuente. Elaboración Propia*

**Figura 45**

*Conexiones Protecciones Circuitos de Potencia*

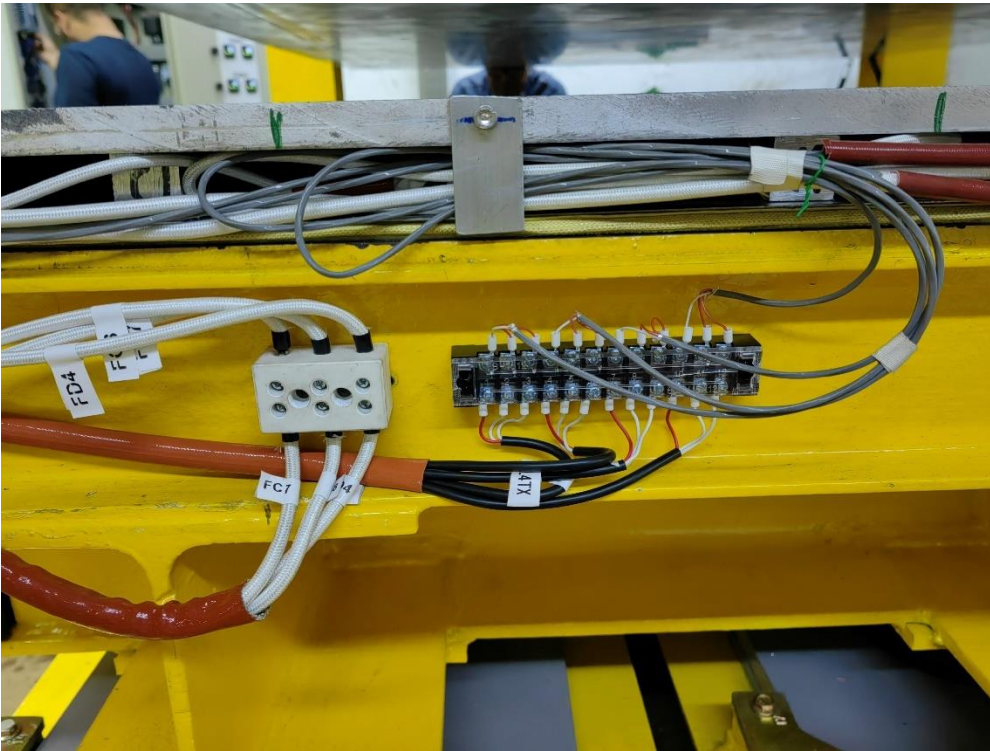


*Fuente. Elaboración Propia*

Los conductores eléctricos desde el tablero hasta las placas también fueron reemplazados para garantizar una apropiada operación de calentamiento en las placas, así como los cables de instrumentación para los sensores de temperatura también reemplazados y reconectados adecuadamente

### Figura 46

*Cableado Nuevo en Placas*



*Fuente.* Elaboración propia

Después de verificar los puntos de conexión y reapretar tornillería se energizan los equipos y todos los elementos que componen el tablero. Una vez que se enciende la pantalla se verifica la operación desde la misma de todos los periféricos de la máquina. En la figura 47 se muestra la pantalla HMI donde se dispone de botones que permiten activar y

desactivar componentes de la maquina en modo automático y los botones en esta puerta izquierda del cofre permite la activación de operaciones en manual en la prensa.

**Figura 47**

*Puerta Izquierda Cofre Operando*



*Fuente. Elaboración Propia*

En la puerta derecha del cofre se encienden a la vez el indicador electrónico que se encarga de medir en tiempo real consumo, voltaje y frecuencia de la red eléctrica, así como los controladores de temperatura los cuales indican la temperatura real en cada placa.

### Figura 48

*Puerta Derecha Cofre Operando*



*Fuente. Elaboración Propia*

Idealmente se debe mantener cerrado el cofre para garantizar la circulación de aire generado por los ventiladores de las puertas y los extractores instalados en las paredes laterales del cofre. La puesta en marcha final del cofre y la maquina se realiza exitosamente tanto en control de proceso como en calidad del producto.

### **Figura 49**

*Cofre Energizado y Operando*

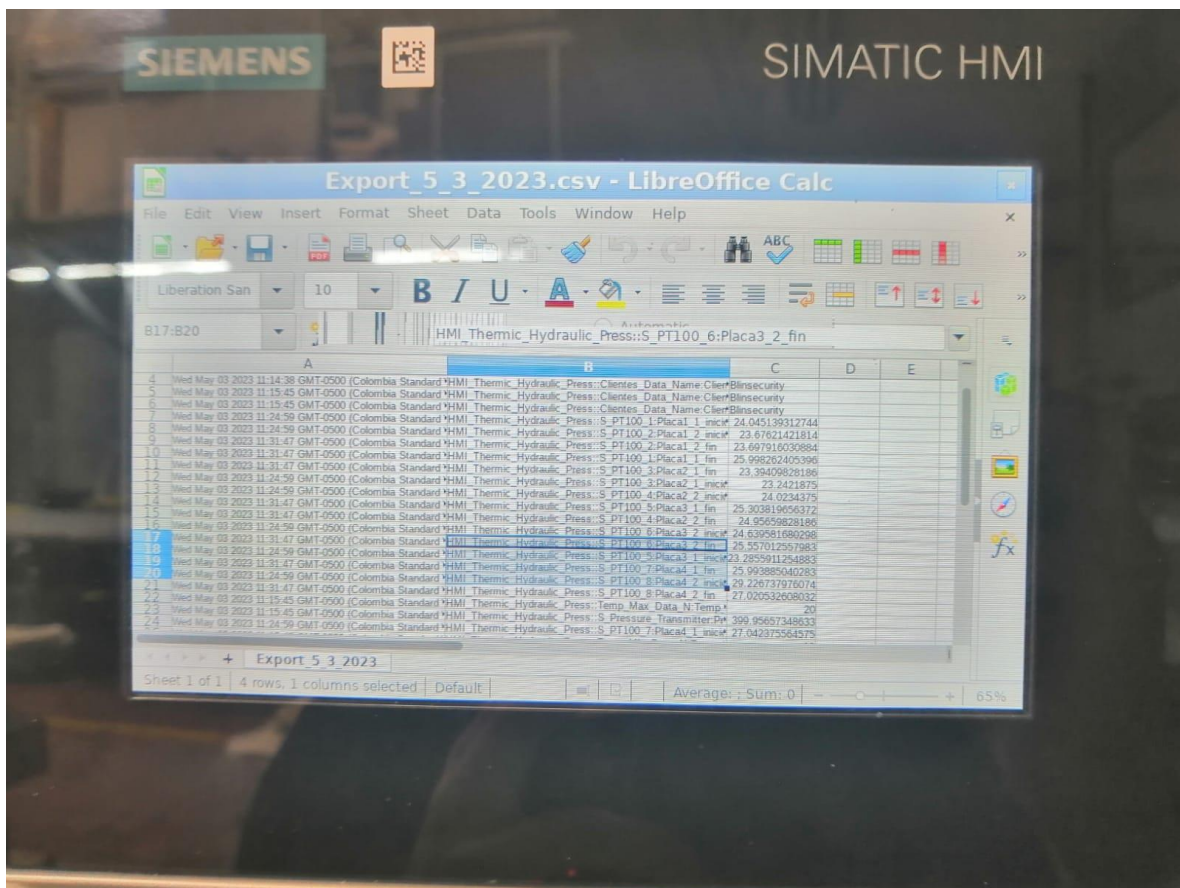


*Fuente. Elaboración Propia*

La pantalla HMI permite la visualización de documentos y formatos, así como la edición de estos en aplicativos tipo Word y Excel. Una vez que el operador da clic al botón exportar en una de las pantallas dinámicas bien puede ingresar al entorno de visualización de archivos o extraer de la ranura la memoria externa USB para trabajar en un PC sobre el archivo obtenido del panel

**Figura 50**

*Visualización Registros en Pantalla HMI*



*Fuente. Elaboración Propia*

### **Antes y Después**

Previamente la maquina contaba exclusivamente con una operación manual en la que era necesario disponer de un operario cerca al tablero tanto para accionar los precarios accionamientos como para vigilar que el proceso se llevara a cabo de manera eficaz y segura. Ahora que se implementó el nuevo tablero con el sistema de control y monitoreo del proceso ya no se requiere de la presencia continuada del operario en la máquina, una vez que el usuario programa el bache en la pantalla HMI e ingresa el material a prensar el sistema automático lleva a cabo las tareas programadas hasta culminar el bache cumpliendo con los parámetros ingresados al sistema en concordancia con el producto a procesar.

Antes de implementar el sistema la maquina presentaba constantes cortes de energía debido al deterioro de los conductores eléctricos tanto en el tablero como en las placas de aluminio. Con la instalación y mantenimiento realizados en la maquina se logra garantizar una operación eficiente y provechosa de la energía suministrada desde la red de alimentación.

Mientras el operador de la maquina debía llevar registros manuales como nombre del cliente horarios de calentamiento y enfriamiento, así como inicio y finalización de cada bache ahora simplemente debe extraer los datos registrados durante el día y llevarlos al sector de producción.

### **Relación Costo Beneficio**

Considerando la producción realizada posterior a la instalación del tablero y la puesta en marcha del equipo, el aumento de material procesado ha sido considerable. Se incrementaron la cantidad de baches producidos en la máquina. Previamente se procesaban máximo 3 baches por jornada, con la implementación del sistema se duplico esta cifra llegando a los 6 baches por día puesto que se redujeron los tiempos improductivos de los operarios que antes debían operar la maquina exclusivamente en modo manual y ahora pueden realizar otras acciones como corte y arreglo del material a procesar mientras la maquina realiza el bache automáticamente.

Los costos de mantenimiento se reducen drásticamente gracias a la nueva disposición de cargas y conductores eléctricos tanto en el tablero como en la máquina. Gracias a la implementación se logra monitorear eficientemente la presión hidráulica en la red y se evita el desgaste de la empaquetadura de los cilindros, así como el desperdicio de aceite por efecto de escapes y fugas en las mangueras.

En términos calidad de producto la mejoría es notable porque el control óptimo de temperatura tanto en etapa de calentamiento como en etapa de enfriamiento sumado al preciso control de presión hidráulica aportan insumos significativos al producto final obtenido de la prensa hidráulica térmica.

## Conclusiones

El proceso de automatizar una maquina en términos generales implica estudio prolongado y comprensión de las necesidades del proyecto. La investigación realizada ha culminado con el desarrollo exitoso de un sistema de control y monitoreo automático para una máquina industrial dedicada a la producción de láminas de Kevlar mediante el proceso de prensado térmico. Este sistema, que combina la regulación precisa de la temperatura en las placas de aluminio y la gestión eficiente de la presión hidráulica, ha demostrado su capacidad para optimizar de manera significativa los tiempos y costos de producción.

La implementación de la automatización ha llevado a mejoras notables en la calidad de las láminas de Kevlar producidas, así como en una reducción sustancial en el margen de error humano en el proceso. Estos resultados subrayan la viabilidad y el potencial de la implementación de estas tecnologías en el ámbito industrial, fomentando el uso y aplicación de controladores lógicos programables, así como el uso de interfaces hombre-maquina. Además, este proyecto ha contribuido al conocimiento en el campo de la automatización y control de procesos industriales, abriendo oportunidades para investigaciones y aplicaciones adicionales en este campo de estudio.

En última instancia, el sistema desarrollado no solo representa un avance significativo en la eficiencia de la producción de láminas de Kevlar, sino también una contribución valiosa al sector industrial en términos de mejora continua en manejo de cargas resistivas, control de temperatura y presión hidráulica registrando eventos y variables de proceso como parte de una operación automática integrada y eficiente.

### Referencias Bibliográficas

- Autonics Corporation. (2020, March). *Serie TX, controladores de temperatura PID con doble LCD*. <https://www.autonics.com/series/3000414>
- Bobrovnitchii, G. S., Ramalho, A. M., & Rangel, J. J. de A. (2015). PARTICULARIDADES EN EL DESARROLO DE DISEÑOS DE PRENSAS HIDRÁULICAS PARA LA PRODUCCIÓN DE MATERIALES SUPERDUROS. *Tecnologia Em Metalurgia Materiais e Mineração*, 12(4), 335–341. <https://doi.org/10.4322/2176-1523.0946>
- CADe SIMU. (2023). *Cade Simu Download*. [https://cade-simu.com/#para\\_qu%C3%A9\\_sirve\\_CadeSimu](https://cade-simu.com/#para_qu%C3%A9_sirve_CadeSimu)
- Feng, T., & Guangpeng, L. (2021). Design of Intelligent Feeding Control System Based on S7-1200 PLC. *E3S Web of Conferences*, 245, 01051. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202124501051>
- Pnomek. (2015). *P16 Series Pressure Transmitter*. <https://pnomek.com/en/product/p16-series-pressure-transmitter>
- Popescu, V. F., Gânsac, V., Comșa, O., Pârvu, M., & Pistol, S. (2022). Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) Traffic Simulation for Controlling Industrial Processes and Infrastructures. *Land Forces Academy Review*, 27(4), 423–440. <https://doi.org/10.2478/raft-2022-0051>
- Siemens. (2021a). *Step 7 and WinCC Engineering V17* (pp. 862–868). Siemens Products. [https://cache.industry.siemens.com/dl/files/671/109798671/att\\_1071920/v1/STEP\\_7\\_WinCC\\_V17\\_enUS\\_en-US.pdf](https://cache.industry.siemens.com/dl/files/671/109798671/att_1071920/v1/STEP_7_WinCC_V17_enUS_en-US.pdf)

Siemens. (2021b). *Step 7 and WinCC Engineering V17 System Manual* (pp. 5–32). Siemens Products.

[https://cache.industry.siemens.com/dl/files/671/109798671/att\\_1071920/v1/STEP\\_7\\_WinCC\\_V17\\_enUS\\_en-US.pdf](https://cache.industry.siemens.com/dl/files/671/109798671/att_1071920/v1/STEP_7_WinCC_V17_enUS_en-US.pdf)

Siemens. (2021c). *Step 7 and WinCC Engineering V17 System Manual* (pp. 2755–2769).

Siemens Products.

[https://cache.industry.siemens.com/dl/files/671/109798671/att\\_1071920/v1/STEP\\_7\\_WinCC\\_V17\\_enUS\\_en-US.pdf](https://cache.industry.siemens.com/dl/files/671/109798671/att_1071920/v1/STEP_7_WinCC_V17_enUS_en-US.pdf)

Siemens. (2023a). *SIMATIC S7-1200*.

<https://www.siemens.com/global/en/products/automation/systems/industrial/plc/s7-1200.html>

Siemens. (2023b). *Totally Integrated Automation Portal-Always ready for tomorrow*.

<https://www.siemens.com/global/en/products/automation/industry-software/automation-software/tia-portal.html>

Siemens AG. (2020). *SIMATIC HMI, HMI devices Unified Comfort Panel* (Vol. 1, Issue Operating Manual, pp. 1–178). Siemens.

[https://cache.industry.siemens.com/dl/files/870/109795870/att\\_1073648/v1/HWUnifiedComfortPanelsenUS\\_en-US.pdf](https://cache.industry.siemens.com/dl/files/870/109795870/att_1073648/v1/HWUnifiedComfortPanelsenUS_en-US.pdf)

Tamboli, S., Rawale, M., Thoraiet, R., & Agashe, S. (2015). Implementation of Modbus RTU and Modbus TCP communication using Siemens S7-1200 PLC for batch process. *2015 International Conference on Smart Technologies and Management for*

*Computing, Communication, Controls, Energy and Materials (ICSTM)*, 258–263.

<https://doi.org/10.1109/ICSTM.2015.7225424>

## Apéndices

### Apéndice A

#### *Manual de Operación*

### INSTRUCTIVO TÉCNICO

La información suministrada en este documento recomienda los cuidados que se debe tener en la manipulación adecuada para el mantenimiento en buen estado y funcionamiento correcto de los tableros suministrados.

#### INSTALACIÓN

- ✓ La instalación de los equipos solo la debe hacer personal capacitado y autorizado.
- ✓ Use la protección personal necesaria
- ✓ Utilice las herramientas adecuadas.
- ✓ Evitar la instalación en sitios húmedos o protegerlos de la humedad.
- ✓ Evitar la instalación en sitios salinos
- ✓ Verifique que la iluminación sea la adecuada para la instalación.
- ✓ Antes de instalar y energizar reapretar los tornillos.
- ✓ Antes de instalar y energizar colocar todos los aparatos en OFF (apagado).
- ✓ Antes de instalar revisar voltajes de la fuente de alimentación de los equipos.
- ✓ Siga las indicaciones de los diagramas eléctricos correspondientes.

✓ No retire los acrílicos que aíslan los barrajes mientras se encuentra energizado. Si fueron retirados para su conexión instálelos antes de energizar.

✓ Después de su instalación verifique que funcionan todos los aparatos eléctricos instalados cualquier falla informar a EMOTRONICA SAS.

✓ Asegúrese de no dejar herramientas ni materiales dentro de los tableros.

✓ Verifique que deja los equipos con las puertas cerradas y aseguradas.

✓ Asegure que los accesorios necesarios de manipulación (llaves manijas perillas etc.) se encuentran en un lugar conocido o con personal autorizado evite su pérdida.

✓ Si se presenta dudas durante su instalación consulte con el ingeniero encargado.

✓ EMOTRONICA SAS garantiza sus tableros siempre y cuando sea por defectos de fabricación originados en la mano de obra o en los materiales.

#### USO Y MANIPULACIÓN ADECUADOS DE LOS TABLEROS

✓ Evitar el acceso a personal no autorizado.

✓ Para su instalación y manipulación tenga en cuenta la información técnica suministrada.

✓ Para su transporte al lugar de instalación utilizar al personal necesario.

✓ No almacenar los tableros en lugares húmedos o salinos mientras se ubican en el lugar de instalación.

✓ No abrir las puertas de los tableros cuando estén energizados.

✓ No utilizar el local donde se encuentran los tableros como sitio de almacenamientos de material o máquinas para construcción escaleras periódico etc.

✓ No apoyar ninguna clase de materiales ni objetos sobre los tableros tenga en cuenta las placas y marquillas preventivas que se encuentran adheridas en los tableros.

✓ Para maniobrar los tableros tenga en cuenta la información adherida a estos.

✓ Si tiene dudas para su manipulación consulte con el ingeniero encargado.

✓ La garantía de los tableros no cubre daños ocasionados por parte del usuario ni alteraciones o reparaciones realizadas por personal no autorizado por EMOTRONICA SAS.

### **MANTENIMIENTO**

✓ Verificar periódicamente que se mantienen todas las conexiones apretadas.

✓ Verificar que los alambres no tengan óxido o las conexiones estén sulfatadas

✓ Limpie toda la suciedad que pueda deteriorar la pintura.

✓ Si su tablero no funciona o presenta problemas para su funcionamiento solicite Servicio al proveedor o fabricante.

✓ Antes de hacer la solicitud de servicios asegúrese el problema real que está presentando el tablero ya que si no es problema del tablero se cobrará la visita técnica.

✓ Verifique que la iluminación sea adecuada para su mantenimiento.

## Introducción

El procesamiento del material kevlar y la elaboración de láminas para blindaje requiere ciertas especificaciones de temperatura y presión de prensado.

La temperatura ideal para que el desmoldante se funda y fije las láminas es de 160 °C a una presión de 2000 psi con una temperatura de enfriamiento de mínimo de 65 °C.

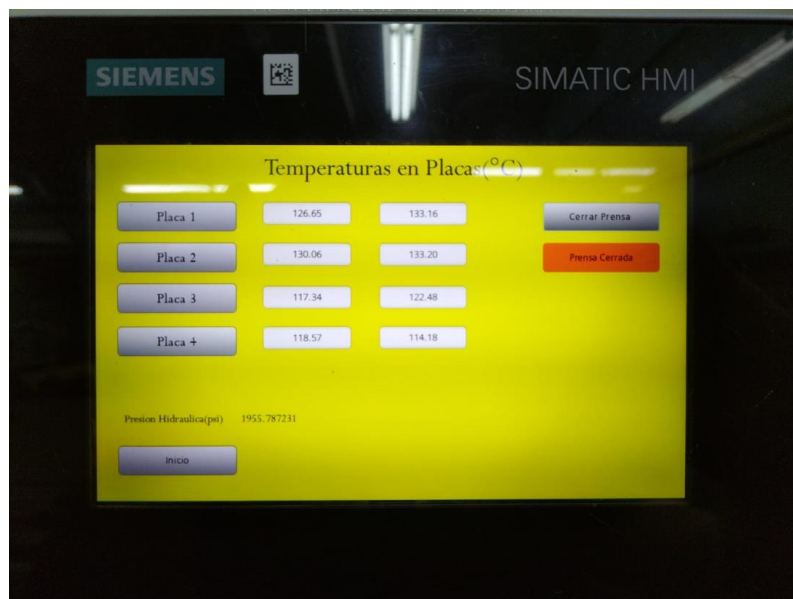
La máquina se puede operar en modo manual o modo automático, pero idealmente se debe trabajar en modo automático para que la operación programada se cumpla y el producto sea procesado de forma adecuada cumpliendo con las especificaciones recomendadas.

## Consideraciones iniciales

Es necesario conocer los controles presentes en el tablero eléctrico de la maquina; a continuación, se explican los selectores e indicadores y su función.

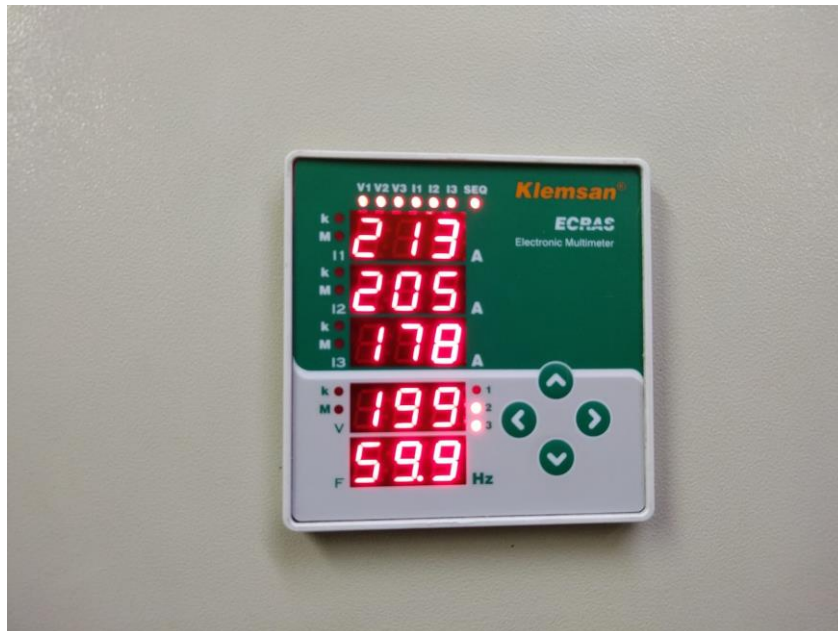
### 1. *Panel de Control Automático*

Pantalla HMI que permite intervenir en el proceso de prensado automático permitiendo una configuración específica y que conserva un registro de operación



## 2. *Multímetro Digital*

Indicador numérico que muestra el voltaje trifásico, consumo en amperios y frecuencia en la red de suministro en la maquina y en sus diferentes componentes (resistencias infrarrojas, motor bomba hidráulica, motor ventilador, etc.)

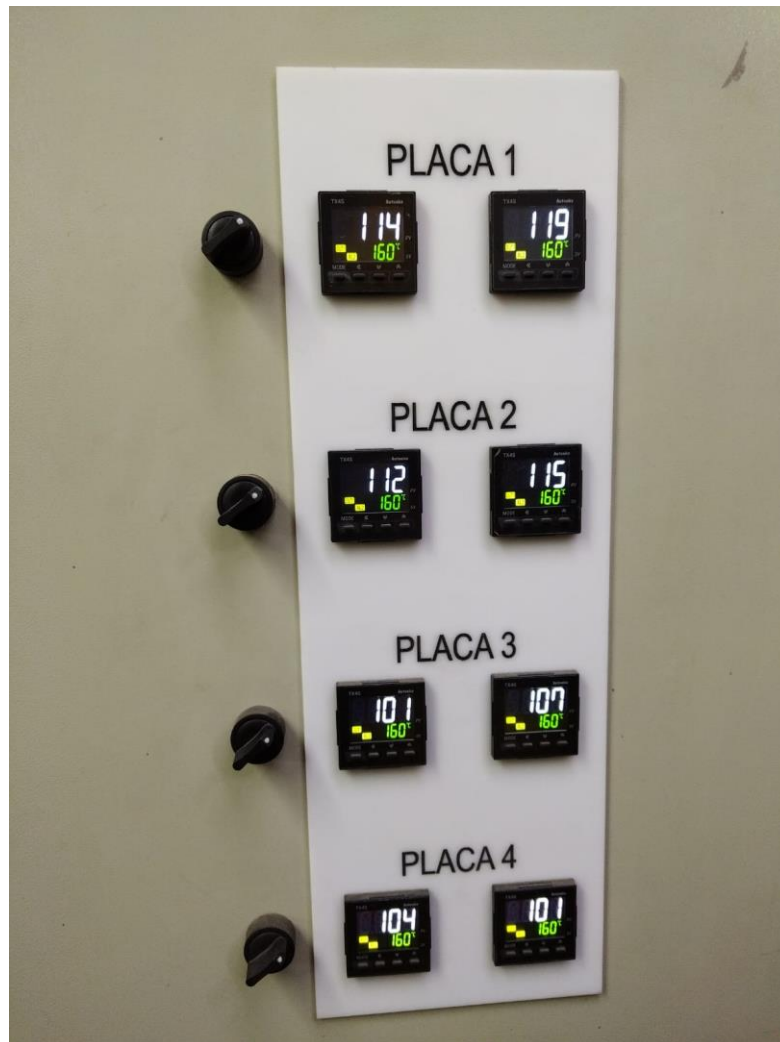


3. *Control de temperatura*

Indicador numérico que muestra la temperatura en una placa determinada de la maquina

4. *Encendido controles de temperatura por placa*

Selector de encendido que habilita la alimentación de un par de controles de temperatura de una placa especifica



5. *Encendido principal*  
Selector de encendido que habilita la alimentación eléctrica del tablero eléctrico de la maquina
6. *Paro de Emergencia*  
Pulsador rojo con enclavamiento que inhabilita cualquier operación de la maquina por seguridad
7. *Manual-Automático*  
Selector que determina el modo de operación de la maquina



8. *Control de Resistencias*

Selector luminoso que habilita la operación de las resistencias infrarrojas de todas las placas de la maquina permitiendo la calefacción

9. *Abrir prensa*

Pulsador auto retorno que permite la apertura de la prensa en modo manual

10. *Cerrar prensa*

Pulsador auto retorno que permite el cierre de la prensa en modo manual

11. *Piloto Prensa Activada*

Bombilla roja que se energiza en cada operación de la prensa hidráulica

12. *Ventilador*

Selector que habilita la operación del motor ventilador de la maquina en modo manual.



## Procedimiento de Operación

### Pantalla de Inicio

La pantalla de inicio presenta logo de la empresa que utiliza la maquina y tres botones de función que al ser activados van a trasladarse a posteriores pantallas.

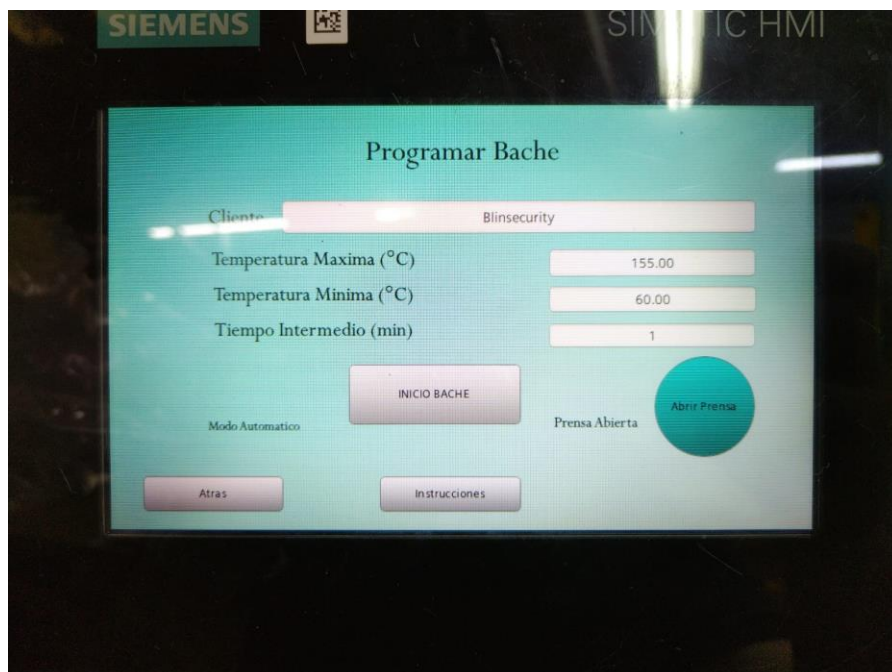
La pantalla dinámica inicial pretende indicarle con tres botones los entornos comunes a los que va a tener acceso para operar en la máquina. Un botón inicial de registros que lo va a llevar a la ventana de visualización de archivos, un botón de alarmas que lo va a dirigir a una pantalla donde se van a listar las alarmas vigentes en la maquina y un botón de programar bache que dirige al usuario a una pantalla de ingreso de datos de producción.



## Pantalla Programar Bache

En la pantalla de programación del bache se busca que el operario ingrese los datos básicos de operación y posterior registro del proceso. Dato del cliente final que recibe el producto prensado, temperatura máxima a trabajar durante el calentamiento de las placas, temperatura mínima en la etapa de enfriamiento de la placas y tiempo intermedio de proceso en donde se establece una etapa estabilización de temperatura general en todas las placas previo a que el enfriamiento inicie.

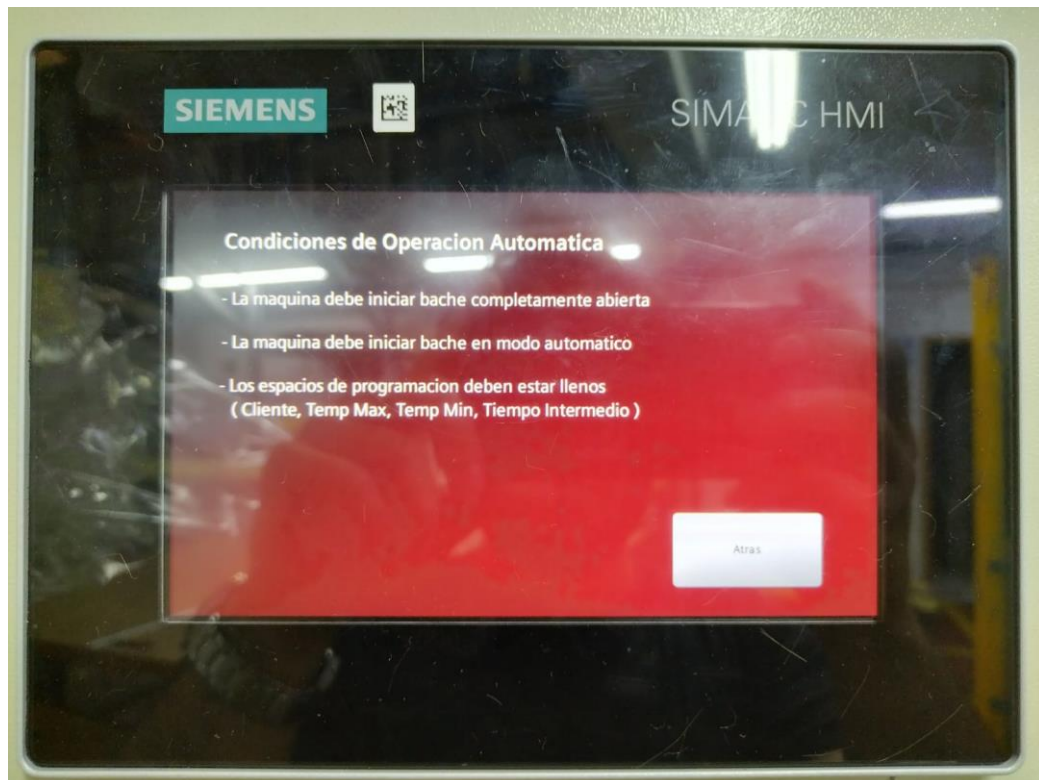
Una vez que se ingresen los datos del bache aparecerá un botón para iniciar bache



## Pantalla Condiciones de Operación

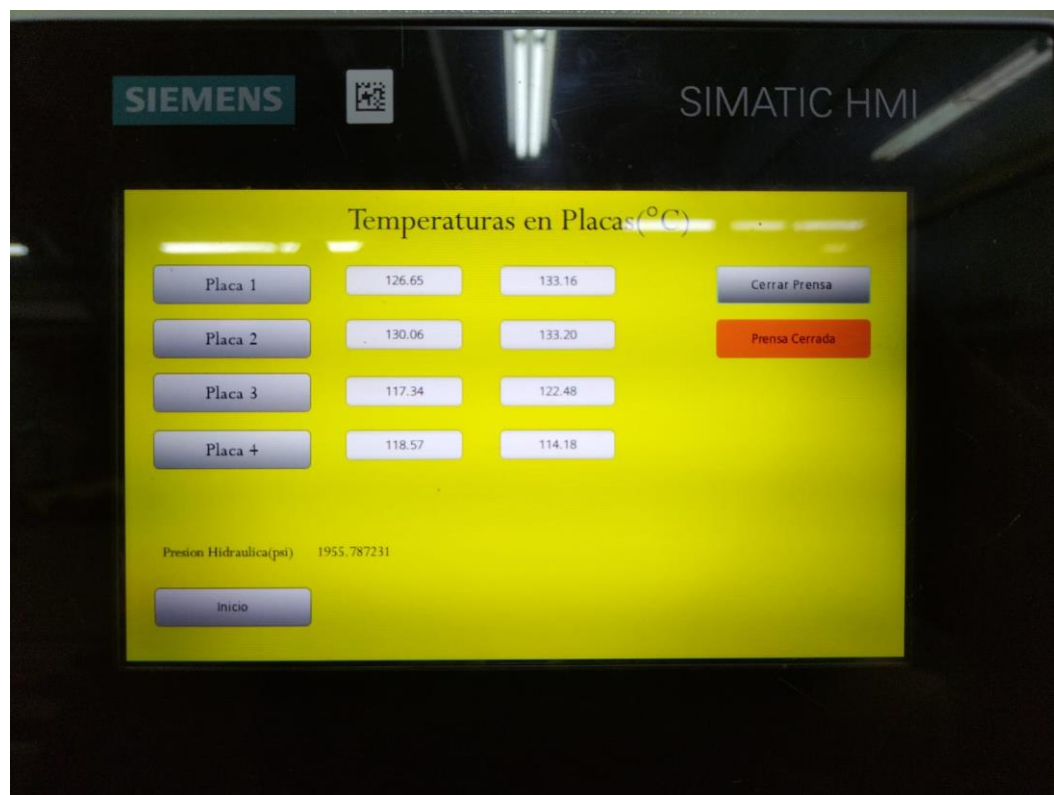
Una pantalla recordando las condiciones de operación automática contribuye a la verificación apropiada de estado de la máquina antes de iniciar el bache.

- La máquina debe estar completamente abierta
- la máquina debe estar en modo automático
- los datos de programación del bache deben estar llenos



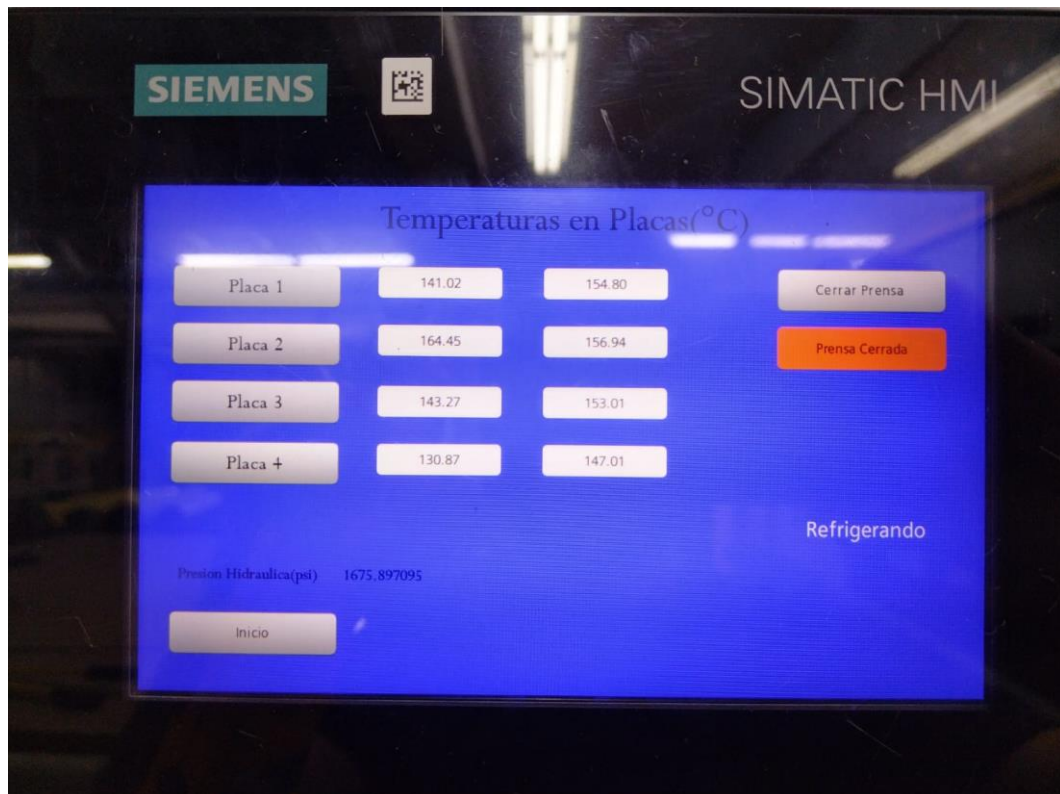
### Pantalla Principal de Proceso (Calentamiento)

Una vez que el operario autorizó el inicio del bache se pasa a la pantalla principal donde se visualiza numéricamente la temperatura actual en cada placa, el estado de la prensa y la presión hidráulica de trabajo.



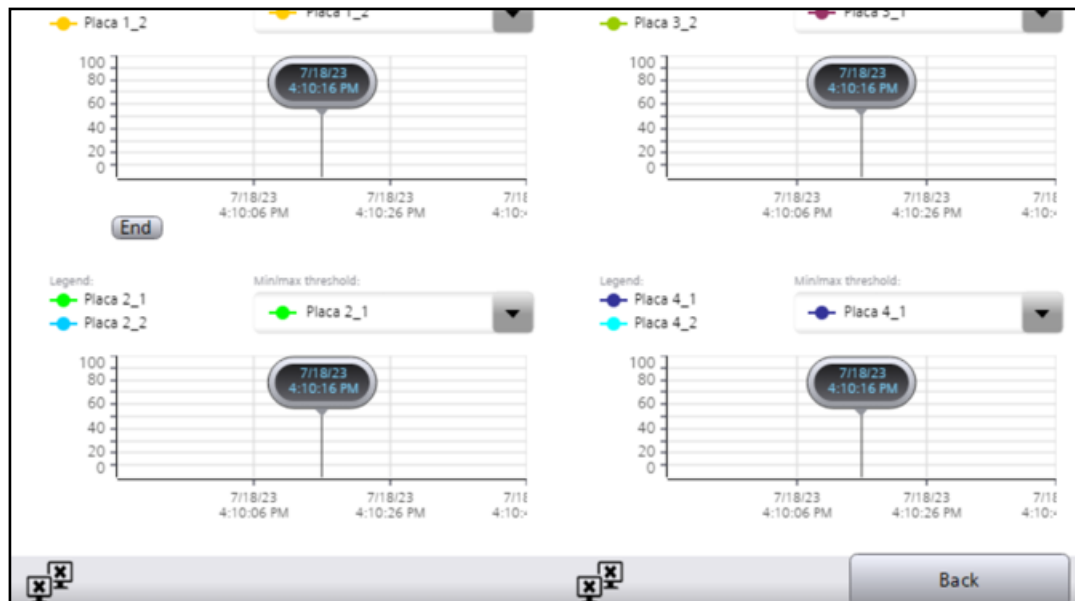
### Pantalla Principal de Proceso (Enfriamiento)

El color de fondo de esta pantalla en particular cambia el tono dependiendo la etapa en que se encuentre el proceso y también cuenta con botones dinámicos que le indican al operario y la prensa está abierta o cerrada, también si la temperatura deseada ya fue alcanzada según lo que se programó y el valor numérico de presión hidráulica a la que se encuentra prensando la máquina.



## Pantalla Graficas Temperatura en Placas

Los botones designados para cada placa en la pantalla de proceso llevan a otra pantalla que proyecta en tiempo real la curva de temperatura en función del tiempo transcurrido en el bache. Cada grafica cuenta con un cursor móvil que permite buscar el histórico del día en cada placa específicamente y determinar si se encontraba calentando o enfriando, si la maquina trabaja normalmente o si hubo fallas en el control de temperatura.



### **Pantalla Proceso Finalizado**

Una vez que se cumple el proceso de prensado y se han superado las etapas de calentamiento y enfriamiento en la prensa automáticamente se activa la pantalla de finalización y se enciende una sirena luminosa ubicada en la máquina que le avisa al operario que debe abrir la prensa para sacar el producto.

Los botones que aparecen en esta pantalla también son dinámicos y aparecen en función del estado en que se encuentra la máquina. Por ejemplo, el botón “regresar inicio” solo aparece cuando la apertura de las placas se completó. Así el operario puede regresar a la pantalla de inicio y volver a programar un nuevo bache de producción



## Pantalla Alarmas en Maquina

Otra pantalla disponible para el usuario es la pantalla de alarmas. Una vez que se enciende el equipo en esta pantalla se van a listar los posibles fallos y alarmas ocurridos en la máquina.

Posibles Alarmas en Pantalla:

- La máquina no procesará ni registrará un bache si está en modo manual
- Toda operación posible en la maquina se verá bloqueada si el Paro de emergencia esta activado,
- Si se presenta un fallo en el motor de la bomba hidráulica o el motor ventilador se activará una alarma
- Si la presión hidráulica programada es excedida se activará una alarma
- Si se presenta una desconexión repentina en la comunicación entre HMI y PLC también se presenta una alarma



## Consideraciones Generales

-Maniobrar la maquina en modo manual solo cuando sea necesario; apertura de emergencia, finalización del bache antes de tiempo establecido, activar el ventilador y otras maniobras aisladas

-Evitar modificar la configuración de los controles de temperatura o el amperímetro digital para no alterar el proceso de prensado

-Cuando la prensa este abierta verificar que no haya objetos ajenos a la maquina o al proceso antes de realizar el cierre en automático

-Comunicarse con servicio técnico ante cualquier eventualidad o daño a los periféricos de la maquina o para realizar algún ajuste técnico a la prensa.

*Guía de procedimiento realizada por:*

*Beymar Lopez Sánchez,*

*Tecnólogo en Mantenimiento Electrónico e Instrumental Industrial*

*Emotronica SAS*

*emotronicasas@hotmail.com*

