

**AUTOMATIZACIÓN PLANTA PILOTO INTERCAMBIADOR DE
CALOR**

**Trabajo de monografía presentado como requisito para optar al título de
ingeniero mecatrónico**

LAURA MARCELA IBARRA GÓMEZ

RONALD ENRIQUE LUCERO GUZMÁN

JORGE ELIÉCER DUQUE PARDO

DIRECTOR

ING. ELECTRICISTA.

MAGISTER EN INGENIERIA ELECTRONICA

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARTAGENA DE INDIAS D. T. Y C.

2009

CONTENIDO

LISTA DE FIGURAS	5
LISTA DE TABLAS	7
INTRODUCCIÓN.....	8
OBJETIVOS.....	11
CAPITULO 1: DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROCESO	13
CAPITULO 2: DESCRIPCIÓN DE ACTUADORES Y CAPTADORES	15
2.1 Intercambiador de Calor	15
2.2 Bomba De Agua Fría	15
2.3 Bomba De Agua Caliente	16
2.4 Calentador	17
2.5 Controlador De Temperatura	17
2.6 Válvula Proporcional Servoaccionada	18
2.7 Termocuplas	19
2.8 Transmisores	20
2.8.1 Transmisor De Temperatura.	20
2.8.2 Transmisor De Caudal.	21
2.9 Controlador Lógico Programable.	23

CAPITULO 3: DISEÑO DE LA AUTOMATIZACIÓN	24
3.1 Diseño Del Panel De Operación.	25
3.2 Diagrama P&ID.....	27
3.3 Conexionado y cableado	29
3.3.1 Modo Manual.....	29
3.3.2 Modo automático.....	32
CAPITULO 4: PROGRAMACIÓN DEL SISTEMA	35
4.1 GRAFCET Del Proceso	35
4.2 Requisitos de funcionamiento	36
4.3 Software De Programación del PLC S7-200 de Siemens.....	36
4.4 Modulo de ampliación EM 235.....	36
4.5 Programación del PLC para el control de temperatura.....	37
4.5.1 Configuración de lazos PID.....	46
CAPITULO 5: SISTEMA SUPERVISORIO Y PROTOCOLO DE COMUNICACIÓN	
	53
5.1 Comunicación OPC server	53
5.2.1 Configuración del OPC-Server con el S7-200 PC Access.....	53
5.2 Sistema Supervisorio de la aplicación	56
5.3 Desarrollo Del Sistema Supervisorio Con WinCC Flexible.	57

CAPITULO 6: PRACTICA DE LABORATORIO	68
7 CONCLUSIONES	78
8. OPORTUNIDADES DE MEJORAS, RECOMENDACIONES Y SUGERENCIAS	80
9. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	81

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Diagrama de bloques del sistema de control implementado.....	9
Figura 2 Planta piloto Intercambiador de Calor.....	13
Figura 3 Sección transversal del intercambiador de calor.....	15
Figura 4 Curva de funcionamiento de la bomba PKm 60.....	16
Figura 5 Curva de funcionamiento de la bomba CPM-100	16
Figura 6 Controlador de Temperatura.....	17
Figura 7 Característica de la valvula proporcional	19
Figura 8 Termocupla Tipo J y Termopozo	20
Figura 9 Transmisor de temperatura.....	20
Figura 10 Transmisor de Caudal.....	21
Figura 11. Banco del PLC S7-200 Siemens.....	23
Figura 12 Panel de Operación Principal.....	25
Figura 13 Disposición de Relés en el Panel de Operación lateral izquierdo.	26
Figura 14 Panel de Operación Lateral	27
Figura 15 Diagrama de instrumentación	28
Figura 16 Circuito eléctrico de control para modo manual y modo automático.....	31
Figura 17 Circuito eléctrico de potencia.	34

Figura 18 GRAFCET Del Proceso.	35
Figura 19 Diagrama del intercambiador de calor.	60
Figura 20 Panel de Operación.	61
Figura 21 Panel de Sintonía PID primario.....	62
Figura 22 Panel de Sintonía PID secundario.	63

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Elementos del P&ID	29
Tabla 2 Configuración del Modo Manual	30
Tabla 3 Configuración de las entradas del modo automático	33
Tabla 4 Configuración de las salidas del modo automático	34
Tabla 5 Definición de las entradas utilizadas en la programación.	37
Tabla 6 Definición de las salidas utilizadas en la programación.	38
Tabla 7 Lógica de las variables empleadas.	38

INTRODUCCIÓN

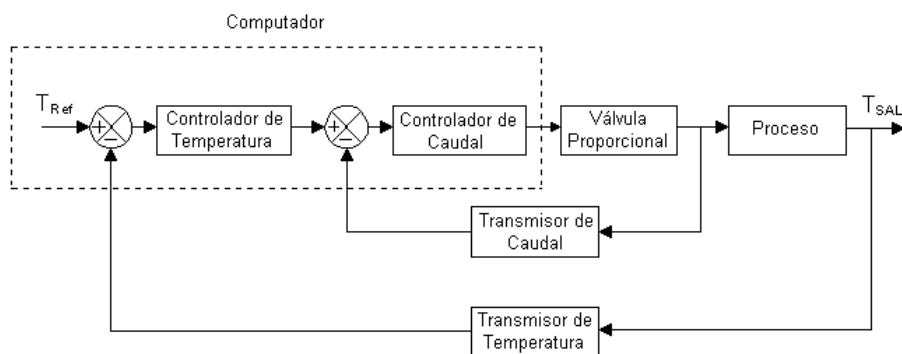
El objetivo de este proyecto es realizar la automatización de la planta piloto intercambiador de calor empleando un Controlador Lógico Programable (PLC) S7200 Siemens, elaborando un supervisorio al proceso y estableciendo por medio del protocolo de comunicación Profibus, la aplicación mono maestro con el PLC S7300 Siemens.

La planta piloto consta de dos modos de funcionamiento, en el modo automático, el controlador lógico programable (PLC) controla la temperatura de salida del intercambiador mediante una estrategia de control PID en cascada temperatura-flujo; En el modo manual; se permite la manipulación de la válvula proporcional con el fin de efectuar pruebas de funcionamiento de la planta en lazo abierto.

El sistema de control en cascada regula la temperatura del fluido frío del intercambiador de calor manipulando el caudal del fluido caliente.

La señal de salida del proceso (temperatura del fluido frío) es comparada con una señal de referencia preestablecida por el usuario (temperatura deseada), si hay diferencia entre las señales comparadas, se genera un error que ajusta el set point del PID secundario (caudal) cuya señal de salida es comparada con la señal de referencia impuesta por el PID primario (temperatura) y a su vez, la señal de salida del controlador secundario ajusta la posición de la válvula solenoide permitiendo corregir rápidamente las variaciones de caudal del fluido caliente. (Ver Figura1).

Figura 1 Diagrama de bloques del sistema de control implementado.



Estas variables se ajustaran a través del panel de sintonización PID del software STEP 7 Micro/WIN, que es el software de programación de los PLC SIMATIC S7-200. Finalmente se mostrara la respuesta del proceso a través del sistema supervisorio en WINCC Flexible que es un programa diseñado para funcionar sobre computadores en el control de procesos proporcionando la comunicación con la parte operativa y la parte de control, controlando el proceso de forma automática desde la pantalla del ordenador.

La monografía está organizada de la siguiente manera:

En el capítulo 1 se realiza una descripción general del proceso.

Luego, en el capítulo 2 se describen los actuadores y captadores que se emplearon en la automatización de la planta piloto de intercambiador de calor.

En el Capítulo 3 se consigna el diseño de la automatización la cual incluye los modos de funcionamiento, el tipo de control y controlador utilizado, se describen los circuitos de control y potencia, así como el panel de control y el diagrama P&ID.

En el Capítulo 4 incluye el GRAFCET del proceso y la descripción de la programación del PLC por medio del software STEP 7 Micro/WIN.

En el Capitulo 5 Describe la implementación del sistema supervisorio y comunicación con el servidor OPC.

Finalmente en el Capitulo 6 Se realizan unas prácticas de laboratorio donde se aprecia la respuesta del sistema automatizado.

OBJETIVOS

General.

Automatizar la planta piloto de un intercambiador de calor empleando un Controlador Lógico Programable (PLC) S7200 Siemens con sistema supervisorio y protocolo de comunicación Profibus en la aplicación mono maestro con el PLC S7300 Siemens.

Específicos.

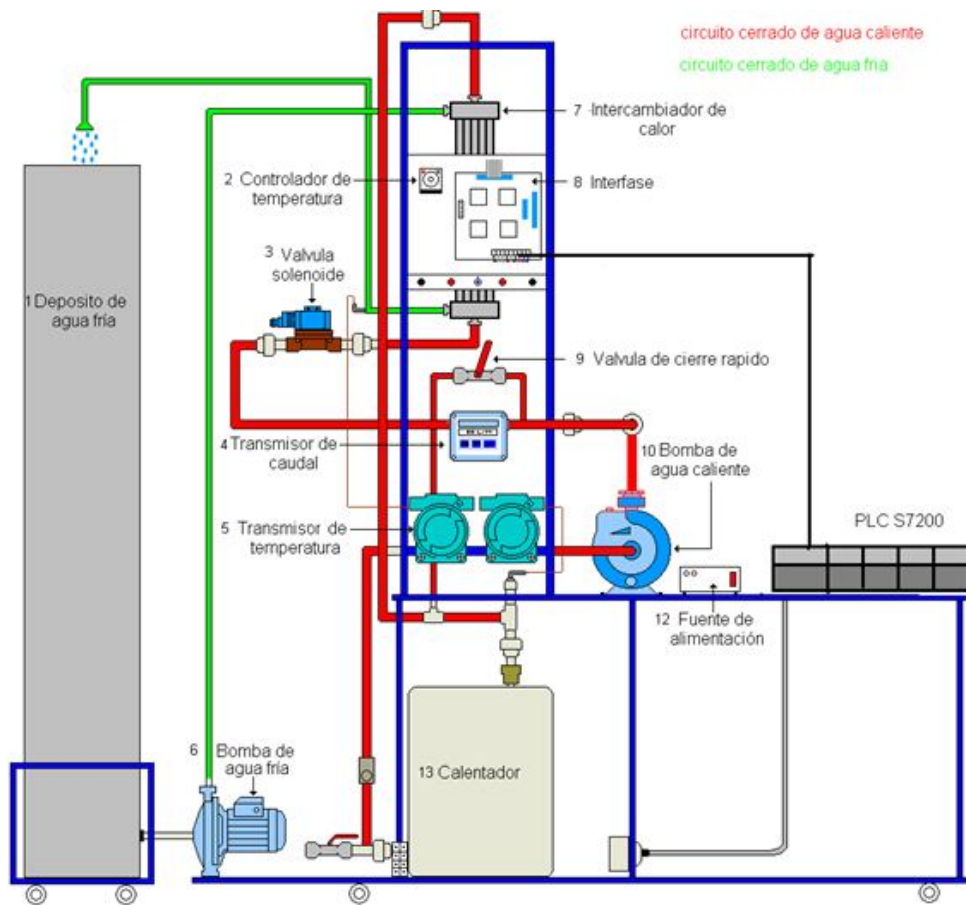
- Investigar el proceso de operación de la planta piloto para el control de temperatura.
- Definir las variables análogas y digitales para el funcionamiento del sistema mediante el estudio de las señales que se deseen controlar.
- Rediseñar los planos de los circuitos eléctrico y de control para llevar a cabo la automatización y supervisión la planta piloto.
- Construir el panel de control de acuerdo a los planos diseñados asegurando su buen funcionamiento en modo manual y automático.
- Diseñar el diagrama funcional normalizado o Grafica de Control de Etapas de Transición (GRAFCET) del proceso.
- Realizar la programación del PLC S7200 para el control de la planta y la comunicación con el S7300, mediante el software STEP7 MicroWIN de Siemens empleando el lenguaje Ladder.

- Elaborar el sistema supervisorio mediante el software WINCC flexible para supervisar el proceso.
- Establecer la comunicación entre el programa de control y el supervisorio mediante el estándar de comunicación OPC server.
- Realizar el manual de usuario y las respectivas guías de laboratorio del prototipo de utilidad para futuras prácticas.

CAPITULO 1: DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROCESO

El proceso consiste en una planta piloto de intercambiador de calor la cual se muestra en la Figura 2:

Figura 2 Planta piloto Intercambiador de Calor.



Consta de un circuito cerrado de agua caliente y un circuito cerrado de agua fría. El circuito de agua caliente se alimenta tomando el agua del calentador por medio de una bomba, haciéndola circular por el transmisor de flujo para poder controlar la rata de flujo y dependiendo del sistema de control la electroválvula permitirá o obstruirá el flujo de agua caliente a través de la tubería interna de intercambiador

retornando nuevamente al calentador. Además, consta de una válvula de cierre rápido la cual se encuentra conectada en un circuito cerrado en paralelo con el circuito antes descrito; cuya finalidad es simular una perturbación en el sistema.

El circuito de agua fría toma el agua del depósito de agua fría por medio de una bomba, haciéndola circular a través de la armadura del intercambiador de calor. El flujo de agua de salida del intercambiador pasa a través de la termocupla la cual se encuentra conectada con el transmisor de temperatura 1 con el fin de poder ser controlada y supervisada esta variable.

Finalmente, pasa a través del radiador el cual disminuye o mantiene la temperatura de salida para ser enviada nuevamente al depósito de agua fría. El depósito de agua fría consta de una válvula de globo para el desagüe del mismo.

El agua circulara en contracorriente a través del intercambiador de calor para que la transferencia de calor tenga una respuesta rápida.

El calentador consta de un circuito cerrado de control ON-OFF conformado por una termocupla conectada al controlador de temperatura y el sistema de contactos para el paso o cierre de corriente hacia las resistencias del calentador dependiendo de la señal de control. Además, consta de una termocupla adicional conectada con el transmisor de temperatura 2 con la finalidad de poder visualizar la temperatura del agua caliente. El calentador posee una válvula de cierre rápido para realizar el descargue del mismo.

La finalidad del control de temperatura de un intercambiador de calor es regular la temperatura de salida del fluido frío preestablecida por el usuario, manipulando el caudal del fluido caliente.

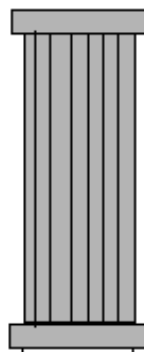
CAPITULO 2: DESCRIPCIÓN DE ACTUADORES Y CAPTADORES

A continuación se describen los actuadores y captadores empleados en la ejecución del proyecto, indicando el modo de funcionamiento y características principales.

2.1 Intercambiador de Calor

El intercambiador de calor es del tipo de tubos concéntricos tal como se muestra en la figura 3. La tubería interna del intercambiador es de $\frac{1}{2}$ " de diámetro y la externa de $\frac{3}{4}$ " de diámetro y 60cm de largo. Se encuentra diseñado de tal manera que los dos fluidos de agua fría y agua caliente circulen en contracorriente para aumentar la transferencia de calor. El fluido de agua caliente circula por la tubería interna del intercambiador y el fluido de agua fría circula por la armadura del mismo.

Figura 3 Sección transversal del intercambiador de calor

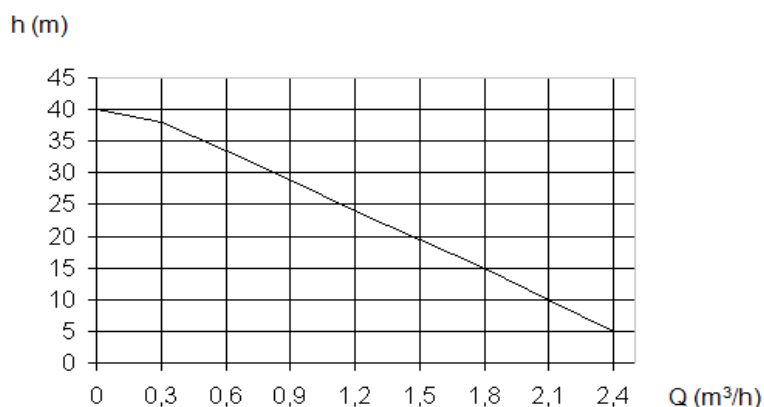


2.2 Bomba De Agua Fría

El circuito de agua fría consta de una bomba centrífuga, con la siguiente curva característica:

Posee una curva de funcionamiento estable, es decir, caracterizada por pequeñas variaciones del caudal suministrado frente a considerables variaciones de la presión pedida como se muestra en la figura 4.

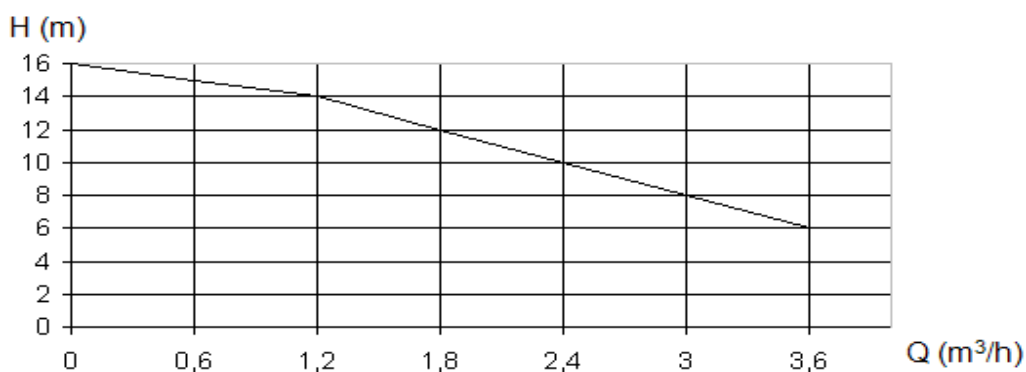
Figura 4 Curva de funcionamiento de la bomba PKm 60



2.3 Bomba De Agua Caliente

El circuito de agua caliente consta de una bomba, con la siguiente curva característica Ver Figura 5:

Figura 5 Curva de funcionamiento de la bomba CPM-100



2.4 Calentador

El calentador presenta las siguientes características:

Capacidad: 15 galones

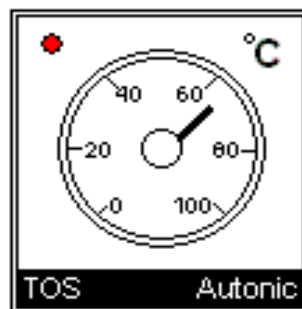
Potencia: 1800W hasta 80°C

Para evitar el contacto del agua con el metal, la pared interna del tanque está protegida contra la corrosión por medio de un recubrimiento especial de alta eficiencia; además consta de un sistema electroquímico de ánodo de magnesio. El control de la temperatura del calentador se realiza por medio de un controlador ON –OFF el cual esta ajustado para mantener una temperatura de 80°C.

2.5 Controlador de Temperatura

El controlador de temperatura como su nombre lo indica es para controlar para calentador como se muestra en la figura 6:

Figura 6 Controlador de Temperatura



Presenta las siguientes características:

Marca: AUTONICS Modelo: TOSB4RJ2C

Alimentación: 110/220 VAC 50/60 Hz

Consumo: 2VA

Rango de operación: 0-200°C

Periodo: 20seg fijo

Salida por relay: 250VAC 2A

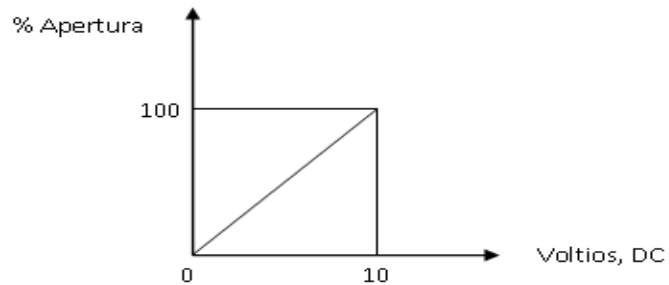
Salida SSR: 12VDC \pm 2V Carga 20mA Max.

El controlador de temperatura desconecta el calentador cuando el agua alcanza una temperatura de 75.5°C y lo conecta cuando la temperatura baja hasta 74.5°C.

2.6 Válvula Proporcional Servoaccionada

La Válvula proporcional, su apertura y cierre, se logra mediante la regulación progresiva de la corriente de la bobina. Al aumentar la corriente de la bobina a partir de cierto punto la fuerza de tracción de la bobina será mayor que la fuerza contraria del resorte de cierre. El inducido se eleva y abre el orificio piloto en el diafragma, que debido al efecto servo sigue el movimiento del inducido. Cuando la corriente de la bobina alcanza su valor máximo, la válvula está totalmente abierta. Con la regulación progresiva de la corriente de la bobina, el inducido puede ser colocado usualmente en cualquier posición dentro del tubo del inducido y la válvula puede ser fijada en cualquier posición que vaya de totalmente abierta a totalmente cerrada. Posee un convertidor de señales que regula la corriente de la bobina de manera que sea proporcional a la señal de entrada (señal piloto). La relación entre la señal piloto y el caudal es proporcional a todo lo largo del campo de regulación.

Figura 7 Característica de la válvula proporcional



Las principales características de la válvula son:

Tensión de alimentación: 24VDC

Señal piloto estándar: 0-10 VDC

Régimen de caudal para agua: 0.57 – 15.8 m³/h

Se utiliza en agua, aceite y otros líquidos neutros similares.

Temperatura ambiente: entre 25°C y 50°C

Régimen de trabajo continuo

Se puede utilizar para la regulación del caudal progresivo en plantas industriales.

El cuerpo de la válvula es de bronce y el resto en acero inoxidable; tiene una conexión de ½" y un $K_V = 2.1 \text{ m}^3/\text{h}$, la presión diferencial permitida es de 0.5 bares (mínimo) y 10 bares (máximo), la temperatura ambiente oscila entre -25°C y 50°C y la temperatura del medio entre -10°C y 80°C

2.7 Termocuplas

En la planta piloto se utilizan tres termocuplas tipo J (hierro y constantan), las cuales están protegidas cada una por un termopozo como se muestra en la

figura 8. La primera capta la temperatura a la salida del fluido frío del intercambiador y las otras dos sensan la temperatura del agua del calentador, una de las señales es visualizada para monitorear la temperatura y la otra es utilizada por el controlador de temperatura del mismo.

Figura 8 Termocupla Tipo J y Termopozo

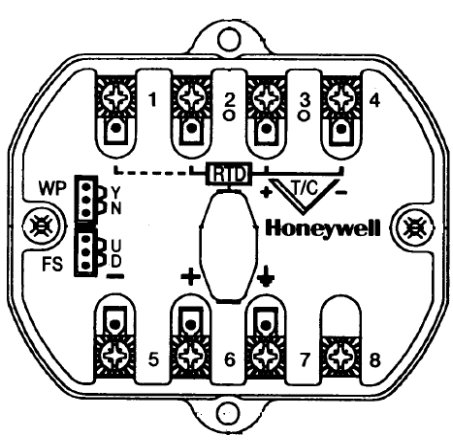


2.8 Transmisores

2.8.1 Transmisor De Temperatura.

Los transmisores utilizados para captar las señales de temperatura en el calentador y en el intercambiador de calor, son transmisores inteligentes de temperatura marca Honeywell STT 3000 versión 350 como se muestra en la siguiente figura:

Figura 9 Transmisor de temperatura.



Poseen las siguientes características:

Temperatura limite: -10 a 85°C

Alimentación: 11 – 42 VDC

Salida: 4-20 mA.

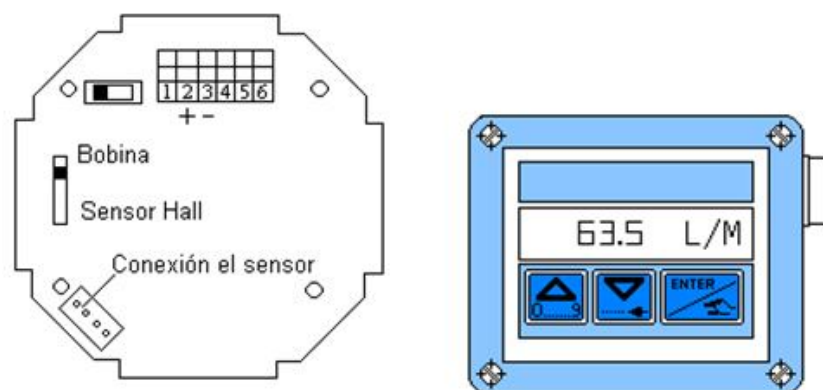
Calibración: 0 a 100°C (para la Termocupla a la salida del transmisor) y 0 a 100°C (para la Termocupla del calentador).

Los transmisores constan de jumpers de seguridad (FS) contra fallas del sensor, los cuales llevan la señal a un valor máximo (21.8mA) o a un valor mínimo (3.8mA) dependiendo de su posición.

2.8.2 Transmisor De Caudal.

Se empleó el transmisor de flujo tipo 8035 marca Burkert para sensor el caudal a través de la tubería de agua caliente como se muestra en la figura 10.

Figura 10 Transmisor de Caudal



El principio de medición de este transmisor consiste en cuatro imanes incorporados en cada una de las paletas rotativas del sensor; cuando el agua fluye a través de la tubería el movimiento de rotación de las paletas induce un voltaje en

una bobina captadora exterior. La frecuencia de esta señal es proporcional a la velocidad del fluido. Un coeficiente de conversión específico para cada tubería (tamaño y material) permite la conversión de esta frecuencia en unidades de flujo.

Las especificaciones de este transmisor son las siguientes:

Voltaje de alimentación: 12-30 VDC

Temperatura ambiente: 0 – 60°C

Humedad relativa: 80%

Error:

Con calibración en línea (Teach in) $\leq \pm 0.5\%$ F.S. a 10m/s

Con Factor K estándar (tabla) $\leq \pm (0.5\%$ F.S. +2.5% of Reading)

Linealidad: $\leq \pm 0.5\%$ F.S. a 10m/s

Repetibilidad: 0.4% o. R

Señal de salida: 4 – 20 mA.

Carga: máx. 500Ω a 24VDC

El sensor está fabricado en bronce y resiste una temperatura entre 0 –100°C.

Máxima viscosidad del fluido: 300 cST

Máximo contenido de sólidos: 1% por volumen

2.9 Controlador Lógico Programable.

El PLC utilizado es el S7 200 de Siemens como se muestra en la figura 11. Estará ubicado en el banco acondicionado en una base donde estarán conectadas sus entradas y salidas así como su alimentación en dos conectores Centronics respectivamente para mayor facilidad de conectarse con la plana piloto. A continuación se presentan los datos técnicos más importantes del PLC con CPU 224:

Posee 14 entradas y 10 salidas digitales.

2 potenciómetros analógicos.

Posee el puerto de comunicación RS 485.

Protocolo asistido Puerto 0: PPI, MPI esclavo, Freeport.

Posee 256 relés internos, 256 relés de control secuencial y 256 Contadores/temporizadores.

Modulo de ampliación de Entradas/Salidas analógicas: 4E/1S.

Figura 11. Banco del PLC S7-200 Siemens



CAPITULO 3: DISEÑO DE LA AUTOMATIZACIÓN

La automatización industrial comprende tres etapas las cuales son la parte operativa o proceso que se desea controlar, la parte de control o controlador utilizado para gobernar la parte operativa de la manera deseada y la parte de supervisión del sistema que servirá de interfaz entre el operador y el sistema automatizado que se conoce como interfaz hombre maquina.

Para el diseño de la automatización de la planta piloto de intercambiador de calor, se tuvieron en cuenta las siguientes especificaciones:

La planta tendrá la posibilidad de ser controlada por dos modos de funcionamiento: modo manual y modo automático. En modo automático, el PLC controlara la planta a lo contrario de modo manual, las variables se manipulan libremente.

Para el control de temperatura se utilizara la estrategia de control PID en cascada flujo-temperatura.

El panel de operación poseerá todos los elementos para el arranque manual de la planta como son los pulsadores, indicadores pilotos, y los preactuadores como son los relés y el contactor.

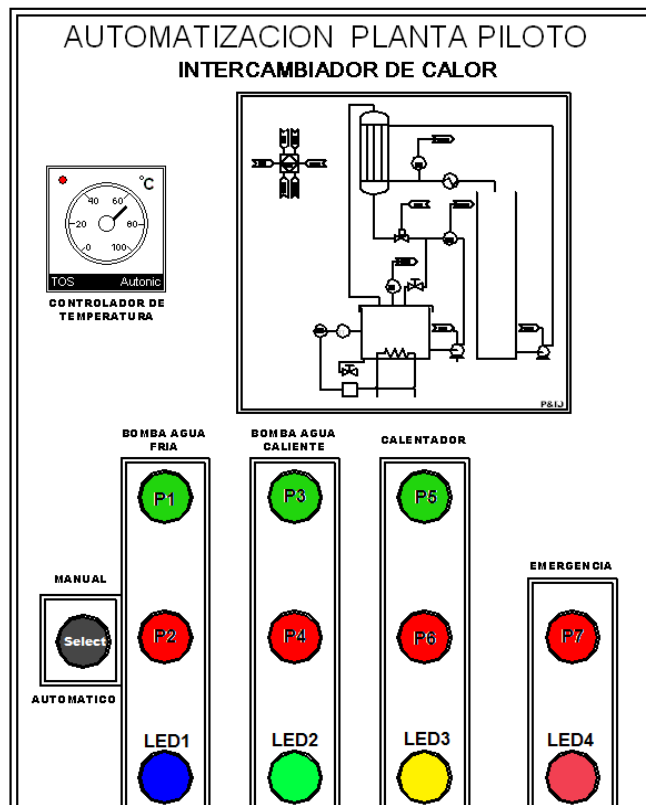
La supervisión del proceso será realizada por medio de un computador y el software HMI WINCC flexible.

A través de una red Profibus se conectara con un PLC S7 300 SIEMENS para la supervisión con el sistema SCADA WINCC 6.2.

3.1 Diseño Del Panel De Operación.

El diseño del panel de operación se realizó teniendo en cuenta las variables a controlar en el proceso como son las bombas de agua fría y agua caliente, el encendido del calentador con su sistema de control, además, poder ser visualizadas las variables de temperatura de agua caliente, fría, el caudal de agua caliente y la apertura o cierre de la electroválvula. El diseño del panel de operación se muestra a continuación:

Figura 12 Panel de Operación Principal.

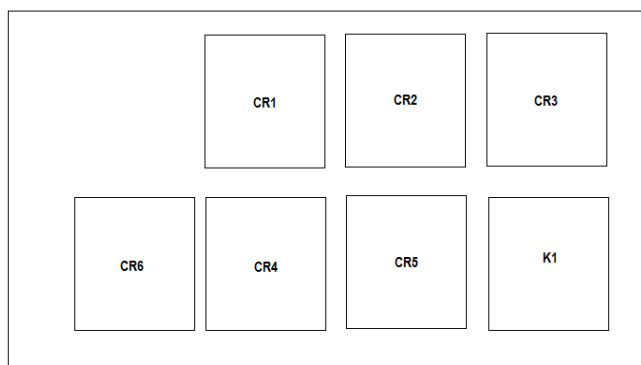


En el panel se muestra los pulsadores para el encendido y apagado de las bombas de agua fría P1 y P2 respectivamente, agua caliente P3 y P4 respectivamente y el calentador P5 y P6 respectivamente. Además posee un pulsador de parada de

emergencia P7 , el cual, detendra todo el proceso. El encendido o apagado de cada actuador sera visualizado a traves de pilotos de colores azul para la bomba de agua fria, verde para la bomba de agua caliente, amarillo para el calentador y rojo para parada de emergencia.

Tambien, se dispuso de un selector de 2 posiciones para activar el modo manual o automatico de la planta, ademas, se coloco el controlador de temperatura para poder accionar el set point del calentador y se muestra el diagrama P&ID del proceso a controlar.

Figura 13 Disposición de Relés en el Panel de Operación lateral izquierdo.

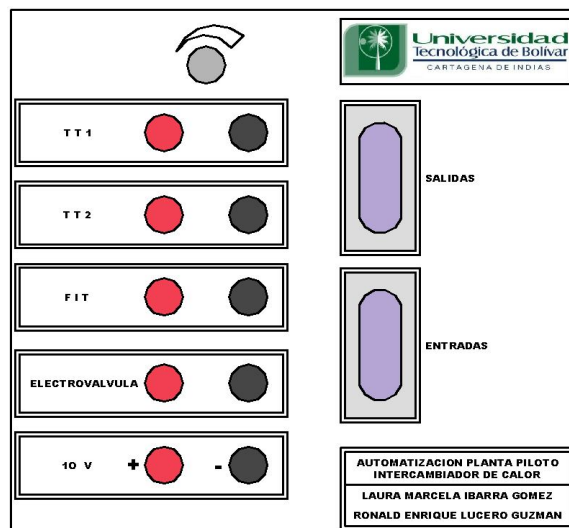


En la figura 13, se muestra la disposición de los relés utilizados en la planta piloto para los dos modos de funcionamiento en el panel lateral izquierdo. El relé CR1 activa el circuito cerrado de control ON-OFF del calentador y el contactor K1. El relé CR2 y CR4 activan la bomba de agua fría y el piloto azul en modo manual y automático respectivamente así como CR3 y CR5 activan la bomba de agua caliente y el piloto verde en modo manual y automático respectivamente.

En el panel lateral derecho, se diseño de tal manera que las variables del proceso se pudieran visualizar y controlar a través, del PLC S7-200 o una tarjeta de

adquisición de datos. En la figura 14, se muestra la disposición de las variables en borneras comenzando de arriba hacia abajo por TT1 (Transmisor de temperatura agua fría), TT2 (Transmisor de temperatura agua caliente), FIT (Transmisor e indicador de flujo), electroválvula y una fuente de 10VDC para el control de la apertura y cierre de la electroválvula libremente por medio del potenciómetro ubicado en la parte superior. Además, se colocaron los conectores Centronics para las entradas (Conector macho) y salidas de la señales (conector hembra) hacia el PLC S7-200.

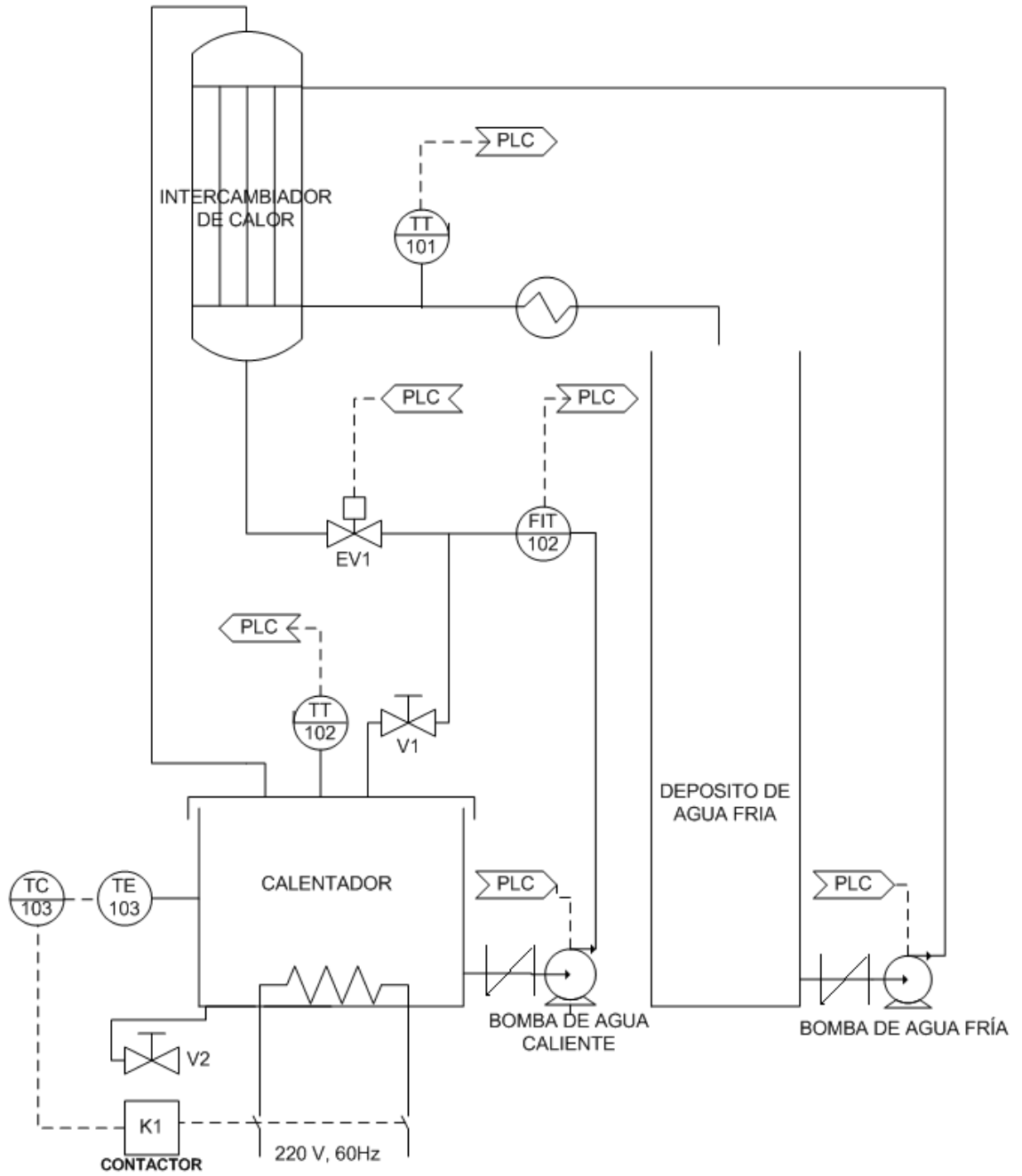
Figura 14 Panel de Operación Lateral



3.2 Diagrama P&ID

El diagrama de instrumentación de la planta piloto intercambiador de calor (Ver Figura15), muestra el tipo de señales empleadas, la secuencia de componentes interconectadas y la instrumentación empleada, basadas en las normas emitidas por la Sociedad Internacional de Automatización (International Society of Automation-ISA) reconocidos en la industria.

Figura 15 Diagrama de instrumentación



A continuación se define las variables y símbolos utilizados en el diagrama de instrumentación. (Ver tabla 1).

Tabla 1 Elementos del P&ID

Elementos del diagrama P&ID		
Instrumento	Símbolo	Lazo de control
Transmisor de temperatura agua fría	TT	101
Transmisor de temperatura agua Caliente	TT	102
Transmisor indicador de flujo	FIT	102
Electrovalvula	EV	
Bomba agua fría	Bomba agua fría	
Bomba agua caliente	Bomba agua caliente	
Controlador de temperatura	CT	103
Termocupla	TE	103
Valvula de cierre rapido	V1, V2	
Contactador	K1	

3.3 Conexionado y cableado

El conexionado y cableado del automatismo de los dos modos de funcionamiento se describe a continuación.

3.3.1 Modo Manual.

En modo manual es posible manipular la temperatura de salida aplicando un voltaje a la válvula solenoide por medio de una fuente variable de 10V. La temperatura deseada se podrá apreciar por medio de un multímetro valores de voltajes comprendidos de 2-10VDC en el panel lateral derecho a través de las borneras o por medio del sistema supervisorio en WinCC flexible, correspondientes a temperaturas de 0-100°C.

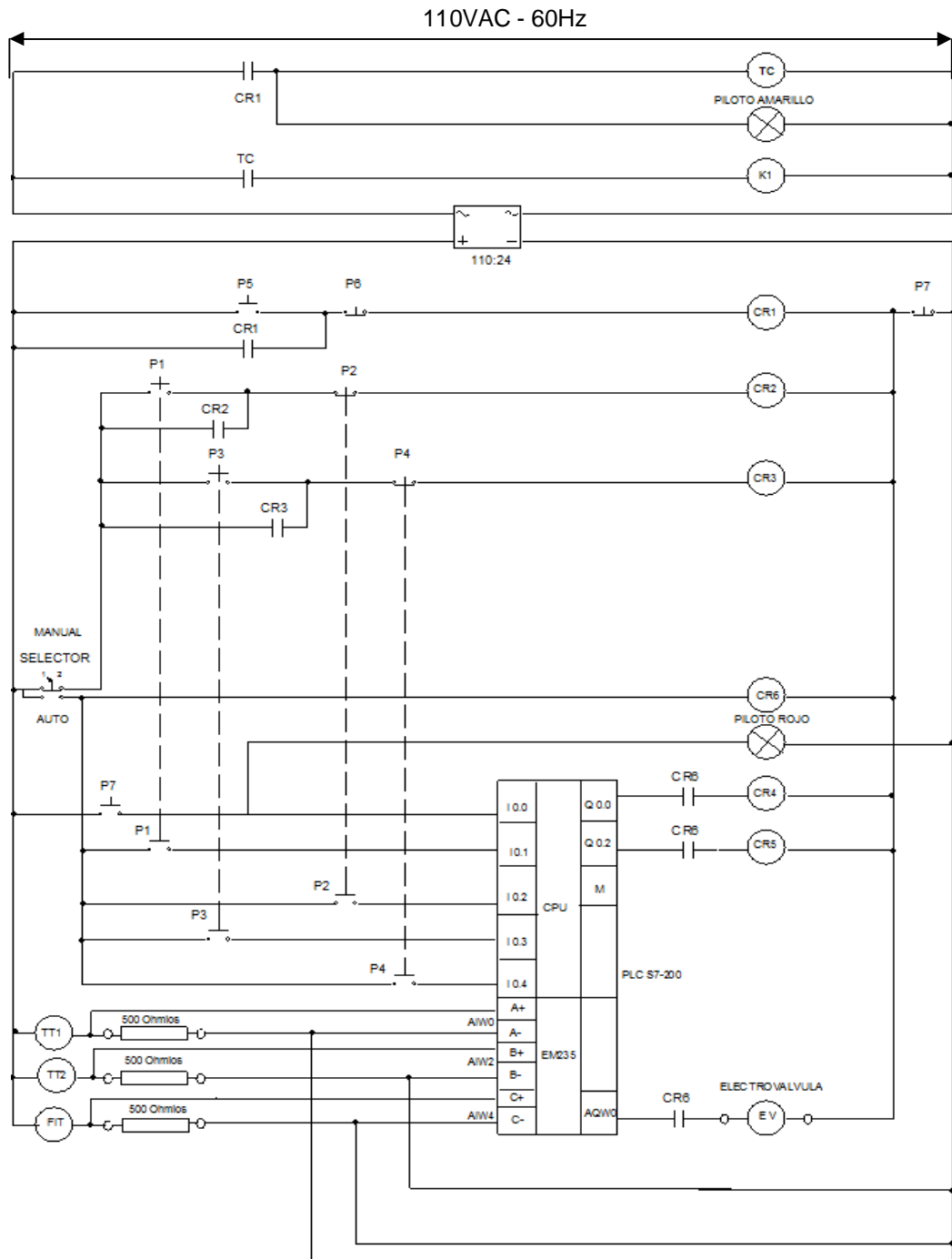
En la tabla 2, se aprecia la configuración en modo manual de los pulsadores

Tabla 2 Configuración del Modo Manual

CONFIGURACIÓN DE MODO MANUAL					
Pulsadores	Función	Tipo de Contacto	Relé	Contactora	Acciona
P1	Enciende Bomba agua fría	NO (Normalmente abierto) Verde	CR2		Enciende/Apaga bomba de agua fría
P2	Apaga Bomba agua fría	NC (Normalmente cerrado) Rojo			
P3	Enciende Bomba agua Caliente	NO (Normalmente abierto) Verde	CR3		Enciende/Apaga bomba de agua caliente
P4	Apaga Bomba agua Caliente	NC (Normalmente cerrado) Rojo			
P5	Enciende Calentador	NO (Normalmente abierto) Verde	CR1	K1	Sistema de control de temperatura del calentador
P6	Apaga Calentador	NC (Normalmente cerrado) Rojo			
P7	Apaga el proceso	NC (Normalmente cerrado) Rojo tipo hongo			Apaga bomba de agua caliente, bomba de agua fría y sistema de control de temperatura del calentador.

En el modo manual, los pulsadores P1 y P2 encienden la bomba de agua fría con el piloto azul, los pulsadores P3 y P4 encienden la bomba de agua caliente con el piloto verde, los pulsadores P6 y P7 encienden el lazo cerrado de control ON-OFF del calentador y el piloto amarillo. Por último, el pulsador de parada de emergencia detendrá el proceso desenergizando las bombas y el calentador y encendiendo el piloto rojo. En la siguiente figura se muestra el circuito eléctrico de control para los dos modos de funcionamiento.

Figura 16 Circuito eléctrico de control para modo manual y modo automático.

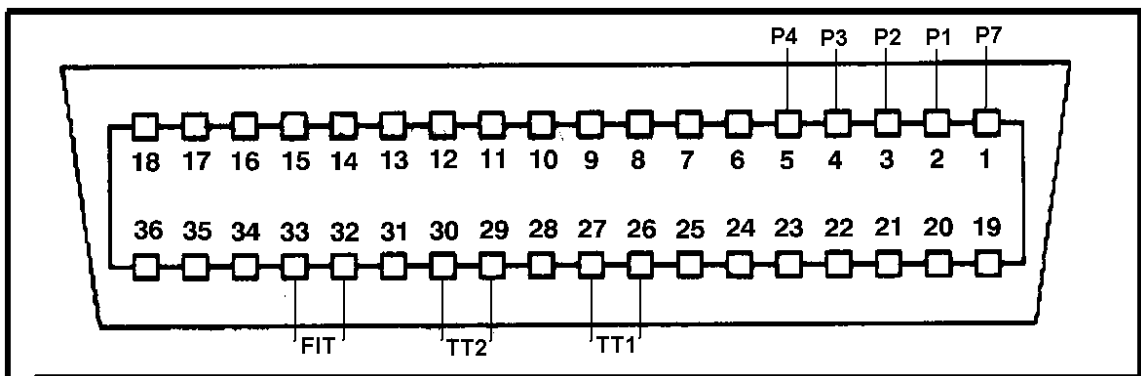


3.3.2 Modo automático

En el modo automático, a diferencia del manual, este control se realizara por medio de un controlador lógico programable que ajusta el voltaje de la electroválvula dependiendo de las lecturas de los transmisores para alcanzar el set point que ha dispuesto el usuario. En la figura 16 se muestra el circuito eléctrico de control para modo manual y automático.

Al igual que en el modo manual, los pulsadores P1 y P2 encienden la bomba de agua fría con el piloto azul, los pulsadores P3 y P4 encienden la bomba de agua caliente con el piloto verde, los pulsadores P6 y P7 encienden el lazo cerrado de control ON-OFF del calentador y el piloto amarillo. Las direcciones de las señales de entrada en el PLC enviadas por los pulsadores, los transmisores y la salida del PLC se describen en las tablas 3 y 4 así como los puntos de conexión en el conector Centronics de entrada y salida de la planta piloto.

Conector Centronics entradas al PLC (Cable Hembra/Hembra).



Conector Centronics salidas al PLC (Cable Macho/Macho).

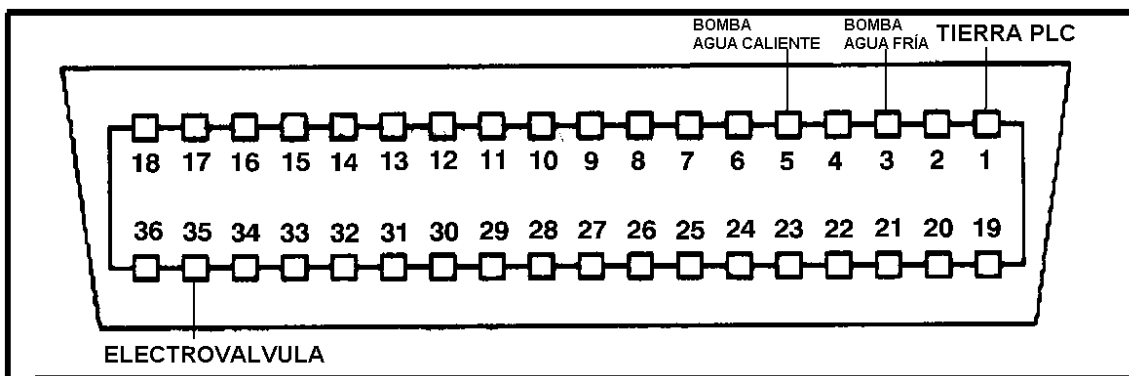


Tabla 3 Configuración de las entradas del modo automático

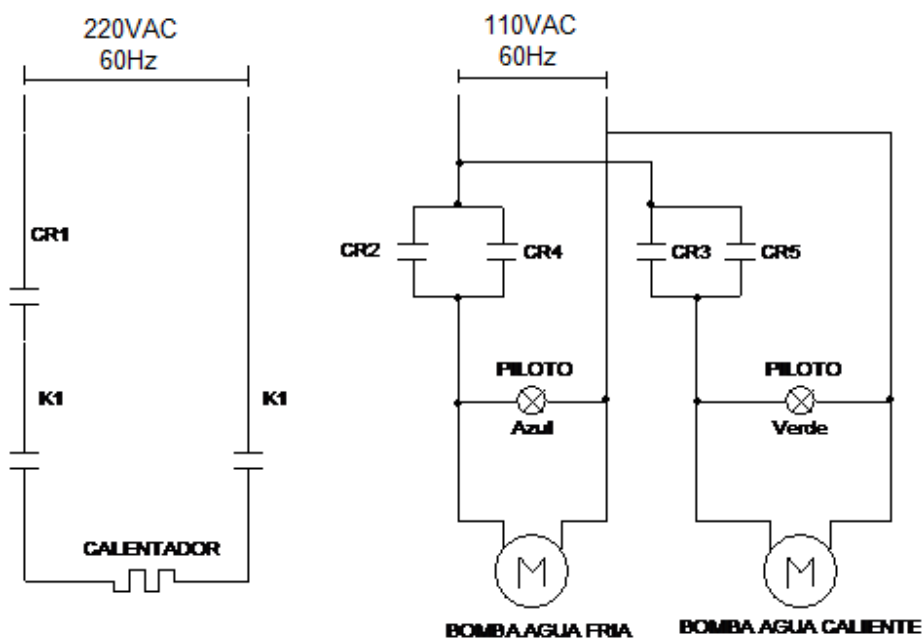
CONFIGURACIÓN DE MODO AUTOMÁTICO ENTRADAS						
Función	Símbolo	PIN conector Centronic/ Entrada	Entradas al PLC		Tipo de Contacto	Relé
Pulsador parada de emergencia	P7	1	I0.0		NC (Normalmente cerrado) Rojo	
Pulsador Enciende Bomba agua fría	P1	2	I0.1		NO (Normalmente abierto) Verde	CR4
Pulsador Apaga Bomba agua fría	P2	3	I0.2		NC (Normalmente cerrado) Rojo	
Pulsador Enciende Bomba agua Caliente	P3	4	I0.3		NO (Normalmente abierto) Verde	CR5
Pulsador Apaga Bomba agua Caliente	P4	5	I0.4		NC (Normalmente cerrado) Rojo	
Transmisor de temperatura agua fría	TT1	26	A+	AIW0		
		27	A-			
Transmisor de temperatura agua caliente	TT2	29	B+	AIW2		
		30	B-			
Transmisor e indicador de flujo	FIT	32	C+	AIW4		
		33	C-			

Tabla 4 Configuración de las salidas del modo automático

Función	Simbolo	Salidas del PLC		PIN conector Centronic/salidas
Electrovalvula	EV	V0	AQW0	35
Tierra del PLC	M	M		1
Bomba agua fria			Q0.0	3
Bomba agua caliente			Q0.2	5

A continuación se muestra en la figura 18, el circuito eléctrico de potencia donde las bombas al igual que los pilotos y el circuito de control ON-OFF del calentador se energizan con 110VAC, mientras, el calentador se energiza con 220VAC.

Figura 17 Circuito eléctrico de potencia.

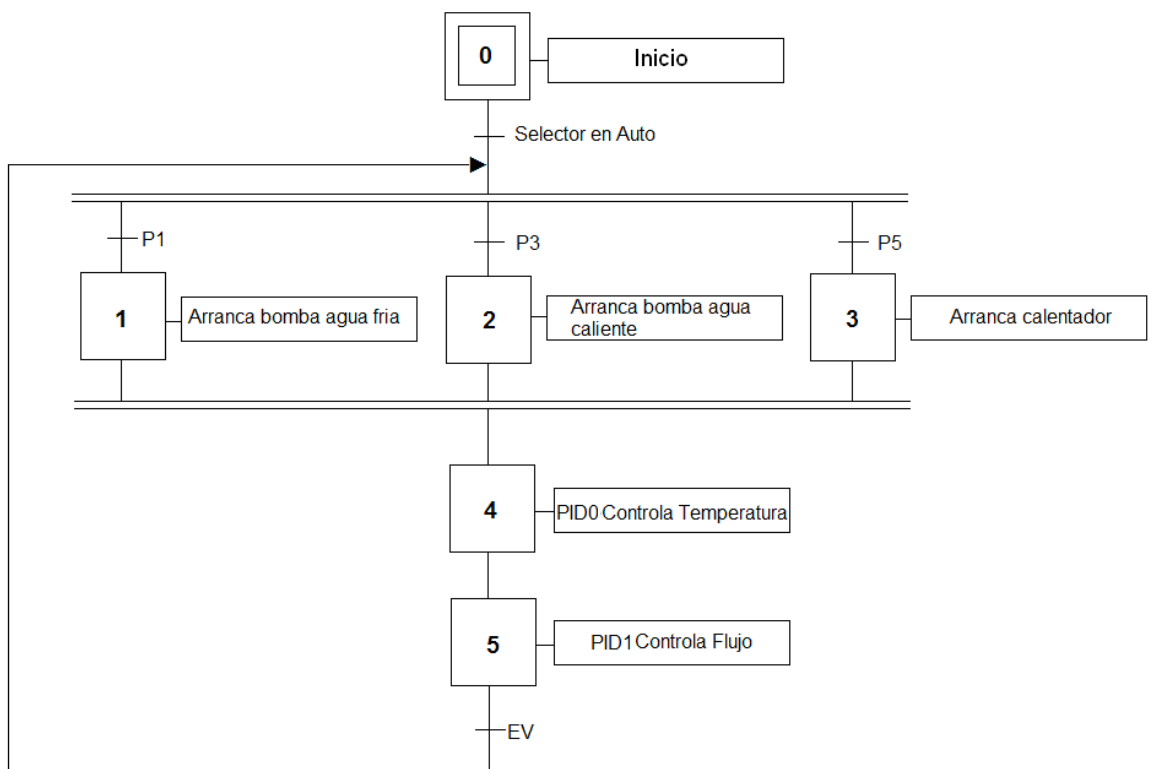


CAPITULO 4: PROGRAMACIÓN DEL SISTEMA

4.1 GRAFCET del Proceso

Gráficamente se describen las especificaciones desarrolladas por el automatismo tomando como base el GRAFCET (Graphe de commande etape-transition) o Grafico de Mando Etapa-Transición, que utilizará en la elaboración del programa del autómatas S7-200 (Ver Figura 18)

Figura 18 GRAFCET del Proceso.



Ya diseñada la lógica que el automatismo tiene que seguir, hay que hallar la forma de explicarle al PLC a fin que pueda entender y ejecutar las acciones requeridas.

La programación del autómatas se realizó según el diagrama de relés o esquema de contactos (KOP) mediante el software del PLC de la serie S7 200 de Siemens, STEP7/ Micro/WIN debido a la semejanza con los esquemas de relés utilizados en los automatismos eléctricos de lógica cableada

4.2 Requisitos de funcionamiento

Para poder controlar el funcionamiento de la planta piloto de intercambiador de calor, es necesario disponer de:

Controlador lógico programable S7 200 de Siemens, cables y conectores de bus para comunicación.

Software de programación STEP7/ Micro/WIN de Siemens y cable de conexión a PC.

4.3 Software de Programación del PLC S7-200 de Siemens.

La programación se realizó con STEP7/ Micro/ 32, Versión 4.0 que se ejecuta bajo Windows y permite programar el PLC, configurando el sistema y supervisando el proceso durante su ejecución.

El autómatas se conecta al ordenador a través de un cable conversor de norma RS-485 a USB. Una vez establecida la comunicación, se utilizó el editor KOP o esquema de contactos para realizar la programación de la planta piloto.

4.4 Módulo de ampliación EM 235

Está acoplado un módulo de ampliación EM 235, con 3 entradas analógicas AI y una salida analógica AQ.

Las entradas analógicas se configuran mediante los interruptores DIP incluidos en el módulo, para un margen de tensión de 0-5V o 0-10V. La salida proporciona un margen de tensión de $\pm 5V$ o $\pm 10V$ según la selección.

4.5 Programación del PLC para el control de temperatura.

El sistema de control en cascada¹ regula la temperatura del fluido frío del intercambiador de calor manipulando el caudal del fluido caliente.

La señal de salida del proceso (temperatura del fluido frío) es comparada con una señal de referencia preestablecida por el usuario (temperatura deseada), si hay diferencia entre las señales comparadas, se genera un error que ajusta el set point del asistente de operaciones PID (caudal) cuya señal de salida es comparada con la señal de referencia impuesta por el PID primario (temperatura) y a su vez, la señal de salida del controlador secundario ajusta la posición de la válvula solenoide permitiendo corregir rápidamente las variaciones de caudal del fluido caliente.

A continuación se muestran las variables utilizadas en la programación y la dirección en memoria de la CPU:

Tabla 5 Definición de las entradas utilizadas en la programación.

Entradas	Lógica	Dirección	Comentario
P1	Positiva	I0.1	Enciende bomba agua fría
P2	Positiva	I0.2	Apaga bomba agua fría
P3	Positiva	I0.3	Enciende bomba agua caliente
P4	Positiva	I0.4	Apaga bomba agua caliente
	Positiva	M8.1	Supervisorio enciende bomba agua fría
	Positiva	M8.2	Supervisorio apaga bomba agua fría
	Positiva	M8.3	Supervisorio Parada de Emergencia
	Positiva	M8.4	Supervisorio enciende bomba agua caliente
	Positiva	M8.5	Supervisorio apaga bomba agua caliente
TT1	Positiva	AIW0	Transmisor de temperatura agua fría
TT2	Positiva	AIW2	Transmisor de temperatura agua caliente
FIT	Positiva	AIW4	Transmisor e indicador de caudal

¹ ORTIZ Jose y VALDERRAMA Gustavo "Control de Temperatura de un Intercambiador de Calor". Cartagena, 2003 Trabajo de grado (Ingeniero Electricista Universidad Tecnológica de Bolívar

Tabla 6 Definición de las salidas utilizadas en la programación.

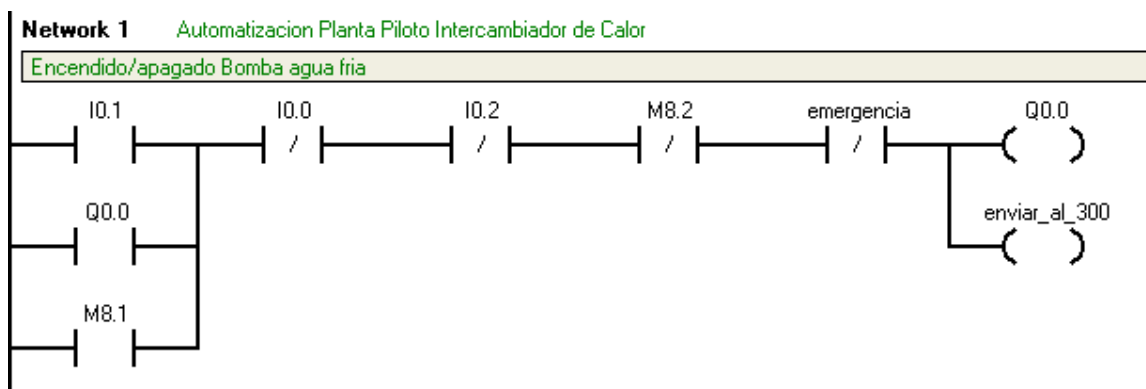
Salidas	Lógica	Dirección	Comentario
Bomba agua fría	Positiva	Q0.0	Señal de salida, activa CR4
Bomba agua caliente	Positiva	Q0.2	Señal de salida, activa CR5
Electroválvula	Positiva	AQW0	Salida de Voltaje de 0-10V
	Positiva	V1016.0	Enviar al S7-300 señal de salida bomba agua fría
	Positiva	V1017.0	Enviar al S7-300 señal de salida bomba agua caliente

Tabla 7 Lógica de las variables empleadas.

Lógica	Dirección	Comentario
Positiva	VW1026	Enviar el valor de MW28 al S7-300
Positiva	MW28	Consigna del lazo 0
Positiva	VD40	Valor en doble entero de la consigna del lazo 0
Positiva	VD60	Valor en real de la consigna del lazo 0
Positiva	VW64	Salida PID0
Positiva	VW112	Salida PID1
Positiva	VD66	Valor en doble entero de la salida del lazo 1
Positiva	VD70	Valor en Real de la Salida del lazo 1
Positiva	VD250	Valor escalonado FIT
Positiva	VD1024	Enviar el valor de VD250 al S7-300
Positiva	VW102	Valor escalonado TT2
Positiva	VW1030	Enviar el valor de VW102 al S7-300
Positiva	VW106	Valor escalonado TT1
Positiva	VW1018	Enviar el valor de VW106 al S7-300
Positiva	VD208	Valor escalonado Electroválvula
Positiva	VD1032	Enviar el valor VD208 al S7-300
Positiva	VD216	Valor de la consigna en modo manual del PID 0
Positiva	M8.6	Define modo manual o automatico del PID 0
Positiva	VD224	Valor de la consigna en modo manual del PID 1
Positiva	M8.7	Define modo manual o automatico del PID 1

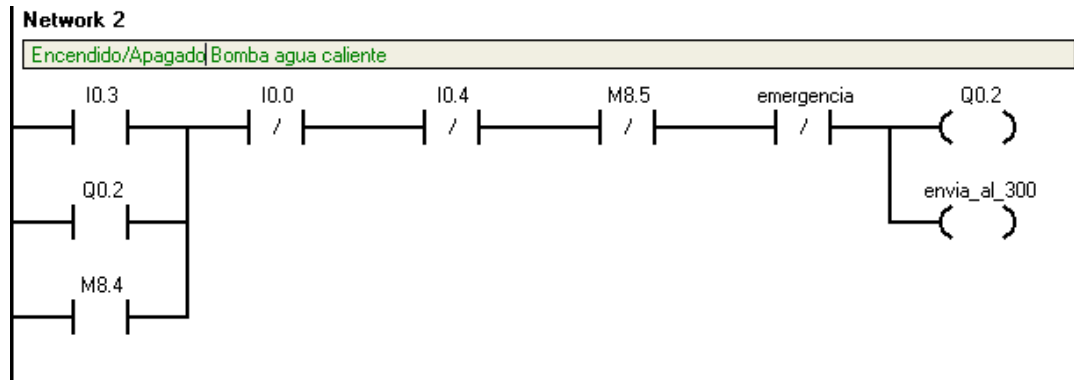
A continuación se describen cada uno de los segmentos del programa principal:

Network 1: explica la programación de la marcha-stop para la bomba de agua fría. Se define las entradas del PLC I0.1, I0.2 correspondientes a los pulsadores P1 y P2 respectivamente, las cuales activan o desactivan bomba agua fría, además se crean las marcas M8.1 y M8.2 que funcionaran como relés internos de control, los cuales, tendrán las mismas funciones que P1 y P2 para activar o desactivar bomba agua fría (Q0.0) desde el supervisorio; porque las entradas del PLC no podrán ser escritas a menos que sean forzadas o que envíen una señal desde los pulsador. La marca M8.3 funcionara como botón de emergencia virtual, el cual, sus valores podrán ser escritos desde el supervisorio, deteniendo el proceso y I0.0 es la señal del pulsador de parada de la planta piloto. La variable V1016.0 se crea con la finalidad de enviar la señal al S7-300

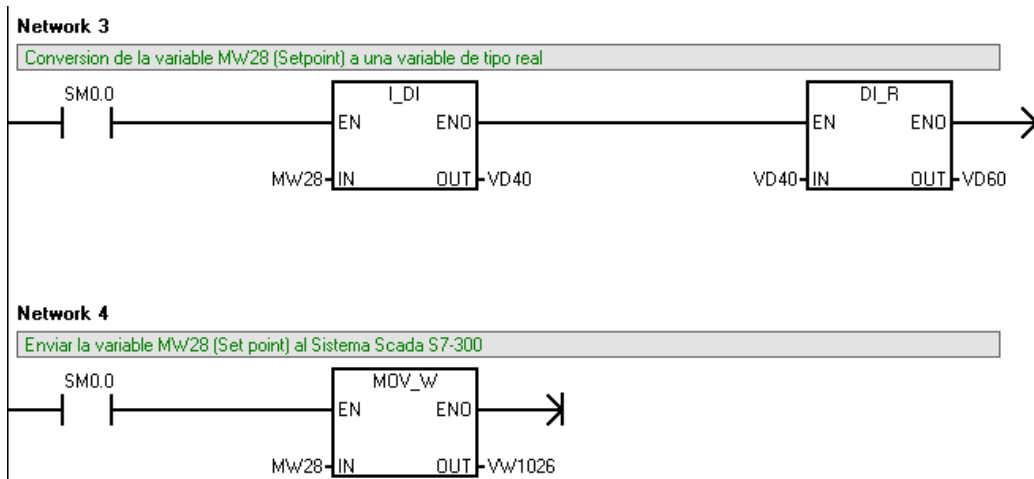


Network 2: explica la programación de la marcha-stop para la bomba de agua caliente. Se define las entradas del PLC I0.3, I0.4 correspondientes a los pulsadores P3 y P4 respectivamente, las cuales activan o desactivan bomba agua caliente (Q0.2), además se crean las marcas M8.4 y M8.5 que funcionaran como relés internos de control, los cuales, tendrán las mismas funciones que P3 y P4 para activar o desactivar bomba agua caliente (Q0.2) desde el supervisorio; porque las entradas del PLC no podrán ser escritas a menos que sean forzadas o que envíen una señal desde los pulsador. La marca M8.3 funcionara como botón de emergencia virtual, el cual, sus valores podrán ser escritos desde el

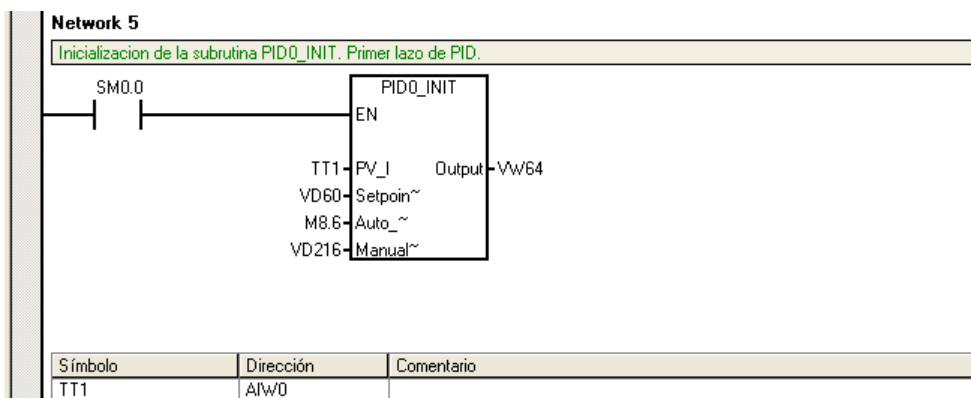
supervisorio, deteniendo el proceso y I0.0 es la señal del pulsador de parada de la planta piloto. La variable V1017.0 se crea para ser supervisado por el S7-300.



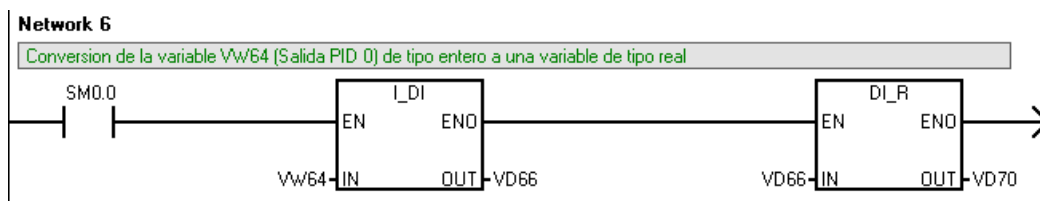
Network 3 y 4: la variable MW28 es el set point para el PID primario pudiendo ser controlada por el S7-200 y el S7-300. Se convierte a un valor real por estar definida la variable de entrada del set point del PID primario de tipo real. El programa no permite la conversión directa de entero a real sino de doble entero a real. Asignando la dirección de memoria VD60 como set point. Se transfiere el valor de MW28 correspondiente al valor del set point manipulado por el S7-200 a la variable VW1026.0 para ser monitoreada por el S7-300.



Network 5: se asigna la marca especial SM0.0 la cual activa, tendrá siempre un valor de 1, que será la entrada de activación para la subrutina PID primario. La entrada del lazo o variable del proceso PV_I o TT1 que corresponde a un valor de tipo entero comprendido entre 6400 y 32000, es la entrada analógica AIW0 del transmisor de temperatura de agua fría. La consigna del lazo es VD60. La salida del lazo es definida como una variable tipo entero VW64 de 0-32000bit. Se habilitara el modo de operación del PID manual/automático a través de la marca M8.6 y se consignara el valor en modo manual en VD216.

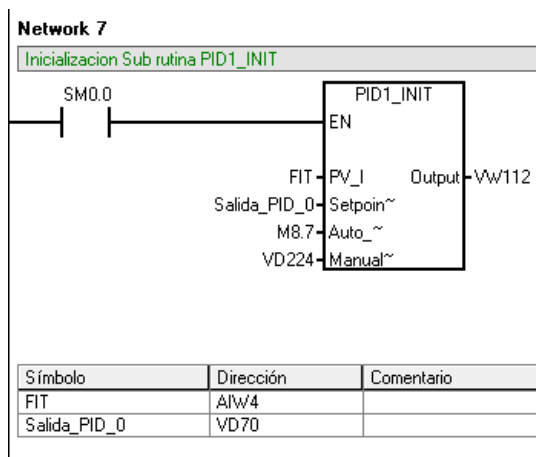


Network 6: se convierte el valor de la variable VW64 de tipo entero a tipo real por ser la consigna del lazo secundario PID. El programa no cuenta con la conversión directa de entero a real sino de doble entero a real. Al resultado, se asigna el espacio en memoria VD70.

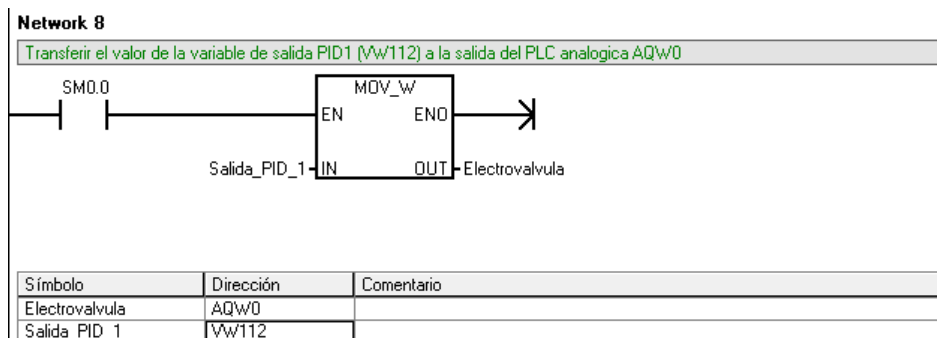


Network 7: Se asigna la marca especial SM0.0 la cual activa, tendrá siempre un valor de 1, que será la entrada de activación para la subrutina PID secundario. La

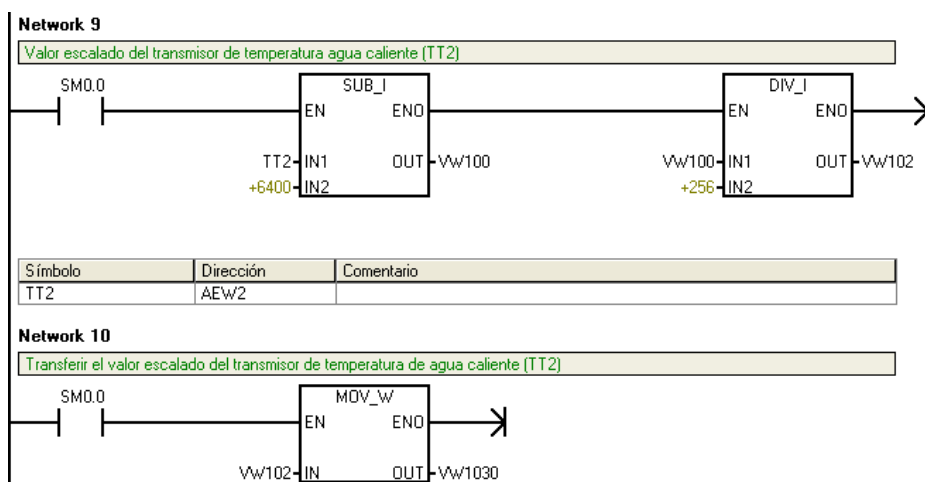
entrada del lazo o variable del proceso PV_I o FIT que corresponde a un valor de tipo entero comprendido entre 6400 y 32000, es la entrada analógica AIW4 del transmisor de temperatura e indicador de caudal. La consigna del lazo es VD70 la cual es la salida del lazo primario PID. La salida del lazo es definida como una variable tipo entero VW112 de 0-32000bit. Se habilita el modo de funcionamiento del PID a través de la marca M8.7 y se consigna el valor en modo manual a través de la variable VD224.



Network 8: se transfiere el valor de la salida del PID secundario a la dirección de salida AQW0 correspondiente a la electroválvula. No se re direccionó por no permitir el programa realizar operaciones de conversión o operaciones con aritmética y aritmética flotante a variables de salida del PLC.



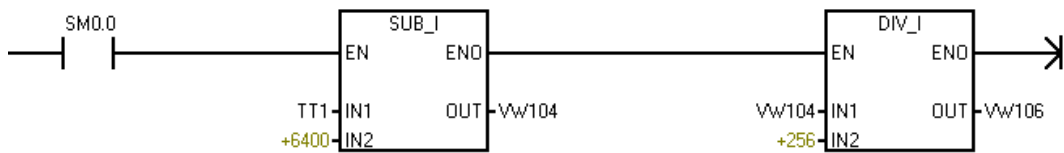
Network 9 y 10: se escala el valor de entrada del transmisor de temperatura de agua caliente TT2 a un valor entero de dos cifras con la finalidad de ser monitoreado en el supervisor. Se le resta 6400 correspondiente al offset del 20% propuesto por el programa, al valor de entrada de AIW2 y luego se divide por 256 correspondiente al span de la lectura del transmisor entre el span de la temperatura de calibración, para escalarlo de 0 a 100. El resultado queda almacenado en la variable VW102. Se transfiere el valor de VW102 correspondiente al valor escalado del transmisor de temperatura de agua caliente TT2 a la variable VW1030.0 para ser monitoreada por el S7-300.



Network 11 y 12: se escala el valor de entrada del transmisor de temperatura de agua fría TT1 a un valor entero de dos cifras con la finalidad de ser monitoreado en el supervisor. Se le resta 6400 correspondiente al offset del 20% propuesto por el programa, al valor de entrada de AIWO y luego se divide por 256 correspondiente al span de la lectura del transmisor entre el span de la temperatura de calibración, para escalarlo de 0 a 100. El resultado queda almacenado en la variable VW106. Se transfiere el valor de VW106 correspondiente a; valor escalado de TT1 a la variable VW1018.0 para ser monitoreada por el S7-300.

Network 11

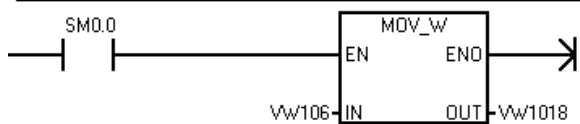
Valor escalado de la lectura de transmisor de temperatura de agua fría TT1.



Símbolo	Dirección	Comentario
TT1	AEW0	

Network 12

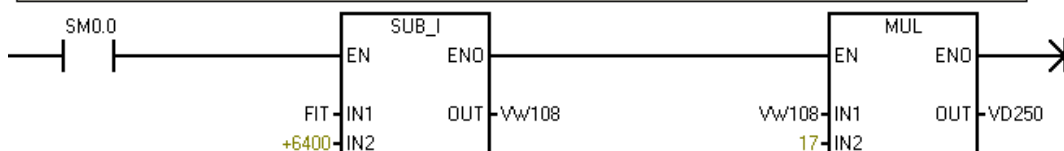
Transferir el valor escalado del transmisor de temperatura agua fría al sistema SCADA con el S7-300



Network 13 y 14: Se escala el valor de entrada del transmisor de temperatura de caudal FIT a un valor entero de dos cifras con la finalidad de ser monitoreado en el supervisorio. Se le resta 6400 correspondiente al offset del 20% propuesto por el programa, al valor de entrada de AIW4 y luego se multiplica por 17 y se divide por 16600 para escalarlo de 0 a 17.

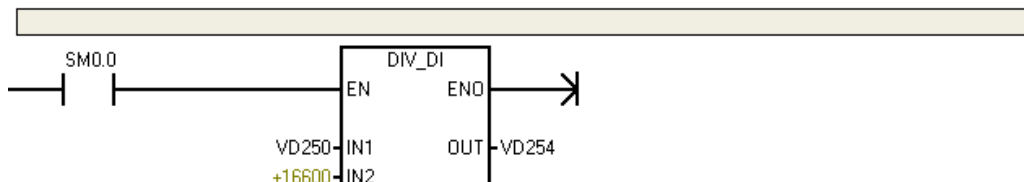
Network 13

Valor escalado de la lectura del transmisor e indicador de caudal.

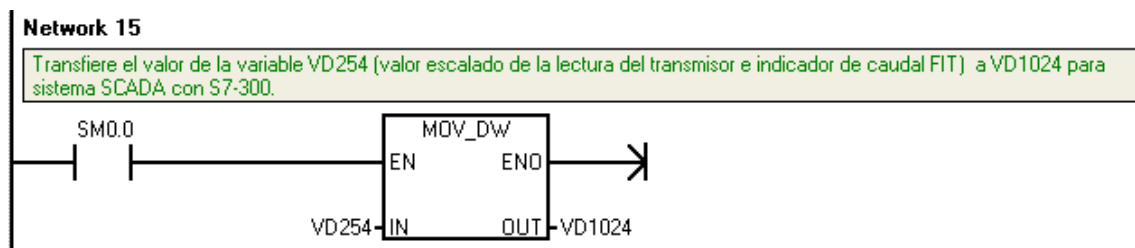


Símbolo	Dirección	Comentario
FIT	AEW4	

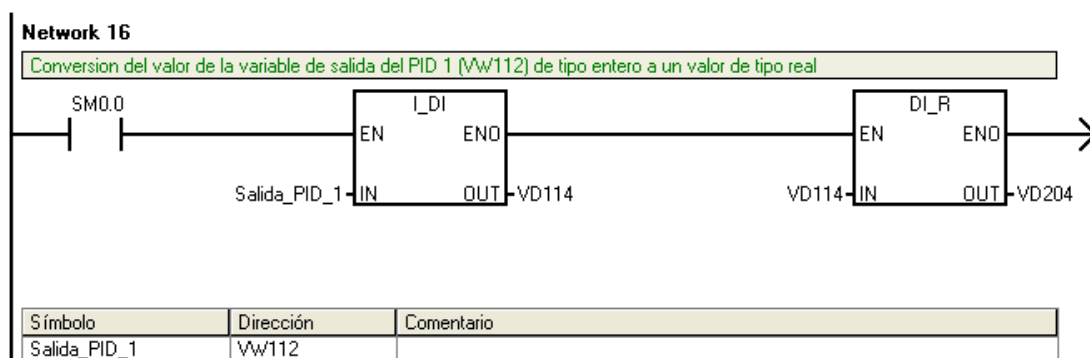
Network 14

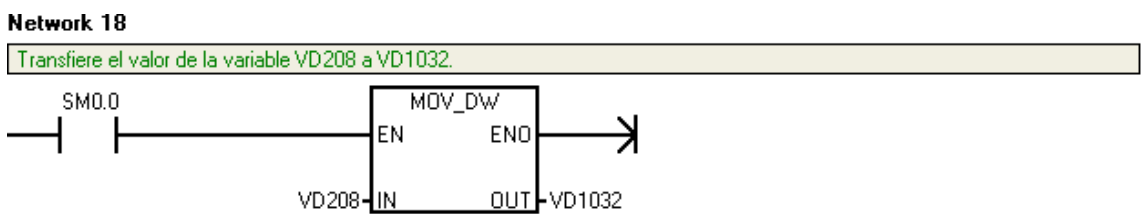
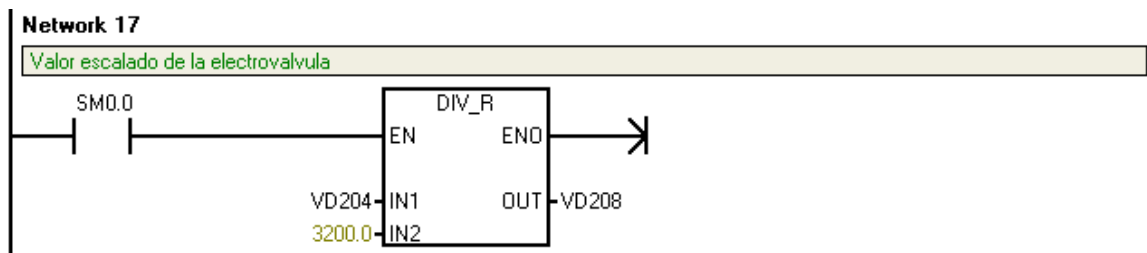


Network 15: El resultado queda almacenado en la variable VD254. Se transfiere el valor de VD254 correspondiente al valor escalonado de FIT a la variable VD1024.0 para ser monitoreada por el S7-300.

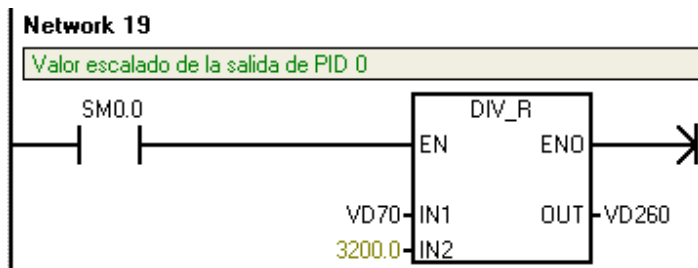


Network 16, 17 y 18: se escala el valor de salida del PID secundario VW112 correspondiente a la electroválvula, a un valor real de tres cifras con la finalidad de ser monitoreado en el supervisor. Se convierte a un valor real almacenado en VD204 y luego se divide por el valor real 3200.0 para escalarlo de 00.0 a 10.0. El resultado queda almacenado en la variable VD208. Se transfiere el valor de la variable VD208 correspondiente al valor escalonado de la electroválvula, a VD1032 con el fin de ser monitoreada por S7-300.



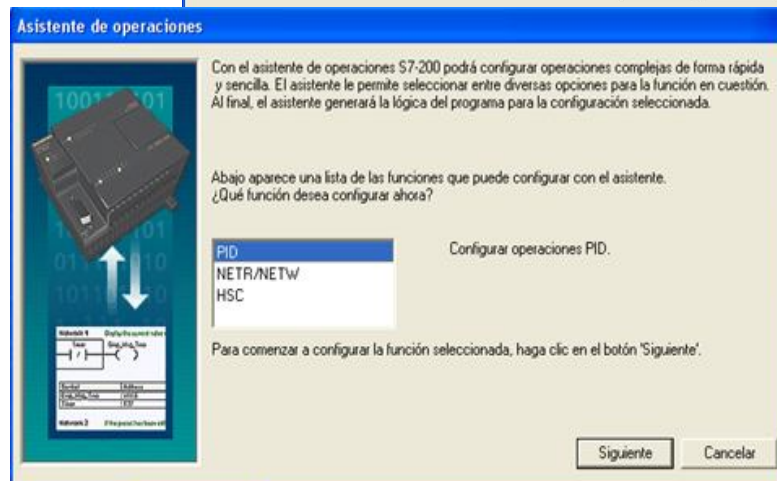


Network 19: se escala el valor de salida del PID primario de 0-100 para visualización en el WinCC flexible en %.

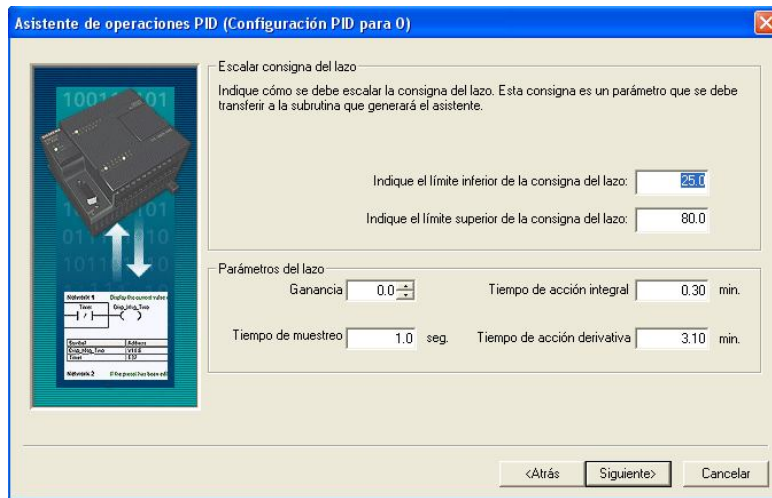


4.5.1 Configuración de lazos PID

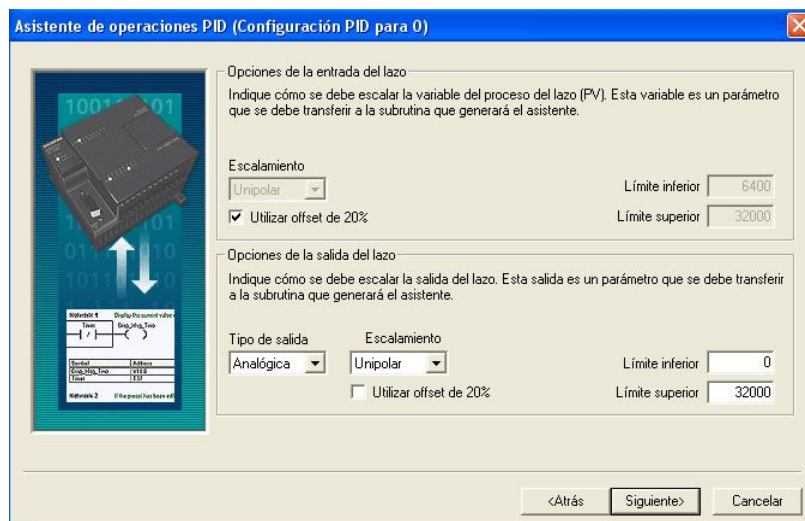
Primero, para configurar los lazos PID nos dirigimos a herramientas en la barra principal del programa STEP 7 Micro/WIN en la opción asistente de operaciones. Se configura el primer lazo de PID para el control de temperatura denominado PID 0 como se muestra en las imágenes. Se realiza el mismo procedimiento para configuración del segundo lazo de PID.



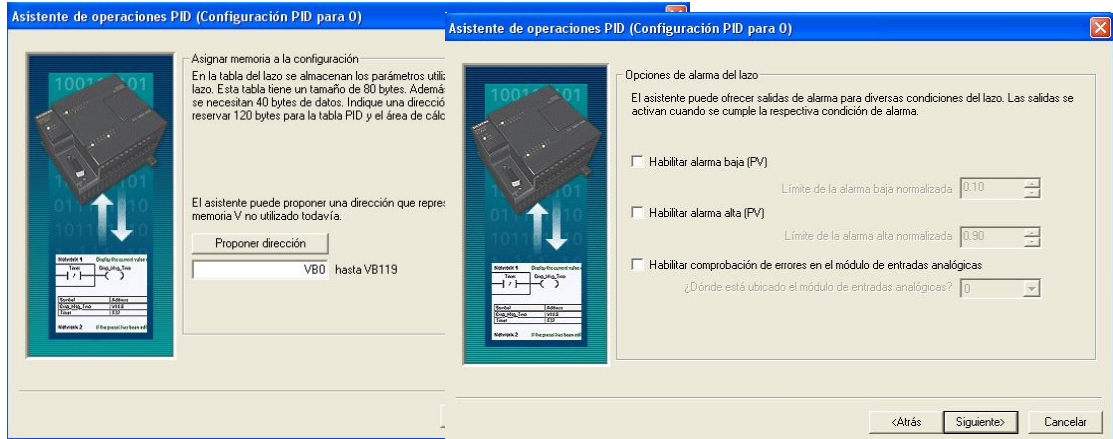
Se define el valor de la consigna del lazo o set point para el primer lazo 25 para el límite inferior de la consigna del lazo y 80 para el límite superior de la consigna del lazo. El programa automáticamente realiza operaciones escalonadas para realizar la operación de control de acuerdo con sus valores internos y los suministrados por el usuario. Para los parámetros del lazo como son la ganancia, tiempo integral y derivativo serán modificados por el usuario para encontrar su sintonización de acuerdo al comportamiento de la planta, en la opción panel de sintonización PID.



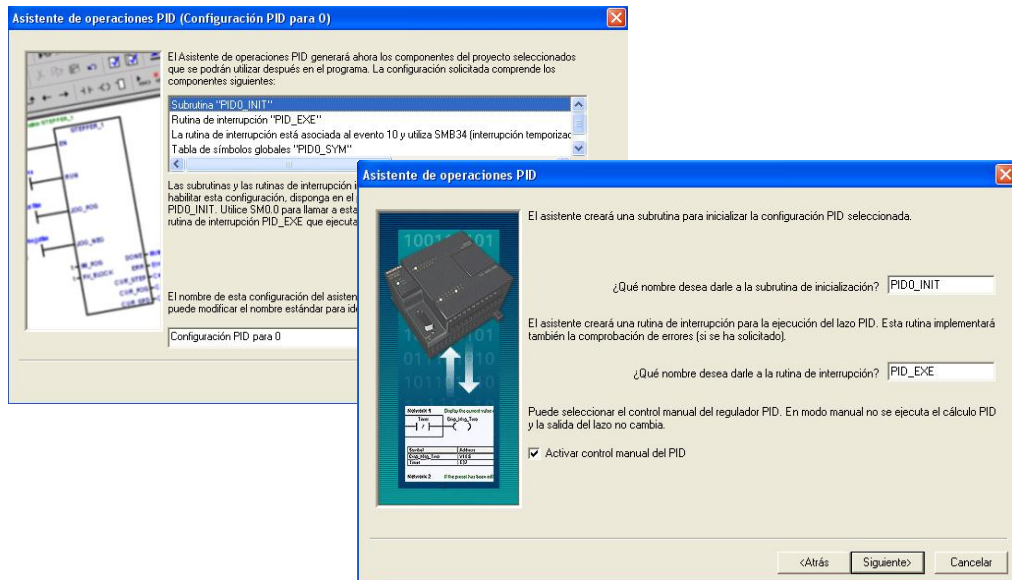
En la opción de entrada del lazo se toma en cuenta el valor de entrada del transmisor de temperatura de agua fría AIW0 para colocar la opción de utilizar offset de 20% porque el programa registra 0 cuando el valor de entrada del transmisor es cero lo cual no será por poseer un valor mínimo de 2V equivalente a 6400 bit. Se registra un escalamiento unipolar por ser solo valores entre 2-10V. Para la salida del lazo se define de tipo analógica con escalamiento unipolar sin habilitar la opción utilizar offset de 20% por ser una salida de valores de 0-32000 bit como se muestra en la imagen.



No se habilitan las alarmas. Se asigna memoria a la Configuración del PID propuesta por el asistente dependiendo de los espacios libres para almacenarlos.



La subrutina PID_INIT se activará utilizando la marca especial SM0.0 ejecutando la rutina de interrupción PID_EXE que ejecutará cíclicamente la función PID hasta que el programa se detenga, además, se activa el modo manual del PID.

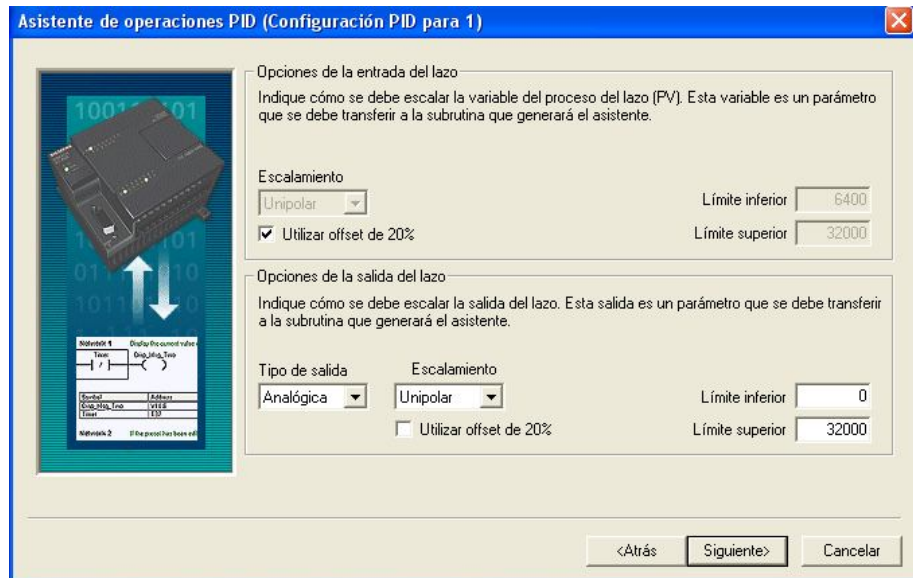


Se procede a configurar el segundo lazo de PID. Para este caso, la consigna del lazo o set point deberá estar en concordancia con la escala de valores de salida del primer lazo, entonces serán 0-32000 como se muestra en la imagen. Para los parámetros del lazo como son la ganancia, tiempo integral y derivativo serán modificados por el usuario para encontrar su sintonización de acuerdo al comportamiento de la planta, en la opción panel de sintonización PID.

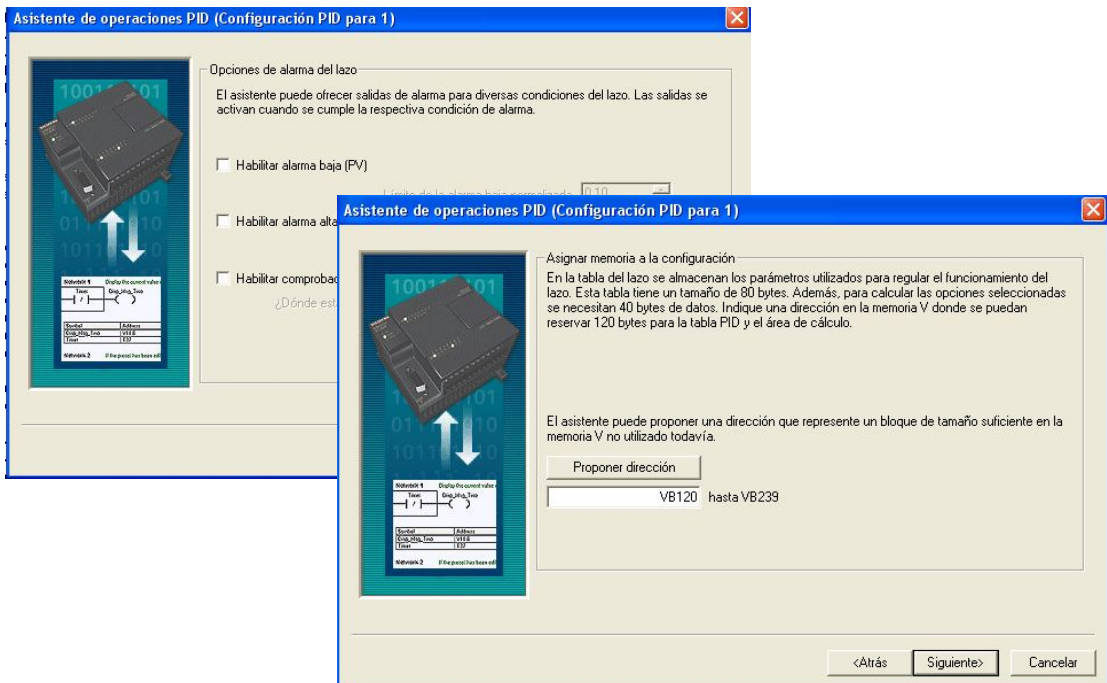


En la opción de entrada del lazo se toma en cuenta el valor de entrada del transmisor de temperatura de flujo AIW4 para colocar la opción de utilizar offset de 20% porque el programa registra 0 cuando el valor de entrada del transmisor es cero lo cual no será por poseer un valor mínimo de 2V equivalente a 6400 bit. Se registra un escalamiento unipolar por ser solo valores entre 2-10V.

Para la salida del lazo se define de tipo analógica con escalamiento unipolar sin habilitar la opción utilizar offset de 20% por ser una salida de valores de 0-10V para la electroválvula, lo cual registra 0 cuando es 0 y 32000 bit cuando es 10v como se muestra en la imagen.



Al igual que el primer lazo no se habilitan las alarmas por y el asistente asigna un espacio en la memoria para almacenar los parámetros utilizados para regular el funcionamiento del lazo.



La subrutina PID1_INIT se activara utilizando la marca especial SM0.0 ejecutando la rutina de interrupción PID_EXE que ejecutara cíclicamente la función PID hasta que le programa se detenga además, se activa el modo manual del PID 1.

Asistente de operaciones PID

El asistente creará una subrutina para inicializar la configuración PID seleccionada.

¿Qué nombre desea darle a la subrutina de inicialización?

El asistente creará una rutina de interrupción para la ejecución del lazo PID. Esta rutina implementará también la comprobación de errores (si se ha solicitado).

¿Qué nombre desea darle a la rutina de interrupción?

Puede seleccionar el control manual del regulador PID. En modo manual no se ejecuta el cálculo PID y la salida del lazo no cambia.

Activar control manual del PID

Asistente de operaciones PID (Configuración PID para 1)

El Asistente de operaciones PID generará ahora los componentes del proyecto seleccionados que se podrán utilizar después en el programa. La configuración solicitada comprende los componentes siguientes:

Subrutina "PID1_INIT"
 Rutina de interrupción "PID_EXE"
 La rutina de interrupción está asociada al evento 10 y utiliza SMB34 (interrupción temporizada)
 Tabla de símbolos globales "PID1_SYM"

Las subrutinas y las rutinas de interrupción indicadas arriba formarán parte del proyecto. Para habilitar esta configuración, disponga en el programa PRINCIPAL una llamada a la subrutina PID1_INIT. Utilice SM0.0 para llamar a esta subrutina en cada ciclo. La subrutina habilita a la rutina de interrupción PID_EXE que ejecutará cíclicamente la función PID.

El nombre de esta configuración del asistente se indicará en el árbol del proyecto. Si lo desea, puede modificar el nombre estándar para identificar más fácilmente la configuración.

<Atrás Finalizar Cancelar

CAPITULO 5: SISTEMA SUPERVISORIO Y PROTOCOLO DE COMUNICACIÓN

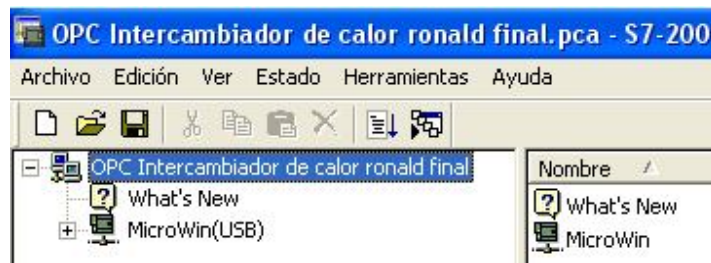
5.1 Comunicación OPC server

En esta información se incluye la descripción de cómo se configura un enlace entre el SIMATIC y el OPC servidor.

Creado el proyecto de STEP 7 Micro/WIN que funcione y esté cargado en la CPU del S7-200; se procede a realizar la Configuración. Utilizaremos el servidor OPC server de S7-200 PC Access para importar símbolos de proyectos entre el programa STEP 7 Micro/WIN y el WINCC flexible.

5.2.1 Configuración del OPC-Server con el S7-200 PC Access

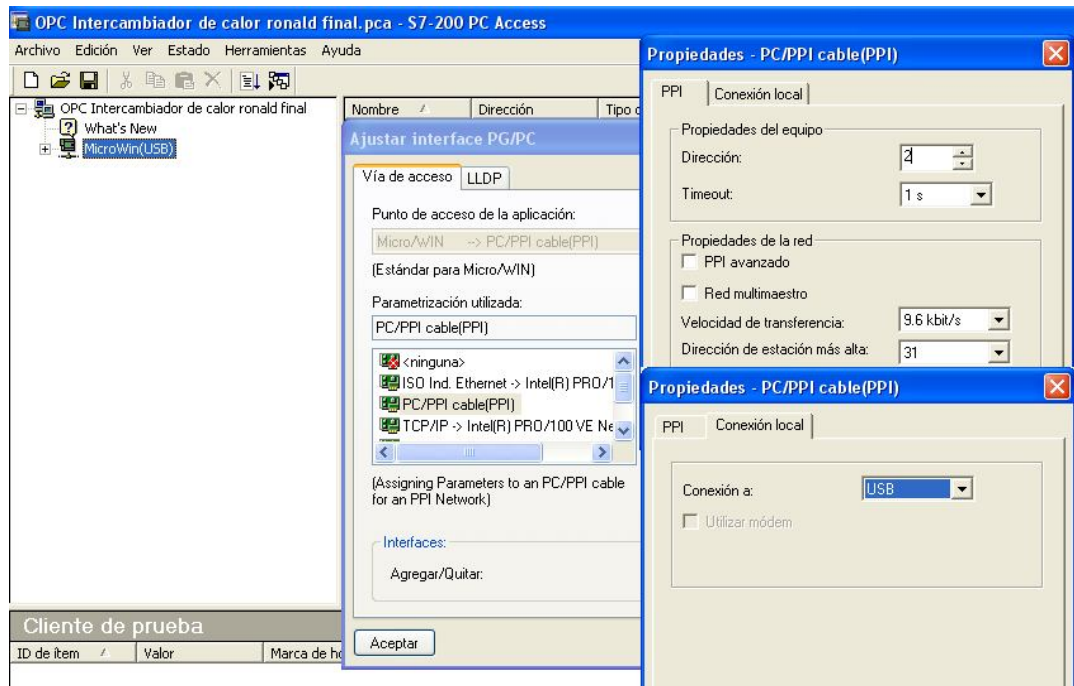
Se inicia S7-200 PC Access y crea un nuevo proyecto llamado Intercambiador de calor Ronald final.



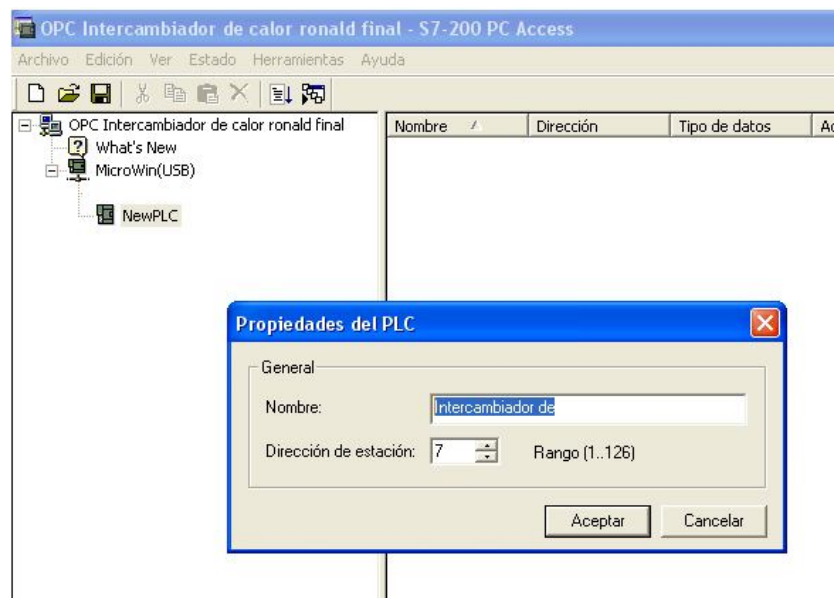
Se hace clic derecho sobre el control "Micro/WIN (USB)", seleccione la opción Interfase PG/PC.

Como punto de acceso de la aplicación, se debe ajustar "Micro/WIN" con el enlace de comunicación disponible con el S7-200, el cual es PC/PPI-cable.

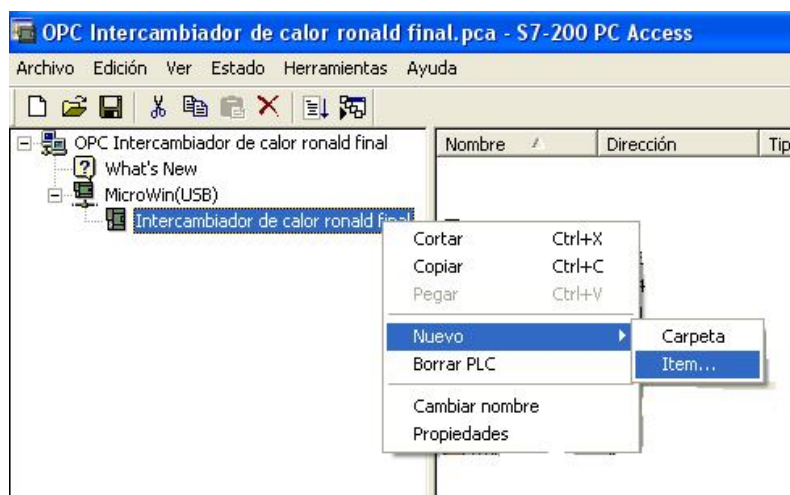
El cable es tipo RS 485 - USB, se configura la Conexión local como USB; accediendo el PLC al PC en la red PPI con esta dirección.



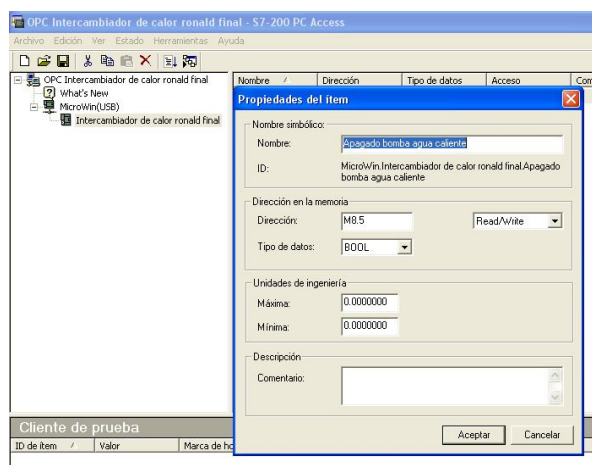
Se configuran las propiedades del PLC utilizando la Dirección de estación establecida en el programa STEP 7 Micro/WIN que nuestro caso es 7 y le asignamos el nombre: Intercambiador de calor Ronald final.



Ahora se Importa los símbolos, Dando clic derecho sobre el PLC creado, seleccione la opción Nuevo, accediendo a esta opción se crean los items que representan las variables utilizadas en la programación del PLC.



La dirección en la memoria de cada ítem creado debe ser igual con la establecida en el programa STEP 7 Micro/WIN y WinCC flexible así como el tipo de dato y el acceso a la variable como de solo lectura o solo escritura o lectura/escritura.



En el S7-200 PC Access, ya se puede acceder a los símbolos del proyecto de STEP 7-Micro/WIN.

A continuación, guarde la Configuración creada.



5.2 Sistema Supervisorio de la aplicación

El monitoreo y supervisión de tareas en las plantas industriales repartidas en diferentes áreas o puntos, están caracterizadas por la dificultad en la toma de mediciones o por la continua necesidad del monitoreo de datos. Esta necesidad ha permitido el desarrollo de herramientas computacionales como los sistemas supervisorios, los cuales no son más que cualquier software que permita el acceso a datos remotos de un proceso utilizando herramientas de comunicación.

Un sistema supervisorio es principalmente una herramienta de supervisión y mando que realiza la tarea de interfaz entre los niveles de control y los de gestión a un nivel superior.

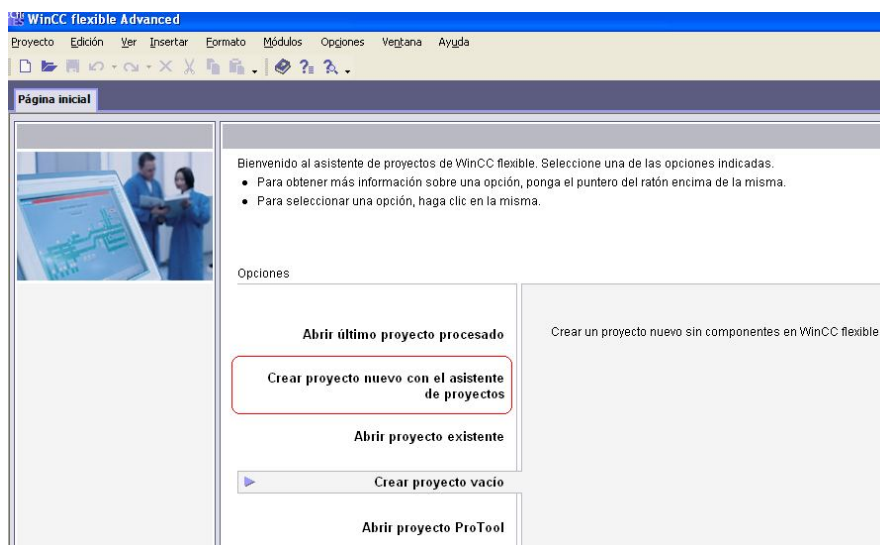
El sistema supervisorio implementado en WinCC Flexible permite el inspección y monitoreo de las variables de control de temperatura de un intercambiador de calor controladas por un PLC.

La comunicación del sistema supervisorio con el PLC se logra por medio de la Configuración de un servidor OPC. Una vez creada la aplicación cliente queda lista la transferencia de datos entre el sistema supervisorio y el proceso a través del PLC.

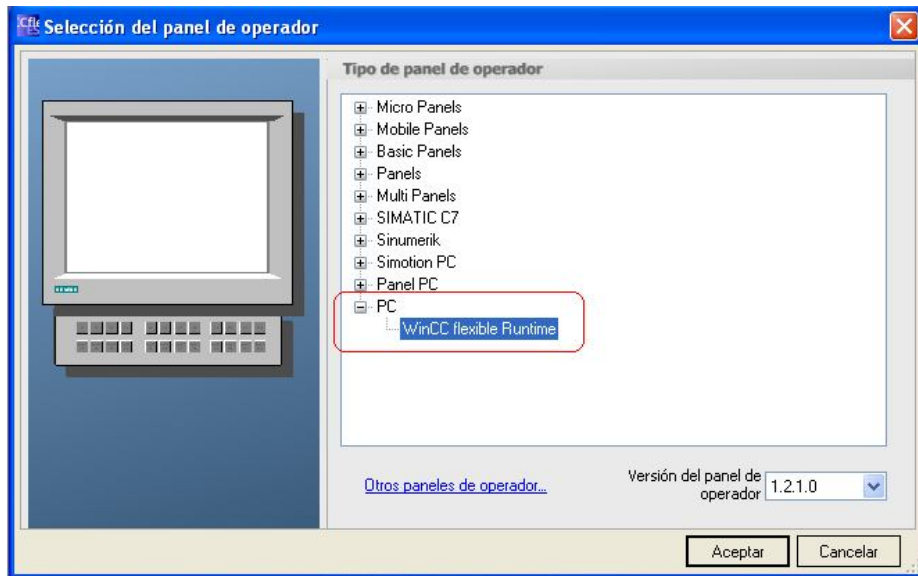
5.3 Desarrollo Del Sistema Supervisorio Con WinCC Flexible.

A continuación se incluye una descripción de la Configuración del supervisorio de la aplicación automatizada con ayuda del WinCC Flexible.

Se inicia WinCC Flexible y crea un nuevo proyecto llamado Supervisorio Intercambiador de calor Ronald con el asistente de proyectos para emplear los componentes en WinCC flexible.

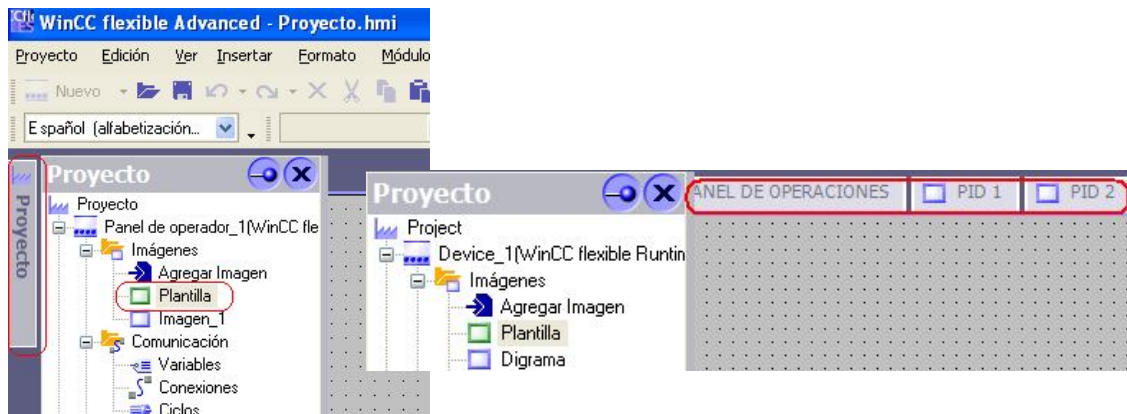


Se realiza la Configuración del proyecto y se modifica el panel del operador como se muestra.



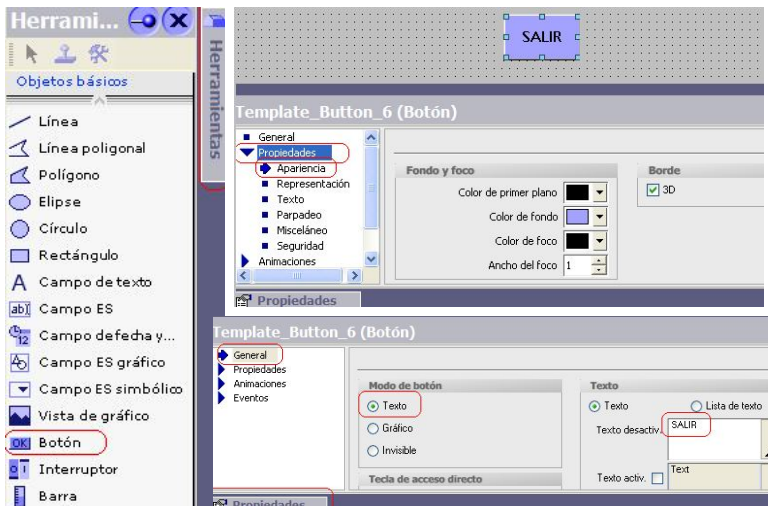
Se crea la aplicación automatizada a partir de los componentes que tiene el WinCC flexible en sus librerías.

Se inicia con la plantilla principal para establecer aquellas acciones que van a hacer utilizadas en todas las imágenes o ventanas.

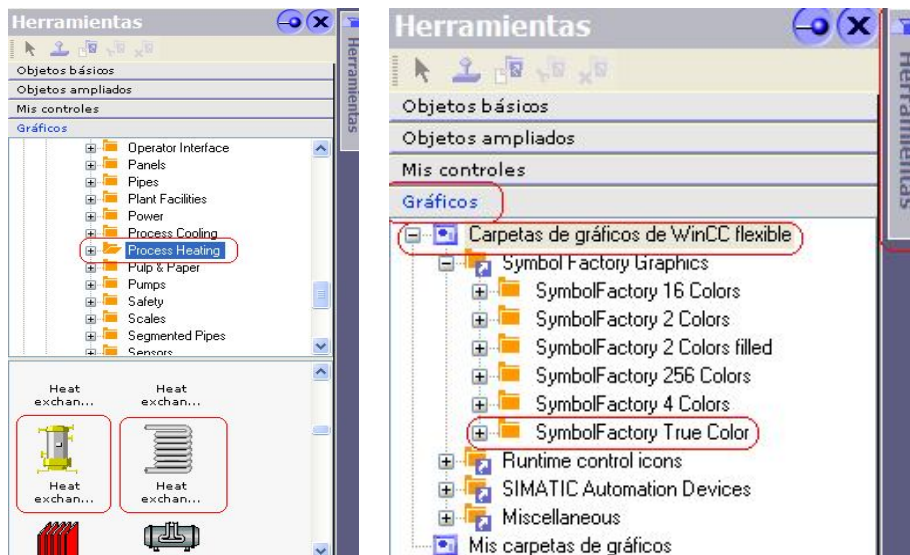


En la opción herramienta ubicada al lado derecho de la ventana, desarrollando el supervisor empleando objetos básicos como líneas, círculos, campo de texto,

campo de ES, botones, etc. Modificando a gusto del usuario la apariencia, para otras facilidades como colores, animaciones, Configuración y asignación de variables, se emplea la barra de propiedades dispuesta en la parte inferior de cada una de las ventanas.



En la barra herramientas la opción de gráficos muestra los símbolos para la creación de la planta con apariencia real con SymbolFactory True Color



Se crearon cuatro ventanas las cuales simbolizan el diagrama de la planta intercambiador de calor, panel de operación, panel de sintonía PID primario y el secundario. Que a continuación se parecían.

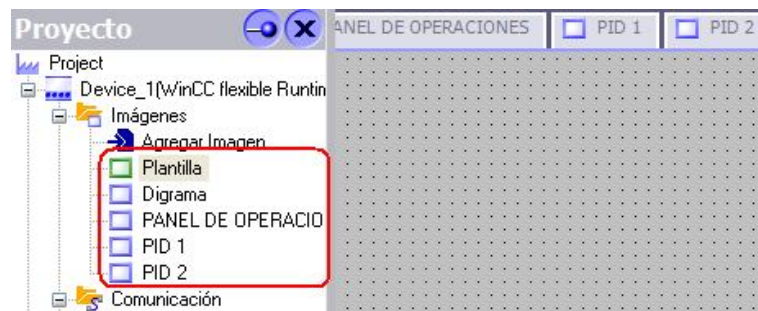
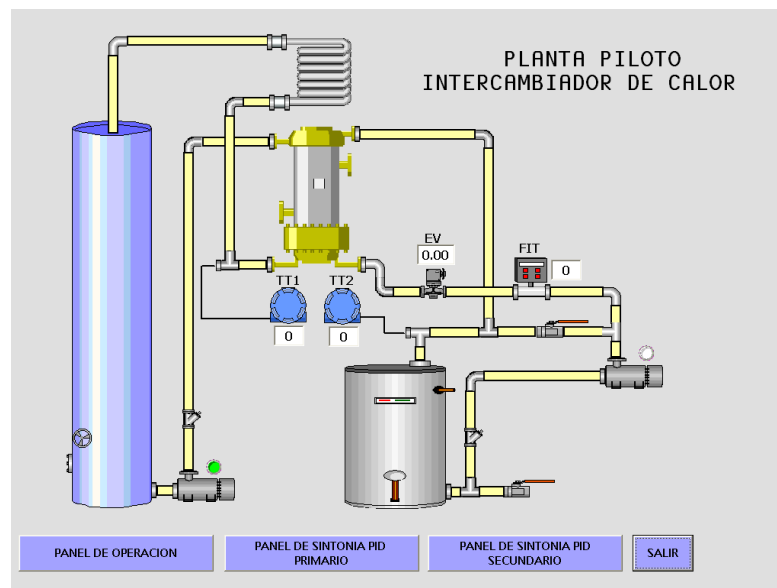
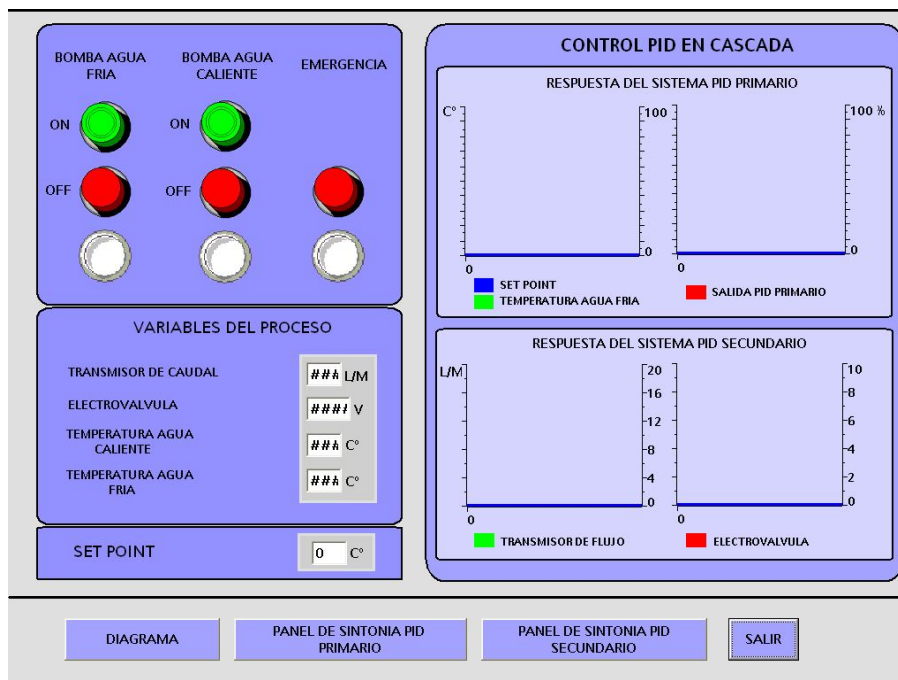


Figura 20 Diagrama del intercambiador de calor.



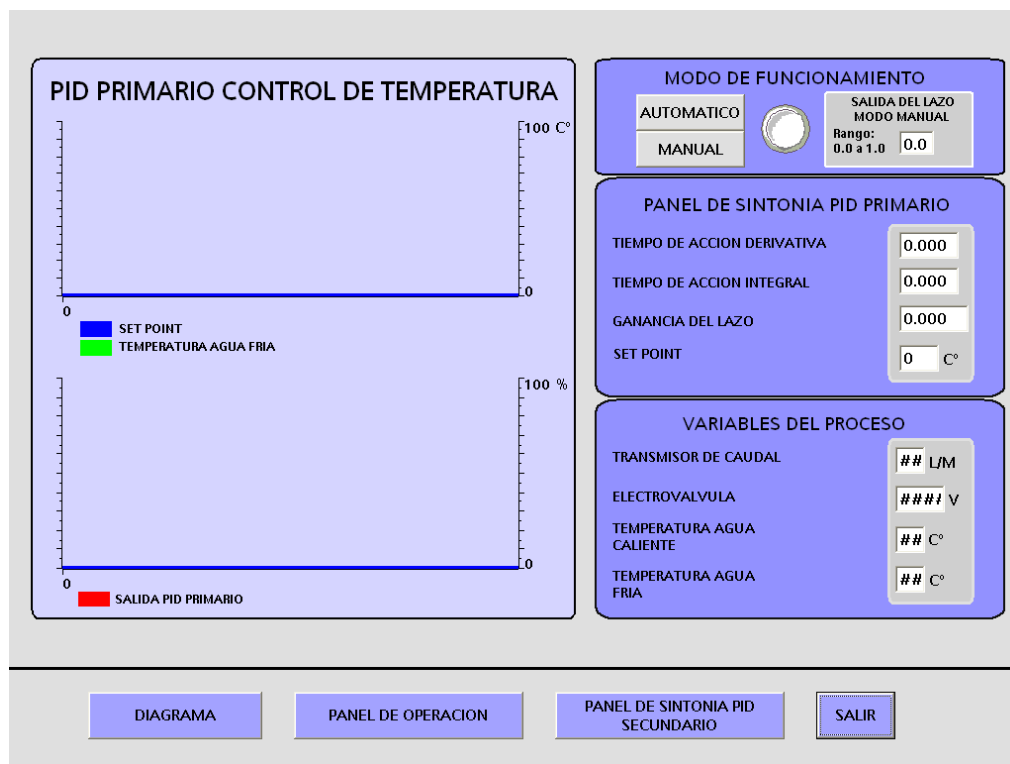
En la figura 20, se muestra el diseño de la plana piloto a controlar y es la pantalla principal donde se podrá acceder a las demás pantallas las cuales son: panel de operación, panel de sintonía PID primario, panel de sintonía PID secundario y la opción salir del runtime.

Figura 171 Panel de Operación.



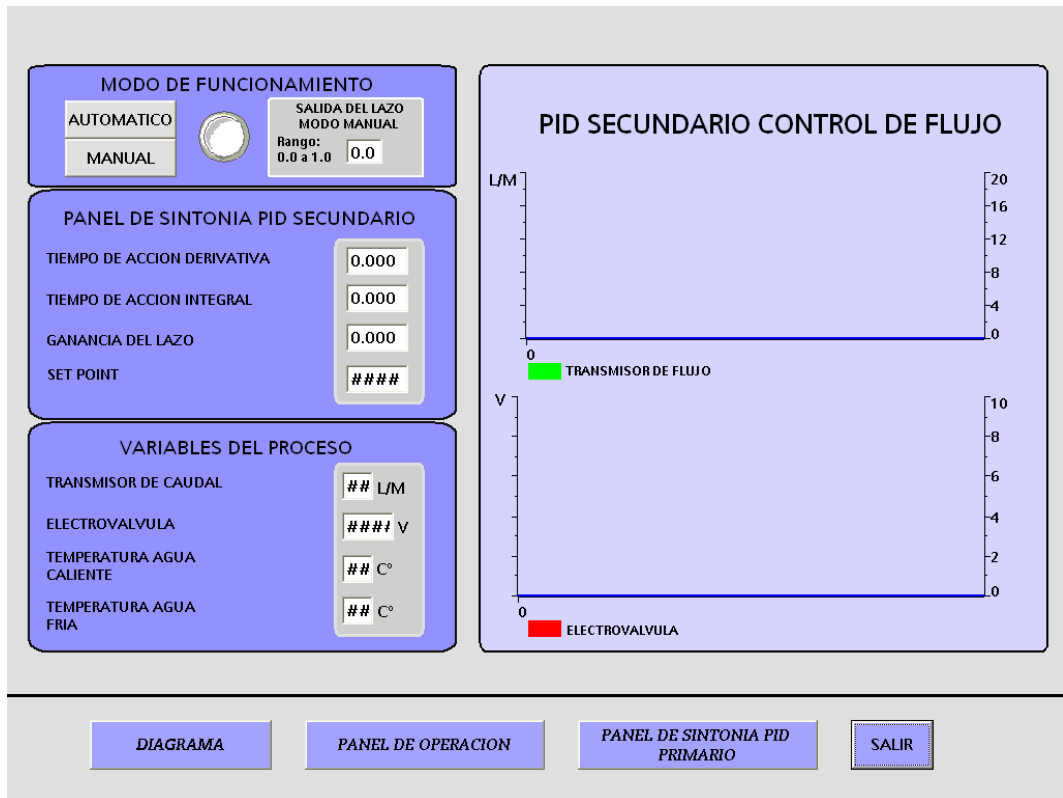
En la figura 21, se muestra el diseño de la pantalla panel de operación donde se podrá controlar por medio de los pulsadores el encendido y apagado para ambas bombas y el pulsador de parada de emergencia así como los pilotos. También, se muestra las graficas de la estrategia de control en cascada las cuales son respuesta del sistema PID primario y respuesta del sistema PID secundario, para el control de la temperatura de salida. Además, se podrá acceder a las demás pantallas creadas.

Figura 22 Panel de Sintonía PID primario.



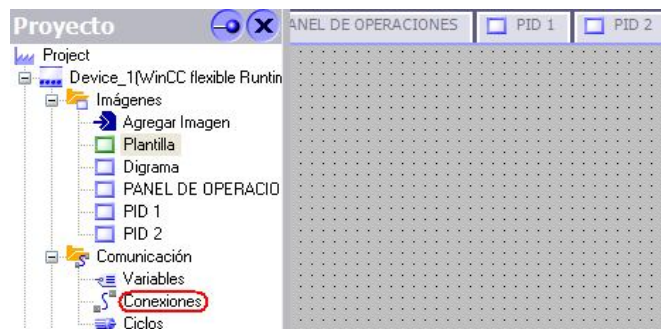
En la figura 22, es la pantalla para el control del primer lazo de PID, donde se podrá accionar el modo de funcionamiento, la consigna de las variables del PID como el tiempo de acción integral, el tiempo de acción derivativo y la ganancia de lazo. Además, se visualizan las lecturas de los transmisores, el valor de voltaje de la electroválvula y la grafica del comportamiento del proceso con el PID primario. También, se podrá acceder a la demás pantallas creadas.

Figura 23 Panel de Sintonía PID secundario.



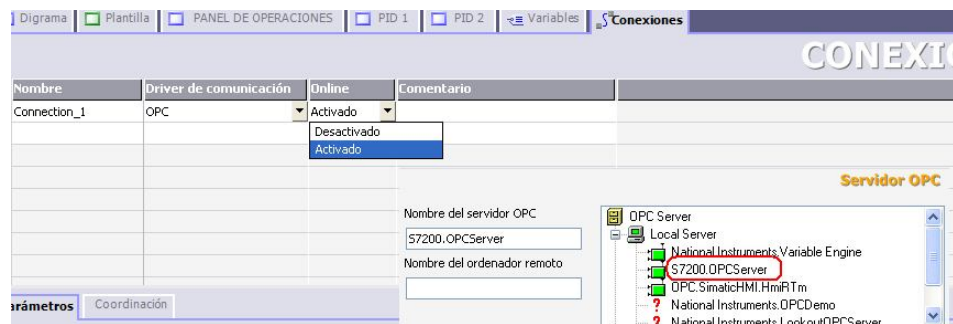
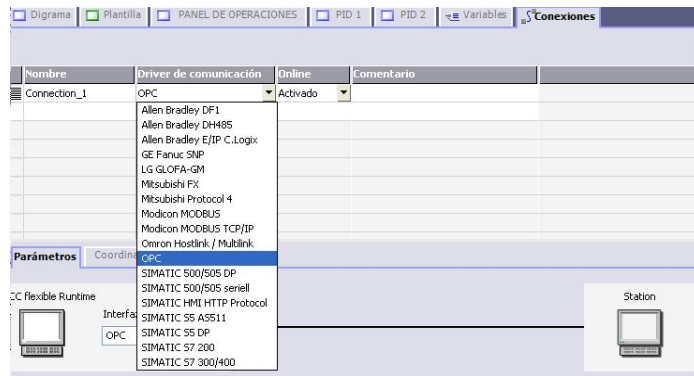
En la figura 23, es la pantalla para el control del segundo lazo de PID, donde se podrá accionar el modo de funcionamiento, la consigna de las variables del PID como el tiempo de acción integral, el tiempo de acción derivativo y la ganancia de lazo. Además, se visualizan las lecturas de los transmisores, el valor de voltaje de la electroválvula, el setpoint el cual será la salida del primer lazo de PID y la grafica del comportamiento del proceso con el PID secundario. También, se podrá acceder a la demás pantallas creadas.

La comunicación con el OPC Server se configura en la opción Comunicación→Conexiones en el árbol de proyectos.

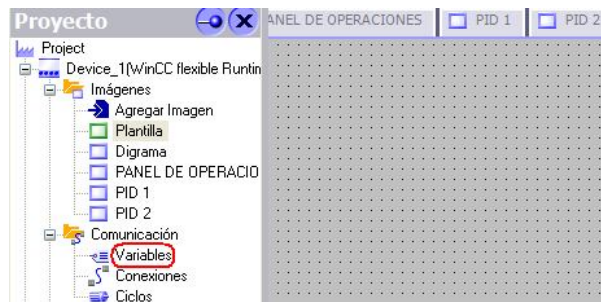


Se selecciona OPC como Driver de comunicación, activándolo en la casilla Online.

Se escoge el OPC utilizado, S7200 OPC Server,



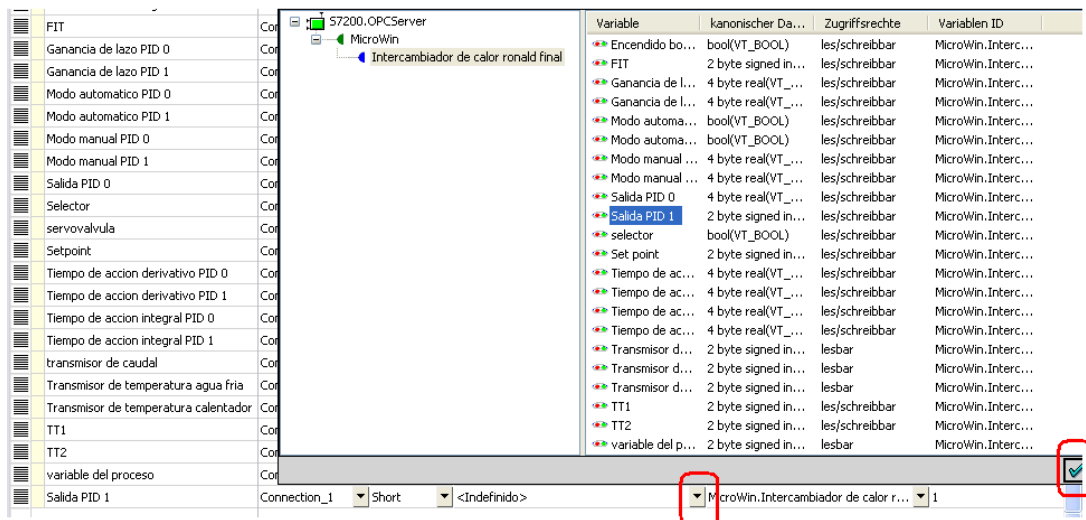
Para configurar las variables creadas en el OPC sobre los gráficos, se insertan en Comunicación→Variables en el árbol de proyectos.



Se selecciona el ítem correspondiente del S7-200 OPC Server para los gráficos y nombres asignados, a través de la opción Símbolo. El Tipo de dato es asignado automáticamente al insertar los ítems.

Estas variables se pueden mostrar en un campo de E/S de la imagen de inicio.

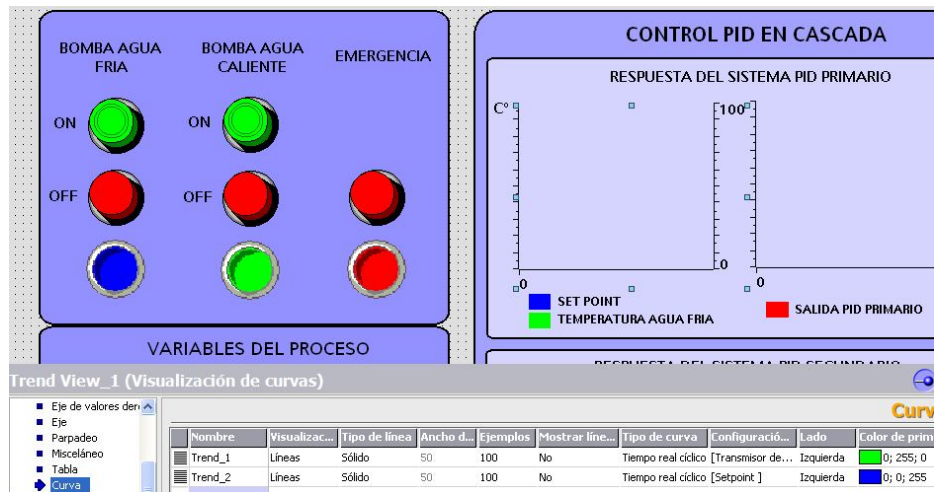
VARIABLES				
Nombre	Conexión	Tipo de da...	Símbolo	Dirección
Apagado bomba agua fria	Connection_1	Bool	MicroWin.Intercambiador de calor ronald final.Apagado...	MicroWin.Intercambiador de calor ron...
Bomba agua caliente	Connection_1	Bool	MicroWin.Intercambiador de calor ronald final.Bomba a...	MicroWin.Intercambiador de calor ron...
Bomba agua fria	Connection_1	Bool	MicroWin.Intercambiador de calor ronald final.Bomba a...	MicroWin.Intercambiador de calor ron...
emergencia	Connection_1	Bool	MicroWin.Intercambiador de calor ronald final.Emergencia	MicroWin.Intercambiador de calor ron...
Encendido bomba agua caliente	Connection_1	Bool	MicroWin.Intercambiador de calor ronald final.Encendid...	MicroWin.Intercambiador de calor ron...
Encendido bomba agua fria	Connection_1	Bool	MicroWin.Intercambiador de calor ronald final.Encendid...	MicroWin.Intercambiador de calor ron...
FIT	Connection_1	Short	MicroWin.Intercambiador de calor ronald final.FIT	MicroWin.Intercambiador de calor ron...
Ganancia de lazo PID 0	Connection_1	Float	MicroWin.Intercambiador de calor ronald final.Gananci...	MicroWin.Intercambiador de calor ron...
Ganancia de lazo PID 1	Connection_1	Float	MicroWin.Intercambiador de calor ronald final.Gananci...	MicroWin.Intercambiador de calor ron...
Modo automatico PID 0	Connection_1	Bool	MicroWin.Intercambiador de calor ronald final.Modu au...	MicroWin.Intercambiador de calor ron...
Modo automatico PID 1	Connection_1	Bool	MicroWin.Intercambiador de calor ronald final.Modu au...	MicroWin.Intercambiador de calor ron...
Modo manual PID 0	Connection_1	Float	MicroWin.Intercambiador de calor ronald final.Modu ma...	MicroWin.Intercambiador de calor ron...
Modo manual PID 1	Connection_1	Float	MicroWin.Intercambiador de calor ronald final.Modu ma...	MicroWin.Intercambiador de calor ron...
Salida PID 0	Connection_1	Float	MicroWin.Intercambiador de calor ronald final.Salida PI...	MicroWin.Intercambiador de calor ron...
Salida PID 1	Connection_1	Short	MicroWin.Intercambiador de calor ronald final.Salida PI...	MicroWin.Intercambiador de calor ron...
Selector	Connection_1	Bool	MicroWin.Intercambiador de calor ronald final.selector	MicroWin.Intercambiador de calor ron...
servovalvula	Connection_1	Float	MicroWin.Intercambiador de calor ronald final.Electrov...	MicroWin.Intercambiador de calor ron...
Setpoint	Connection_1	Short	MicroWin.Intercambiador de calor ronald final.Set point	MicroWin.Intercambiador de calor ron...
Tiempo de accion derivativo PID 0	Connection_1	Float	MicroWin.Intercambiador de calor ronald final.Tiempo d...	MicroWin.Intercambiador de calor ron...
Tiempo de accion derivativo PID 1	Connection_1	Float	MicroWin.Intercambiador de calor ronald final.Tiempo d...	MicroWin.Intercambiador de calor ron...
Tiempo de accion integral PID 0	Connection_1	Float	MicroWin.Intercambiador de calor ronald final.Tiempo d...	MicroWin.Intercambiador de calor ron...
Tiempo de accion integral PID 1	Connection_1	Float	MicroWin.Intercambiador de calor ronald final.Tiempo d...	MicroWin.Intercambiador de calor ron...
transmisor de caudal	Connection_1	Short	MicroWin.Intercambiador de calor ronald final.Transmis...	MicroWin.Intercambiador de calor ron...
Transmisor de temperatura agua fria	Connection_1	Short	MicroWin.Intercambiador de calor ronald final.Transmis...	MicroWin.Intercambiador de calor ron...
Transmisor de temperatura calentador	Connection_1	Short	MicroWin.Intercambiador de calor ronald final.Transmis...	MicroWin.Intercambiador de calor ron...



Se configuran los pulsadores en la opción propiedades, ubicada en la parte inferior de la pantalla dándole clic en la opción Eventos → Activar Bit y se selecciona la variable correspondiente.



Los gráficos para visualización del comportamiento de respuesta de PID en cascada se configuran en Curva→Configuración de variables así como sus colores representativos.



CAPITULO 6: PRACTICA DE LABORATORIO

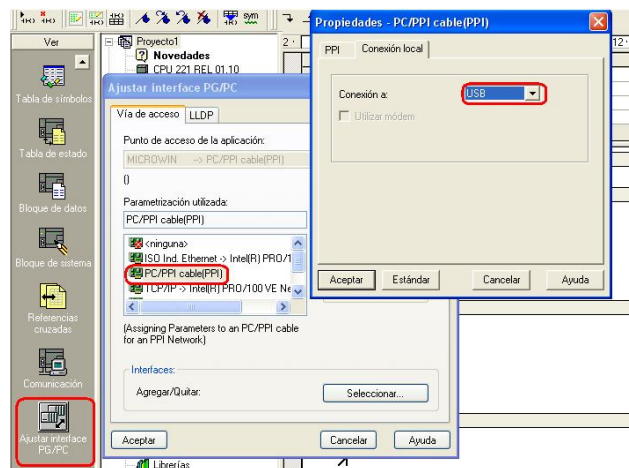
A continuación se explica un ejercicio práctico de la planta piloto automatizada donde la temperatura que se requiere mantener es de 50°C. Para ello necesitamos realizar la conexión entre los programas STEP 7 Micro/WIN, OPC Server y WinCC flexible.

En el archivo Intercambiador de calor ronald final del STEP 7 Micro/WIN se configura la interface para la comunicación con la planta. Esta configuración debería ser configurada igual que en el programa OPC Server.

Se configura de la siguiente manera:

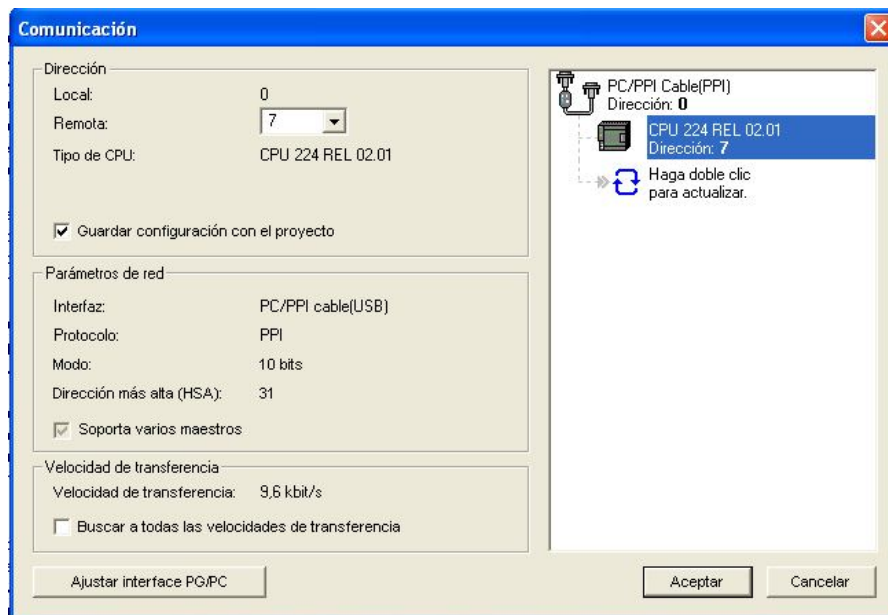
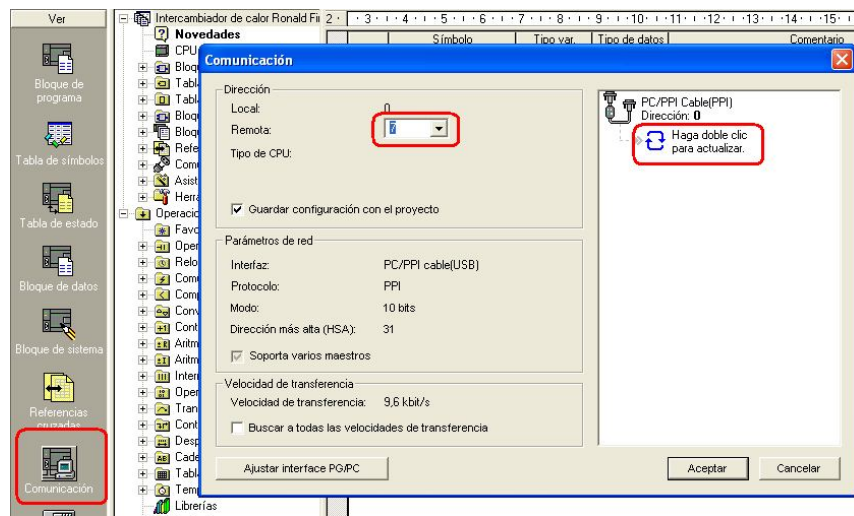
Se ajusta la comunicación en Ajustar Interface PG/PC de la barra lateral izquierda.

Se configura con la opción cable PC/PPI con velocidad de transferencia de 96 Kbit/s y conexión local USB.



Se comprueba la conexión con el PLC en Comunicación.

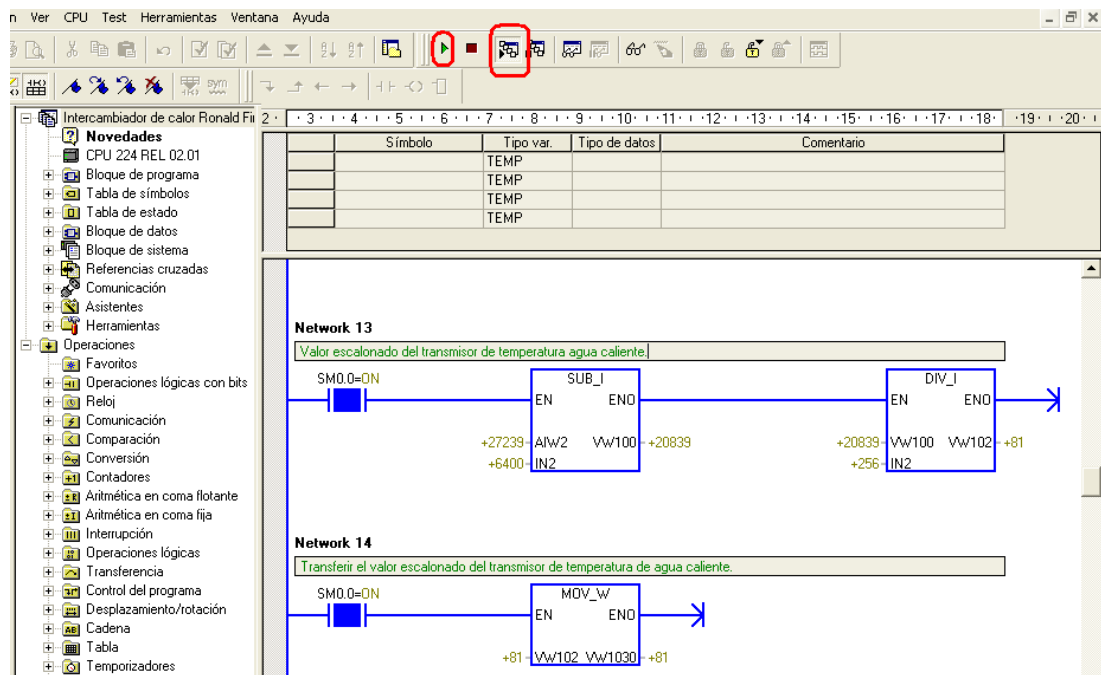
Se actualiza la comunicación realizando doble clic en el recuadro señalado.



Se carga el programa en la CPU del PLC dando clic sobre la opción cargar en CPU como se muestra en la imagen.



Cargado el programa, colocamos la CPU en Modo RUN lo que significa que el programa se esta ejecutando. Podemos ver los valores en la variables de entrada y salida configuradas dandole en la opcion estado del programa.



Programado el PLC, configuramos el servidor OPC Server para la conexión con el WinCC flexible.

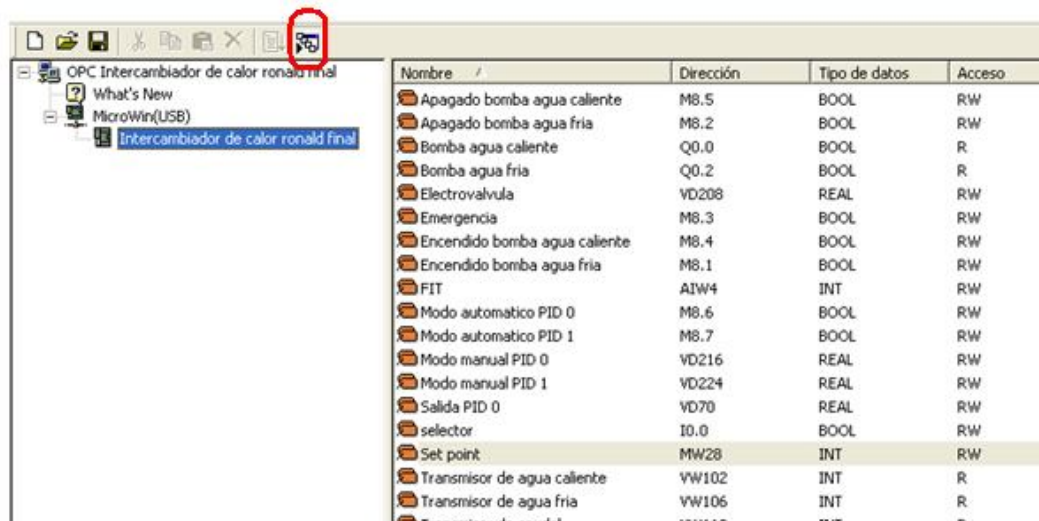
Comprobamos el enlace con el cliente OPC Server del S7-200 PC Access

Se sselecciona los símbolos en la ventana derecha del proyecto del S7-200 PC Access.

"Arrastrando y soltando", las variables elegidas como Ítems se pueden insertar en el cliente de prueba (ventana de proyectos inferior).

Se activa el cliente de prueba desde Estado → Arrancar cliente de prueba.

Si se muestra la calidad "Good (buena)", la variable se puede leer correctamente desde el control S7-200.

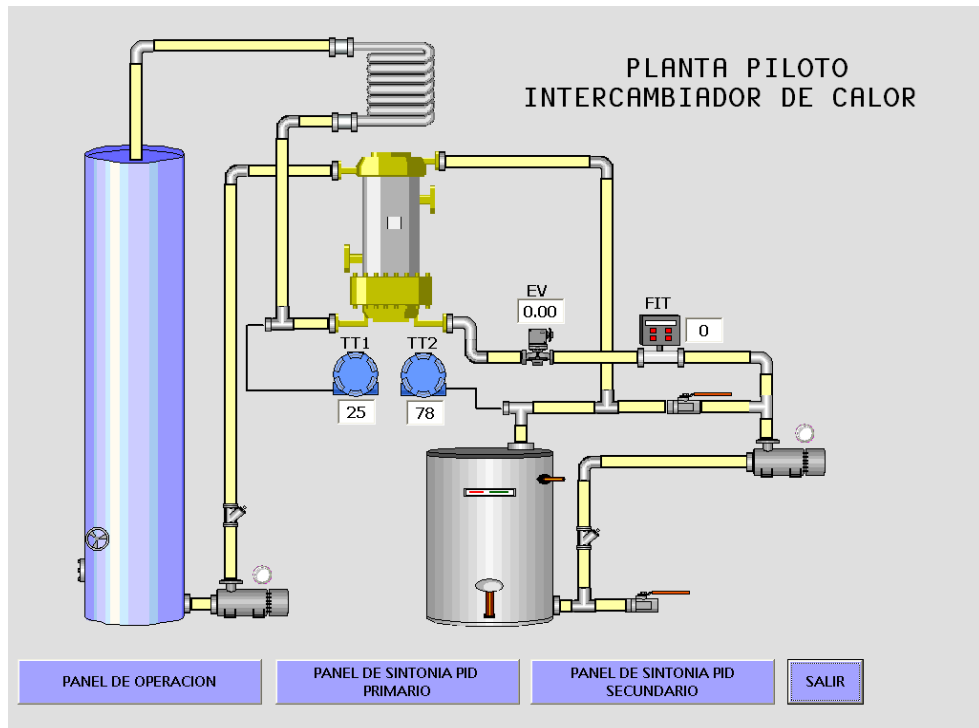


	Valor	Marca de hora	Calidad	Estado: ON
calor ronald final.Modo manual PID 1	0.0000000	16:43:36:780	Good	
calor ronald final.Salida PID 0	32000.00	17:12:50:281	Good	
calor ronald final.selector	1	16:43:36:780	Good	
calor ronald final.Set point	+50	16:47:11:295	Good	
calor ronald final.Transmisor de agua caliente	+81	17:13:17:764	Good	
calor ronald final.Transmisor de agua fria	-20	17:13:16:343	Good	
calor ronald final.Transmisor de caudal	+00	16:43:36:780	Good	
calor ronald final.TT1	+1135	17:13:17:046	Good	
calor ronald final.TT2	+27199	17:13:17:764	Good	
calor ronald final.variable del proceso	+1135	17:13:17:046	Good	
calor ronald final.Tiempo de accion integral PID 0	0.3000000	16:44:37:656	Good	
calor ronald final.Tiempo de accion derivativa PID 0	3.1000000	16:44:37:656	Good	
calor ronald final.Ganancia de lazo PID 0	0.0000000	16:43:36:780	Good	
calor ronald final.Tiempo de accion integral PID 1	0.0000000	16:43:36:780	Good	

Arranque el WinCC flexible Runtime desde su icono en la barra de herramientas.

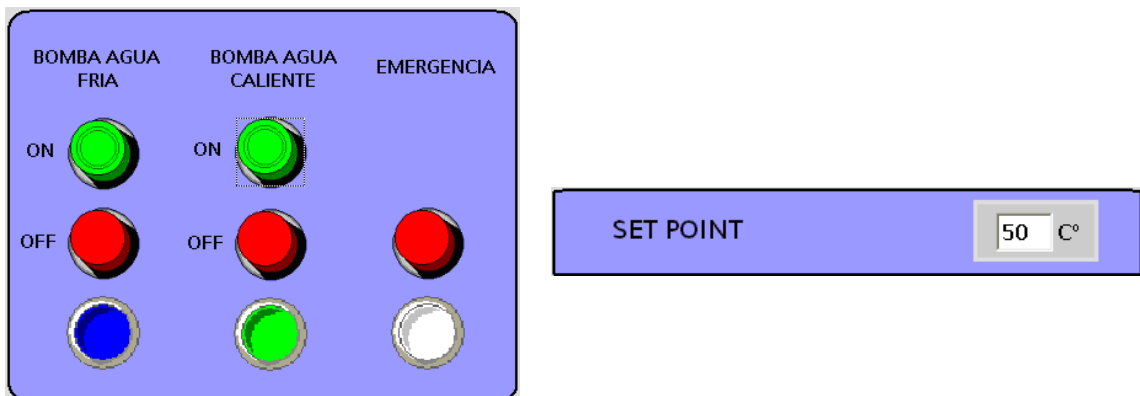


Se visualizan los valores escalados de los transmisores y la electroválvula.



Se comienza el proceso encendiendo las bombas con los pulsadores en el WinCC.

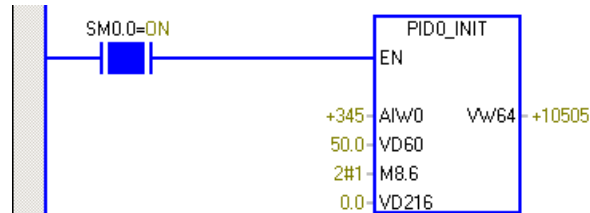
Se introduce nuestro set point de 50°C



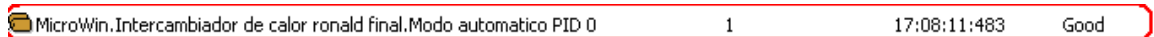
Se activa el PID del lazo 0, seleccionando el modo automático presionando la opción en la ventana del panel de sintonía PID primario.



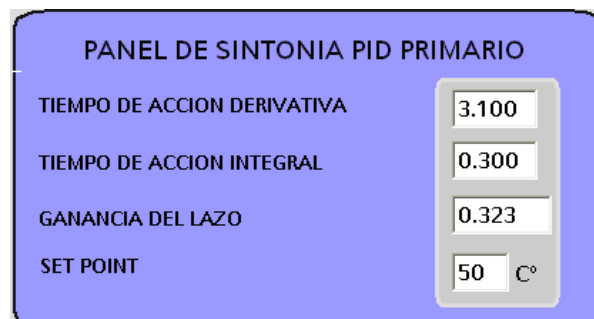
En el STEP 7 Micro/Win se visualiza el valor de la constante M 8.7 la cual representa manual-automático. El valor será de tipo booleano de 1 o 0 para automático o manual respectivamente.



En el OPC server se visualiza el valor de 1 para la variable modo automático PID 0.

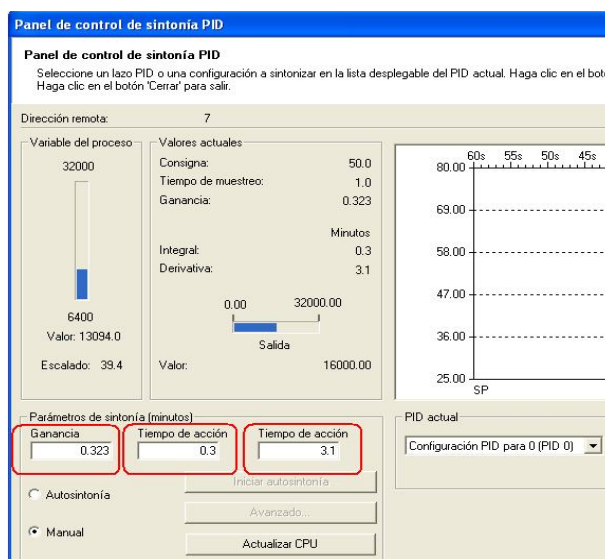


Se introduce las constantes del PID primario para regular el control de temperatura con respecto al set point. Estas constantes se encuentran caracterizadas para la planta piloto.



Se comprueba el valor consignado en la ventana de panel de sintonía PID primario, las constantes del PID 0 en la opción de panel de sintonía PID en la barra de herramientas del programa STEP 7/ MicroWin y en el servidor OPC Server.

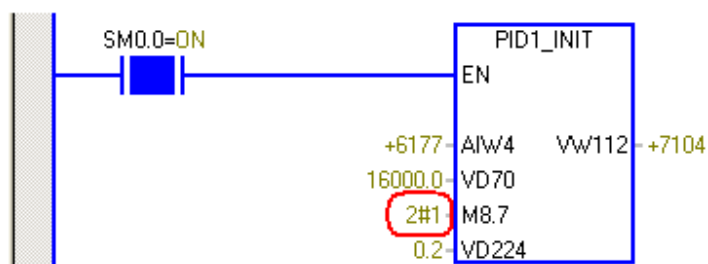
MicroWin.Intercambiador de calor ronald final.Tiempo de accion integral PID 0	0.3000000	17:05:14:500	Good
MicroWin.Intercambiador de calor ronald final.Tiempo de accion derivativa PID 0	3.1000000	17:05:14:500	Good
MicroWin.Intercambiador de calor ronald final.Ganancia de lazo PID 0	0.3230000	17:08:36:952	Good



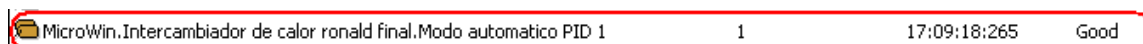
Así mismo, Se activa el PID del lazo 1, seleccionando el modo automático presionando la opción en la ventana del panel de sintonía PID primario indicado por el encendido del piloto verde.



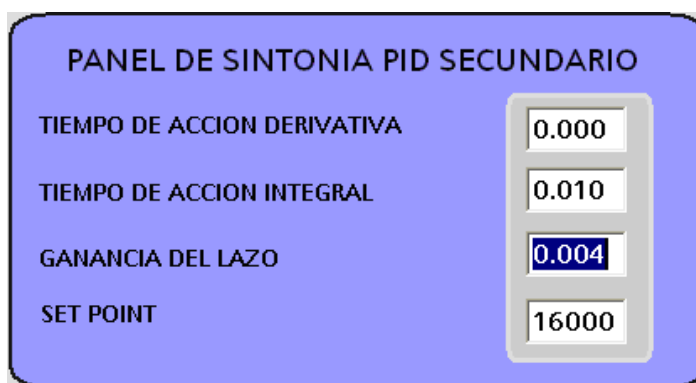
En el STEP 7 Micro/Win se visualiza el valor de la constante M 8.7 la cual representa manual-automático. El valor será de tipo booleano de 0 o 1 para automático o manual respectivamente.



En el OPC server se visualiza el valor de 1 para la variable modo automático PID 1.



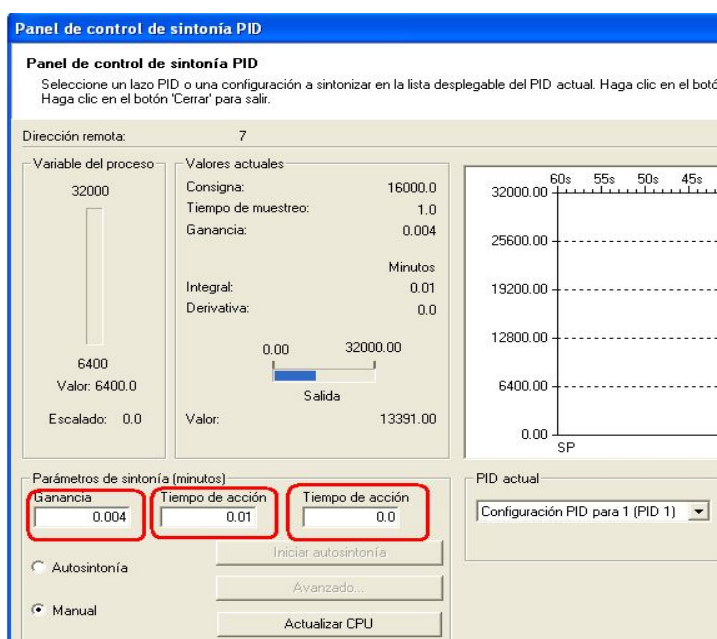
Se introducen las constantes del control PID secundario, el cual es un control PI para controlar el flujo del caudal de agua caliente por necesitar una respuesta rápida al proceso. Estas constantes se encuentran caracterizadas para la planta piloto.



Se comprueba el valor consignado en la ventana de panel de sintonía PID secundario, las constantes del PID 1 en la opción de panel de sintonía PID en la

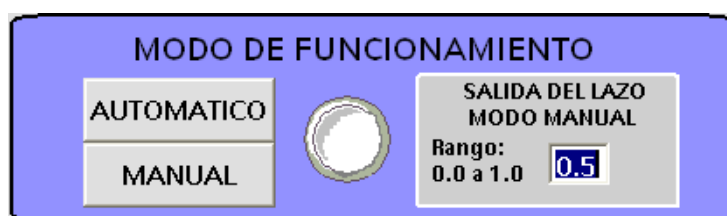
barra de herramientas del programa STEP 7/ Micro/WIN y en el servidor OPC Server.

MicroWin.Intercambiador de calor ronald final.Tiempo de accion integral PID 1	0.01000000	17:05:10:155	Good
MicroWin.Intercambiador de calor ronald final.Ganancia de lazo PID 1	0.004000000	17:05:05:608	Good



Para activar el modo manual, se presiona la opción en la ventana del panel de sintonía PID a configurar, colocando el valor de la variable M8.7 en 0.

Se consigna el valor de la salida del lazo en modo manual el cual estará en el rango de 0.0 a 1.0 equivalente a 0 el valor mínimo de salida 0 y 1.0 el valor máximo de salida 32000.

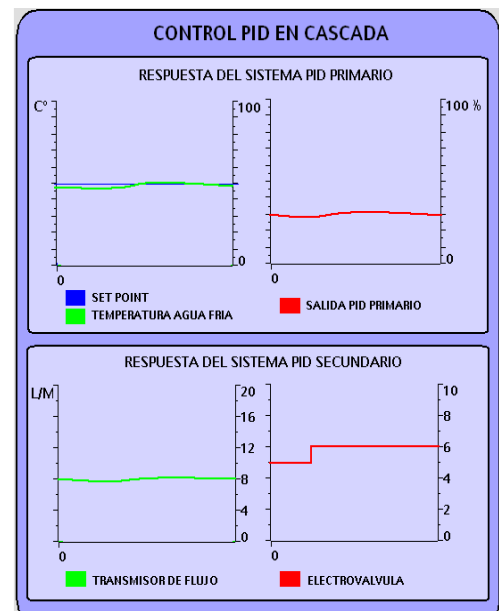
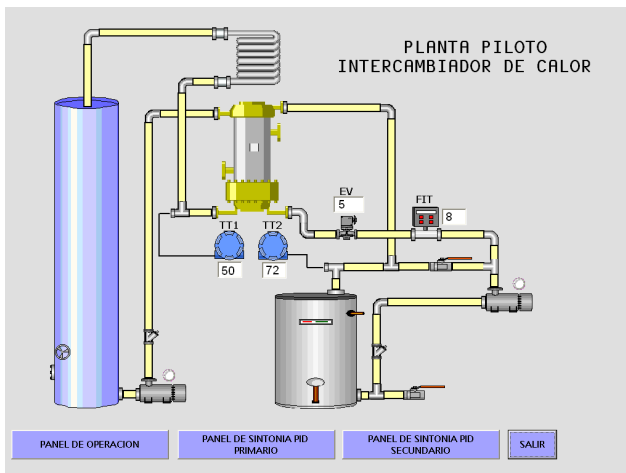


Se comprueba la Configuración en el servidor OPC Server y en la programación en el STEP 7 Micro/WIN activando la opción estado del programa.

MicroWin.Intercambiador de calor ronald final.Modo automatico PID 0	0	17:10:48:045	Good
MicroWin.Intercambiador de calor ronald final.Modo manual PID 0	0.5000000	17:10:53:264	Good

Manipulando finalmente la válvula para tener el control del proceso en circuito abierto como se menciono anteriormente.

Finalmente, se consigue que la planta piloto se estabilice manteniendo la temperatura de agua fría de acuerdo al setpoint seleccionado y la estrategia de control PID en cascada en modo automático como se muestra a continuación:



En la imagen se muestra la estabilidad en el proceso al igual que la temperatura alcanzada por el transmisor de agua fría igual al setpoint seleccionado. Cabe resaltar, que la conversión de los transmisores no es exactamente igual al valor enviado al PLC debido a que la conversión no se toman valores reales o decimales solo enteros pero será un valor aproximado de la lectura.

7 CONCLUSIONES

La automatización realizada a la planta piloto empleando el PLC S7-200 permite tareas específicas y por tanto permite mayor velocidad de trabajo en tiempo real, además, la simplicidad mecánica del mismo facilita su expansión de forma robusta en el ambiente industrial y soporta las duras condiciones de trabajo de ciertos entornos industriales, como altas temperaturas, vibraciones, golpes, suciedad, bruscos cambios de humedad o temperatura.

El diseño de los paneles de operación de la planta piloto facilita el correcto accionamiento y funcionamiento de la misma así como las señales acondicionadas para utilizar el PLC S7-200 y una tarjeta de adquisición de datos. La implementación de doble contacto en el selector y los pulsadores así como los conectores Centronics para la comunicación de la planta piloto con el PLC S7-200, nos permite diferenciar del todo las señales de modo manual/automático permitiendo un correcto funcionamiento de la planta sin ningún tipo de interrupción por conexión.

La programación del PLC se realizó en base a la estrategia de control PID en cascada, la cual, permite un mayor control y menos oscilaciones en la respuesta del sistema.

El control PID primario y PID secundario se podrán colocar en modo manual/automático dependiendo del usuario, ya que si se desea controlar la temperatura de agua fría controlando la apertura o cierre de la electroválvula manualmente se podrá desactivar el control PID colocándolo en modo manual y este colocara el mismo valor de la entrada en la salida, pudiendo así observar las señales de los transmisores para controlar la electroválvula por medio de una fuente de 10VDC variable.

Por otra parte, se muestra estabilidad en los resultados en modo automático para ambos PID con los mismos valores de las constantes para ambos lazos caracterizadas en el trabajo de tesis. Además, las señales escalonadas de los transmisores así como las señales enviadas a las bombas de agua fría y agua caliente y el setpoint son controladas y monitoreadas por el PLC S7-300 de Siemens a través de una red Profibus.

Por último, la planta piloto se supervisó en base al software HMI WinCC flexible, en el cual, se monitorea las señales de los transmisores y la electroválvula así como la respuesta del sistema ante el control PID en cascada. Además la fácil programación y versatilidad de WINCC flexible utilizando el servidor OPC Server S7-200 PC Access brinda una plataforma que permite realizar la integración de cualquier sistema de control basados en PLC's de diferentes marcas.

8. OPORTUNIDADES DE MEJORAS, RECOMENDACIONES Y SUGERENCIAS.

Para la estrategia de control en cascada para el control de temperatura del fluido frío se necesita optimizar el proceso debido a que presenta igual tiempo de estabilidad en la respuesta del sistema a cualquier setpoint introducido de 25-80°C estando la temperatura del agua caliente cerca a la deseada por el setpoint o estable en 80°C. Además, la respuesta de los PID en cascada presenta oscilaciones y se logra alcanzar una respuesta precisa ante el setpoint introducido por el usuario.

Por otra parte, la temperatura de control del calentador no deberá exceder los 80°C debido a que presentara vapor de agua y las bombas no podrán funcionar correctamente o no suministrarán el caudal de agua necesario para realizar el intercambio de calor y cada inicio de proceso deberá estar en esta temperatura.

También, el depósito de agua fría deberá estar lleno a la mitad para garantizar que la bomba de agua fría no se llene de aire y no funcione correctamente. Aunque existe la relación de el tiempo de calentar el agua Vs la cantidad de agua suministrada en el depósito; mayor es la cantidad de agua mayor será el tiempo en completar el proceso.

Por último, para el modo manual de la electroválvula deberá conectarse a una fuente de 10VDC variable ubicada en el panel lateral derecho como se menciona anteriormente, pero tener la precaución de desconectar la fuente de la electroválvula cada vez que se cambie de modo de operación a automático porque se dañaría la salida del PLC AQW0.

BIBLIOGRAFIA

ORTIZ José y VALDERRAMA Gustavo. Control de Temperatura de un Intercambiador de Calor. Trabajo de grado (Ingeniero Electricista Universidad Tecnológica de Bolívar. Cartagena, 2003.

VILLA José Luis. Módulo Sistemas SCADA. Minor en automatización. Cartagena, 2008.

DUQUE Jorge. Modulo PLC. Minor en automatización. Cartagena, 2008.

MANUAL DEL SISTEMA DEL CONTROLADOR PROGRAMABLE S7-200. Cartagena.

MANUAL USUARIO SIMATIC S7-200 CPU 224. Cartagena. Año académico 05-06