

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA AUTOMATIZACIÓN DE UN REACTOR DE ALTA PRESIÓN

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

BYRON DIEGO DONOSO MILLINGALLI

midobi243@yahoo.es

SEGUNDO VICENTE IPIALES PUPIALES

s_vicente22@hotmail.com

DIRECTOR: DR. LUIS CORRALES

luisco5049@yahoo.com

Quito, Octubre 2009

DECLARACIÓN

Nosotros, Byron Diego Donoso Millingalli y Segundo Vicente Ipiales Pupiales, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

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

Byron Donoso

Segundo Ipiales

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Byron Diego Donoso Millingalli y Segundo Vicente Ipiales Pupiales, bajo mi supervisión.

Dr. Luis Corrales
DIRECTOR DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTO

En primer lugar un profundo agradecimiento a mi madre Inés Millingalli por confiar y apoyarme siempre a lo largo de mi formación personal y profesional.

A mis hermanos Maribel, Stephanie y Michael por su cariño y afecto, por estar a mi lado y siempre comprenderme.

A mis amigos y amigas por darme su apoyo, en especial a Carlos y Luis por ayudarme cuando más necesitaba.

Agradezco al Ing Marcelo Albuja por la ayuda prestada para la financiación de los equipos utilizados para la realización de este proyecto.

Agradezco al Tlgo Camilo Peñaloza por su ayuda y habernos facilitado el instrumental necesario para la realización del presente proyecto.

Agradezco al Dr Luis Corrales por su dirección y colaboración para la culminación del proyecto.

En general agradezco a todas las personas que me ayudaron durante mi época de estudiante y en la realización de este proyecto, a todos ellos muchas gracias.

Byron

AGRADECIMIENTO

A mis padres Mercedes y Ramón por haberme brindado su apoyo y cariño durante la etapa estudiantil de mi vida, gracias a su esfuerzo y paciencia demostrados en todo momento y por sus consejos que han conllevado a culminar este objetivo.

A mis hermanos que en todo momento han sabido mantener su confianza en mí, en especial a Narciza por haber dedicado un poco de su vida a satisfacer mis necesidades de estudiante.

A mis primos Alberto, Segundo, Edwin y Pablo por haberme brindado su apoyo y palabras de aliento durante el inicio de mis estudios en la universidad.

A mis amigos y amigas por brindarme su amistad dentro o fuera de la universidad, mil gracias por los momentos compartidos.

Al Ing Marcelo Albuja y Tlgo. Camilo Peñaloza del laboratorio de Operaciones Unitarias por haber sido los gestores de la realización del presente proyecto y por su ayuda brindada.

Un sincero agradecimiento a nuestro director de tesis, el Dr. Luis Corrales, por su gran colaboración demostrada para la culminación de la etapa final de la carrera.

Segundo Vicente

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi madre, que con su ejemplo de superación y dedicación guiaron mi vida desde niño. Dedico además este trabajo a los estudiantes que por una u otra razón tienen dificultades para alcanzar sus metas, no claudiquen que al final del camino siempre hay una luz.

Byron

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres por su apoyo incondicional y a toda mi familia que han sabido mantener la unidad y comprensión en todo momento.

A Dios por su ayuda en los momentos más difíciles en mi vida.

Segundo Vicente

CONTENIDO

Resumen.....	xi
Presentación.....	xiii

CAPÍTULO 1: DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DEL REACTOR QUÍMICO

1.1 Generalidades.....	1
1.2 Concepto y características de reactor químico.....	1
1.2.1 Principales tipos de reactores químicos.....	2
1.2.2 Funciones principales de los reactores químicos.....	3
1.3 Ecuación de rendimiento.....	3
1.4 Teoría de las reacciones químicas.....	4
1.4.1 Definición de reacción química.....	4
1.4.2 Clases de reacciones químicas.....	5
1.5 Formas de cambios químicos.....	6
1.6 Definición de proceso químico.....	6
1.6.1 Procesos continuos.....	6
1.6.2 Procesos discontinuos.....	7
1.7 Descripción del proceso de reacción.....	8
1.8 Descripción del reactor de alta presión ubicado en el laboratorio de Operaciones Unitarias.....	10
1.8.1 Elementos que constituyen el reactor.....	10
1.8.2 Funcionamiento del reactor químico y sus requerimientos.....	13
1.9 Propuesta de diseño para la automatización del reactor.....	14

CAPÍTULO 2: DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO PARA EL PROCESO DE REACCIÓN Y ELABORACIÓN DE PRODUCTOS

2.1 Descripción del antiguo sistema de fuerza y control.....	17
2.1.1 Antiguo circuito de fuerza.....	19
2.1.2 Antiguo sistema de control.....	23
2.1.3 Funcionamiento del antiguo sistema de control.....	29
2.2 Conceptualización del nuevo circuito de fuerza y sistema de control.....	30
2.2.1 Nuevo circuito de fuerza.....	30
2.2.2 Nuevo sistema de control.....	31
2.2.3 Funcionamiento del nuevo sistema de control.....	31
2.2.4 Funcionamiento en modo manual.....	33
2.2.5 Funcionamiento en modo automático.....	33
2.2.5.1 Control del tiempo de seguridad.....	34
2.2.5.2 Control de la agitación.....	34
2.2.5.3 Histéresis de temperatura.....	35
2.2.5.4 Seguridad del sistema.....	35

CAPÍTULO 3: DISEÑO DEL CIRCUITO DE FUERZA Y SISTEMA DE CONTROL

3.1	Diseño del circuito de fuerza.....	38
3.1.1	Dimensionamiento de protecciones.....	39
3.1.1.1	Dimensionamiento del guardamotor.....	39
3.1.1.2	Dimensionamiento del interruptor electromagnético (breaker)..	40
3.1.2	Dimensionamiento del contactor.....	41
3.1.3	Dimensionamiento de los conductores.....	44
3.1.4	Selección de las válvulas a utilizar.....	47
3.1.5	Dimensionamiento de la fuente externa de 24 Vdc.....	50
3.2	Diseño del circuito de control.....	52
3.2.1	Selección de los transductores.....	52
3.2.2	Selección de la HMI.....	53
3.2.3	Hardware de control.....	54
3.2.4	Descripción de los equipos del hardware de control.....	55
3.2.4.1	Descripción del controlador lógico programable.....	55
3.2.4.2	PLC Simatic S7-200 CPU 224.....	57
3.2.4.3	Cable multimaestro RS-232/PPI S7-200.....	58
3.2.4.4	Módulo de entradas analógicas para RTD.....	58
3.2.4.5	Módulo de entradas analógicas 4-20 mA.....	59
3.2.4.6	Módulo de Comunicación EM 277 PROFIBUS-DP.....	59
3.2.4.7	Visualizador de textos TD200.....	60
3.2.5	Relés de interfaces.....	61
3.3	Diagrama del proceso.....	61
3.4	Diseño e implementación del tablero de mando.....	63
3.5	Desarrollo del software para el sistema de control.....	69
3.5.1	Step 7-Micro/Win.....	69
3.5.2	Componentes del Step7.....	70
3.5.3	Edición de programas mediante Step 7-Micro/WIN.....	71
3.5.4	Elementos de un programa de control.....	72
3.5.5	Comunicación entre la PC y el CPU.....	72
3.6	Comunicación entre el PLC y las HMIs.....	73
3.6.1	Principios básicos de la comunicación en redes S7-200.....	73
3.6.2	Protocolos de comunicación.....	75
3.6.3	Hardware para la comunicación entre el PLC y la PC (HMI remota)....	76
3.6.4	Hardware para la comunicación entre el PLC y el TD200 (HMI local)..	77
3.7	Diseño del programa del PLC.....	78
3.7.1	Programa principal.....	78
3.7.2	Subrutinas del programa.....	81
3.7.3	Diagrama de flujo.....	81
3.7.4	Declaración de variables.....	87
3.8	Diagrama de conexiones del PLC.....	88

CAPÍTULO 4: DISEÑO DE LA INTERFAZ HOMBRE – MÁQUINA

4.1 Desarrollo de la HMI de control en InTouch.....	90
4.1.2 Software InTouch para interfaz con computadora.....	90
4.1.3 Diseño gráfico de aplicaciones.....	91
4.2 Desarrollo de la interfaz gráfica para control.....	92
4.2.1 Lógica de manejo de las pantallas de la HMI.....	93
4.2.2 Estructura de pantallas.....	94
4.2.2.1 Pantalla de presentación.....	95
4.2.2.2 Pantalla de control de acceso	95
4.2.2.3 Pantallas de usuario de operador y visitante.....	97
4.2.2.4 Pantalla de la planta.....	98
4.2.2.5 Pantalla de configuración.....	100
4.2.2.6 Pantalla de tendencias.....	101
4.2.2.7 Pantalla de alarmas.....	102
4.2.2.8 Pantallas de alertas.....	103
4.3 Comunicación InTouch - PLC.....	104
4.3.1 Configuración del I/O Server S7200PPI.....	104
4.3.1.1 Configuración del puerto de comunicaciones.....	105
4.3.1.2 Configuración del tópico.....	106
4.3.1.3 Configuración del DDE.....	107
4.3.2 Configuración de los ítems en InTouch.....	108
4.3.3 Establecer comunicación entre InTouch y PLC.....	109
4.4 Diseño de la HMI local para el tablero de control.....	110
4.4.1 Software para la configuración del bloque de datos.....	110
4.4.1.1 Selección del TD200.....	111
4.4.1.2 Elección del idioma y juego de caracteres.....	112
4.4.1.3 Habilitación del menú estándar y protección con contraseña...	113
4.4.1.4 Definición de las teclas de función y frecuencia de actualización.....	114
4.4.1.5 Selección del tamaño y la cantidad de mensajes.....	116
4.4.1.6 Asignación de la memoria para el bloque de parámetros.....	116
4.4.1.7 Creación de mensajes.....	118
4.4.2 Desarrollo del bloque de datos para el TD 200.....	122
4.4.2.1 Creación de un mensaje de confirmación no requerida y edición no permitida.....	123
4.4.2.2 Creación de un mensaje de confirmación requerida y edición no permitida.....	125
4.4.2.3 Creación de un mensaje de confirmación no requerida y edición permitida.....	126

CAPÍTULO 5: IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO

5.1 Adquisición de los equipos.....	129
5.2 Montaje e instalación de los equipos.....	129
5.2.1 Recomendaciones para el montaje.....	131
5.2.2 Montaje del tablero de mando.....	132
5.2.3 Montaje de los equipos de fuerza y control en el tablero de mando.....	133

5.2.4 Montaje de los equipos empleados en la planta.....	136
5.3 Ubicación de los elementos en el panel frontal del tablero.....	139
5.4 Cableado de los elementos del sistema de control.....	141
5.5 Aspecto final de la planta automatizada.....	142

CAPÍTULO 6: PRUEBAS Y RESULTADOS

6.1 Pruebas de los transmisores	144
6.1.1 Pruebas de adquisición de valores de presión.....	144
6.1.2 Pruebas de adquisición de valores de temperatura.....	147
6.2 Pruebas de funcionamiento del tablero de control.....	148
6.3 Pruebas de funcionamiento de los equipos de comunicación.....	148
6.4 Pruebas de comunicación entre los módulos y el PLC.....	150
6.5 Pruebas de las alarmas.....	151
6.6 Pruebas del control de temperatura.....	152
6.7 Costos del proyecto.....	156

CAPÍTULO 7: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 Conclusiones.....	158
7.2 Recomendaciones.....	160

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	162
----------------------------------------	------------

ANEXOS.....	163
--------------------	------------

- A. Datos técnicos de los equipos S7-200 siemens PLC, módulos de ampliación, visualizador de textos y cable multimaestro RS-232/PPI
- B. Datos técnicos de los transductores de temperatura y presión
- C. Hojas técnicas de los elementos de protección y electroválvulas
- D. Manual de usuario

RESUMEN

El presente proyecto tiene como fin diseñar e implementar la automatización de un reactor químico en el laboratorio de Operaciones Unitarias, que servirá para que los estudiantes de la Facultad de Ingeniería Química y Agroindustria realicen prácticas de elaboración de productos químicos.

Para el control se utilizó un PLC, que permite controlar la temperatura en el tanque de reacciones y monitorear la presión del reactor. En el PLC se desarrolló el algoritmo para controlar la temperatura del tanque, la agitación de los compuestos, el tiempo de duración de la reacción y la histéresis de temperatura, mientras que en la PC, con la ayuda del paquete computacional InTouch, se diseñó e implementó una interfaz de usuario amigable y segura para el operador, en donde se monitorea el estado de la planta y permite setear las variables del sistema de control.

Para la supervisión y control de la temperatura, y medición de presión en el reactor se diseñó e implementó dos HMIs, una instalada en el tablero de mando (TD-200) y la otra en una computadora personal mediante comunicación RS-485. Estas permiten monitorear el estado de la planta en tiempo real, setear las variables del proceso, y pueden funcionar de forma simultánea.

Para comunicación simultánea de las dos HMIs se utilizó un módulo PROFIBUS-DP. Este se conecta al visualizador de textos, mientras que al puerto del PLC mediante el cable de interfaz se comunica con la PC.

La comunicación entre el PLC y la PC se logra con la utilización del IO/server S7200PPI el cual solo necesita ser instalado en la PC y configurado de acuerdo a los requerimientos de funcionamiento.

Para el control de temperatura se utilizó un transductor PT100 que mide la temperatura dentro del tanque y cuya señal es enviada a un módulo de ampliación que se conecta al PLC.

Para monitorear la presión en el reactor se usó dos transmisores de presión uno para la camisa y el otro para el tanque sus señales son llevadas a un módulo de ampliación que se conecta al PLC.

Para seleccionar los actuadores más adecuados se realizaron pruebas de calentamiento y enfriamiento en el reactor, para determinar el tiempo de respuesta de la planta. Con estas pruebas se decidió utilizar electroválvulas como elementos actuadores.

En el control diseñado e implementado se logra mantener la temperatura en un rango de ± 1 °C hasta ± 2 °C de histéresis en pasos de 0.1 grados, los errores del sistema no sobrepasan el 2% y no afectan al proceso porque están dentro del margen de error aceptable.

PRESENTACIÓN

Actualmente los sistemas automáticos de control de procesos permiten un máximo aprovechamiento de recursos e insumos de materia prima para reducir los costos de fabricación y al mismo tiempo permiten maximizar los índices de producción. La automatización consiste en la incorporación de instrumentos y dispositivos tecnológicos que aseguren el manejo y control de variables del proceso acorde a las características de la planta o proceso.

La necesidad de contar con la infraestructura de control adecuada para el funcionamiento de un reactor químico ubicado en el laboratorio de Operaciones Unitarias de la Facultad de Ingeniería Química y Agroindustria de la EPN, ha dado lugar a la realización del presente proyecto de titulación **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA AUTOMATIZACIÓN DE UN REACTOR DE ALTA PRESIÓN”**, mediante el cual se logró rehabilitar la planta de reacción que ha permanecido en total abandono durante muchos años.

El sistema de control se ha implementado en un controlador lógico programable interconectado con módulos de ampliación, está diseñado para controlar la temperatura y monitoreo de la presión dentro del tanque de reacción que se encuentra en el reactor. Adicionalmente, el comportamiento del proceso se visualizan en dos interfaces HMIs para monitoreo y control.

Para llevar a cabo el desarrollo del proyecto se realizó diferentes actividades como estudio previo, planteamiento de soluciones, diseño, implementación y finalmente pruebas de funcionamiento, lo cual se detalla en 7 capítulos dispuestos de la siguiente manera:

En el Capítulo 1 se hace una breve descripción del funcionamiento y propiedades de los principales tipos de reactores químicos, seguidamente se hace un estudio de las condiciones físicas de las partes que constituyen el reactor y se plantea una solución para la automatización del proceso.

En el Capítulo 2 se describe el funcionamiento del antiguo sistema fuerza y de control y el funcionamiento del nuevo sistema de fuerza y de control tanto en modo manual como en modo automático.

En el Capítulo 3 se realiza el diseño y descripción de los dispositivos que constituyen el nuevo sistema de fuerza y hardware de control, los enlaces físicos de comunicación entre el controlador y las HMIs y el funcionamiento lógico del algoritmo de control implementado.

En el Capítulo 4 se detalla el software para el desarrollo de la interfaz HMI local y remota, se desarrolla el software de las aplicaciones HMIs que estarán ubicados en el tablero junto al reactor (local) y en el computador del laboratorio (remoto).

En el Capítulo 5 se detalla la implementación del proyecto, las instalaciones y conexiones de los equipos que integran el sistema de control. Además, se presenta el aspecto final de la planta.

En el Capítulo 6 se describe el costo aproximado del proyecto, las pruebas de funcionamiento realizadas y los resultados obtenidos luego de automatizar el reactor.

El Capítulo 7 contiene algunas conclusiones y recomendaciones obtenidas luego de haber realizado el proyecto, las cuales pueden ser de utilidad en el manejo o desarrollo de aplicaciones similares.

CAPÍTULO 1
DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DEL REACTOR QUÍMICO

CAPÍTULO 1

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DEL REACTOR QUÍMICO

1.1 GENERALIDADES

En el año de 1963, la UNESCO instaló un reactor químico de alta presión en el laboratorio de Operaciones Unitarias de la facultad de Ingeniería Química y Agroindustria de la Escuela Politécnica Nacional, con la finalidad de que sus estudiantes realicen prácticas. Debido a los años de funcionamiento y la falta de un adecuado mantenimiento el reactor ha perdido funcionalidad.

En la actualidad la planta trabaja en forma manual, y es responsabilidad del operador cargar la materia prima y controlar la temperatura. Existe un tablero de control pero este se encuentra incompleto y con varios de sus componentes dañados.

El objetivo del proyecto es diseñar e implementar un sistema electrónico que permita controlar la temperatura del reactor tanto en forma manual como automática.

1.2 CONCEPTO Y CARACTERÍSTICAS DE REACTOR QUÍMICO

Un reactor químico es una unidad procesadora diseñada para que en su interior se lleve a cabo una o varias reacciones químicas. Dicha unidad procesadora está constituida por un recipiente cerrado, el cual cuenta con líneas de entrada y salida para sustancias químicas, y está gobernado por un algoritmo de control.

En la unidad procesadora se introducen varios componentes químicos los cuales, sometidos a una determinada temperatura, reaccionan entre sí formando un nuevo producto.

1.2.1 PRINCIPALES TIPOS DE REACTORES QUÍMICOS

Los reactores químicos a escala industrial, según la forma de operación, se clasifican en tres tipos:

1. Reactor Discontinuo
2. Reactor Continuo
3. Reactor Semicontinuo

Reactor Discontinuo

Es aquel en donde no entra ni sale material durante la reacción. Al inicio del proceso se introduce los materiales, se lleva el reactor a las condiciones de presión y temperatura requeridas, y se deja reaccionar por un tiempo preestablecido. Luego se descargan los productos de la reacción y los reactantes no convertidos; por lo tanto, la masa total de la mezcla de reacción se mantiene constante. También es conocido como reactor por lotes o tipo Batch.

Reactor Continuo

Mientras tiene lugar la reacción química al interior del reactor, éste se alimenta constantemente de material reactante, y también se retira ininterrumpidamente los productos de la reacción, por lo tanto la masa total de la mezcla de reacción no se mantiene constante.

En general, si se pretende una producción pequeña lo más adecuado es utilizar un reactor discontinuo, mientras que para grandes tasas de producción es mejor

usar reactores continuos, de flujo pistón (PFR) o reactores de tanque continuamente agitados (CSTR).

Reactor Semicontinuo

Es aquel en el cual inicialmente se carga de material todo el reactor, y a medida que tiene lugar la reacción, se va retirando productos y también incorporando más material de manera casi continua, en este caso la masa total de la mezcla de reacción tampoco se mantiene constante.

1.2.2 FUNCIONES PRINCIPALES DE LOS REACTORES QUÍMICOS

Los reactores químicos tienen como funciones principales:

1. Asegurar el tipo de contacto o modo de fluir de los reactantes en el interior del tanque, para conseguir una mezcla deseada con los materiales reactantes.
2. Proporcionar el tiempo suficiente de contacto entre las sustancias y el catalizador, para conseguir la extensión deseada de la reacción.
3. Permitir condiciones de presión, temperatura y composición de modo que la reacción tenga lugar en el grado y a la velocidad deseada, atendiendo a los aspectos termodinámicos y cinéticos de la reacción.

1.3 ECUACIÓN DE RENDIMIENTO

Es aquella expresión matemática que relaciona la salida con la entrada en un reactor químico, para diversas cinéticas y diferentes modelos de contacto.

Modelo de Contacto: Está referido a como los materiales circulan a través del reactor y se contactan unos con otros dentro de este, además del tiempo que

necesitan para mezclarse, y las condiciones y características de la incorporación de material.

Cinética: Está referido a cuán rápido ocurren las reacciones, el equilibrio dentro del reactor, y la velocidad de la reacción química. Estos factores están condicionados por la transferencia (balance) de materia (ec 1.1) y energía (ec 1.2).

El balance de masas esta dado por la relación:

$$\text{ENTRA} - \text{SALE} + \text{GENERA} - \text{DESAPARECE} = \text{ACUMULA} \quad \text{ec 1.1}$$

El balance de energía esta dado por la relación:

$$\text{ENTRA} - \text{SALE} \pm \text{GENERA} \pm \text{TRANSMITE} = \text{ACUMULA} \quad \text{ec 1.2}$$

1.4 TEORÍA DE LAS REACCIONES QUÍMICAS

1.4.1 DEFINICIÓN DE REACCIÓN QUÍMICA

Se conoce como reacción química a aquella operación unitaria que tiene por objeto distribuir de forma distinta los átomos de ciertas moléculas (compuestos, reaccionantes o reactantes) para formar otras nuevas (productos). El lugar físico donde se llevan a cabo las reacciones químicas se denomina REACTOR QUÍMICO.

Los factores que hay que tener en cuenta a la hora de llevar a cabo o desarrollar una reacción química son:

1. Condiciones de presión, temperatura, y composición necesarias para que los materiales entren en estado de reacción.

2. Las características termodinámicas y cinéticas de la reacción.
3. Las fases (sólido, líquido, gaseoso) que se encuentran presentes en la reacción.

1.4.2 CLASES DE REACCIONES QUÍMICAS

Los diferentes tipos de reacciones químicas se detallan a continuación:

Reacciones Homogéneas: Cuando se afecta solamente una fase, ya sea gaseosa, sólida, o líquida.

Reacciones Heterogéneas: Cuando se requiere la presencia de al menos dos fases para que tenga lugar la reacción a una velocidad deseada.

Reacciones Enzimáticas: Utilizan catalizadores biológicos (proteínas con alto peso molecular, con centros activos, y que trabajan a bajas temperaturas).

Reacciones Catalíticas: Son aquellas reacciones que requieren de una sustancia adicional (que no aparece en el balance global) para modificar la velocidad de reacción. Esta sustancia, por su mera presencia, provoca la reacción química, reacción que de otro modo no ocurriría.

Reacciones No Catalíticas: Los materiales reactantes no necesitan ninguna sustancia adicional para dar lugar a la reacción química.

Reacciones Endotérmicas: Son aquellas que absorben calor del exterior.

Reacciones Exotérmicas: Son aquellas que liberan calor hacia el exterior.

1.5 FORMAS DE CAMBIOS QUÍMICOS

A continuación se describe las formas de los cambios químicos en una reacción química:

- Descomposición, consiste en que una molécula se divide en moléculas más pequeñas, átomos o radicales.
- Combinación, ésta se realiza cuando una molécula o átomo se une con otra especie para formar un compuesto nuevo.
- Isomerización, en este caso la molécula no efectúa ninguna descomposición externa o adición a otra, es simplemente un cambio de configuración estructural interna.

1.6 DEFINICIÓN DE PROCESO QUÍMICO

Conjunto de operaciones químicas y/o físicas ordenadas para la transformación de unas materias iniciales en productos finales diferentes.

A escala industrial se utilizan dos métodos de proceso: continuo y discontinuo.

1.6.1 PROCESOS CONTINUOS

En estos sistemas todos los reactivos son continuamente cargados al reactor y los productos son continuamente descargados (Figura 1.1).

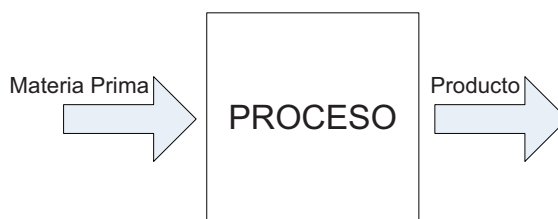


Figura 1.1 Característica de proceso continuo.

Los procesos continuos tienen una principal ventaja, la economía de escala. La producción en gran volumen de un producto estándar generalmente proporciona una buena recuperación del capital invertido. Dado que los requerimientos de productos no cambian significativamente, el proceso necesitará mínimas modificaciones durante su vida de trabajo para mantenerse competitivo.

Además, los procesos continuos tienen otras ventajas:

- Se requiere menos espacio
- Se requiere menos material
- Se necesita menos volumen de almacenaje

1.6.2 PROCESOS DISCONTINUOS

En un proceso discontinuo los reactivos son precargados y se vacían cuando la reacción se ha completado (Figura 1.2).

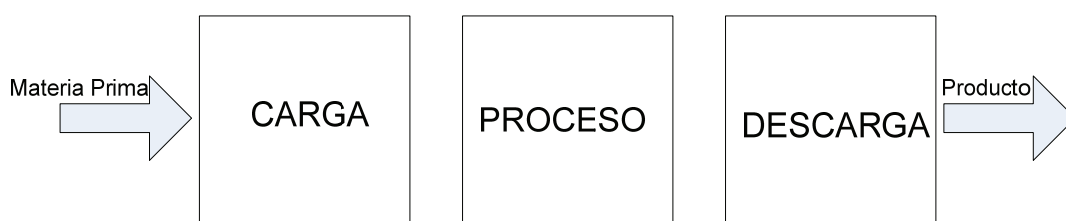


Figura 1.2 Característica de proceso discontinuo.

La ventaja clave es la flexibilidad de este tipo de procesos. Por eso se utilizan mayoritariamente en la industria química, alimentaria o farmacéutica, donde es muy importante ofrecer una gran variedad de productos e introducir otros nuevos muy rápidamente, ya que estos sectores industriales operan en mercados altamente competitivos.

Los equipos de procesos discontinuos se diseñan para manejar un rango de operaciones y productos. La flexibilidad permite manufacturar nuevos productos sin tener que construir una nueva planta o sin tener que hacer grandes cambios

de equipo. Esta flexibilidad también permite producir pequeñas cantidades de un producto sin arriesgar toda la productividad.

La Tabla 1.1 muestra algunas características de los procesos continuos y discontinuos.

CARACTERÍSTICAS	DISCONTINUO	CONTINUO
Operación de proceso	Ocurre una secuencia específica.	Ocurre continua y simultáneamente.
Diseño de Equipo, uso	Diseñado para ser capaz de producir muchos productos.	Diseñado para producir productos específicos.
Producto	Una cantidad limitada (lote).	Un flujo continuo.
Entorno	Variable, a menudo cambiando notablemente entre operaciones.	Usualmente estado fijo con presión, flujo, etc., constantes.
Intervención del operador	Necesario regularmente como parte de las operaciones de proceso.	Principalmente, para corregir condiciones anormales.

Tabla 1.1 Comparación entre procesos continuos y discontinuos.

1.7 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE REACCIÓN

En general la secuencia básica (Figura 1.3) para realizar un proceso en un reactor de tipo discontinuo es:



Figura 1.3 Secuencia básica del proceso discontinuo

Alimentación de reactantes

Primero se alimenta al tanque del reactor con los reactantes, los cuales van a producir una reacción química dentro del mismo para obtener un producto.

Carga de catalizador

Una vez que están los reactantes se carga el catalizador, que como ya se indicó es el compuesto químico que hace que la reacción se lleve a cabo. Como característica principal es que no se consume en la reacción, quedando presente al final de la misma en la misma cantidad que se añade al comienzo.

Reacción

Con todos los componentes mencionados anteriormente, y en condiciones favorables de temperatura y presión, se lleva a cabo la reacción que genera el producto final.

Descarga del producto

Terminado el tiempo de proceso que se requiere para que la reacción química se lleve a cabo se procede a la descarga del producto.

Acabado del producto

La finalidad del acabado del producto es la de eliminar el catalizador del producto final y, en lo posible, la eliminación de componentes que provienen de reacciones secundarias.

Almacenaje del producto final

Luego del acabado del producto se lo almacena en tanques para una mejor conservación del producto final.

1.8 DESCRIPCIÓN DEL REACTOR DE ALTA PRESIÓN UBICADO EN EL LABORATORIO DE OPERACIONES UNITARIAS

El reactor es de tipo discontinuo, apto para reacciones de tipo endotérmicas o exotérmicas. Además, existe la posibilidad de realizar reacciones en vacío, que consiste en extraer el aire que se encuentra dentro del tanque de reacción. Esto se logra haciendo circular vapor de agua a través de un tubo Venturi que se encuentra junto al reactor.

1.8.1 ELEMENTOS QUE CONSTITUYEN EL REACTOR

Las partes que componen el reactor son las siguientes:

1. Tanque interno de reacción en donde se carga la materia prima.
2. Tanque externo que recubre al tanque interno dejando un espacio de separación llamado camisa, en donde al circular vapor de agua la temperatura del tanque se incrementa.
3. Un condensador (Figura 1.4) encargado de convertir el vapor generado en el interior del tanque en líquido.
4. Un tanque separador (Figura 1.4) en el que se separa el agua del líquido que sale del condensador cuya capacidad es 15 galones.
5. Motor trifásico de inducción de 2HP, 220V, 60Hz y velocidad máxima de 950 RPM (Figura 1.4).
6. Aspas internas acopladas a un sistema reductor y al motor que tienen la función de agitar/mezclar los componentes dentro del tanque.
7. Un termómetro análogo cuyo rango máximo de medición es 175°C, con indicador incorporado para medición de temperatura en el interior del tanque.
8. Manómetro de presión absoluta y de vacío para medición de presión dentro del tanque.
9. Manómetro de presión absoluta para medición de presión dentro de la camisa.
10. Medidor de nivel de líquido en el tanque con tubo de cristal y armadura metálica (Figura 1.4).
11. Indicador de flujo (Figura 1.4) que se encuentra entre el condensador y el tanque separador.
12. Válvula de alivio para la camisa (Figura 1.4), se activa cuando la presión llega a 100 PSIG, que es la máxima que soporta el reactor.
13. Tablero de conexiones y accionamientos en modo manual, totalmente deteriorado.
14. Válvulas de acción manual para permitir/bloquear la entrada de agua fría durante el enfriamiento.
15. Válvulas de acción manual para permitir/bloquear la entrada de vapor durante el calentamiento.
16. Válvula de acción manual para que circule vapor a través de un Venturi el cual extraerá el aire presente en el interior del tanque.

17. Tubo Venturi (Figura 1.4), es un dispositivo que origina una pérdida de presión al pasar por él un fluido. Éste es una tubería corta recta, o garganta, entre dos tramos cónicos. Su función es la de crear vacío mediante la caída de presión.
18. Trampa de vapor (Figura 1.4) ubicada en la parte inferior del reactor sirve para extraer el agua producida por el vapor condensado y para mantener encerrado el vapor de agua dentro de la camisa.

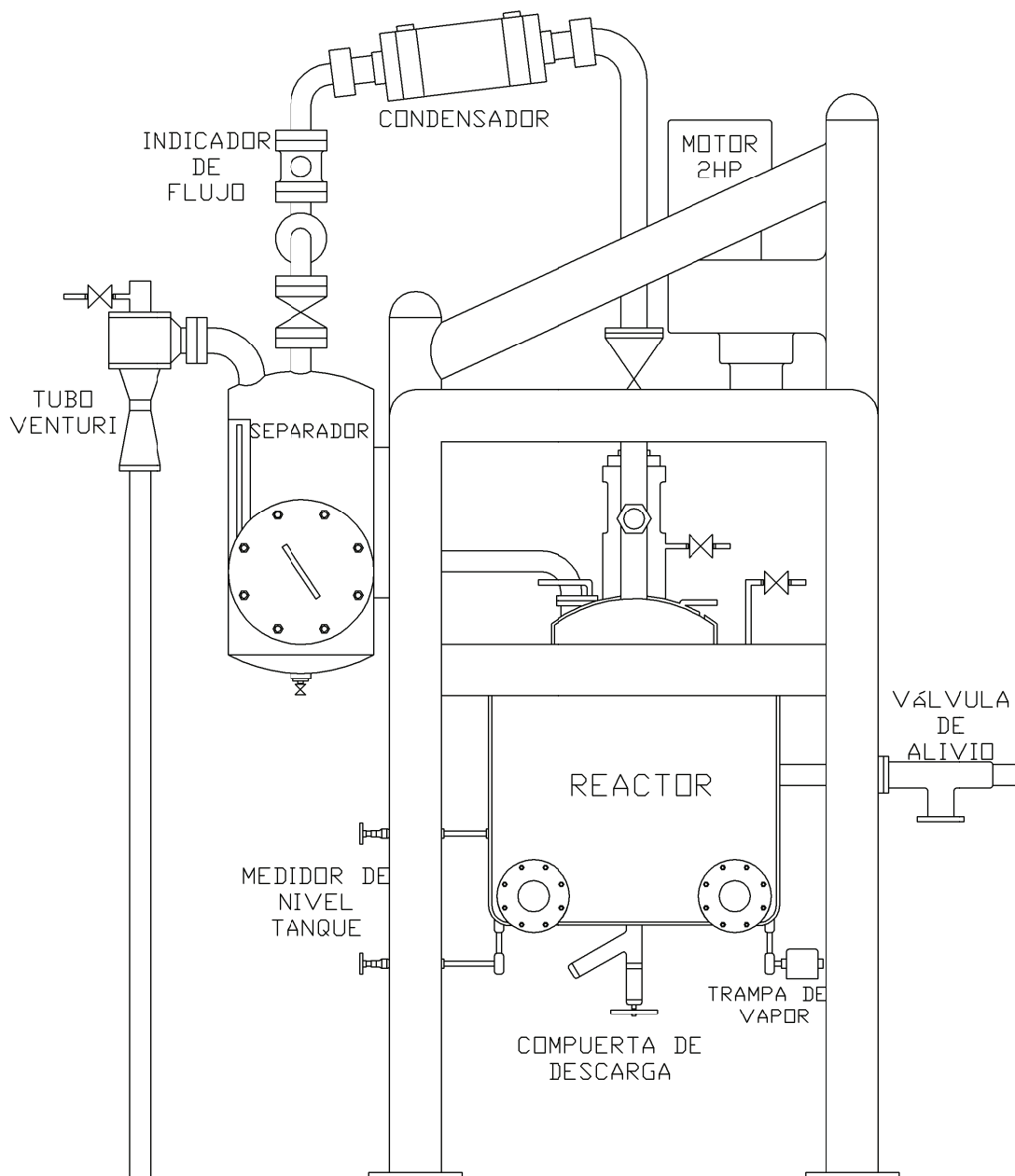


Figura 1.4 Vista frontal del reactor de alta presión

1.8.2 FUNCIONAMIENTO DEL REACTOR QUÍMICO Y SUS REQUERIMIENTOS

En el proceso es necesario mantener constante la temperatura dentro del tanque de reacción durante un determinado tiempo y con diferentes opciones de agitación dependiendo del tipo de reacción o producto final deseado.

Control de la Temperatura: La temperatura dentro del tanque es la variable más importante y monitoreada durante el proceso de reacción para obtener un producto final de excelentes características.

Para incrementar la temperatura se inyecta vapor de agua hacia la camisa del reactor. El vapor de agua proviene de un caldero que abastece a todo el laboratorio. El vapor de agua se encuentra a una temperatura de 150° C, con una presión que varía de 40 a 50 PSIG. Para permitir o bloquear el paso de vapor hacia la camisa, se encuentran instaladas válvulas de accionamiento manual. Para disminuir la temperatura, se hace circular agua fría por un serpentín que se encuentra ubicado dentro del tanque. Para permitir o bloquear el paso de agua se encuentran instaladas válvulas de accionamiento manual.

Tiempo de seguridad de la reacción: Para cada etapa del proceso, hay que determinar el tiempo máximo que la masa de reacción puede mantenerse de modo seguro a una temperatura elevada (estar más tiempo del preciso a una temperatura elevada, puede significar que el material térmicamente inestable se descomponga). Existen procesos en los cuales luego de haber completado el proceso de reacción requieren que el producto final se lleve a temperatura ambiente lo más rápido posible.

Agitación: El control de la agitación es vital, dado que una reacción sin agitación tiene tres efectos inmediatos:

1. Una mezcla pobre de los reactivos y una mala transferencia de calor.
2. Una mezcla pobre implica una acumulación de reactivos y, si la mezcla de reacción contiene más de una fase, puede separarse en capas, las cuales reaccionarán rápida y peligrosamente.
3. El efecto de una mala transferencia de calor, puede conducir a una reacción fuera de control debido al aumento de la temperatura, por una inadecuada refrigeración.

La Tabla 1.3 muestra las especificaciones físicas de diseño del reactor.

ESPECIFICACIONES DEL REACTOR	
Capacidad del tanque	15 [galones]
Temperatura máxima de diseño	700 [°F]
Presión de diseño, en el tanque	100 [PSIG]
Presión de diseño, en la camisa	100 [PSIG]
Dimensiones de la Planta (metros)	2.85x2.17x2.30 (lxaxp)

Tabla 1.3 Especificaciones de diseño del reactor.

En base a pruebas de funcionamiento realizadas previo a la realización del presente proyecto, se determinó que éste reactor mantiene varias de las especificaciones de procesamiento iniciales, todo el funcionamiento se lo realiza manualmente y la infraestructura (instalaciones físicas y mecánicas) de la planta está apta para su futura utilización, excepto

1.9 PROPUESTA DE DISEÑO PARA LA AUTOMATIZACIÓN DEL REACTOR

Se diseñará e implementará un sistema de control de temperatura con las siguientes características de funcionamiento:

Para mantener constante la temperatura en el reactor se realizará un sistema de control con un PLC. En este se implementará un algoritmo de control en base a instrumentación y sistemas de control para monitorizar la temperatura, la presión, y el tiempo de seguridad para tomar la acción correctora cuando se detecta una desviación de los estándares de operación fijados.

Con el fin de garantizar que el tiempo de seguridad en el proceso no sea excedido, existirán procedimientos que aseguren el cumplimiento y control de dicho tiempo.

Para obtener una mezcla homogénea en la reacción, la agitación podrá ser manual o automática.

Para facilidad del operador, el sistema de control contará con dos HMIs (Interfaz Hombre-Máquina) una local y otra remota para monitoreo y control del proceso.

En la Figura 1.5 se presenta el diagrama de bloques del sistema de control mencionado.

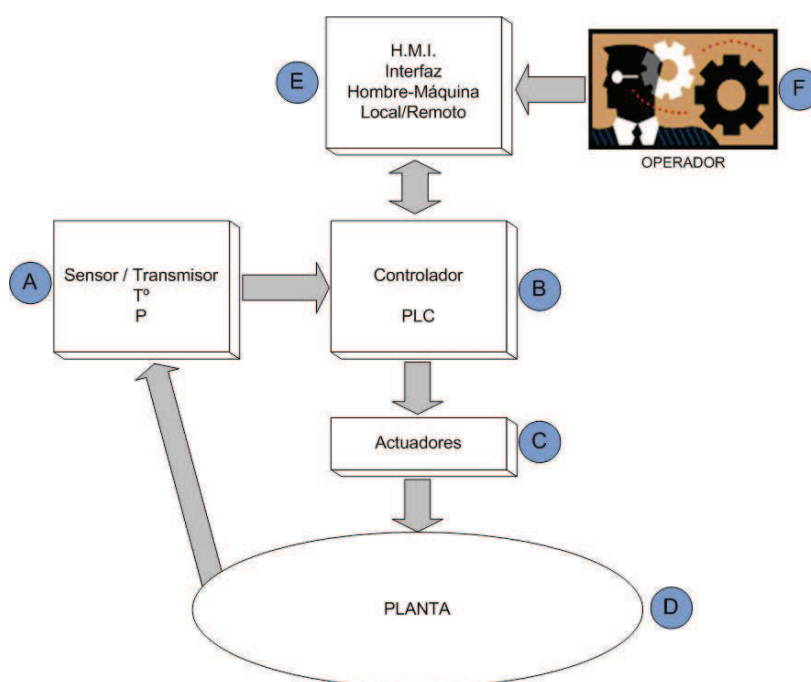


Figura 1.5 Diagrama de bloques del sistema de control

Bloque A: corresponde a la instrumentación necesaria para medir las variables temperatura y presión dentro del reactor.

Bloque B: las señales provenientes de los transductores ingresan al PLC los cuales al mismo tiempo se comunican con la HMI y en base a los parámetros ingresados por el operador se ejecutará un algoritmo de control a ser implementado en el PLC para realizar acciones de control sobre los actuadores.

Bloque C: son los elementos que en base a las órdenes recibidas desde el PLC modifican el valor de la variable controlada.

Bloque D: es el lugar donde se transforma la materia prima en producto final mediante reacciones químicas, aquí también ocurren acciones relacionadas con la medición y control de las variables.

Bloque E: mediante las HMIs es posible la interacción del operador con el proceso para visualizar el estado del mismo y setear las variables que requiere el proceso.

Bloque F: el usuario debe ser un operador calificado y con los conocimientos suficientes acerca del proceso de elaboración de productos basados en reacciones químicas.

En el presente capítulo se han definido los diferentes parámetros necesarios para lograr una reacción química en un reactor, las características físicas y requerimientos para el funcionamiento de la planta.

En el siguiente capítulo se describirá el sistema de control del proceso en base a las características de la planta.

CAPÍTULO 2
DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL
AUTOMÁTICO PARA EL PROCESO DE REACCIÓN Y
ELABORACIÓN DE PRODUCTOS

CAPÍTULO 2

DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO PARA EL PROCESO DE REACCIÓN Y ELABORACIÓN DE PRODUCTOS

En el presente capítulo se presenta gráficamente cuales son los componentes del antiguo circuito de fuerza y circuito de control, el nivel de deterioro que ha sufrido el reactor y el tablero de control. Posteriormente se conceptualiza el funcionamiento del nuevo sistema de fuerza y control.

2.1 DESCRIPCIÓN DEL ANTIGUO SISTEMA DE FUERZA Y CONTROL

Cuando se inspeccionó la planta se vio que estaba en total abandono y había dejado de ser útil para la realización de prácticas de laboratorio. Se observó además que existían instalaciones eléctricas y sistema de tuberías de evacuación de agua residual en mal estado e incompletas.

Las condiciones en que se encontró la planta se pueden observar en la Figura 2.1.



Figura 2.1 Estado original de la planta de reacciones químicas

La planta disponía de un estropeado y alterado tablero de control (Figura 2.2), y tiene manómetros que indican las presiones en el tanque y en la camisa. Además, incluye interruptores para las resistencias de calefacción ubicadas en el reactor y accionamiento de tipo marcha-paro para el motor de agitación.



Figura 2.2 Vista frontal del antiguo tablero de control

2.1.1 ANTIGUO CIRCUITO DE FUERZA

Inicialmente, el reactor se calentaba mediante resistencias de calefacción o inyectando vapor hacia la camisa, pero debido a no haber realizado durante muchos años un adecuado mantenimiento del sistema de calentamiento con resistencias, éstas han perdido funcionalidad.

El antiguo sistema de fuerza básicamente está constituido por los siguientes elementos:

1. Dos resistencias de calefacción trifásica de 4.5KW, 220V ,60Hz.
2. Motor trifásico de inducción (Figura 2.3) para la agitación.
3. Dos interruptores de cuchillas para alimentación trifásica de las resistencias de calefacción.
4. Un interruptor de cuchillas para alimentación del motor trifásico.
5. Dos contactores para activar/desactivar la alimentación a las resistencias de calefacción.
6. Un contactor con acciones marcha-paro del motor trifásico.

El motor (Figura 2.3) se utiliza para agitar los reactivos dentro del tanque, su arranque se lo realiza de forma directa con un contactor al activar/desactivar su respectivo accionamiento.



Figura 2.3 Motor de trifásico de inducción para la agitación

Las resistencias de calefacción (Figura 2.4) son activadas o desactivadas por medio de sus respectivos contactores (Figura 2.5). Estas son utilizadas para calentar el tanque del reactor.

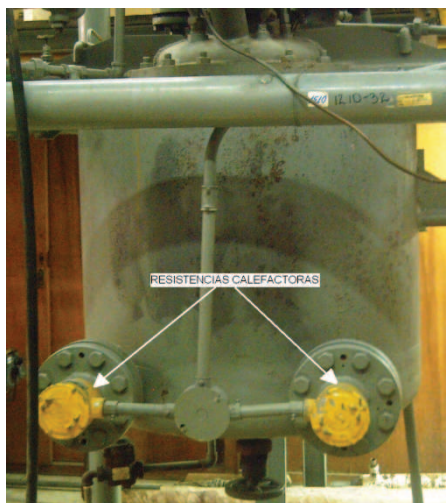


Figura 2.4 Ubicación de las resistencias de calefacción en el reactor

En la Figura 2.5 se ilustra el tipo de contactores utilizados para el control del motor y las resistencias trifásicas.



Figura 2.5 Contactor trifásico

El circuito eléctrico del antiguo tablero de control (Figura 2.6) se encontraba en mal estado y con sus componentes dañados.



Figura 2.6 Parte del antiguo circuito eléctrico

En la Figura 2.7 se presenta el diagrama eléctrico del antiguo circuito de fuerza.

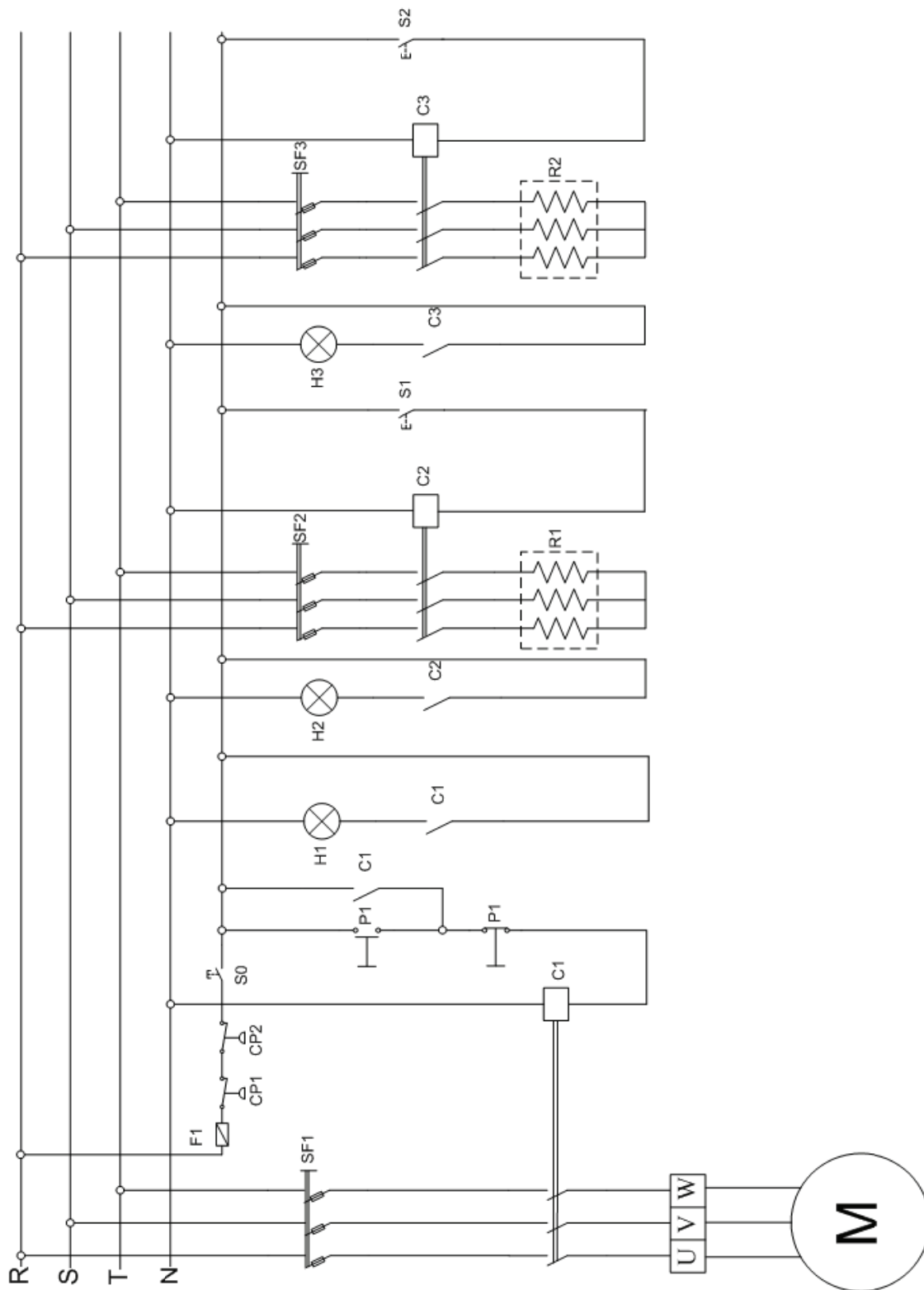


Figura 2.7 Antiguo circuito de fuerza

A continuación se identifica la nomenclatura utilizada en el circuito de fuerza antiguo:

- S0: Interruptor manual para energizar el circuito de fuerza.
- S1: Interruptor manual para accionar resistencias calefactoras (derecha).
- S2: Interruptor manual para accionar resistencias calefactoras (izquierda).
- SF1: Interruptor de cuchillas para protección del motor.
- SF2: Interruptor de cuchillas para protección de la resistencia de calefacción.
- SF3: Interruptor de cuchillas para protección de la resistencia de calefacción.
- F1: Fusible para protección del circuito de fuerza.
- CP1: Contacto cerrado de protección a la presión de 100PSIG en el tanque.
- CP2: Contacto cerrado de protección a la presión de 100PSIG en la camisa.
- P1: Pulsador abierto/cerrado para marcha/paro del motor trifásico.
- C1: Bobina del contactor de accionamiento del motor trifásico.
- C2: Bobina del contactor de accionamiento de resistencias de calefacción 1.
- C3: Bobina del contactor de accionamiento de resistencias de calefacción 2.
- R1, R2: Resistencias calefactoras trifásicas.
- H1, H2, H3: Luces indicadoras.

Las resistencias de calefacción se encontraban en mal estado debido a que ya cumplieron el tiempo de vida útil y serían desechadas incluyendo el cableado, para calentar el tanque del reactor se cuenta con la opción de inyectar vapor de agua a la camisa, y como consecuencia de esta modificación sugerida por el personal del laboratorio, la temperatura en el tanque alcanzará como máximo la temperatura del vapor que ingresa a la camisa.

2.1.2 ANTIGUO SISTEMA DE CONTROL

En el antiguo sistema de control se dispone únicamente de elementos que funcionan de forma manual, a continuación se detalla cada uno de éstos:

Selector (Figura 2.8) para modo manual/automático o reactor apagado.



Figura 2.8 Selector para modo de trabajo

Interruptores on-off (Figura 2.9 y Figura 2.10) para cada resistencia con respectivas luces piloto.



Figura 2.9 Interruptor para la resistencia calefactora 1



Figura 2.10 Interruptor para la resistencia calefactora 2

Pulsadores de marcha-paro (Figura 2.11) para el motor del agitador, también con luz piloto.

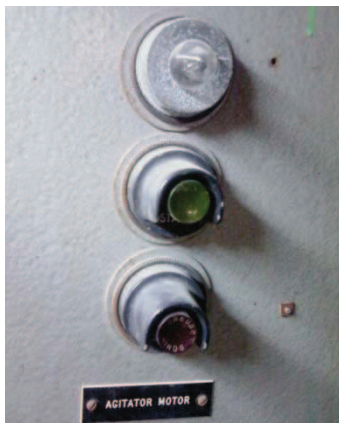


Figura 2.11 Pulsadores para el motor del agitador

Adicionalmente existían dos interruptores mecánicos (Figura 2.12) que se activaban al detectar alta presión en el tanque y en la camisa con el fin de desconectar la alimentación de las resistencias de calentamiento.



Figura 2.12 Interruptor mecánico de alta presión

En vista del mal estado de los accionamientos y pulsantes, éstos se desecharían incluyendo el cableado.

Mediante una válvula manual de compuerta (Figura 2.13) se permite el ingreso de agua fría al serpentín con la finalidad de disminuir la temperatura en el reactor.

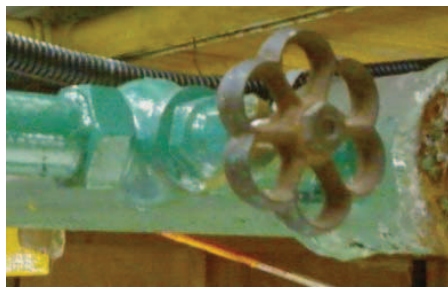


Figura 2.13 Válvula para agua fría

También se tiene una válvula manual de compuerta (Figura 2.14) para permitir el paso de vapor de agua hacia la camisa para incrementar la temperatura del reactor.

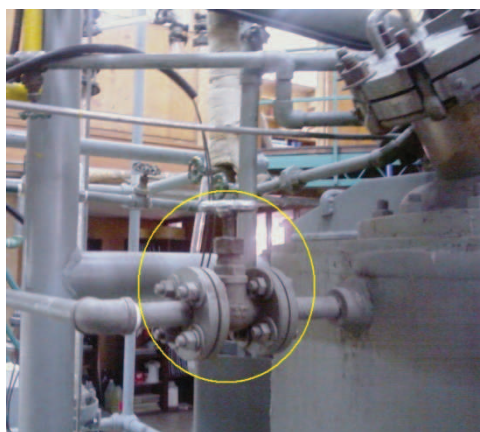


Figura 2.14 Válvula para paso/cierre del vapor de agua

Para hacer vacío en el tanque se tiene una válvula manual de compuerta (Figura 2.15) para inyectar vapor a través de un tubo Venturi.



Figura 2.15 Válvula para hacer vacío en el tanque

Estas válvulas se mantuvieron con el fin de bloquear manualmente el paso de agua o vapor en caso de ser necesario.

Para medir la temperatura dentro del tanque se dispone de un termómetro analógico introducido dentro del tanque (Figura 2.16). El elemento sensor se encuentra dentro de una vaina de protección incorporada en el interior del tanque.



Figura 2.16 Ubicación del termómetro

Se trata de un termómetro de marca Moeller (Figura 2.17) para trabajar en un rango que va desde 0°C hasta 175 °C.



Figura 2.17 Termómetro analógico

Este termómetro se reemplazó por un transductor acorde a las especificaciones y los requerimientos de funcionamiento del reactor.

La medición de presión dentro del tanque y de la camisa se realizaba utilizando manómetros¹ conectados hacia el interior del tanque a través de tubería de acero inoxidable de ¼”.

El manómetro para medir la presión del tanque (Figura 2.18) permite realizar mediciones de presión correspondientes a presión manométrica² (positiva) y presión de vacío³ (negativa).

El rango de medición de este manómetro es desde 0 PSI hasta 200 PSI para rango positivo y desde 0 PSI hasta -30 PSI para vacío.

¹ Instrumento que mide la presión, la mayoría de los medidores de presión, o manómetros, miden la diferencia entre la presión de un fluido y la presión atmosférica local.

² La presión manométrica toma como cero el valor de la presión atmosférica (14,7 PSIA) y es una unidad práctica, porque los manómetros comunes marcan cero cuando están abiertos a la atmósfera.

³ Se considera como vacío una región del espacio donde la presión es menor que la presión atmosférica normal de 760 mm de mercurio. Tomado de la Enciclopedia Encarta 2007.

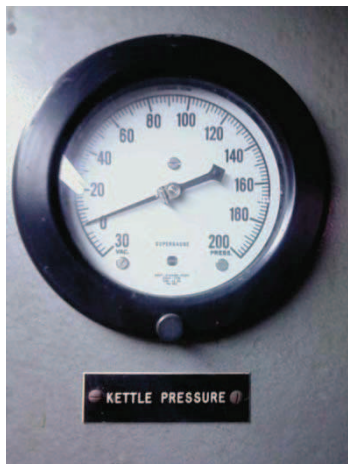


Figura 2.18 Manómetro para medir presión dentro del tanque

El manómetro para medir la presión en la camisa (Figura 2.19) trabaja en un rango de medida que va desde 0 PSI hasta 200 PSI.



Figura 2.19 Manómetro para medir presión dentro de la camisa

A futuro se mantendrá el manómetro del tanque y se reemplazará el manómetro de la camisa.

2.1.3 FUNCIONAMIENTO DEL ANTIGUO SISTEMA DE CONTROL

El control del proceso se lo realizaba mediante válvulas manuales, ingresando vapor de agua a la camisa para el calentamiento e ingresando agua fría al serpentín para enfriar, tal como se muestra en la Figura 2.20 donde se tiene un esquema de funcionamiento del antiguo sistema de control:

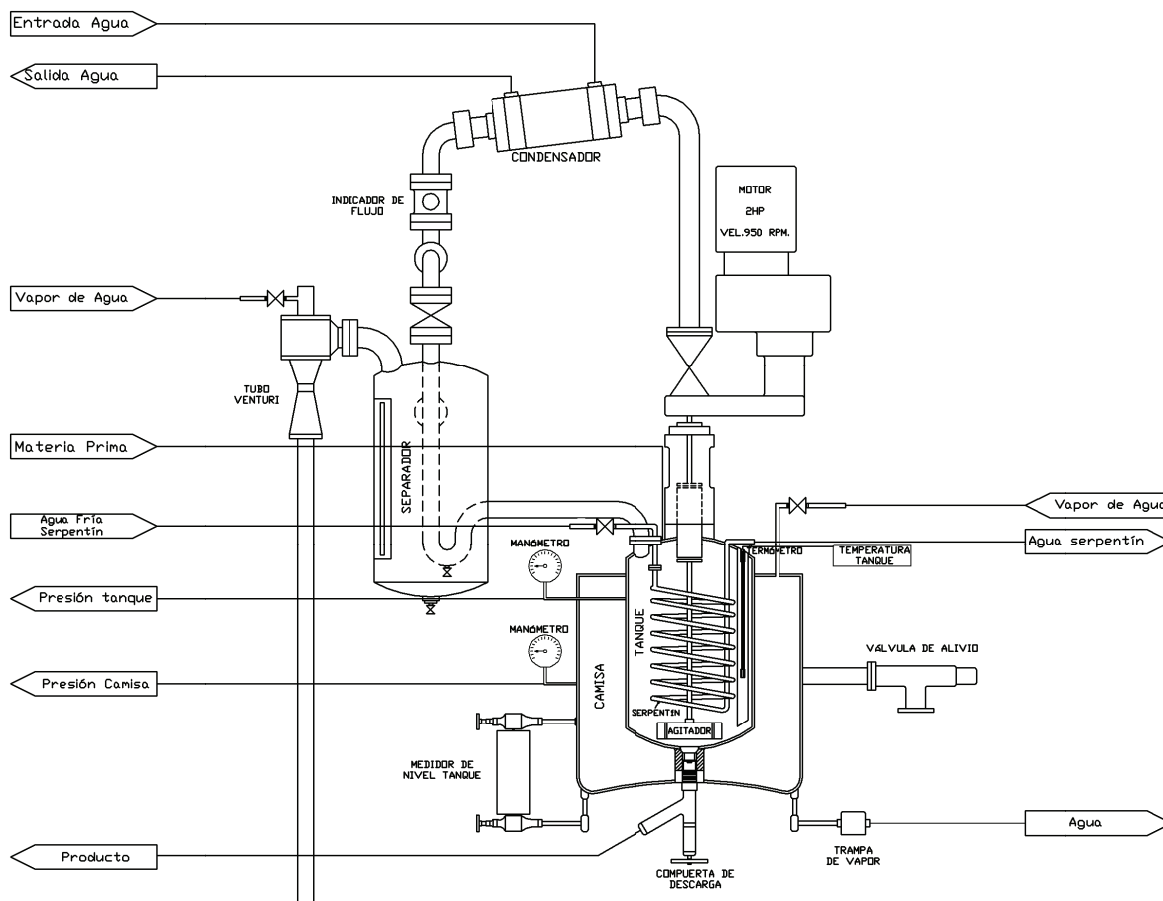


Figura 2.20 Esquema del antiguo sistema de control

2.2 CONCEPTUALIZACIÓN DEL NUEVO CIRCUITO DE FUERZA Y SISTEMA DE CONTROL

2.2.1 NUEVO CIRCUITO DE FUERZA

En el nuevo circuito de fuerza se mantiene el motor trifásico. Para su protección contra sobrecarga y cortocircuito se utiliza un guardamotor Siemens de la serie 3RV10 que se conecta a un contactor Siemens de la serie 3RT1023.

La protección del circuito de control se la realizará con un breaker Siemens de la serie 5SX1.

2.2.2 NUEVO SISTEMA DE CONTROL

El nuevo sistema de control estará implementado mediante un PLC (Controlador Lógico Programable) Siemens S7-200 que tomará acciones de control en base a valores de entrada/salida digitales, entradas analógicas y valores provenientes desde una HMI.

2.2.3 FUNCIONAMIENTO DEL NUEVO SISTEMA DE CONTROL

En la Figura 2.21 se ilustra el funcionamiento del proceso en el cual se tiene un tanque donde ocurrirán las reacciones a una determinada temperatura. Dicha temperatura se incrementará inyectando vapor de agua a la camisa y disminuirá al hacer circular agua fría por el serpentín.

La cantidad de vapor y agua fría que se ingrese dependerá de la diferencia entre la temperatura leída y el set point ingresado al inicio del proceso. Un transductor de temperatura ubicado en el interior del tanque permitirá a un controlador obtener la temperatura del tanque y ordena la apertura o cierre de las válvulas con la finalidad de mantener la temperatura constante.

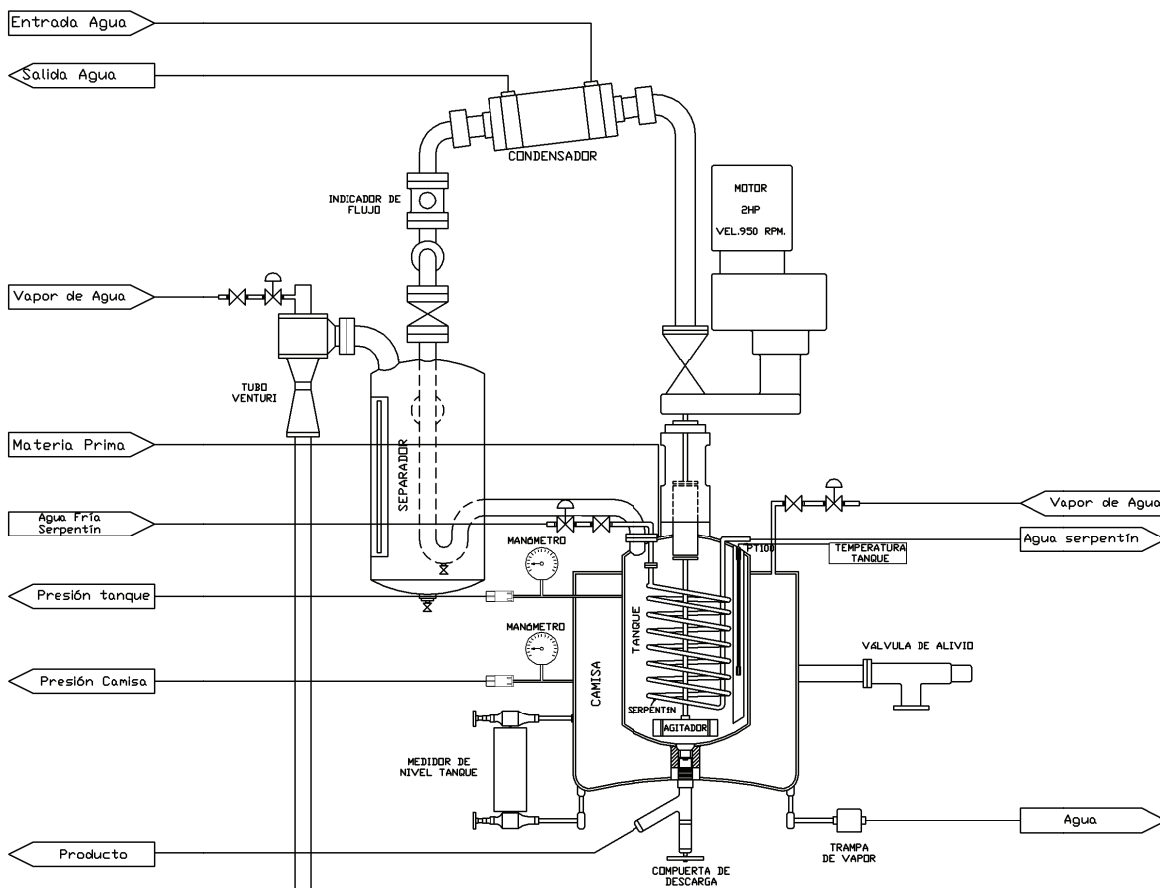


Figura 2.21 Esquema del nuevo sistema de control

El lazo de control para este proceso (Figura 2.22) está dado por la combinación de funciones como medición de temperatura, transmisión de la medición, la comparación entre la medición y el set point (error), la decisión de las acciones correctivas (señales) ejecutadas mediante las válvulas de control.

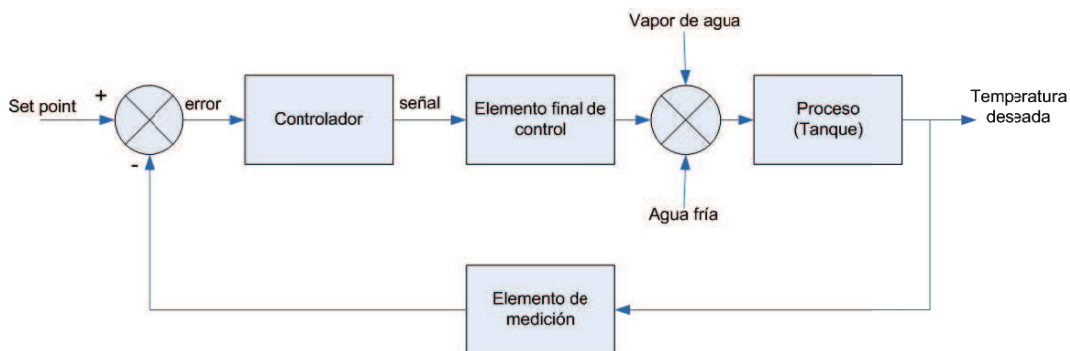


Figura 2.22 Lazo de control del nuevo sistema

El nuevo sistema de control, dispondrá de dos modos de funcionamiento para el proceso: modo manual y modo automático.

2.2.4 FUNCIONAMIENTO EN MODO MANUAL

En modo manual el operador será el encargado de manipular la variación de temperatura con la activación de válvulas para el calentamiento y enfriamiento mediante pulsadores on-off de un tablero de control.

El modo de funcionamiento manual generalmente se lo utiliza durante mantenimiento de la planta o para realizar pruebas de funcionamiento de cada elemento.

Las tareas de agitación, proceso en vacío y control del tiempo de seguridad también estarán a cargo y bajo responsabilidad del operador.

Es importante conocer que el circuito eléctrico de control para modo manual será independiente de la lógica de control del PLC, y en este caso el PLC solamente realizará tareas de procesamiento de señales analógicas de temperatura y presión y despliegue de las mismas en la HMI.

2.2.5 FUNCIONAMIENTO EN MODO AUTOMÁTICO

En modo automático el control de la temperatura lo realizará el PLC, el cual en base a parámetros ingresados desde la HMI por el operador y los datos provenientes de los transductores de temperatura y presión, ejecutará acciones de control sobre los actuadores para mantener el proceso en la temperatura deseada (set point).

Luego de haber realizado pruebas de funcionamiento de la planta, con los accionamientos del antiguo tablero de control y con válvulas manuales, se observó que la variación de la temperatura es lenta: del orden de los minutos, por lo que se escogerá un sistema de control On-Off con histéresis. Este sistema debe ser capaz de dar respuesta de control de temperatura con variaciones desde +/- 1°C hasta +/- 2°C que son los rangos aceptables y recomendados por parte

del Departamento de Ingeniería Química y el Jefe del laboratorio de Operaciones Unitarias.

2.2.5.1 Control del tiempo de seguridad

Cuando el operador determine que es necesario mantener el proceso durante un tiempo de seguridad fijado, el sistema dispondrá de tres opciones para asegurar el cumplimiento de dicho tiempo:

1. **Solamente avisar:** en este caso se activará una alarma indicadora de tiempo completo con el fin de alertar al operador que el proceso ha concluido.
2. **Detener el proceso y someter el producto a un rápido enfriamiento:** con esta opción se procederá a detener el proceso de forma automática y enseguida se inyectará agua al serpentín para disminuir la temperatura hasta llegar a una temperatura menor a 40°C.
3. **Apagar el reactor completamente:** en este caso, al completar el tiempo de procesamiento establecido, el sistema dejará de realizar control, se detendrá el proceso y el reactor se apagará completamente quedando expuesto a enfriamiento natural.

2.2.5.2 Control de la agitación

La forma de agitación podrá ser mediante pulsadores on-off de un tablero de control o configurable desde la HMI local con tres diferentes opciones:

1. **No agitar:** no se realiza agitación o se detiene la agitación en caso de haber estado agitando.
2. **Agitar siempre:** la agitación permanecerá activada durante todo el proceso.

3. **Agitar por intervalos:** cíclicamente se realiza la agitación en base a tiempos definidos por el operador como t_{on} (tiempo encendido) y t_{off} (tiempo apagado) para el motor.

2.2.5.3 Histéresis de temperatura

Para cada proceso el operador podrá seleccionar la histéresis adecuada desde la interfaz de usuario HMI.

2.2.5.4 Seguridad del sistema

Tanto en modo manual como en modo automático el sistema de control funcionará en base a las especificaciones de temperatura (máx. 300 °C) y presión (máx. 100 PSIG) de la planta, y en caso de sobrepasar dichos parámetros se activarán las alarmas correspondientes.

Para desactivar dichas alarmas existirán procedimientos de control automáticos para disminuir la temperatura y/o presión para prevenir posibles desastres, logrando así proteger al equipo y al operador.

En resumen para llevar a cabo el sistema de control descrito anteriormente y poder cumplir con los requerimientos solicitados por parte del personal del laboratorio de Operaciones Unitarias, se necesita implementar la planta con los siguientes componentes:

- Transductores de temperatura y presión
- Elementos actuadores
- Autómata programable (PLC)
- Tablero de control
- HMI

En este capítulo se ha descrito el funcionamiento y el estado de la planta así como también el estado de cada uno de sus componentes. También se ha

detallado el esquema y el funcionamiento de lo que será el nuevo sistema de control.

En el Capítulo 3 se realizará el diseño del nuevo circuito de fuerza y sistema de control en base a los requerimientos establecidos y descritos anteriormente.

CAPÍTULO 3
DISEÑO DEL CIRCUITO DE FUERZA Y SISTEMA DE
CONTROL

CAPÍTULO 3

DISEÑO DEL CIRCUITO DE FUERZA Y SISTEMA DE CONTROL

En este capítulo se calcula el dimensionamiento de los alimentadores y equipos de protección. El diseño del circuito eléctrico implementado. Se seleccionarán el controlador, los actuadores y los transductores más idóneos para realizar la automatización del proceso, en base a las características físicas de diseño de la planta y a los recursos existentes. Para el control del proceso se diseña el hardware de control y el programa que se implementará en el controlador.

Para el diseño se tuvo en cuenta los siguientes requerimientos generales:

El motor instalado en la planta trabaja a un voltaje de 220V trifásico, a una frecuencia de 60 Hz. Si bien este se mantendrá, su protección y control se implementará con nuevos elementos.

Para incrementar la temperatura en el tanque ya no se utilizará las resistencias calefactoras, en su lugar se inyectará vapor de agua en la camisa. Para medir la temperatura se usará un transductor cuyas señales puedan ser entendidas por el controlador.

Las válvulas de compuerta existentes se mantendrán y se instalará electroválvulas para el control de ingreso de vapor de agua y agua fría al reactor.

Para medir la presión en el reactor se cuenta con manómetros para el tanque y la camisa. Se mantendrá el manómetro para el tanque, el otro se cambiará. Adicionalmente se incluirán dos transmisores de presión.

3.1 DISEÑO DEL CIRCUITO DE FUERZA

El diseño de los circuitos de fuerza comprende el dimensionamiento de los elementos de protección, así como también los alimentadores de los equipos eléctricos.

El motor trifásico de inducción con rotor tipo jaula de ardilla que se usa es de marca U.S. Electrical Motors de los Estados Unidos. Está acoplado a un mecanismo de transmisión y correa llamado varidrive (Figura 3.1). La velocidad se varía mediante una rueda de control de velocidad manual en un rango práctico de 314 a 950 RPM. Su torque es constante. Tiene los siguientes datos de placa:

V: 220/440 V

In: 7.5/3.75 A

N_s: 1800 rpm

Hp: 2

Ph: 3

F: 60Hz

Ratio: 2.29

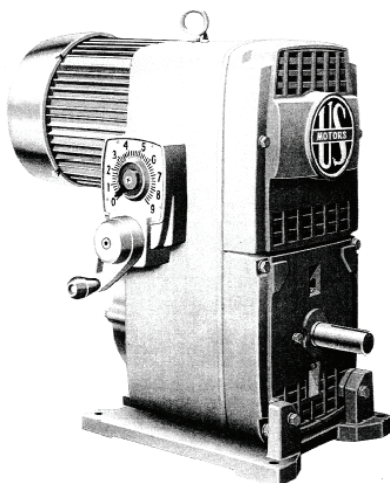


Figura 3.1 Motor con varidrive

Este motor está conectado en conexión “Y”, con arranque directo; por lo tanto, la corriente nominal es la mitad del dato de placa (1.875 A). Se reemplazó el contactor y adicionalmente se incorporó un guardamotor como elemento de protección para sobrecarga, cortocircuito y pérdida de fase. Ambos elementos fueron dimensionados en base a los datos de placa del motor, como se indica a continuación.

3.1.1 DIMENSIONAMIENTO DE PROTECCIONES

3.1.1.1 Dimensionamiento del guardamotor

Los guardamotors son interruptores automáticos para protección de motores que cubre las necesidades para un arranque directo de un aparato. Está constituido por el acoplamiento de un contactor, de un relé térmico y un fusible.

Para el diseño de las protecciones contra sobrecargas se debe considerar:

- La corriente nominal, de arranque y de funcionamiento en régimen estacionario del motor.
- Los valores de tablas del distribuidor.

Los fabricantes recomiendan un ajuste de 125 % de corriente nominal del motor.

$$I = 1.25 * I_n$$

$$I = 1.25 * 1.875 \text{ A}$$

$$I = 2.34 \text{ A}$$

El guardamotor que se seleccionará es de marca Siemens con las siguientes características:

Rango de corriente: 5.5-8 A

Voltaje nominal: 220Vac

3.1.1.2 Dimensionamiento del interruptor electromagnético (breaker)

El interruptor electromagnético protege contra una sobrecorriente instantánea, se usa para proteger el PLC y las electroválvulas (Figura 3.2).



Figura 3.2 Interruptor electromagnético

Para dimensionar el breaker de protección se considera la carga total instalada y se multiplica por el respectivo factor de demanda previsto para cada equipo indicado en la Tabla 3.1.

	Carga Instalada [W]	FD [%]	Carga Total [W]
Electroválvulas	30	80	24
Luces piloto	176	50	88
PLC	24	100	24
Subtotal de carga			136

Tabla 3.1 Carga del tablero de mando

La corriente consumida se obtiene de la ec 3.1:

$$I = \frac{P}{V} \quad \text{ec 3.1}$$

$$I = \frac{136 \text{ W}}{110 \text{ V}}$$

$$I = 1.24 \text{ A}$$

Por recomendación de los fabricantes se sobre dimensiona a 125% de la carga total instalada a proteger.

$$I = 1.25 * I_{ct}$$

$$I = 1.25 * 1.24A$$

$$I = 1.55 A$$

El breaker que se utilizará es de un polo marca Siemens de 2 A ,110 Vac.

3.1.2 DIMENSIONAMIENTO DEL CONTACTOR

El contactor es un dispositivo designado a cerrar o interrumpir la corriente en uno o más circuitos eléctricos, que normalmente funciona con mando a distancia, en lugar de ser operados manualmente.

Para el dimensionamiento del contactor se debe considerar:

- Tipo de accionamiento
- Voltaje nominal
- Intensidad nominal del motor
- Potencia del contactor
- Categoría de utilización establecido por la norma IEC 947
- Frecuencia
- Clase de servicio
- Voltaje de la bobina

Por otro lado, las especificaciones técnicas características de un contactor se definen por:

Categoría de utilización: La categoría de utilización define las condiciones de establecimiento y corte de la corriente, dependiendo de la corriente nominal y la tensión nominal.

La categoría de utilización depende de la naturaleza de la carga a alimentar (motor jaula de ardilla, motor rotor bobinado, resistencias, etc.) y de las condiciones en las que el establecimiento o el corte de la corriente se dan (motor en funcionamiento normal, corte durante el arranque, motor con rotor bloqueado, etc.).

La norma IEC 947 las clasifica en:

AC-1: corresponde a todo tipo de cargas AC con $\cos\phi \geq 0.95$

AC-2: se aplica a la operación de motores de rotor bobinado. Al cierre el contactor cierra sobre una corriente de arranque que es del orden de 2.5 veces la corriente nominal del motor. El contactor abre la corriente de arranque a un voltaje que no excede el voltaje de alimentación.

AC-3: corresponde a la operación de motores de jaula de ardilla con apertura del contactor en funcionamiento normal del motor. El contactor cierra sobre una corriente que puede ser del orden de 5 a 7 veces la corriente nominal del motor y abre la corriente nominal del mismo con un voltaje entre bornes que será aproximadamente 20% del voltaje de la fuente de alimentación. La apertura en este caso no es severa.

AC-4: se aplica a la operación de motores de jaula de ardilla con apertura del contactor sobre la corriente de arranque del motor. El contactor cierra sobre una corriente que puede ser del orden de 5 a 7 veces la corriente nominal del motor y abre la misma corriente con un voltaje entre bornes que será mayor cuanto menor sea la velocidad del motor, pudiendo llegar a ser de la misma magnitud que el voltaje de la fuente de alimentación.

Por criterio de seguridad se considera un sobre dimensionamiento del 125% de la potencia nominal del motor.

$$P_{\text{contactor}} = 1.25 * P_n(\text{motor})$$

$$P_{\text{contactor}} = 1.25 * 2\text{HP} = 2.5 \text{HP}$$

El contactor se escogió de acuerdo al tipo de motor y su potencia nominal. Tiene las siguientes características:

- Tipo de accionamiento: Electromagnético
- Voltaje nominal: 220Vac
- Intensidad nominal: 9 A
- Potencia del contactor: 5.5HP
- Categoría de utilización según norma IEC 947: AC3
- Frecuencia: 60Hz
- Clase de servicio: Intermitente
- Voltaje de la bobina: 110Vac
- Marca: Siemens

En la Tabla 3.2 se indica un resumen de los datos de las protecciones y el contactor utilizados.

GUARDAMOTOR	3RV10 11-1HA10
Rango de corriente	5.5-8 A
Voltaje	220Vac
BREAKER	5SX1 102-7
Corriente	2 A
Voltaje	110Vac
CONTACTOR	3RT1023/4/5/6-1AK60
Potencia	5.5 HP
Tipo	AC-3
Corriente	9 A
Voltaje bobina	110Vac

Tabla 3.2 Datos de los elementos utilizados

3.1.3 DIMENSIONAMIENTO DE LOS CONDUCTORES

Conductor para el alimentador

El conductor para el alimentador se dimensiona aumentando el 125% a la corriente a plena carga del motor más grande y luego agregando los valores de corriente de los otros motores y demás dispositivos (ec 3.2). En este caso se tiene un motor.

$$I = \text{Factor} * I_{pc}(\text{MG}) + \sum I_{pc}(\text{MR}) + I(\text{CC}) \quad \text{ec 3.2}$$

En donde:

$I_{pc}(\text{MG})$ =Corriente a plena carga del motor más grande

$I_{pc}(\text{MR})$ =Corriente a plena carga del motores restantes

$I(\text{CC})$ =Corriente aproximada de los circuitos de control

De la ecuación ec 3.2 se tiene:

$$I = 1.25 * 1.875 \text{ A} + 1.24 = 3.58 \text{ A}$$

Con este valor de corriente y en base a la Tabla 310-16 de la norma NEC (ver anexo C), el calibre del conductor es:

Cable: # 14 AWG sólido de cobre tipo TW-60°C.

No obstante el cable dimensionado, se utiliza el cable que ya se encuentra instalado en el sistema original, este se encuentra en buenas condiciones y soporta mayor corriente que la dimensionada. Es un conductor de cobre sólido tipo TW # 10 AWG-600V-30 A.

Conductor para el motor

La norma NEC 430-22 establece que los conductores de los circuitos de motores de uso continuo deben dimensionarse por lo menos a 125% de la corriente de plena carga del motor.

Para la elección del conductor del motor se tiene:

$$I = 1.25 * \frac{I_{pc}}{\text{Factor}} \quad \text{ec 3.3}$$

$$I = 1.25 * \frac{1.875 \text{ A}}{0.8} = 2.93 \text{ A}$$

Se considera un factor de 0.80 que corresponde al cableado de 4 a 6 conductores portadores de corriente por ducto.

Cable: # 14 AWG sólido de cobre tipo TW 60°C.

Así mismo se utilizó el cable que ya se encuentra instalado en el sistema original, este cable soporta más corriente que el calculado y está en buenas condiciones, es un conductor de cobre sólido tipo TW # 10 AWG-600V-30 A.

Conductor para el circuito de fuerza

Para el cableado de los circuitos de fuerza (electroválvulas y luces piloto), si la corriente no excede los 15 A, los fabricantes recomiendan utilizar el conductor flexible # 14 AWG que tiene una capacidad de conducción de 20 A.

Conductor para el circuito de control

En el circuito de control se utiliza el cable tipo RHW-2, flexible calibre # 18 AWG de color negro, soporta 14 A, a 90°C.

Conductor para instrumentación

Para el cableado de los transmisores de presión y transductor de temperatura, se utiliza un tipo de cable especial para aplicaciones industriales.

El cable para instrumentación (Figura 3.3) que se escogió es apantallado de 3 conductores multifilar (7 hilos), calibre #18 AWG, pantalla en poliéster aluminio, chaqueta PVC resistiva, 300V, 105 °C, colores negro, blanco y rojo.

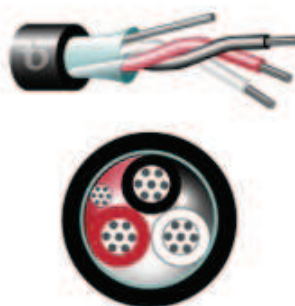


Figura 3.3 Cable Apantallado

3.1.4 SELECCIÓN DE LAS VÁLVULAS A UTILIZAR

Una válvula se puede definir como un aparato mecánico con el cual se puede iniciar, detener o regular la circulación (paso) de líquidos o gases mediante una pieza movable que abre, cierra u obstruye en forma parcial uno o más orificios o conductos.

A continuación se describen las válvulas a instalar en el proceso:

- Válvulas de compuerta
- Electroválvulas

Válvulas de compuerta

La válvula de compuerta es de vueltas múltiples, en la cual se cierra el orificio con un disco vertical de cara plana que se desliza en ángulo recto sobre el asiento (Figura 3.4).

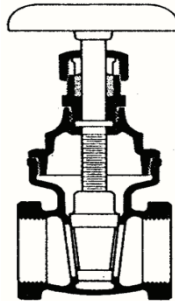


Figura 3.4 Válvula de compuerta

Electroválvulas

Las electroválvulas o válvulas de solenoide (Figura 3.5) constituyen uno de los elementos más sencillos y posiblemente el de empleo más común de los actuadores eléctricos. Estas válvulas son de acción todo-nada; es decir, posición abierta dejando totalmente libre el paso del fluido y posición cerrada cortando su paso.

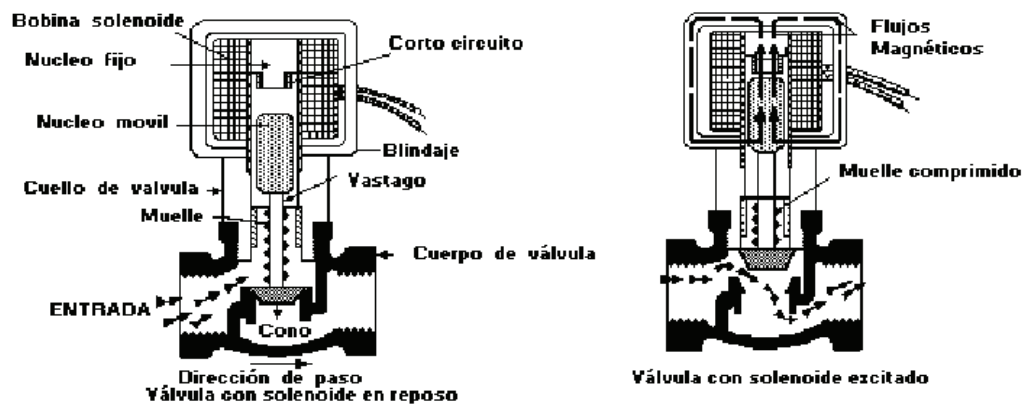


Figura 3.5 Válvula de solenoide típica

La válvula solenoide típica está constituida por una bobina solenoide encajada en un núcleo fijo en forma de tubo cilíndrico, en cuyo interior se desliza un núcleo móvil provisto en su extremo de un disco o tapón.

La bobina actúa como un electroimán, su excitación crea un campo magnético que atrae al núcleo móvil y vástago mientras que su des-excitación invierte la posición de este gracias a un resorte que empuja el disco contra el asiento, cerrando así la válvula.

Desde el punto de vista de seguridad de instalación, en caso de avería o corte de corriente, la válvula de solenoide se fabrica en dos modelos:

Cerrada en fallo de corriente o abierta en excitación.

Abierta en fallo de corriente o cerrada en excitación.

En muchos tramos de las tuberías de la planta, existen válvulas manuales, instaladas para poder actuar sobre ellas si es preciso.

Algunos de los motivos por los que es necesario mantener estas válvulas se citan a continuación:

1. Necesidad de limpiar algún tramo de tubería.
2. Necesidad de desmontar algún instrumento para su reparación o limpieza.
3. Necesidad de detener de forma imprevista la producción.
4. Posible falla de las electroválvulas.

Además de estas válvulas ya existentes, fue necesario instalar las válvulas que posibiliten automatizar la producción, tales como las válvulas de solenoide o electroválvulas.

Puesto que en el laboratorio de Operaciones Unitarias existe un caldero que suministra vapor de agua a la planta a una presión de entre 40 y 50 PSIG, se escogen las electroválvulas que a continuación se describen.

Electroválvula para vapor de agua con piloto de acero inoxidable, de $\frac{1}{2}$ ", 180°C, presión mínima 0.3 bar, normalmente cerrada. Está se usará para hacer vacío en el tanque.

Electroválvula para vapor de agua con piloto acero inoxidable, de 1", 180°C, presión mínima 0.3 bar, normalmente cerrada. Está será empleada para calentar el tanque.

La elección de la electroválvula para ingreso de agua fría al serpentín se hizo teniendo en cuenta que la presión del agua que ingresa a la planta es de 50 PSIG.

Electroválvula para agua fría con piloto, de $\frac{1}{2}$ ", normalmente cerrada. Está se utilizará para enfriar el tanque.

La Tabla 3.3 indica los datos de las electroválvulas descritas para el control del proceso.

Elemento	Marca	Presión [PSI]	Frecuencia [Hz]	Voltaje Bobina [VAC]	Potencia Bobina [W]
Electroválvula para calentar el tanque	Genebre	147	60	110	14
Electroválvula para hacer vacío	Genebre	147	60	110	8
Electroválvula para enfriar el tanque	Genebre	1.47-294	60	110	8

Tabla 3.3 Datos de las electroválvulas

3.1.5 DIMENSIONAMIENTO DE LA FUENTE EXTERNA DE 24 VDC

Para dimensionar la fuente externa de 24 Vcc, se calcula el consumo de corriente total del sistema (Tabla 3.4).

Consumo del sistema	24Vcc
1 EM 231,4 entradas analógicas	60mA
1 EM 231 RTD, 2 entradas analógicas	60 mA
1 EM 277 PROFIBUS-DP	180 mA
2 Transmisores de presión	2*20 mA = 40 mA
CPU 224 (3 entradas)	3*4 mA = 12 mA
Relés de interfase 4 máx. por modo de operación	4*30 mA = 120 mA
Total de corriente	472 mA

Tabla 3.4 Consumo de voltaje continuo del sistema

La fuente interna que dispone el PLC es de 24 Vcc y 280 mA, lo cual no abastece a todo el sistema, debido a esto se usa una fuente externa.

La fuente externa que se utiliza es de marca Panorama. Tiene los siguientes datos:

Modelo No: DE-A01

Vin: 110Vac

Vout: 24 Vcc

Iout: 350 mA

La distribución de la carga para las dos fuentes de voltaje continuo se observa en la Tabla 3.5.

FUENTE INTERNA PLC	
Consumo del sistema	24Vcc
1 EM 231,4 entradas analógicas	60 mA
1 EM 231 RTD, 2 entradas analógicas	60 mA
2 Transmisores de presión	2*20 mA = 40 mA
Total corriente fuente PLC	160 mA
FUENTE EXTERNA 24 VCC	
1 EM 277 PROFIBUS-DP	180 mA
CPU 224 (3 entradas)	3*4 mA = 12 mA
Relés de interfase (máx. 4) por modo de operación	4*30 mA = 120 mA
Total corriente fuente externa	312 mA

Tabla 3.5 Distribución de carga voltaje continuo

3.2 DISEÑO DEL CIRCUITO DE CONTROL

3.2.1 SELECCIÓN DE LOS TRANSDUCTORES

Un transductor es un aparato o dispositivo capaz de transformar magnitudes físicas o químicas, llamadas variables de instrumentación, en magnitudes eléctricas. Las variables de instrumentación pueden ser por ejemplo: temperatura, intensidad lumínica, distancia, aceleración, inclinación, desplazamiento, presión, fuerza, torsión, humedad, pH, etc.

Medición de Temperatura

Para medir la temperatura en el reactor, el cual se expone a temperaturas que van desde temperatura ambiente hasta 150 °C o superior, se dispone de algunas alternativas en cuanto al tipo de transductores de temperatura. Antes de escoger el tipo de transductor se describe las características de algunos de los transductores más utilizados en la Tabla 3.6.

Transductor	Rango de medida	Ventajas	Desventajas
RTD	-250 a 850 °C	Más estable Más preciso Más lineal que los termopares	Caro Lento Precisa fuente de alimentación Pequeño cambio de resistencia Medida de 4 hilos Autocalentable
Termistor	-195 a 450 °C	Respuesta rápida Medida de dos hilos	No lineal. Rango de temperaturas limitado Frágil Precisa fuente de alimentación Autocalentable
Sensor de IC (Circuito integrado)	-55 a 150 °C	El más lineal Económico	Precisa fuente de alimentación Lento Autocalentable Configuraciones limitadas
Termopar	-200 a 1700 °C	Autoalimentado Robusto Económico Amplia variedad de formas físicas Amplia gama de temperaturas	No lineal Baja tensión Precisa referencia El menos estable El menos sensible

Tabla 3.6 Características de los transductores de temperatura

En base a las características propias de los transductores, se decidió escoger un transductor tipo RTD PT100 por sus prestaciones de funcionamiento y el ambiente de trabajo al que será expuesto.

Medición de presión

Para el presente proyecto, es necesario medir la presión en el tanque de reacción y en la camisa del reactor en el rango que va desde presión atmosférica hasta 50 PSIG o superior. Para ello se decidió utilizar transmisores electrónicos de presión. Un transmisor de 10 bares para medir la presión en la camisa y un transmisor de 25 bares para medir la presión en el tanque. Este tipo de transmisores entregan una señal de 4-20 mA normalizada, la cual fácilmente puede ser llevada hacia el PLC.

3.2.2 SELECCIÓN DE LA HMI

Una HMI puede considerarse como una "ventana de un proceso". Esta ventana puede estar en dispositivos especiales como paneles de operador o en una computadora. A las HMIs que se implementan en una computadora se las conoce también como HMIs basadas en software.

Las señales del proceso son conducidas a la HMI por medio de dispositivos como tarjetas de entrada/salida en la PC, PLCs, RTUs. El objetivo de una interfaz de usuario es que éste se pueda comunicar a través de ella con algún tipo de dispositivo y que dicha comunicación se desarrolle de forma fácil y cómoda para el usuario.

Las funciones principales de una HMI son las siguientes:

- Puesta en marcha y apagado
- Control supervisor de las funciones manipulables del equipo
- Comunicación con otros sistemas

- Información de estado
- Configuración de la propia interfaz y entorno
- Intercambio de datos entre aplicaciones
- Control de acceso
- Sistema de ayuda interactivo

En el presente proyecto es necesario disponer de dos HMIs:

- Una HMI local ubicado en el tablero de control y
- Una HMI remota ubicado en la sala de control del laboratorio de Operaciones Unitarias.

HMI local

Para las aplicaciones de nivel básico, los paneles de mando con funciones alfanuméricas constituyen una herramienta de fácil entendimiento e interacción entre el operador y el PLC, por lo que la opción más conveniente es utilizar un visualizador de textos TD200.

HMI remota

La HMI remota es una interfaz basada en software por lo que se la implementará en una computadora y el software que permite el enlace entre el PLC y el computador es el paquete InTouch de Wonderware conjuntamente con el I/O Server S7200 PPI.

3.2.3 HARDWARE DE CONTROL

El hardware de control está constituido por un PLC S7-200 que realiza el control del proceso. Además, utiliza transductores que envían las señales del proceso a los módulos analógicos y éstos a su vez envían dichos datos en formato digital hacia el PLC.

Para la interacción entre el operador y el proceso se recurrió a una HMI local (TD200) y una HMI remota (PC) las cuales pueden interactuar simultáneamente. Por un lado se utilizó el puerto de la CPU S7-200 para la conexión hacia la computadora, y el puerto del Módulo Profibus para la conexión del TD200 como se observa en la Figura 3.6.

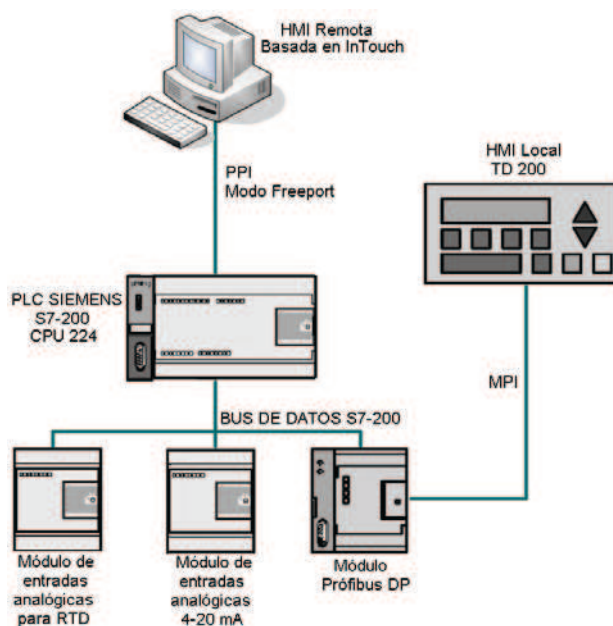


Figura 3.6 Hardware de control

3.2.4 DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS DEL HARDWARE DE CONTROL

3.2.4.1 Descripción del controlador lógico programable

El PLC SIMATIC S7-200 incorpora un microprocesador, memoria interna, una fuente de alimentación integrada, así como circuitos de entrada y de salida.

El PLC puede programarse mediante el paquete computacional STEP 7-Micro/WIN que contiene las librerías necesarias y complementarias para desarrollar el software de control.

Para implementar el control del proceso planteado, primero se realiza la descripción de requerimientos de entradas y salidas (Tabla 3.7) para luego seleccionar el PLC y los módulos de ampliación necesarios.

Descripción de requerimiento	Tipo de dato	Cantidad
Selector para modo manual	Entrada Digital	1
Selector para modo automático	Entrada Digital	1
Push Button de parada de emergencia	Entrada Digital	1
Total de entradas digitales necesarias		3
Control On-Off de electroválvula de agua para el enfriamiento	Salida Digital	1
Control On-Off de electroválvula de vapor para el calentamiento	Salida Digital	1
Control On-Off de electroválvula de vapor para hacer vacío	Salida Digital	1
Control On-Off del motor eléctrico, funcionamiento automático	Salida Digital	1
Control On-Off del motor eléctrico, funcionamiento semi-automático	Salida Digital	1
Visualización del funcionamiento en modo automático, (luz piloto)	Salida Digital	1
Luz indicadora para visualizar que el tiempo de reacción a finalizado	Salida Digital	1
Luz indicadora que se activa cuando el proceso está en parada de emergencia	Salida Digital	1
Alarma de alta temperatura en el reactor, luz indicadora	Salida Digital	1
Alarma de alta presión en el reactor, luz indicadora	Salida Digital	1
Número de salidas digitales necesarias		10
Medición de temperatura en el reactor	Entrada Analógica para PT100	1
Medición de presión en el tanque de reacción	Entrada Analógica 4-20 mA	1
Medición de presión en la camisa del reactor	Entrada Analógica 4-20 mA	1
Número de entradas analógicas necesarias		3
Puerto de comunicación RS-485 para conexión a PC	N/A	1
Puerto de comunicación RS-485 para conexión a interface de operador TD200	N/A	1
Número de puertos de comunicación		2

Tabla 3.7 Requerimientos de entradas y salidas del PLC

En base al detalle de entradas y salidas requeridas, se decidió adquirir la CPU 224 conjuntamente con un módulo para el manejo de la señal resistiva del PT100 para medir temperatura, un módulo para el manejo de las entradas analógicas de

4-20 mA de los transmisores de presión y un módulo de comunicaciones para la interfaz de operador TD 200.

3.2.4.2 PLC Simatic S7-200 CPU 224

Las especificaciones de esta CPU se detallan en la Tabla 3.8

Voltaje de alimentación	85 V a 264 V c.a., 47 a 63 Hz
Número de entradas digitales	14
Número de salidas digitales	10
Voltaje en las entradas digitales	24 V c.c. a 4 mA
Salidas digitales	Tipo relé
Puertos de comunicación	1, RS 485
Nº de módulos de ampliación	Máximo 7
Memoria de programa	8 Kbytes
Memoria de datos	8 Kbytes
Lenguaje de programación	KOP, FUP, AWL
Nº máx. de subrutinas	64
Marcas	256
Contadores	256
Temporizadores	256
Entradas de interrupción	4
Potenciómetros analógicos	2, con resolución de 8 bits
Reloj en tiempo Real	1

Tabla 3.8 Características del PLC S7-200 CPU 224

El puerto de comunicación de la CPU es compatible con el estándar RS-485 vía un conector D subminiatura de 9 pines, conforme al estándar PROFIBUS definido en la norma europea EN 50170.

3.2.4.3 Cable multimaestro RS-232/PPI S7-200

El cable multimaestro RS-232/PPI S7-200 de la Figura 3.7 permite la comunicación entre PLC y la PC. Es configurable de manera que funcione como un cable PC/PPI de tal forma que sea compatible con cualquier versión del paquete de programación STEP 7-Micro/WIN o Software para HMI. Para ello se debe seleccionar el interruptor 5 al modo PPI/Freeport y seleccionar la velocidad de transferencia deseada.

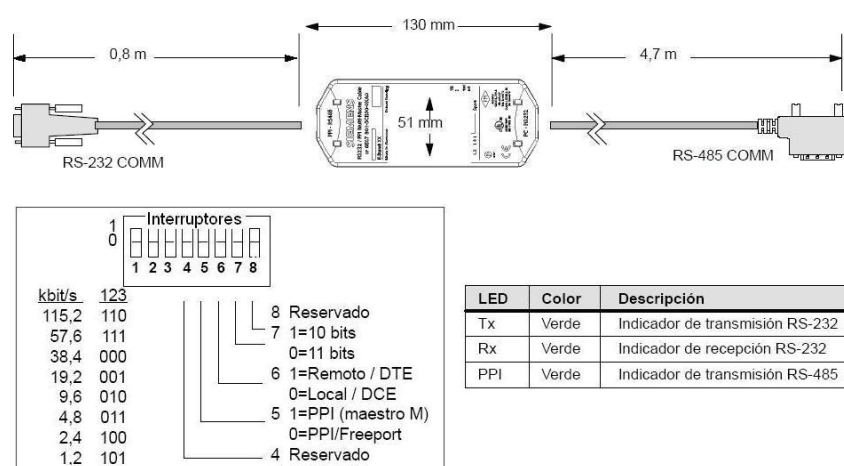


Figura 3.7 Cable multimaestro RS-232/PPI

3.2.4.4 Módulo de entradas analógicas para RTD

El Módulo EM 231 RTD es un módulo que realiza la conversión análogo-digital del valor analógico (resistencia) proveniente del transductor PT100. Permite conectar dos RTDs mismas que deben ser de un mismo tipo. Este módulo acepta varios tipos de RTDs por ejemplo PT100, PT200, PT500, PT1000, etc, configurable mediante interruptores incorporados.

El canal tiene un formato de datos de palabra de 16 bits. La temperatura se puede indicar en unidades de 0,1 grados y las unidades de medida pueden ser °C o °F configurable por el usuario. El módulo actualiza los datos de canal cada 405 milisegundos.

3.2.4.5 Módulo de entradas analógicas 4-20 mA

El Módulo EM 231 tiene 4 entradas analógicas que realizan la conversión analógica a digital del valor análogo de corriente (4-20 mA) proveniente de los transmisores de presión, con una resolución de 12 bits que se justifican a la izquierda en el formato de la palabra de datos. El módulo puede convertir una señal de entrada analógica a valor digital en 149 μ s.

El módulo incorpora interruptores que permiten configurar el rango de la señal de entrada que puede ser de 0-5V, 0-10V o 0-20mA.

La Tabla 3.9 muestra cómo se configura el módulo EM 231 de 4 entradas analógicas utilizando los interruptores DIP. Todas las entradas analógicas se activan en un mismo rango el cual se selecciona con los interruptores 1, 2 y 3.

Unipolar			Rango máx.	Resolución
Int. 1	Int. 2	Int. 3		
ON	OFF	ON	0 a 10 V	2,5 mV
	ON	OFF	0 a 5 V	1,25 mV
			0 a 20 mA	5 μ A
Bipolar			Rango máx.	Resolución
Int. 1	Int. 2	Int. 3		
OFF	OFF	ON	\pm 5 V	2,5 mV
	ON	OFF	\pm 2,5 V	1,25 mV

Tabla 3.9 Configuración del EM 231 de 4 entradas analógicas

3.2.4.6 Módulo de Comunicación EM 277 PROFIBUS-DP

El protocolo PROFIBUS-DP (o estándar DP) es un protocolo de telecomunicación definido en la norma europea EN 50170. PROFIBUS es la abreviatura de Process Field Bus, mientras que DP (Distributed Peripherals) significa periferia descentralizada o periferia distribuida.

El módulo EM 277 es un módulo de ampliación inteligente (esclavo), diseñado para su utilización junto con las CPUs S7-200 y tiene las siguientes funciones:

- Permite conectar el S7-200 a una red Profibus.
- Permite conectar al S7-200 un panel de operador OP o el TD200 mediante MPI.

3.2.4.7 Visualizador de textos TD200

El visualizador TD 200 presentado en la Figura 3.8 es un equipo compacto que incorpora los componentes necesarios para observar y cambiar las variables del proceso de la aplicación. Este visualizador de textos consta de un display de cristal líquido (LCD) con retroiluminación y una resolución de 33 x 181 píxeles para el despliegue de los mensajes recibidos de la CPU S7-200.

El TD200 funciona como un maestro de red cuando se conecta a una o más CPUs S7-200.

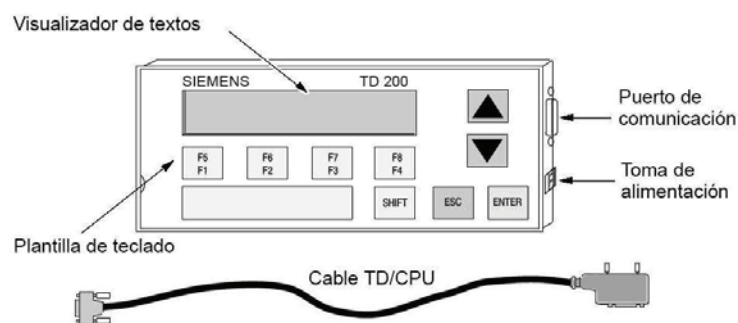


Figura 3.8 Visualizador de textos (TD 200)

Funciones del TD 200:

- Visualizar mensajes leídos de la CPU S7-200.
- Ajustar determinadas variables de programa y del proceso.
- Forzar/desforzar entradas y salidas (E/S).
- Ajustar la hora y la fecha de las CPUs que incorporen un reloj de tiempo real.

3.2.5 RELÉS DE INTERFACES

Debido a las especificaciones de corriente permitida en los contactos de salida del PLC y por los niveles de voltaje que se maneja entre éstos y los elementos finales de control (electroválvulas, motor), es necesario incorporar una etapa de acoplamiento entre las señales emitidas por el PLC y el circuito de fuerza de los elementos actuadores. Esto se logra mediante relés de interface que tienen como objetivo transmitir una acción de control en niveles de potencia pequeños a otra acción de control en niveles de potencia más elevados.

En la Figura 3.9 se observa cómo la acción proveniente desde una salida del PLC activa a dicho relé de interface y éste a su vez mediante los contactos NO ó NC que posee, activa al elemento final de control.

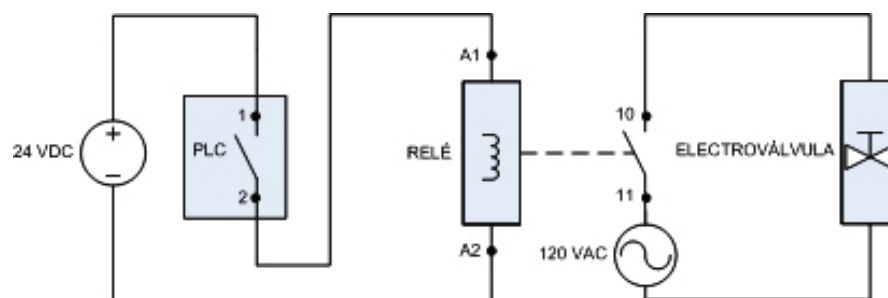


Figura 3.9 Relé de Interface

3.3 DIAGRAMA DEL PROCESO

En la Figura 3.10 se observa el esquema del proceso, los lazos de control y con su respectiva instrumentación.

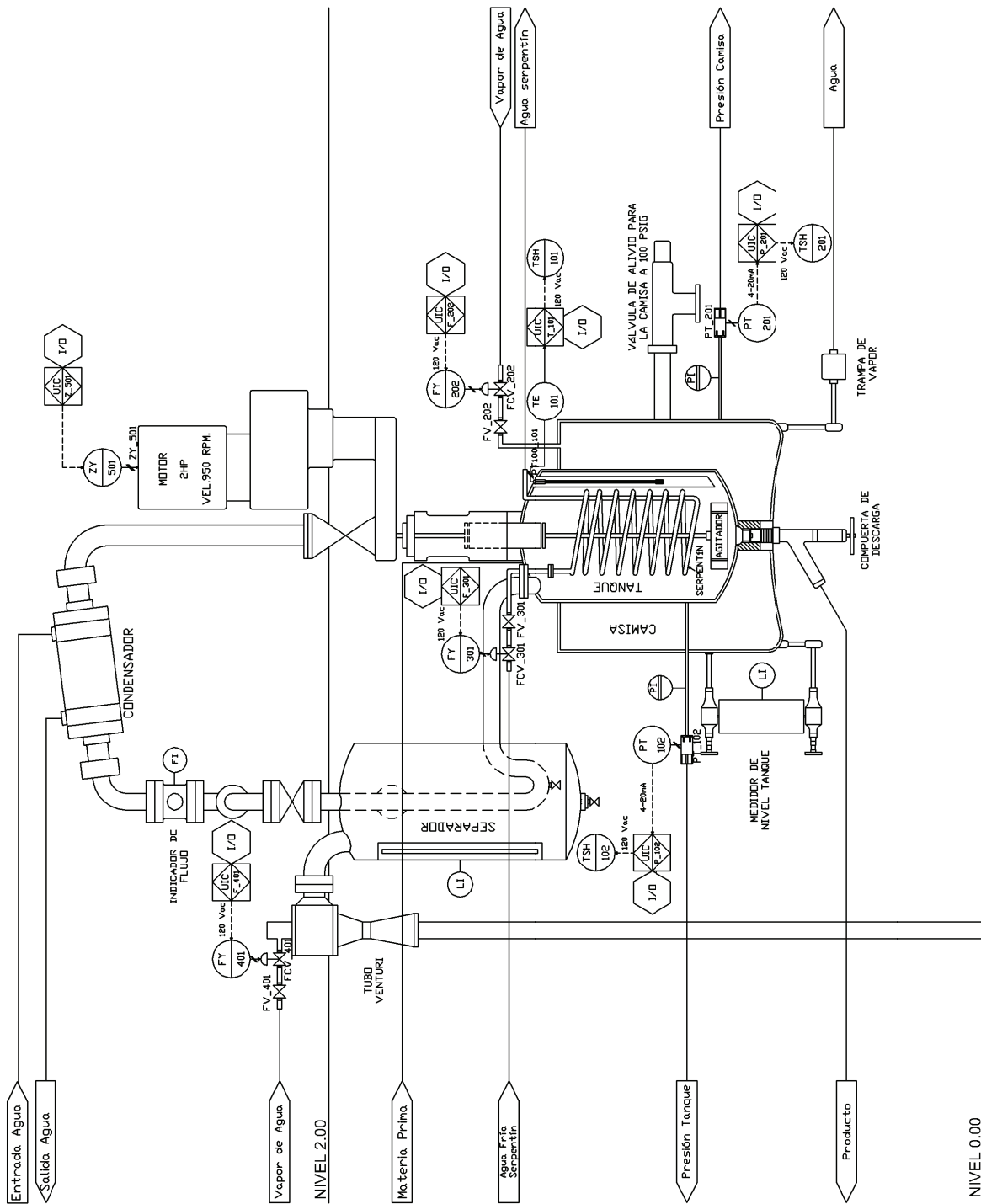


Figura 3.10 Diagrama esquemático de descripción del proceso

En la Tabla 3.10 se detalla la nomenclatura utilizada en el esquema del proceso.

DISPOSITIVO	VARIABLE	RANGO DE MEDIDA	SEÑAL	ALIMENTACIÓN	LAZO DE CONTROL	OBSERVACIONES
TE_101	Temperatura	-200°C a 650 °C	Resistiva	24 VDC	T_101	Transductor RTD PT_100 tanque.
PT_102	Presión	4-20 mA	Eléctrica	24 VDC	P_102	Transmisor de presión para el tanque.
PT_201	Presión	4-20 mA	Eléctrica	24 VDC	P_201	Transmisor de presión para la camisa.
FCV_301	Flujo de agua fría	Abierto/ Cerrado	Eléctrica	120 VAC	F_301	Electroválvula de control de agua fría
FCV_202	Flujo de vapor de agua	Abierto/ Cerrado	Eléctrica	120 VAC	F_202	Electroválvula de control de vapor de agua a la camisa.
FCV_401	Flujo de vapor de agua	Abierto/ Cerrado	Eléctrica	120 VAC	F_401	Electroválvula de control de vapor de agua para hacer vacío.
ZY_501	Tiempo	Marcha/ Paro	Eléctrica	220 VAC	Z_501	Motor trifásico, para agitar los compuestos dentro del tanque

Tabla 3.10 Nomenclatura del diagrama PI&D.

3.4 DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL TABLERO DE MANDO

El tablero de mando se diseñó con el propósito que el operador tenga acceso a controlar el proceso tanto de forma manual como automática, visualizar el estado de la planta.

En el tablero de mando se implementa las diferentes conexiones del motor, electroválvulas, transductores, alimentación del PLC, módulos de ampliación, etc.

La energización del tablero se realiza con un interruptor de llave, dando seguridad al sistema, y el cambio de modo de operación se hace con un selector manual. También cuenta con un interruptor de paro de emergencia, y luces de alarmas en caso que las variables excedan el límite de diseño.

A continuación en la Figura 3.11 se muestra el diagrama de conexiones del PLC, en la Figura 3.12 se indica la conexión de los módulos de ampliación y en la Figura 3.13 se muestra el diagrama de conexiones del control manual.

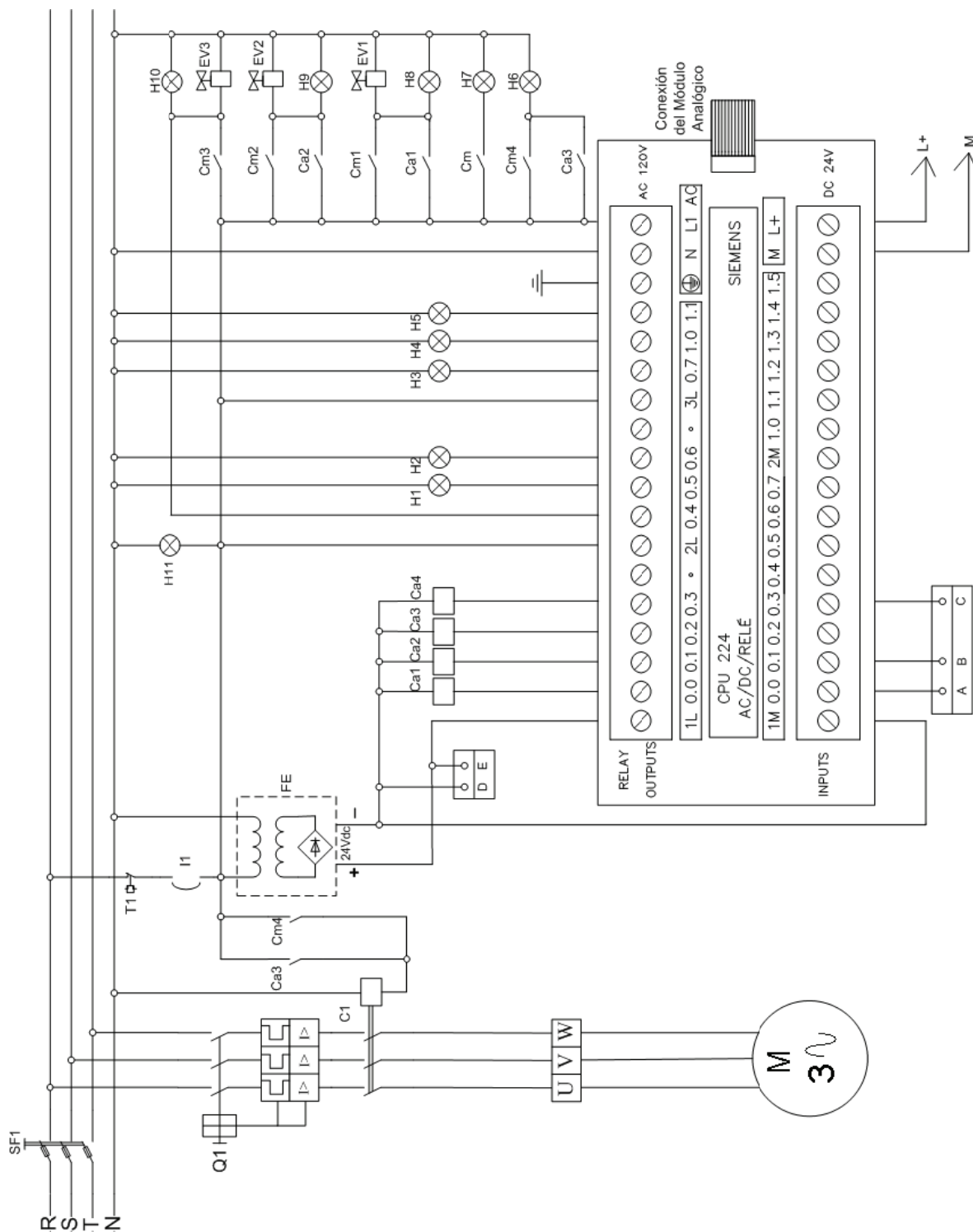


Figura 3.11 Diagrama de conexiones del PLC

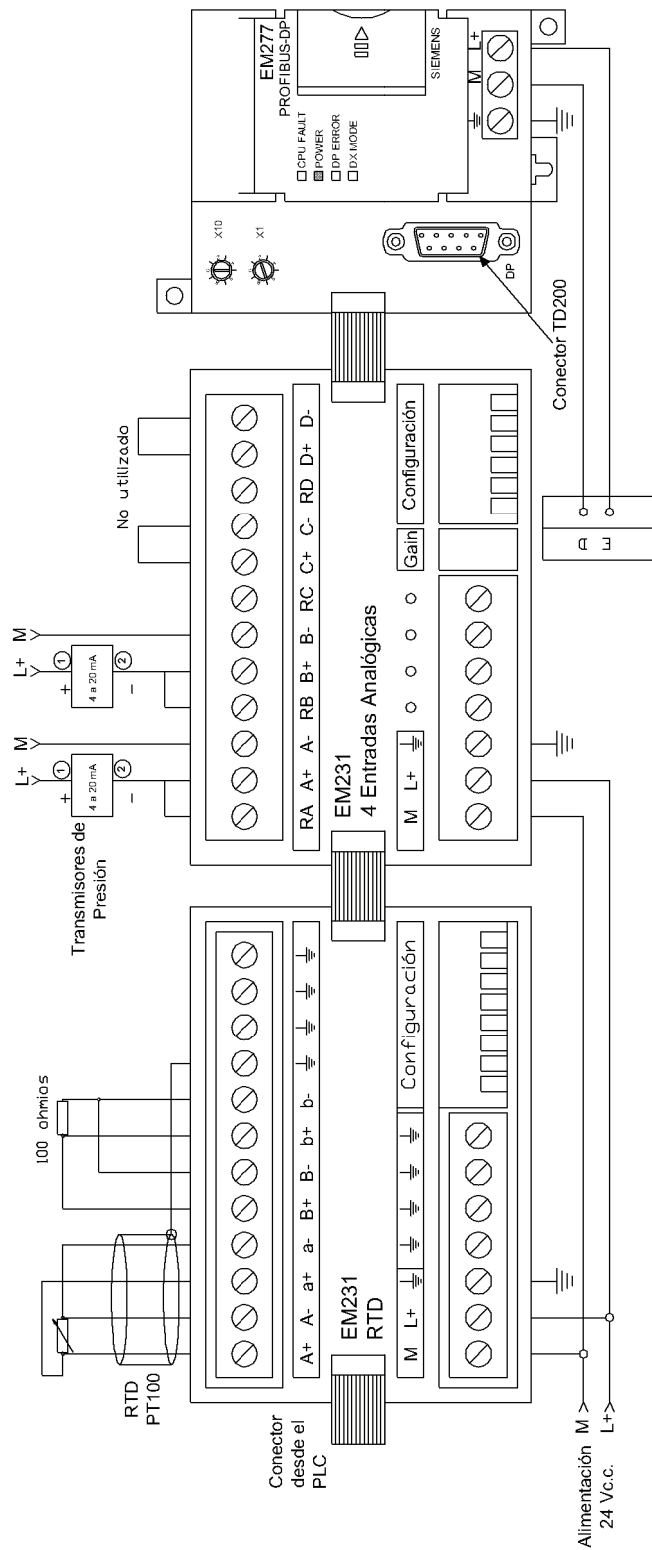


Figura 3.12 Diagrama de conexiones de los módulos de ampliación

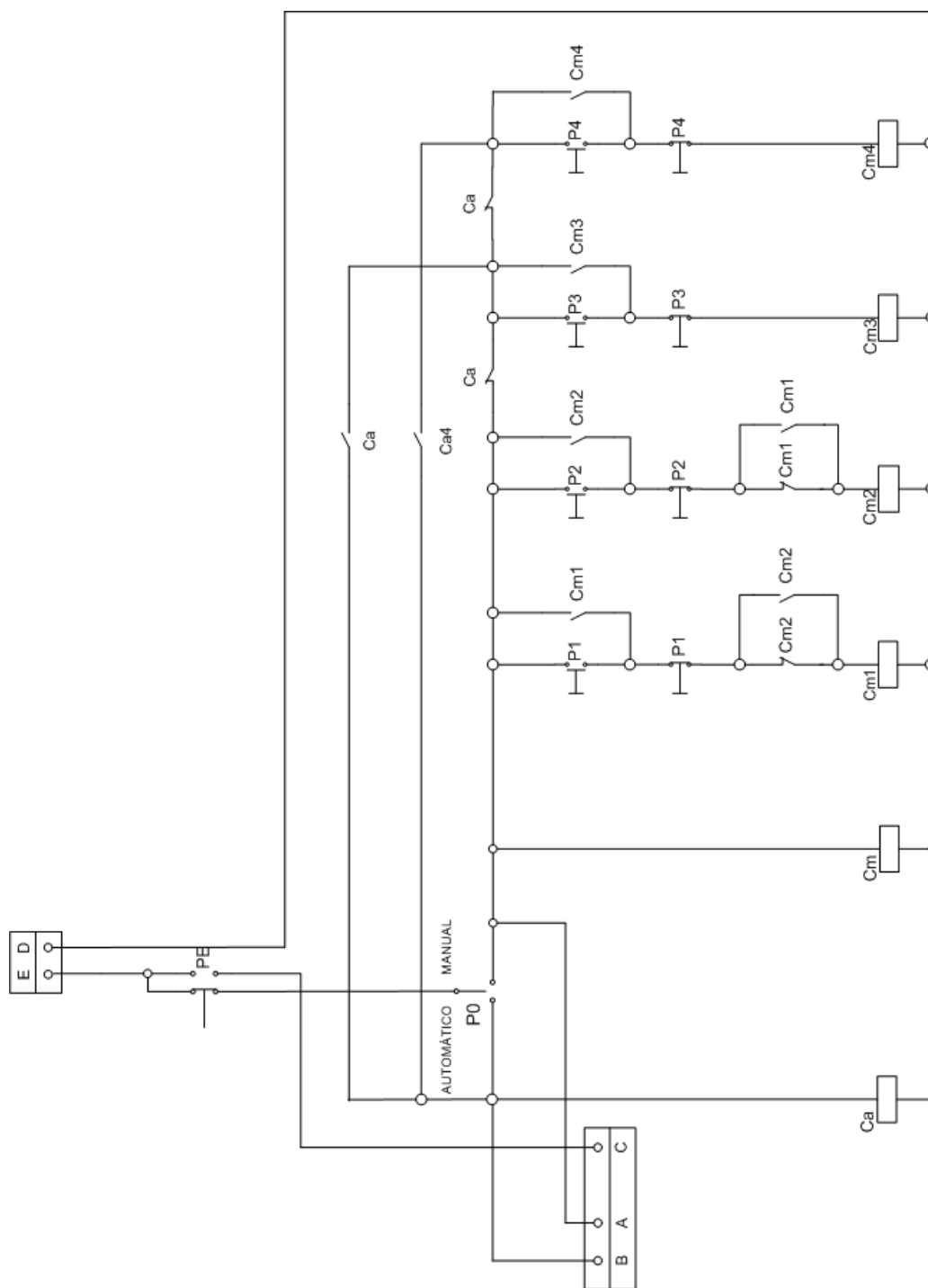


Figura 3.13 Diagrama de conexiones para modo manual

Identificación de la nomenclatura utilizada en el tablero de control:

- SF1: Interruptor de cuchillas.
- T1: Térmico protección PLC y electroválvulas.
- FE: Fuente externa de 24 Vcc (corriente continua).
- Q1: Guardamotor para protección del motor.
- C1: Contactor trifásico para activar el motor.
- I1: Interruptor de llave para energizar el tablero.
- EV1: Electroválvula para vapor de agua (calentando).
- EV2: Electroválvula para de agua fría (enfriando).
- EV3: Electroválvula para vapor de agua (hacer vacío).
- Ca: Relé de modo automático.
- Ca1: Relé de electroválvula EV1 (modo automático).
- Ca2: Relé de electroválvula EV2 (modo automático).
- Ca3: Relé de motor, modo automático e intervalos.
- Ca4: Relé de motor, modo automático-activar manualmente.
- Cm: Relé de modo manual.
- Cm1: Relé de electroválvula EV1 (modo manual).
- Cm2: Relé de electroválvula EV2 (modo manual).
- Cm3: Relé de electroválvula EV3 (modo manual).
- Cm4: Relé de motor (modo manual).
- PE: Pulsante de paro de emergencia.
- P1: Pulsante activar/desactivar EV1.
- P2: Pulsante activar/desactivar EV2.
- P3: Pulsante activar/desactivar EV3.
- P4: Pulsante marcha/paro del motor.
- H1: Luz indicadora modo automático.
- H2: Luz indicadora alarma proceso completo.
- H3: Luz indicadora alarma paro de emergencia.
- H4: Luz indicadora alarma alta temperatura.
- H5: Luz indicadora alarma alta presión tanque/camisa.
- H6: Luz indicadora agitación en el tanque.
- H7: Luz indicadora modo manual.

- H8: Luz indicadora EV2.
- H9: Luz indicadora EV1.
- H10: Luz indicadora EV3.
- H11: Luz indicadora energización del tablero de mando.
- A: Entrada al PLC modo manual.
- B: Entrada al PLC modo automático.
- C: Entrada al PLC paro de emergencia.
- D: Alimentación fuente externa (0 Vcc).
- E: Alimentación fuente externa (+24 Vcc).
- L+: Fuente interna PLC (+24 Vcc).
- M: Fuente interna PLC (0 Vcc).
- R, S, T: Fases.
- N: Neutro.

3.5 DESARROLLO DEL SOFTWARE PARA EL SISTEMA DE CONTROL

Para que un PLC pueda realizar las tareas de control se desarrolló un programa que contiene un conjunto de instrucciones basado en lenguaje de programación del paquete computacional Step 7, y realiza las funciones del algoritmo de control.

3.5.1 STEP 7-MICRO/WIN

El paquete de programación STEP 7-Micro/WIN constituye un entorno de fácil manejo para desarrollar, editar y monitorear el programa con el objetivo de controlar la aplicación.

Requerimientos del sistema

STEP 7-Micro/WIN se puede ejecutar en un ordenador (PC), o bien en una unidad de programación de Siemens (PG). El PC o la PG deberán cumplir los siguientes requisitos mínimos:

- Sistema operativo: Windows 2000, Windows XP (Professional o Home)
- 100 MB libres en el disco duro (como mínimo)
- Ratón (recomendado)

3.5.2 COMPONENTES DEL STEP7

Los componentes que integran el Step7 se muestran en la Figura 3.14 y son los siguientes:

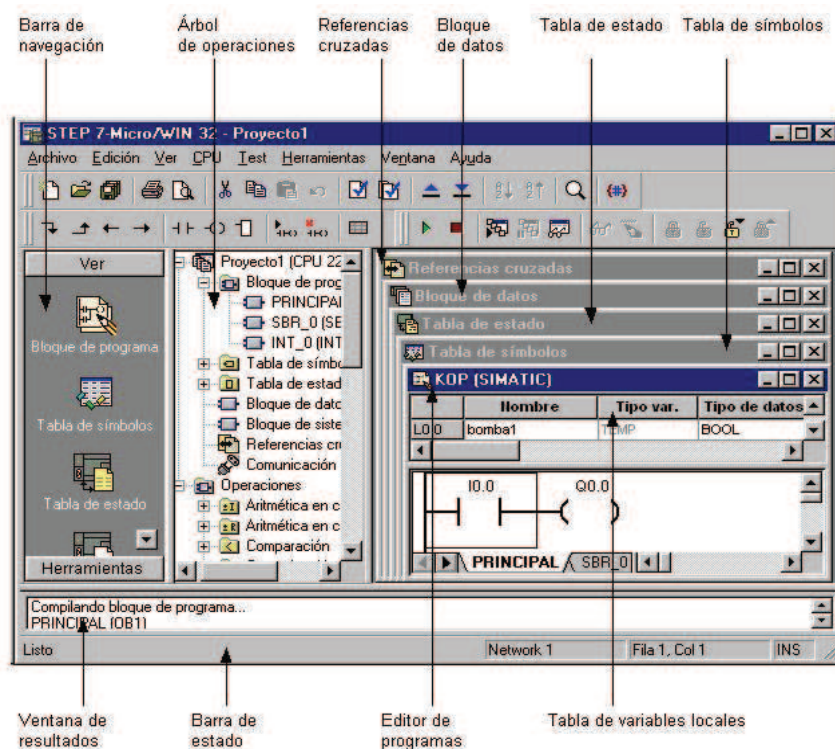


Figura 3.14 Componentes del Step7

Barra de navegación: Incorpora grupos de botones para facilitar la programación y acceder al Bloque de programa, Tabla de símbolos, Bloque de sistema, Comunicación, Asistente de operaciones, Asistente del TD 200, etc.

Árbol de operaciones: Ofrece una vista en árbol de los objetos del proyecto y de las operaciones disponibles en el editor de programas actual (KOP, FUP o AWL).

Referencias cruzadas: Permite visualizar las referencias cruzadas y los elementos utilizados en el programa.

Bloque de datos: Sirve para visualizar y editar el contenido del bloque de datos.

Tabla de estado: Permite observar el estado de las entradas, salidas y variables del programa.

Tabla de símbolos/Tabla de símbolos globales: Sirven para asignar y editar símbolos globales.

Ventana de resultados: Visualiza mensajes de información cuando se compila el programa de usuario.

Barra de estado: Informa acerca del estado de las funciones que se ejecutan en STEP 7-Micro/WIN.

3.5.3 EDICIÓN DE PROGRAMAS MEDIANTE STEP 7-MICRO/WIN

Editor KOP (Esquema de contactos)

El editor KOP (Esquema de contactos) permite crear programas con componentes similares a los elementos de un esquema de circuitos. Los programas KOP hacen que la CPU emule la circulación de corriente eléctrica desde una fuente de alimentación, a través de una serie de condiciones lógicas de entrada que, a su vez, habilitan condiciones lógicas de salida.

Editor FUP (Diagrama de funciones)

El editor FUP (Diagrama de funciones) permite visualizar las operaciones en forma de cuadros lógicos similares a los circuitos de puertas lógicas. En FUP no existen contactos ni bobinas como en el editor KOP, pero existen operaciones equivalentes que se representan en forma de cuadros.

Editor AWL (Lista de instrucciones)

El editor AWL (Lista de instrucciones) permite crear programas de control introduciendo la nemotécnica de las operaciones.

3.5.4 ELEMENTOS DE UN PROGRAMA DE CONTROL

El programa de control de una CPU S7-200 comprende los siguientes tipos de unidades de organización del programa (UOP):

Programa principal

En el programa principal (denominado OB1) se depositan las operaciones que controlan la aplicación. Las operaciones del programa principal se ejecutan de forma secuencial en cada ciclo de la CPU.

Subrutinas

Una subrutina comprende un juego opcional de operaciones depositado en un bloque por separado que se ejecuta sólo cuando se llama desde el programa principal, desde una rutina de interrupción, o bien desde otra subrutina.

Rutinas de interrupción

Una rutina de interrupción comprende un juego opcional de operaciones depositado en un bloque por separado que se ejecuta sólo cuando ocurre el correspondiente evento de interrupción.

3.5.5 COMUNICACIÓN ENTRE LA PC Y EL CPU

La forma de establecer la comunicación entre la PC donde se ejecute STEP 7-Micro/WIN y el CPU depende de la configuración del hardware. Al utilizar un cable PC/PPI para el enlace entre el PC y la CPU, se debe aceptar los parámetros estándar asignados en STEP 7-Micro/WIN (Figura 3.15) para el PC y la CPU a la hora de instalar el software STEP 7-Micro/WIN.

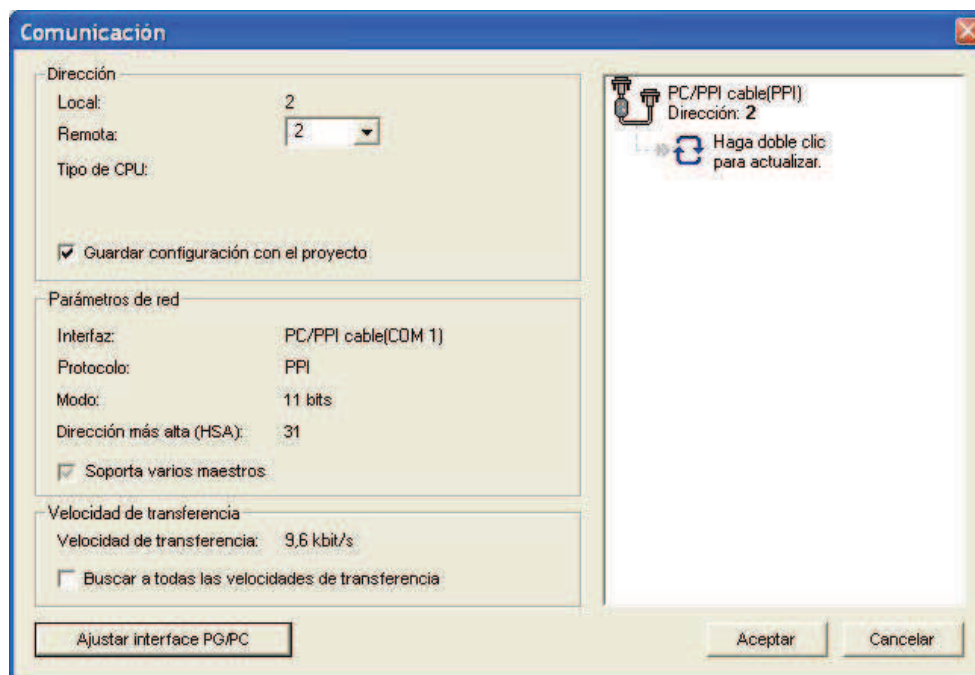


Figura 3.15 Establecer la comunicación con el S7-200

3.6 COMUNICACIÓN ENTRE EL PLC Y LAS HMIs

3.6.1 PRINCIPIOS BÁSICOS DE LA COMUNICACIÓN EN REDES S7-200

El S7-200 soporta redes compuestas por maestros y esclavos, pudiendo actuar tanto de maestro como de esclavo en la red.

Velocidad de transferencia: la velocidad de transferencia determina la cantidad de datos que se transmiten en la red en un determinado período. En la Tabla 3.11 se especifica las velocidades de transferencia que soporta el S7-200.

Red	Velocidad de transferencia (en bit/s)
Red estándar	9,6 kbit/s a 187,5 kbit/s
Red que utiliza un EM 277	9,6 kbit/s a 12 Mbit/s
Red que utiliza el modo Freeport	1200 bit/s a 115,2 kbit/s

Tabla 3.11 Velocidades de transferencia

Dirección de la estación: es un número unívoco que se asigna a cada aparato de la red. Esta dirección garantiza que los datos sean enviados al o recibidos del aparato correcto. El S7-200 soporta direcciones de estación comprendidas entre 0 y 126. La Tabla 3.12 muestra los ajustes estándar (de fábrica) de los equipos S7-200.

Equipo S7-200	Dirección estándar
STEP 7-Micro/WIN	0
HMI (TD200, TP u OP)	1
CPU S7-200	2

Tabla 3.12 Direcciones estándar de equipos S7-200

La velocidad de transferencia y la dirección que la CPU utilizará cuando esté conectada a la red se configuran en el bloque de sistema del S7-200, tal como se muestra en la Figura 3.16

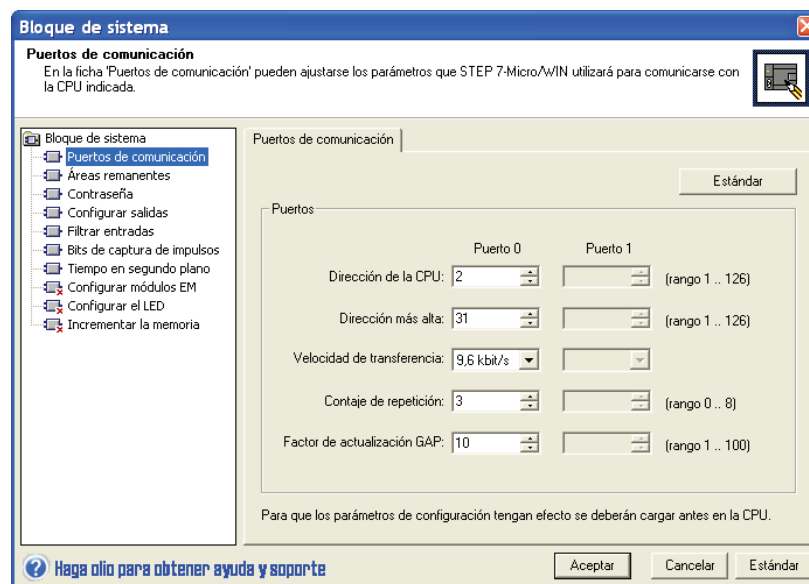


Figura 3.16 Bloque de sistema del Step 7-MicroWIN

3.6.2 PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN

Los protocolos de comunicación posibles son:

- Interfaz punto a punto (PPI)
- Interfaz multipunto (MPI)

Protocolo PPI

PPI es un protocolo maestro-esclavo (Figura 3.17). Los maestros envían peticiones a los esclavos y éstos responden.

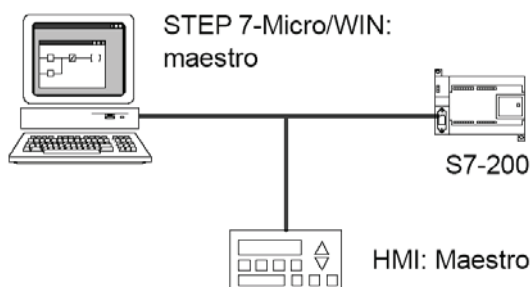


Figura 3.17 Red PPI

El protocolo PPI no limita el número de maestros que se pueden comunicar con un mismo esclavo. Sin embargo, la red no puede comprender más de 32 maestros.

Protocolo MPI

El protocolo MPI soporta la comunicación maestro-maestro, o bien maestro-esclavo como se ilustra en la Figura 3.18.

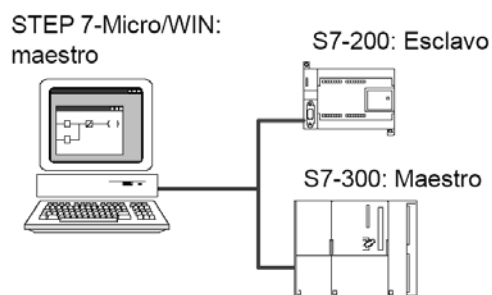


Figura 3.18 Red MPI

Los aparatos de la red se comunican a través de enlaces separados (gestionados por el protocolo MPI). La comunicación entre aparatos se limita a la cantidad de enlaces que soportan la CPU S7-200 o el módulo EM 277.

3.6.3 HARDWARE PARA LA COMUNICACIÓN ENTRE EL PLC Y LA PC (HMI REMOTA)

Para implementar esta sección de la red de control se utilizó el puerto de la CPU 224 para la comunicación con la computadora. Este puerto se configura de tal forma que el enlace sea mediante protocolo PPI.

La conexión se realiza mediante el cable multimaestro RS-232/PPI indicado en la Figura 3.19. El cable multimaestro RS-232/PPI se encuentra en modo de transmisión cuando los datos se envían del puerto RS-232 al puerto RS-485, y en modo de recepción al estar inactivo o cuando los datos se transmiten del puerto RS-485 al RS-232.

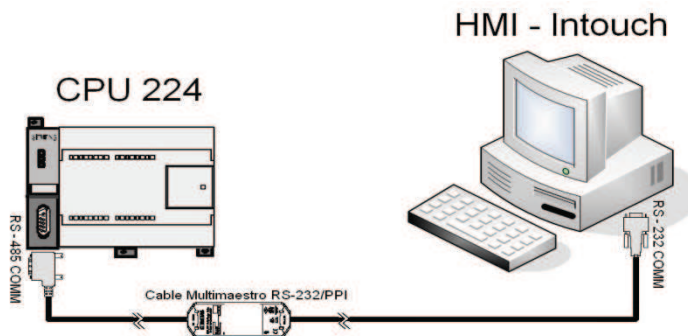


Figura 3.19 Conexión entre CPU y HMI remota

3.6.4 HARDWARE PARA LA COMUNICACIÓN ENTRE EL PLC Y EL TD200 (HMI LOCAL)

Para la comunicación entre el TD200 y la CPU del PLC, se utilizó el puerto de comunicaciones del Módulo Profibus EM277 y el cable TD/CPU propio del TD200 (Figura 3.20). El módulo se comunica utilizando el protocolo MPI.

El visualizador de textos trabaja como un maestro MPI y utiliza la dirección de estación del módulo. Los mensajes que se envíen al módulo EM 277 PROFIBUS-DP se transmiten a una velocidad de 187,5 Kbit/s hacia la CPU S7-200.

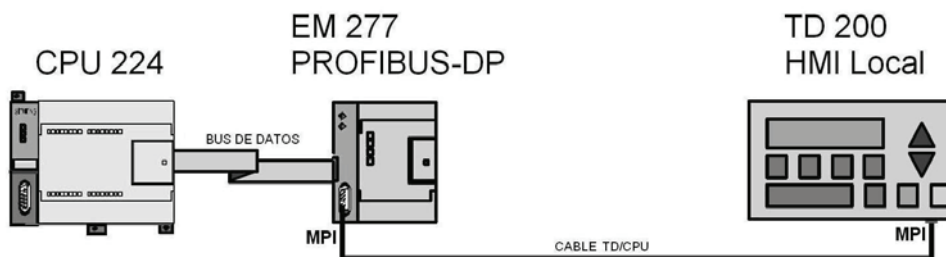


Figura 3.20 Comunicación entre PLC y TD 200

3.7 DISEÑO DEL PROGRAMA DEL PLC

El programa del PLC se realiza utilizando STEP 7-Micro/WIN mediante el editor tipo KOP. El programa consta de dos secciones que son el programa principal y las subrutinas.

3.7.1 PROGRAMA PRINCIPAL

Es la etapa del programa que se ejecuta durante todo el proceso y es un ciclo repetitivo que tiene asignado las siguientes acciones:

Adquisición y procesamiento de datos: para convertir a grados centígrados el dato digital que entrega en el módulo EM231RTD, se realiza una división entre dicho dato (Tabla 3.13) y 10.0 en formato real para obtener el valor verdadero de temperatura con precisión de un dígito decimal.

Palabra de sistema (1 dígito = 0,1 °C)		Pt10000	Pt100, Pt200, Pt500, Pt1000	Ni100, Ni120, Ni1000 ¹	Cu10	0 - 1500 _Ω	0 - 3000 _Ω	0 - 6000 _Ω
Decimal	Hex							
32767	7FFF							
32768	7FFE							
32511	7E3F					176,383 _Ω	352,767 _Ω	705,534 _Ω
29649	6C01					150,005 _Ω	300,011 _Ω	600,022 _Ω
27648	6C00					150,000 _Ω	300,000 _Ω	600,000 _Ω
25000	61A8							
18000	4650							
15000	3A98							
13000	32C8							
10000	2710	1000,0°C	1000,0°C					
8500	2134		850,0°C					
6000	1770	600,0°C						
3120	0C30							
2950	0B86					295,0°C		
2600	0A28							
2500	09C4					250,0°C		
1	0001	0,1°C	0,1°C	0,1°C	0,1°C	0,005 _Ω	0,011 _Ω	0,022 _Ω
0	0000	0,0°C	0,0°C	0,0°C	0,0°C	0,000 _Ω	0,000 _Ω	0,000 _Ω
-1	FFFF	-0,1°C	-0,1°C	-0,1°C	-0,1°C	(no son posibles los valores negativos)		
-600	FDA8							
-1050	FBE6							
-2000	F830	-200,0°C	-200,0°C					
-2400	F6A0							
-2430	F682	-243,0°C	-243,0°C					
-5000	EC78							
-6000	E890							
-10500	D8FC							
-12000	VD120							
-20000	4E20							
-32767	8001							
-32768	8000							
Precisión en todo el rango		=0,4%	=0,1%	=0,2%	=0,5%	=0,1%	=0,1%	=0,1%
Precisión (margen normal)		=4°C	=1°C	=0,6°C	=2,8°C	=0,15 _Ω	=...5 _Ω	=0,6 _Ω
<small> † = desbordamiento por exceso; SR = sobre rango; RN = rango normal; BR = bajo rango; DD = desbordamiento por defecto † † indican que todos los valores analógicos que excedan los límites devuelven el valor fuera de rango, 32767 (0x7FFF) ó -32768 (0x8000). ¹ El límite inferior del rango normal de 1000 Ω Ni con un alpha de 0,006178 es 0 grados centígrados (no hay bajo rango). En esta tabla se muestra el 1000 Ω Ni con un alpha de 0,00672. </small>								

Tabla 3.13 Rangos de temperatura (°C) y precisión del módulo RTD

La conversión del valor digital de presión proveniente del módulo analógico EM231 de 4 entradas analógicas se realiza escalando los datos provenientes del módulo conforme a la siguiente ecuación:

$$Ov = \left[(Osh - Osl) * \frac{(Iv - Isl)}{(Ish - Isl)} \right] + Osl \quad \text{ec 3.4}$$

Donde las variables son:

Ov: valor de salida escalado

Iv: valor de entrada analógico

Osh: límite superior de la escala para el valor de salida escalado

Osl: límite inferior de la escala para el valor de salida escalado

Ish: límite superior de la escala para el valor de entrada analógico

Isl: límite inferior de la escala para el valor de entrada analógico

El diagrama de escalado se observa en la Figura 3.21.

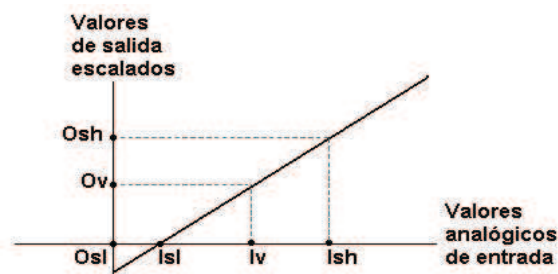


Figura 3.21 Curva de escalamiento

Ejecución del lazo de control de temperatura On/Off con histéresis: el PLC almacena el valor de temperatura del proceso en una variable temporal, simultáneamente realiza la suma entre el valor de set point y otro valor que depende de la histéresis de temperatura ingresada por el usuario, para así definir los límites superior e inferior de la ventana de histéresis. Entonces, si la temperatura del proceso excede el valor superior de la ventana de histéresis, el PLC activa la electroválvula de agua fría mediante el relé correspondiente. De

igual manera, si la temperatura es menor al valor inferior de la ventana de histéresis el PLC activa la electroválvula de vapor para el calentamiento.

Si la temperatura se encuentra dentro de la ventana de histéresis, no se ejecuta acciones de control sobre las electroválvulas mencionadas.

Test del teclado de la HMI local: en cada ciclo del programa se realiza un testeo del estado de las 4 teclas de función que dispone el TD200. En caso de estar activada alguna de ellas, se realiza un llamado a la respectiva subrutina.

Cronómetro del tiempo de procesamiento: durante todo el proceso el programa del PLC lleva la cuenta del tiempo de procesamiento, mediante un cronómetro (horas:minutos:segundos) implementado con temporizadores y contadores. Una vez que la cuenta del tiempo de seguridad (ingresada por el operador) concluye, se activa una luz indicadora de tiempo completo y se decide continuar o detener el proceso conforme a lo que el operador establezca mediante las HMIs.

Control de la Agitación: el encendido o apagado del motor se realiza mediante un relé que activa la bobina del contactor que alimenta el voltaje trifásico hacia el motor.

Para el modo automático existe la opción de agitar por intervalos. En este caso, el motor se enciende y apaga automáticamente conforme a un t_{on} (tiempo en minutos que el motor permanece encendido) y un t_{off} (tiempo en minutos que el motor permanece apagado), configurables por el usuario mediante las HMIs.

Manejo de alarmas y paro de emergencia: en caso de sobrepasar la temperatura o presión máxima de diseño del reactor, se activan luces indicadoras de alarma, seguidamente el PLC activa la electroválvula de agua para enfriar el proceso hasta llegar a temperatura menor a 300 °C.

Durante el proceso, existe la opción de detener el funcionamiento del proceso por parada de emergencia mediante un interruptor tipo push-pull, en caso de activar este interruptor el PLC desactiva todas las salidas y se apaga el reactor.

3.7.2 SUBROUTINAS DEL PROGRAMA

Buscando una mejor organización del software del controlador se desarrollan varias subrutinas:

Subrutina0: Inicializa las variables del PLC.

Subrutina1: Hace el reconocimiento del modo de trabajo seleccionado.

Subrutina2: Realiza el despliegue de las especificaciones de la planta y menú de configuración de parámetros para el proceso.

Subrutina3: Facilita la configuración y visualización de la variable temperatura.

Subrutina4: Facilita la configuración y visualización de la variable tiempo de seguridad.

Subrutina5: Facilita la configuración y visualización de la agitación en el tanque.

Subrutina6: Facilita la configuración y visualización de la variable histéresis de temperatura.

3.7.3 DIAGRAMA DE FLUJO

El programa del PLC se lo desarrolla en base a la lógica representada en los siguientes diagramas de flujo:

Diagrama de flujo general: incorpora la secuencia general del programa de control para el proceso. En la Figura 3.22 se representa la estructura principal desde el inicio al energizar el tablero de control luego la selección del modo de trabajo que puede ser manual o automático.

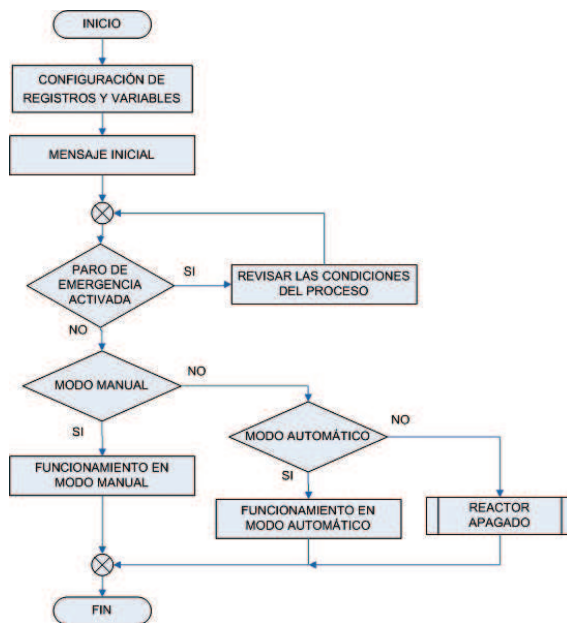


Figura 3.22 Diagrama de flujo general

Diagrama de flujo para modo manual: representa el funcionamiento lógico para modo manual, tal como se muestra en la Figura 3.23

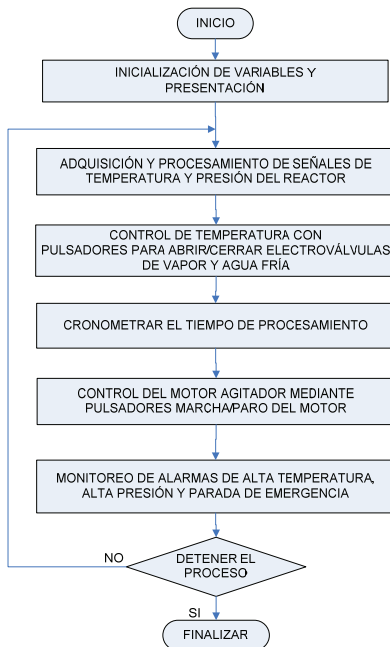


Figura 3.23 Diagrama de flujo del programa principal en modo manual

Diagrama de flujo para modo automático: en modo automático, las acciones de control sobre los parámetros del proceso, se ejecutan desde el PLC, en la Figura 3.24 se muestran las etapas del proceso.

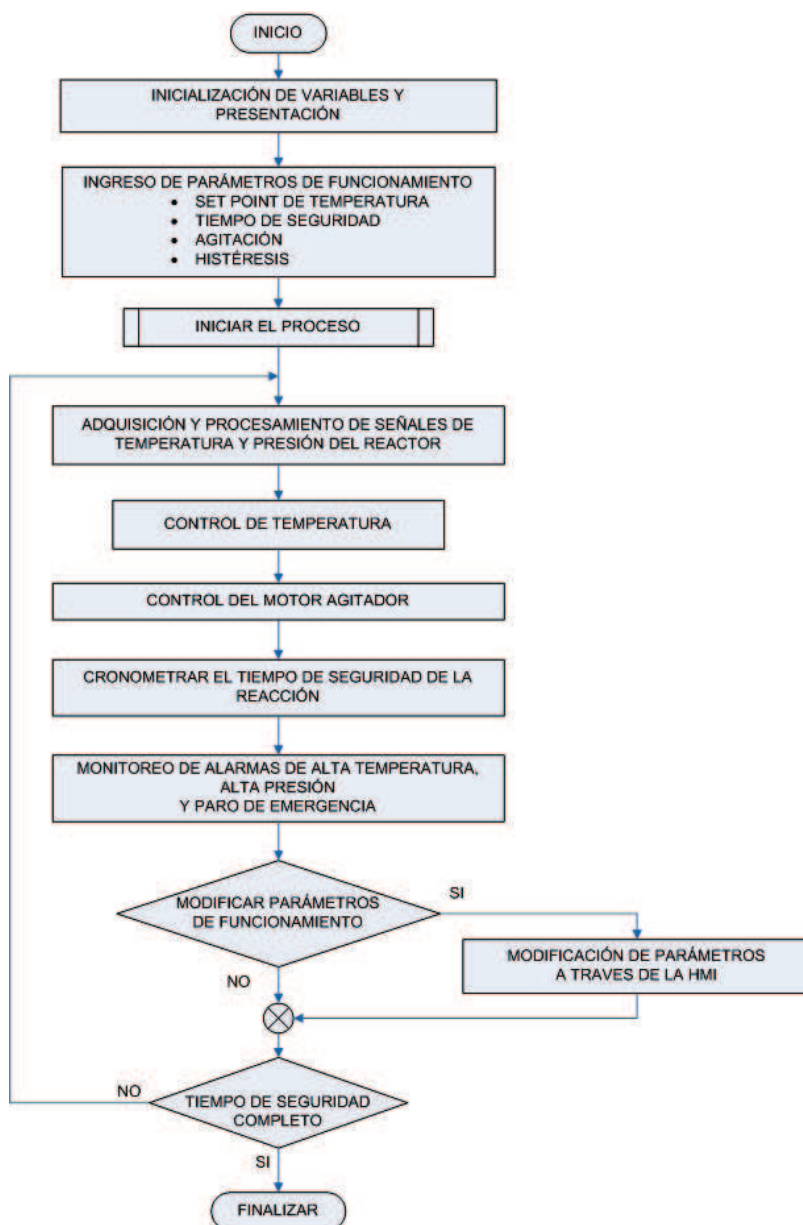


Figura 3.24 Diagrama de flujo del programa principal en modo automático

Diagrama de flujo detallado para modo automático: en el diagrama representado en la Figura 3.25, se observa con mayor detalle las funciones de control que realiza el programa principal para el modo automático.

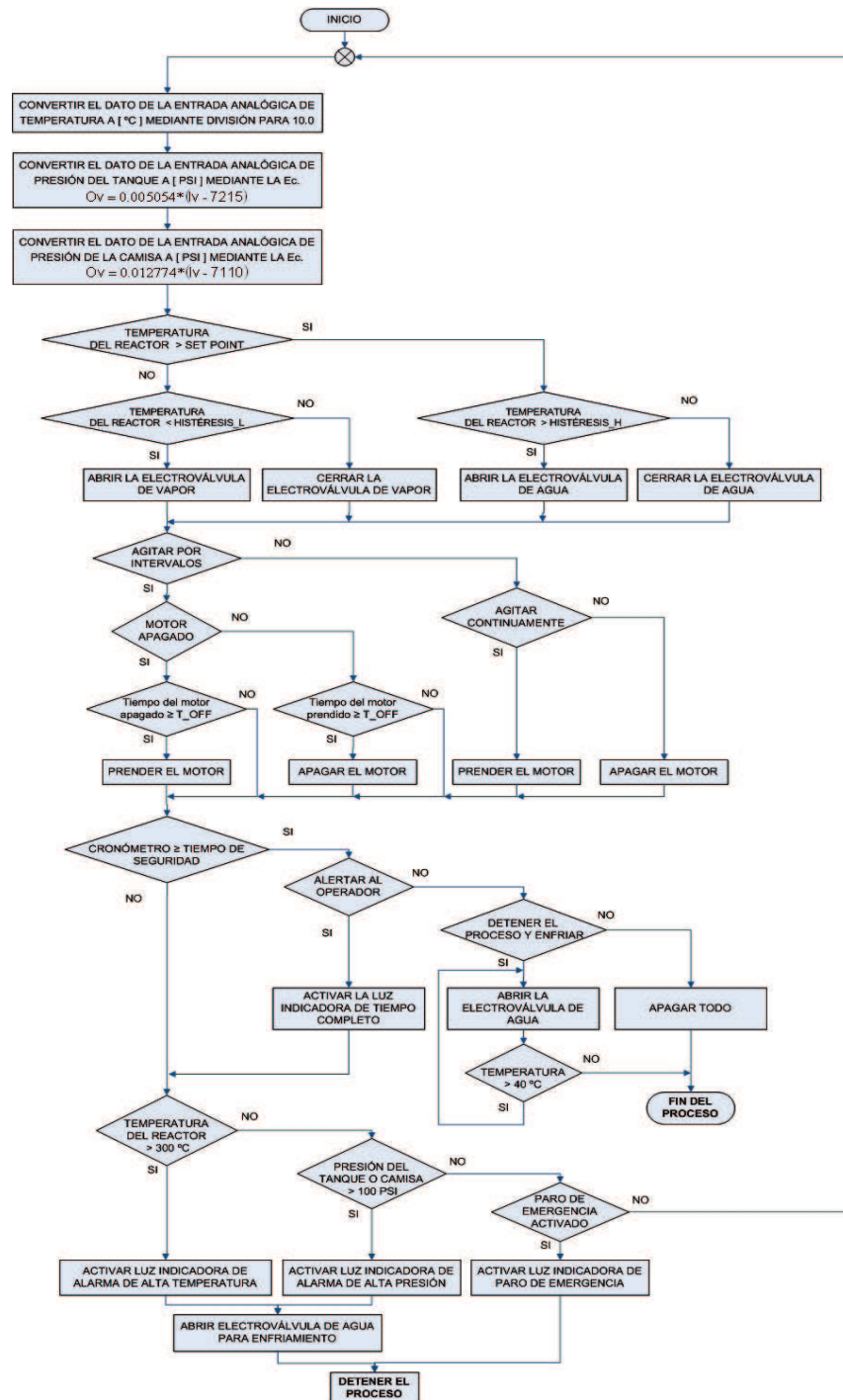


Figura 3.25 Diagrama de flujo detallado para modo automático

A continuación se describe el funcionamiento de las subrutinas utilizadas para la configuración de los parámetros del proceso a través de la HMI local, (Figura 3.26, Figura 3.27, Figura 3.28, Figura 3.29 y Figura 3.30).

Subrutina0: Inicialización de parámetros y presentación

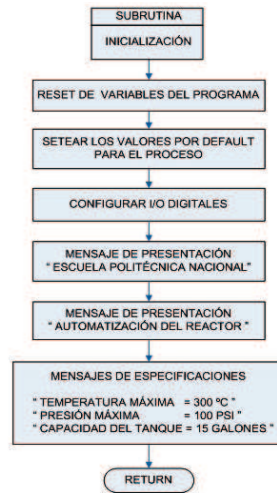


Figura 3.26 Diagrama de flujo inicialización de parámetros y presentación

Subrutina1: Configuración del set point de temperatura

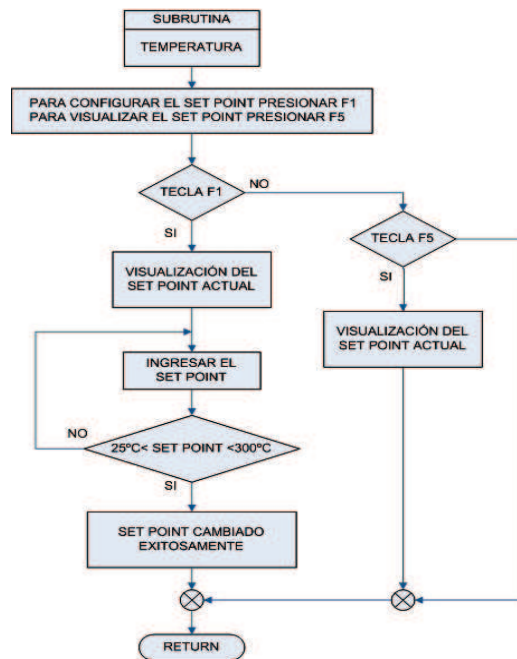


Figura 3.27 Diagrama del flujo de configuración del set point de temperatura

Subrutina2: Configuración del tiempo de seguridad

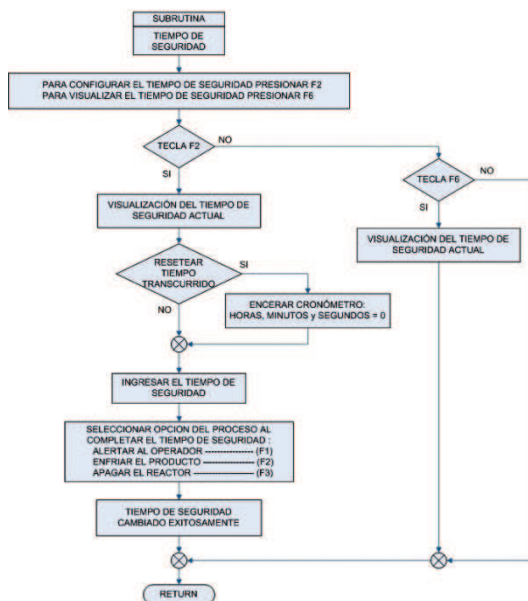


Figura 3.28 Diagrama de flujo de configuración del tiempo de seguridad

Subrutina3: Configuración de la agitación

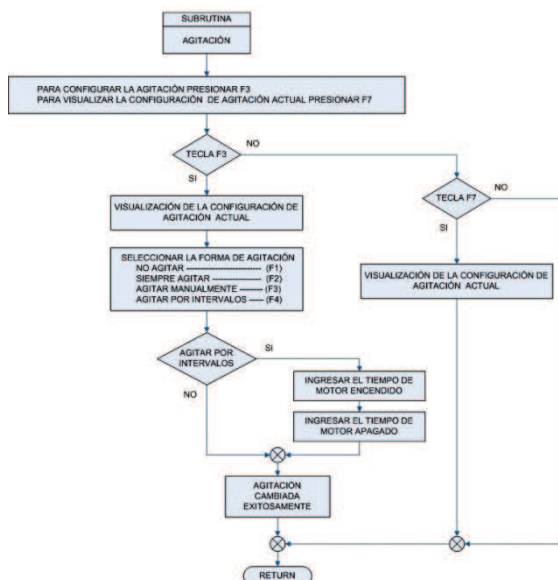


Figura 3.29 Diagrama de flujo de configuración de la agitación

Subrutina4: Configuración de la histéresis de temperatura

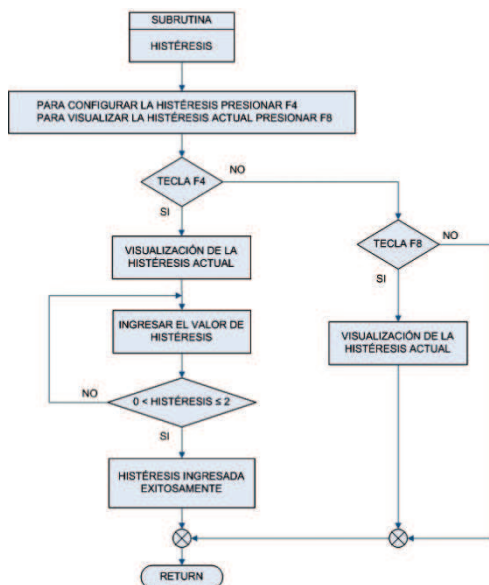


Figura 3.30 Diagrama de flujo de configuración de la histéresis

3.7.4 DECLARACIÓN DE VARIABLES

Las variables a utilizar en el programa del PLC se editan en la Tabla de Símbolos de STEP 7-Micro/WIN. Estas variables pueden ser de tipo BOOL, BYTE, WORD, INT, DWORD, DINT, REAL O STRING y para cada variable se debe asignar la dirección que ocupará en la memoria de la CPU.

Las variables más representativas que se utilizan en el programa (Tabla 3.14) son:

VARIABLE	TIPO	DIRECCIÓN
MODO MANUAL	BOOL	I0,0
MODO AUTOMÁTICO	BOOL	I0,1
PARO DE EMERGENCIA	BOOL	I0,3
ENFRIAMIENTO	BOOL	Q0,0
CALENTAMIENTO	BOOL	Q0,1
MOTOR INTERVALOS	BOOL	Q0,2
MOTOR SEMI-AUTOMÁTICO	BOOL	Q0,3
PROCESO EN VACÍO	BOOL	Q0,4
LUZ DE MODO AUTOMÁTICO	BOOL	Q0,5

ALARMA PROCESO_COMPLETO	BOOL	Q0,6
ALARMA PARO_EMERGENCIA	BOOL	Q0,7
ALARMA H_TEMPERATURA	BOOL	Q1,0
ALARMA H_PRESIÓN TANQUE/CAMISA	BOOL	Q1,1
TEMPERATURA_ACTUAL1	REAL	VD4020
TEMPERATURA_ACTUAL2	WORD	VW4040
SET POINT1	REAL	VD4110
SET POINT2	WORD	VW1293
SETPOINT_MAS_HIST	REAL	VD4130
SETPOINT_MENOS_HIST	REAL	VD4170
PRESION TANQUE	WORD	VW4300
PRESION CAMISA	WORD	VW4400
SUBR0_RESET	BOOL	M1,0
SUBR1_PRESENTACION	BOOL	M1,1
SUBR2_ESPECIFICAC	BOOL	M1,2
SUBR3_TEMPERATURA	BOOL	M1,3
SUBR4_TIEMPO DE PROCESO	BOOL	M1,4
SUBR5_AGITACIÓN	BOOL	M1,5
SUBR6_HISTÉRESIS	BOOL	M1,6
PROG_PRINCIPAL	BOOL	M1,7
ALARMAS	BYTE	MB2
VER SET POINT	BOOL	M13,1
VER TIEMPO-SEGURIDAD	BOOL	M13,2
VER AGITACIÓN	BOOL	M13,3
VER HISTÉRESIS	BOOL	M13,4
MOTOR_TON	INT	C5
MOTOR_TOFF	INT	C6
TIEMPO-HORAS	INT	C10
TIEMPO-MINUTOS	INT	C11
TIEMPO-SEGUNDOS	INT	C12
RESET_TIME	BOOL	M6,1
SIN AGITACIÓN	BOOL	M10,0
SIEMPRE AGITADO	BOOL	M10,1
AGITA_SEMIAUTOMATICO	BOOL	M10,2
AGITA_INTERVALOS	BOOL	M10,3
TIEMPO T_ON	WORD	VW2255
TIEMPO T_OFF	WORD	VW2334
ALARMA H_TEMP	BYTE	MB25
ALARMA H_PRESIÓN TANQUE	BYTE	MB26
ALARMA H_PRESIÓN CAMISA	BYTE	MB27

Tabla 3.14 Variables del programa

3.8 DIAGRAMA DE CONEXIONES DEL PLC

En la Figura 3.31 se muestra la distribución de entradas y salidas digitales, así como también las entradas analógicas utilizadas en el controlador.

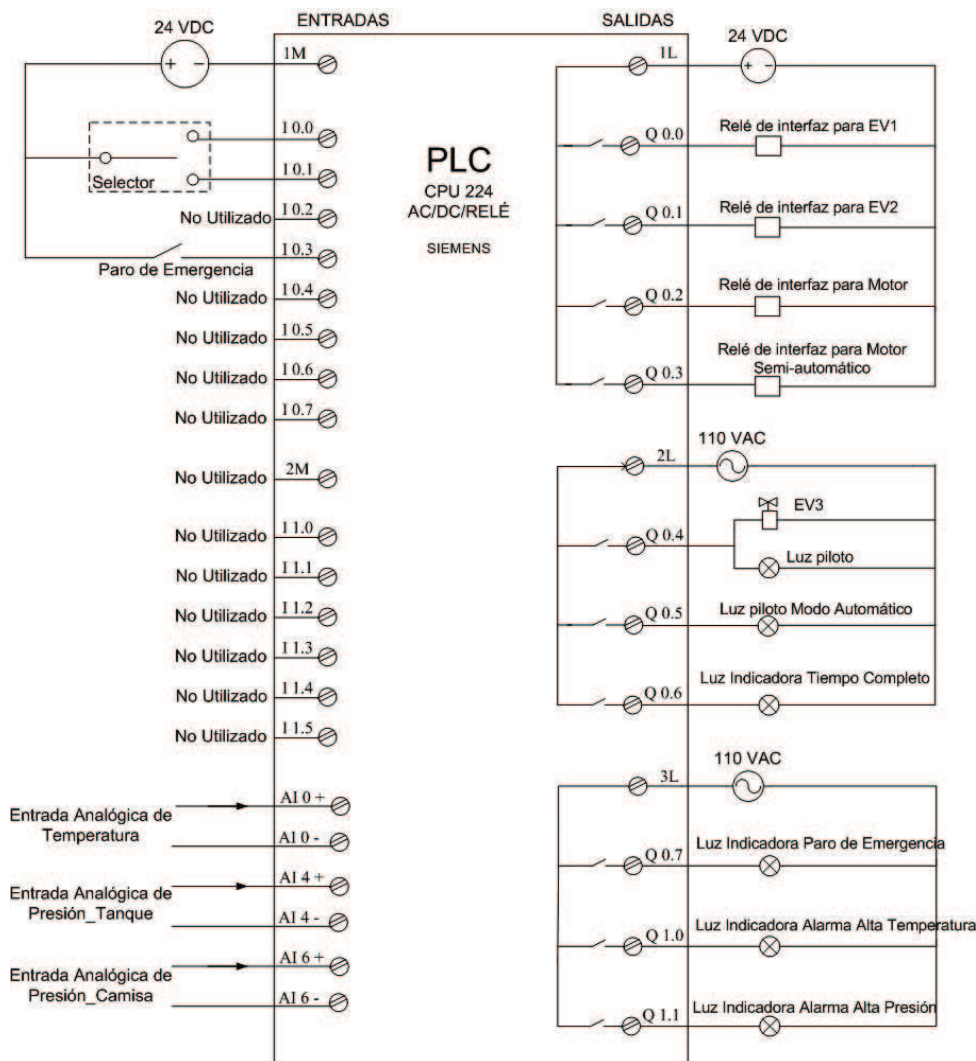


Figura 3.31 Entradas y salidas del PLC

En el siguiente capítulo se realizará el diseño del software y configuración de las HMIs local y remota para el sistema de control en base a las necesidades propias del proceso y planteadas por los usuarios de la planta de reacciones químicas.

CAPÍTULO 4
DISEÑO DE LA INTERFAZ HOMBRE – MÁQUINA

CAPÍTULO 4

DISEÑO DE LA INTERFAZ HOMBRE – MÁQUINA

En el presente capítulo se realiza el diseño de la HMI que permite al operador interactuar con el proceso, las HMIs que se diseñan están orientadas a satisfacer las necesidades de los posibles usuarios de la planta. Estas HMIs permiten ingresar o cambiar parámetros del proceso, visualizar de forma textual y animada el cambio de las variables que intervienen en el reactor, además permiten alertar al operador mediante el despliegue de ventanas o mensajes de alarmas de tiempo, temperatura, presión y paro de emergencia con el fin de brindar seguridad en el ambiente de trabajo.

4.1 DESARROLLO DE LA HMI DE CONTROL EN INTOUCH

4.1.2 SOFTWARE INTOUCH PARA INTERFAZ CON COMPUTADORA

El software InTouch de Wonderware es un paquete computacional que se emplea para crear aplicaciones de interfaz entre hombre y computadora (PC), para los sistemas operativos Windows. Consta de dos elementos principales:

1. **WindowMaker:** es el entorno de desarrollo donde los gráficos orientados a objetos se utilizan para crear ventanas de visualización animadas interactivas y se pueden conectar a sistemas de entradas/salidas de sistemas industriales.
2. **WindowViewer:** es el entorno de ejecución que se utiliza para mostrar las ventanas de gráficos y animación, creadas en WindowMaker.

Requerimientos del Sistema

La versión utilizada de InTouch es la 9.5 con Service Pack 1. Los requerimientos recomendados de software y hardware son:

Software

- Microsoft® Windows® Server 2003 con Service Pack 1 ó
- Microsoft® Windows® Server 2003 R2 ó
- Microsoft® Windows® 2000 Server con Service Pack 4 ó
- Microsoft® Windows® 2000 Advanced Server con Service Pack 4 ó
- Microsoft® Windows XP Professional con Service Pack 2 ó
- Microsoft® Windows® XP Tablet PC Edition

Hardware

- Computadora (PC) con 1.2 gigahertz (GHz) o superior
- Memoria RAM 512 MB mínimo, 1 gigabyte recomendado
- Al menos 4 gigabytes (GB) de espacio disponible en disco duro
- Monitor Super VGA (1024 × 768) ó adaptador de video de alta resolución
- CD-ROM ó DVD-ROM para instalación
- Teclado y ratón compatibles

4.1.3 DISEÑO GRÁFICO DE APLICACIONES

Utilizando objetos y formas predefinidos e importando imágenes u objetos de otras aplicaciones. Dentro de los objetos predefinidos se encuentran botones, marcos, llaves y si se dispone del paquete de Symbol Factory, instalado, que cuenta con diseños de tanques, tuberías, máquinas, iconos y equipamiento de diferentes tipos de industrias.

Todo esto permite armar un esquema que representa al proceso que se desea monitorear o visualizar. En la Figura 4.1 se puede ver la pantalla WindowMaker con sus partes para realizar el diseño de pantallas.

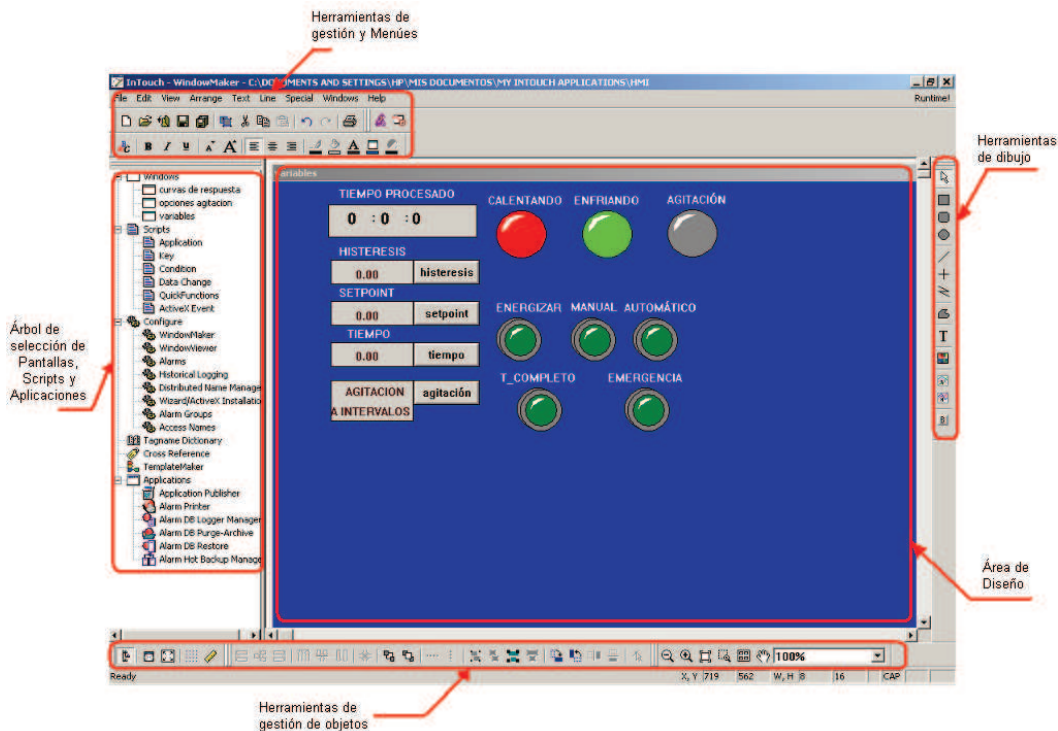


Figura 4.1 Partes de la pantalla principal de InTouch

4.2 DESARROLLO DE LA INTERFAZ GRÁFICA PARA CONTROL

Con la finalidad que el operador goce de un ambiente amigable donde logre supervisar las variables y realizar el control de la planta, fue necesario crear varias pantallas (Figura 4.2) para que de una forma simple e intuitiva los posibles usuarios puedan manejarla.

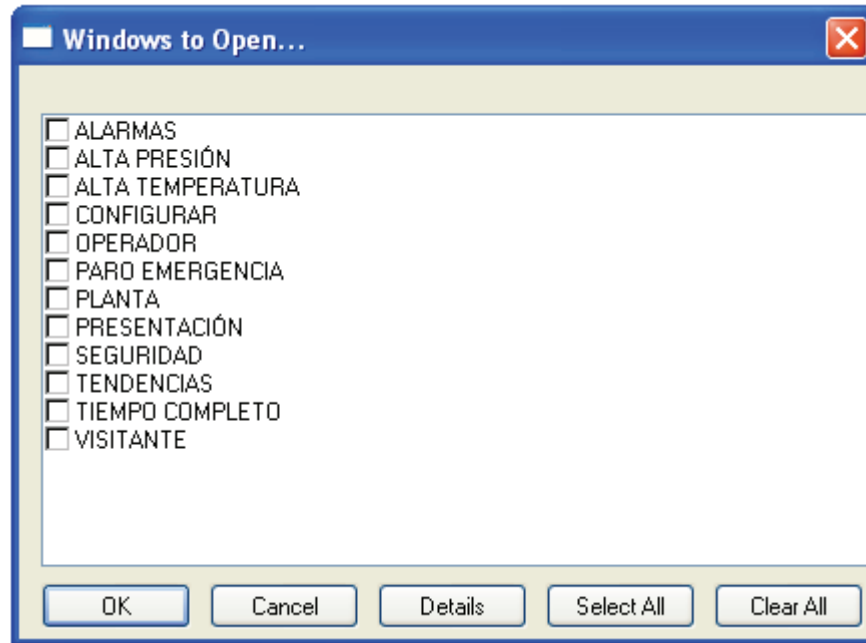


Figura 4.2 Pantallas creadas en InTouch

4.2.1 LÓGICA DE MANEJO DE LAS PANTALLAS DE LA HMI

Para el manejo de la interfaz HMI se consideró algunos factores, como tener acceso para modificar todos los parámetros ajustado a las necesidades de los operadores y visualización de todo lo que pasa en el proceso. El uso de estas pantallas se maneja bajo una secuencia lógica de operación descrita en la Figura 4.3. Inicia con la ventana de PRESENTACIÓN que es la carátula del proyecto en la ventana de SEGURIDAD ingresan los usuarios con su respectiva contraseña, y dependiendo el acceso que tenga el operador, podrá realizar control y monitoreo o únicamente monitoreo.

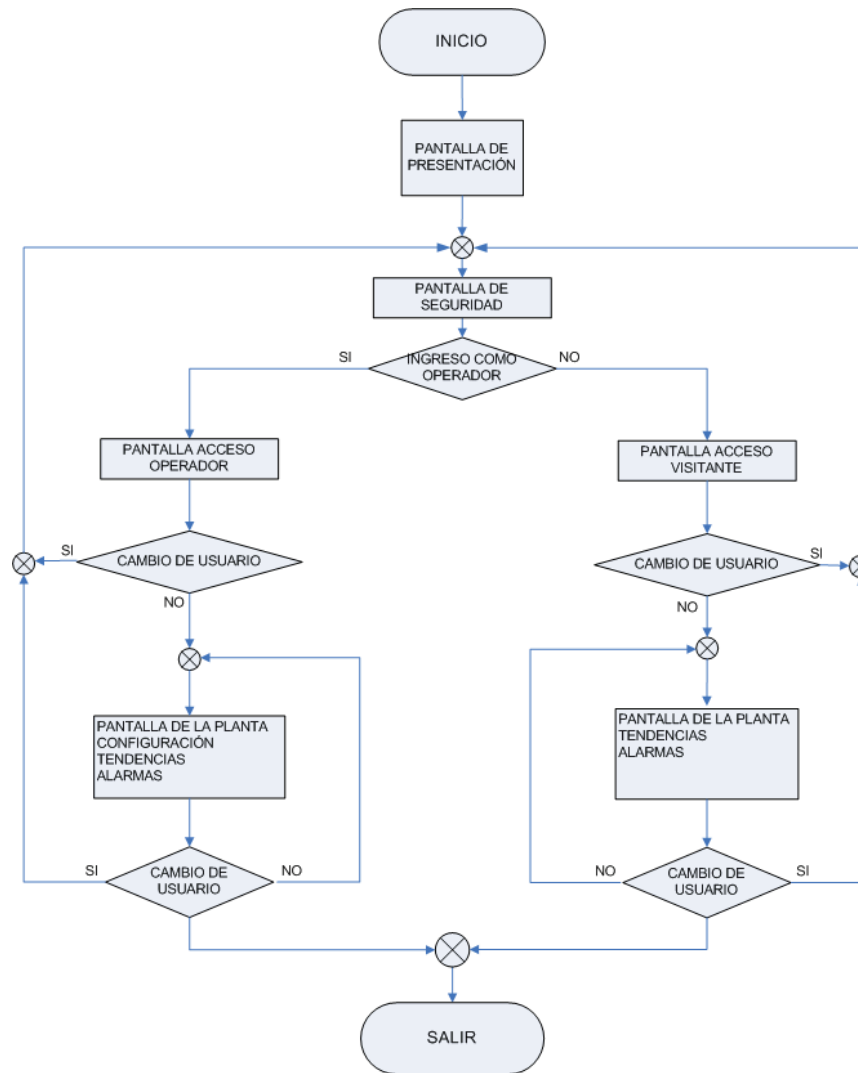


Figura 4.3 Lógica de manejo de las pantallas

4.2.2 ESTRUCTURA DE PANTALLAS

A continuación se describen las características y el funcionamiento de cada una de las pantallas de la interfaz HMI.

4.2.2.1 Pantalla de presentación

Esta pantalla muestra una presentación con hora y fecha que aparecerá primero al ejecutar la interfaz diseñada para el proceso. La pantalla se observa en la Figura 4.4.



Figura 4.4 Pantalla de presentación

Presionar CONTINUAR para pasar a la pantalla de control de acceso.

4.2.2.2 Pantalla de control de acceso

La pantalla de acceso sirve para que el sistema identifique al operador que va a supervisar el sistema. Existen dos tipos de usuario cada uno con un único password. Cada password tiene grados diferentes de acceso para impedir que valores claves dentro del proceso puedan ser modificados deliberadamente por una persona con un nivel de acceso restringido.

Esta pantalla se realizó en un ambiente similar a la iniciación en Windows.

Para desarrollar la interfaz se empezó por identificar dos tipos de usuarios:

- OPERADOR
- VISITANTE

El acceso como OPERADOR está diseñado para que se pueda observar y acceder a todo el sistema de control y manejar las variables de set point, histéresis, tiempo de seguridad y agitación en el proceso con este nivel deben ingresar usuarios que tengan conocimiento del proceso.

El acceso como VISITANTE permite la observación del funcionamiento de la planta pero sin poder manipular las variables para el control del proceso, con la posibilidad de manejar las pantallas de tendencias y alarmas.

La Figura 4.5 indica la pantalla de acceso para los dos usuarios.

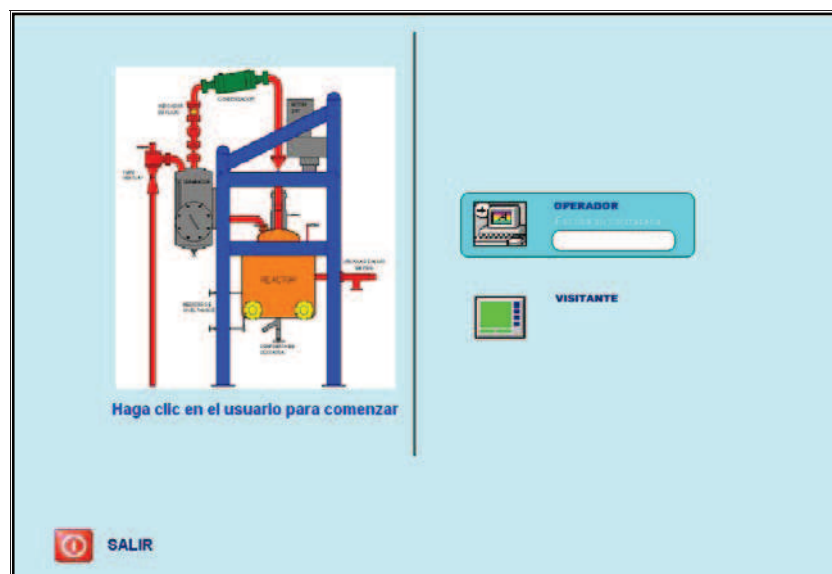


Figura 4.5 Pantalla de Acceso

Al ingresar la contraseña correcta en operador o visitante y presionando la tecla ENTER pasa a la pantalla de usuario en la que ingreso, de lo contrario se quedará en la pantalla de acceso.

4.2.2.3 Pantallas de usuario de operador y visitante

En estas pantallas se muestran la información de acceso o restricción a las diferentes variables del proceso. También tienen la opción de cambiar de usuario si por error ingresaron y deciden cambiar. Además, se puede cambiar de contraseña si el usuario así lo desea. La Figura 4.6 y Figura 4.7 indican las pantallas de operador y visitante respectivamente.

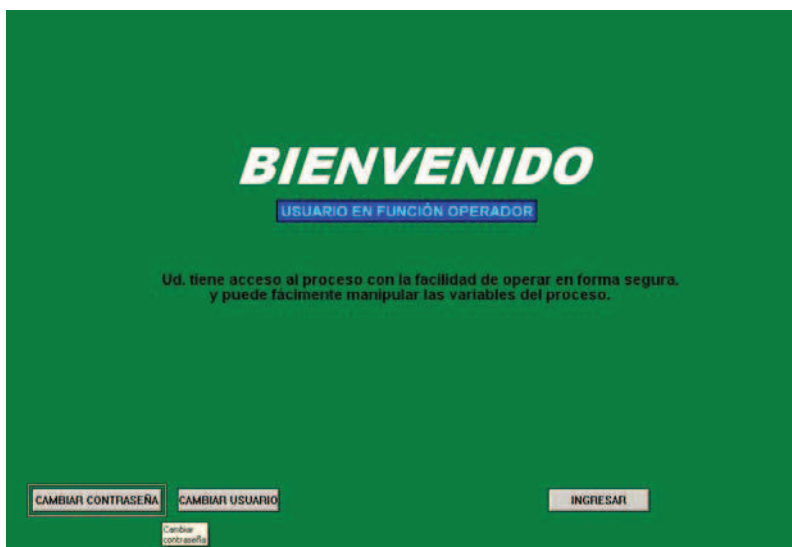


Figura 4.6 Pantalla de usuario operador



Figura 4.7 Pantalla de usuario visitante

Para cambiar de contraseña hacer click en CAMBIAR CONTRASEÑA y aparecerá una ventana como la de la Figura 4.8. Se debe ingresar la antigua contraseña, la nueva contraseña y repetir la nueva contraseña para verificación.

Figura 4.8 Ventana de cambio de contraseña

Para cambiar de usuario hacer click en CAMBIAR USUARIO y aparecerá la pantalla de acceso en donde se realiza el cambio.

Una vez que se ingresó hacer click en INGRESAR para pasar a la pantalla principal en donde está la planta.

4.2.2.4 Pantalla de la planta

En esta pantalla se puede observar el estado de la planta de forma animada (Figura 4.9), además tiene nueve botones de funciones:

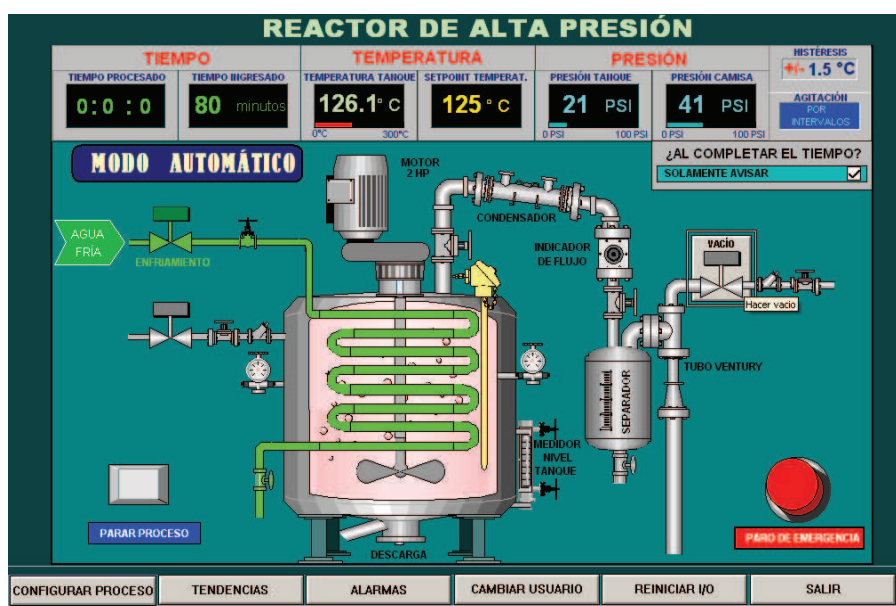


Figura 4.9 Pantalla de la planta

CONFIGURAR PROCESO: permite mediante una ventana ingresar o cambiar las variables para realizar el control. Aparecerá solo cuando el usuario ingrese como operador y el selector del tablero de mando este en modo automático.

TENDENCIAS: permite observar la pantalla de las curvas de temperatura y presiones en el tiempo del reactor durante el proceso.

ALARMAS: permite ver la pantalla de las alarmas que se producen cuando las variables del proceso exceden los límites permitidos.

CAMBIAR USUARIO: permite cambiar de usuario si se requiere, en la pantalla de acceso.

REINICIAR I/O: permite reiniciar las entradas/salidas en el I/O Server si por algún motivo se pierde la comunicación de la computadora con el PLC, en la Figura 4.10 indica la ventana re inicialización.

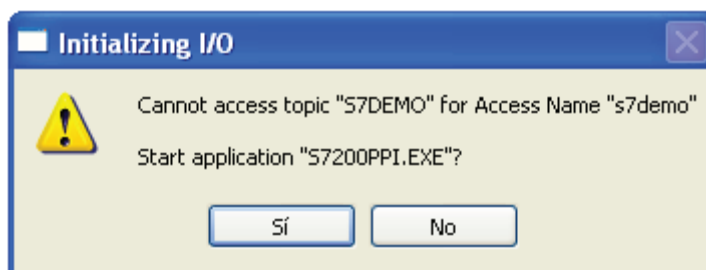


Figura 4.10 Ventana reiniciar I/O

SALIR: permite salir del paquete computacional InTouch.

VACÍO: al presionar este botón se activa/desactiva la electroválvula para hacer vacío en el tanque.

PARO DE EMERGENCIA: presionando este botón, mediante un mensaje de confirmación, detiene el proceso e indica una ventana titilante de alerta en la

pantalla principal. Funciona de la misma manera que si se presionará el pulsador del tablero de mando.

PARAR PROCESO: al presionar este botón, mediante un mensaje de confirmación, detiene el proceso.

Todas las ventanas de advertencia titilantes de sobre-temperatura, excesiva presión, tiempo de proceso completo y paro de emergencia, se desactivan dando click en la ventana del mensaje.

Nota: para el diseño de la HMI solo para modo automático, se ha considerado la siguiente codificación para determinar el estado de los elementos (Tabla 4.1).

ELEMENTO	VERDE	ROJO	GRIS	GRIS TITILANTE
Tuberías y electroválvulas	Ingreso de agua fría al serpentín (Enfriando)	Ingreso de vapor de agua a la camisa (Calentando)	Electroválvulas apagadas.	
Motor			Motor apagado	Motor encendido

Tabla 4.1 Codificación de colores para la HMI

4.2.2.5 Pantalla de configuración

En esta pantalla (Figura 4.11) se puede configurar los parámetros requeridos por el proceso. Se ingresan el set point e histéresis de temperatura, tiempo de proceso y el tipo de agitación. Una vez ingresados los parámetros se presiona ACEPTAR para iniciar el control del proceso. El botón para activar esta pantalla aparecerá solo en modo automático y si el usuario ingreso como operador.

CONFIGURAR

INSPECE LOS PARAMETROS REQUERIDOS

SET POINT TEMPERATURA : 125.0 °C

HISTÉRESIS TEMPERATURA: 1.5 °C

TIEMPO DE PROCESO: 80.0 minutos

¿AL COMPLETAR EL TIEMPO?

SOLAMENTE AVISAR

FINALIZAR Y ENFRIAR RÁPIDAMENTE

APAGAR COMPLETAMENTE

AGITACIÓN: ON OFF INTERVALOS

Motor ON minutos 5.0

Motor OFF minutos 5.0

ACEPTAR CANCELAR

Figura 4.11 Pantalla de configuración

4.2.2.6 Pantalla de tendencias

Permite obtener un diagrama que representa la variación de temperatura del tanque en el tiempo y del set point de temperatura (si se decide cambiar durante el proceso). También un diagrama con las presiones en la camisa y en el tanque con respecto al tiempo, de esta forma se puede ver como van cambiando las variables durante el proceso para anticiparse y tomar las acciones correctivas si así lo requiere. La Figura 4.12 indica la pantalla de tendencias.

4.2.2.8 Pantallas de alertas

Las pantallas de alertas (Figura 4.14) aparecerán sobre pantalla de la planta en forma titilante al producirse señales de alerta en el proceso como:

- Tiempo completo: aparece cuando termina el tiempo de proceso ingresado por el operador.
- Alarma alta temperatura: aparece cuando la temperatura en el tanque se acerca a la temperatura de diseño (300°C).
- Alarma alta presión: aparece cuando la presión en el tanque o en la camisa se aproxima a la presión de diseño (100 PSIG).
- Paro de Emergencia: aparece cuando el operador presiona el pulsador de paro de emergencia en la HMI y/o en el tablero de mando.

Todas estas pantallas de alerta desaparecerán al hacer click en el mensaje de la pantalla. Funcionan con las luces piloto del tablero de control.

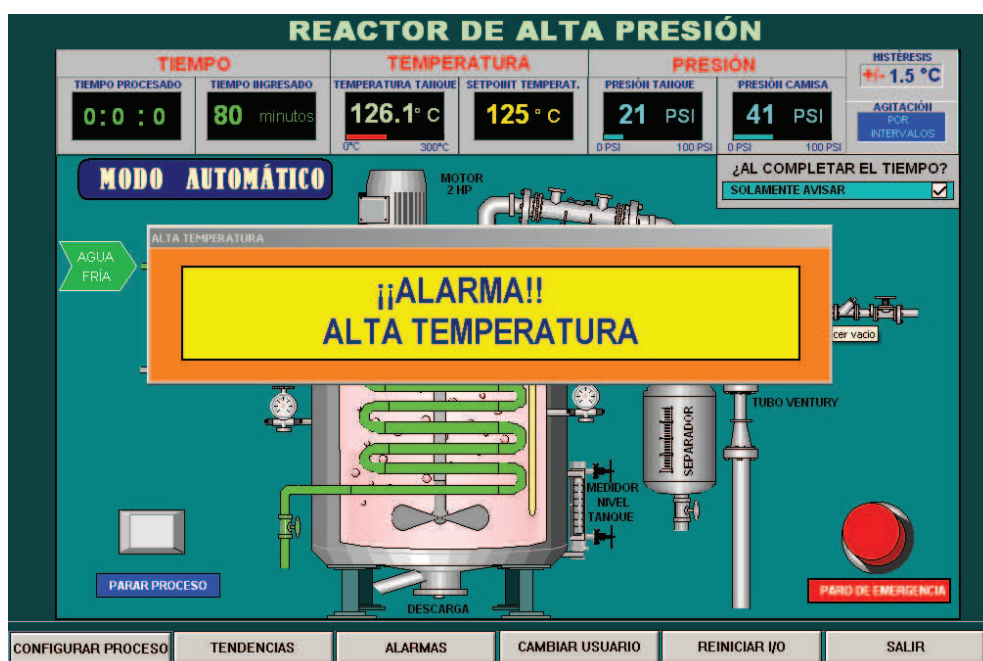


Figura 4.14 Pantallas de alertas

4.3 COMUNICACIÓN INTOUCH – PLC

Para lograr comunicarse entre la interfaz HMI (InTouch) y el PLC y se pueda acceder a los datos que se encuentran programados en el PLC incluyendo los datos recibidos por los transductores, se ha empleado el I/O Sever S7200 PPI, es una aplicación que trabaja bajo el entorno de Windows.

La comunicación entre InTouch y S7200 PPI se establece por medio del protocolo DDE (Dynamic Data Exchange) “Intercambio dinámico de datos”, diseñado por Microsoft, permite a las aplicaciones en el entorno de Windows, enviar y recibir datos e instrucciones entre sí entre dos programas que se encuentren en ejecución.

Requerimientos de sistema del I/O Server S7200PPI

El I/O Server S7200PPI versión 1.82 utilizado para la comunicación. Tiene los siguientes requerimientos de sistema:

- Sistema Operativo Microsoft® Windows® 95-98 ó Windows® NT 4.0
- Espacio disponible en disco duro 1.5MB mínimo.
- Un puerto serial RS-232 disponible.

4.3.1 CONFIGURACIÓN DEL I/O SERVER S7200PPI

Una vez instalado el I/O Server S7200PPI es necesario realizar la configuración respectiva de manera que la comunicación se realice correctamente.

En la Figura 4.15 se pueden ver las opciones de configuración de la ventana del programa en la opción “Configure”.

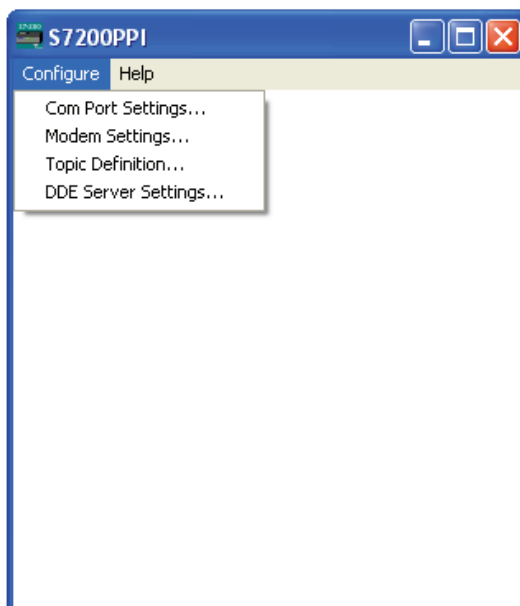


Figura 4.15 Ventana del I/O Server S7200PPI

4.3.1.1 Configuración del puerto de comunicaciones

Para configurar el puerto de comunicaciones se escoge la opción "Com port settings". Se debe configurar el puerto por el que se va a comunicar con el PLC, también el tiempo que tomará hacerlo, la velocidad de comunicación, el número de bits de datos, bits de parada, bits de paridad. Realizar la configuración como indica la Figura 4.16 y presionar "Save" para confirmar la configuración.

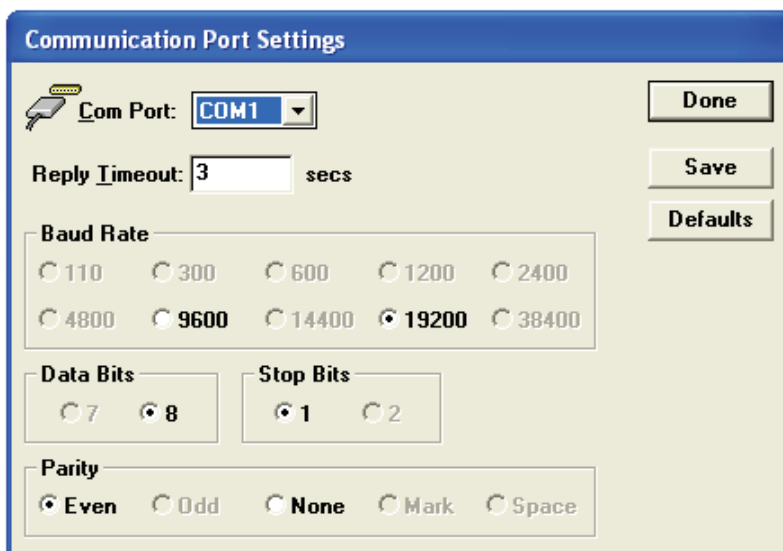


Figura 4.16 Ventana de configuración del puerto de comunicaciones

4.3.1.2 Configuración del tópico

Luego se configura el tópico con la opción de “topic definition”. Esta ventana da un nombre de enlace y configurarlo (Figura 4.17). Este nombre permite comunicar cualquier elemento del PLC (entradas, salidas, relés internos, temporizadores, etc.) con InTouch.

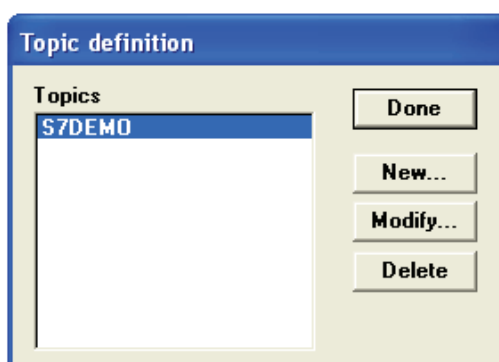


Figura 4.17 Ventana del tópico

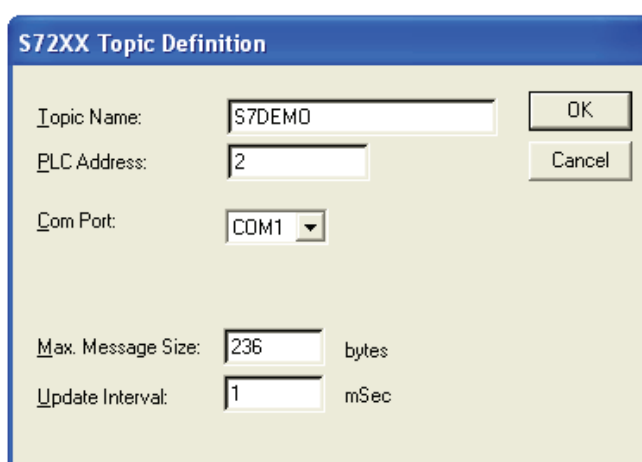
Cuando se ha desplegado la ventana de Topic definition, entonces se presiona la opción “New” para crear una nueva aplicación. Aparece una ventana como la de Figura 4.18. Se debe tomar en cuenta:

Topic Name: escribir el nombre del t3pico.

PLC Address: la direcci3n del PLC asignada en el STEP 7-Micro/Win S7-200, cuando se descarga el programa desde el computador hacia el PLC.

Com Port: se debe escoger el puerto por el que se van a comunicar.

Max Message Size: el tama1o m1ximo del mensaje.



The image shows a dialog box titled "S72XX Topic Definition". It contains the following fields and values:

- Topic Name: S7DEMO
- PLC Address: 2
- Com Port: COM1 (dropdown menu)
- Max. Message Size: 236 bytes
- Update Interval: 1 mSec

Buttons for "OK" and "Cancel" are located on the right side of the dialog.

Figura 4.18 Ventana para definir el t3pico

4.3.1.3 Configuraci3n del DDE

Para la configuraci3n del DDE se escoge la opci3n "DDE server settings". Se puede seleccionar el tiempo del escaneo y especificar el directorio donde est1 el fichero. Esta configuraci3n se deja por defecto (Figura 4.19).

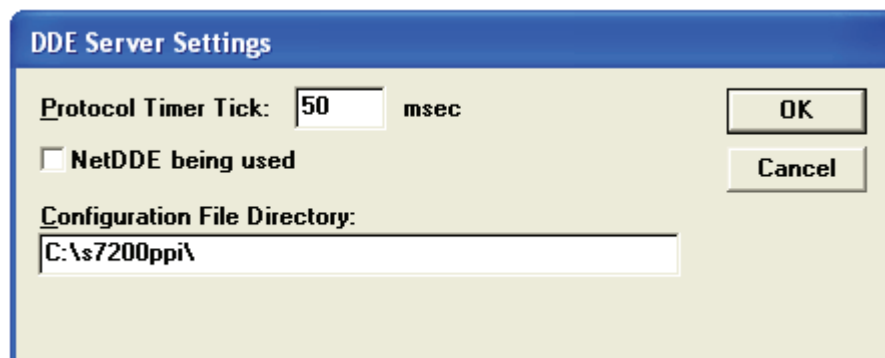


Figura 4.19 Ventana de configuración DDE

4.3.2 CONFIGURACIÓN DE LOS ÍTEMS EN INTOUCH

En InTouch se configura un I/O tagname con un Access Name definido previamente para que de esta forma el I/O tagname sea leído o escrito desde el PLC.

Desde InTouch, en WindowMaker se realizará la configuración del nombre de acceso a utilizar con el PLC (desde Special → Access Names) (Figura 4.20), teniendo en cuenta que es aconsejable para un mejor entendimiento de todo el proceso de enlace, el nombrar igual al “Nombre de Acceso” y al “Tópico”.

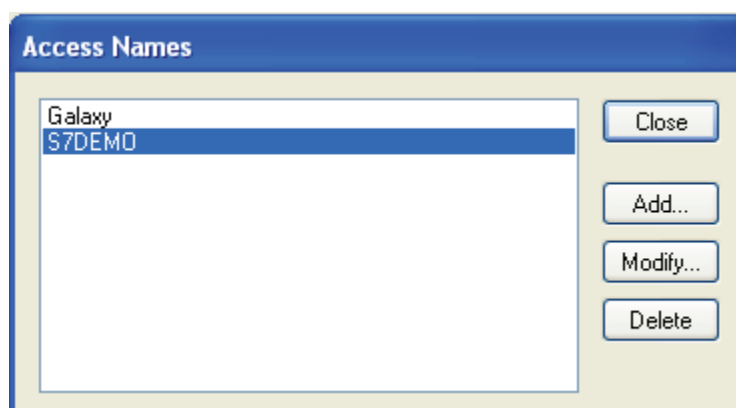


Figura 4.20 Ventana de Access Names

Cuando se ha desplegado la ventana de Access Name, entonces se presiona la opción “Add” para crear una nueva aplicación, se llena los datos pedidos como en la Figura 4.21.

The image shows a 'Modify Access Name' dialog box with the following fields and options:

- Access:** S7DEMO
- Node Name:** (empty)
- Application Name:** S7200PPI
- Topic Name:** S7DEMO
- Which protocol to use:**
 - DDE
 - SuiteLink
 - Message Exchange
- When to advise server:**
 - Advise all items
 - Advise only active items
- Enable Secondary Source

Buttons: OK, Cancel, Failover

Figura 4.21 Ventana configuración del Access Name

4.3.3 ESTABLECER COMUNICACIÓN ENTRE INTOUCH Y PLC

Para establecer la comunicación entre el PLC y la PC (InTouch) se deben cumplir con ciertos requerimientos de hardware que se necesita para el efecto. Estos requerimientos son:

1. Ajustar los interruptores (DIP) del cable PC/PPI para seleccionar la velocidad a la que se hará la transferencia entre el PLC y PC.
2. Configurar el puerto de comunicaciones de la PC, con los mismos datos de configuración del I/O Server S7200PPI.
3. Conectar el extremo RS-232 del cable PC/PPI al puerto serial de comunicaciones de la PC (COM1), y el otro extremo del cable (RS-485) al puerto de comunicaciones de la CPU-224 (PLC).

4.4 DISEÑO DE LA HMI LOCAL PARA EL TABLERO DE CONTROL

La implementación de la HMI local se realiza en base a la programación del bloque de datos para comandar al visualizador de textos TD200 que permite visualizar los mensajes habilitados por la CPU S7-200.

El bloque de datos es un conjunto de instrucciones y comentarios que se desarrolla utilizando el STEP 7-Micro/WIN y contiene la codificación y parámetros necesarios para la operación del TD200, tales como el idioma, la frecuencia de actualización, los mensajes y los bits de habilitación de mensajes. El bloque de datos permite asignar valores iniciales o caracteres ASCII sólo a la memoria V (memoria de variables). Es posible asignar valores a direcciones de bytes (V o VB), palabras (VW) o palabras dobles (VD). Los comentarios (precedidos de dos barras inclinadas //) son opcionales.

4.4.1 SOFTWARE PARA LA CONFIGURACIÓN DEL BLOQUE DE DATOS

El bloque de datos se configura utilizando el Asistente del TD200 de Step 7. El asistente permite configurar el teclado del TD 200, idioma de los menús, nivel de protección para las funciones de la CPU, etc.

Para acceder al cuadro de diálogo del Asistente (Figura 4.22), se debe seleccionar en STEP 7Micro/WIN → Herramientas de la barra de menú → Asistente del TD200.

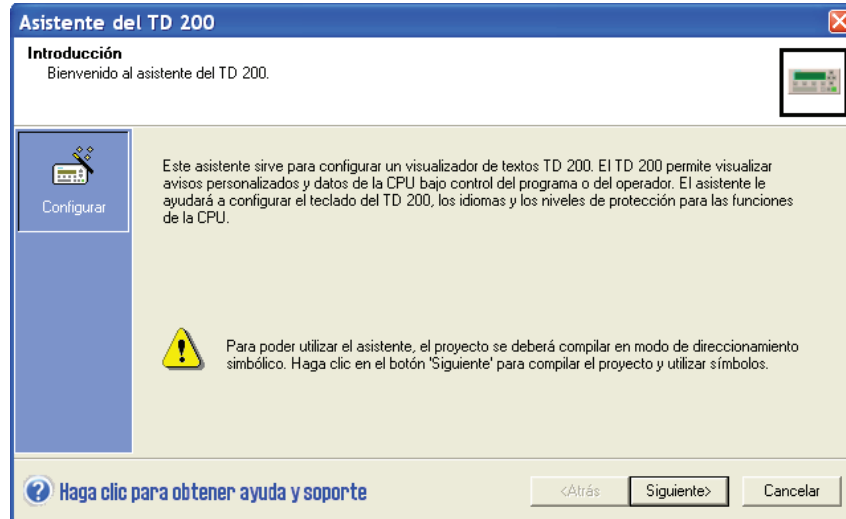


Figura 4.22 Asistente del TD200

4.4.1.1 Selección del TD200

Continuando con el asistente del TD 200, en el siguiente cuadro de diálogo (Figura 4.23) se debe seleccionar el modelo y la versión del TD 200 a utilizar.

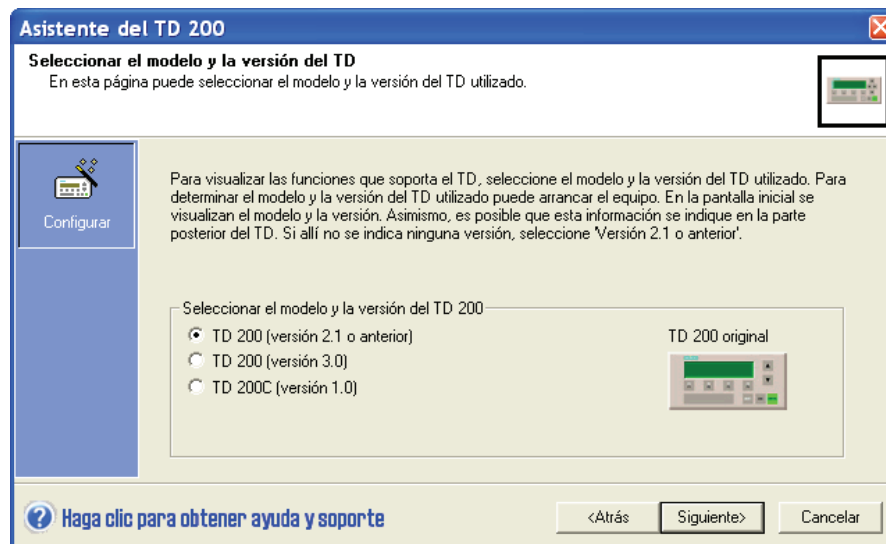


Figura 4.23 Selección del modelo del TD200

4.4.1.2 Elección del idioma y juego de caracteres

Es posible seleccionar el idioma deseado para visualizar los menús preconfigurados y los indicadores del TD200 (Figura 4.24). Esta selección no afecta al texto de los mensajes de usuario que se visualizan en el TD 200.

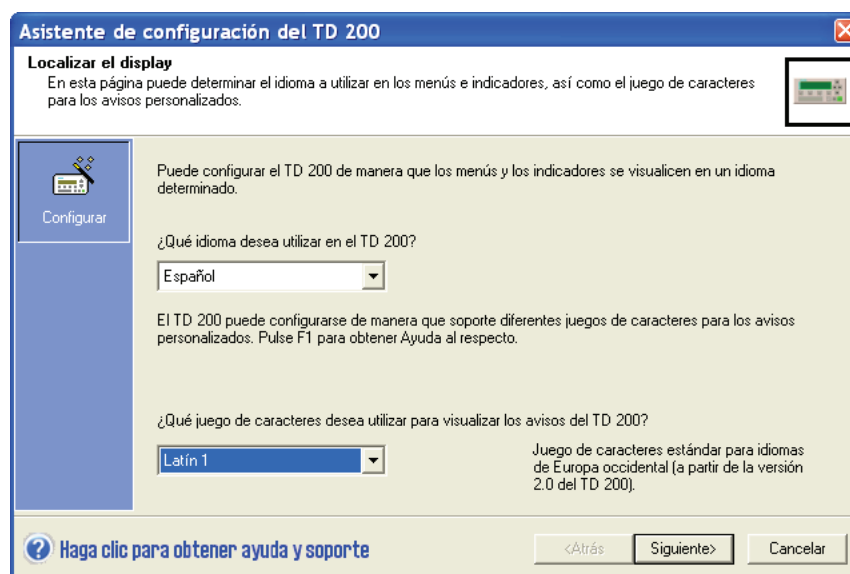


Figura 4.24 Idioma y caracteres del TD200

Para los mensajes del TD 200 se dispone de los siguientes juegos de caracteres:

- Latín 1: Juego de caracteres estándar para idiomas de Europa occidental
- Latín 1 (negrita): Juego de caracteres estándar para idiomas de Europa occidental. Visualiza los caracteres en negrita
- Chino simplificado: Juego de caracteres chino para la República de China
- Cirílico: Juego de caracteres para idiomas de Europa oriental
- TD 200 original: Para visualizadores de textos TD 200 anteriores a la versión 2.0
- Diagrama de barras: Igual al TD 200 original, pero reemplazándose algunos caracteres por caracteres especiales para dibujar diagramas de barras

4.4.1.3 Habilitación del menú estándar y protección con contraseña

En el cuadro de diálogo que muestra la Figura 4.25 se pueden habilitar diversas opciones de menú, así como ajustar una contraseña.

Las opciones "Reloj de tiempo real" (TOD) y "Forzado" sirven para habilitar el menú del reloj TOD y/o el menú de forzado. Una vez habilitado, el usuario podrá acceder al correspondiente menú del TD 200. Si no se ha habilitado, no aparecerá en el modo de menú del TD 200.

Con la opción de protección con contraseña se puede habilitar una contraseña de cuatro dígitos (de 0000 a 9999). El usuario sólo podrá editar variables asociadas a un aviso y acceder al modo de menú si introduce previamente la contraseña correcta. La contraseña del TD 200 no es la contraseña de la CPU y se almacena en el TD 200, afectando únicamente al acceso a las funciones de edición del visualizador de textos.

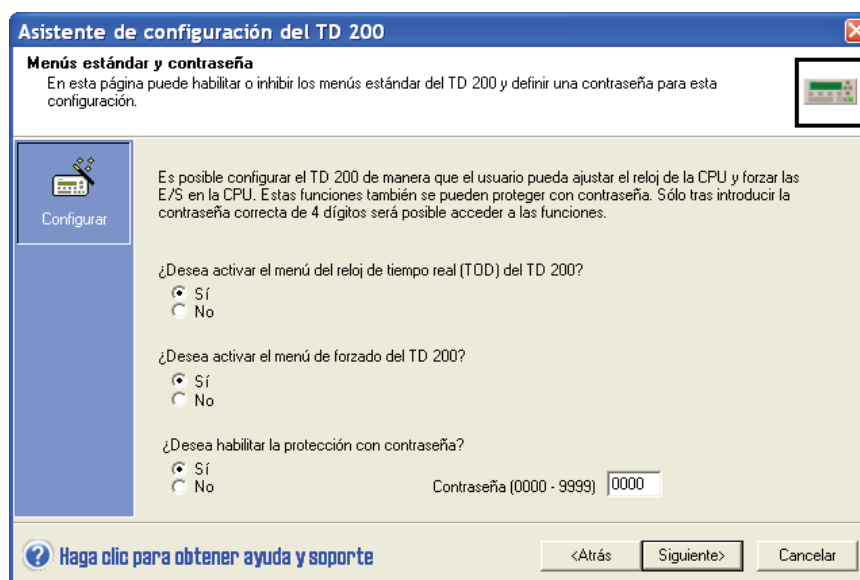


Figura 4.25 Menús del TD200

4.4.1.4 Definición de las teclas de función y frecuencia de actualización

El TD 200 dispone de 8 teclas de función (F1 a F4 y MAYÚS F1 a MAYÚS F4) que se utilizan para activar las marcas de la CPU, ver Tabla 4.2, por lo tanto, es preciso reservar ocho marcas (memoria M) para el TD 200, que se activarán cuando se pulse una tecla de función. El TD 200 activa una marca cada vez que se pulsa la correspondiente tecla de función. Estas teclas pueden activar los bits M de manera que funcionen como contactos cerrojo (se quedan en 1 lógico), o bien como contactos momentáneos (Figura 4.26).

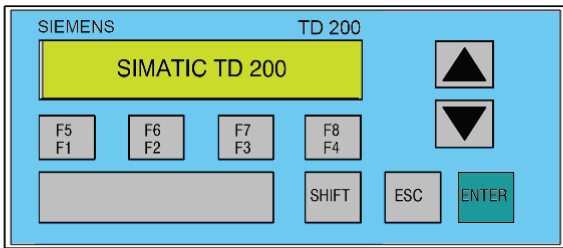
	
Teclas de función	Descripción
F1	La tecla de función F1 activa la marca Mx.0. Si pulsa la tecla SHIFT antes o al mismo tiempo de pulsar la tecla F1, se activa la marca Mx.4.
F2	La tecla de función F2 activa la marca Mx.1. Si pulsa la tecla SHIFT antes o al mismo tiempo de pulsar la tecla F2, se activa la marca Mx.5.
F3	La tecla de función F3 activa la marca Mx.2. Si pulsa la tecla SHIFT antes o al mismo tiempo de pulsar la tecla F3, se activa la marca Mx.6.
F4	La tecla de función F4 activa la marca Mx.3. Si pulsa la tecla SHIFT antes o al mismo tiempo de pulsar la tecla F4, se activa la marca Mx.7.
Teclas de comando	Descripción
ENTER	Para escribir datos nuevos o confirmar el (los) mensaje(s).
ESC	Para conmutar entre el modo de visualización de mensajes y el modo de menú, o bien para cancelar una edición.
FLECHA ARRIBA	Para incrementar datos y desplazar el cursor al siguiente mensaje de prioridad superior.
FLECHA ABAJO	Para decrementar datos y desplazar el cursor al siguiente mensaje de prioridad inferior.
SHIFT	Para modular el valor de todas las teclas de función. En la tabla 1-3 figuran algunos ejemplos al respecto. Cuando se pulsa la tecla SHIFT aparece una "S" parpadeante en la esquina derecha inferior del display del TD 200.

Tabla 4.26 Visualizador TD 200 y descripción del teclado.

El programa de usuario supervisa dichas marcas y ejecuta una acción cuando se pulse una tecla determinada. La Figura 4.27 muestra un byte de referencia (MBn), así como la marca (bit) del byte activada por cada tecla de función.

	MSB							LSB
	7	6	5	4	3	2	1	0
MBn	SHIFT F4	SHIFT F3	SHIFT F2	SHIFT F1	F4	F3	F2	F1

Figura 4.27 Marcas activadas por cada tecla de función

La frecuencia de actualización (Figura 4.28) determina cada cuánto debe consultar el TD 200 los avisos de la CPU para poder visualizarlos, pudiendo ser cuanto antes o desde 1 segundo hasta cada 15 segundos.

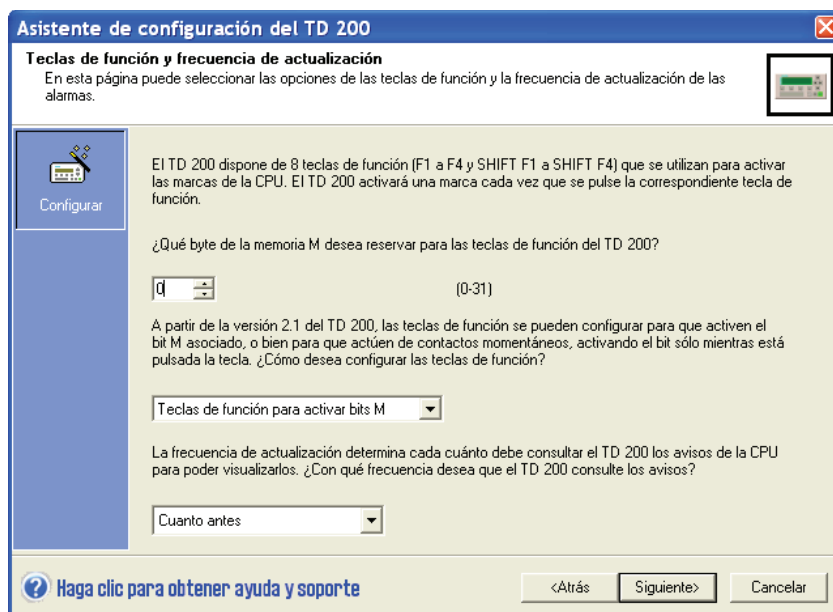


Figura 4.28 Teclas de función para marcas y frecuencia de actualización

4.4.1.5 Selección del tamaño y la cantidad de mensajes

En el cuadro de diálogo que muestra la Figura 4.29 se pueden ajustar el tamaño y la cantidad de mensajes. El TD 200 acepta/admite dos tamaños de avisos:

- Avisos de 20 caracteres - visualiza dos avisos a la vez.
- Avisos de 40 caracteres - visualiza sólo un aviso.

El TD 200 permite configurar 80 avisos como máximo.

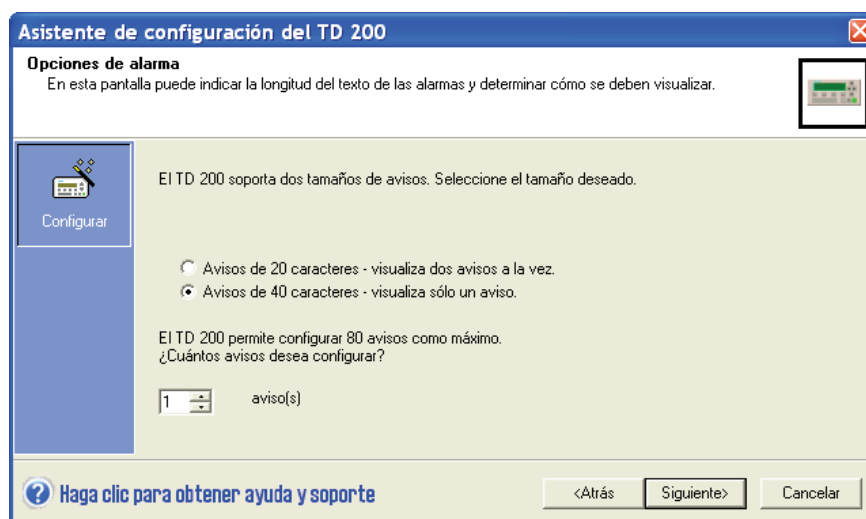


Figura 4.29 Tamaño y cantidad de mensajes

4.4.1.6 Asignación de la memoria para el bloque de parámetros

Bloque de Parámetros

El bloque de parámetros contiene la información de configuración del TD200 y se debe crear en el área de datos de la memoria (memoria V) de la CPU S7-200 para poder establecer un enlace entre ésta última y el TD 200.

El bloque de parámetros comprende 10 ó 12 bytes de la memoria (Figura 4.30) que definen los modos de operación y señalan a la dirección de la memoria de la

CPU donde se almacenan los mensajes, las marcas de habilitación de dichos mensajes, la cantidad de mensajes, etc.

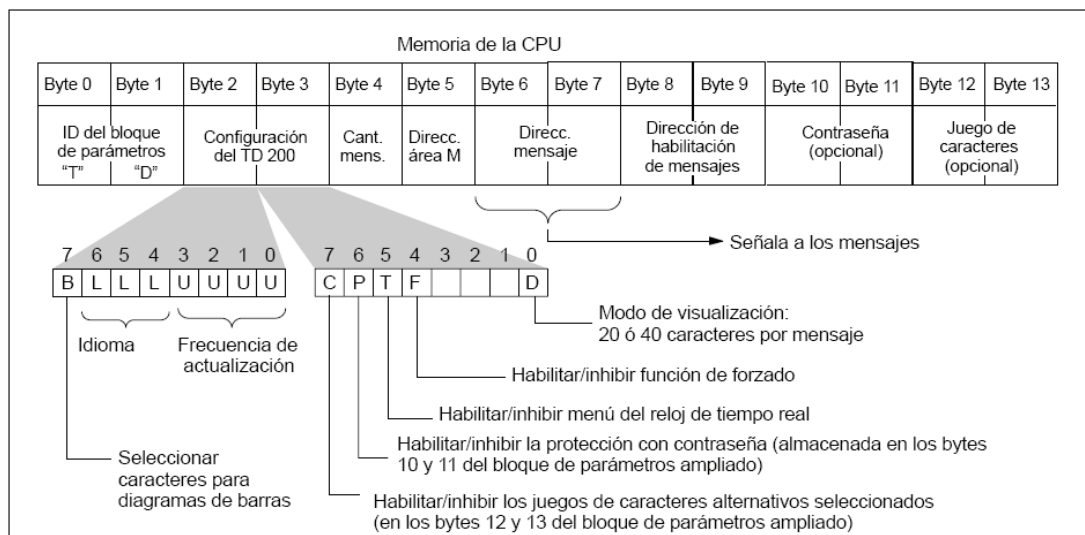


Figura 4.30 Bloque de parámetros

Es posible indicar las direcciones iniciales del bloque de parámetros, de las marcas de habilitación de mensajes y de los mensajes como muestra el cuadro de diálogo de la Figura 4.31.

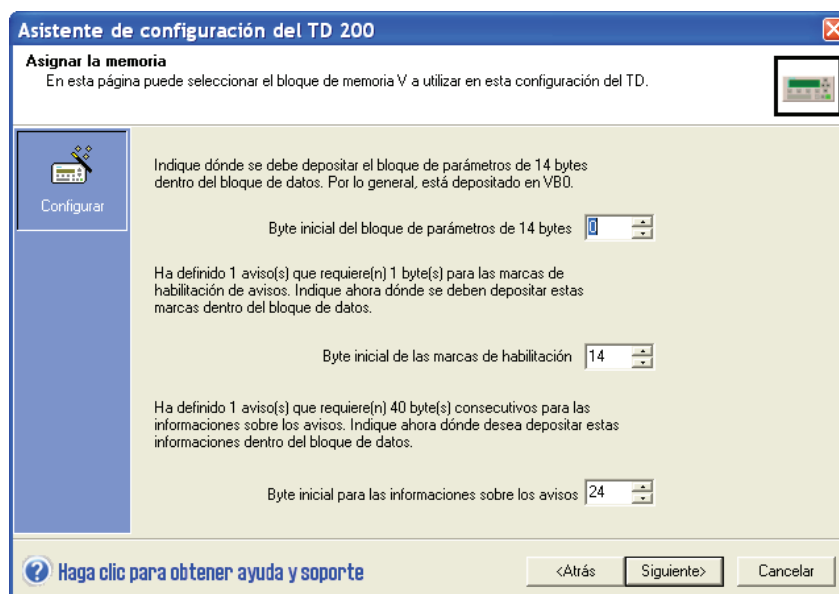


Figura 4.31 Asignación de las direcciones de memoria

Inicialmente, el TD 200 busca el bloque de parámetros en la memoria de variables (memoria V) de la CPU. La dirección estándar del bloque de parámetros es VB0. El byte inicial de las marcas de habilitación de mensajes define la dirección de la memoria de variables (memoria V) donde comienzan dichas marcas. El ajuste estándar es 14. Cada byte contiene ocho marcas de habilitación de mensajes. El byte inicial de información sobre los mensajes define la dirección inicial del primer mensaje de la memoria V. Los mensajes se depositan en bytes consecutivos.

4.4.1.7 Creación de mensajes

Tipos de mensajes

Existen cuatro tipos posibles de mensajes, dependiendo de su confirmación y de su edición se tiene:

- Confirmación no requerida y edición no permitida
- Confirmación requerida y edición no permitida
- Confirmación no requerida y edición permitida
- Confirmación requerida y edición permitida

Confirmación no requerida y edición no permitida

Si no se requiere confirmación ni se permite la edición, el TD 200 visualizará simplemente el mensaje. La tecla ENTER no tiene asignada ninguna función, puesto que el mensaje no contiene variables editables. El mensaje puede contener datos integrados (variables que se actualizan conforme a la frecuencia de actualización del TD 200). Este tipo de mensaje se sustituye en el display por otro de mayor prioridad que sea habilitado por la CPU S7-200, si esto ocurre, el operador debe pulsar las teclas con flecha ARRIBA o ABAJO para visualizar todos los mensajes.

Confirmación requerida y edición no permitida

Si se requiere confirmación pero no se admite la edición, el TD 200 mostrará todo el mensaje (parpadeante) hasta que el operador pulse la tecla ENTER para confirmarlo.

Al pulsarse la tecla ENTER, el TD 200:

- Activa el bit de aviso de confirmación en el primer byte de formato del mensaje.
- Borra el bit de habilitación del mensaje actual.

Por consiguiente, el mensaje desaparece del display en el próximo ciclo de actualización. Hasta que no se confirme el mensaje parpadeante, éste no se podrá sustituir por ningún otro. Esto ocurre aunque la CPU S7-200 habilite un mensaje de mayor prioridad.

Confirmación no requerida y edición permitida

Si no se requiere confirmación pero se admite la edición, el TD 200 visualizará un mensaje y esperará a que el operador lo edite. Todas las variables contenidas en el mensaje se actualizan conforme a la frecuencia de actualización. Puesto que no requiere confirmación, este tipo de mensaje desaparece del display del TD 200 si la CPU S7-200 habilita otro mensaje de mayor prioridad.

Confirmación requerida y edición permitida

Si se requiere confirmación y se admite la edición, el TD 200 visualizará el mensaje (parpadeante) y esperará a que el operador lo confirme y edite las variables. En este tipo de mensaje es preciso editar las variables. Si el operador intenta salir antes de haber editado todas las variables del mensaje, éste parpadeará para indicar que la edición no se ha finalizado todavía.

La Figura 4.32 muestra el entorno para la creación de un mensaje, el tipo de mensaje puede ser cualquiera de los mencionados anteriormente. En el cuadro de

diálogo se visualiza también la dirección inicial del aviso y el bit que habilita al mensaje.

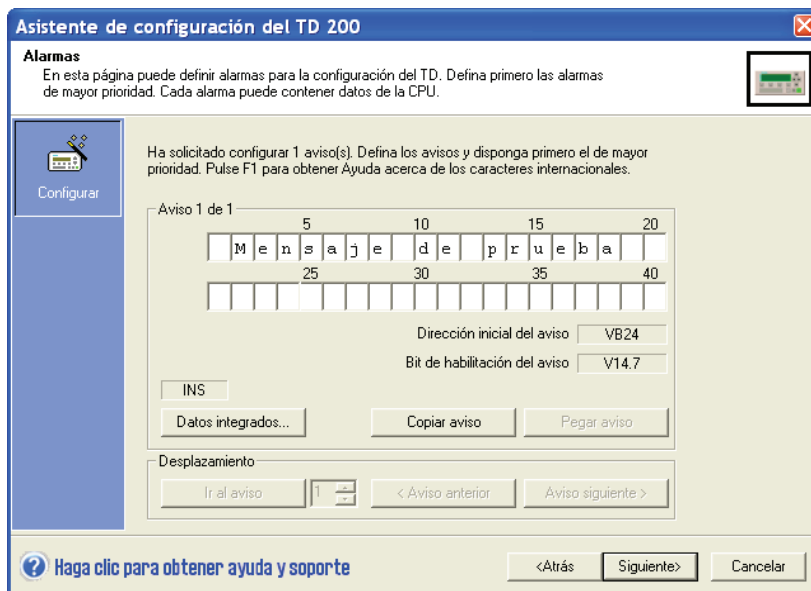


Figura 4.32 Creación de un mensaje

Para integrar datos en un mensaje, se utiliza el cuadro de diálogo de la Figura 4.33 en el cual es posible escoger:

- El tipo de dato a visualizar, en caso de ser formato real, se debe seleccionar el número de dígitos decimales.
- La opción de confirmación del mensaje.
- La opción de edición de datos mientras se muestra el mensaje.
- La activación de la contraseña que protege el acceso a la edición de los datos. Si se marca dicha casilla, el operador deberá introducir una contraseña antes de poder editar el valor. La contraseña es aquella que se determina al comienzo del proceso de configuración.

Además, se visualiza la dirección del dato asociado y dirección del bit de aviso de edición, el cual se activa luego de haber editado el dato solicitado en el mensaje.

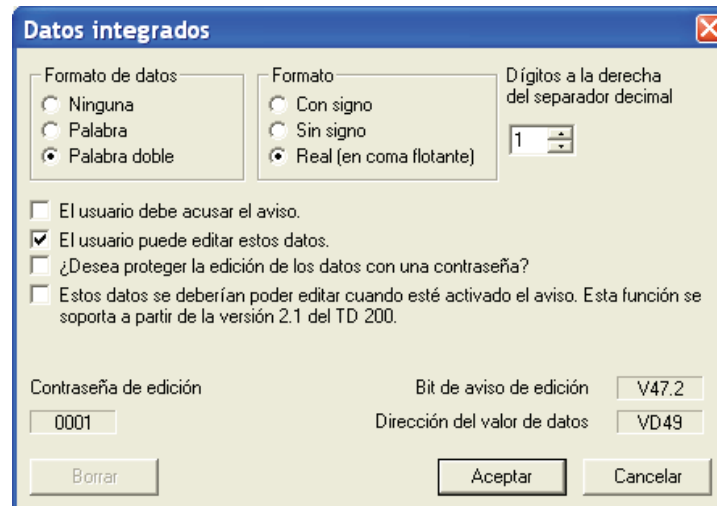


Figura 4.33 Datos integrados en un mensaje

Luego de haber establecido el tipo mensaje e implementado mediante el cuadro de diálogo anterior, el asistente del TD 200 genera los componentes del proyecto (Figura 4.34) para la configuración seleccionada (bloque de programa y bloque de datos). El bloque de datos contiene el bloque de parámetros y los mensajes del TD 200.

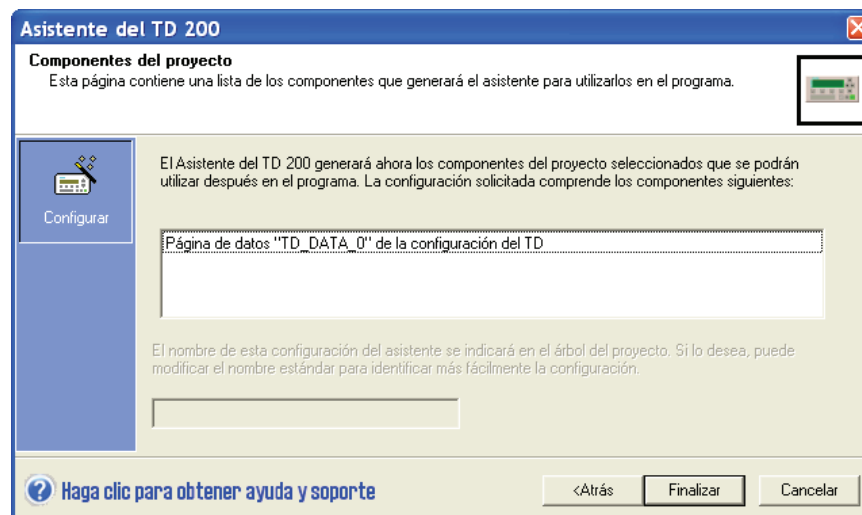


Figura 4.34 Componentes del proyecto

Una vez finalizada la configuración del TD200, se puede abrir el bloque de datos para visualizar los mensajes que se formaron con el Asistente. Por ejemplo se tendría un bloque de datos como muestra la Figura 4.35.

```

// COMIENZO BLOQUE 0_TD200
// (Los comentarios de este bloque no se pueden editar ni borrar)
VB0 'TD' // Identificador del TD 200
VB2 16#10 // Ajustar idioma 'Español', ajustar actualización 'Cuanto antes'
VB3 16#F1 // Ajustar la visualización a 40 caracteres; tecla flecha arriba V3.2;
// tecla flecha abajo V3.3
VB4 3 // Ajustar la cantidad de mensajes
VB5 0 // Ajustar los bits de aviso de las teclas de función en M0.0 - M0
VW6 40 // Ajustar la dirección inicial de mensajes en VW40
VW8 14 // Ajustar la dirección inicial de los bits de habilitación de mensajes
// en VW14
VW10 1111 // Contraseña global
VW12 1 // Juego de caracteres = Latín

// MENSAJE 1
// Bit de habilitación de mensajes V14.7
VB40 'PRESS F1 TO DISPLAY THE NEXT MESSAGE ...'
// MENSAJE 2
// Bit de habilitación de mensajes V14.6
VB80 'PREV. SETPOINT: '
VB96 16#00 // Sin edición, sin confirmación, sin contraseña
VB97 16#11 // Palabra con signo; 1 dígito a la derecha del punto decimal;
VW98 16#00 // Valor asociado: desplazar aquí los datos para su visualización.
VB100 'NEW SETPOINT: '
VB114 16#18 // Aviso de edición V114.2; sin confirmación; edición con contraseña
VB115 16#51 // Palabra doble real; 1 dígito a la derecha del punto decimal;
VD116 16#0000 // Valor asociado: desplazar aquí los datos para su visualización.
// MENSAJE 3
// Bit de habilitación de mensajes V14.5
VB120 'ACKNOWLEDGE MESSAGE BY PRESSING ENTER:'
VB158 16#01 // Sin edición; aviso de confirmación V158.1; sin contraseña
VB159 16#00 // Sin datos; 0 dígitos a la derecha del punto decimal;
// END TD200_BLOCK 0

```

Figura 4.35 Bloque de Datos con un ejemplo

4.4.2 DESARROLLO DEL BLOQUE DE DATOS PARA EL TD 200

Mediante el Asistente del TD 200 se ha desarrollado el bloque de datos de la Interfaz HMI local, de manera que contenga los avisos necesarios para el correcto funcionamiento del reactor y que éstos sean fácilmente entendibles por el operador. A continuación se presenta un resumen (Tabla 4.3) con los parámetros que han sido configurados y los valores correspondientes.

Parámetro	Configuración
Modelo y versión del TD 200	TD 200 (versión 2,1 o anterior)
Idioma del menú	Español
Juego de caracteres para los mensajes	TD 200 original
Activación del menú de reloj de tiempo real	Sí
Activación del menú de forzado del TD 200	No
Habilitación de la protección con contraseña	No
Byte de memoria M reservada para las teclas de función del TD 200	0 (MB0)
Configuración de las teclas de función	Teclas de función para activar bits M

Frecuencia de actualización de los avisos	Cuanto antes
Tamaño de los avisos del TD 200	Avisos de 40 caracteres
Cantidad de avisos	80
Byte inicial del bloque de parámetros de 12 bytes	0 (VB0)
Byte inicial de las marcas de habilitación	14 (VB14)
Byte inicial para las informaciones sobre los avisos	24 (VB24)

Tabla 4.3 Parámetros configurados para el HMI local TD 200

En el desarrollo del bloque de datos se han definido diferentes tipos de mensajes de acuerdo al estado del proceso. La Tabla 4.4 muestra el número y el tipo de mensajes utilizados.

Tipo de mensajes	Cantidad
Mensajes de confirmación no requerida y edición no permitida.	73
Mensajes de confirmación requerida y edición no permitida.	2
Mensajes de confirmación no requerida y edición permitida.	5
Mensajes de confirmación requerida y edición permitida.	0
Total de mensajes utilizados	80

Tabla 4.4 Número de mensajes utilizados

4.4.2.1 Creación de un mensaje de confirmación no requerida y edición no permitida

En este tipo de mensajes solamente es posible visualizar caracteres o valores numéricos de alguna variable. La Figura 4.36 muestra la creación del mensaje que indica la temperatura del reactor.

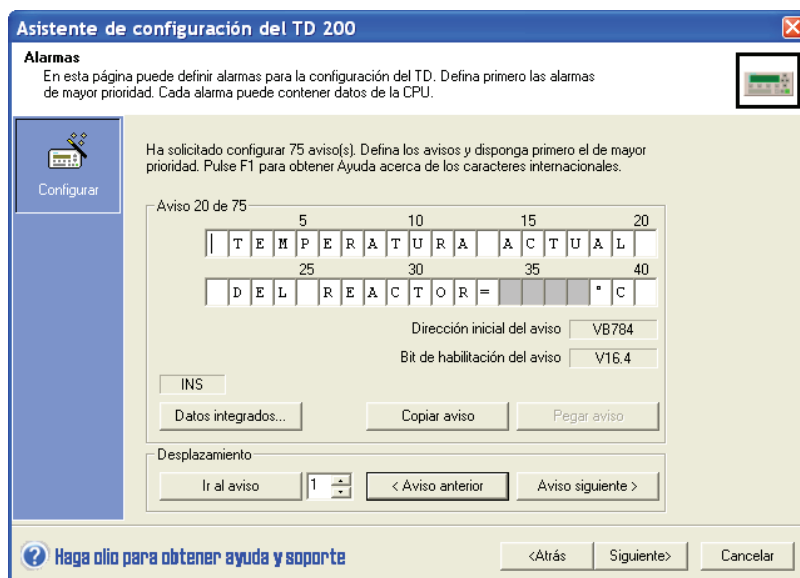


Figura 4.36 Mensaje de confirmación no requerida y edición no permitida

Para el mensaje actual, la configuración del dato integrado (temperatura del reactor) se muestra en la Figura 4.37.

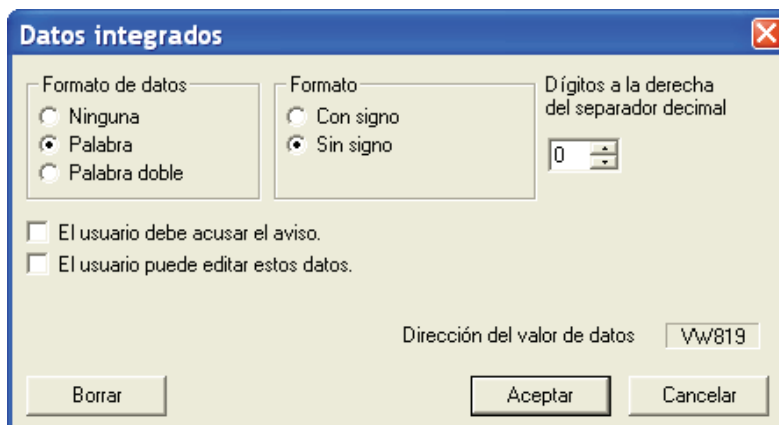


Figura 4.37 Datos integrados

Las direcciones de memoria son asignadas automáticamente por el asistente del TD 200 conforme se van añadiendo los mensajes. Para el mensaje anterior se tiene:

Dirección inicial del aviso: VB784

Bit de habilitación del aviso: V16.4

Dirección del valor de datos: VW819

Las direcciones de memoria son utilizadas en el programa principal para activar los mensajes, transferir los datos a ser visualizados, almacenar valores editados por el operador, identificar que un aviso ha sido confirmado, etc.

4.4.2.2 Creación de un mensaje de confirmación requerida y edición no permitida

La Figura 4.38 muestra la creación de un mensaje que debe ser confirmado por el operador para dar inicio al proceso.

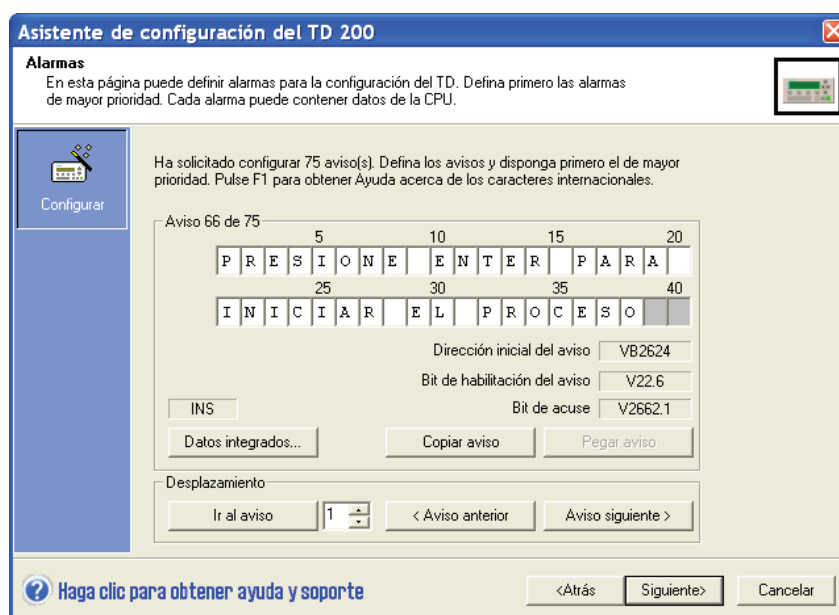


Figura 4.38 Mensaje de confirmación requerida y edición no permitida

El mensaje actual no muestra datos integrados por lo que el respectivo cuadro de dialogo se configura como muestra la Figura 4.39.

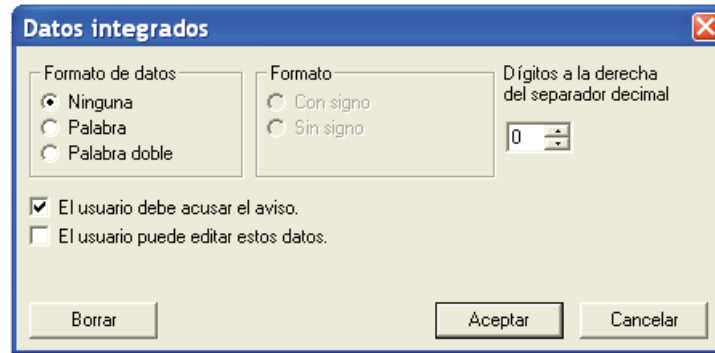


Figura 4.39 Datos integrados

Las direcciones de memoria asignadas son:

Dirección inicial del aviso: VB2624

Bit de habilitación del aviso: V22.6

Bit de aviso de confirmación (acuse): V2662.1

4.4.2.3 Creación de un mensaje de confirmación no requerida y edición permitida

En este tipo de mensajes, el operador debe ingresar valores (solicitados por el mensaje) de alguna variable del proceso. La Figura 4.40 ilustra la creación del mensaje que solicita al operador el ingreso del set point de temperatura.

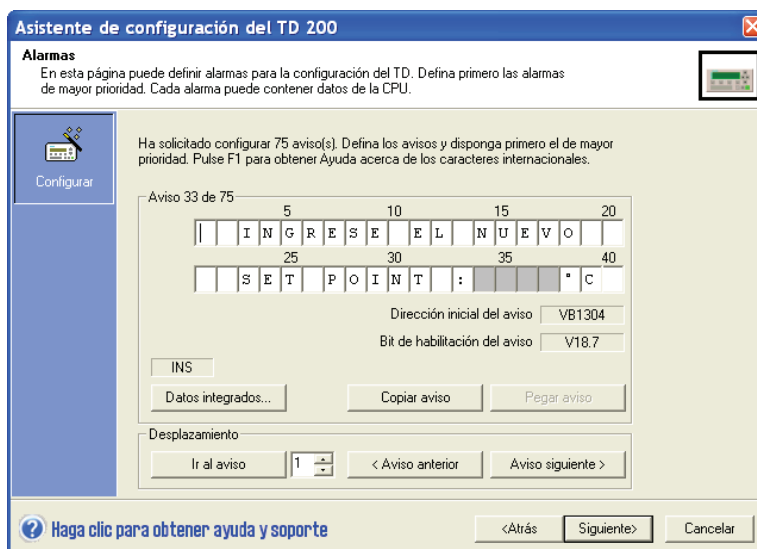


Figura 4.40 Mensaje de confirmación no requerida y edición permitida

En el cuadro de diálogo de la Figura 4.41 se configura el dato integrado para este mensaje.

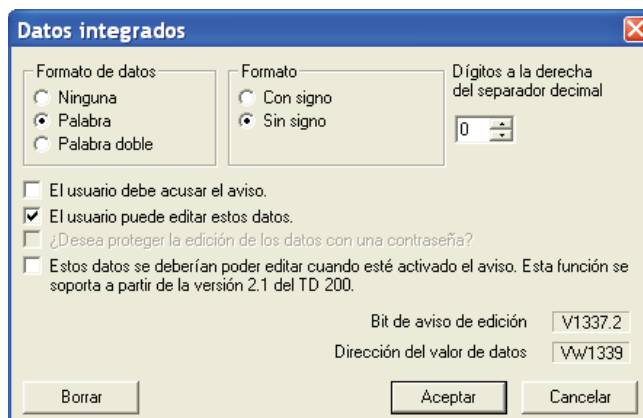


Figura 4.41 Datos integrados

Las direcciones de memoria asignadas son:

Dirección inicial del aviso: VB1304

Bit de habilitación del aviso: V18.7

Bit de aviso de edición: V1337.2

Dirección del valor de datos: VW1339

El desarrollo del bloque de datos se realizó conforme a los requerimientos del operador y conforme al diagrama de flujo del funcionamiento del programa principal y las subrutinas mencionadas en el Capítulo 3.

En este capítulo se ha diseñado el software para la computadora y el TD 200, en el funcionamiento real del proceso. Con el hardware seleccionado se conseguirá que ambos HMIs presenten simultáneamente el estado de la planta.

En el siguiente capítulo se realizará la implementación de la automatización del proceso utilizando los elementos especificados en el diseño correspondientes al capítulo 3. También se instalará y ejecutará el software para las HMIs descritas en este capítulo.

CAPÍTULO 5
IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO

CAPÍTULO 5

IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO

El enfoque del presente capítulo está orientado a la descripción de los elementos empleados en la automatización del reactor y la forma en que fueron realizadas las instalaciones y conexiones de los mismos.

5.1 ADQUISICIÓN DE LOS EQUIPOS

Los equipos requeridos para el proyecto en su mayoría se los obtuvo en empresas locales.

La selección de los equipos se tomó como referencia los requerimientos descritos en capítulos anteriores.

Una vez definidos los equipos que se requerían para el proyecto y luego de elaborar listados para solicitar cotizaciones, se procedió a efectuar pedidos al departamento financiero de la Escuela Politécnica Nacional que, mediante gestiones realizadas por los directivos de la Facultad de Ingeniería Química y Agroindustria, se realizó la adquisición del equipo necesario para la automatización del reactor.

5.2 MONTAJE E INSTALACIÓN DE LOS EQUIPOS

Una vez con todos los equipos, se procedió al montaje en el tablero de mando. Sus conexiones se realizaron en un lugar destinado para el efecto, para luego trasladarlo al sitio de operación.

La distribución de los equipos en la placa interna del tablero de mando se muestra en la Figura 5.1.

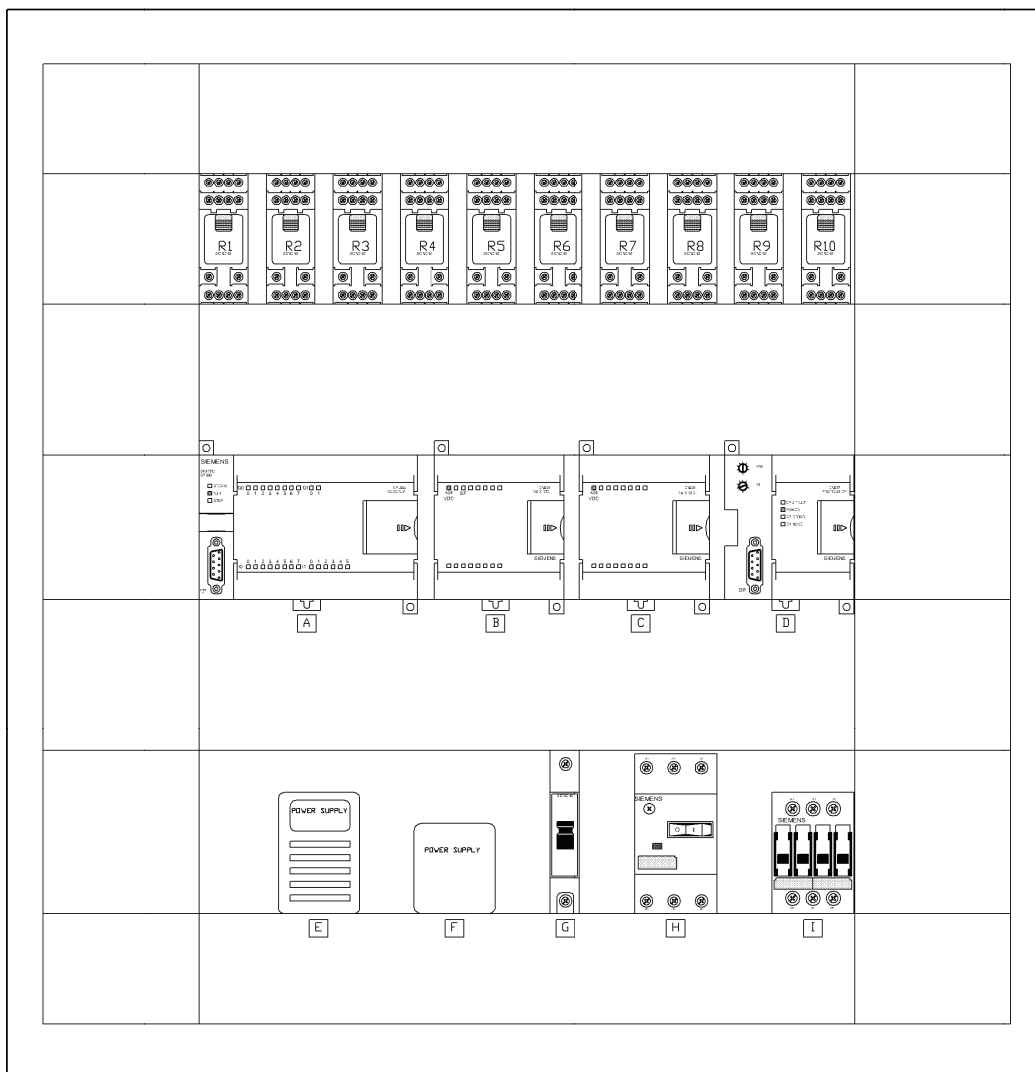


Figura 5.1 Distribución de elementos en el tablero de mando

Identificación de la nomenclatura utilizada en la distribución de los elementos en la placa interna del tablero de control:

- R1: Relé para activar modo manual
- R2: Relé para activar modo automático
- R3: Relé de motor (modo manual)
- R4: Relé de electroválvula para vapor de agua (modo manual)
- R5: Relé de electroválvula para agua fría (modo manual)
- R6: Relé de motor, modo automático-activar manualmente
- R7: Relé para activar electroválvula para hacer vacío
- R8: Relé de motor, modo automático e intervalos

R9: Relé de electroválvula para vapor de agua (modo automático)

R10: Relé de electroválvula para agua fría (modo automático)

A: PLC con CPU 224

B: Módulo de ampliación EM231 RTD

C: Módulo de ampliación EM231 4 entradas analógicas

D: Módulo de ampliación PROFIBUS-DP

E: Fuente externa de 24 Vcc

F: Fuente externa de 5 Vcc, para zumbador de tiempo de proceso completo

G: Breaker de un polo para protección del PLC y electroválvulas

H: Guardamotor para protección del motor trifásico

I: Contactor para control del motor trifásico

5.2.1 RECOMENDACIONES PARA EL MONTAJE

Para el montaje de los equipos eléctricos se tuvieron en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Que el tablero esté puesto a tierra correctamente para brindar seguridad al equipo.
- Se verificó que la puesta a tierra este correctamente instalada y en buenas condiciones para su uso.
- Para la unión de piezas eléctricas, se aseguró que se tenga un buen contacto. Para esto se utilizó terminales para una mejor sujeción.
- Para las señales de medición que se generan en la planta y son trasladados al tablero se usó un cable apantallado para reducir los efectos del ruido.

5.2.2 MONTAJE DEL TABLERO DE MANDO

Para el montaje primero se realizaron los orificios para la colocación de pulsantes, selectores, visualizador de textos y luces de señalización. Luego se instaló en la placa interior canaletas y riel DIN para la colocación de borneras.

En la Figura 5.2 se indica las medidas en milímetros para realizar los cortes en el panel frontal del tablero de mando.

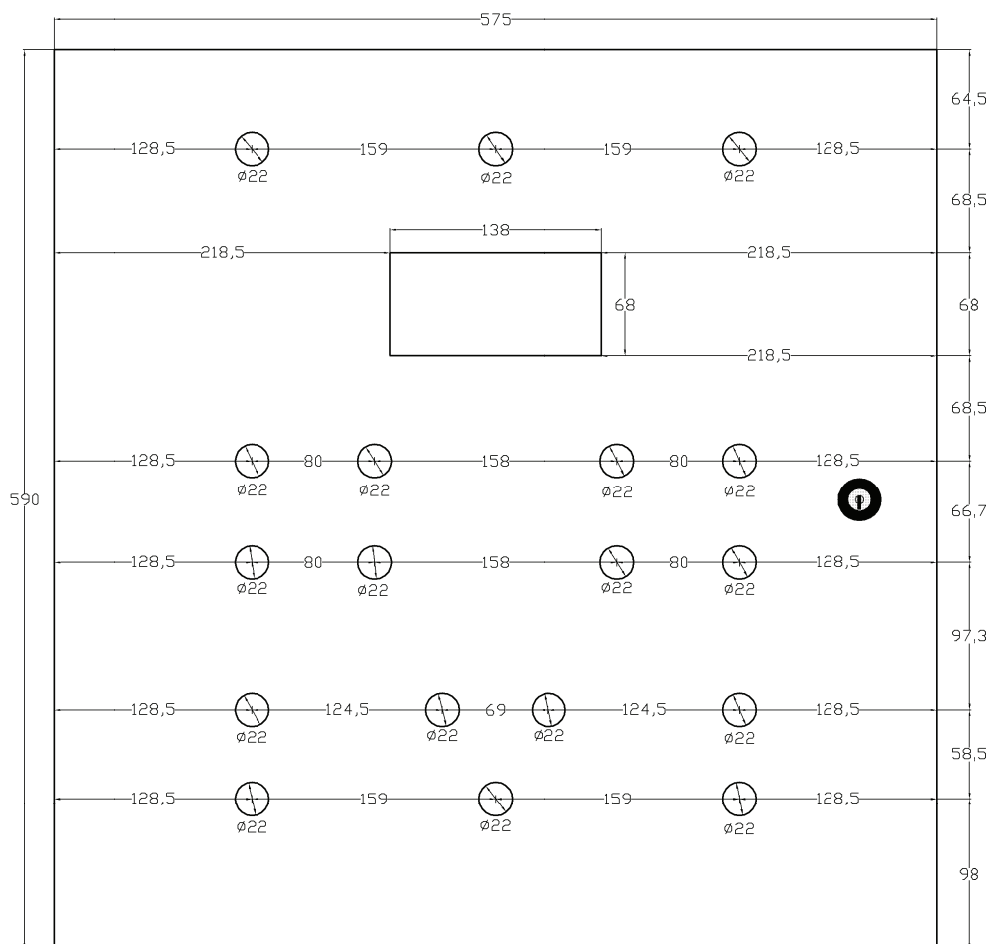


Figura 5.2 Medidas en milímetros para corte del panel frontal del tablero de mando

En la Figura 5.3 se indica los respectivos cortes del tablero de mando.

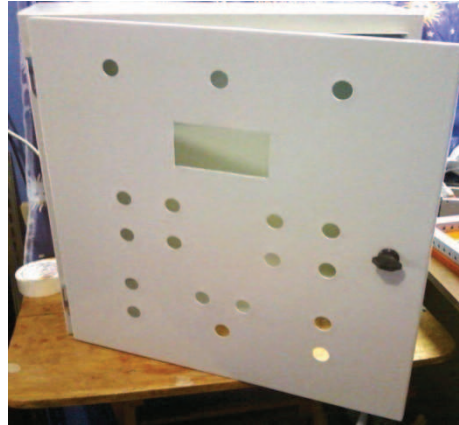


Figura 5.3 Tablero de mando cortado

En la Figura 5.4 se observa la instalación del tablero de mando sobre la misma base que se encontraba el antiguo tablero, en el laboratorio de Operaciones Unitarias.

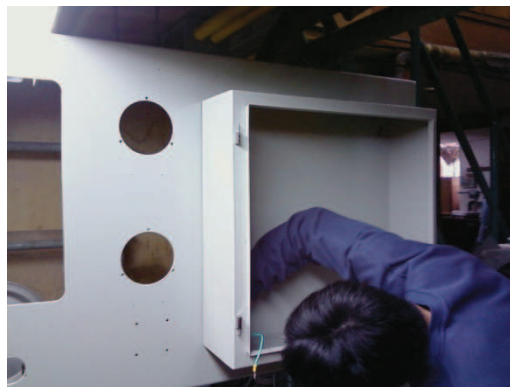


Figura 5.4 Instalación del tablero en su base

5.2.3 MONTAJE DE LOS EQUIPOS DE FUERZA Y CONTROL EN EL TABLERO DE MANDO

El montaje del tablero se empezó con la ubicación y colocación de las canaletas para la distribución del cable empleado en las conexiones internas, como se muestra en la Figura 5.5.

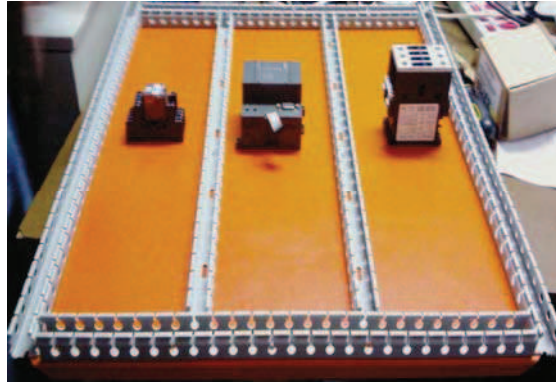


Figura 5.5 Colocación de canaletas

Posteriormente se procedió a la ubicación y colocación de la riel DIN para la sujeción de los equipos de protección y control en el fondo del tablero de mando como se indica en la Figura 5.6.

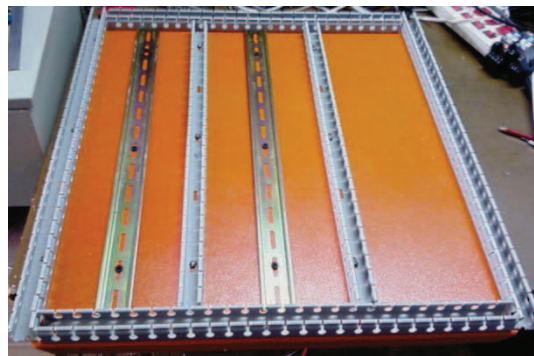


Figura 5.6 Colocación de la riel DIN

En la riel DIN se instaló el PLC, los módulos de ampliación, los relés de interface, las fuentes de mando y los elementos de protección. Una vez instalados los equipos se procedió al cableado, tanto de las entradas procedentes de la alimentación de voltaje, de los transmisores de presión, del transductor de temperatura y la alimentación para el motor trifásico, como de las salidas que van a los relés de interface y borneras.

Primero se procedió a conectar los elementos de protección y fuentes externas utilizados en el diseño. Estos elementos se observan a continuación en la Figura 5.7.



Figura 5.7 Elementos de protección y fuentes externas

Los relés de interface utilizados en el circuito de control se han distribuido y conectado dentro del gabinete de control acorde al circuito diseñado tal como se muestra en la Figura 5.8.



Figura 5.8 Relés de interface

Una vez conectado el equipo de fuerza, fuentes externas y relés, se realizó la conexión del controlador (PLC) y los módulos de ampliación analógicos y de comunicación como se muestra en la Figura 5.9.

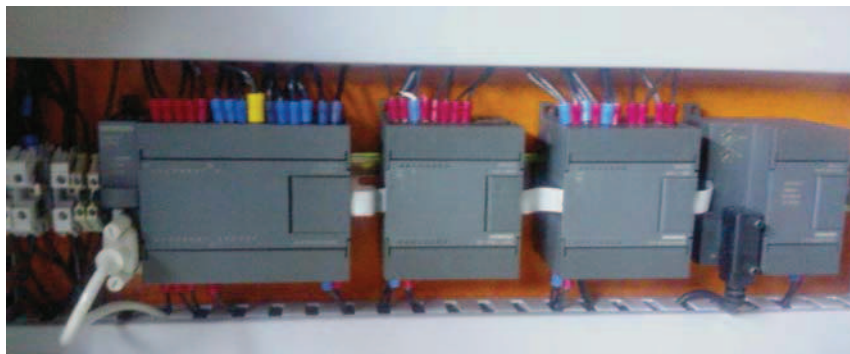


Figura 5.9 PLC y módulos de ampliación Simatic S7-200

5.2.4 MONTAJE DE LOS EQUIPOS EMPLEADOS EN LA PLANTA

Los actuadores y transductores utilizados para el control de temperatura en el tanque e instalados en la planta se muestran a continuación.

En la Figura 5.10 se indica la electroválvula para la estrangulación del vapor de agua que se inyecta a la camisa para calentar los compuestos que se encuentran en el tanque.

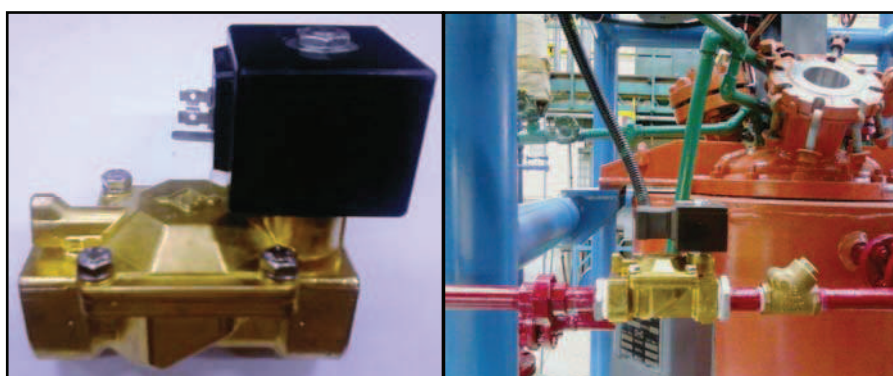


Figura 5.10 Electroválvula para vapor de agua

En la Figura 5.11 se muestra la electroválvula para el control del ingreso de agua fría al serpentín para enfriar los compuestos en el tanque.

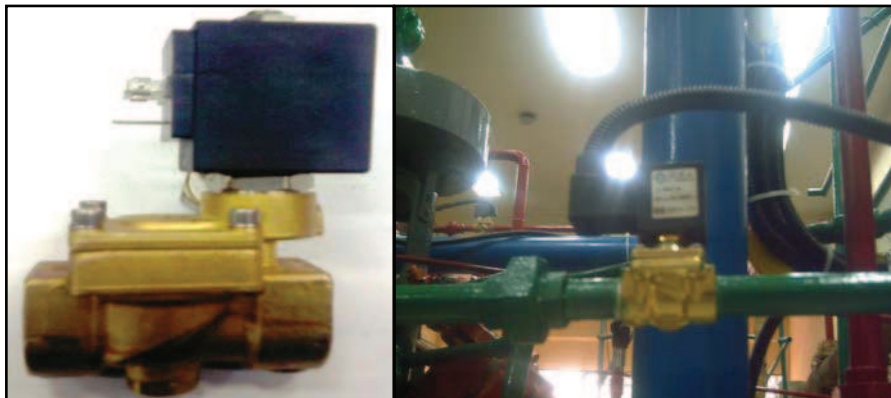


Figura 5.11 Electroválvula para agua fría

En la Figura 5.12 se observa la electroválvula que controla la inyección del vapor de agua al tubo Venturi y crear vacío en el tanque de reacciones.



Figura 5.12 Electroválvula para hacer vacío en el tanque

En la Figura 5.13 se visualiza la RTD PT100, la cual fue instalada dentro de una vaina de protección existente en el interior del tanque de reacciones.

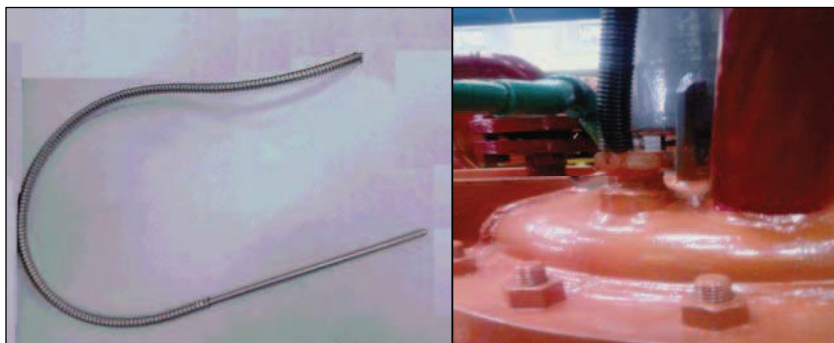


Figura 5.13 RTD PT100 y ubicación en el tanque del reactor

En la Figura 5.14 se observa el transmisor de presión de 10 bares para medir la presión del tanque. Se ubicó de tal forma que permita medir la misma presión que en el manómetro ubicado junto al tablero de control.

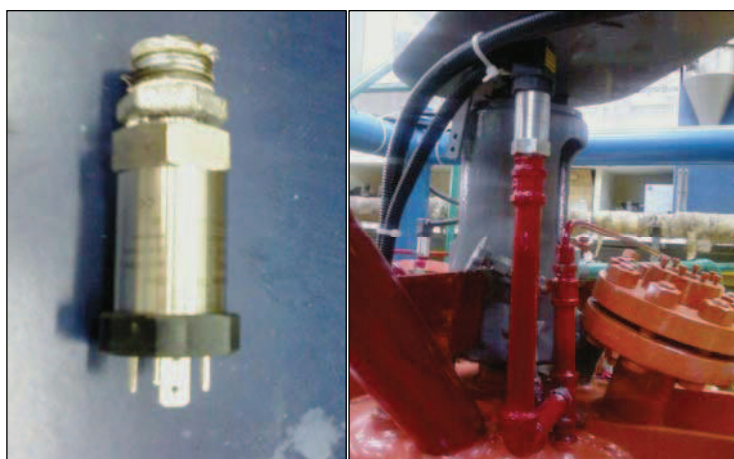


Figura 5.14 Transmisor de presión de 10 bares

En la Figura 5.15 se observa el transmisor de presión de 25 bares para medir la presión de la camisa. El acoplamiento de la instalación fue tal que se pueda medir la misma presión en el manómetro ubicado junto al tablero de control.



Figura 5.15 Transmisor de presión instalado en la camisa

5.3 UBICACIÓN DE LOS ELEMENTOS EN EL PANEL FRONTAL DEL TABLERO

Los elementos de control, luces indicadoras y el visualizador de textos del panel frontal del tablero de control están provistos como indica la Figura 5.16.

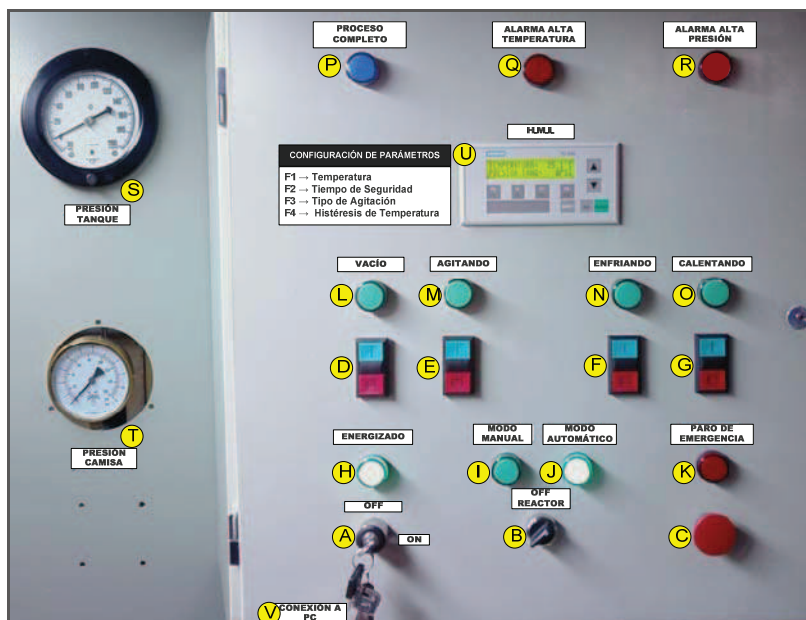


Figura 5.16 Representación del panel frontal del tablero de control

La representación de los elementos de accionamiento e indicadores del tablero de mando están dados por:

Elementos de Accionamiento Manual:

1. Interruptor tipo llave para energizar el tablero de control. (A)
2. Interruptor de tres posiciones para seleccionar el modo de trabajo o apagar el reactor. (B)
3. Interruptor tipo push-pull para paro de emergencia. (C)
4. Pulsador On/Off de Marcha/Paro de electroválvula de vapor para hacer vacío. (D)
5. Pulsador On/Off de Marcha/Paro de motor para agitación en el interior del tanque. (E)
6. Pulsador On/Off de Marcha/Paro de electroválvula para el enfriamiento. (F)
7. Pulsador On/Off de Marcha/Paro de electroválvula para el calentamiento. (G)

Elementos Indicadores:

8. Luz indicadora de Panel encendido. (H)
9. Luz indicadora de Modo Manual. (I)
10. Luz indicadora de Modo Automático. (J)
11. Luz indicadora de Parada de Emergencia. (K)
12. Luz indicadora de Electroválvula para hacer vacío dentro del tanque. (L)
13. Luz indicadora de motor durante la agitación en el tanque. (M)
14. Luz indicadora de Electroválvula para Enfriamiento. (N)
15. Luz indicadora de Electroválvula para Calentamiento. (O)
16. Luz indicadora que se activa al finalizar el tiempo de proceso ingresado. (P)
17. Luz indicadora Alarma de alta Temperatura. (Q)
18. Luz indicadora Alarma de alta Presión. (R)
19. Manómetro para medir/visualizar la presión del tanque de reacciones. (S)
20. Manómetro para medir/visualizar la presión en la camisa del reactor. (T)

Elementos de Despliegue

21. Visualizador de textos TD-200. (U)

22. Conexión a PC. (V)

5.4 CABLEADO DE LOS ELEMENTOS DEL SISTEMA DE CONTROL

Luego que se instalaron las electroválvulas y los transductores en la planta se realizó el cableado desde estos equipos al tablero de mando como indica la Figura 5.17.

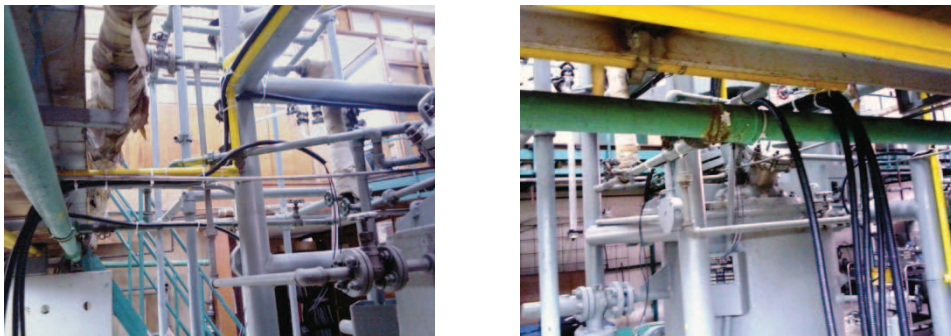


Figura 5.17 Cableado de la planta hacia el tablero

El tablero de mando se cableó de acuerdo a los diagramas del capítulo 3, conduciéndolos por las canaletas hacia las borneras y de estas a todo el equipo como se indica en la Figura 5.18.



Figura 5.18 Cableado interno del tablero

5.5 ASPECTO FINAL DE LA PLANTA AUTOMATIZADA

Luego que se instalaron todos los transductores, actuadores e instalar tuberías para el desalojo del agua residual generada durante el proceso en la planta, se pintó toda su infraestructura dándole una mejor apariencia como se muestra en la Figura 5.21.



Figura 5.21 Vista frontal del reactor de reacciones químicas

En el capítulo siguiente se indica todas las pruebas que se realizaron durante el funcionamiento y puesta en marcha del proyecto, los resultados alcanzados durante el proceso de automatización de la planta basados en la elaboración de productos utilizando el reactor químico. Además, el presupuesto aproximado empleado para realizar este proyecto.

CAPÍTULO 6
PRUEBAS Y RESULTADOS

CAPÍTULO 6

PRUEBAS Y RESULTADOS

Para un comprobar el funcionamiento de todo el sistema se realizaron pruebas de control de temperatura de los transductores y la comunicación. Los resultados que se obtuvieron se presentan en este capítulo. Además, se detalla el presupuesto aproximado empleado para la realización de este proyecto.

6.1 PRUEBAS DE LOS TRANSMISORES

6.1.1 PRUEBAS DE ADQUISICIÓN DE VALORES DE PRESIÓN

Para comprobar el funcionamiento de los transmisores de presión, se hicieron mediciones de los valores de corriente que entregan estos transmisores inyectándoles aire desde un compresor, luego se procedió a la calibración para trabajar en rangos desde 0 PSIG hasta 150 PSIG.

Calibración del transmisor de presión de 10 bares

La calibración de estos transmisores se realizó utilizando como fuente de presión un compresor con manómetro incorporado perteneciente al laboratorio de Operaciones Unitarias, mediante válvulas de apertura y cierre para el aire a presión. Además, fue necesario visualizar el valor de presión en el manómetro que se encuentra instalado junto al tablero de control, de esta forma se logró calibrarlos de manera que el valor digital de presión en el PLC sea la misma que la lectura del manómetro. En la Figura 6.1 se indica la calibración del transmisor de 10 bares.

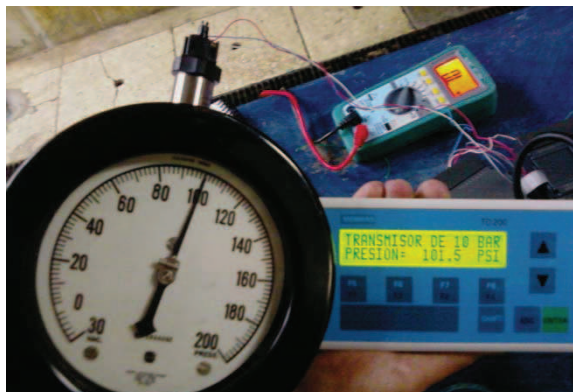


Figura 6.1 Calibración del transmisor de presión absoluta para el tanque

La Tabla 6.1 muestra los datos digitales obtenidos en el módulo analógico EM-231 de 4 entradas analógicas al someter el transmisor de 10 bares a presiones de entrada que van desde 0 PSIG hasta 100 PSIG.

Presión del compresor	Datos en bajada	Datos en subida
0	7280	7215
10	8530	9010
20	10510	10900
30	12560	13000
40	14530	15000
50	16500	17000
60	18500	19000
70	20380	21000
80	22500	23000
90	24200	25000
100	27000	26900

Tabla 6.1 Datos tomados en el módulo de 4 entradas analógicas

Para escalar los datos de la tabla anterior, se utiliza la ec 3.5, donde:

$$O_{sh} = 100$$

$$O_{sl} = 0$$

$$I_{sh} = 27000$$

$$I_{sl} = 7215$$

$$I_v = I_v$$

$$O_v = O_v$$

Y se obtiene lo siguiente:

$$O_v = \left[(100 - 0) * \frac{(I_v - 7215)}{(27000 - 7215)} \right] + 0 \quad \Rightarrow \quad O_v = \frac{100}{19785} * (I_v - 7215)$$

Finalmente, la ecuación equivalente es:

$$O_v = 0.005054 * (I_v - 7215) \quad \text{ec 6.1}$$

Reemplazando los datos de la tabla anterior en la ec 6.1 se obtiene los datos indicados en la Tabla 6.2

Iv	Ov
7215	0
9010	9,07193
10900	18,62399
13000	29,23739
15000	39,34539
17000	49,45339
19000	59,56139
21000	69,66939
23000	79,77739
25000	89,88539
26900	99,48799

Tabla 6.2 Datos obtenidos del escalamiento

Gráficamente se detallan los datos obtenidos en el módulo de ampliación analógico, el escalamiento y linealización de la curva obtenida con la ecuación anterior, como se observa en la Figura 6.2.

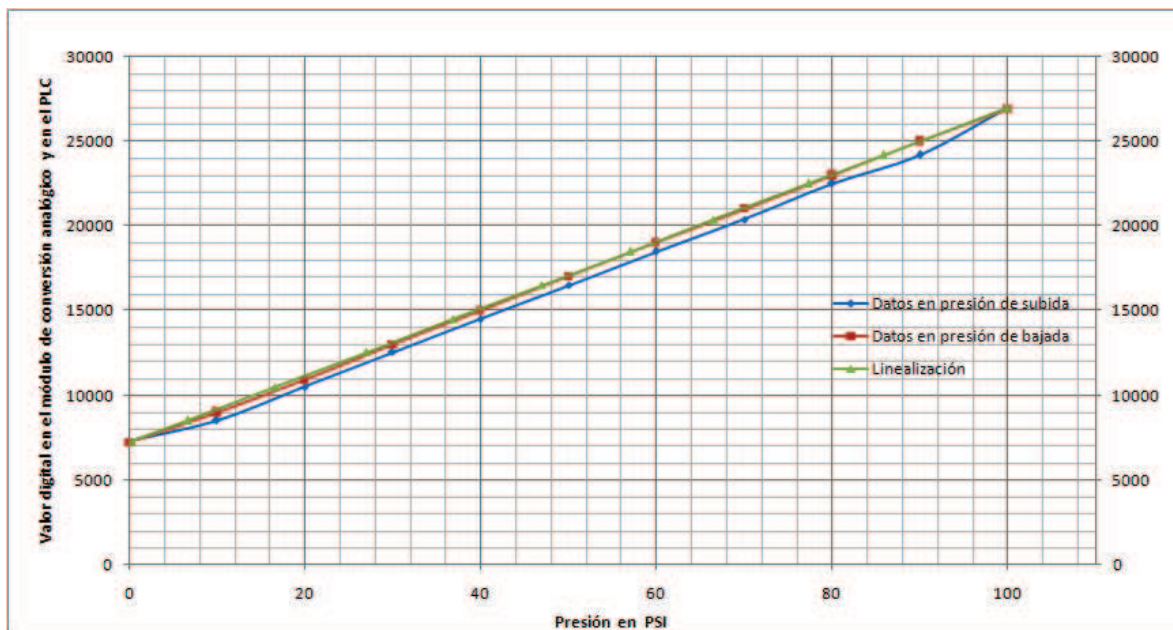


Figura 6.2 Curva de escalamiento del transmisor de 10 bares

La calibración del transmisor de 25 bares se realizó de forma similar al de 10 bares descrita anteriormente.

6.1.2 PRUEBAS DE ADQUISICIÓN DE VALORES DE TEMPERATURA

Se verificó la correcta operación del transductor de temperatura, comprobando que la lectura de la entrada analógica al PLC se encontraba dentro de los rangos admisibles para el conversor analógico digital.

Se desarrolló un programa con la tabla de valores dada por los fabricantes del controlador y módulos cuando se utiliza un PT100. Se comprobó los datos obtenidos poniendo el transductor de temperatura PT100 en agua caliente junto con una termocupla comercial ya acondicionada y calibrada. Los valores fueron similares en los dos transductores.

6.2 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL TABLERO DE CONTROL

Se realizaron las pruebas de funcionamiento del tablero de control para verificar que el sistema funcione adecuadamente. De éstas se obtuvieron los resultados siguientes:

En modo manual se realizó el encendido alternado de las electroválvulas para el calentamiento y enfriamiento del tanque, encendido del motor para la agitación, la electroválvula para hacer vacío en el tanque y se verificó las variables desplegadas en el visualizador de textos (TD200). El funcionamiento no presentó problema alguno.

Se realizó las pruebas en modo automático ingresando las variables del proceso en la HMI local (TD200):

- Temperatura
- Tiempo de seguridad
- Tipo de agitación
- Histéresis de temperatura

El funcionamiento en este modo realiza el control de temperatura de acuerdo a los valores ingresados, el tiempo de seguridad y el tipo de agitación se cumplen correctamente durante el proceso.

6.3 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DE LOS EQUIPOS DE COMUNICACIÓN

Las pruebas de los equipos de comunicación fueron realizadas desde el computador, para verificar el funcionamiento correcto de la HMI remota. En esta prueba se conectó una extensión de 20m de cable tipo CAT5E entre el conector

DB9 hembra que se encuentra en el tablero de control y el cable de programación RS232/PPI al extremo de RS485.

En la Figura 6.3 se indica el bloque de sistema que se puede configurar en el programa Step 7.

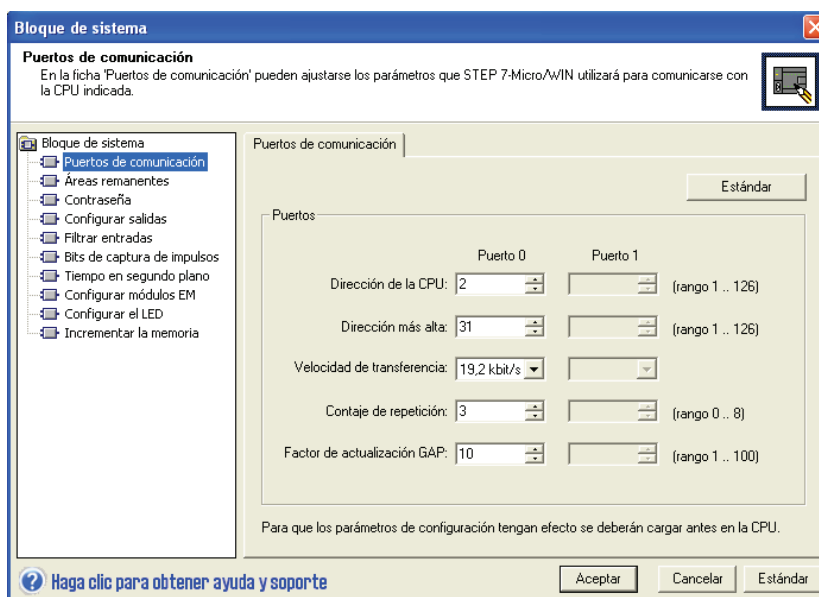


Figura 6.3 Configuración de la velocidad en el programa

Luego de configurar el puerto de comunicación de la PC (COM1) y el I/O Server con la misma velocidad (9600 Bps) y longitud de datos, se comunicaban con un pequeño retardo. La solución que se dio para este problema fue aumentar la velocidad de transferencia de datos a 19200 Bps, en la PC y en el I/O Server. En la Figura 6.4 se observa la comunicación entre la HMI de la computadora y el PLC.



Figura 6.4 Prueba de comunicación

6.4 PRUEBAS DE COMUNICACIÓN ENTRE LOS MÓDULOS Y EL PLC

Para realizar la prueba y saber si los módulos están comunicándose con el PLC sin ningún error, se conecta el cable de programación. Luego en el programa Step 7, en la opción información de CPU (Figura 6.5) se observan el PLC, los módulos conectados y su estado.

Información CPU

Modo de operación:

Versión

CPU: Tiempos de ciclo (ms)

Firmware: Último:

ASIC: Mínimo:

Máximo:

Errores

Fatales: No se han presentado errores fatales.

No fatales: No se han presentado errores no fatales.

Último fatal: No se han presentado errores fatales.

Total fatales:

Errores de E/S

Nº de errores:

Errores detectados:

Módulo	Tipo	E	Comienzo	S	Comienzo	Estado
CPU	Digitales	16	I0.0	16	Q0.0	Sin error
0	Analógicas	2	AIW0	0	AQW0	Sin error
1	Analógicas	4	AIW4	0	AQW0	Sin error
2	EM277 ProfibusDP					Sin error
3						No existe
4						No existe
5						No existe
6						No existe

Información del EM... Reseteo tiempos ciclo Cerrar

Historial de eventos...

Figura 6.5 Información del estado de la CPU

6.5 PRUEBAS DE LAS ALARMAS

Para realizar las pruebas de las alarmas se desarrolló un programa que simula las entradas analógicas (temperatura y presión) de los módulos con los potenciómetros análogos del PLC. Esto se realizó debido a que en las pruebas de calentamiento del reactor no se llegó a una temperatura tan elevada. Las alarmas se activaron conforme a lo programado.

En la Figura 6.6 se muestra la prueba de alarma de alta temperatura activada.



Figura 6.6 Prueba de alarma de alta temperatura

En la Figura 6.7 se muestra la prueba de alarma de alta presión activada

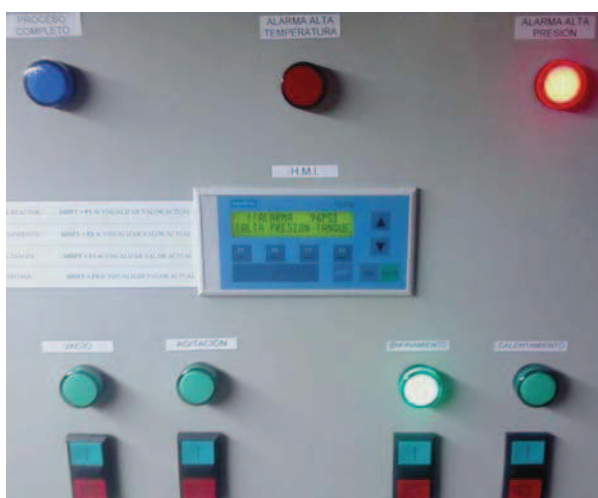


Figura 6.7 Prueba de alarma de alta presión

6.6 PRUEBAS DEL CONTROL DE TEMPERATURA

Para las pruebas del control de temperatura se llenó el tanque con agua porque lamentablemente en el laboratorio aún no se disponen de los reactivos necesarios para realizar una práctica y obtener un producto químico.

En la Figura 6.8 se visualiza la parte inicial de la respuesta de temperatura que corresponde a la variación en set point de 40 °C a 50 °C y seguidamente a 80 °C, el tiempo aproximado que tarda el sistema en estabilizarse es de 6 minutos en el primer tramo y 11 minutos aproximadamente para llegar a estabilizarse en 80 °C.

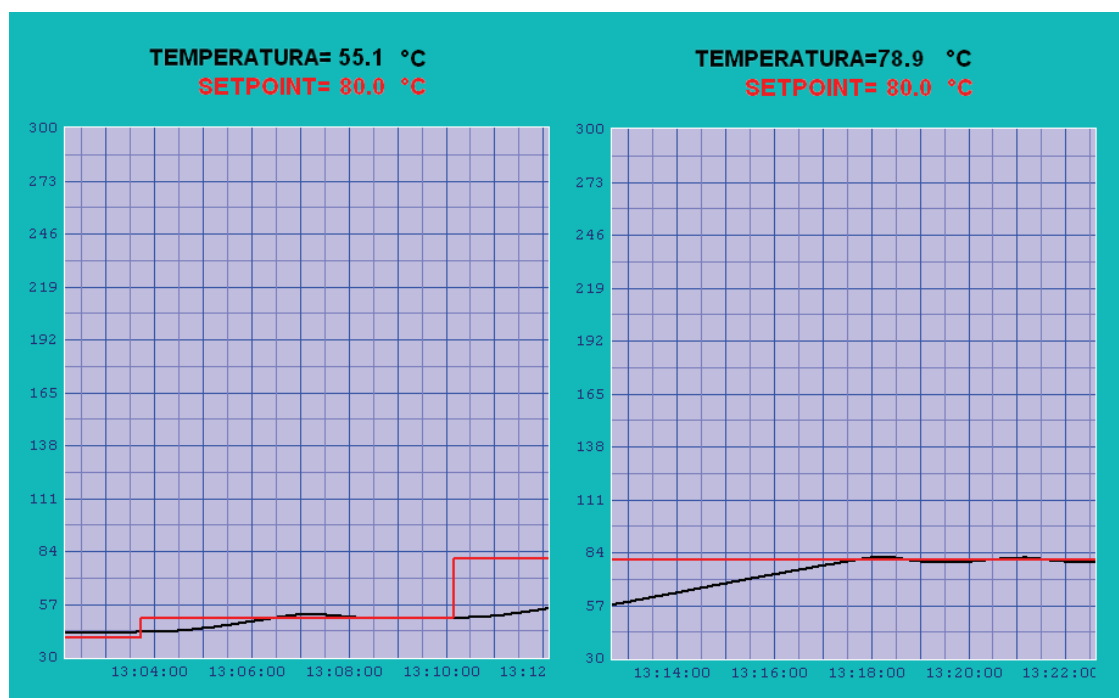


Figura 6.8 Variación de temperatura frente a cambios de set point

Los tiempos de respuesta obtenidos frente a los cambios de set point, cambio en la agitación y ventana de histéresis, son satisfactorios de acuerdo a los criterios emitidos por los ingenieros químicos que trabajan en el laboratorio.

En la Figura 6.9 se muestra la variación de las presiones según el cambio de temperaturas correspondientes a la figura anterior. La presión de la camisa sube a

medida que se inyecta vapor y baja al ingresar agua fría al serpentín. La presión dentro del tanque asciende a 8 PSIG aproximadamente debido a que el agua a la temperatura a la que se encuentra aún no se ha evaporado.

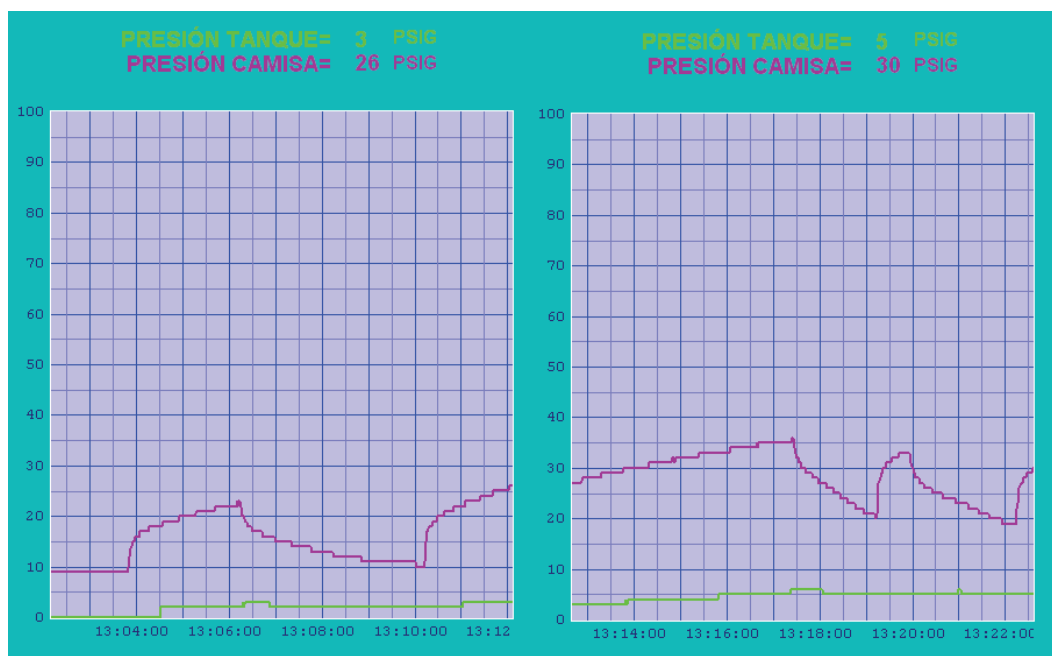


Figura 6.9 Variación de presión en el tanque y la camisa

Se realizaron pruebas del control con un set point de 90 °C, histéresis de temperatura ± 0.7 °C, con agitación continua y sin agitación. En la prueba con agitación continua el sistema presenta mayor oscilación, y en la prueba sin agitación la respuesta es más cercana al set point.

En la Figura 6.10 se observa las curvas de la temperatura y presión con agitación continua en el tanque.

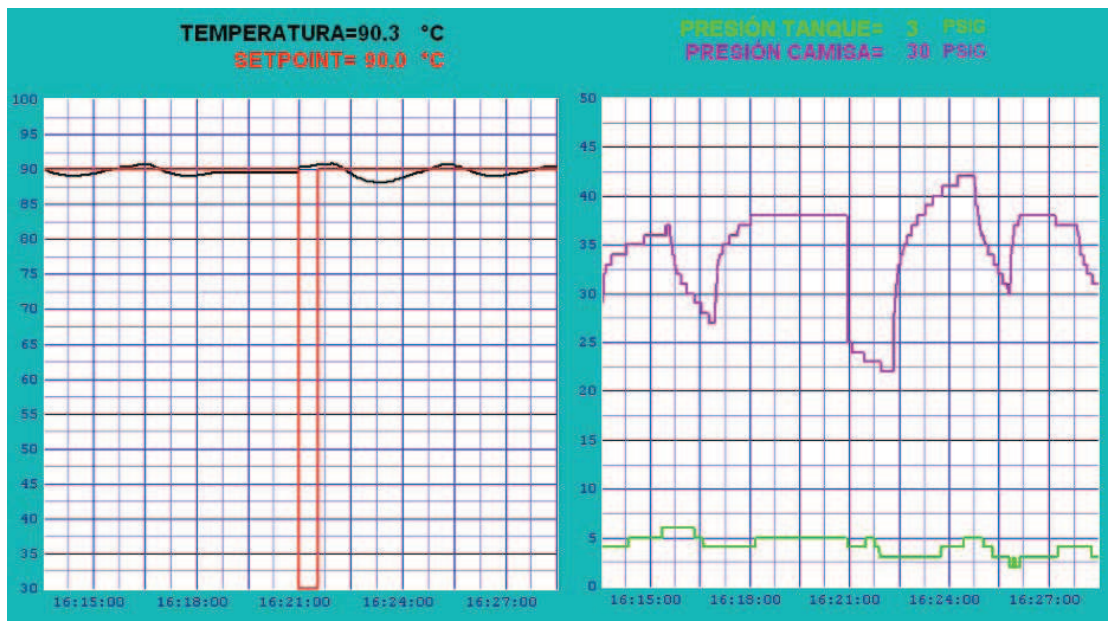


Figura 6.10 Curvas del control de temperatura agitación continua

En la Figura 6.11 se observa las curvas de la temperatura y presión sin agitación en el tanque.



Figura 6.11 Curvas del control de temperatura sin agitación

Los resultados obtenidos en las pruebas realizadas en la comunicación entre el autómatas y los módulos de ampliación, el autómatas y las HMIs son satisfactorias tanto en la velocidad de comunicación como en la integridad de los datos.

Errores del control de temperatura en estado estable

Luego de realizar las pruebas y tomar datos se calculan los errores de respuesta de la temperatura real con la temperatura medida. (Tabla 6.3, Tabla 6.4 y Tabla 6.5).

Set point [°C]	Histéresis [± °C]	Agitación [r.p.m.]	Temperatura máxima real [°C]	Temperatura máxima medida [°C]	Temperatura mínima real [°C]	Temperatura mínima medida [°C]
50	0.7	No	50,7	51,4	49,3	49,6
			Error absoluto = 0.7 [°C]		Error absoluto = 0.3 [°C]	
			Error relativo = 1.38 %		Error relativo = 0.61 %	

Tabla 6.3 Cálculo de errores con set point de 50[°C]

Set point [°C]	Histéresis [± °C]	Agitación [r.p.m.]	Temperatura máxima real [°C]	Temperatura máxima medida [°C]	Temperatura mínima real [°C]	Temperatura mínima medida [°C]
80	0,5	Sí	80.5	81.1	79.5	78.7
			Error absoluto = 0.6 [°C]		Error absoluto = -0.8 [°C]	
			Error relativo = 0.74 %		Error relativo = 1.00 %	

Tabla 6.4 Cálculo de errores con set point de 80[°C]

Set point [°C]	Histéresis [± °C]	Agitación [r.p.m.]	Temperatura máxima real [°C]	Temperatura máxima medida [°C]	Temperatura mínima real [°C]	Temperatura mínima medida [°C]
90	0,7	No	90,7	90.9	89.3	88.6
			Error absoluto = 0.2 [°C]		Error absoluto = -0.7 [°C]	
			Error relativo = 0.22 %		Error relativo = 0.78 %	

Tabla 6.5 Cálculo de errores con set point de 90[°C]

Al realizar cálculos sobre los errores absolutos y relativos se puede cuantificar la desviación de los valores máximos y mínimos de la respuesta de temperatura con respecto al set point, los errores observados no sobrepasan del 2% y no afectan considerablemente al proceso por lo que se los puede despreciar

La estimación de los errores ha sido posible debido a que en el control de temperatura se manejan datos en formato real con un dígito decimal, caso contrario (si fueran enteros), no se podría discriminar con certeza la diferencia entre el valor de temperatura real y el valor de temperatura medida.

6.7 COSTOS DEL PROYECTO

A continuación en la Tabla 6.6 se resume el costo de los equipos, elementos y materiales usados para la ejecución del proyecto.

PLC , MÓDULOS DE AMPLIACIÓN Y EQUIPO SIEMENS S7-200			
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO FINAL
PLC SIMATIC S7-200 CPU224,14E/10S	1	479,75	479,75
Módulo de 4 entradas análogas +/-10VDC	1	247,57	247,57
Módulo de 2 entradas análogas para RTD	1	333,67	333,67
Módulo de comunicación Profibus-DP	1	301,76	301,76
Display de textos TD-200 SIMATIC	1	273,98	273,98
Cable para comunicación y programación S7-200/PC (RS 232/PPI)	1	176,50	176,50
EQUIPO DE MEDICIÓN E INSTRUMENTACIÓN			
PT100, RTD 3/16"xlargo, 40" de largo de cable, conexión eléctrica de 3 hilos, rango de medición de -200 a 650°C.	1	73,30	73,30
Manómetro 0/160PSIG, R¼"	1	18,48	18,48
Transmisor de presión absoluta,0-10 bar,4-20mA	1	168,00	168,00
Transmisor de presión absoluta,0-25 bar,4-20mA	1	168,00	168,00
ELEMENTOS ACTUADORES			
Electroválvula de 1/2" para vapor de agua	1	208,93	208,93
Electroválvula de 1" para vapor de agua	1	253,25	253,25
Electroválvula de 1/2" para agua a 90° C máx.	1	65,02	65,02
TABLERO DE CONTROL			
Contactador bobina 120Vac,9A,5.4HP	1	20,56	20,56
Guardamotor de 5.5-8 A	1	50,35	50,35
Relé auxiliar de 24VDC	10	13,30	133,00
Pulsadores doble completo de 22mm.	4	22,33	89,32
Cable flexible AWG#14	100	0,42	42,00
Gabinete metálico 60x60x20 cm.	1	104,50	104,50
Pulsador de emergencia tipo hongo	1	22,22	22,22
Luz piloto led 22mm,120VAC.	11	4,28	47,08
Breaker de un polo 2 A, 120VAC.	1	6,28	6,28
Selector de tres posiciones	1	16,97	16,97
Selector metálico con llave	1	27,87	27,87
Cable de instrumentación apantallado 3x18 AWG	30	2,14	64,20
Canaleta ranurada de 25x25	2	3,71	7,42
Riel DIN 35mm	1	3,33	3,33
SUBTOTAL			3101,55

Tabla 6.6 Detalle de costos de los equipos

En la Tabla 6.7 se detalla el costo total del proyecto.

DESCRIPCIÓN	PRECIO
Sistema Eléctrico y Electrónico	3101,55
Costos de Ingeniería	3000,00
TOTAL	6101,55

Tabla 6.7 Costo total del proyecto

En el siguiente capítulo se plantearán algunas conclusiones y recomendaciones referentes y en base a los resultados obtenidos.

CAPÍTULO 7
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CAPÍTULO 7

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este capítulo se detallan las conclusiones que se obtuvieron luego de realizar la implementación del proyecto y las pruebas de la automatización de la planta, también se exponen algunas recomendaciones necesarias para su mejoramiento.

7.1 CONCLUSIONES:

- Los resultados de las pruebas realizadas permiten concluir que los objetivos propuestos en este proyecto de titulación y alcances establecidos se cumplen satisfactoriamente, automatizándose los procesos que se realizaban manualmente en la planta.
- El control de temperatura diseñado se mantiene acorde a las características de la planta, dado que la variación de temperatura en el reactor se considera lenta. La respuesta del control de temperatura on-off con histéresis se mantiene dentro de los rangos de tolerancia aceptables por lo que se puede concluir que su elección fue correcta.
- Se logró diseñar e implementar un sistema electrónico para el monitoreo automático de las variables como la temperatura y presión en el reactor. La selección de los transductores y actuadores se realizó en base al diseño físico de la planta y los recursos existentes en el laboratorio, mediante los resultados obtenidos se concluye que la selección de los transductores y actuadores fueron correctos.
- Se logró realizar el control de la temperatura en el tanque del reactor con la regulación del flujo de vapor de agua que circula por el tubo de

calentamiento a la camisa y con el flujo de agua fría que circula por el tubo serpentín en el momento oportuno.

- El control automático de temperatura del reactor, cuando efectúa las etapas de calentamiento ó enfriamiento, permite que el operador pueda cumplir con otras actividades ya que se tiene la opción de ingresar un tiempo que a su fin termina el proceso y evita que esté pendiente todo el tiempo del reactor. De esto se puede concluir que se cumplió con un objetivo importante de la automatización; liberar al operador de cargas repetitivas y tediosas.

- El sistema de control implementado tiene una estructura modular y escalable siendo el PLC el elemento principal que conjuntamente con los módulos analógicos y el módulo de red representan robustez y confiabilidad en hardware, además puede ser útil en el caso de futuras ampliaciones en la automatización de la planta como medición del nivel del tanque, nivel de pH, etc.

- En el sistema de control se dispone de dos interfaces HMI (una para la computadora y otra para el tablero de mando). La característica principal de las interfaces es su “funcionamiento simultáneo”, las cuales permiten monitorear y controlar el proceso de reacción química en tiempo real y además la HMI en computadora entrega información muy importante en la gráfica de tendencias para el análisis del proceso. Por lo tanto, es posible concluir que se han desarrollado HMIs “amigables” y confiables.

- El reconocimiento de alarmas implementado en el sistema de control permite avisar oportunamente al operador el tipo de alarma ocurrida para que se pueda tomar las acciones correctivas respectivas.

- El tablero de control ubicado junto al reactor contiene los accionamientos e indicadores adecuados y en ubicaciones específicas para que el operador y los estudiantes interactúen con el PLC y el proceso de forma rápida y segura. Para un mejor entendimiento de las funciones del tablero, se ha editado un manual de usuario que se encuentra a disposición de los estudiantes que realizan prácticas de laboratorio en el reactor.
- Los estudiantes u operadores podrán realizar prácticas y setear el set point de temperatura, tiempo, agitación en el tanque o histéresis dependiendo del tipo de reacción que realicen, y si el proceso lo requiere incrementar o disminuir dichas variables desde cualquiera de las dos interfaces de usuario en cualquier momento, lo cual permite concluir que el sistema desarrollado cumple con las expectativas planteadas.
- Luego de finalizar el desarrollo del proyecto se ve claramente los beneficios que ha significado la automatización del reactor, consecuentemente, quienes conforman el laboratorio de Operaciones Unitarias han demostrado agradecimiento y satisfacción por haber cumplido con sus necesidades y objetivos planteados.

7.2 RECOMENDACIONES:

- El fabricante del motor con varidrive, recomienda no girar la rueda manual de control de velocidad mientras la unidad está detenida, pues podría sufrir daños.
- Para la lubricación del motor con grasa se recomienda desconectar todas las fuentes de alimentación antes, y se lo debe hacer al menos cada tres años.

- En el proyecto se puede implementar otro transductor de temperatura PT100, ya que el módulo de ampliación tiene capacidad para dos transductores del mismo tipo, de esta manera si uno de los dos presenta fallas de conexión o errores de medición (fuera de rango), el otro significaría un respaldo para la medición de temperatura real del tanque.
- Para seleccionar la HMI basada en software para la computadora se debe tener en cuenta los costos que representa la adquisición del software y licencias para el funcionamiento. Existen diferentes herramientas de software que permiten realizar las mismas aplicaciones con diferentes facilidades o ventajas pero a diferente costo.
- Para realizar ampliaciones en el proyecto se debe adquirir una tarjeta de expansión de memoria para el PLC.
- Para utilizar el reactor se debe tomar en cuenta que se eliminaron las resistencias de calefacción que calentaban un fluido térmico interno, por lo que la temperatura máxima a alcanzar no superará la temperatura del vapor de agua que se inyecte a la camisa (150°C).
- Antes de poner en funcionamiento al reactor, se recomienda solicitar ayuda al personal que trabaja en el laboratorio y mantenerse al tanto de conceptos, procedimientos y consecuencias que involucran llevar a cabo una reacción química, sobre todo por seguridad personal y de las instalaciones adyacentes en el laboratorio.
- Se recomienda que se busque en la Escuela Politécnica Nacional este tipo de necesidades, para que los estudiantes se puedan beneficiar de hacer un trabajo real y dar a conocer sobre lo que la carrera de Electrónica y Control es capaz de hacer.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CORRALES, Luis. “Instrumentación Industrial”. Ed: Escuela Politécnica Nacional, año 2004, Quito – Ecuador.
- CORRALES, Luis. “Curso Introdutorio de InTouch”. Ed: Escuela Politécnica Nacional, año 2005, Quito – Ecuador.
- ANGULO, Pablo. “Diagramas de control industrial”. Ed: Escuela Politécnica Nacional, año 1990, Quito-Ecuador.
- SIEMENS, Sistema de automatización S7200 datos de la CPU 222. Alemania 2001.
- MURRILL, Paul. “Fundamentals of Process Control Theory”. Ed: Library of Congress Cataloging-in-Publication Data, año 2000, United States of America.
- SIEMENS, Step 7 V4.0 Introducción. Alemania 2004.
- Wonderware® FactorySuite™, InTouch® User’s Guide. U.S.A. 2005
- SIEMENS, Visualizador de textos TD 200/Manual de Usuario. Alemania 2001

Páginas web:

- www.usmotors.com/Products/ac_hsc.pdf
- www.siemens.com
- <http://www.wonderware.com>
- http://es.wikipedia.org/wiki/Reactor_qu%C3%ADmico
- http://es.wikipedia.org/wiki/Controlador_logico_programable
- http://es.wikipedia.org/wiki/Interfaz_de_usuario