



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

---

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN

“MODERNIZACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL DE LA COLUMNA DE  
DESTILACIÓN TIPO OLDER SHAW ”

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO  
MECÁNICO ELÉCTRICISTA

P R E S E N T A:

LUIS ALBERTO RÍOS JARAMILLO

Asesor Externo:

M. en C. ARMANDO MORALES SANCHEZ

Asesor Interno:

M. en C. LEOPOLDO MARTIN DEL CAMPO RAMIREZ

CUAUTITLÁN IZCALLI, EDO DE MEX 2015.



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## **DEDICATORIA**

**Estas líneas son para expresar mis más profundos agradecimientos hacia Dios por haberme dado sabiduría e inteligencia a lo largo de mi carrera por ser mi fortaleza en los momentos más difíciles, y por poner personas en mi camino que han sido mi soporte y mi compañía, además de su infinita misericordia y amor.**

**Le doy gracias a mis padres José Luis y Guadalupe por apoyarme en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por su amor. Por haberme enseñado a no renunciar a mis sueños y a perseverar en todo momento de mi vida.**

**Y por último a mis maestros, que dejaron huella en cada etapa de mi carrera y que en todo momento fueron una fuerte influencia en vida.**

**Todo este trabajo ha sido posible gracias a ellos.**

**Este trabajo de tesis se realizó en las instalaciones del Instituto Mexicano del Petróleo (IMP) en el Área de Plantas Piloto y Escalonamiento de Catalizadores, bajo la dirección del M. en C. Armando Morales Sánchez y el M. en C. Leopoldo Martín del Campo Ramírez.**

# ***ÍNDICE GENERAL***

<b>ÍNDICE GENERAL</b>	<b>IV</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b>	<b>VII</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.</b>	<b>VIII</b>
<b>OBJETIVO.</b>	<b>XII</b>
<b>JUSTIFICACIÓN</b>	<b>XIII</b>
<b>INTRODUCCIÓN.</b>	<b>XV</b>

## ***CAPÍTULO 1.***

### **1. DESTILACIÓN DE LA OLDER SHAW.**

1.1.El Petróleo y su tratamiento.....	1
1.2.La importancia de la destilación en el Sistema de Refinación Nacional.....	3
1.3.¿Qué es la destilación?.....	4
1.3.1. Tipos de destilación.....	4
1.3.2. Tipos de Columnas de Destilación.....	7
1.3.3. Principales componentes de una columna de destilación.....	9
1.4.Destilación Older Shaw.....	10
1.4.1. Parámetros que gobiernan la destilación Older Shaw.....	12
1.5.Sumario.....	12

## ***CAPÍTULO 2.***

### **2. DESCRIPCIÓN Y ESPECIFICACIONES DE LA OLDER SHAW.**

2.1.Descripción general del funcionamiento de la columna.....	13
2.1.1. Funcionamiento de la destilación a presión reducida.....	15
2.2.Destilación atmosférica de la columna Older Shaw.....	16
2.3.Destilación a 100 mm Hg de la columna Older Shaw.....	18
2.4.Destilación a más bajas presiones de la columna Older Shaw.....	19
2.5.Sumario.....	21

## ***CAPÍTULO 3.***

### **3. SISTEMA DE CONTROL HÍBRIDO.**

3.1.Descripción funcional del control híbrido.....	22
3.2.Características del hardware del controlador.....	24
3.2.1. Bastidor del controlador HC900.....	24
3.2.2. Fuente de alimentación eléctrica.....	26
3.2.3. Modulo del controlador.....	27
3.2.4. Módulo de entrada/salida.....	28
3.2.5. Computadora Personal.....	29
3.3.Comunicaciones.....	29
3.3.1. Dispositivos del puerto RS-232.....	29
3.3.2. Dispositivos Ethernet.....	30
3.4.Funciones del Control.....	30
3.5.Sumario.....	31

## ***CAPÍTULO 4.***

### **4. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL.**

4.1.Instalación del software de aplicación.....	32
4.1.1. Instalación de Hybrid Control Designer.....	32
4.1.2. Instalación de Configuration Studio.....	36
4.2.Listado de instrumentos.....	40
4.3.Armado del tablero de control.....	41
4.3.1. Alambrado de los termopares tipo K.....	44
4.3.2. Alambrado de los transmisores de Presión.....	46
4.3.3. Alambrado del sistema de calentamiento.....	49
4.3.4. Alambrado de los electroimanes.....	53
4.3.5. Alambrado de las válvulas de control de vacío.....	55
4.4.Comunicación del HC900.....	62
4.4.1. Cable RS-232 serial.....	62

4.4.2. Cable Ethernet.....	65
4.4.3. Tipos de cable.....	66
4.4.4. Configuración de la IP.....	68
4.5. Control de la columna de destilación Older Shaw.....	70
4.5.1. Lazo de control de la temperatura de fondo de la olla.....	71
4.5.2. Indicación de temperatura del domo y del baño.....	76
4.5.3. Control de reflujo destilado (R/D).....	80
4.5.4. Cálculo matemático de la temperatura atmosférica equivalente (AET).....	83
4.5.5. Control de válvulas de vacío.....	89
4.5.6. Reporte previo de entradas y salidas.....	93
4.6. Configuración de la base de datos del sistema.....	97
4.6.1. Canal de comunicación.....	99
4.6.2. Controladores.....	100
4.6.3. Construcción de los puntos.....	103
4.7. HMIweb DISPLAY BUILDER.....	107
4.8. Sumario.....	109

## ***CAPÍTULO 5.***

### **5. RESULTADOS**

5.1. Configuración de las tendencias.....	110
5.2. Resultados obtenidos.....	112
5.3. Sumario.....	117

## ***CAPÍTULO 6.***

### **6. COSTO - BENEFICIO.**

6.1. Costos.....	118
6.2. Beneficios.....	122
6.3. Sumario.....	122
CONCLUSIONES.....	123
BIBLIOGRAFÍA.....	125

## ***ÍNDICE DE TABLAS***

1.1. Composición básica del Petróleo.....	1
1.2. Clasificación elemental de los crudos.....	2
1.3. Características típicas de los crudos producidos en México.....	2
1.4. Temperaturas de fraccionamiento en la destilación atmosférica.....	5
1.5. Temperatura de fraccionamiento de la destilación en vacío.....	6
2.1. Temperatura de fraccionamiento de la Older Shaw.....	20
4.1. Listado de instrumentos.....	40
4.2. Consumo de corriente y salida de voltaje de la válvula de vacío.....	60
4.3. Conexión de cable RS-232.....	63
4.4. Configuración del interruptor dip swich de los puertos serie.....	64
4.5. Configuración de cable RJ-45.....	66
4.6. Signal tag list report.....	96
4.7. Variables list report.....	97
4.8. Modbus address summary report.....	97
6.1. Costo de tarjetas electrónicas.....	119
6.2. Costos de termopares y transmisores.....	121
6.3. Costo de material eléctrico.....	122
6.4. Costos totales.....	122

## ***ÍNDICE DE FIGURAS***

1.1.	Esquema general del Sistema Nacional de Refinación .....	4
1.2.	Corte transversal de una columna de destilación.....	10
1.3.	Esquema de la destilación TBP.....	11
2.1	Representación esquemática de la columna de destilación Older Shaw.....	21
3.1.	Configuración de un controlador HC900.....	23
3.2.	Componentes del bastidor.....	25
3.3.	Opciones del bastidor.....	25
3.4.	Fuente de alimentación eléctrica.....	26
3.5.	Módulo del controlador.....	27
3.6.	Bloques de terminales del módulo de E/S.....	28
3.7.	Comunicación de RS-232.....	30
4.1.	Pantalla inicial de instalación del (HCD).....	33
4.2.	Ventana de acuerdo de licencia (HCD).....	33
4.3.	Ventana de información del cliente.....	34
4.4.	Componentes del HC900 a instalar.....	34
4.5.	Ejemplos de configuración.....	35
4.6.	Instalación de Firmware.....	35
4.7.	Finalización de la instalación HCD.....	36
4.8.	Diagrama de conexión 1.....	41
4.9.	Diagrama de conexión 2.....	42
4.10.	Controlador HC900.....	42
4.11.	Termomagnéticos.....	43
4.12.	Fuentes de alimentación +-15 VCD y 24 VCD.....	43
4.13.	Diagrama de conexión 3.....	44
4.14.	Tarjetas de entradas analógicas para termopares tipo K.....	45
4.15.	Diagrama de conexión 4.....	46
4.16.	Transmisores de presión.....	47
4.17.	Conexion de los transmisores de presión.....	47
4.18.	Tablilla de conexiones de los trasmisores de presión.....	48
4.19.	Tarjeta de entradas analógicas para los trasmisores de presión.....	48

4.20.	Diagrama de conexión 5.....	49
4.21.	Lazo de control del calentamiento.....	50
4.22.	Relevadores de estado sólido.....	50
4.23.	Fusibles de protección de las resistencias de calentamiento.....	51
4.24.	Tarjeta de salidas digitales para habilitar los relevadores de estado sólido a 24V.....	51
4.25.	Tablilla de conexiones de los relevadores de estado sólido.....	52
4.26.	Diagrama de alambrado 6.....	53
4.27.	Tarjeta de salidas digitales que habilitan a los electroimanes a 120VCA.....	54
4.28.	Tablillas de conexiones de los electroimanes.....	54
4.29.	Circuito de control de la válvula EV-1.....	55
4.30.	Válvula de vacío EV-1.....	55
4.31.	Circuito de control de la válvula EV-2.....	56
4.32.	Válvula de vacío EV-2.....	56
4.33.	Tarjeta de salidas digitales para habilitar las válvulas de vacío EV-1 y EV-2 a 24V...57	57
4.34.	Relevadores de 24V para habilitar las válvulas de vacío EV-1 y EV-2.....	57
4.35.	Circuito de control de la válvula 34PC01.....	58
4.36.	Diagrama del circuito de control para la valvula de vacio 34PC01.....	59
4.37.	Válvula de vacío 34PC01.....	60
4.38.	Tarjeta de salidas analógicas de 4 a 20mA para el control de la válvula 34PC01.....	60
4.39.	Tablero de control.....	61
4.40.	Puertos que contiene el módulo C30.....	63
4.41.	Comunicación por medio del RS-232.....	64
4.42.	Comunicación RS-232 a través de un Modem.....	64
4.43.	Cable directo T568A.....	66
4.44.	Cable directo T568B.....	66
4.45.	Cable cruzado 568A/568B.....	67
4.46.	Comunicación por medio del cable Ethernet.....	67
4.47.	Aplicación de la comunicación vía Ethernet y RS-232 para controlar varias plantas...68	68
4.48.	Configuración de la IP en la PC.....	69
4.49.	Propiedades puerto Network.....	69
4.50.	Configuración de la IP en el Hybrid.....	70

4.51.	Lazo de control de temperatura de la olla.....	71
4.52.	Cuadro de configuración de la entrada analógica.....	72
4.53.	Cuadro de configuraciones generales del PID.....	73
4.54.	Cuadro de configuraciones de sintonización del bloque PID.....	74
4.55.	Cuadro de configuraciones de alarma del bloque PID.....	75
4.56.	Cuadro de configuración del lazo de salida.....	76
4.57.	Cuadro de configuraciones de la temperatura del Domo.....	77
4.58.	Propiedades de la señal analógica de la temperatura de Domo.....	78
4.59.	Propiedades de la señal analógica de la temperatura del baño.....	78
4.60.	Cuadro de configuraciones de la temperatura del baño.....	79
4.61.	Control de reflujo destilado para la columna Older Shaw.....	80
4.62.	Propiedades de la salida digital.....	81
4.63.	Propiedades de las variables analógicas tiempo de apagado.....	81
4.64.	Propiedades de las variables analógicas tiempo de encendido.....	82
4.65.	Propiedades de las señales digitales.....	82
4.66.	Fórmula para el cálculo de temperatura atmosférica equivalente (AET).....	83
4.67.	Calculo de la temperatura atmosférica equivalente (AET).....	84
4.68.	Cuadro de configuración de una entrada analógica para el trasmisor de presión de 0 a... 1875 Torr.....	85
4.69.	Propiedades de las señales analógicas trasmisor de presión de 0 a 1875 Torr.....	85
4.70.	Cuadro de configuración de una entrada analógica para el trasmisor de presión de 0 a... 45 Torr.....	86
4.71.	Propiedades de las señales analógicas trasmisor de presión de 0 a 45 Torr.....	86
4.72.	Variable digital selector de presión.....	87
4.73.	Fórmula para el cálculo de factor de corrección (A).....	87
4.74.	Fórmula para el cálculo de la temperatura atmosférica equivalente (AET).....	88
4.75.	Propiedades de las señales analógicas.....	88
4.76.	Habilitación de la válvula EV-1.....	89
4.77.	Cuadro de configuración de la salida digital para la válvula EV-1.....	89
4.78.	Habilitación de la válvula EV-2.....	89
4.79.	Cuadro de configuración de la salida digital para la válvula EV-2.....	90

4.80.	Lazo de control de la válvula de vacío para controlar 2 Torr.....	91
4.81.	Cuadro de configuraciones generales del PID para la válvula 34PC01.....	92
4.82.	Cuadro de configuraciones de sintonización del bloque PID para la válvula 34PC01..	92
4.83.	Cuadro de configuraciones de la salida analógica para la válvula 34PC01.....	93
4.84.	Impresión del reporte previo.....	94
4.85.	Imprimir reporte.....	94
4.86.	Menú y submenú de FBD's.....	95
4.87.	Descarga al controlador HC900.....	97
4.88.	Ventana del software Configuration Studio.....	98
4.89.	Ventana del QUICK BUILDER para la construcción de Points, Channel.....	98
4.90.	Ventana desplegada por Quick Builder al hacer clic derecho sobre los iconos ya sea de Channels, Controllers o Points.....	99
4.91.	Ventana para crear un Channels.....	99
4.92.	Asignación del puerto de comunicación.....	100
4.93.	Ventana para crear el controlador 40AHC900.....	101
4.94.	Ventana para crear el controlador 40BHC900.....	102
4.95.	Ventana de construcción de un Points.....	103
4.96.	Direccionamiento del punto construido.....	105
4.97.	Características de la ventana de Control.....	106
4.98.	Esquemático de la columna de Destilación Older Shaw.....	107
4.99.	Datos de la columna de destilación.....	108
4.100.	Lazo de control para un set point programable.....	108
4.101.	Tendencias.....	109
5.1.	Menú del sistema.....	111
5.2.	Lista de tendencias.....	112
5.3.	Tendencias.....	113
5.4.	Tendencia de temperatura.....	114
5.5.	Tendencia de temperatura.....	115
5.6.	Tendencia de temperatura de domo, fondo y baño.....	116
5.7.	Tendencia de presión del transmisor de presión 0 a 1875 Torr.....	117
5.8.	Tendencia de presión del transmisor de presión 0 a 45 Torr.....	118

# **OBJETIVO GENERAL**

Efectuar la reconfiguración del sistema de control de la columna de destilación Older Shaw, ubicada en el Laboratorio de Plantas Piloto y Escalamiento de Catalizadores del Instituto Mexicano del Petróleo (IMP), efectuando la adaptación, configuración y puesta en marcha del sistema de control, mejorando su funcionamiento así como también su comunicación hacia otras plantas, incrementando la seguridad y los requerimientos de operación del proceso.

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Desarrollar la documentación de ingeniería básica para la instrumentación y control de la columna de destilación Older Shaw.
- Instalar y alambrear el tablero de control y la instrumentación de la columna de destilación Older Shaw.
- Realizar la configuración del controlador híbrido a la columna de destilación Older Shaw.
- Adquisición automática de datos en la columna de destilación Older Shaw.
- Efectuar la prueba de funcionalidad, en cada uno de los elementos que conforman el sistema de control, en las condiciones de operación de la columna de Destilación Older Shaw.

# JUSTIFICACIÓN

Dentro del Laboratorio de Plantas Piloto y Escalamiento de Catalizadores del Instituto Mexicano del Petróleo (IMP), algunas plantas dedicadas a la destilación, como la Older Shaw, tienen un sistema de control obsoleto, de lenta respuesta, sin adquisición de datos automática y sin interconectividad a otros sistemas. Por estas razones, se requiere su modernización, que incluye la actualización y reconfiguración del sistema de control con señales analógicas y digitales y el enlace del monitoreo y control al sistema SCADA ya instalado en las demás plantas piloto, con la finalidad de facilitar la comunicación entre los sistema de control y su adquisición de datos.

Por lo anterior, en este proyecto se decidió modernizar el sistema de control de la columna de destilación Older Shaw, instalando un controlador híbrido para cubrir las especificaciones anteriores y adicionando las siguientes:

- Mejorar la calidad del producto destilado.
- Optimizar y hacer más eficiente el proceso de destilación.
- Mantener las condiciones de seguridad para el operador y el proceso de destilación.
- Reducir costos de operación.

Como se va a explicar a lo largo de esta tesis, en la descripción del proceso de destilación, la mayoría de la instrumentación se opera de forma manual. Por esta razón, es posible mejorar el sistema de control, que está implementado por módulos individuales de temperatura (reóstatos), e indicadores de temperatura, así como otros instrumentos que operan de forma manual, y son obsoletos para las diferentes secciones de la Planta de Destilación.

Al exponer esta problemática, se ha decidido llevar a cabo, en conjunto con profesionistas expertos del Instituto Mexicano del Petróleo (IMP) este proyecto de reconfiguración del sistema de control de la Columna de Destilación Older Shaw, en el cual, participé y me aportará experiencia en el control de procesos industriales, entendiendo cómo se planea y se lleva a cabo un proyecto en un proceso de tal magnitud, desarrollando la ingeniería de instrumentación, control del sistema, el armado de tableros de control y las comunicaciones industriales.

# INTRODUCCIÓN

Uno de los procesos fundamentales en la refinación del petróleo, desde el punto de vista técnico, económico y ambiental, y que requiere de mayor investigación tecnológica es la destilación.

La Destilación es la operación primaria fundamental para el refinamiento del petróleo. Su objetivo es separar, comúnmente mediante calor, los diferentes componentes líquidos de un crudo, aprovechando los diferentes puntos de ebullición (temperaturas de ebullición) de cada una de las sustancias a separar, es decir; es un proceso que consiste en calentar un líquido hasta que sus componentes más volátiles pasan a la fase de vapor y a continuación, se enfría el vapor, para recuperar dichos componentes en forma líquida, por medio de la condensación.

En el caso del crudo, la destilación o fraccionamiento es una operación que permite separar cortes o combustibles de una mezcla compleja de hidrocarburos. El principio físico en el que se basa el proceso es la diferencia de volatilidad de los componentes, por este motivo en las columnas fraccionadoras se adecuan las condiciones termodinámicas para obtener o "condensar" los combustibles especificados. El fraccionamiento del crudo se efectúa en dos etapas, en primer lugar se procesa en unidades de Destilación Atmosférica, donde la presión de trabajo es típicamente  $1 \text{ Kg/cm}^2$ . Los combustibles obtenidos por este fraccionamiento son enviados a tanques de almacenamiento o como carga de otras unidades que completan su refinación. Gran parte del crudo procesado en las unidades de Destilación Atmosférica no se vaporiza, ya que para lograrlo sería necesario elevar la temperatura de trabajo sobre el umbral de descomposición térmica. Por este motivo, este residuo atmosférico denominado crudo reducido, se bombea a la Unidad de Destilación de Vacío, donde se trabaja a una presión absoluta de 10 mm Hg (típico), para efectuar la destilación a mayores temperaturas, sin descomponer la estructura molecular.

Dentro del laboratorio, este tipo de destilación se lleva a cabo en los equipos de Destilación Older Shaw. En estos equipos se desarrollan destilaciones de aceites crudos fracciones pesadas de hidrocarburos, residuos atmosféricos y residuos de vacío; con el propósito de conocer su distribución de destilados. Estas unidades son capaces de procesar lotes desde 1 hasta 40 litros de carga.

La operación en esta Columna de Destilación Older Shaw es manual ya que los operadores llevan el registro de las variables de proceso en registros escritos, por lo cual es necesario modernizar el sistema de control para lograr un óptimo registro de variables y hacer eficiente la destilación para cumplir con las normas establecidas.

En el presente trabajo, se propone la implementación de un sistema de control híbrido en la Columna de Destilación Older Shaw, para cumplir con las normativas de operación, seguridad y calidad.

# CAPÍTULO 1

## DESTILACIÓN DE LA OLDER SHAW

En este capítulo, se describen las características del Petróleo, la importancia de la destilación dentro del sistema de Refinación Nacional, y una breve descripción de la Columna de Destilación Older Shaw.

### 1.1 EL PETRÓLEO Y SU TRATAMIENTO.

El Petróleo Crudo, o simplemente crudo, es una mezcla homogénea de compuestos orgánicos, principalmente hidrocarburos insolubles en agua, la cual se produce en el interior de la tierra, y se forma por la transformación bacteriana de materia orgánica. La composición del petróleo crudo se define en la Tabla 1.1.

*Tabla 1.1. Composición básica del Petróleo Crudo.*

<b>ELEMENTOS</b>	<b>PORCENTAJE</b>
<b>Carbón</b>	<b>83 a 87%</b>
<b>Hidrogeno</b>	<b>10 a 14 %</b>
<b>Nitrógeno</b>	<b>0.1 a 2%</b>
<b>Oxigeno</b>	<b>0.1 a 1.5%</b>
<b>Azufre</b>	<b>0.3 a 6%</b>
<b>Metales</b>	<b>Menor a 0.1%</b>

Una forma de distinguir los diferentes tipos de petróleo es a través de las curvas de Destilación TBP (Temperatura de Ebullición Real), las cuales definen los rendimientos que se pueden obtener de los productos por separación directa. Por ejemplo, mientras que en el crudo Istmo se obtiene un rendimiento directo volumétrico de gasolina del 26%, en el Maya solo se obtiene el 15.7 %.

La industria mundial de hidrocarburos líquidos clasifica el Petróleo de acuerdo con su densidad API (parámetro internacional del Instituto Americano del Petróleo), que diferencia las calidades del crudo. En la Tabla 1.2 se muestra la clasificación.

*Tabla 1.2. Clasificación elemental de los crudos.*

<b>ACEITE CRUDO</b>	<b>DENSIDAD g/cm<sup>3</sup></b>	<b>GRADOS API</b>
<b>Extra pesado</b>	<b>Mayor a 1.0</b>	<b>10.0</b>
<b>Pesado</b>	<b>1.0 a 0.92</b>	<b>10.0 a 22.3</b>
<b>Mediano</b>	<b>0.92 a 0.87</b>	<b>22.3 a 31.1</b>
<b>Ligero</b>	<b>0.87 a 0.83</b>	<b>31.1 a 39.0</b>
<b>Súper ligero</b>	<b>Menor a 0.83</b>	<b>Mayor a 39.0</b>

En nuestro país, el crudo cambia sus características por varios factores, uno de ellos es la procedencia y otro es como se prepara para la exportación. Bajo una metodología conocida como UOP (Universal Oil Products), este factor que es  $K_{UOP}$  o como también es conocido como el factor Watson  $K_w$ , el cual fue introducido por investigadores de la sociedad Universal Oil Products, dicho factor nos permite identificar o caracterizar el tipo de crudo en cuanto a su composición química, este factor parte de la base de la densidad de los hidrocarburos la cual se clasifica de la siguiente manera en: Parafínicos, a los que poseen un factor "K" de 12.5 a 12.9; Intermedios, con una "K" de 11.5 a 12.1 y Naftenicos o Asfálticos, que poseen una "K" de 10.5 a 11.45; como se ve en la Tabla 1.3.

*Tabla 1.3. Características típicas de los crudos producidos en México.*

<b>Tipo de crudo</b>	<b>Grados API</b>	<b>% Peso azufre</b>	<b>Factor "K" UOP</b>
<b>OLMECA(Crudo Súper Ligero)</b>	<b>39.3</b>	<b>0.8%</b>	<b>12</b>
<b>ISTMO(Crudo Ligero)</b>	<b>33.6</b>	<b>1.3%</b>	<b>11.89</b>
<b>MAYA(Crudo Pesado)</b>	<b>22</b>	<b>3.3%</b>	<b>11.7</b>

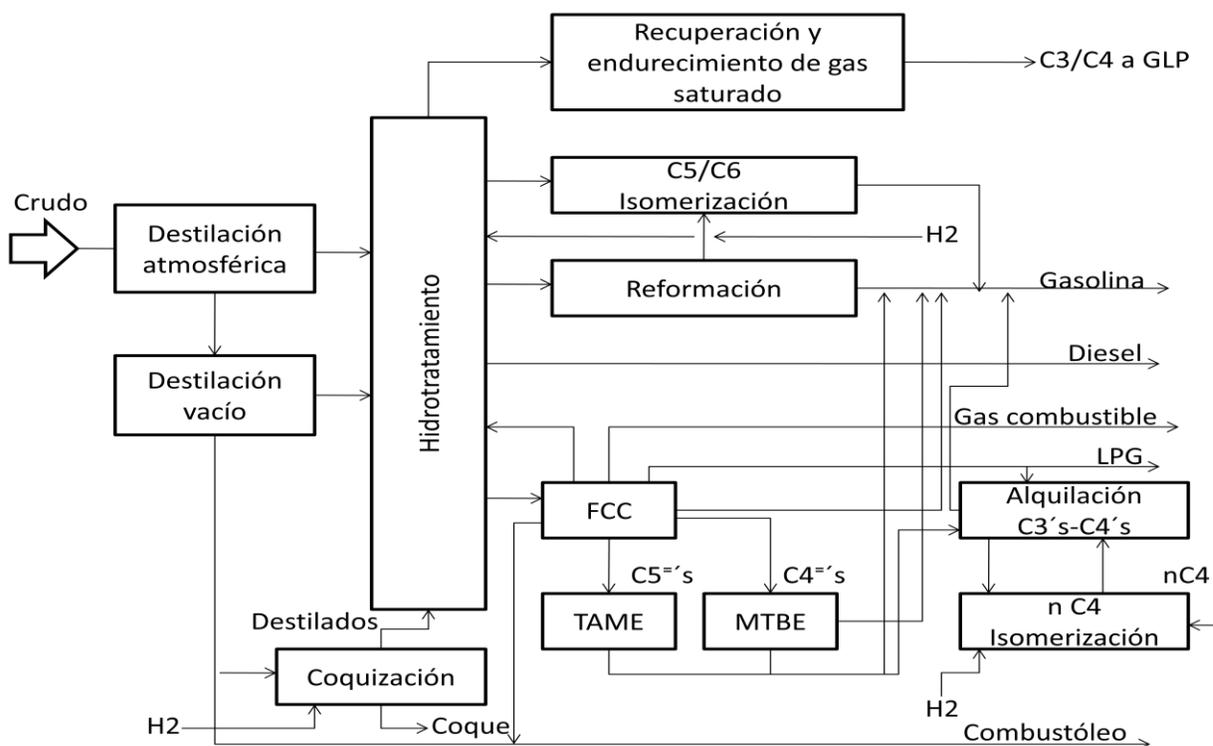
## **1.2 LA IMPORTANCIA DE LA DESTILACIÓN EN EL SISTEMA DE REFINACIÓN.**

El Sistema Nacional de Producción de Petróleo inicia en la exploración y producción, donde se extrae el crudo mezclado con gas, agua, arena, sólidos y partículas. Ya que es extraído, se lleva a cabo una separación en tres fases, y el crudo líquido se manda al Sistema de Refinación o Petroquímica, a través de oleoductos y el gas, a través de Gasoductos.

El crudo llega a las refinerías, queda contenido en tanques de almacenamiento y, antes de fraccionarlo, se deben retirar las sales que son las que originan ataques corrosivos a líneas y equipos, así como la presencia excesiva de sodio en residuos atmosféricos o de vacío propicia la formación de carbón, que al someterlos a elevadas temperaturas, ocasionan obstrucciones de líneas y equipos.

Ya que se realizó el proceso de desalado, el crudo pasa a las torres fraccionadoras de destilación atmosférica donde se obtienen: gases volátiles, gas licuado, gasolina ligera, nafta, turbosina, queroseno, gasóleo ligero primario y residuo atmosférico.

Existe un proceso subsecuente conocido como Destilación al vacío, donde se recuperan fracciones de gasóleo del residuo atmosférico, mediante la reducción de sus temperaturas de puntos de ebullición, al operar la torre fraccionadora de vacío a 0.013 bar (10mmHg). Hay dos tipos de torres fraccionadoras de destilación al vacío, las que producen aceites básicos para la formulación de aceite y las que producen gasóleos de vacío (Ligero y Pesado), las cuales pasan a ser carga de las plantas HDS de gasóleo. Como se puede ver, la destilación es un proceso fundamental en la industria de la refinación pues permite hacer una separación de los hidrocarburos aprovechando sus diferentes puntos de ebullición. En la Figura. 1.1 se muestra la ubicación de la Destilación en el Sistema de Refinación Nacional.



*Figura 1.1. Esquema General del Sistema Nacional de Refinación.*

### 1.3 ¿QUÉ ES LA DESTILACIÓN?

La destilación es la operación de separar, mediante vaporización y condensación, los diferentes componentes líquidos, sólidos disueltos en líquidos o gases licuados de una mezcla, aprovechando los diferentes puntos de ebullición (temperaturas de ebullición) de cada una de las sustancias, ya que el punto de ebullición es una propiedad intensiva de cada sustancia, es decir, no varía en función de la masa o el volumen, aunque sí en función de la presión.

#### 1.3.1 TIPOS DE DESTILACIÓN.

##### a) DESTILACIÓN SIMPLE.

La Destilación simple se utiliza cuando la mezcla de productos líquidos a destilar contienen únicamente una sustancia volátil, o bien, cuando ésta contiene más de una sustancia volátil, pero el punto de ebullición del líquido más volátil difiere del punto de ebullición de los otros componentes en al menos 80°C.

## b) DESTILACIÓN ATMOSFÉRICA.

La destilación a presión atmosférica es aquella que se realiza a presión ambiental. Se utiliza fundamentalmente cuando la temperatura del punto de ebullición se encuentra por debajo de la temperatura de descomposición química del producto. La columna de Destilación atmosférica en el Sistema de Refinación Nacional es una torre vertical de hasta 80 pies de alto y 13 pies de diámetro y contiene de 30 a 50 platos para la destilación de componentes, que corresponden a diferentes temperaturas como se muestra en la tabla 1.4.

*Tabla 1.4. Temperaturas de fraccionamiento en la destilación atmosférica*

Fracción	Rango de ebullición °C (ASTM)	No. de carbonos
Gasolina	32.2 - 86.7	C <sub>5</sub> - C <sub>9</sub>
Queroseno	165.6 - 282.2	C <sub>10</sub> - C <sub>14</sub>
Gasóleo ligero	215.6 - 337.8	C <sub>13</sub> - C <sub>17</sub>
Gasóleo pesado	271.1 - 443.3	C <sub>19</sub> - C <sub>25</sub>
Residuo atm.	343.33+	C <sub>20</sub> +

## c) DESTILACIÓN AL VACÍO.

La destilación a presión reducida o al vacío consiste en disminuir la presión en la destilación, con la finalidad de provocar una disminución del punto de ebullición del componente que se pretende destilar. Se utiliza fundamentalmente cuando el punto de ebullición del compuesto a destilar es superior a la temperatura de descomposición química del producto y para llevar a cabo este tipo de destilación es necesario un sistema de vacío.

Debido a que una temperatura mayor a 400°C desintegraría parte del hidrocarburo, promoviendo la formación de coque, se utiliza la destilación a vacío para bajar el punto de ebullición de los hidrocarburos, permitiendo una separación a menor temperatura. Típicamente en el Sistema de Refinación Nacional es una columna empacada de 45 pies de diámetro. A continuación se muestra la tabla 1.5 donde se muestra la temperatura de fraccionamiento en vacío.

**Tabla 1.5. Temperatura de Fraccionamiento en vacío.**

<b>Fracción</b>	<b>Rangos de ebullición °C (ASTM)</b>	<b>No. Carbones</b>
<b>Gasóleo ligero</b>	<b>398.9 - 465.8</b>	<b>C<sub>24</sub> - C<sub>29</sub></b>
<b>Gasóleo pesado</b>	<b>450.1 - 536.3</b>	<b>C<sub>30</sub>- C<sub>35</sub></b>
<b>Residuo atm.</b>	<b>537.8+</b>	<b>C<sub>39</sub> +</b>

#### **d) DESTILACIÓN FRACCIONADA.**

La Destilación fraccionada se utiliza cuando la mezcla de productos líquidos que se pretende destilar contiene sustancias volátiles de diferentes puntos de ebullición con una diferencia entre ellos menor a 80°C.

Se puede realizar a presión atmosférica o a presión reducida (Vacío). Al calentar una mezcla de líquidos de diferentes presiones de vapor, el vapor se enriquece en el componente más volátil y esta propiedad se aprovecha para separar los diferentes compuestos líquidos mediante este tipo de destilación. Su característica más importante es que necesita una Columna de Fraccionamiento.

#### **e) DESTILACIÓN POR ARRASTRE DE VAPOR.**

La destilación por arrastre de vapor posibilita la purificación o el aislamiento de compuestos de punto de ebullición elevado mediante una destilación a baja temperatura (siempre inferior a 100°C). Es una técnica de destilación muy útil para sustancias de punto de ebullición muy superior a 100°C y que descomponen antes o al alcanzar la temperatura de su punto de ebullición.

La destilación por arrastre de vapor es una técnica de destilación que permite la separación de sustancias insolubles en H<sub>2</sub>O y ligeramente volátiles de otros productos no volátiles. A la mezcla que contiene el producto que se pretende separar, se le adiciona un exceso de agua y el conjunto se somete a destilación. En el matraz de destilación se recuperan los compuestos no volátiles y/o solubles en agua caliente y en el matraz colector se obtienen los compuestos

volátiles e insolubles en agua. Finalmente, el aislamiento de los compuestos orgánicos recogidos en el matraz colector se realiza mediante una extracción.

### **1.3.2 TIPOS DE COLUMNAS DE DESTILACIÓN**

Hay varios tipos de Columnas de Destilación, cada una diseñada para un determinado tipo de separación y cada una difiere de la otra en términos de complejidad. Una manera de clasificar las Columnas de Destilación es observar cómo operan. Por tanto, se tienen:

- Columnas por Lotes o Batch
- Columnas Continuas

La elección de uno u otro tipo de destilación a menudo depende de la clase de industria y de la cantidad a procesar. Cuando se tratan de destilar grandes volúmenes, las operaciones continuas son las más convenientes. En cambio, cuando las cantidades son más pequeñas, como es el caso en la industria alimenticia, alcoholera, farmacéutica, química fina (aditiva, aromatizante), o de las muy especializadas, se prefiere la destilación Batch.

#### **a) COLUMNAS POR LOTES O BATCH.**

En una operación Batch, la alimentación a la columna es introducida por lotes. Esto es, la columna se carga con un lote y es entonces cuando se lleva a cabo el proceso de destilación. Cuando el objetivo deseado es alcanzado, se introduce el siguiente lote de alimentación.

#### **b) COLUMNAS CONTINUAS.**

En contraste con el tipo anterior de columnas, una Columna Continua recibe un flujo de alimentación continuo. No ocurren interrupciones a menos que se presenten problemas con la Columna o en los alrededores de las unidades de proceso. Son capaces de manejar grandes cantidades de materia prima y son las más comunes de los dos tipos.

Las columnas continuas pueden ser clasificadas de acuerdo a:

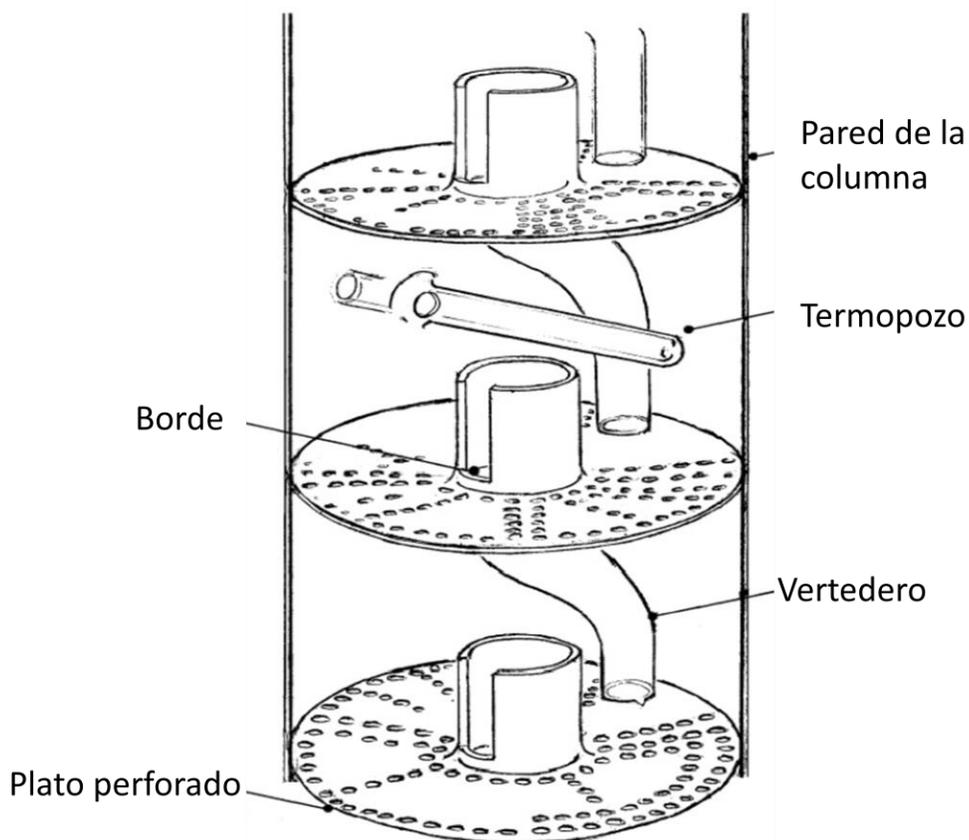
- i. La naturaleza del flujo de alimentación que se está procesando:
  - Columnas binarias: el flujo de alimentación contiene solo dos componentes
  - Columna multicomponente: el flujo de alimentación contiene más de dos componentes
- ii. El número de flujos de productos que posea:
  - Columna multiproducto: columna que tiene más de dos flujos de productos.
- iii. Los dispositivos internos:
  - Columna de platos: donde platos de varios diseños son usados para manejar el líquido, de manera que se provee un mejor contacto líquido-vapor, y por tanto una mejor separación
  - Columna de relleno: donde en lugar de platos, se usan rellenos para acentuar el contacto líquido-vapor.

### 1.3.3 PRINCIPALES COMPONENTES DE UNA COLUMNA DE DESTILACIÓN

Las Columnas de Destilación constan de varios componentes, cada uno es usado ya sea para transferir energía calorífica o transferir materia. Una Columna de Destilación típica contiene los siguientes componentes:

- Una columna de fraccionamiento, donde tiene lugar la separación de los componentes del líquido, ésta debe ser fabricada en vidrio y además debe incluir divisores de reflujo.
- Componentes internos de la columna tales como platos y/o empaquetaduras, que son dispositivo que se encuentra en la columna y que sirve para poner en contacto el vapor que sube en la columna con el líquido que baja de ésta.
- Una olla o matraz, que permite alojar la carga del crudo y donde se inicia el calentamiento para así suministrar la vaporización necesaria a la destilación.
- Un condensador que se usa para enfriar y condensar el vapor saliente de la parte superior de la columna, que debe tener la capacidad de condensar todos los vapores de  $C_4$  y  $C_5$  presentes en el crudo.
- Un tanque de reflujo, que maneja el vapor condensado que viene de la parte superior de la columna de manera que el líquido (reflujo) pueda ser recirculado a la columna.
- Un indicador de temperatura como puede ser un termopar con su tubo protector llamado termopozo el cual está ubicado en el domo, para permitir hacer los cortes de temperatura adecuadamente.
- El vertedero, es un elemento que se encuentra en la parte interna de la columna, permite que el líquido pueda descender a la olla o matraz nuevamente.
- El borde, es un elemento que se encuentra de igual manera en la parte interna de la columna y permite limitar el descenso del líquido.

En la figura 1.2 se observa un corte transversal de una columna de destilación.



*Figura 1.2. Corte transversal de una Columna de Destilación.*

#### 1.4. DESTILACIÓN OLDER SHAW

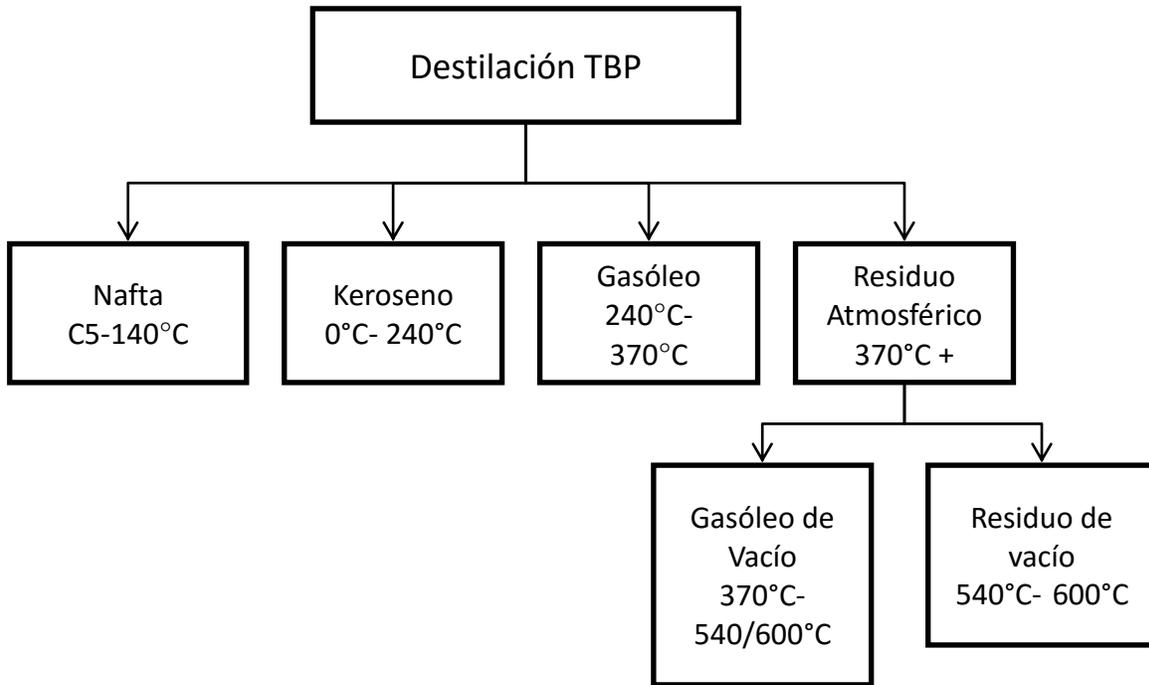
La Columna de Destilación Older Shaw es una columna que debe cumplir con los lineamientos establecidos por el método normalizado ATSM D2892. La ASTM (American Society for Testing and Materials) es la sociedad que está entre los mayores contribuyentes técnicos de la Organización Internacional de Normalización ISO y mantiene un sólido liderazgo en la definición de los materiales y métodos de prueba en casi todas las industrias. En el método ATSM D2892-13 se encuentra detallado el proceso para llevar a cabo una Destilación a presión atmosférica y vacío, así como también el proceso que se utiliza para la construcción de la columna, describiendo los cálculos precisos de los platos teóricos, así como el diámetro interno de la Columna. El principal objetivo de la Columna de Destilación Older Shaw es el de extraer los hidrocarburos presentes naturalmente en el crudo por medio de la destilación, sin afectar la estructura molecular de los componentes.

En las Unidades de Destilación Older Shaw se realiza la destilación a presión atmosférica, con el objetivo de obtener combustibles terminados y cortes de hidrocarburos que serán procesados en otras unidades, para convertirlos en combustibles más valiosos.

En esta unidad también se realiza la destilación a vacío, para obtener cortes intermedios como carga para las unidades de conversión, las cuales, los convierten en productos de mayor valor y de fácil comercialización.

Como la Columna de Destilación Older Shaw efectúa los dos procesos de destilación a presión atmosférica y vacío, es capaz de llevar a cabo la evaluación del petróleo a diferentes temperaturas TBP como se muestra en la Figura. 1.3.

**Figura 1.3. Esquema de la Destilación TBP.**



### 1.4.1 PARÁMETROS TERMODINÁMICOS QUE GOBIERNAN LA DESTILACIÓN OLDER SHAW.

Los parámetros termodinámicos que gobiernan la destilación son la temperatura y presión del sistema, por tal motivo, se definen ciertas presiones y temperaturas que puedan afectar el equilibrio entre las fases vapor-líquido.

- **Temperatura de transferencia.** es la máxima temperatura a la que se eleva el crudo para vaporizarlo y el rendimiento en destilados depende de esta variable.
- **Presión de trabajo.** Es la presión a la cual se produce la operación, si bien afecta directamente el equilibrio líquido-vapor, generalmente se trabaja a la menor presión posible y por ende, no se varía frecuentemente.
- **Temperatura de domo.** Es la temperatura en la zona superior de la columna fraccionadora, se controla con el reflujo que es la fuente fría que genera la corriente de líquidos que se contactan con los vapores, produciéndose los equilibrios líquido-vapor.
- **Temperatura del corte.** Es la temperatura a la cual se realiza la extracción lateral de un combustible. Esta temperatura es controlada con el reflujo del domo y reflujos circulantes. Estos últimos tienen un efecto semejante que el reflujo de cabeza y además precalientan el crudo, recuperando energía.

### 1.5 SUMARIO.

En este capítulo, se describieron las propiedades del petróleo así como su composición, también se definió la importancia de la destilación en Sistema de Refinación Nacional. Además se dieron a conocer algunos tipos de columna y sus componentes, también se describió el principio de funcionamiento de la Columna de Destilación Older Shaw y la importancia del método ATSM 2892-13.

# CAPÍTULO 2

## DESCRIPCIÓN Y ESPECIFICACIONES DE LA OLDER SHAW

En el área de Plantas Piloto y Escalamiento de Catalizadores del Instituto Mexicano del Petróleo (IMP), se cuenta con la Columna de Destilación Older Shaw, cuyas descripciones generales se describirán en este capítulo, así como también su proceso.

### 2.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL FUNCIONAMIENTO DE LA COLUMNA.

#### a) Alimentación del hidrocarburo

- La alimentación del hidrocarburo se realiza manualmente, vertiendo el hidrocarburo, en el matraz de Destilación.
- La medición de la carga es de 1 L a 40 L.
- La presión de sistema, depende del tipo de Destilación que se esté realizado, ya que la Older Shaw, maneja tanto destilación atmosférica, presión de operación es de 585 mm Hg, como la destilación de vacío, presión de 100 mm Hg. hasta 2 mm Hg.

#### b) Sistema de calentamiento

- El calentamiento del matraz para que la ebullición completa, pueda ser mantenida en todos los niveles de presión. Esto se realiza con una mantilla de calentamiento eléctrico para calentar la parte media inferior del matraz.
- La potencia mínima requerida para proporcionar la ebullición completa del petróleo crudo es aproximadamente 0.125 Watts/ml de carga. La parte superior del matraz es cubierto con una mantilla de calentamiento para evitar pérdidas de calor en esa área.

#### c) Columna de fraccionamiento

- Debe contener empaque o platos reales y reunir las especificaciones declaradas.
- El diámetro interno esta entre 25 y 70 mm.

- La eficiencia es entre 14 y 18 platos teóricos a reflujo total.
- La columna de fraccionamiento es fabricada de vidrio integral, e incluye un divisor de reflujo totalmente cerrado, en una chaqueta adiabática.
- El divisor de reflujo ajustable se localiza arriba de la columna. Este tiene la capacidad de dividir el condensado,

d) Condensador

- Tiene la capacidad suficiente para condensar todo los vapores de  $C_4$  y  $C_5$  del crudo, en la proporción especificada, usando un refrigerante a temperatura de  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

e) Trampas frías

- Dos trampas enfriadas con hielo seco y una mezcla de alcohol, serán conectados en serie, a una línea de abertura del condensador, cuando hay hidrocarburos ligeros presentes, como en el inicio de la Destilación. Para la Destilación en vacío, se utiliza una trampa enfriada con hielo seco, para proteger el medidor de vacío de los vapores.

f) Colector de gas

- El gas condensable, puede ser medido con un gasómetro, conectado a la salida en la trampa fría.

g) Colector de destilado o de la fracción

- Permite la colección de los destilados sin interrupción, bajo presión atmosférica, o a presión reducida. Esto también permite el retiro del producto del sistema de vacío, sin turbar las condiciones en la columna.

h) Colectores del producto

- Los colectores son de tamaño apropiado para la cantidad de petróleo crudo destilado. La capacidad recomendada es desde 100 a 1000 ml. Éstos son graduados para permitir una lectura cercana al 1 %.

### **2.1.1. FUNCIONAMIENTO DE LA DESTILACIÓN A PRESIÓN REDUCIDA.**

#### a) Bomba de vacío

- El sistema de vacío es capaz de mantener la presión de operación en todo el sistema. Este tiene la capacidad para liberar la presión en el colector (probeta) desde atmosférica a 2 mm Hg en menos de 30 segundos, así como evitar disturbios del sistema, durante el vaciado de los colectores a vacío.
- Motor monofásico de 90V a 132V, 60 Hz.
- Potencia 0.55Kw.
- RPM 1800.

#### b) Medidor de vacío

- El punto de conexión del sistema de medición de vacío, debe estar unido a la cabeza, cerca del divisor de reflujo. La tubería conectada, puede ser de diámetro suficiente, para asegurar que ninguna gota intervenga en la medición de presión. En ningún caso, la conexión del medidor de vacío, debe estar cerca de la bomba de vacío.
- Todos los medidores serán cuidadosamente protegidos de vapores condensables, especialmente de vapor de agua, con la trampa fría, mantenida a la temperatura del hielo seco.

#### c) Regulador de presión

El regulador, debe mantener la presión en el sistema. El control automático, puede lograrse con una válvula solenoide, colocada entre la fuente de vacío y el tanque de amortiguamiento, de al menos 10 litros de capacidad. Alternativamente, una válvula manual, puede ser manipulada por un operador.

#### d) Sensor de temperatura (Termopar)

- Es el elemento primario para el control de temperatura; existen diferentes tipos de termopar, como J, K, S, E, etc. Se tiene instalado el tipo K, por su amplia variedad de aplicaciones. Su rango de temperatura, va desde -200 °C a +1372°C, tiene buena resistencia a la oxidación, y bajo costo.
- El extremo del sensor se coloca en la parte superior del empaque, o de los platos, lo más próximo al divisor de reflujo, pero nunca en contacto con el líquido de reflujo.

- La temperatura de vapor debe ser medida con un error mínimo de 0.5°C o mejor y ser medida con una resolución de 0.1°C o mejor. La temperatura del líquido, debe tener un error de 1°C o mejor, y debe ser medida con una resolución de 0.5°C o mejor. Las temperaturas se registran automáticamente.

e) Manómetros de vacío

- La calibración del McLeod de inclinación (maroma) o un manómetro de mercurio son estándares primarios y pueden ser usados cuando son debidamente utilizados.

## **2.2. DESTILACIÓN ATMOSFÉRICA DE LA COLUMNA OLDER SHAW.**

Este tipo de Columna de Destilación se rige mediante el método ATSM D2892-13 (American Society for Testing and Materials), y se debe seguir al pie de la letra todos los pasos indicados en este.

Antes de realizar una Destilación, se debe llevar a cabo la limpieza de los accesorios de vidrio, para así evitar tener residuo de crudo, y obtener una destilación más limpia; así como verificar que el sistema no tenga fugas de presión, y el sistema de calentamiento esté funcionando adecuadamente.

Una vez que se verifica que todo está funcionando adecuadamente, se debe colocar un agitador, o algunas piezas de vidrio, o porcelana, en la olla o matraz, para controlar la ebullición del crudo. Esto solo se debe realizar cuando el crudo es muy ligero, cuando el crudo es pesado, no hay necesidad de hacerlo.

También se debe tener en cuenta, el mínimo de error el cual debe estar dentro del  $\pm 5\%$  la masa del aceite crudo, correspondiente al volumen deseado de la carga. Se pesa, lo más cercano al 1% de error, esta cantidad de muestra en la olla, la cual tiene un brazo lateral, que es utilizado como un termopozo donde está inmerso un termopar tipo K, para indicar y controlar la temperatura del fondo de la columna.

Se inicia la circulación de refrigerante, a una temperatura no mayor de -20 °C, en el condensador, para después aplicar temperatura al matraz, en una proporción que los vapores alcancen el domo de la columna, entre 20 y 50 minutos después del inicio; en la parte superior,

conocida como domo, se localiza un termopar tipo K, el cual mide y controla, la temperatura del domo, que es la más importante del proceso del destilado.

Se inicia la operación de la columna a reflujo total, hasta que el vapor del domo alcance el equilibrio, en máximo 15 minutos, después de que la primera gota de condensado, aparezca en el divisor de reflujo. Se registra la temperatura de vapor, cuando aparece la primera gota de condensado en el divisor de reflujo, y después de los 15 minutos de reflujo total, se inicia la destilación, y se procede a drenar y pesar los hidrocarburos líquidos ligeros contenidos en las trampas de hielo seco. Se almacena el hidrocarburo en contenedores sellados para evitar que se escapen los ligeros.

Se guardan los recipientes a la temperatura de hielo seco, para asegurar, que no se pierdan los ligeros volátiles. La primera trampa próxima al condensador, contiene toda la muestra. Si existe condensado en la segunda trampa, se unen las muestras de las trampas. Se reporta el peso del líquido recuperado en trampas.

Si se requiere analizar el gas, se debe recolectar la muestra después de la trampa, en un balón de gas, para su análisis, reportando el peso de gas recuperado. Es muy importante que la temperatura se mantenga debajo de  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , en las líneas del enfriador que se suministra en el condensador. Si se dispone de la chaqueta que cubre la columna, se debe controlar la temperatura y mantener la temperatura de la chaqueta de la columna, de  $0\text{ a }5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , debajo de la temperatura de vapor (domo).

La relación de reflujo/destilado (R/D) es de 5:1 y el tiempo de ciclo total entre 18 y 30 segundos. Una R/D de 20/4 es recomendable.

Se continúa tomando los cortes o lecturas, hasta alcanzar la temperatura máxima. No se debe permitir que la temperatura de vapor exceda  $210\text{ }^{\circ}\text{C}$ , ni la temperatura de ebullición del líquido exceda  $310\text{ }^{\circ}\text{C}$ . En caso de que suceda esto, se debe cerrar la válvula de reflujo, suspender el calentamiento y permitir que el líquido del matraz se enfríe a una temperatura tal, que la destilación pueda comenzar a (100 mm Hg) sin inundar.

Para enfriar el líquido del matraz rápidamente, se debe de aplicar una corriente suave, de aire comprimido sobre el matraz, después de haber retirado la mantilla de calentamiento superior.

La medida de seguridad que se debe tener en cuenta es la de no mandar flujos grandes de aire frío.

### **2.3. DESTILACIÓN A 100 mm Hg DE LA COLUMNA OLDER SHAW.**

Cuando se requieren cortes a temperaturas más elevadas, la destilación puede continuar a presiones reducidas, es decir, debajo de la presión atmosférica, a una temperatura máxima del líquido, tal que pueda soportar, sin la descomposición de la muestra. Esta temperatura, en muchos casos, está cerca de la temperatura de 310 °C. En ningún caso se deberá realizar cortes dentro de 5 °C de temperatura en el inicio de la destilación, porque la columna no estará en equilibrio. En estos casos, es preferible terminar la etapa atmosférica a menor temperatura de domo, para evitar que el corte quede dentro de los 5°C referidos.

Para realizar la destilación a 100 mm Hg, se debe proceder a conectar una bomba de vacío y un sistema de control de presión reducida al equipo. Se debe arrancar la bomba de vacío y ajustar la presión, descendiendo gradualmente al valor de 100 mm Hg. La temperatura del líquido en el matraz debe de ser menor a la temperatura de ebullición, a 100 mm Hg. Si el líquido empieza a ebullición antes de que la presión se alcance, se debe aumentar la presión y luego enfriar hasta que la presión deseada se logre, sin hervir el líquido.

Una vez que se tienen las condiciones, se eleva temperatura, con una velocidad de calentamiento para mantener la velocidad de destilado requerida.

Al final de cada punto de corte, o porcentaje en volumen, se deben registrar las siguientes variables: las observaciones siguientes:

- Tiempo en horas y minutos,
- Volumen en mililitros del destilado observado a temperatura ambiente,
- Temperatura de vapor en °C, lo más cercano a  $\pm 0.5$  °C.
- Temperatura de ebullición del líquido en °C, lo más cercano a  $\pm 1$  °C.
- Presión de operación en la columna, en mm Hg absolutos.
- Temperatura corregida AET, usando ecuaciones o programas específicos.

Se debe continuar tomando cortes, hasta el punto deseado, o antes, si la muestra da signos de craqueo. El craqueo es evidenciado por la generación de gases, indicado por aumento de presión, así como, aparición de niebla en el matraz. No se debe permitir que la temperatura de ebullición del líquido exceda 310 °C.

Es aconsejable que el controlador de vacío automático, puede tener un ascenso ligero en la presión, debido al craqueo. Se requiere una estrecha vigilancia, para detectar signos de craqueo.

#### **2.4. DESTILACIÓN A MÁS BAJAS PRESIONES DE LA COLUMNA OLDER SHAW.**

Si el punto final del corte no ha sido alcanzado, la destilación puede continuar a más bajas presiones, de acuerdo a las limitaciones anteriores. Solo un nivel de presión entre 100 mm Hg y 2 mm Hg, es permitido. Cuando el punto máximo del corte es 400°C AET, se recomienda trabajar a 2 mm Hg. Se procede a ajustar la presión al nivel deseado. Si se alcanza la ebullición del líquido antes de la presión, aumentar la presión y enfriar más, hasta que la presión deseada se alcance, sin ebullición del líquido, se hace circular agua de enfriamiento en el condensador, o líquido congelante, ambas a temperatura ambiente, o calentar a una temperatura, que asegure que no se solidifique en el condensador, o líneas de producto.

Durante esta etapa, se permite una relación de reflujo de 2:1. Se debe verificar periódicamente que los condensados goteen normalmente en el condensador y que el destilado fluya suavemente en la línea de salida. Si se observa cristalización, el refrigerante en el condensador debe ser calentado.

Se continúa tomando cortes hasta el punto deseado, o hasta llegar a los límites de temperatura del líquido. Se cierra la válvula de reflujo y el sistema de calentamiento y se enfría con el sistema de vacío operando. Cuando la temperatura del residuo, en el matraz, ha disminuido debajo de 230 °C, se apaga la bomba de vacío. Se alimenta a la unidad de fraccionamiento nitrógeno u otro gas inerte. No se debe usar aire.

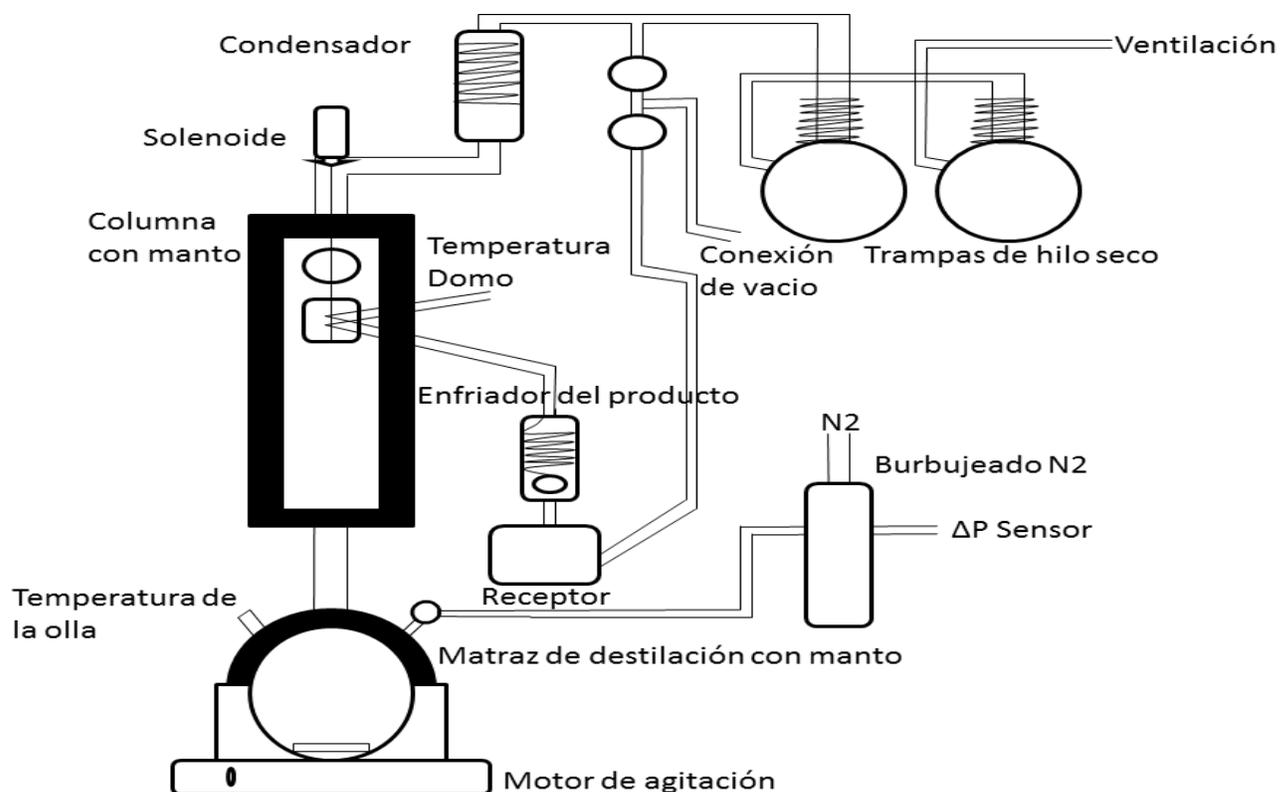
Se debe considerar que el aire es capaz de provocar explosiones en las unidades de fraccionamiento, esto sucede cuando ésta se encuentra demasiado caliente, como por ejemplo,

cuando termina una corrida. A una temperatura de 150°C, es posible alimentar lentamente aire, para romper el vacío, sin provocar problemas.

A continuación se muestra en la tabla.2.1 las diferentes temperaturas de fraccionamiento que utiliza la Columna de Destilación Older Shaw y una representación esquemática de la Columna de Destilación Older Shaw, figura 2.1.

**Tabla 2.1. Temperatura de fraccionamiento de la Destilación Older Shaw.**

<b>Corte No.</b>	<b>Temperatura 760mmHg</b>	<b>DORIC</b>	<b>Fraccionamiento</b>
<b>0</b>	<b>TIE -@- 16 °C</b>	<b>9°C(atm)</b>	<b>Pentanos</b>
<b>1</b>	<b>16°C -@ -71 °C</b>	<b>63°C(atm)</b>	<b>Nafta ligera</b>
<b>2</b>	<b>71°C- @- 177°C</b>	<b>167°C(atm)</b>	<b>Nafta intermedia</b>
<b>3</b>	<b>177°C -@ -204 °C</b>	<b>135°C(100mmHg)</b>	<b>Nafta Pesada</b>
<b>4</b>	<b>204°C- @ -274 °C</b>	<b>106°C(2mmHg)</b>	<b>Turbosina</b>
<b>5</b>	<b>274°C- @-316 °C</b>	<b>139°C(2mmHg)</b>	<b>Queroseno</b>
<b>6</b>	<b>316°C- @-343 °C</b>	<b>160°C(2mmHg)</b>	<b>GLP</b>
<b>7</b>	<b>R+343 °C</b>		<b>Residuos Atmosféricos</b>



*Figura 2.1. Representación esquemática de la Columna de Destilación Older Shaw.*

## 2.6 SUMARIO.

En este capítulo, se describieron las características generales de la Columna de Destilación Older Shaw, así como sus especificaciones y su funcionamiento. Se establecieron los parámetros primordiales y esenciales para la modernización de la Columna de Destilación Older Shaw.

## *CAPÍTULO 3*

### **SISTEMA DE CONTROL HIBRIDO**

En este capítulo, se describirán las características y funcionalidad del Sistema de Control utilizado para modernizar el control de la Columna de Destilación Older Shaw.

#### **3.1 DESCRIPCION FUNCIONAL DEL CONTROL HIBRIDO.**

El HC900 es un sistema que combina las características de un Sistema de Control Distribuido (SCD) y del Controlador Lógico Programable (PLC) y maneja señales analógicas y digitales a través del protocolo de comunicación Modbus TCP/IP y OPC (Ole for Process Control) para las comunicaciones del sistema de control y la adquisición de datos continua.

A groso modo, el sistema de control distribuido (SCD) es un sistema que maneja las señales de una forma continua o analógica y contiene información de elementos funcionales como controlador PID, circuitos lógicos, dispositivos de cálculo, etc.

El Controlador Lógico Programable (PLC) es un control que maneja señales digitales o discretas, puede ser programado por listas de instrucciones, diagramas de escalera y bloques de funciones.

El controlador seleccionado es un sistema utilizado en el Laboratorio de Plantas Piloto, durante los últimos años, disponible y con refacciones de repuesto de la marca Honeywell, modelo HC900, el cual es un controlador híbrido avanzado de lazo y lógica que ofrece un diseño modular con un tamaño adecuado para satisfacer las necesidades de control y adquisición de datos de una amplia gama de equipos de procesos.

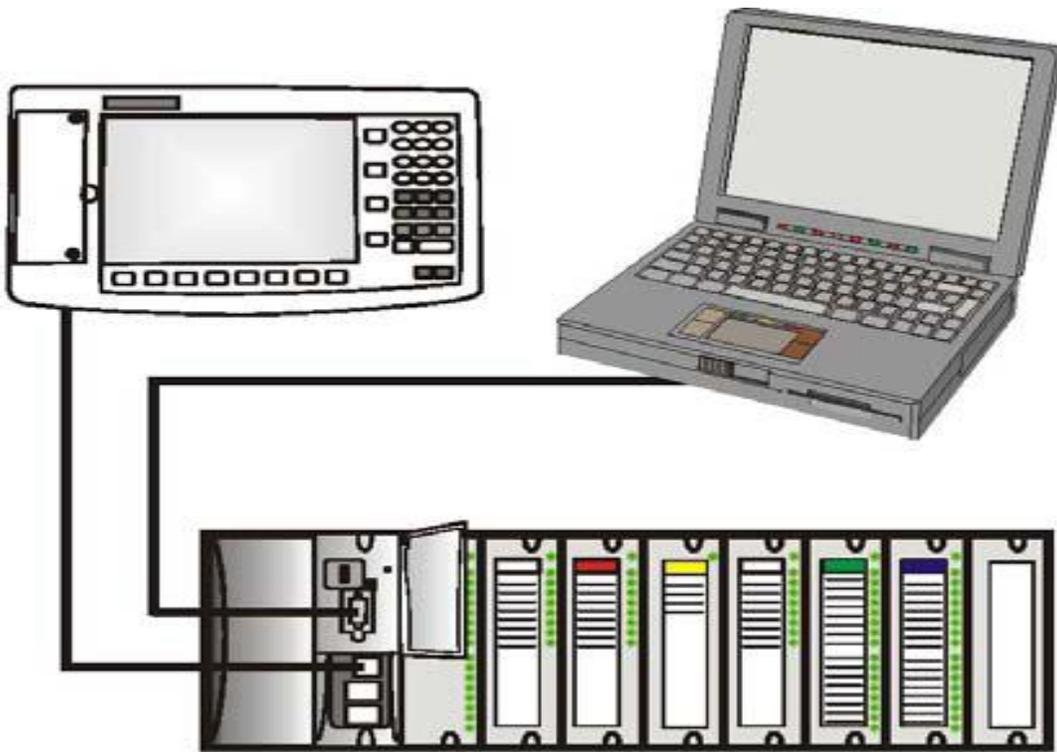
Este controlador cuenta con un conjunto de módulos de software y hardware que se pueden organizar, para satisfacer una amplia gama de aplicaciones de control para el proceso. El controlador híbrido HC900 puede estar formado por un solo bastidor, como se indica en la figura 3.1.

El diseño del controlador HC900 permite organizar un sistema que se adapte a nuestras necesidades, ya que una de las razones por las que se hizo la selección de este equipo fue

debido a que la configuración se puede modificar o ampliar según las necesidades, de tal forma que durante la configuración inicial y en modificaciones posteriores el controlador HC900, proporcione flexibilidad en cambios de configuración y un equilibrio entre costo y rendimiento.

La configuración de la figura 3.1 se puede organizar modularmente, con la opción de que muchos componentes son propios de la marca original y algunos pertenecen a otros proveedores, teniendo así, un mejor margen de selección de equipo.

El controlador HC900 está preparado para establecer comunicaciones mediante Ethernet con otros sistemas.



*Figura 3.1. Configuración de un controlador HC900.*

## **3.2 CARACTERÍSTICAS DE HARDWARE DEL CONTROLADOR.**

Algunas de las características consideradas para la implementación del controlador son:

- Estructura modular; los componentes se pueden adicionar individualmente, según las necesidades.
- La CPU permite establecer conectividad RS-232 y Ethernet.
- Fácil de armar, modificar y expandir.
- Procesamiento en paralelo: una CPU en cada módulo de E/S realiza el procesamiento de señales para mantener las velocidades de actualización.

### **3.2.1 BASTIDOR DEL CONTROLADOR HC900.**

En la figura 3.2. Se muestra un controlador HC900 ("bastidor local"), el bastidor del controlador incluye:

- Un bastidor, disponible en versiones que tienen 4, 8 y 12 ranuras
- Una fuente de alimentación eléctrica
- Un módulo del controlador
- Barras de puesta a tierra (para el cableado de E/S, opcional)
- Módulos de entrada/salida
- Bloques de terminales de E/S

En la figura 3.3. se muestran las diferentes versiones del bastidor donde se puede observar la imagen del bastidor de 12 ranuras, el cual se seleccionó para el desarrollo del control de la Columna de Destilación Older Shaw, esto en base a futuras modificaciones del proceso.

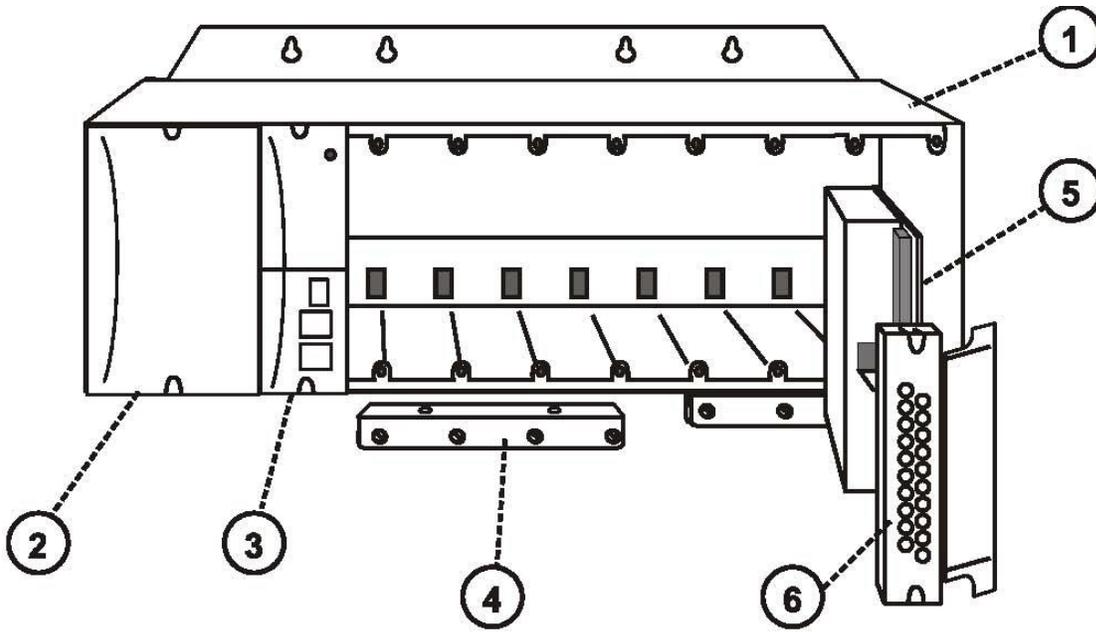


Figura. 3.2 Componentes del bastidor.

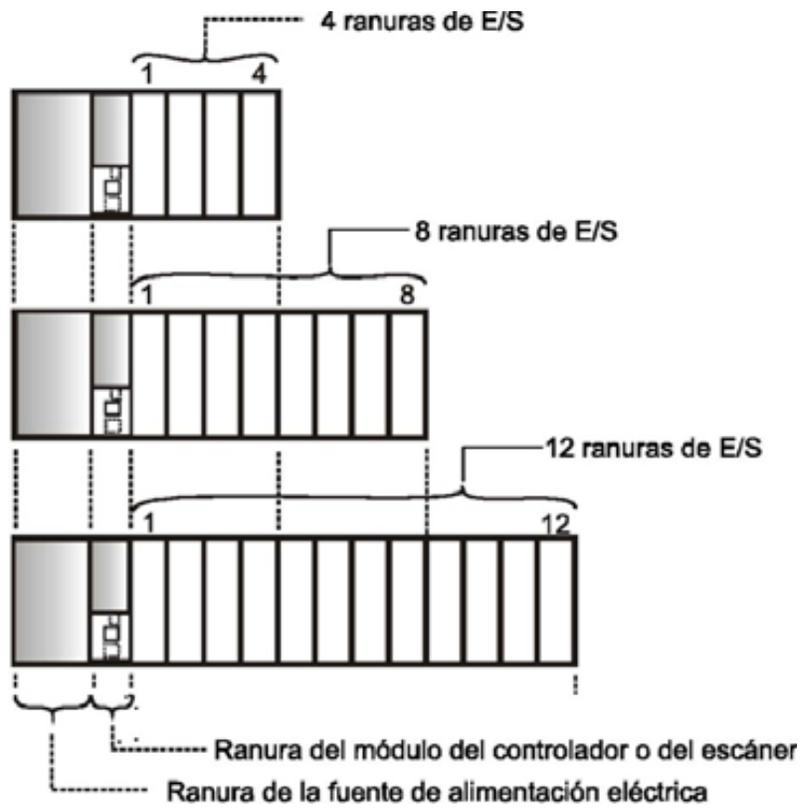


Figura 3.3. Opciones de bastidor.

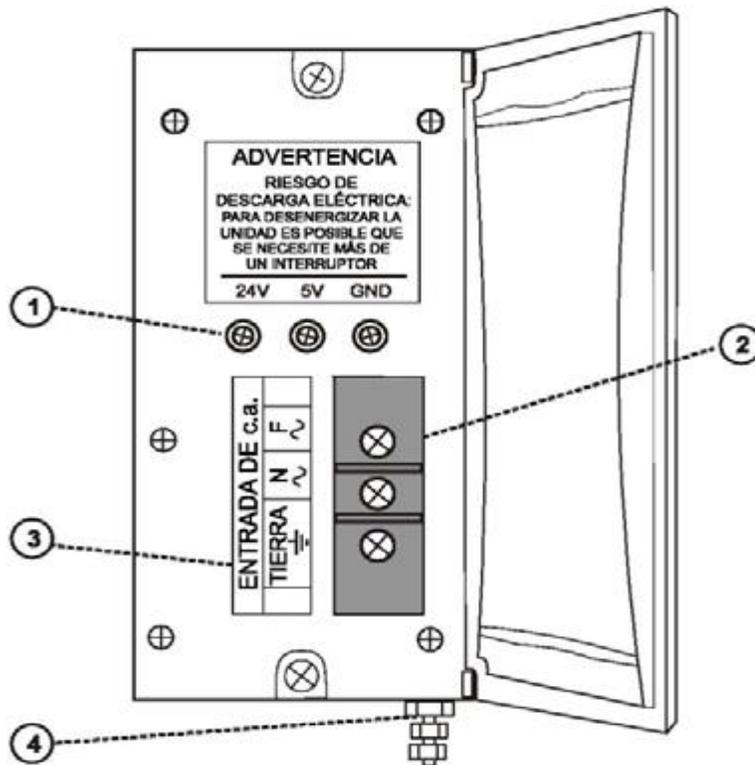
### 3.2.2 FUENTE DE ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA.

La fuente de alimentación eléctrica P01, que se muestra en la figura 3.4, proporciona voltajes de  $5V_{CD}$  y  $24 V_{CD}$  a los conectores del panel posterior de los bastidores local y remoto. La fuente de alimentación eléctrica es idéntica para el bastidor del controlador y para los bastidores de expansión de E/S, para todas las versiones de bastidores (4, 8 y 12 ranuras).

Cada fuente de alimentación eléctrica incluye un fusible interno de 5,0 amperes que no se puede reemplazar en campo.

Los elementos de la fuente de alimentación que se muestran en la figura 3.4. Son:

1. Puntos de prueba de tensión (sólo en el modelo P01).
2. Bloque de terminales de entrada de C.A.
3. Etiqueta de cableado.
4. Conexión de puesta a tierra (Referencia; la conexión no es parte de la fuente de alimentación eléctrica, está ubicada en la parte inferior del bastidor).

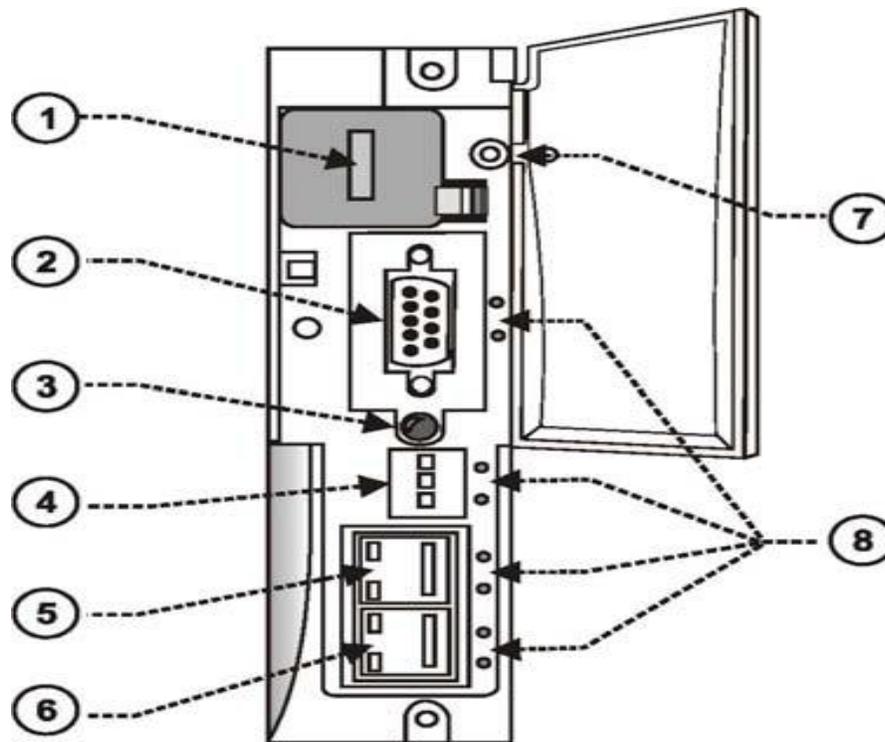


*Figura 3.4. Fuente de alimentación eléctrica.*

### 3.2.3 MÓDULO DEL CONTROLADOR.

El módulo del controlador es el elemento donde se ejecuta la lógica de la distribución de señales y de comunicaciones. En la figura 3.5 se muestra con la puerta protectora con bisagras abierta. Las características del frente del módulo del controlador incluyen:

1. Una batería de litio (debajo de la tapa), de fácil acceso para el cambio en campo.
2. Puerto RS-232, interfaz con la herramienta de configuración del PC, el módem externo o el dispositivo Modbus.
3. Interruptor de modo (Cierre de programa, Ejecutar/Programa, Cierre de la ejecución).
4. Puerto 10BaseT Ethernet, interfaz para controladores de sistemas interconectados, Interfaz hombre-máquina y otras redes.
5. Indicador de estado para funciones del controlador.
6. Indicadores de estado para funciones de comunicación.
7. LED Indicador de estado del módulo controlador.
8. LED Indicadores de estado de las funciones de comunicación.



*Figura 3.5. Módulo del controlador.*

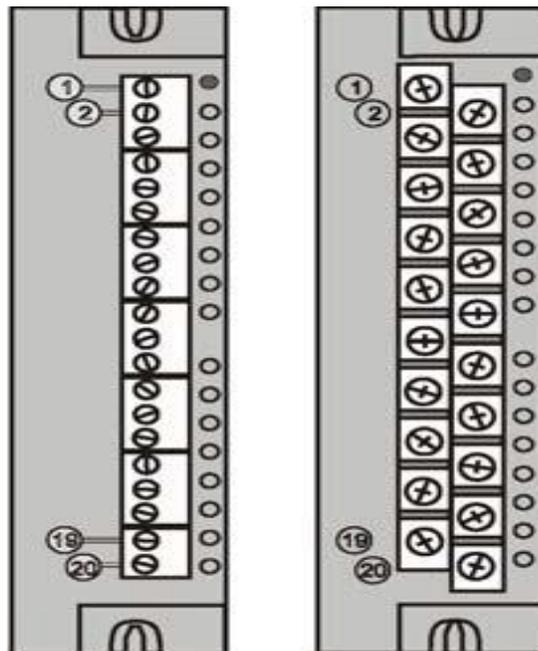
### 3.2.4. MODULOS DE ENTRADA/SALIDA.

Los módulos de entrada/salida son módulos intercambiables, dentro de las ranuras del controlador y su selección está en función del número de señales analógicas y digitales requeridas.

El controlador C30 acepta hasta 96 entradas analógicas con 0.1% de precisión de amplitud, 48 salidas analógicas y 512 entradas/salidas digitales.

Dentro del sistema, se tiene disponibles, ocho tipos de módulos de entrada/salida:

- a) Módulos de 8 puntos de entrada analógica universal.
- b) Módulos de 4 puntos de salida analógica de 0-20 mA. C.D.
- c) Módulos de 16 puntos de entrada digital de 120/240 V.C.A., 24 V.C.D. y entrada de contactos.
- d) Módulos de 16 puntos de salida digital de 24 V.C.D, de 8 puntos de salida digital de 120/240 V.C.A. y de 8 puntos de salida digital de relevador.



*Figura 3.6. Bloque de terminales de los módulos de E/S.*

Cada módulo de E/S incluye un indicador de estado. Los módulos de entradas y de salidas digitales también incluyen un indicador de estado para cada canal. Los bloques de terminales disponibles incluyen el estilo Europeo (a la izquierda) y el estilo de Barrera (a la derecha) como se observa en la figura 3.6.

### **3.2.5. COMPUTADORA PERSONAL.**

Para configurar la estrategia de control se utiliza una computadora personal PC, en ambiente Windows, con el software de configuración “Hybrid Control Designer” suministrado por la Compañía Honeywell, el cual es un software abierto. La PC también se puede utilizar para descargar/cargar archivos de configuración hacia/desde el controlador y se puede usar para descargar actualizaciones de programas hacia el firmware en los módulos del escáner y/o el módulo del controlador.

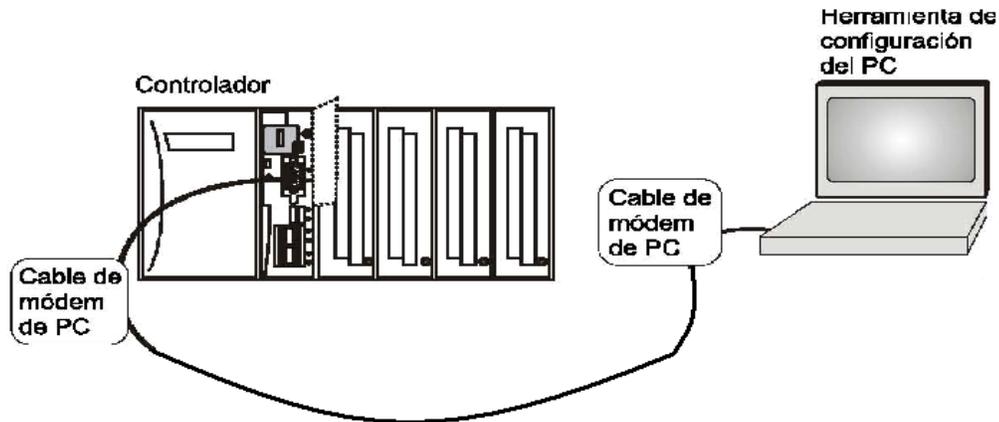
La conexión de la PC al controlador se realiza a través del puerto RS-232 en el módulo del controlador, o también se puede conectar través del puerto de red 10BaseT Ethernet.

## **3.3 COMUNICACIONES.**

La distancia máxima del cable de comunicación del puerto RS-232 del controlador a la PC es de hasta 12.7 metros. La conexión Ethernet 10BaseT puede manejar hasta 5 servidores de PC mediante el protocolo Modbus/TCP y comunicaciones con otros controladores HC900 y con Internet.

### **3.3.1 DISPOSITIVOS DEL PUERTO RS-232.**

La herramienta de configuración del PC se conecta desde el conector RS-232 en la parte superior del módulo del controlador a un puerto serie en el PC. Los puertos se pueden configurar como protocolos ELN, Modbus RTU o Modbus TCP. El controlador puede actuar como Modbus maestro o esclavo en cualquiera de los dos puertos. Se puede emplear el software de Hybrid Control Designer de Honeywell ó algún otro software de Interfaz hombre-máquina (HMI); ambos puertos de comunicación funcionan hasta una velocidad de 57,600 baudios.



*Figura 3.7. Comunicación con RS-232.*

### 3.3.2 DISPOSITIVOS ETHERNET.

Los requisitos de los dispositivos Ethernet varían según las aplicaciones y se pueden clasificar en dos categorías: componentes de la red Ethernet de conectividad abierta, que establece el enlace entre el controlador híbrido HC900 y los componentes a las estaciones de supervisión de Interfaz hombre-máquina y a otros dispositivos 10 Base-T Ethernet compatibles con el protocolo TCP/IP.

### 3.4 FUNCIONES DEL CONTROL.

El controlador cuenta un amplio conjunto de bloques de funciones, que incluye:

- Lazos de control analógico con algoritmo Proporcional-Integral-Derivativo PID
- Programadores de puntos de ajuste (set-point).
- Secuenciadores.
- Programación de Lógica discreta.
- Contadores/Temporizadores.
- Cálculos matemáticos.
- Selectores de señal.
- Elementos auxiliares.
- Sistema de comunicaciones.

- Hasta 400 bloques configurados por el usuario según la estrategia de control (Modelo C30).
- Hasta 240 alarmas (20 grupos de 12).
- Hasta 64 eventos.

### **3.5. SUMARIO.**

En este capítulo, se describieron las características funcionales del sistema de control híbrido y los elementos que lo componen, así como también se definieron los tipos de entradas y salidas, las funciones de control y el tipo de comunicación que maneja el sistema de control híbrido.

# CAPÍTULO 4

## IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL.

En este capítulo, se describe primero instalación del software para la configuración de la estrategia de control, el software para la configuración de la base de datos del servidor y el software para la construcción de desplegados gráficos de la estación de interfaz hombre-máquina HMI; posteriormente se detalla la construcción del gabinete de control, mediante los diagramas de alambrado y la configuración del sistema de control

### 4.1. INSTALACIÓN DEL SOFTWARE DE APLICACIÓN.

Para la instalación del software, es necesario contar con una PC que servirá como servidor, en la que previamente se instala necesariamente una versión de sistema operativo Windows 7 profesional en inglés, ya que el software de aplicación, utiliza algunos objetos de Windows que llama directamente por su nombre definido en inglés.

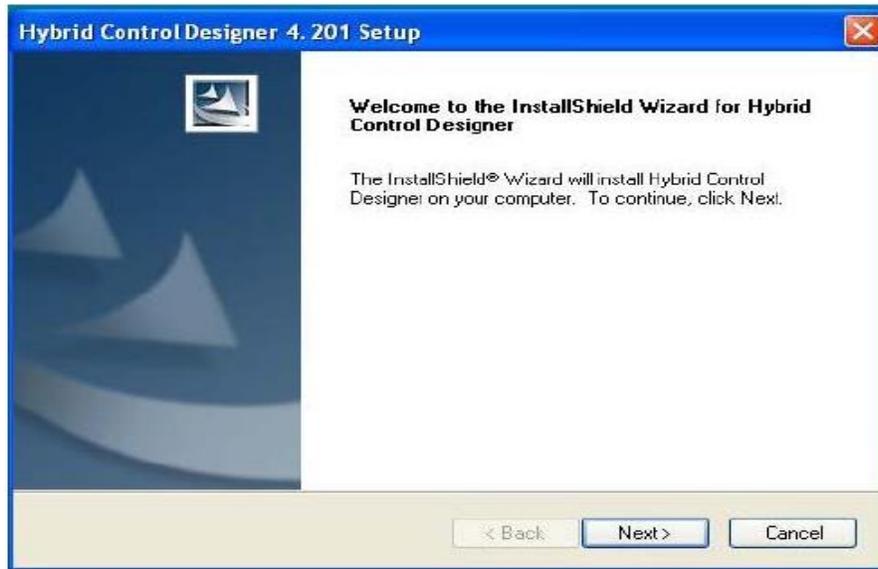
Los softwares a instalar y utilizar son: el “Hybrid Control Designer”, para la configuración de la estrategia de control por medio de bloques, el “Configuration Studio”, para la configuración de la base de datos del servidor y efectuar el direccionamiento de la memoria del sistema de control y el “HMIweb Display Builder”, para la construcción de desplegados gráficos de la estación de interfaz humano-máquina HMI que permite construir el desplegado del proceso y la visualización de lo que ocurre en la operación de la columna de destilación.

Con la instalación de estos tres softwares, se puede configurar y operar de la mejor manera, la Columna de Destilación Older Shaw en forma directa y en tiempo real.

#### 4.1.1. INSTALACIÓN DE HYBRID CONTROL DESIGNER.

Una de las funciones principales de este software es la configuración de las tarjetas y comunicación del controlador HC900 al servidor. También se emplea para configurar la estrategia de control, la cual se crea a través de bloques. A continuación se muestra el procedimiento de instalación.

Primero, se inserta el disco de la versión y aparece la pantalla de la figura 4.1. La instalación del software es muy amigable y fácil siguiendo las instrucciones.



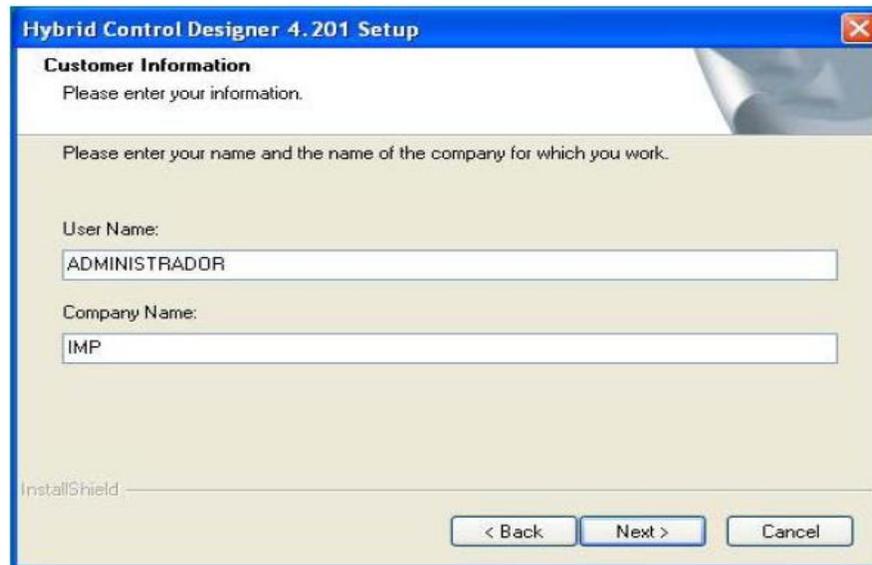
**Figura 4.1. Pantalla inicial de instalación del HCD.**

Posteriormente muestra la ventana de acuerdo de licencia (véase Figura 4.2). Se acepta y se selecciona *Yes*.



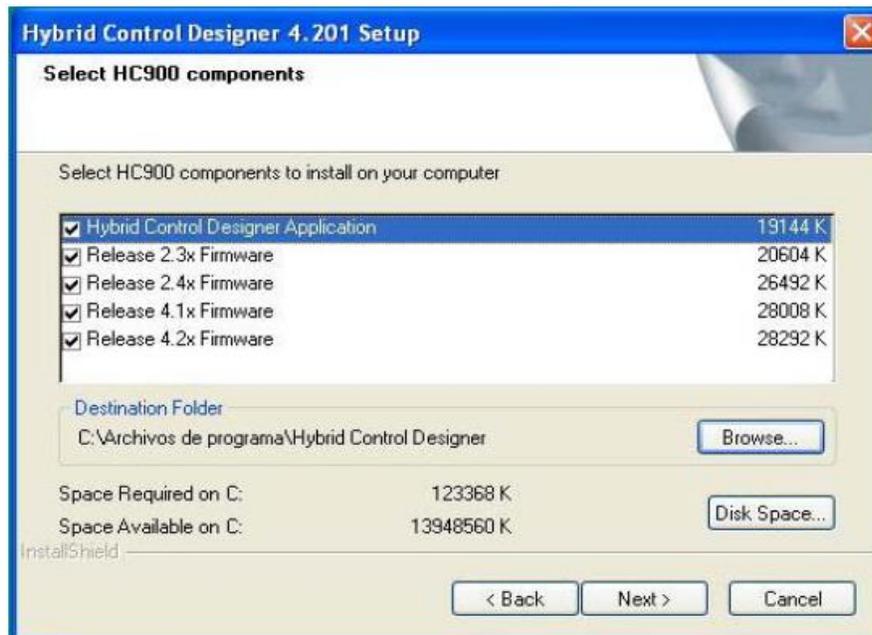
**Figura 4.2. Ventana de Acuerdo de Licencia (HCD).**

Enseguida pide el nombre de usuario así como el nombre de la compañía (véase Figura 4.3).



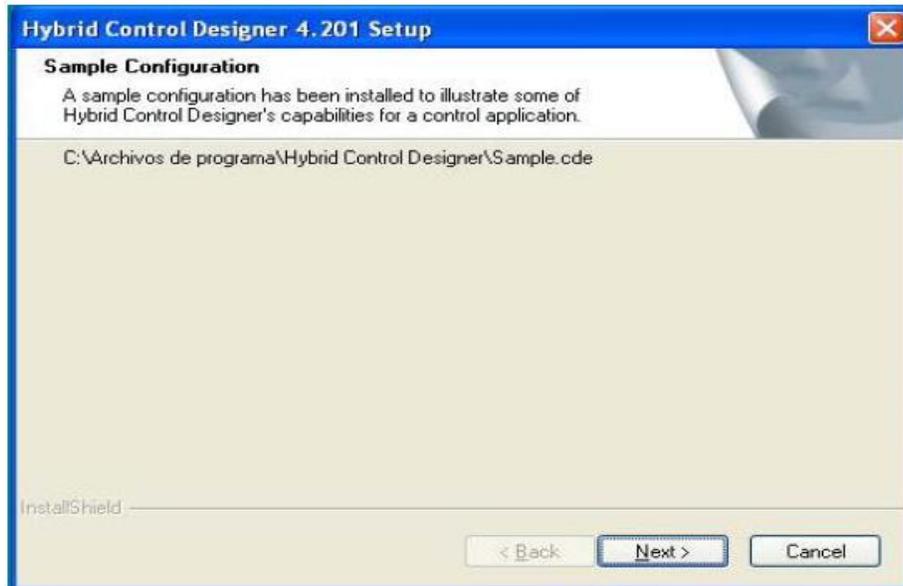
*Figura 4.3. Ventana de información del Cliente.*

Posteriormente se selecciona la versión del software aplicado, dependiendo del controlador utilizado. En este caso, se recomienda seleccionar todo, aunque debe trabajar con la última versión, que es la 4.401 (véase Figura 4.4).



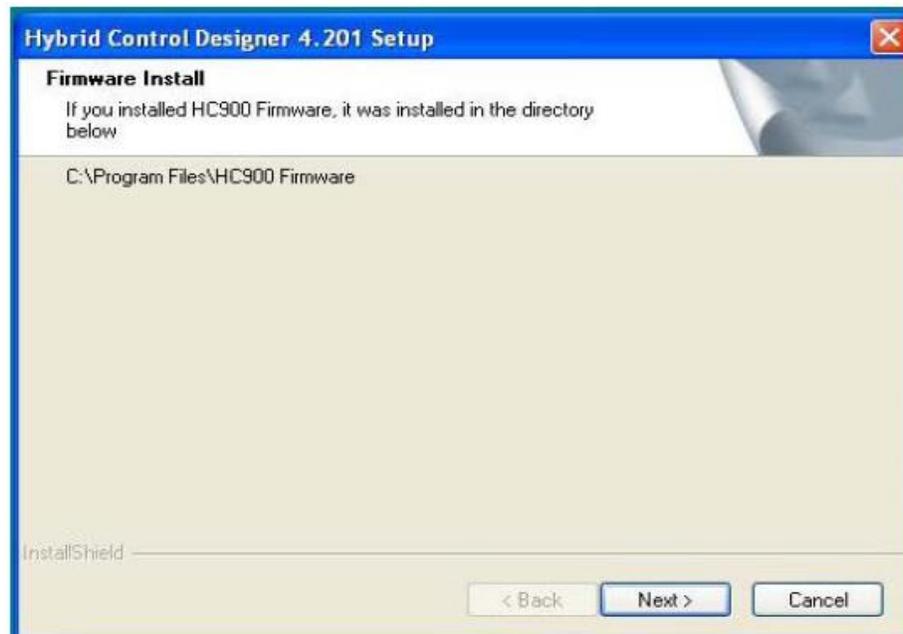
*Figura 4.4. Componentes del HC900 a instalar.*

Posteriormente despliega la ubicación de los archivos muestra o ejemplo y del firmware para la aplicación de control (véanse Figuras 4.5 y 4.6).



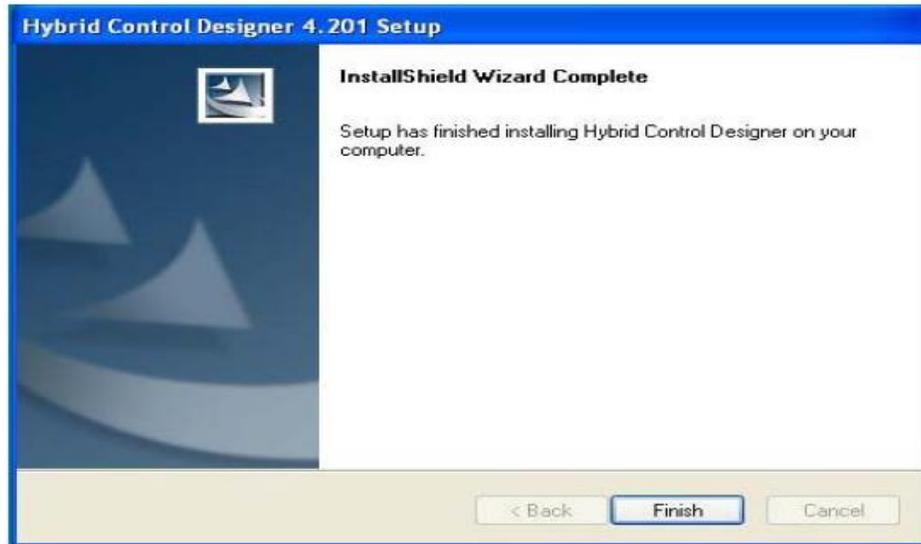
*Figura 4.5. Ejemplos de configuración.*

Posteriormente notifica de la instalación de ejemplos de configuración compatibles para la aplicación de control (véase Figura 4.5).



*Figura 4.6. Instalación de Firmware.*

Al terminar lo anterior, finaliza la instalación (Véase Figura 4.7).



*Figura 4.7. Finalización de la instalación HCD.*

#### **4.1.2 INSTALACIÓN DEL SOFTWARE CONFIGURATION STUDIO.**

Para la instalación de este software, es necesario tener en cuenta que el servidor debe contar con Windows 7 profesional en inglés de 32 bits. A continuación se detalla paso a paso como se debe instalar este software.

- a) Prepare for installation.
  1. Choose start > control panel. The control panel appears
  2. In the view by list,click large icons.
- b) Disabling automatic Windows Uptade.
  1. Choose start > control panel. The control panel Uptade.
  2. Click en Windows Update.
  3. In the left pane, click en Change Settings.
  4. In the important updates list, click never check for updates (not recommended).
  5. Under Recommended updates, clear the check box.
  6. Click OK.
  7. Close the Windows update window.
- c) Setting the display resolution.

1. Choose Start > Control panel. The control panel appears.
  2. Click Display.
  3. In the left pane, click Adjust resolution.
  4. In the resolution list, select the display resolution to a supported Experion resolution (for example 1280\*1024, 32-bits y 1024\*768, 32-bits), and click OK.
  5. In the display setting dialog box, click keep changes.
  6. Close the display window.
- d) Customizing the performance settings.
1. Choose start > control panel. The control panel opens
  2. Click System.
  3. In the left pane, click advanced system settings. The system properties dialog box appears.
  4. On the advanced tab, click setting under performance
  5. On the visual effects tab, click, adjust for best performance.
  6. Click apply and then OK.
  7. Click OK to close the system properties dialog box, and then close the system window.
- e) Install Experion server using installation media.

#### Prerequisites.

Ensure you have the following, before starting the installation.

- Experion HS installation media.
- Experion HS knowledge builder media.
- Software license certificate.
- Software protection key (dongle), if specified on the license certificate.

#### Considerations.

- This procedure must be performed using a user account with administrative privileges.

1. If a software protection key (dongle) is specified on the license certificate, insert this key on the computers USB port. The fount new hardware dialog box appears.
2. Wait for the operating system to complete the USB drive installation.If any warning dialog box appears, ignore the message and proceed with the installation.
3. Insert the experion HS installation media in the DVD drive. The autoplay dialog box appears.
4. Under install or run program, click run experion media browser.
5. Click install/migrate Experion HS. The user account control dialog box appears.
6. Click yes.
7. Click next.
8. Click Install clean, and then click next.
9. Click YES on the warning dialog box. The license agreement page appears.
10. Click i accept the terms in the license agreement, and the click next. The setup type of node to install page appears.
11. Select SCADA sever from the experion product node type list and click next.
12. Click yes to proceed with the installation. The user and license information page appears.
13. Under customer information, enter the name and Company name.
14. Under experion system software, enter the license No, and authorization. The experion accounts passwords entry page appears.
15. Type the passwords for the following.
  - MNGR Account, Introducir la contraseña y confirme contraseña
  - EXpengr Account, Introducir la contraseña y confirme contraseña
  - Expoper Account, Introducir la contraseña y confirme contraseña
  - Experion SQL Agent Account, Introducir la contraseña y confirme contraseña
16. Click next.
17. Type the passwords for the following.
  - Experion SQL Account, Enter password and confirm password.

18. Click next. The summary page appears
19. Click install, The installation begins and the progress of the installation is displayed.
20. When prompted, insert the knowledge builder DVD and click yes to start the knowledge builder installation.
21. Click YES to restart the computer and log on as a user with administrator privileges.
22. When welcome to experion PKS page appears, click view license agreement to review the honeywell license agreement.
23. Clear show this screen next time you start Windows check box.
24. Click close.

Una vez que se realizaron los pasos anteriores el software que da listo para poder entablar comunicación con el controlador.

## 4.2 LISTADO DE INSTRUMENTOS.

De acuerdo al diagrama de tubería e instrumentación, se tiene el siguiente listado de instrumentos como se muestra en las siguientes tablas.

*Tabla 4.1. Listado de Instrumentos.*

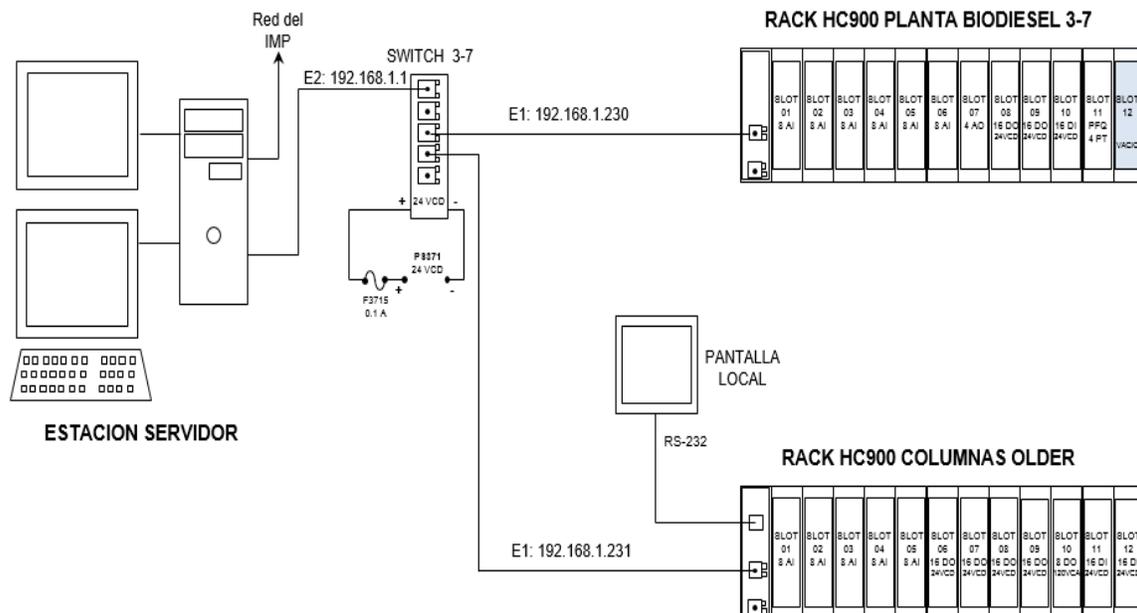
<b>TAG</b>	<b>REFERENCIA</b>	<b>TIPO DE SEÑAL</b>	<b>I/O</b>
34TC01	TEMP. DE FONDO	TERMOPAR TIPO K	AI
34TI02	TEMP.DE DOMO	TERMOPAR TIPO K	AI
34TC03	TEMP .DEL BAÑO	TERMOPAR TIPO K	AI
34PT01A	PRESION DE VACIO 1875 TORR	4-20 mA	AI
34PT01B	PRESION DE VACIO 45 TORR	4-20 mA	AI
34TY01	RELE DE CALENTAMIENTO DE FONDO	24 VCD	DO
34SOV01	R/D	120 VCA	DO
34EV-1	CONTROL DE VACIO	24 VCD	DO
34EV-2	ROMPE EL VACIO	24VCD	DO
34EV-3	CONTROL DE VACIO	5VCD	AO

### 4.3 ARMADO DEL TABLERO DE CONTROL.

En el tablero de control se encuentran instalados todos los elementos necesarios para el control de la Planta de Destilación Older Shaw, como son: el controlador (HC900), interruptores termomagnéticos, relevadores de estado sólido, fuentes de alimentación de CD, entre otras cosas, los cuales serán mencionados durante la descripción del armado. El alambrado del tablero de control se comenzó a partir del diseño de distribución de cada uno de los elementos, de tal manera que una vez instalados todos los elementos del tablero, se efectuó el alambrado, basándose en los diagramas de conexión, los cuales se irán describiendo paulatinamente.

El tablero se inició con la realización de perforaciones, para colocar los componentes y los soportes. Una vez realizadas las perforaciones, se tendió el cableado.

Como se puede observar en la Figura 4.8, se muestra el diagrama de la comunicación entre el sistema de control y el servidor. Se puede ver que el servidor tiene conectadas 2 plantas; 3-7(Biodiesel) y las columnas de Destilación Older Shaw.



*Figura 4.8. Diagrama de conexión 1.*

En la figura 4.9, se puede apreciar el diagrama de conexión del sistema de potencia, que es un sistema trifásico (220V<sub>CA</sub>) y una línea de UPS (120V<sub>CA</sub>) así como las fuentes de alimentación de C.D.y la alimentación al HC900. La figura 4.10 muestra el controlador HC900.

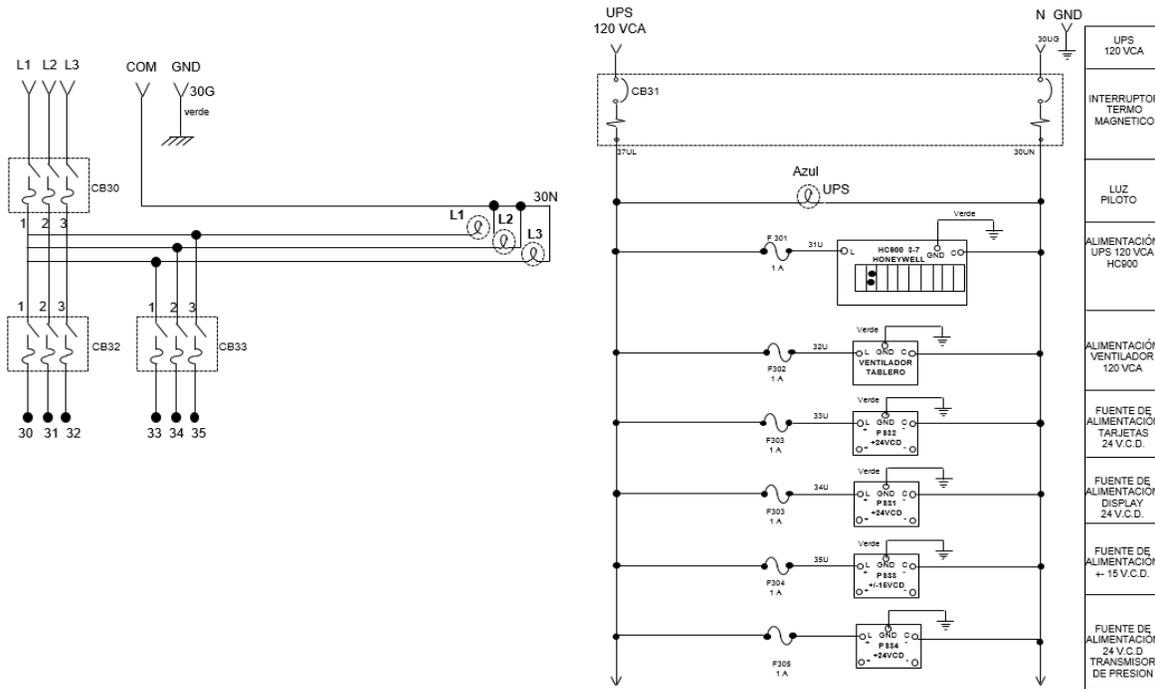


Figura 4.9. Diagrama de conexión 2.

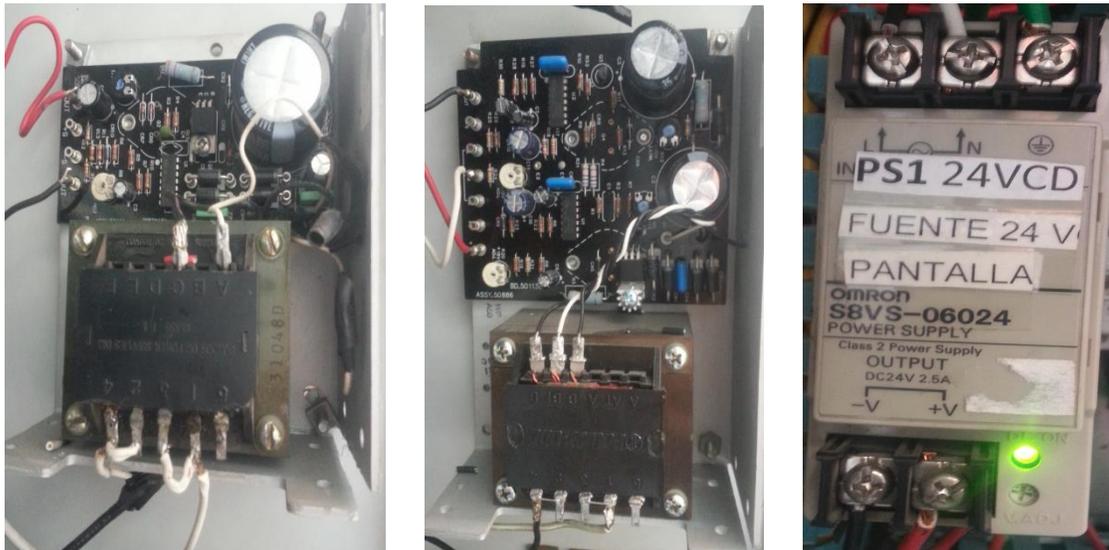


Figura. 4.10. Controlador HC900.

En la figura 4.11 se puede observar el interruptor termomagnético principal y los interruptores termomagnéticos secundarios, que son las líneas trifásicas (220V<sub>CA</sub>) que energizan a las resistencias de calentamiento y una línea de UPS (120V<sub>CA</sub>). En la figura 4.12 se pueden apreciar las conexiones de las fuentes de alimentación V<sub>CD</sub>.

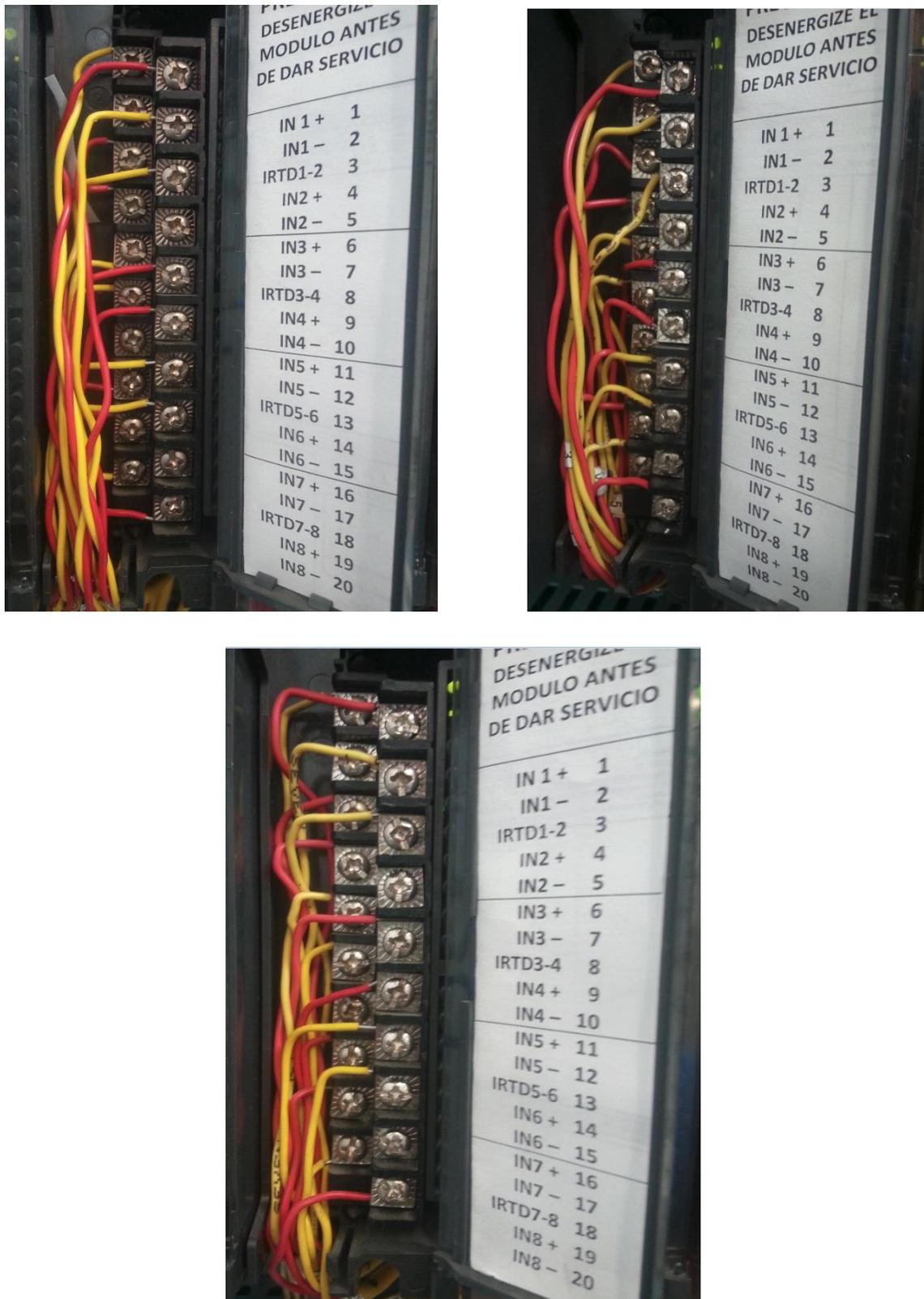


*Figura 4.11. Termomagnéticos.*



*Figura 4.12. Fuentes de alimentacion +-15 VCD y 24 VCD.*





*Figura 4.14. Tarjetas de entradas analógicas para termopares tipo K.*

### 4.3.2. ALAMBRADO DE LOS TRASMISORES DE PRESIÓN.

En la figuras 4.15 a la 4.19 se pueden observar los diagramas de conexión de las tarjetas de entradas analógicas, donde están conectadas los transmisores de presión, cada uno cuenta con una protección de fusible y están alimentados con un voltaje de 24 V<sub>CD</sub>, el cual permite que el transmisor se energice y además tiene conectada una resistencia de precisión de 250 Ω, que sirve para que exista una caída de voltaje. Como se puede observar en este proyecto, se utilizaron 2 transmisores de presión, uno se utilizara para una presión de 0 a 1875 Torr que es el trasmisor 34PI01A y el otro de 0 a 45 Torr que es el trasmisor 34PI01B.

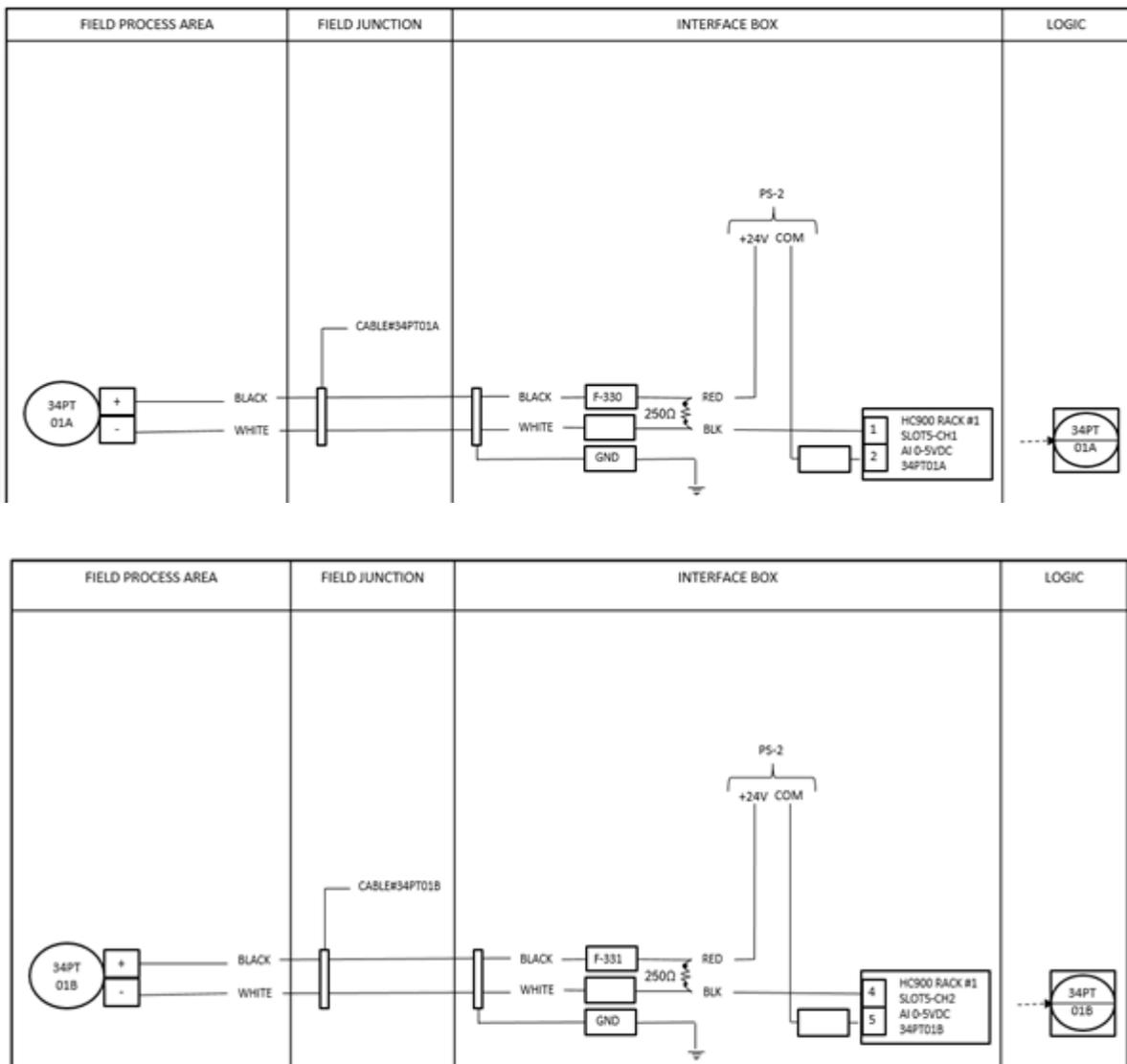


Figura 4.15. Diagrama de conexión 4.



*Figura 4.16. Transmisores de presión.*



*Figura 4.17. Conexión de los transmisores de presión.*

TABLILLA DE TERMINALES TB-1

30PT01A	30PT01A(+) BLK	F322	24 VCDI(+) 24 VCDI(+)
	30PT01A(-) WHT	1	R1-M4-01(-) R1-M4-01(-)
	COM 24 V	2	COM 24 V R1-M4-01(+) R1-M4-01(+)
30PT01B	30PT01B(+) BLK	F323	24 VCDI(+) 24 VCDI(+)
	30PT01B(-) WHT	3	R1-M4-02(-) R1-M4-02(-)
	COM 24 V	4	COM 24 V R1-M4-02(+) R1-M4-02(+)
31PT01A	31PT01A(+) BLK	F324	24 VCDI(+) 24 VCDI(+)
	31PT01A(-) WHT	5	R1-M4-03(-) R1-M4-03(-)
	COM 24 V	6	COM 24 V R1-M4-03(+) R1-M4-03(+)
31PT01B	31PT01B(+) BLK	F325	24 VCDI(+) 24 VCDI(+)
	31PT01B(-) WHT	7	R1-M4-04(-) R1-M4-04(-)
	COM 24 V	8	COM 24 V R1-M4-04(+) R1-M4-04(+)
32PT01A	32PT01A(+) BLK	F326	24 VCDI(+) 24 VCDI(+)
	32PT01A(-) WHT	9	R1-M4-05(-) R1-M4-05(-)
	COM 24 V	10	COM 24 V R1-M4-05(+) R1-M4-05(+)
32PT01B	32PT01B(+) BLK	F327	24 VCDI(+) 24 VCDI(+)
	32PT01B(-) WHT	11	R1-M4-06(-) R1-M4-06(-)
	COM 24 V	12	COM 24 V R1-M4-06(+) R1-M4-06(+)
33PT01A	33PT01A(+) BLK	F328	24 VCDI(+) 24 VCDI(+)
	33PT01A(-) WHT	13	R1-M4-07(-) R1-M4-07(-)
	COM 24 V	14	COM 24 V R1-M4-07(+) R1-M4-07(+)
33PT01B	33PT01B(+) BLK	F329	24 VCDI(+) 24 VCDI(+)
	33PT01B(-) WHT	15	R1-M4-08(-) R1-M4-08(-)
	COM 24 V	16	COM 24 V R1-M4-08(+) R1-M4-08(+)
34PT01A	34PT01A(+) BLK	F330	24 VCDI(+) 24 VCDI(+)
	34PT01A(-) WHT	17	R1-M5-01(-) R1-M5-01(-)
	COM 24 V	18	COM 24 V R1-M5-01(+) R1-M5-01(+)
34PT01B	34PT01B(+) BLK	F331	24 VCDI(+) 24 VCDI(+)
	34PT01B(-) WHT	19	R1-M5-02(-) R1-M5-02(-)
	COM 24 V	20	COM 24 V R1-M5-02(+) R1-M5-02(+)
35PT01A	35PT01A(+) BLK	F332	24 VCDI(+) 24 VCDI(+)
	35PT01A(-) WHT	21	R1-M5-03(-) R1-M5-03(-)
	COM 24 V	22	COM 24 V R1-M5-03(+) R1-M5-03(+)
35PT01B	35PT01B(+) BLK	F333	24 VCDI(+) 24 VCDI(+)
	35PT01B(-) WHT	23	R1-M5-04(-) R1-M5-04(-)
	COM 24 V	24	COM 24 V R1-M5-04(+) R1-M5-04(+)
36PT01A	36PT01A(+) BLK	F334	24 VCDI(+) 24 VCDI(+)
	36PT01A(-) WHT	25	R1-M5-05(-) R1-M5-05(-)
	COM 24 V	26	COM 24 V R1-M5-05(+) R1-M5-05(+)
36PT01B	36PT01B(+) BLK	F335	24 VCDI(+) 24 VCDI(+)
	36PT01B(-) WHT	27	R1-M5-06(-) R1-M5-06(-)
	COM 24 V	28	COM 24 V R1-M5-06(+) R1-M5-06(+)

Figura 4.18. Tablilla de conexiones de los transmisores de presión.

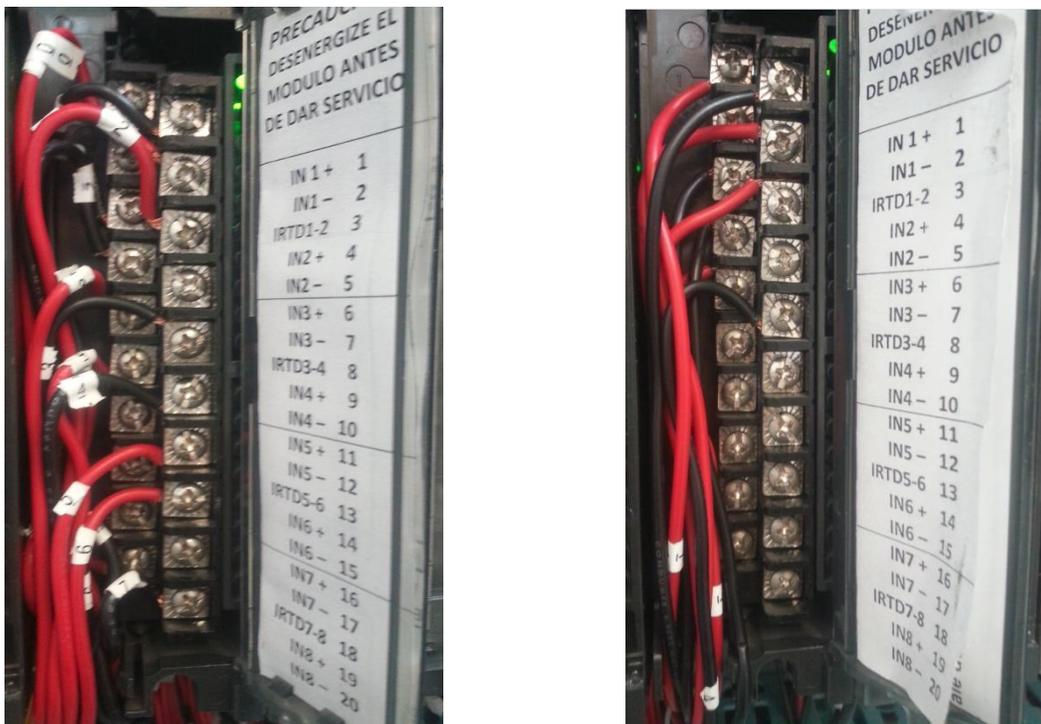


Figura 4.19. Tarjeta de entradas analógicas para los transmisores de presión.

### 4.3.3 ALAMBRADO DEL SISTEMA DE CALENTAMIENTO.

En la figuras 4.20 a la 4.25 se muestra el diagrama de alambrado de las resistencias de calentamiento, y como se puede observar, se conectan a 220V<sub>CA</sub> y cada fase cuenta con un fusible de protección.

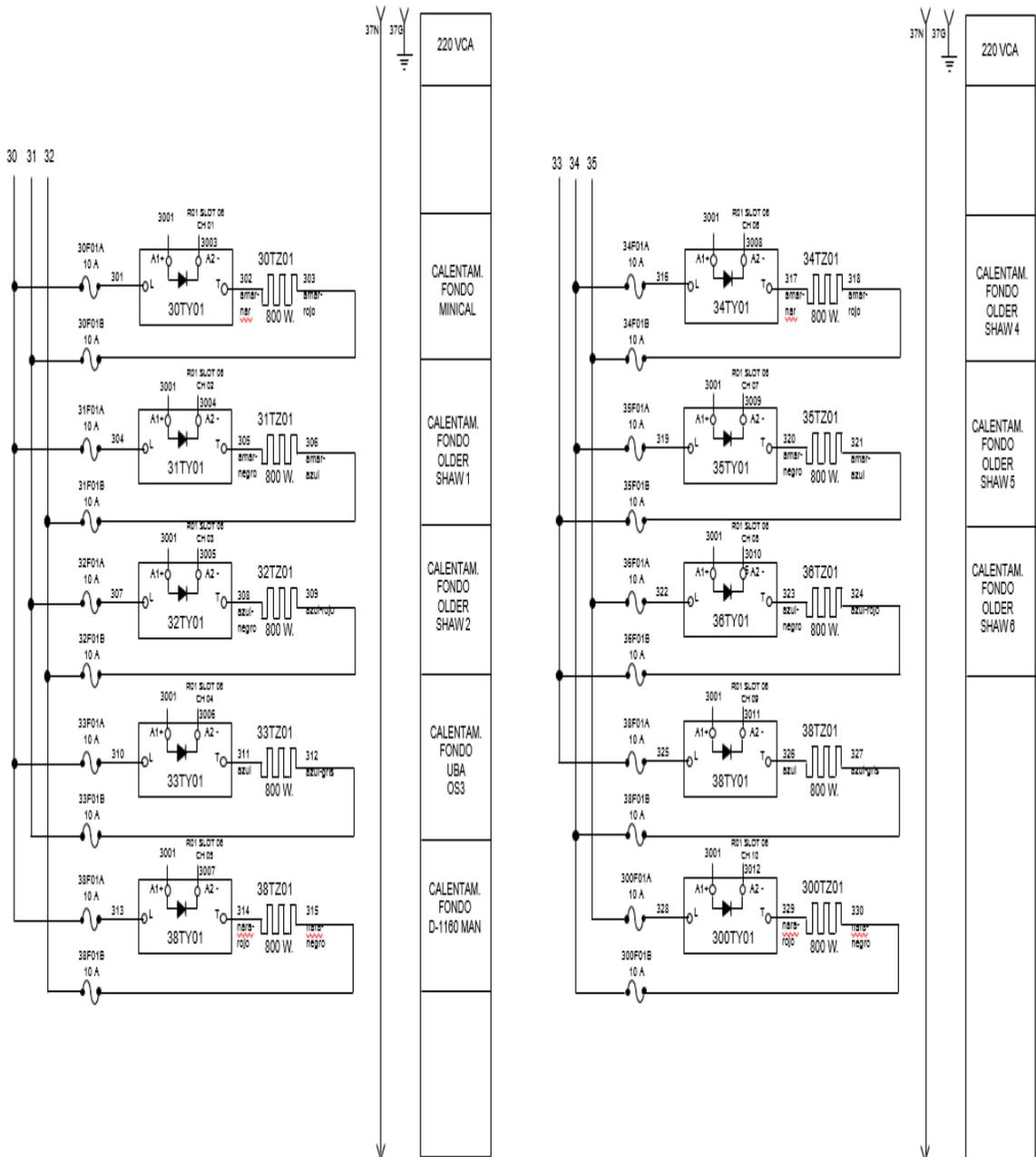
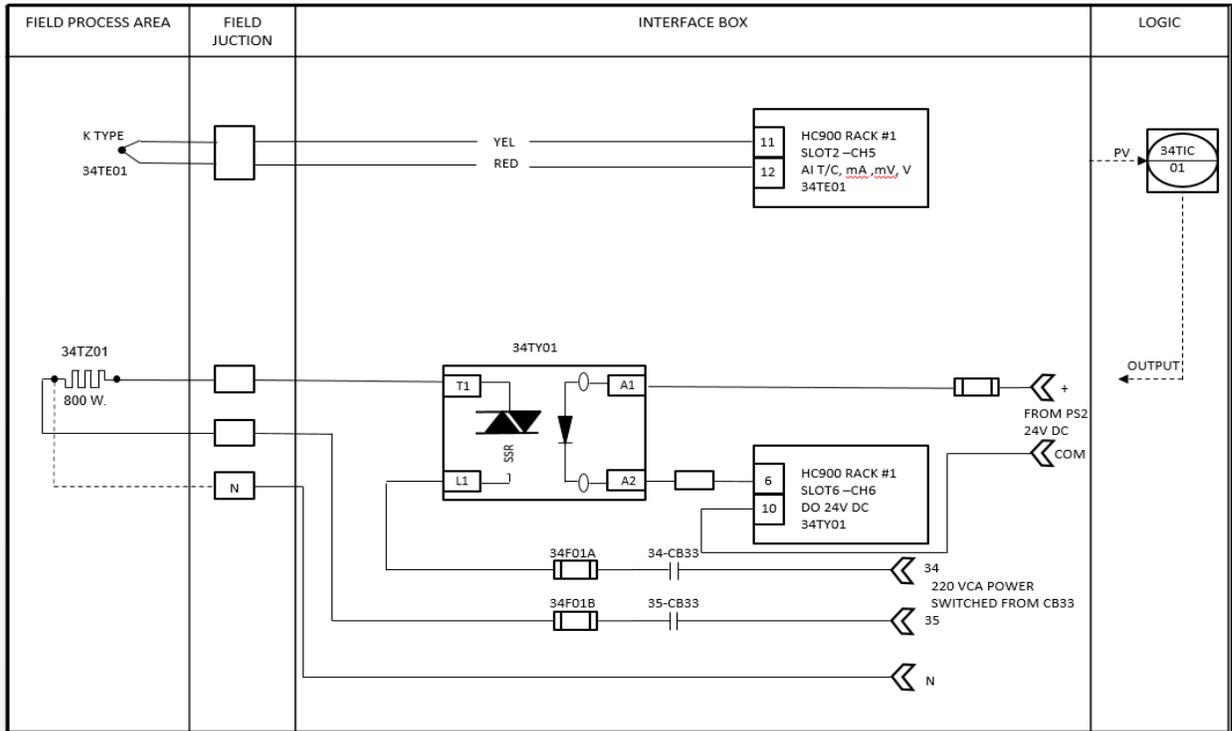
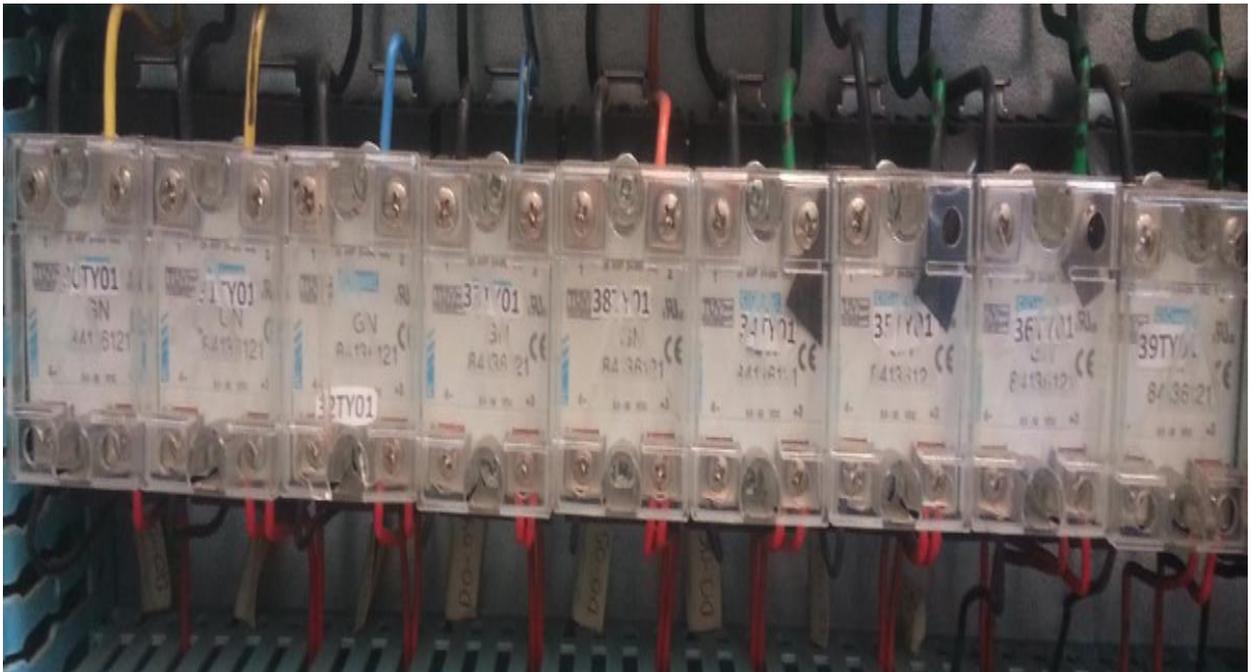


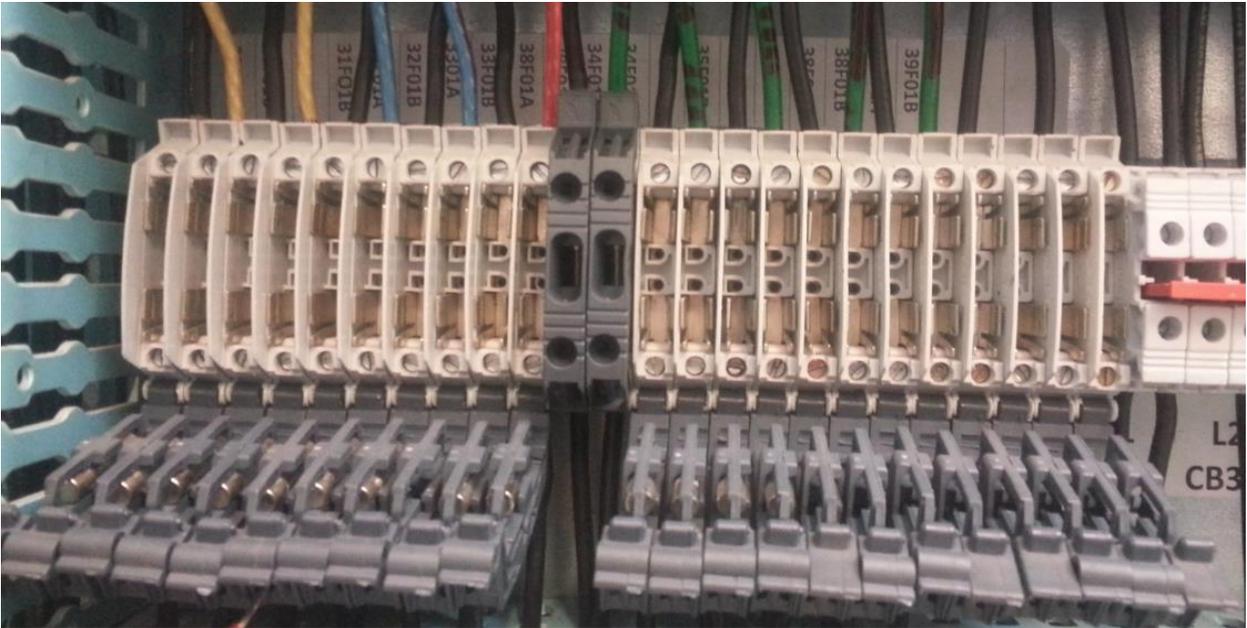
Figura 4.20. Diagrama de conexión 5.



*Figura 4.21. Lazo de control del calentamiento.*



*Figura 4.22. Relevadores de estado sólido.*



*Figura 4.23. Fusibles de protección de las resistencias de calentamiento.*



*Figura 4.24. Tarjeta de salidas digitales para habilitar los relevadores de estado sólido a 24V.*

TABLILLA DE TERMINALES TB-3

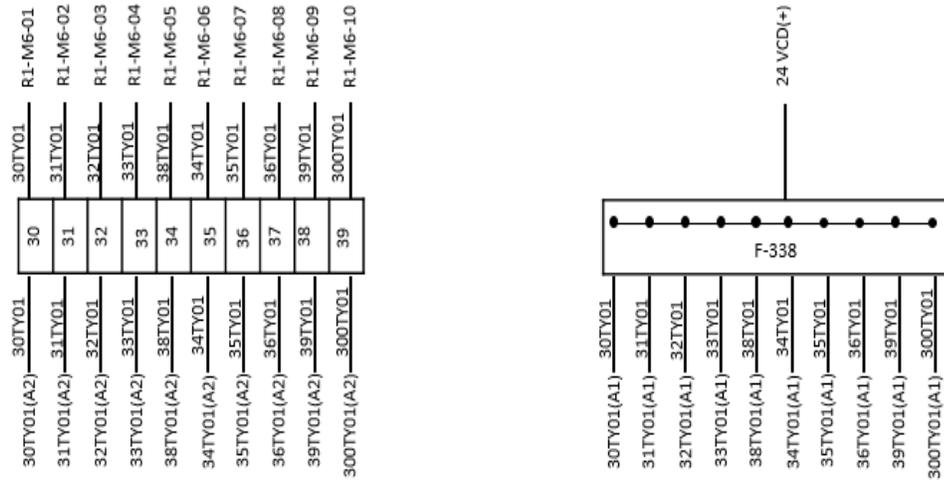


Figura 4.25. Tablilla de conexiones de los relevadores de estado sólido.

### 4.3.4 ALAMBRADO DE LOS ELECTROIMANES.

En la figuras 4.26 al 4.28 se puede observar el diagrama de alambrado de las tarjetas de salida digital, la cual va accionar un electroimán de la válvula para que permita el flujo de destilado en un tiempo deseado. A esto se le llama reflujo/destilado R/D y va a funcionar por medio de dos contadores que van a habilitar y deshabilitar el electroimán.

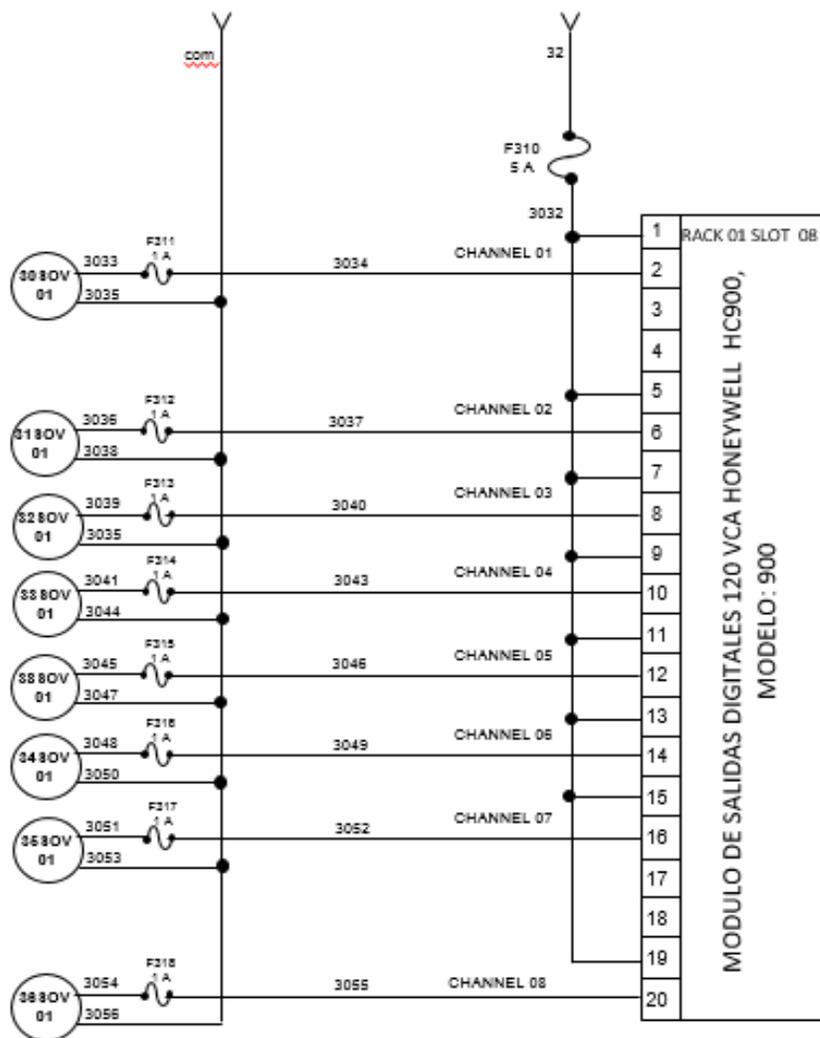


Figura 4.26. Diagrama de alambrado 6.



Figura 4.27. Tarjeta de salidas digitales que habilitan a los electroimanes a 120VCA.

TABLILLA DE TERMINALES TB-3

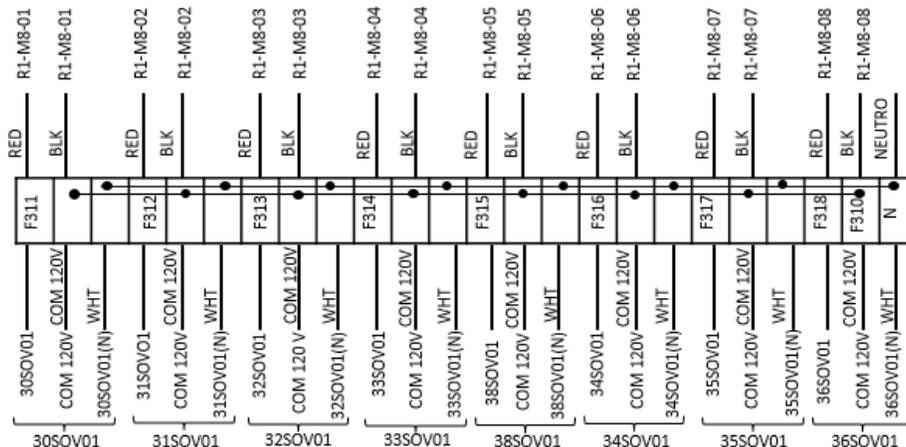
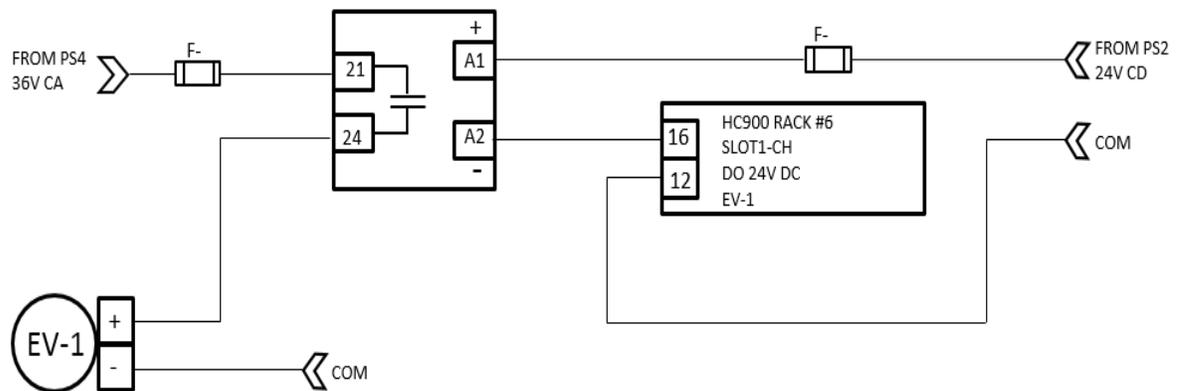


Figura 4.28. Tablillas de conexiones de los electroimanes.

### 4.3.5. ALAMBRADO DE LAS VÁLVULAS DE CONTROL DE VACÍO.

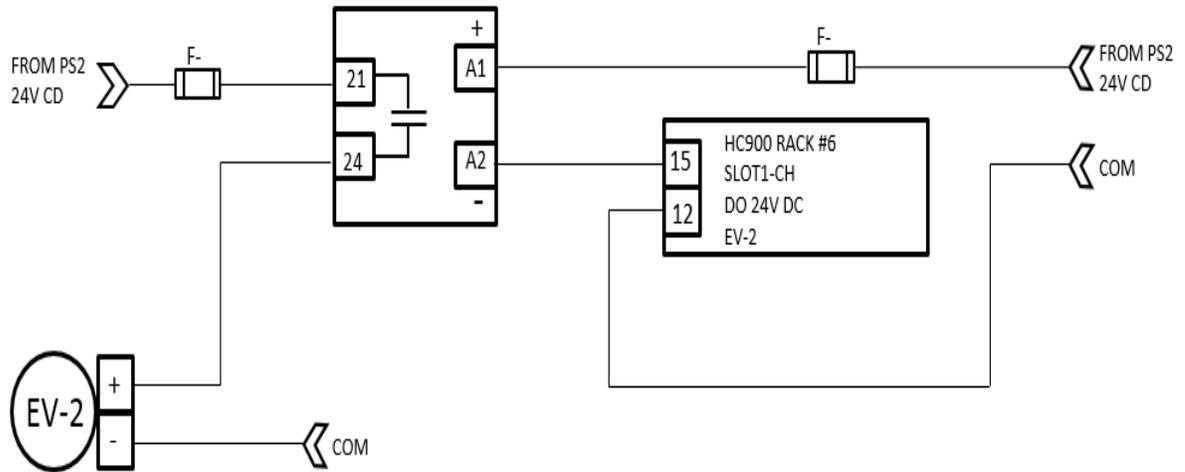
Las válvulas de control de vacío son muy importantes dentro del proceso de Destilación ya que permite controlar una presión de 100 torr y 2 torr. Para este fin, se utilizan 3 válvulas de vacío, 2 de ellas van abrir y cerrar para así permitir controlar la presión dentro de la columna, y la otra únicamente sirve para romper el vacío dentro de la columna. En las siguientes figuras se muestra el alambrado de las válvulas de vacío. A continuación en las figuras 4.29 a la 4.34 los diagramas de alambrado.



*Figura 4.29. Circuito de control de la válvula EV-1.*



*Figura 4.30. Válvula de vacío EV-1.*



*Figura 4.31. Circuito de control de la válvula EV-2.*



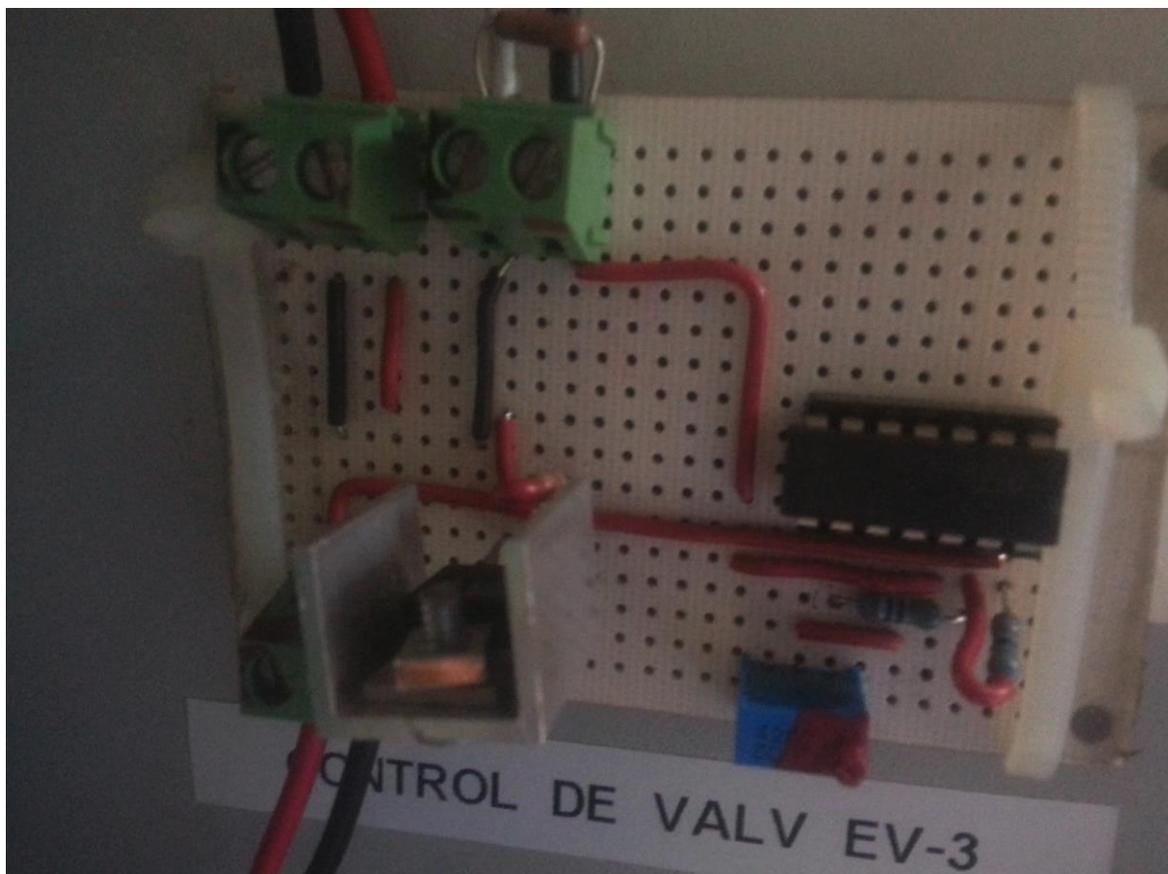
*Figura 4.32. Válvula de vacío EV-2.*



*Figura 4.33. Tarjeta de salidas digitales para habilitar las válvulas de vacío EV-1 y EV-2 a 24V.*



*Figura 4.34. Relevadores de 24V para habilitar las válvulas de vacío EV-1 y EV-2.*



**Figura 4.35. Circuito de control de la válvula 34PC01.**

Para mantener una presión deseada dentro de la columna de Destilación, se utiliza una válvula que opera con un voltaje de  $24V_{CD}$ , y un problema que se tiene que resolver, es que el HC900 tiene una salida analógica fija de 4 a 20mA y la válvula consume 210mA, por lo que se tuvo que diseñar un circuito que pudiera realizar el control de la válvula de control continuo.

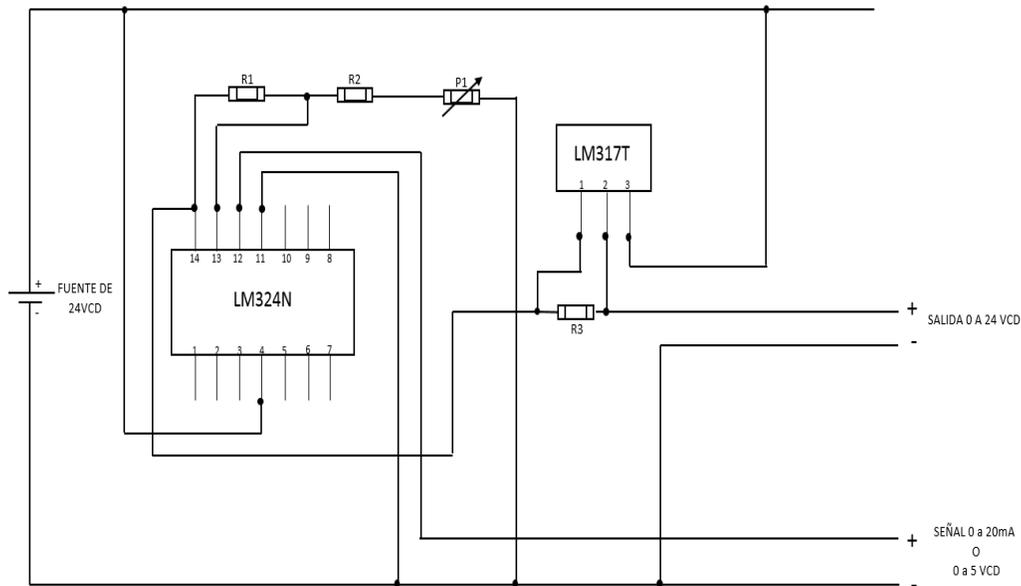
El circuito que se observa en la figura 4.36 permite controlar el voltaje desde 0 hasta  $24 V_{CD}$  para manipular la apertura de válvula con la finalidad de que el control de vacío resulte más preciso.

El circuito de control, funciona con un circuito operacional LM324N y un regulador de voltaje LM317T, el circuito se alimenta con una tensión de  $24V_{CD}$  y con una señal analógica de 4 a 20 mA, o una señal de 0 a  $5 V_{CD}$  y con una salida de 0 a  $24 V_{CD}$  la cual permite manipular el voltaje con que se alimenta la válvula y así controlar la apertura de válvula. A continuación se muestra la tabla 4.2 con la relación de consumos de corriente de la señal de entrada y del voltaje de salida.

**Tabla 4.2. Consumo de corriente y salida de voltaje de la válvula de vacío.**

Señal del HC900(V)	Voltaje de salida(V)	Corriente(mA)
0.5	3.5	33.0
1	5.7	54.6
1.5	8.0	76.4
2	10.2	98.1
2.5	12.5	119.7
3	14.7	141.1
3.5	17.0	162.3
4	19.2	183.1
4.5	21.5	210
5	22.1	210

A continuación se muestra en la figura 4.36 el circuito de control para la válvula de vacío 34PC01 y en la figura 4.37 se observa la válvula de vacío.



**Figura 4.36. Diagrama del circuito de control para la válvula de vacío 34PC01.**



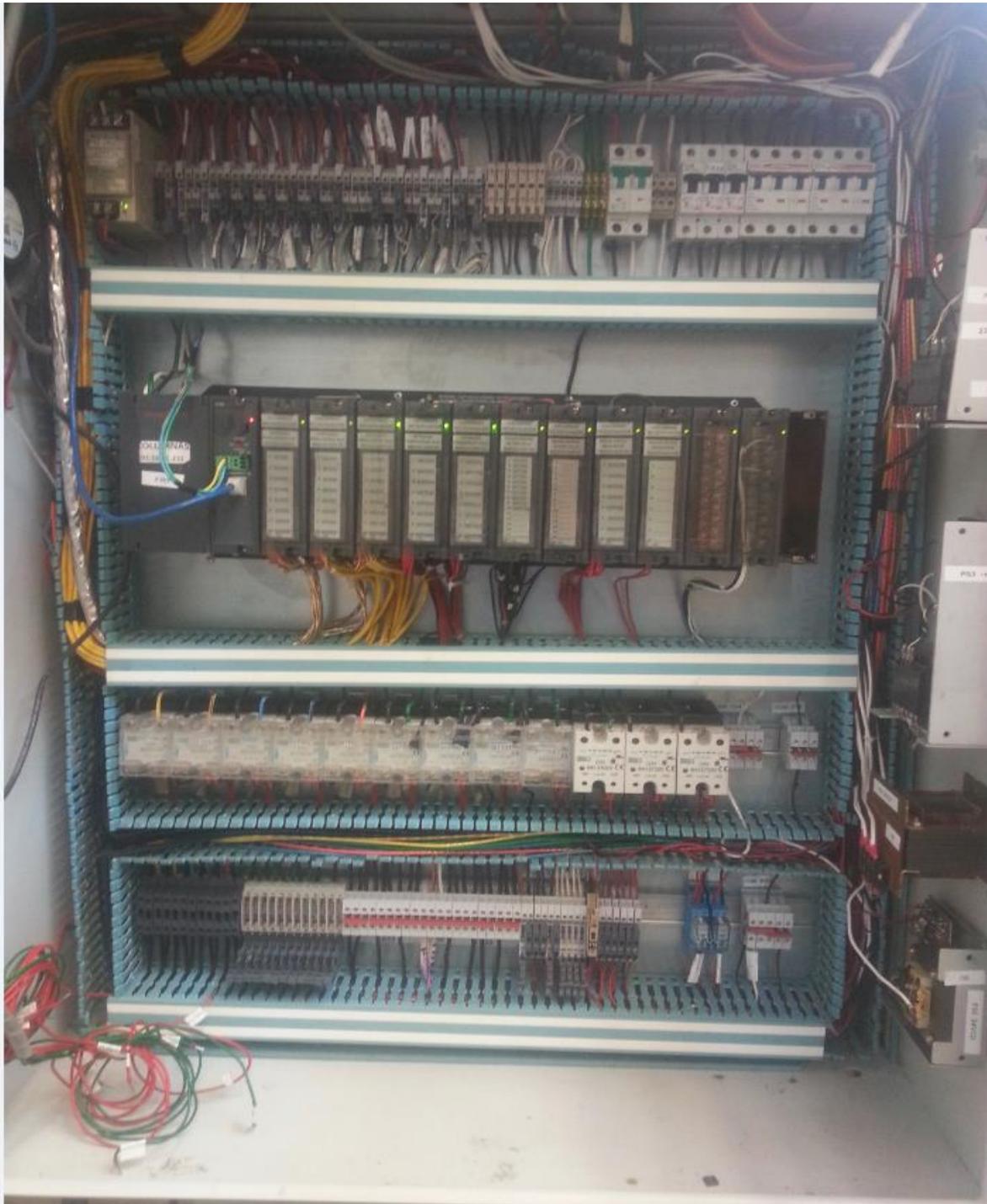
*Figura 4.37. Válvula de vacío 34PC01.*

En la figura 4.38 se muestra la tarjeta de salidas analógicas para el control de la válvula 34PC01.



*Figura 4.38. Alambrado de la tarjeta de salidas analógicas para el control de la válvula 34PC01.*

En la figura 4.39 se observa el tablero completo con los elementos que hacen posible el control de Planta de Destilación Older Shaw.



*Figura 4.39. Tablero de control.*

## 4.4 COMUNICACIÓN DEL HC900.

El controlador HC900 puede ser conectado a una PC estableciendo la comunicación a través de dos posibles medios, por RS-232 serial o por un cable Ethernet. A continuación se detallan, ya que ambos son empleados.

### 4.4.1 CABLE RS-232 SERIAL.

Como se ha mencionado el controlador HC900 se puede conectar a la PC para lo cual requiere de un cable RS232 y este cable puede ser adquirido o puede ser elaborado de acuerdo a la Tabla 4.3.

*Tabla 4.3. Conexiones de cable RS-232.*

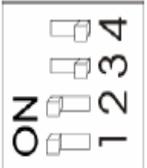
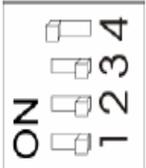
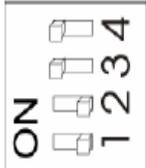
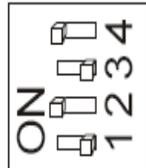
Conector hembra D de 9 contactos			Conector de 3 clavijas	
Nombre de señal	No.de terminal	Conexión	Nombre de señal	No. de clavijas
DCD	1	Ninguno		
RXD	2	Se conecta a	TXD	2
TXD	3	Se conecta a	RXD	3
DTR	4	Ninguno		
TIERRA	5	Se conecta a	TIERRA	1
TIERRA	6	Ninguno		
RTS	7	Ninguno		
CTS	8	Ninguno		
RI	9	Ninguno		

Una vez terminado el cable RS232 se conecta una de las partes al controlador HC900 (la de 3 clavijas) y el otro extremo al puerto serie COM1 de la PC.

Antes de establecer comunicación con el controlador se debe verificar la configuración de los puertos series del controlador, estos varían según el modelo. En el caso del módulo C30, éste cuenta con dos puertos seriales S1, S2 y con un puerto Ethernet.

Los puertos series S1 y S2 pueden ser configurados en RS-232 ó RS-485, dicha configuración es determinada por el dip switch SW1 para el puerto S1 y SW2 para el puerto S2, la configuración se muestra en la Tabla 4.4 y también se muestra en la figura 4.40 los puertos del módulo C30.

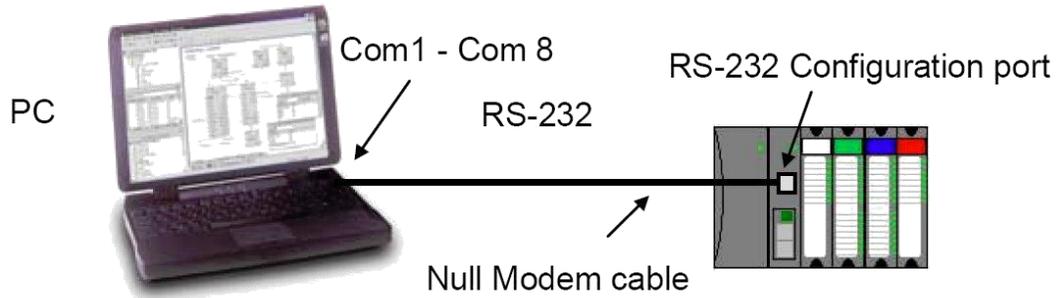
**Tabla 4.4. Configuración del interruptor dip switch de los puertos series.**

RS-232	RS-485 sin terminación	RS-485 con terminación (último enlace de la red)	RS-485 con polarización externa, sin terminación
			

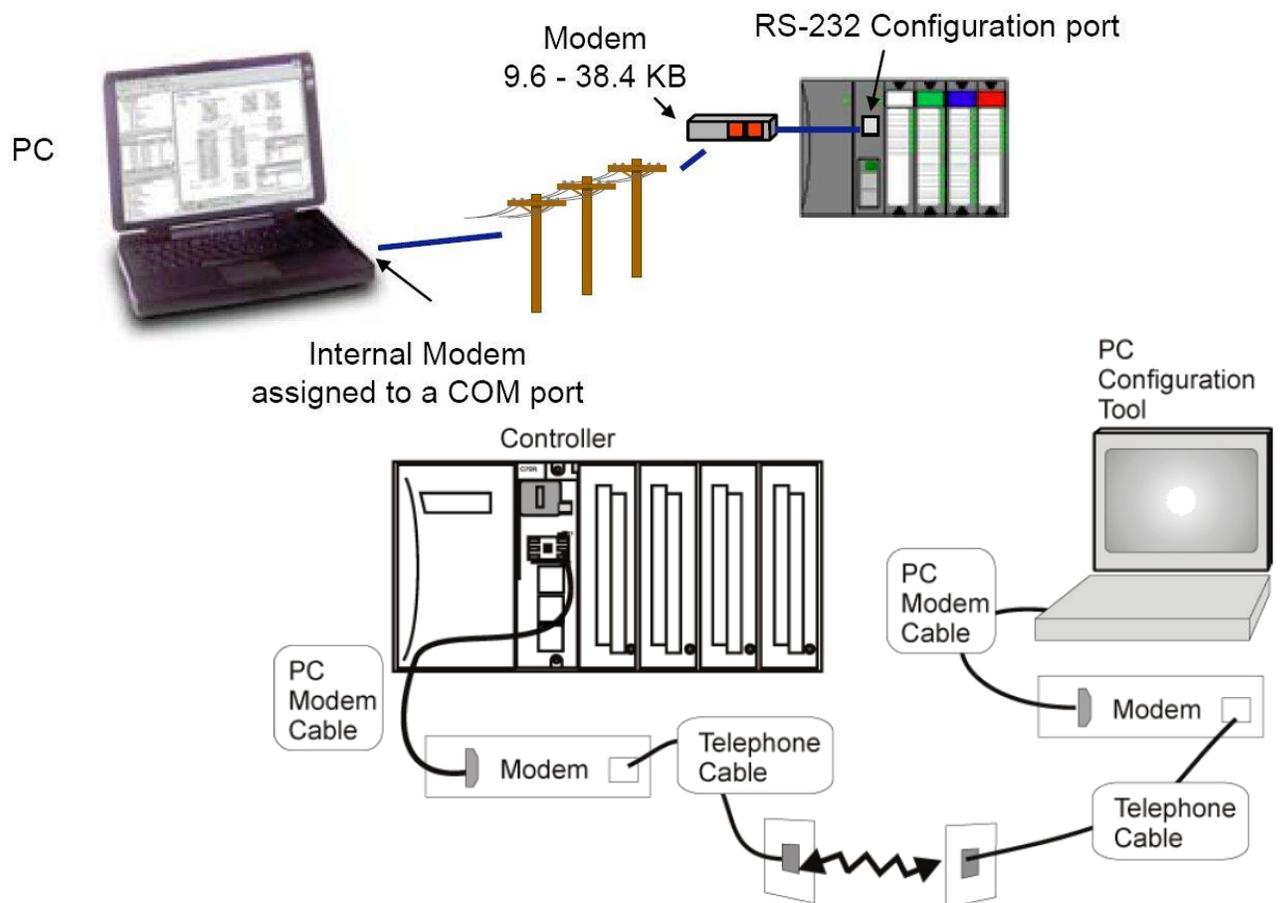


**Figura 4.40. Puertos que contiene el módulo C30.**

A continuación se muestra en las siguientes figuras 4.41 y 4.42 como se entabla comunicación por medio de RS-232.



*Figura 4.41. Comunicación por medio del RS-232.*



*Figura 4.42. Comunicación RS-232 a través de un módem.*

#### 4.4.2. CABLE ETHERNET.

Un conector RJ-45 es una interfaz física comúnmente utilizada para conectar redes de computadoras con cableado estructurado. Posee ocho pines o conexiones eléctricas, que normalmente se usan como extremos de cables de par trenzado (UTP). A continuación se muestra la tabla 4.5 para la configuración del cable con el conector RJ-45.

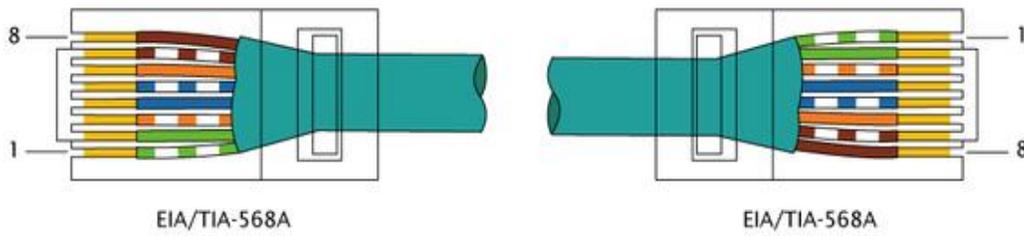
*Tabla 4.5. Configuración de cable RJ-45.*

Pin	Función	T568A	T568B
1	TX+ Transceive data +	Blanco/Verde 	Blanco/Naranja 
2	TX- Transceive data -	Verde 	Naranja 
3	RX+ Receive data +	Blanco/Naranja 	Blanco/Verde 
4	BDD+ Bi- directional data +	Azul 	Azul 
5	BDD- Bi- directional data -	Blanco/Azul 	Blanco/Azul 
6	RX- Receive data -	Naranja 	Verde 
7	BDD+ Bi- directional data +	Blanco/Marrón 	Blanco/Marrón 
8	BDD- Bi- directional data -	Marrón 	Marrón 

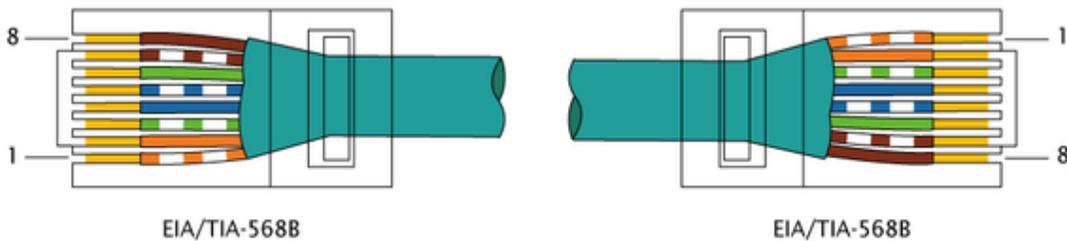
### 4.4.3. TIPOS DE CABLES.

#### a) Cable Directo.

El cable directo de red sirve para conectar dispositivos desiguales, como una computadora con un hub switch. En este caso, ambos extremos del cable deben tener la misma distribución. No existe diferencia alguna en la conectividad entre la distribución 568B y la distribución 568A siempre y cuando en ambos extremos se use la misma, en caso contrario hablamos de un cable cruzado. El esquema más utilizado en la práctica es tener en ambos extremos la distribución 568B. A continuación se muestra en las siguientes figuras 4.43 y 4.44 como se configura un cable Ethernet.



*Figura 4.43. Cable directo T568A.*

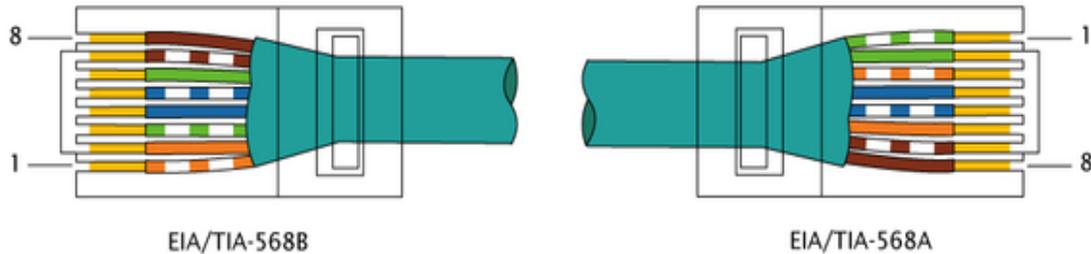


*Figura 4.44. Cable directo T568B.*

#### b) Cable cruzado.

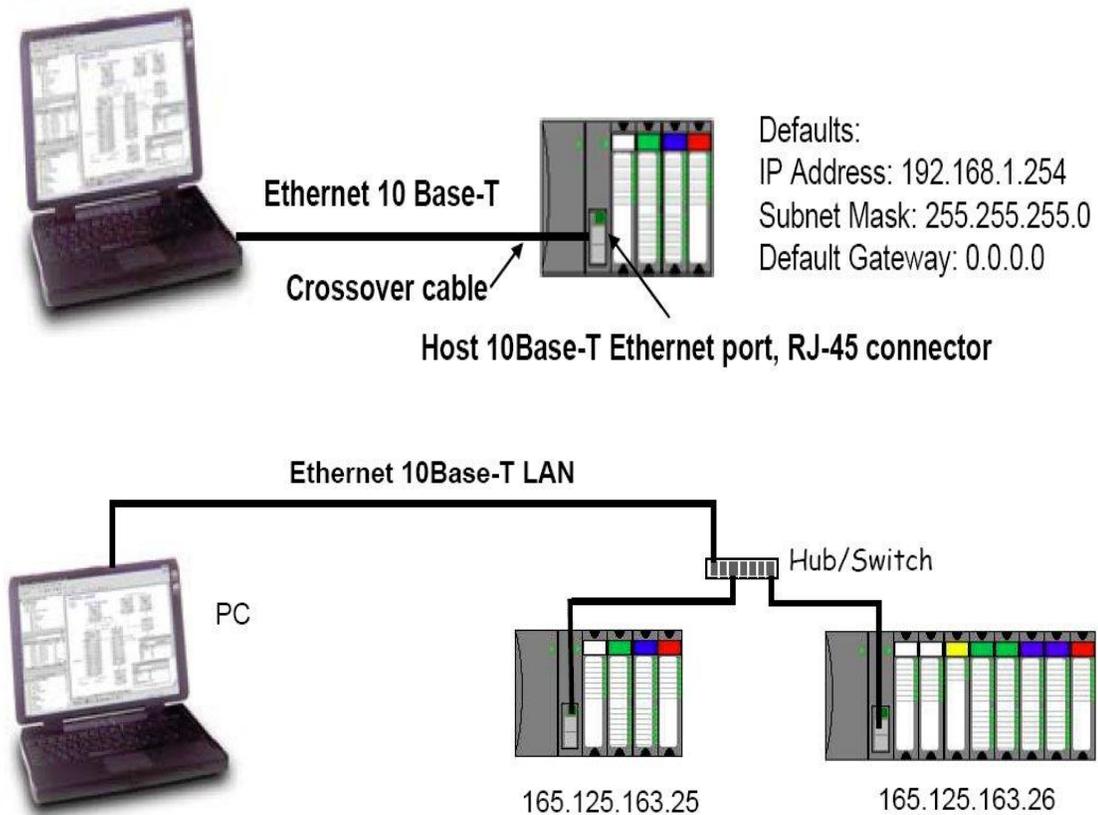
Un cable cruzado es un cable que interconecta todas las señales de salida en un conector con las señales de entrada en el otro conector y viceversa, permitiendo a dos dispositivos electrónicos conectarse entre sí con una comunicación full dúplex. El término se refiere

comúnmente al cable cruzado de Ethernet, pero otros cables pueden seguir el mismo principio. También permite transmisión confiable vía una conexión Ethernet. En la siguiente figura 4.45 se observa cómo se configura un cable cruzado.



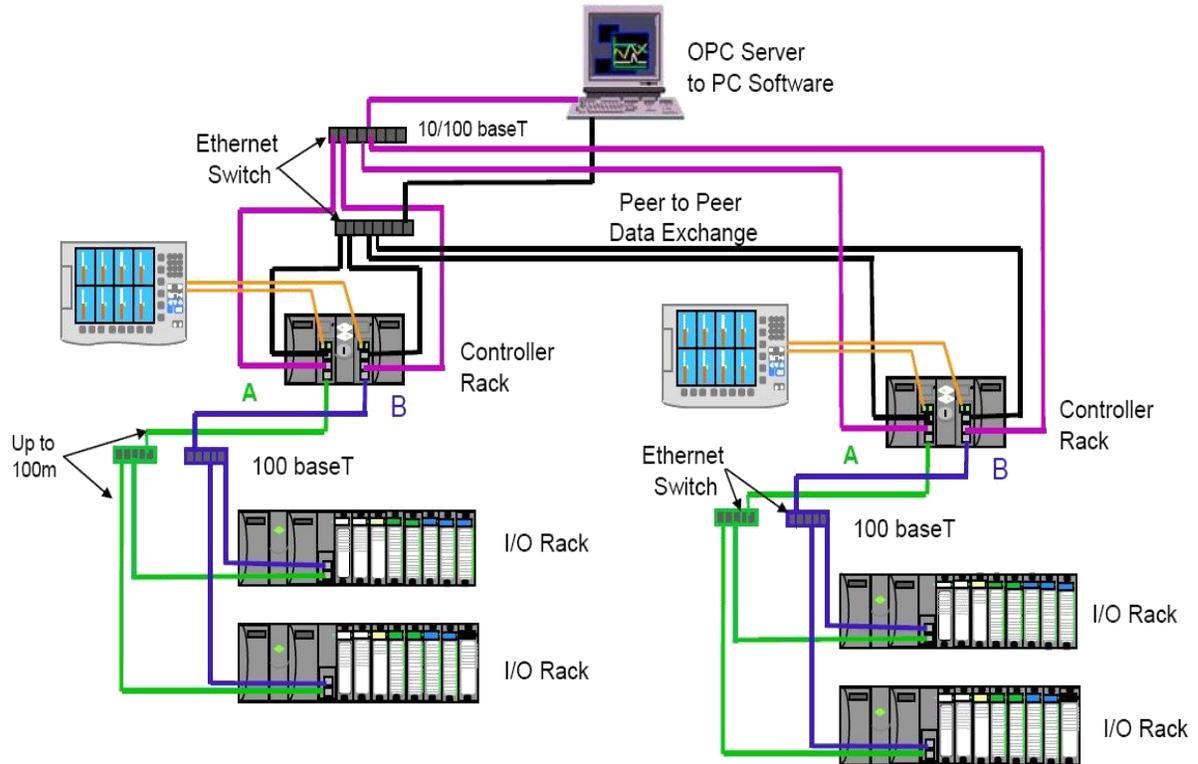
**Figura 4.45. Cable cruzado 568A/568B.**

A continuación en la siguiente figura 4.46 se muestra como se establece comunicación con el controlador.



**Figura 4.46. Comunicación por medio del cable Ethernet.**

En la figura 4.47 se observa una aplicación de comunicación por medio de RS-232 y Ethernet.

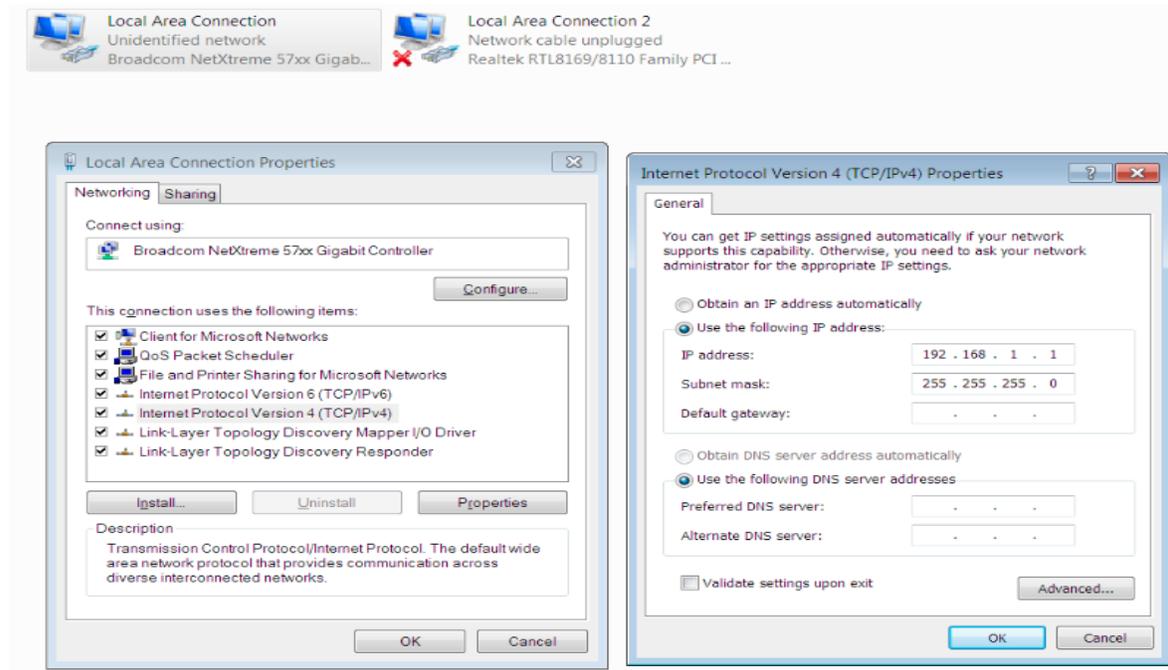


*Figura 4.47. Aplicación de la comunicación vía Ethernet y RS-232 para controla varias plantas (REDUNDANCIA).*

#### 4.4.4 CONFIGURACIÓN DE LA DIRECCIÓN IP.

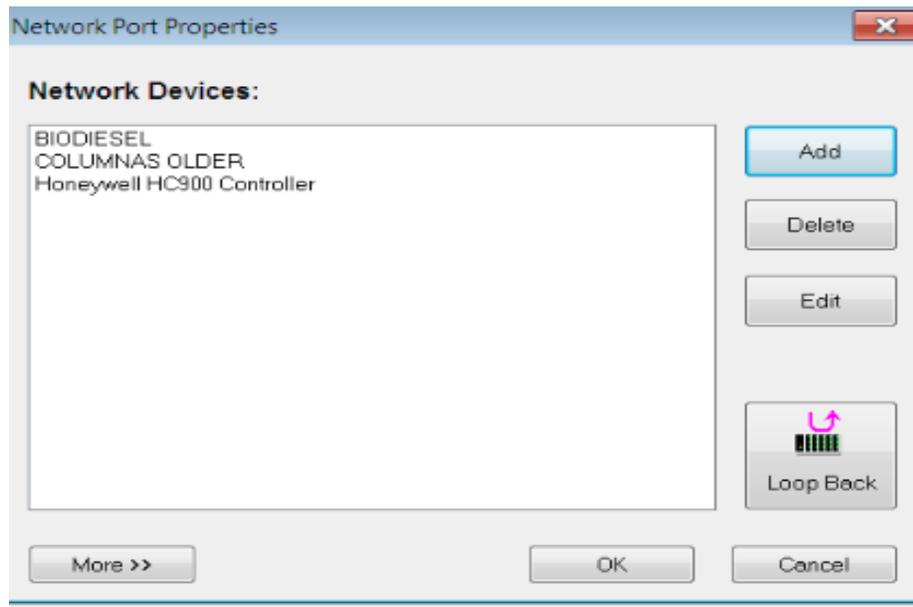
Para configurar la IP se deben llevar a cabo los siguientes pasos;

1. Se debe de ir a panel de control.
2. Dar click en Network and sharing settings, y se abre una ventana. Dar click en Change adapter settings.
3. Dar click derecho en LAN Connection y dar click en propiedades.
4. Aparecerá el cuadro de dialogo Local connection properties.
5. Dar doble click en Internet protocol versión 4 (TCP/IPv4).
6. Aparecerá un cuadro de dialogo donde se puede configurar la dirección de la IP.
7. Una vez configurada la IP se le da click en OK y listo.



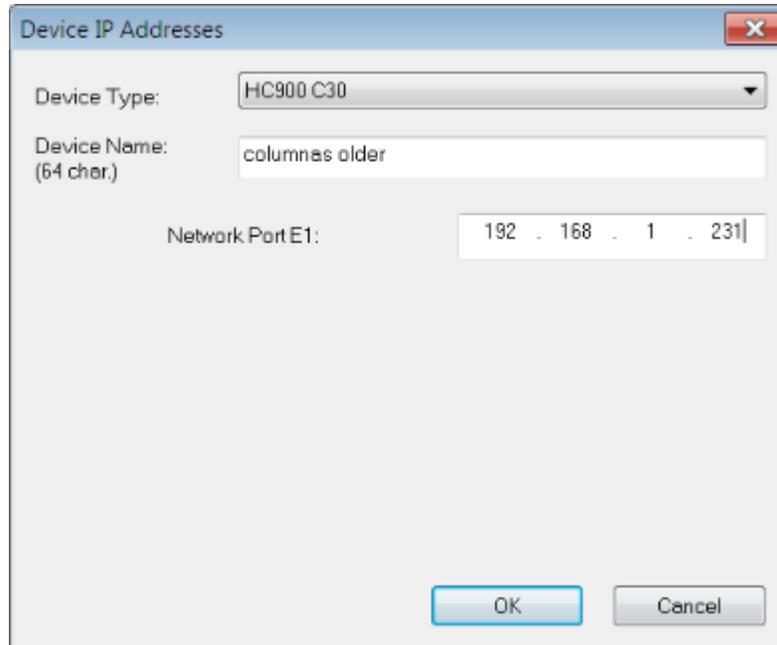
**Figura 4.48. Configuración de la IP en la PC.**

Una vez configurada la IP, se procede a configurar la IP de las columnas de Destilación que para este caso la IP es 192.168.1.231. Esto se realiza en el HYBRID CONTROL DESIGNER. En las siguientes figuras se mostrara como se realiza dicha configuración.



**Figura 4.49. Propiedades puerto Network.**

Se selecciona el nombre dando doble clic y aparecerá una ventana en la cual se puede modificar la dirección IP de ser necesario, el nombre así como el tipo de modulo con el que cuenta el controlador tal como se aprecia en la Figura 4.49. Una vez confirmado que el modulo y la dirección IP del controlador sean los correctos, se puede proceder a comprobar que exista comunicación por este medio dando clic en el icono de Loop Back que se aprecia en la Figura 4.49. Con lo que se asegura la comunicación del servidor al control HC900.



*Figura 4.50. Configuración de la IP en el HYBRID.*

Una vez que se realizó todo los pasos anteriores, la dirección IP esta lista y se puede tener comunicación del servidor con la planta Older Shaw.

## **4.5 CONTROL DE LA COLUMNA DE DESTILACIÓN OLDER SHAW.**

Como se ha mencionado a lo largo de este desarrollo, el control de las variables en cualquier proceso es muy importante ya que si se hace un buen manejo de las variables el proceso funcionara adecuadamente.

El diseño para controlar dichas variables se realiza mediante el software llamado Hybrid Control Designer, en el cual se hace una construcción por medio de bloques. El software cuenta con gran cantidad de bloques como por ejemplo: bloques de salidas digitales, PID,

contadores, compuertas, etc. con estos se puede construir los lazos de control de temperatura, presión y flujo, los cuales se utilizan para automatizar la Columna Older Shaw.

### 4.5.1 LAZO DE CONTROL DE LA TEMPERATURA DE FONDO DE LA OLLA.

En la figura 4.51 se puede observar el conjunto de bloques que se utilizó para la construcción de un lazo de control de temperatura. Este lazo, básicamente cuenta con una entrada analógica, un bloque PID (Proportional Integral and Derivate) y una salida digital, para el sistema de control de temperatura.

Cabe mencionar que los bloques se tienen en la librería y hay que configurarlos y conectarlos, dependiendo de la aplicación.

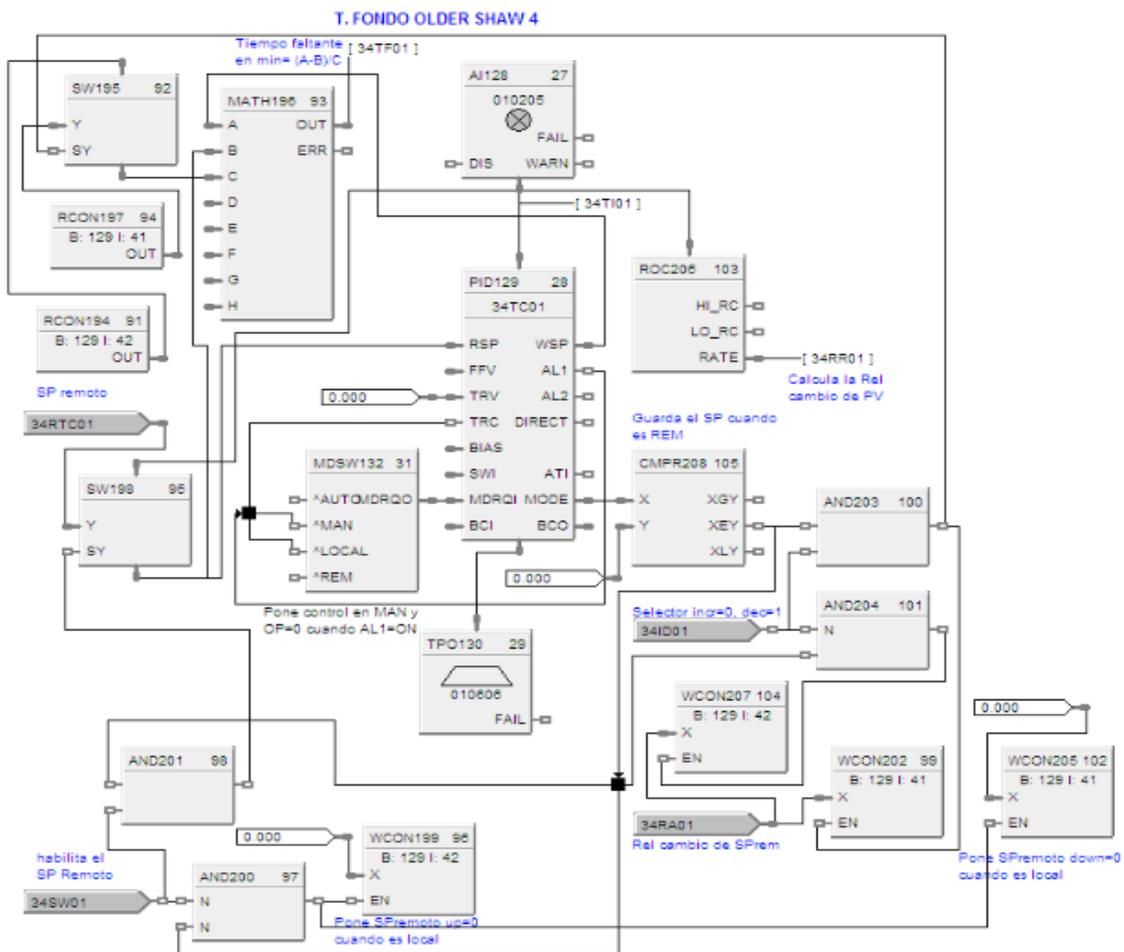
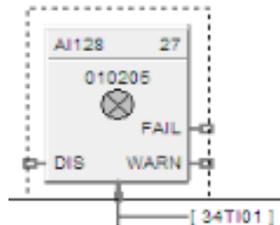


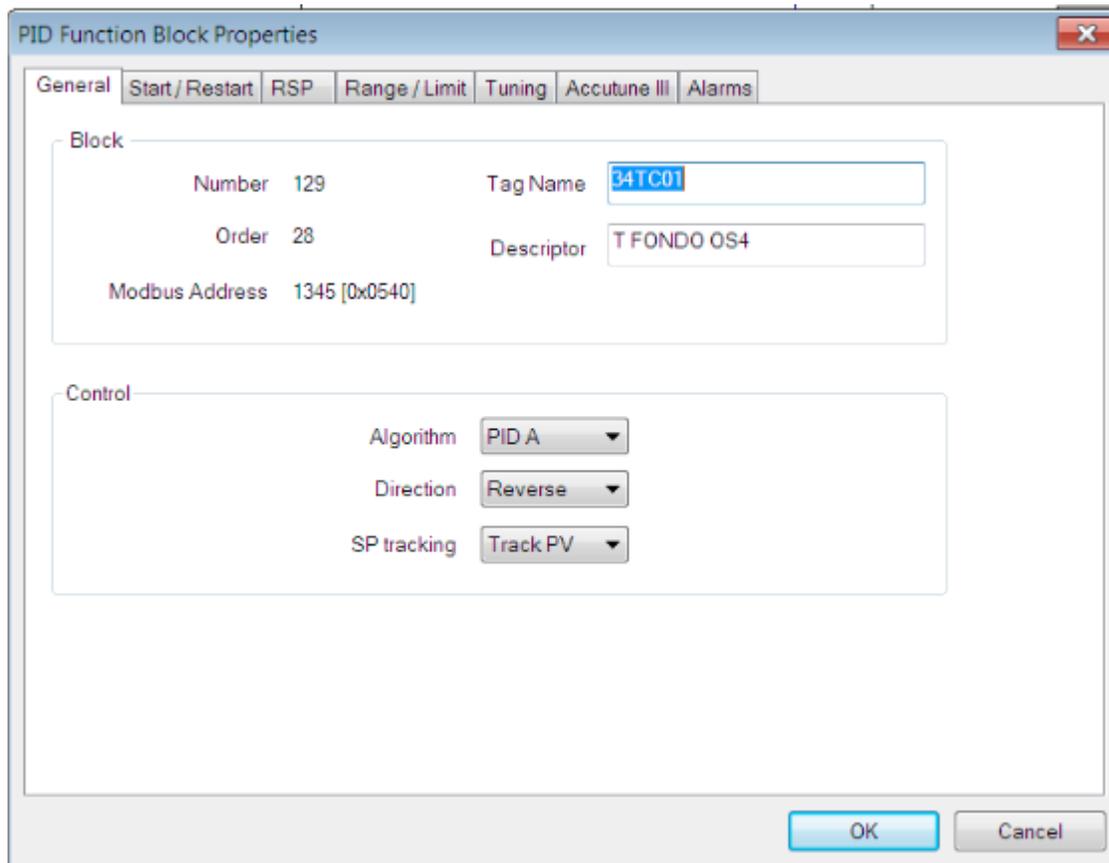
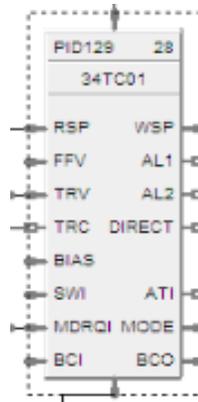
Figura 4.51. Lazo de control de temperatura de la olla.

Para el bloque de entrada analógico de la figura 4.52, se muestra el cuadro de dialogo en que se debe configurar, dependiendo del tipo de termopar a utilizar, que en este caso es un tipo K, además se debe configurar la ubicación físicamente para poder realizar el cableado (rack, módulo y canal).



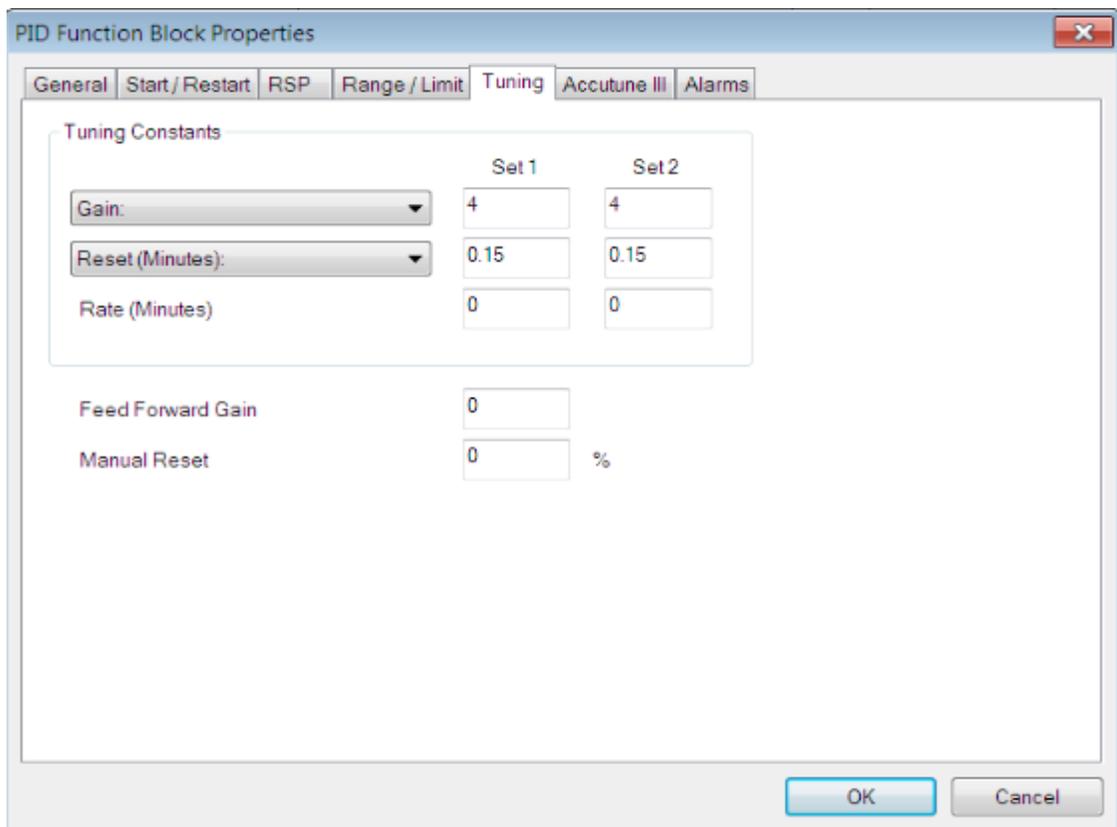
*Figura 4.52. Cuadro de configuración de la entrada analógica.*

Otro de los bloques empleados es el bloque PID (Proportional Integral and Derivate), el cual se utiliza para crear el lazo de control de temperatura, como se muestra a continuación en la figura 4.53.



**Figura 4.53. Cuadro de configuraciones generales del PID.**

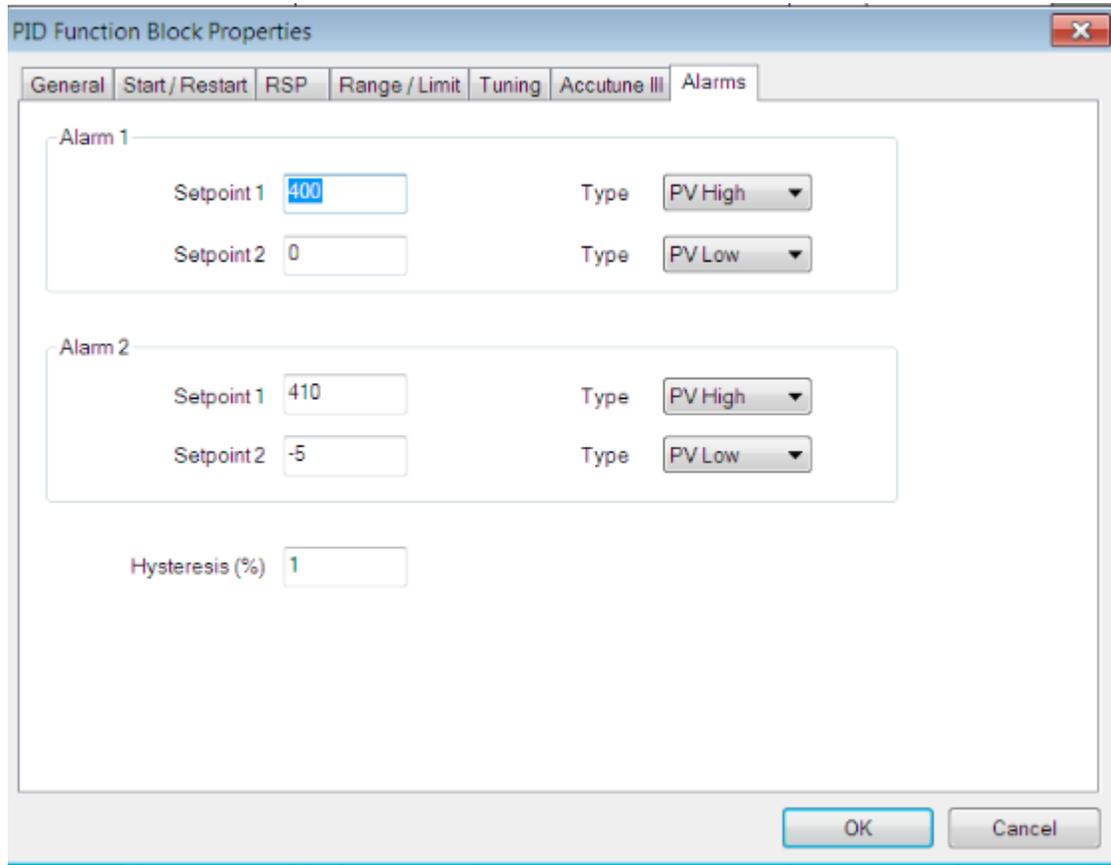
Una de las partes importantes del controlador es encontrar sus parámetros de sintonía. La sintonización del lazo de temperatura, se llevó por medio del método de prueba y error, esto fue modificando el valor de ganancia que es la proporción de la variación de salida (%) sobre el cambio de las variables medidas (%) que lo causó y el tiempo de RESET o Tiempo Integral, el cual trabaja ajustando la salida del controlador de acuerdo con el tamaño de la desviación SP (Set point) vs PV (process variable) y el tiempo que dura. Utilizando este método, se tomaron los valores con los que se encontraba trabajando el antiguo controlador, una vez introducidos esos valores que se observa en la figura 4.54, se realizó una pequeña prueba en la que se observó el comportamiento del lazo de control, conforme a su respuesta se observó que la variable de temperatura se encontraba calentando muy rápido, motivo por el cual se cambió el valor de la ganancia y del tiempo de reset hasta encontrar los valores más adecuados, como se muestra en la figura 4.54.



	Set 1	Set 2
Gain:	4	4
Reset (Minutes):	0.15	0.15
Rate (Minutes)	0	0
Feed Forward Gain	0	
Manual Reset	0	%

**Figura 4.54. Cuadro de configuraciones de sintonización del bloque PID.**

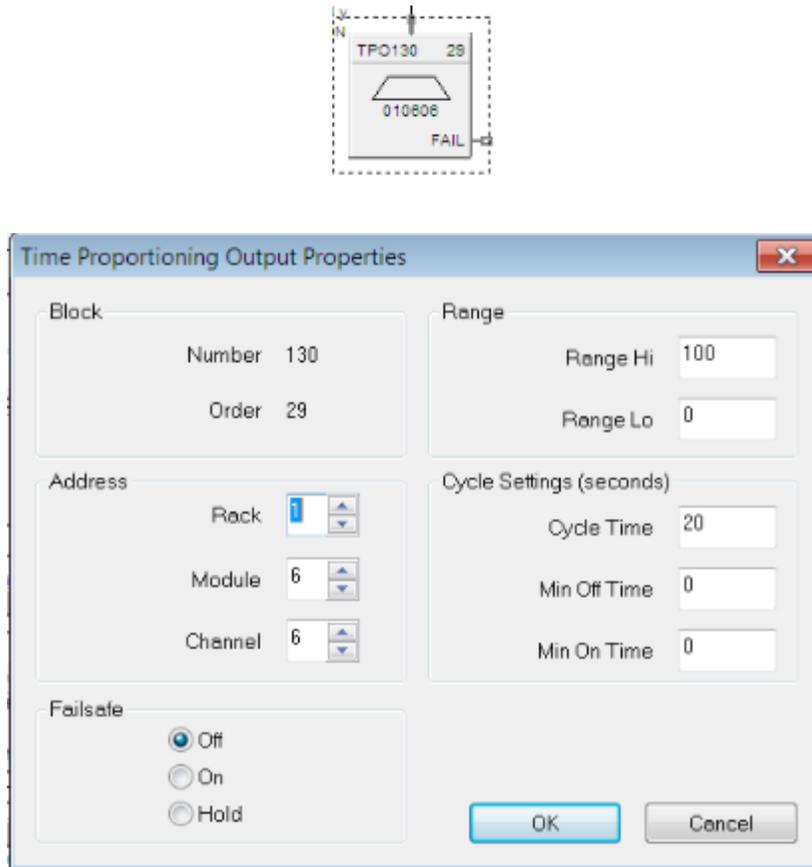
A continuación se ilustra cómo se configuran las alarmas, para este caso se puso un límite al “set point” de 400 °C ya que esta temperatura es la temperatura límite del sistema.



**Figura 4.55. Cuadro de configuraciones de alarma del bloque PID.**

En el lazo de control se utiliza un relevador, por lo que se selecciona un bloque de salida proporcional por tiempo el cual tiene como función el proporcionar una cantidad de tiempo de encendido y apagado a la salida del relevador, en un ciclo de tiempo definido por el usuario de tal forma que esta señal de salida es utilizada para el control del relevador (tiempo de conmutación), por lo cual el relevador conmuta y se envía un pulso de corriente hacia la resistencia para iniciar el calentamiento en este caso en la olla de la columna de destilación, conforme se vaya requiriendo el controlador aumenta la cantidad de pulsos de salida para alcanzar la temperatura deseada o bien disminuyen conforme se vaya alcanzando el valor de set point. En el bloque de salida TPO, al igual que los demás bloques, se le asignan propiedades como la dirección, el rango de salida, etc.

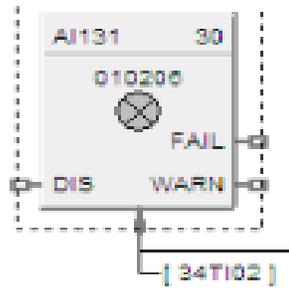
En la Figura 4.56 se muestra la ventana de configuración para el bloque de salida del control.



*Figura 4.56. Cuadro de configuración del bloque de salida.*

#### 4.5.2 INDICACIÓN DE TEMPERATURA DEL DOMO Y DEL BAÑO.

Para visualizar la temperatura del domo y del baño se emplearan 2 bloques de entrada analógica. Este tipo bloques son empleados para recibir señales en mV, V, T/C, RTD, ohm y mA; y en este caso se utilizan para conectar 2 termopares y el tipo de señal que entregan los termopares es en mV. Los 2 termopares que vamos a conectar son muy importantes dentro del proceso de destilación ya que uno va a estar censando la temperatura del domo y el otro la temperatura del refrigerante que pasa por la columna, además de los bloque se utilizar una salida de indicación “Signal tag”, esto se usa para poder visualizar el en esquemático lo que el termopar está censando en ese momento. A continuación se muestran en las figuras 4.57 a la 4.60 como se configuro y que bloque se utilizó.



The screenshot shows the 'Analog Input Properties' dialog box. It is divided into several sections:

- Block:** Number 131, Order 30.
- Address:** Rack 1, Module 2, Channel 6.
- Input Type and Range:** T/C (selected), RTD, Linear, Special. Range: K, -18, 1316 C.
- Bad Channel Detection:**  Generate Hardware Failure on Bad Channel Detection.
- Burnout Check:**  Enable.
- Disabled Channel:** Output Value 0.
- Settings:** Filter Time (sec) 0, Bias 0.
- Range:** High 100.0, Low 0.0.
- Failsafe:**  Use Value → 99999,  Down scale,  Up scale.

Buttons for 'OK' and 'Cancel' are at the bottom.

*Figura 4.57. Cuadro de configuraciones de la temperatura del domo.*

Analog Signal Properties - Signal Tag 7

Signal Source - Block 131 Output 4

Tag Name: 34TI02

Rename associated Input Connectors

Descriptor: T DOMO OS4

Units: oC

Decimal Places: 2

Modbus Addresses and Data Types:

8205 [0x200C] float 32

Display

Tag Name: 34TI02

Units: oC

OK Cancel

*Figura 4.58. Propiedades de la señal analógica de la temperatura de domo.*

Analog Signal Properties - Signal Tag 9

Signal Source - Block 134 Output 4

Tag Name: 34TI03

Rename associated Input Connectors

Descriptor: T BAÑO OS 4

Units: oC

Decimal Places: 2

Modbus Addresses and Data Types:

8209 [0x2010] float 32

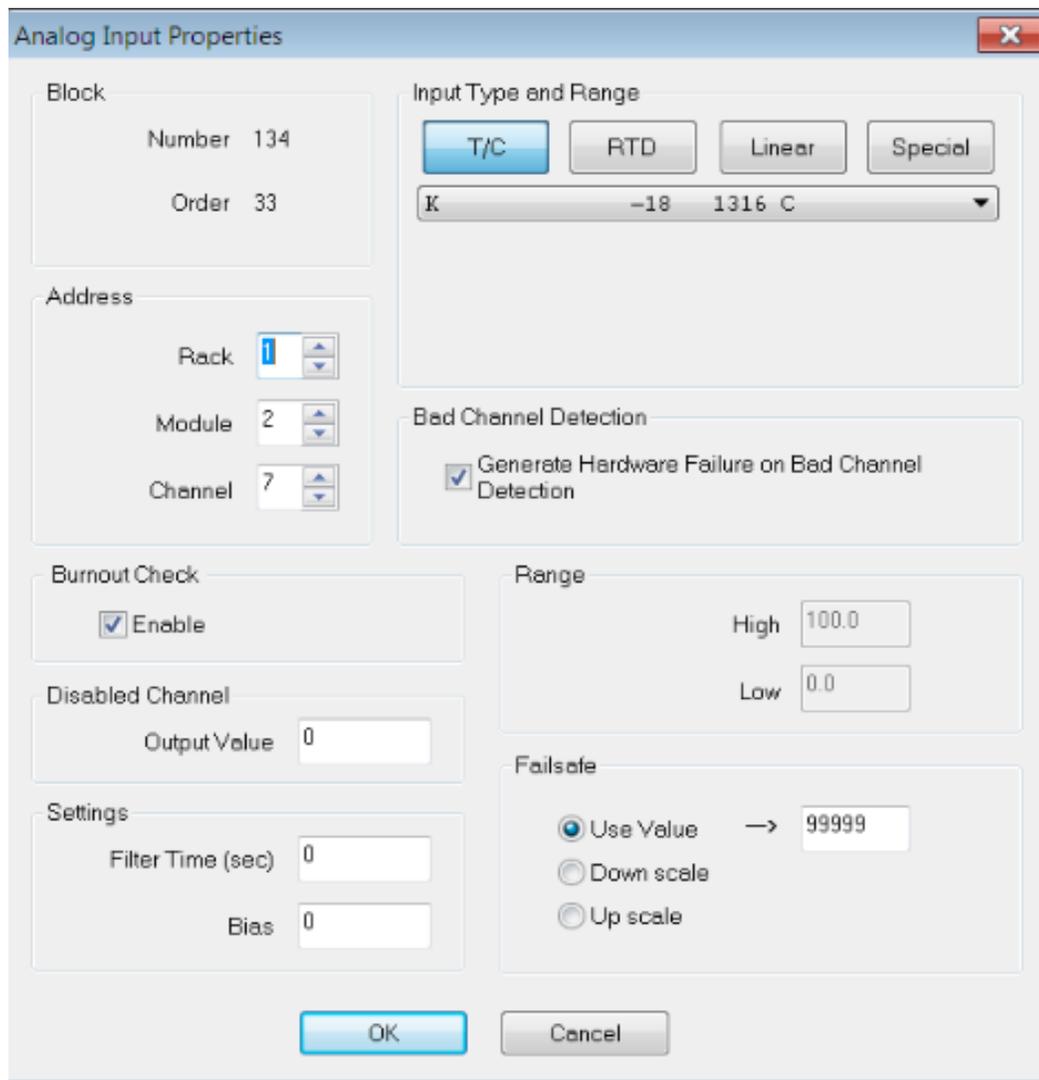
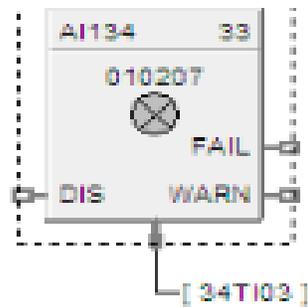
Display

Tag Name: 34TI03

Units: oC

OK Cancel

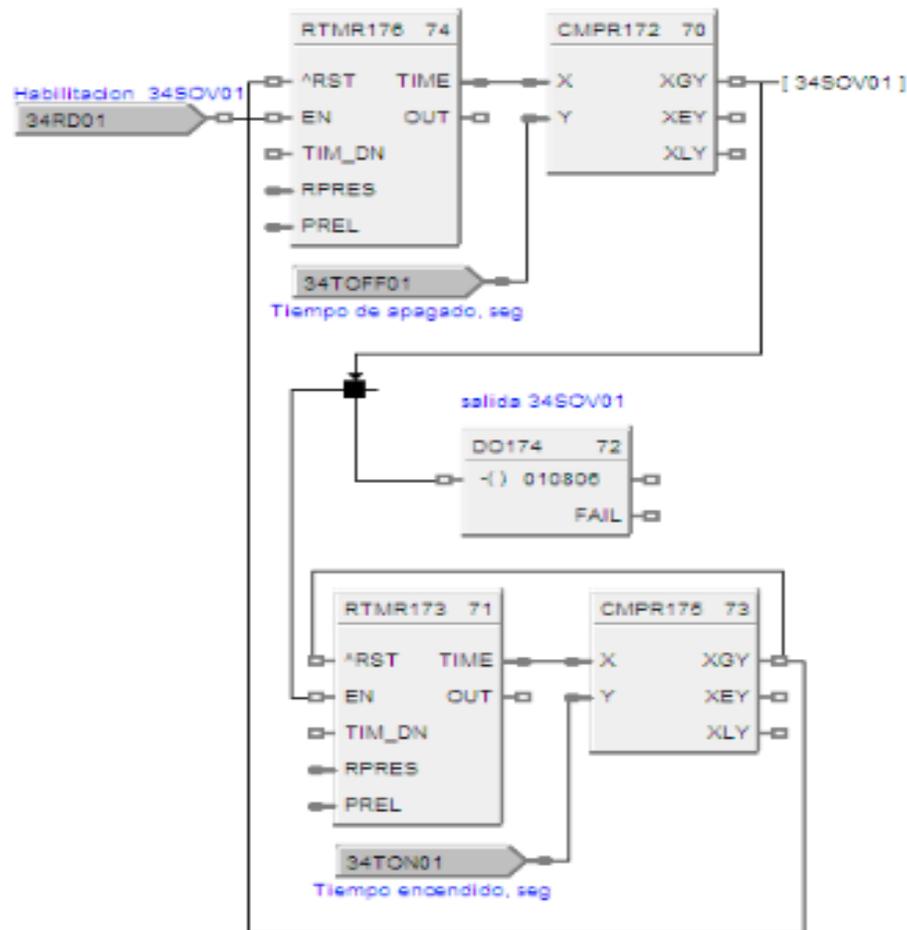
*Figura 4.59. Propiedades de la señal analógica de la temperatura del baño.*



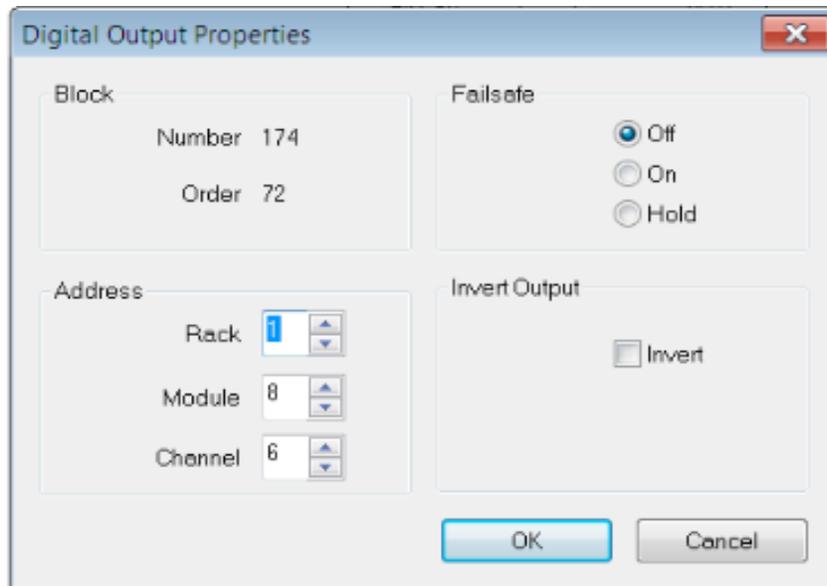
*Figura 4.60. Cuadro de configuraciones de la temperatura del baño.*

### 4.5.3 CONTROL DE REFLUJO DESTILADO (R/D).

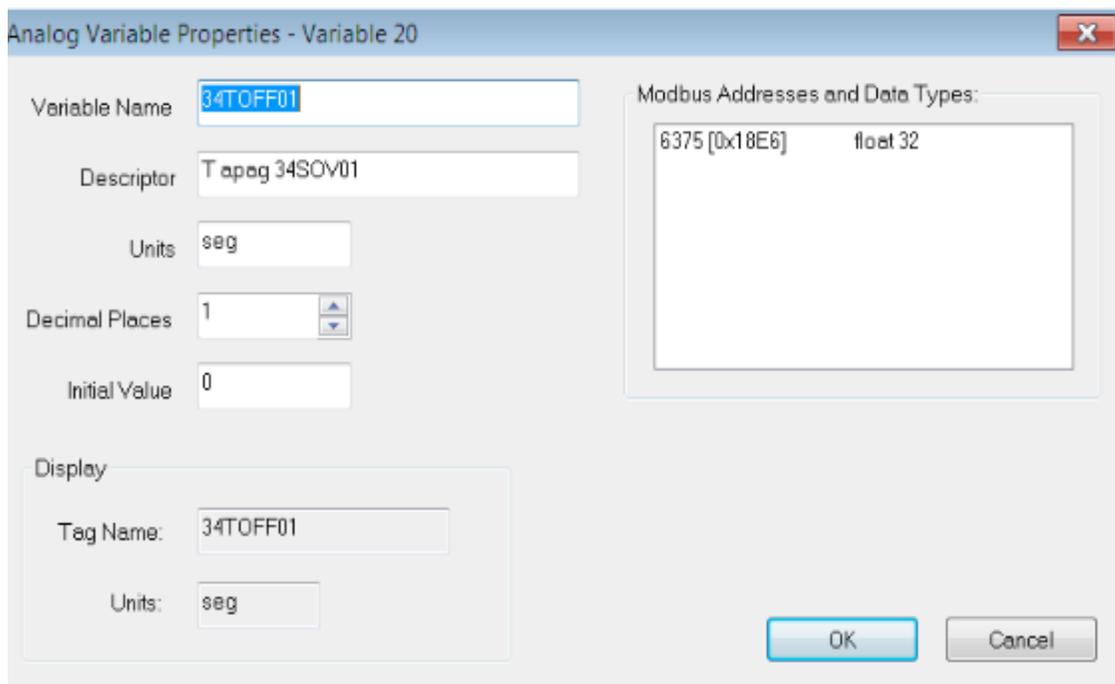
A continuación se muestran en la figuras 4.61 a la 4.65 el diagrama de bloques que se utilizó para llevar a cabo el control de reflujo/destilado R/D y los cuadros de las propiedades de cada bloque. Esta parte es muy importante en el proceso de destilación ya que es una bobina que se energiza para permitir el paso de destilado y cuando está se deshabilita, simplemente existe reflujo. El tiempo está dado en segundos, por lo que el proceso, en general, requiere de 20 segundos de reflujo y 4 segundos de destilado y para algunos otros casos se requiere de 10 segundos de reflujo y 5 segundos de destilado. A continuación se muestran los bloques que se emplearon para controlar el R/D además como se configuro cada bloque.



*Figura 4.61. Control de reflujo destilado para la columna Older Shaw.*



*Figura 4.62. Propiedades de la salida digital.*



*Figura 4.63. Propiedades de las variables analógicas tiempo de apagado.*

Analog Variable Properties - Variable 21

Variable Name: 34TON01

Descriptor: T enc 34SOV01

Units: seg

Decimal Places: 0

Initial Value: 0

Display

Tag Name: 34TON01

Units: seg

Modbus Addresses and Data Types:

6377 [0x18E8]	float 32
---------------	----------

OK Cancel

*Figura 4.64. Propiedades de las variables analógicas tiempo de encendido.*

Digital Signal Properties - Signal Tag 18

Signal Source - Block 172 Output 1

Tag Name: 34SOV01

Rename associated Input Connectors

Descriptor: R/D OLDER SHAW 4

Off Label: OFF

On Label: ON

Display

Tag Name: 34SOV01

Modbus Addresses and Data Types:

8227 [0x2022]	float 32
---------------	----------

OK Cancel

*Figura 4.65. Propiedades de las señales digitales.*

#### 4.5.4 CÁLCULO MATEMÁTICO DE LA TEMPERATURA ATMOSFÉRICA EQUIVALENTE (AET).

Para realizar este cálculo, que es muy importante porque suministra en tiempo real la temperatura atmosférica equivalente, se debe tomar en cuenta que este procedimiento está reservado a fracciones pesadas. Lo más habitual es convertir los resultados en temperaturas equivalentes atmosféricas utilizando una relación normalizada, que no tiene en cuenta la naturaleza química de los componentes. Para realizar este cálculo se toma en cuenta la siguiente fórmula.

$$AET: \left[ \frac{748.1A}{\frac{1}{T+273.1} + 0.3861A - 0.0051606} \right] - 273.1$$

$$A: \frac{5.994295 - 0.972546 \log_{10} P}{2663.129 - 95.75 \log_{10} P}$$

*Figura 4.66. Fórmula para el cálculo de temperatura atmosférica equivalente (AET).*

Donde:

AET: Temperatura atmosférica equivalente °C.

T: Temperatura observada en el domo °C.

A: Factor de corrección.

P: Presión de operación en mm Hg o Torr.

En las siguientes figuras 4.67 a la 4.75 se muestran los bloques empleados para el cálculo de AET, así como también su configuración de cada bloque. Hay que tomar en cuenta que para este cálculo, se debe realizar a dos presiones distintas, ya que uno de los transmisores tiene un rango de 0 a 1875 Torr y el otro maneja un rango de 0 a 45 Torr.

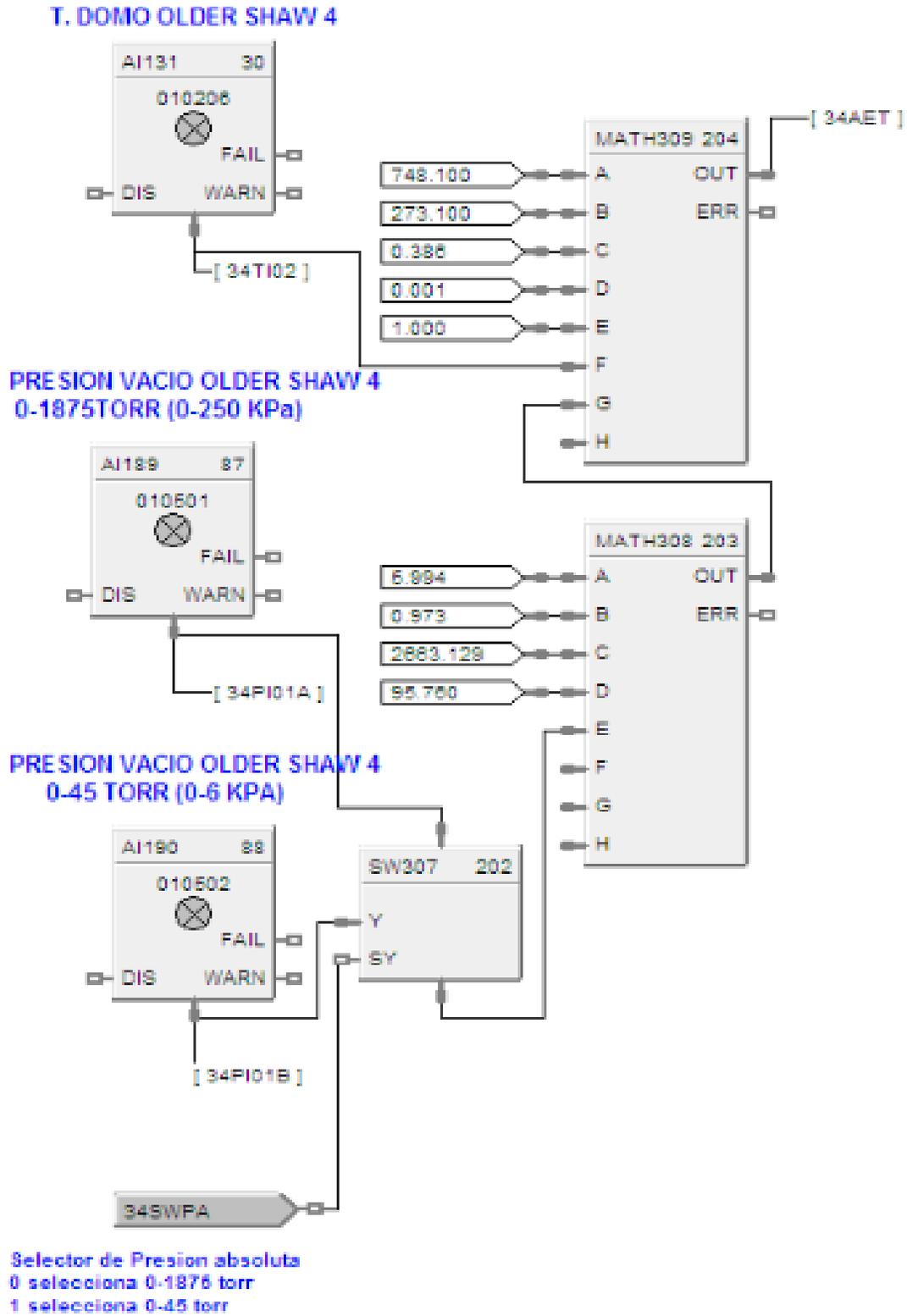
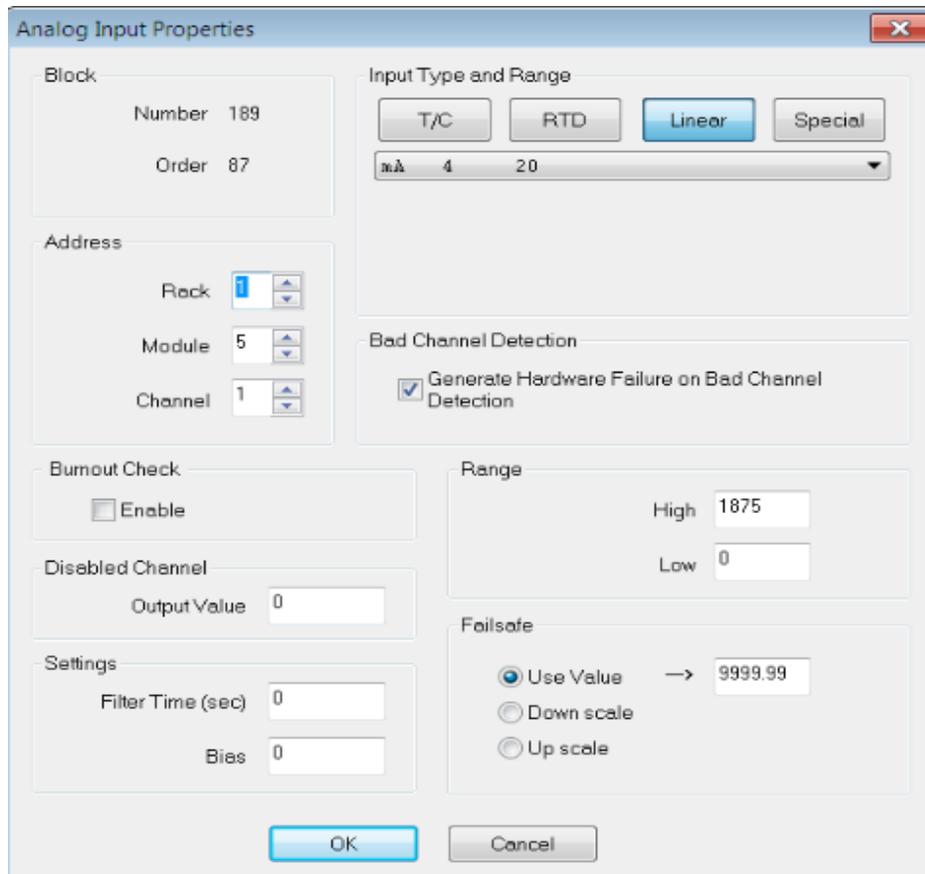
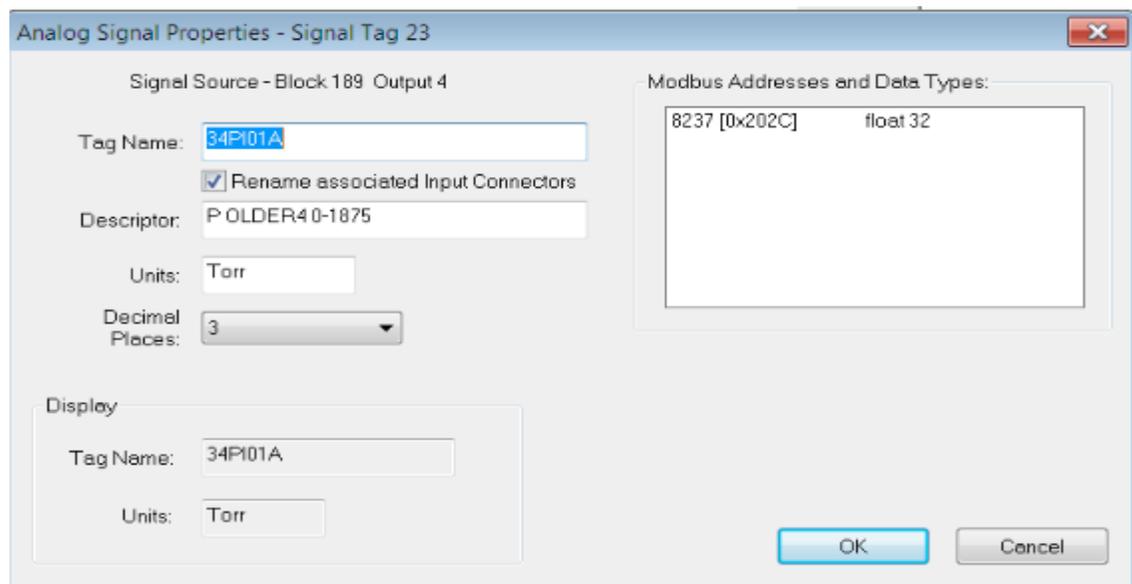


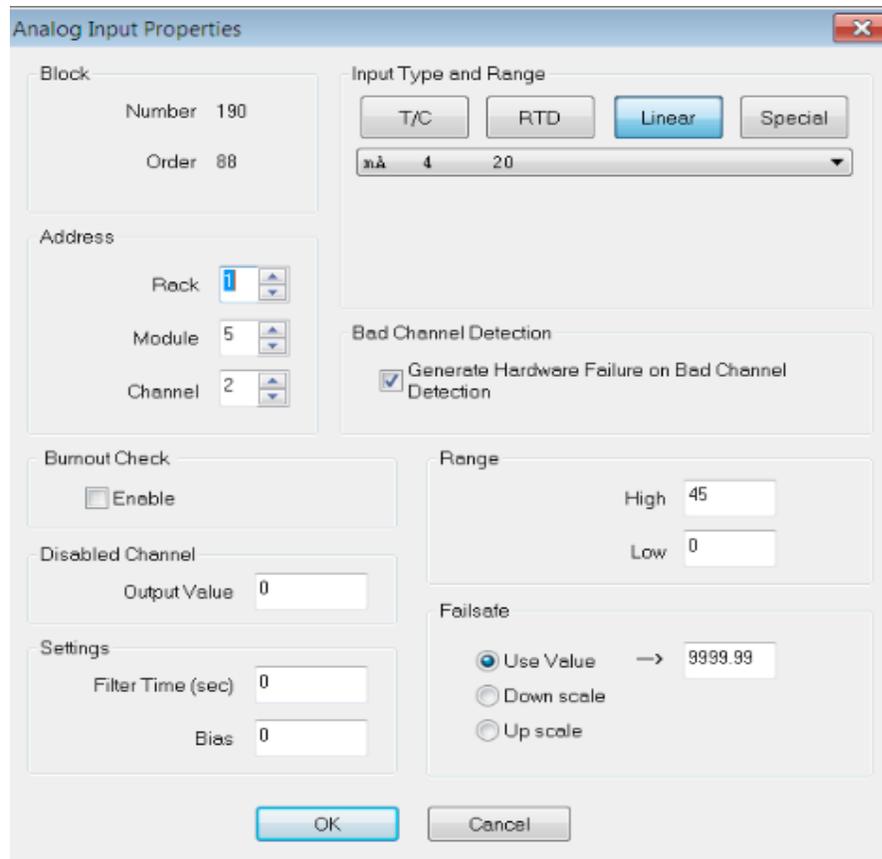
Figura 4.67. Calculo de la Temperatura atmosférica equivalente (AET).



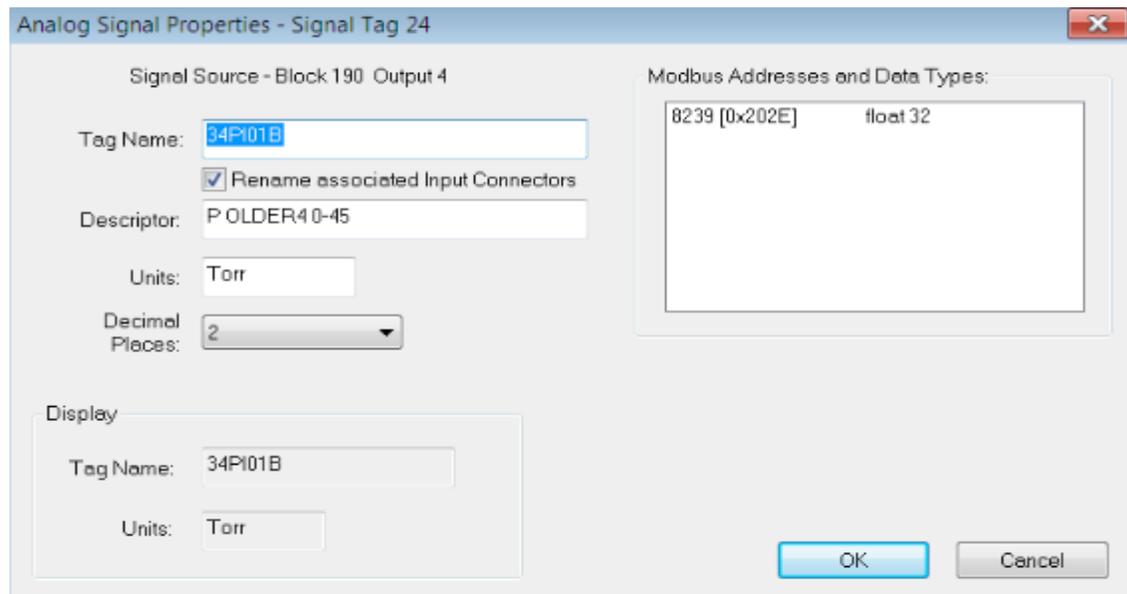
**Figura 4.68. Cuadro de configuración de una entrada analógica para el transmisor de presión de 0 a 1875 Torr.**



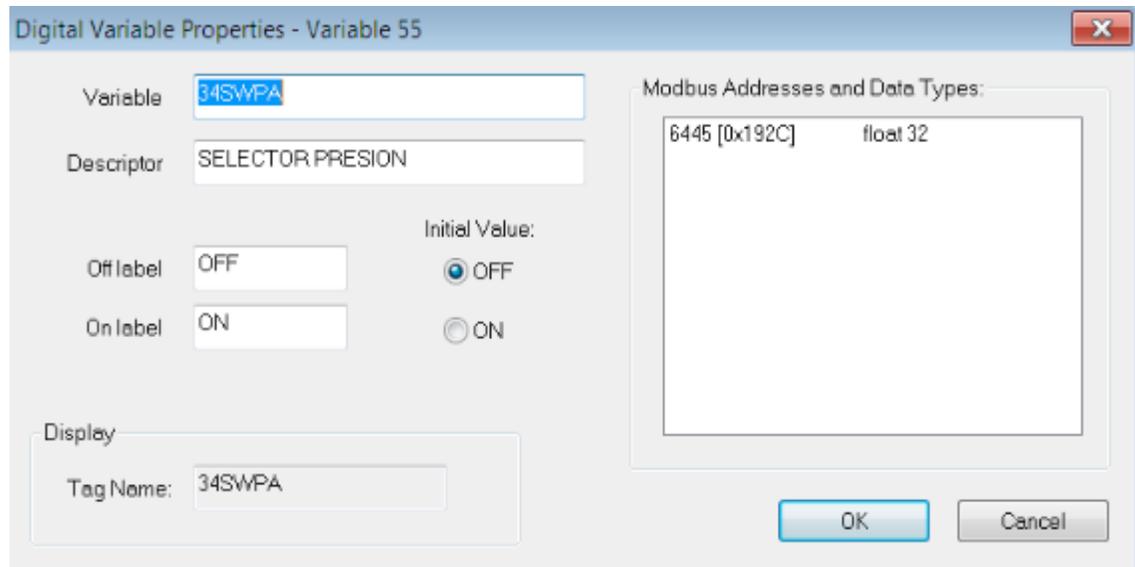
**Figura 4.69. Propiedades de las señales analógicas transmisor de presión de 0 a 1875 Torr.**



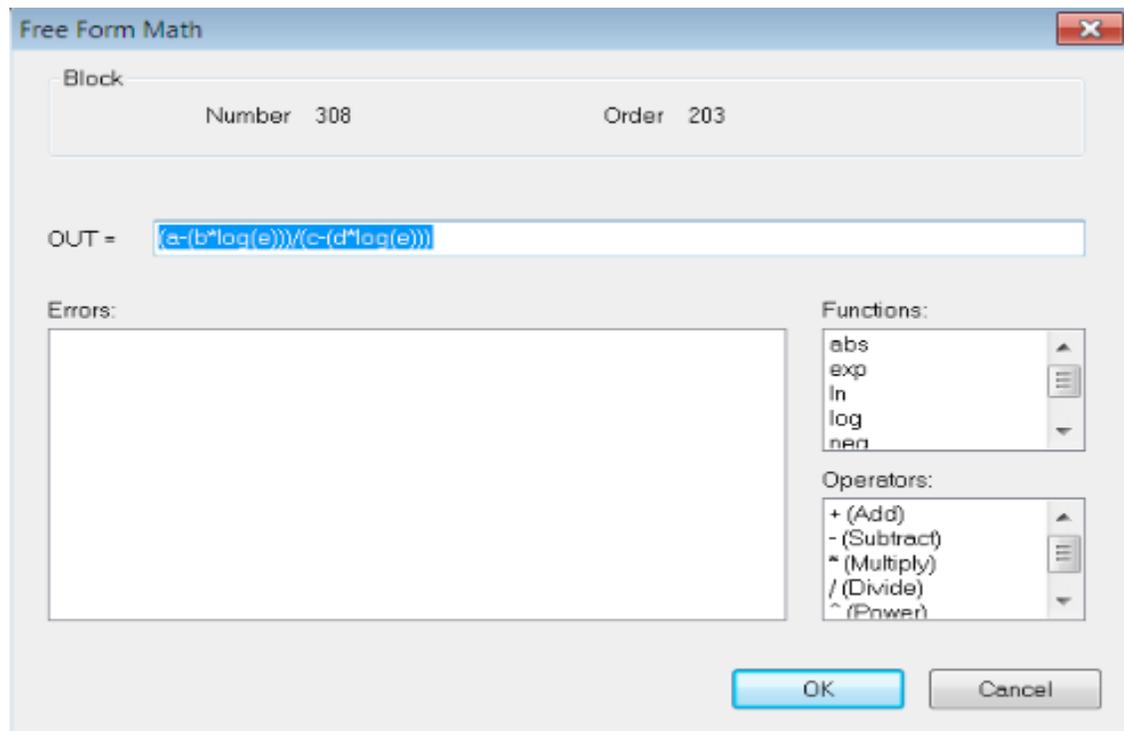
**Figura 4.70. Cuadro de configuración de una entrada analógica para el transmisor de presión de 0 a 45 Torr.**



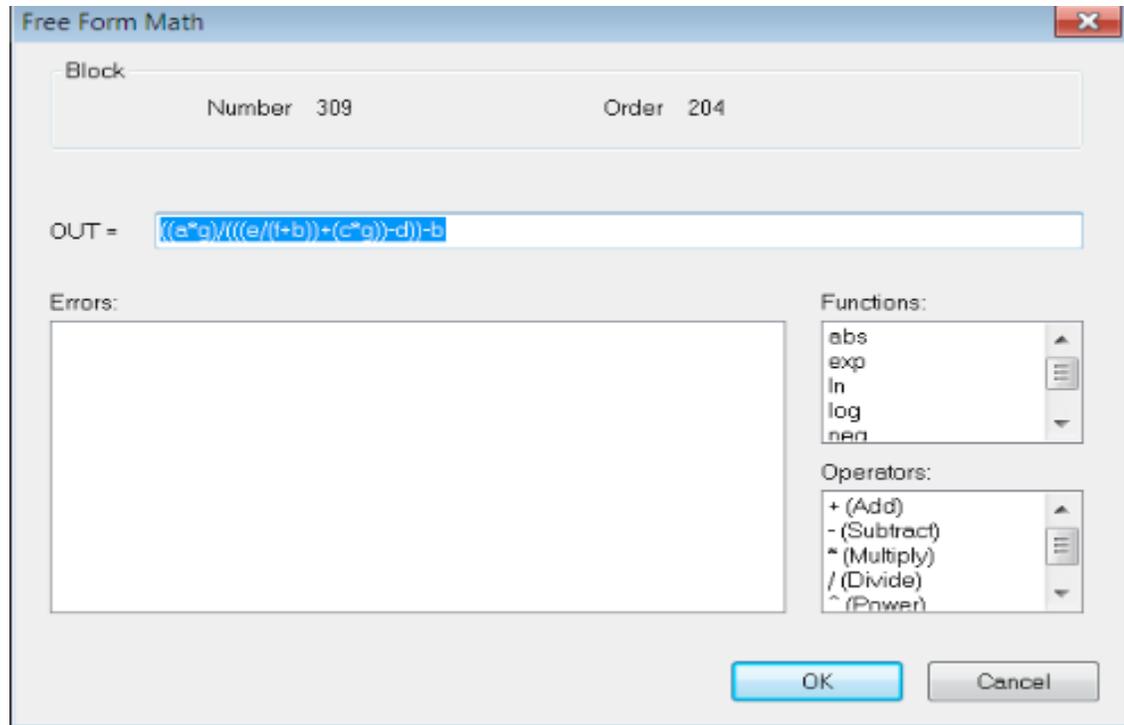
**Figura 4.71. Propiedades de las señales analógicas transmisor de presión de 0 a 45 Torr.**



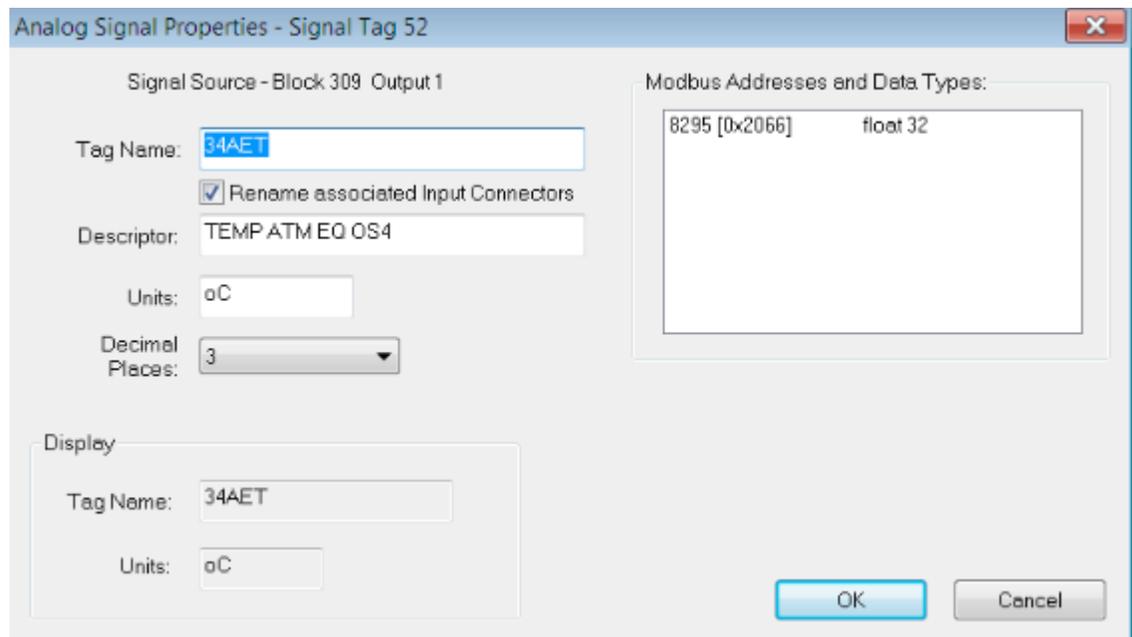
*Figura 4.72. Variable digital selector de presión.*



*Figura 4.73. Formula para el cálculo de factor de corrección (A).*



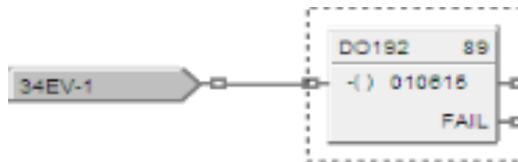
*Figura 4.74. Formula para el cálculo de la temperatura atmosférica equivalente (AET).*



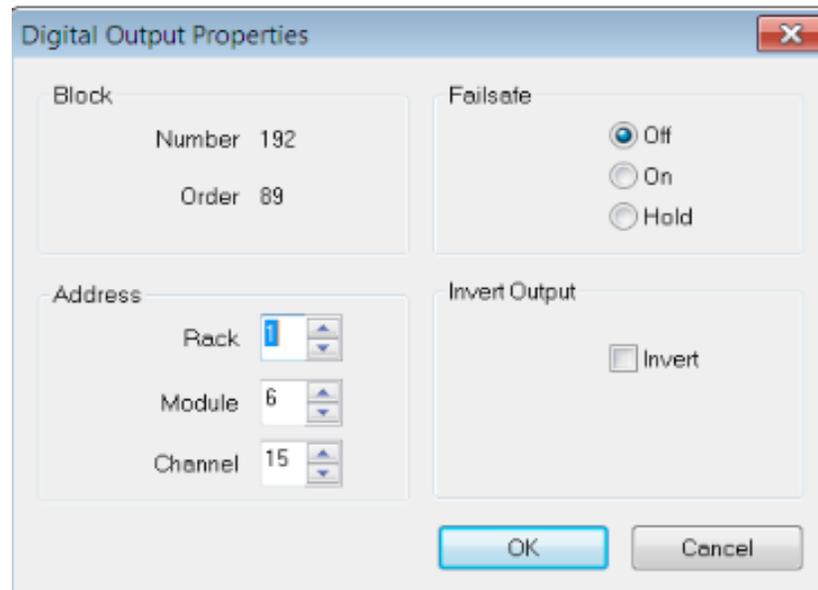
*Figura 4.75. Propiedades de las señales analógicas.*

#### 4.5.5 CONTROL DE VÁLVULAS DE VACÍO.

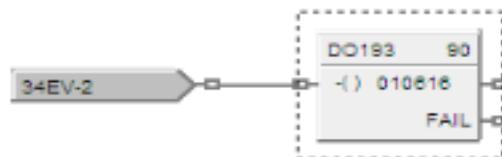
Como ya se mencionó anteriormente, la presión dentro de la columna juega un papel muy importante en el proceso de destilación ya que, como se ha dicho las presiones a controlar son de 100 Torr y 2 Torr, es muy importante mantener estas presiones dentro de la columna ya que si no se logra controlar estas presiones el proceso se verá afectado. A continuación se muestran en las figuras 4.76 a la 4.79 los bloques que se utilizaron y como se configuraron para controlar la presión del sistema dentro de la columna de destilación.



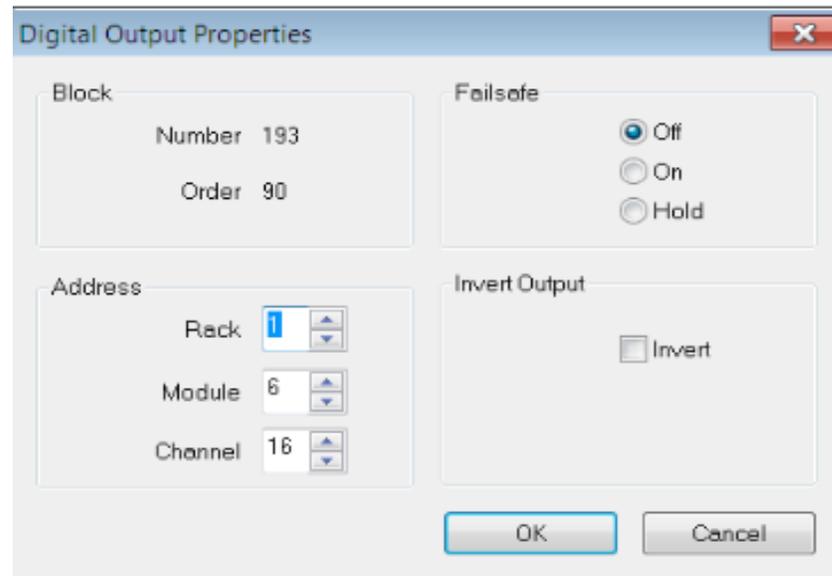
*Figura 4.76. Habilitación de la válvula EV-1.*



*Figura 4.77. Cuadro de configuración de la salida digital para la válvula EV-1.*

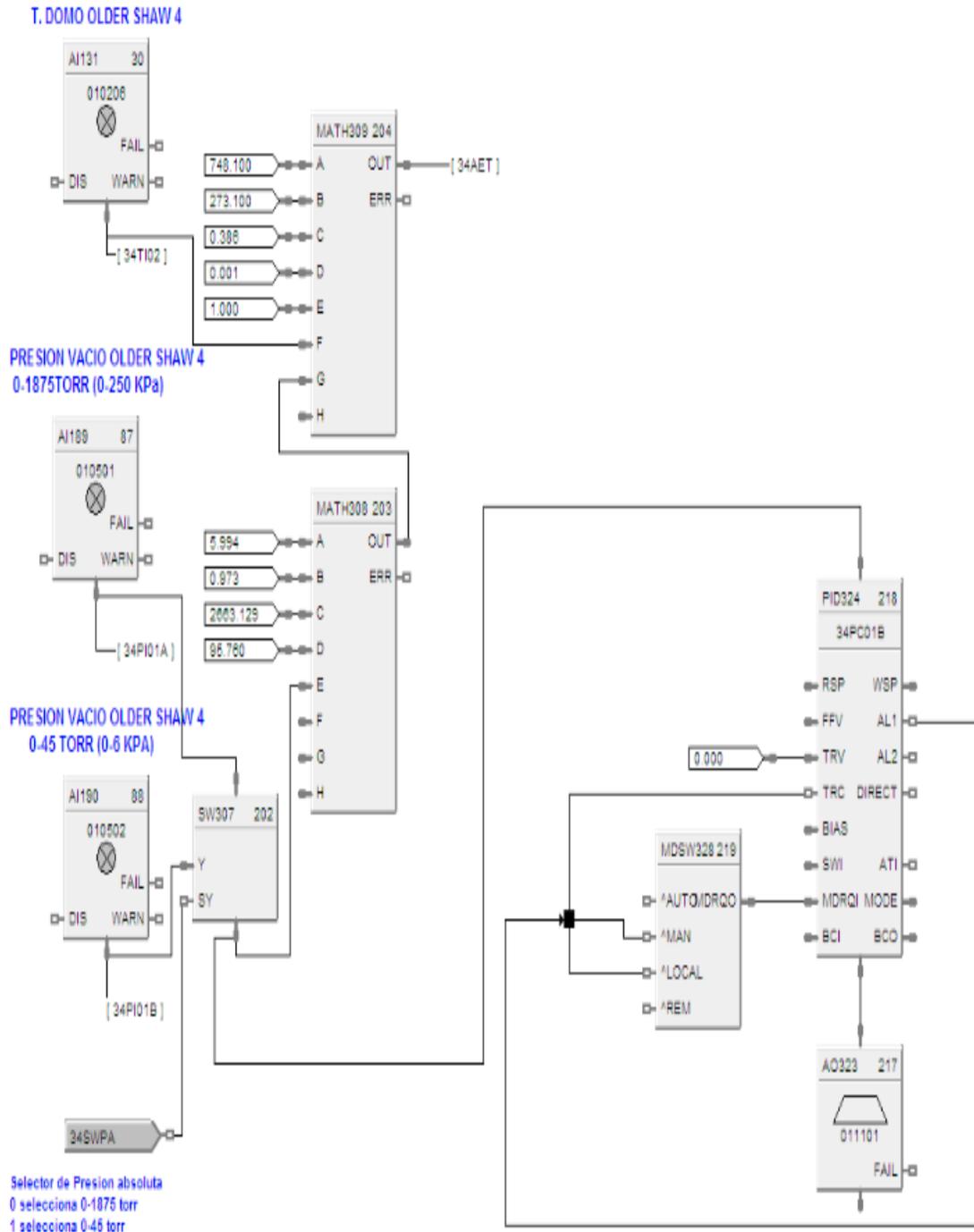


*Figura 4.78. Habilitación de la válvula EV-2.*

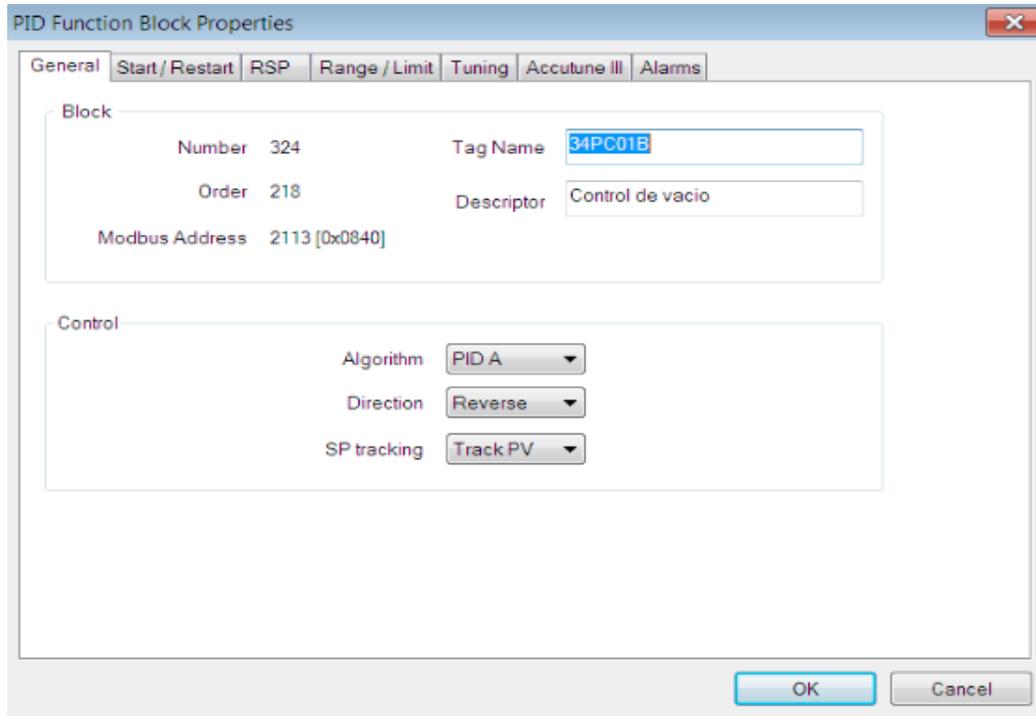


*Figura 4.79. Cuadro de configuración de la salida digital para la válvula EV-2.*

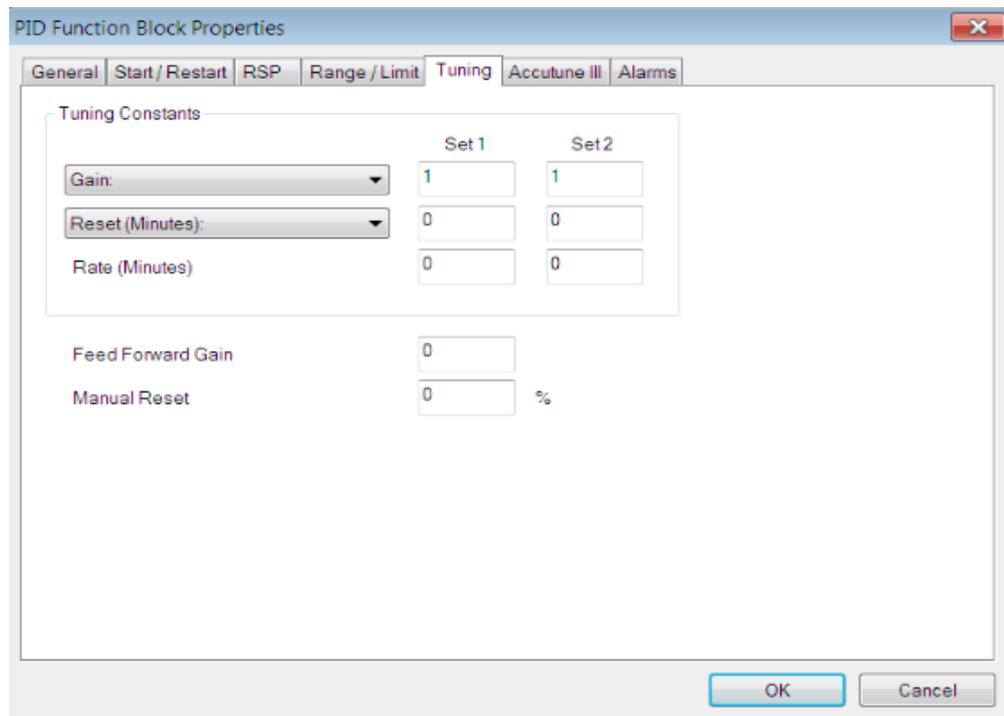
La válvula 34PC01 es la más importante del proceso de Destilación ya que con esta se controla la presión de 2 Torr. En la figuras 4.80 a la 4.83 se muestra el lazo de control de la válvula 34PC01 y los bloques que se utilizaron para construir el lazo de control, así como también la configuración de los bloques.



**Figura 4.80. Lazo de control de la válvula de vacío para controlar 2 Torr.**



*Figura 4.81. Cuadro de configuraciones generales del PID para la válvula 34PC01.*



*Figura 4.82. Cuadro de configuraciones de sintonización del bloque PID para la válvula 34PC01.*

*Figura 4.83. Cuadro de configuraciones de la salida analógica para la válvula 34PC01.*

The image shows a software configuration window titled "Analog Output Properties". It contains the following fields and options:

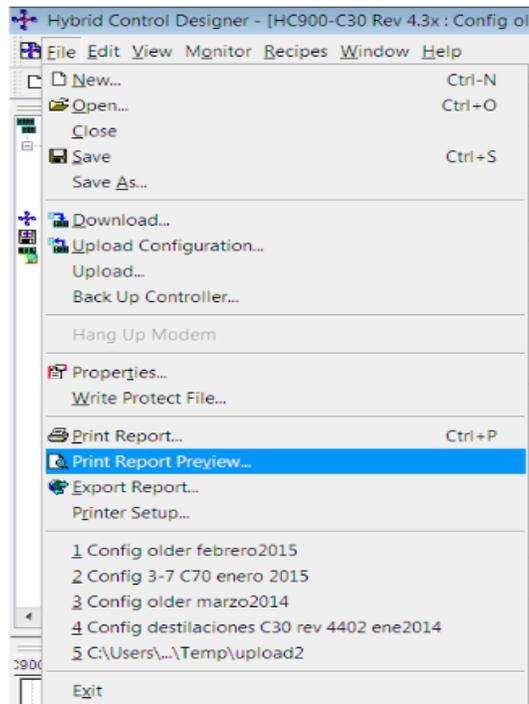
- Block:** Number 323, Order 217
- Address:** Rack 1, Module 11, Channel 1
- Failsafe:**  Use Value → 0,  High,  Low,  Hold
- Input Range:** Range Hi 100, Range Lo 0
- Output Range:** mA at Range Hi 20, mA at Range Lo 0
- Output Limits:** mA at High Limit 21, mA at Low Limit 0
- Slew Rate:** in seconds 0

Buttons: OK, Cancel

#### 4.5.6 REPORTE PREVIO DE ENTRADAS Y SALIDAS.

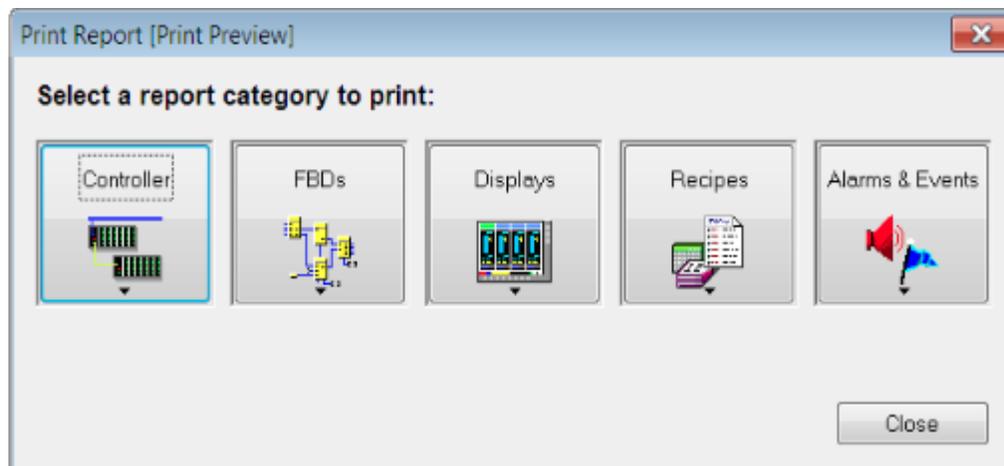
Una vez que se cuenta con todos los lazos, así como con las correspondientes señales, se requiere tener el listado de las señales, identificaciones (Tag) y variables, para la posterior configuración de la base de datos en el servidor.

Para ello se sigue la siguiente selección: FILE→PRINT REPORT PREVIEW tal como se muestra en la Figura 4.84.



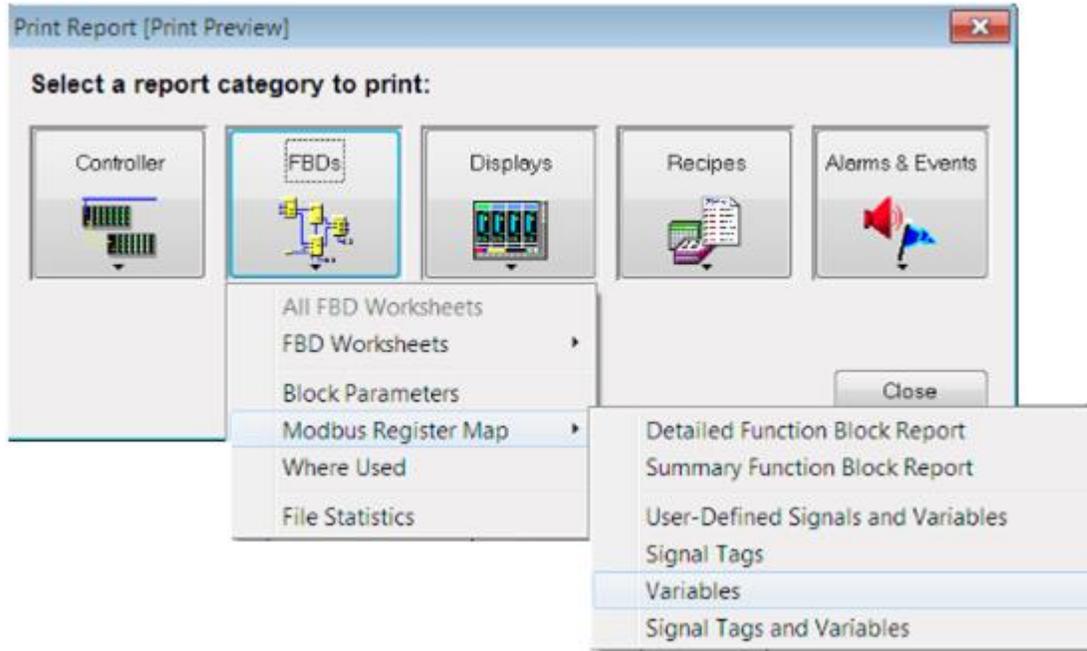
**Figura 4.84. Impresión del reporte previo.**

Posteriormente aparece la ventana print report, en donde se seleccionara *FBD's* tal como se muestra en la Figura 4.85.



**Figura 4.85. Imprimir reporte.**

Enseguida despliega un menú, se selecciona *Modbus Register Map* desplegando un submenú, según lo que se desee imprimir será la selección (Figura 4.86), como se mencionó anteriormente los listados de señales, identificaciones (Tag) y variables se pueden observar a continuación en las siguientes tablas 4.6 a la 4.8.



**Figura 4.86. Menú y submenú de FBD's**

**Tabla 4.6. Signal tag list report.**

HEX ADDR	DEC ADDR	TAG NAME	DESCRIPCIÓN	TYPE	EU	TAG TYPE
0x2060	8291	34TI01	Temp. fondo Older 4	Signal tag 50	°C	Análoga
0x200C	8205	34TI02	Temp. Domo Older 4	Signal tag 7	°C	Análoga
0x2010	8209	34TI03	Temp. Baño Older 4	Signal tag 9	°C	Análoga
0x2022	8227	34SOV01	R/D Older Shaw 4	Signal tag 18		Digital
0x202C	8237	34PI01A	Presión Older 4 0-1875	Signal tag 23	Torr	Análoga
0x202E	8239	34PI01B	Presión Older 4 0-45	Signal tag 24	Torr	Análoga
0x2032	8243	34TF01	T Falt	Signal tag 26	min	Análoga
0x2034	8245	34RR01	Cambio real	Signal tag 27	°C/min	Análoga
0x2066	8295	34AET	Temp. ATM. EQ OS4	Signal tag 52	°C	Análoga

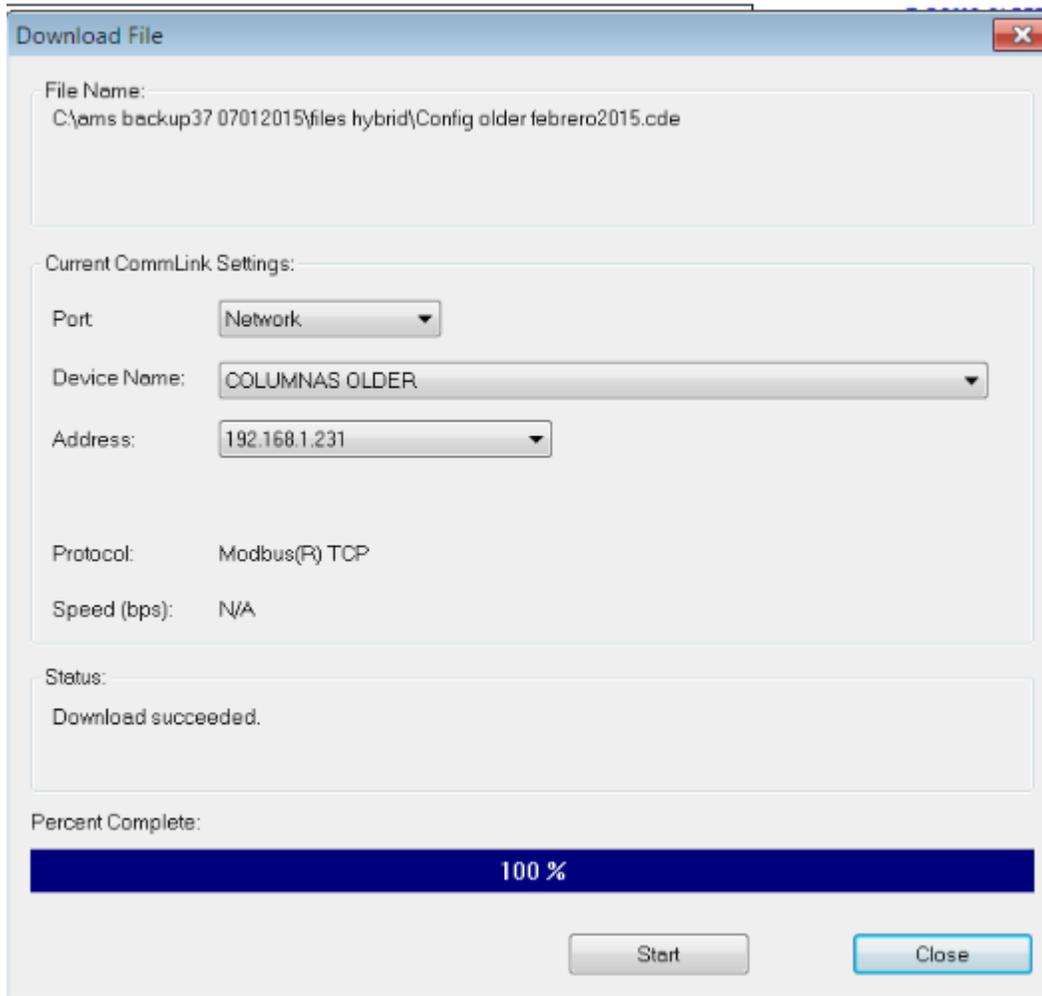
**Tabla 4.7. Variable list report.**

HEX ADDR	DEC ADDR	TAG NAME	DESCRIPCIÓN	TYPE	EU	TAG TYPE
0x18E4	6373	34RD01	Hab 34SOV01	Variable 19		Digital
0x18E6	6375	34TOFF01	T apagado 34SOV01	Variable 20	Seg	Análoga
0x18E8	6377	34TON01	T encendido 34SOV01	Variable 21	Seg	Digital
0x18F0	6385	34EV-1	Val bomba de vacío	Variable 25		Digital
0x18F2	6387	34EV-2	Val desfogue	Variable 26		Digital
0x18F4	6389	34RTC01	SET POINT REM	Variable 27	°C	Análoga
0x18F6	6391	34SW01	Hab SET POINT REM	Variable 28		Digital
0x18F8	6393	34ID01	Inc=0, dec=1	Variable 29		Digital
0x18FA	6395	34RA01	Rel camb SP	Variable 30	°C/min	Análoga
0x192C	6445	34SWPA	Sector de presión	Variable 55		Digital

**Tabla 4.8. Modbus address summary report.**

HEX ADDR	DEC ADDR	TAG NAME	DESCRIPCIÓN	TYPE	#
0x0540	1345	34TC01	T fondo Older 4	PID	06
0x0840	2113	34PC01B	Control de vacío	PID	09

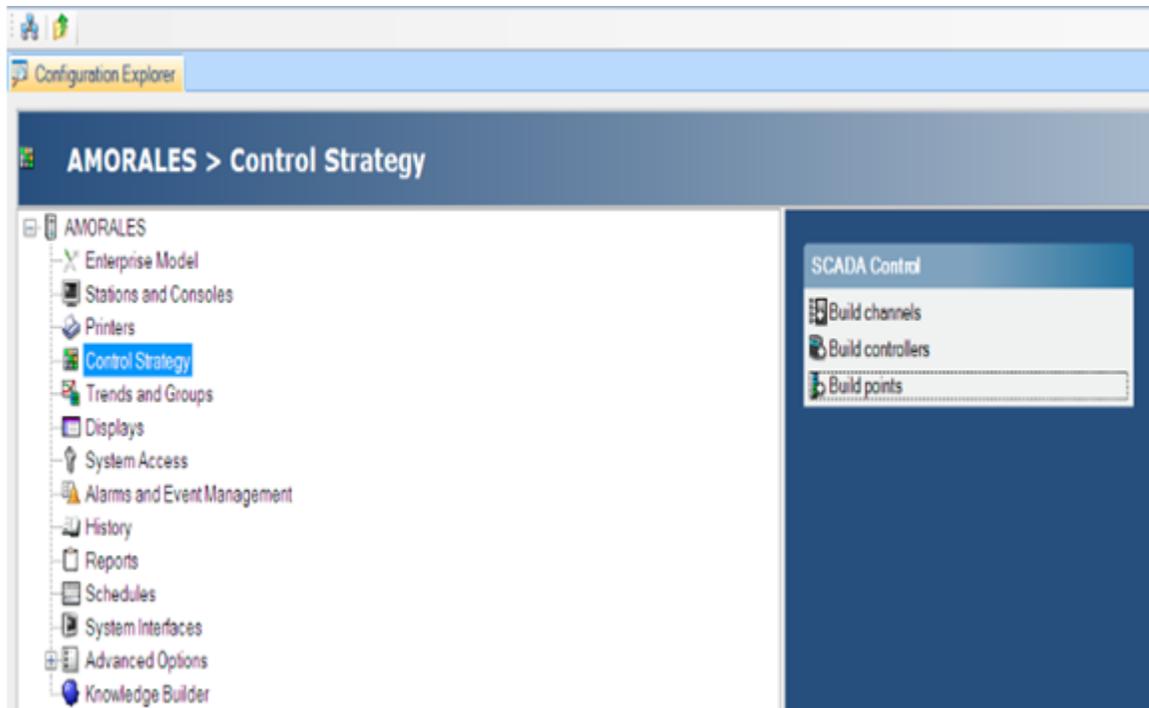
Este listado servirá para la creación de la base de datos en el QUICK BUILDER. Una vez terminada la parte de control en el Hybrid Control Designer, se procede a descargarlo al controlador tal como se muestra en la Figura 4.87.



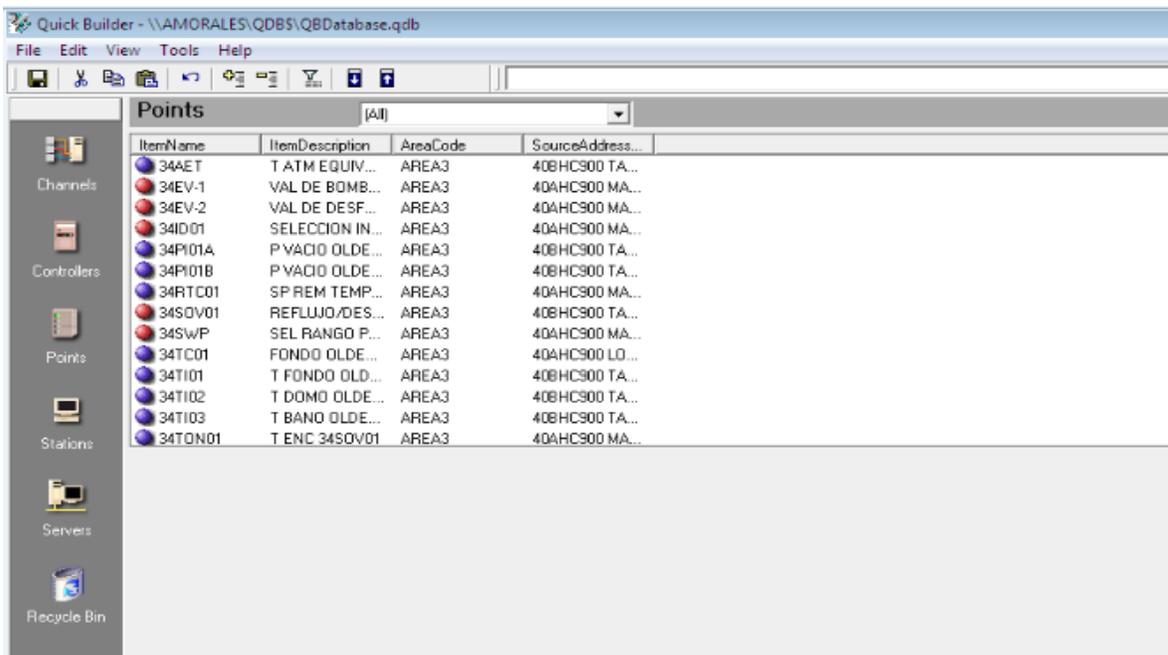
*Figura 4.87. Descarga al controlador HC900.*

## 4.6 CONFIGURACIÓN DE LA BASE DE DATOS DEL SISTEMA.

Para realizar la configuración de la base de datos, se crea una base de datos nueva en el software Configuration Studio, en el cual existe una pestaña Control Strategy, se selecciona y enlaza a otra pestaña Build points, esta direcciona a una ventana donde se pueden crear todos puntos que se efectuaron en el Hybrid Control Designer.



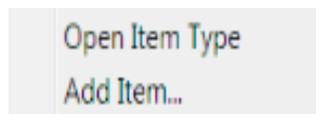
*Figura 4.88. Ventana del software Configuration Studio.*



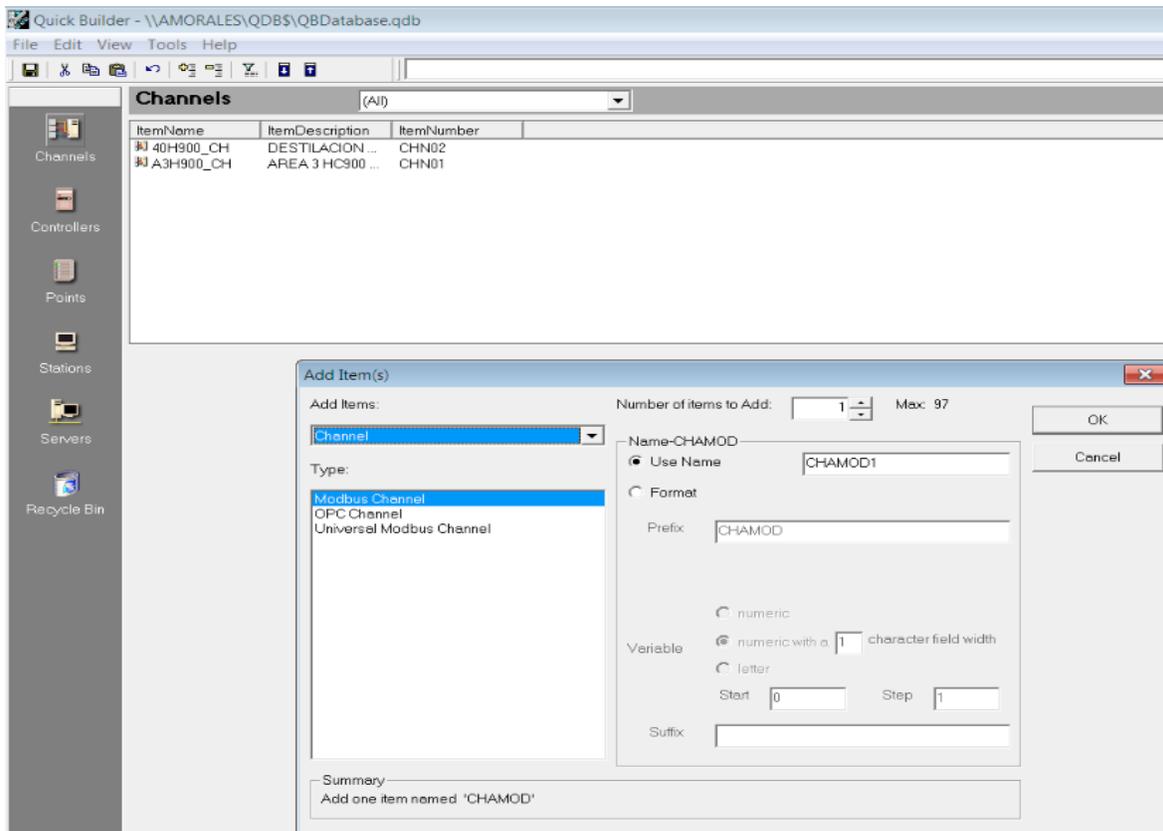
*Figura 4.89. Ventana del Quick Builder para la construcción de Points, Channel y Controllers.*

### 4.6.1 CANAL DE COMUNICACIÓN.

Para agregar el canal de comunicación se selecciona el icono de *Channels* de acuerdo a la Figura 4.91, que despliega dos opciones que se muestran en la Figura 4.90. Una vez seleccionada la opción de agregar ítem, se despliega la ventana que se muestra en la Figura 4.91 en la que se selecciona el tipo de canal, para este propósito, es el Canal Universal Modbus, y se puede designar el nombre del canal en este caso se dejó con el nombre 40HC900\_CH, una vez seleccionado lo anterior se le da OK.

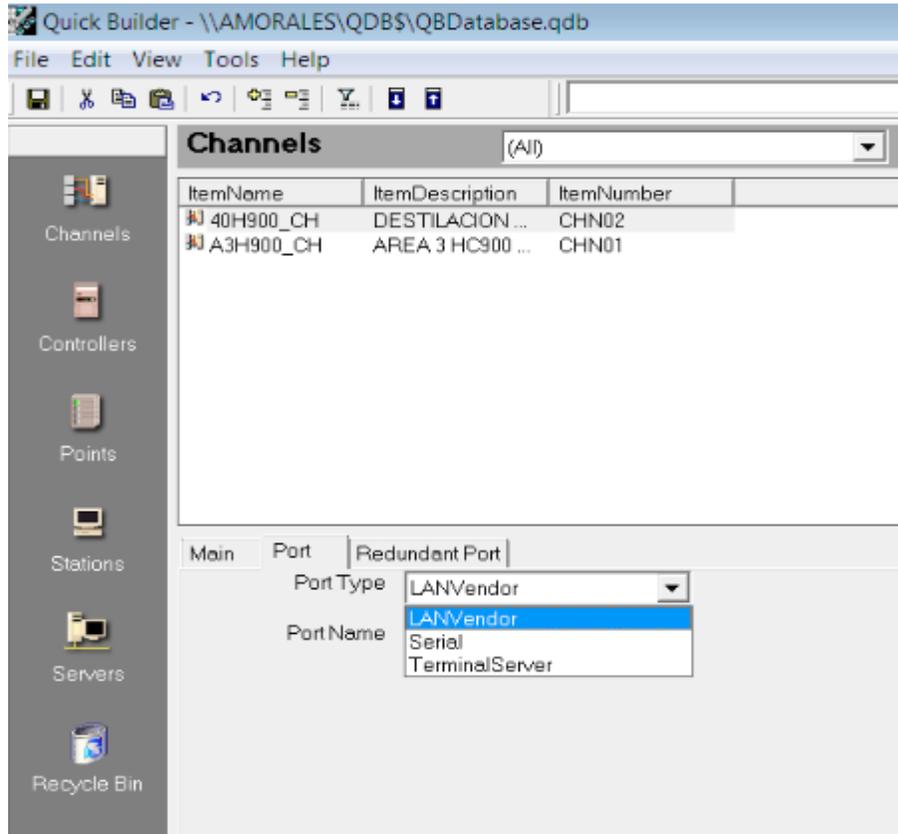


**Figura 4.90.** Ventana desplegada por Quick Builder al hacer clic derecho sobre los iconos ya sea de Channels, Controllers o Points.



**Figura 4.91.** Ventana para crear un Channels.

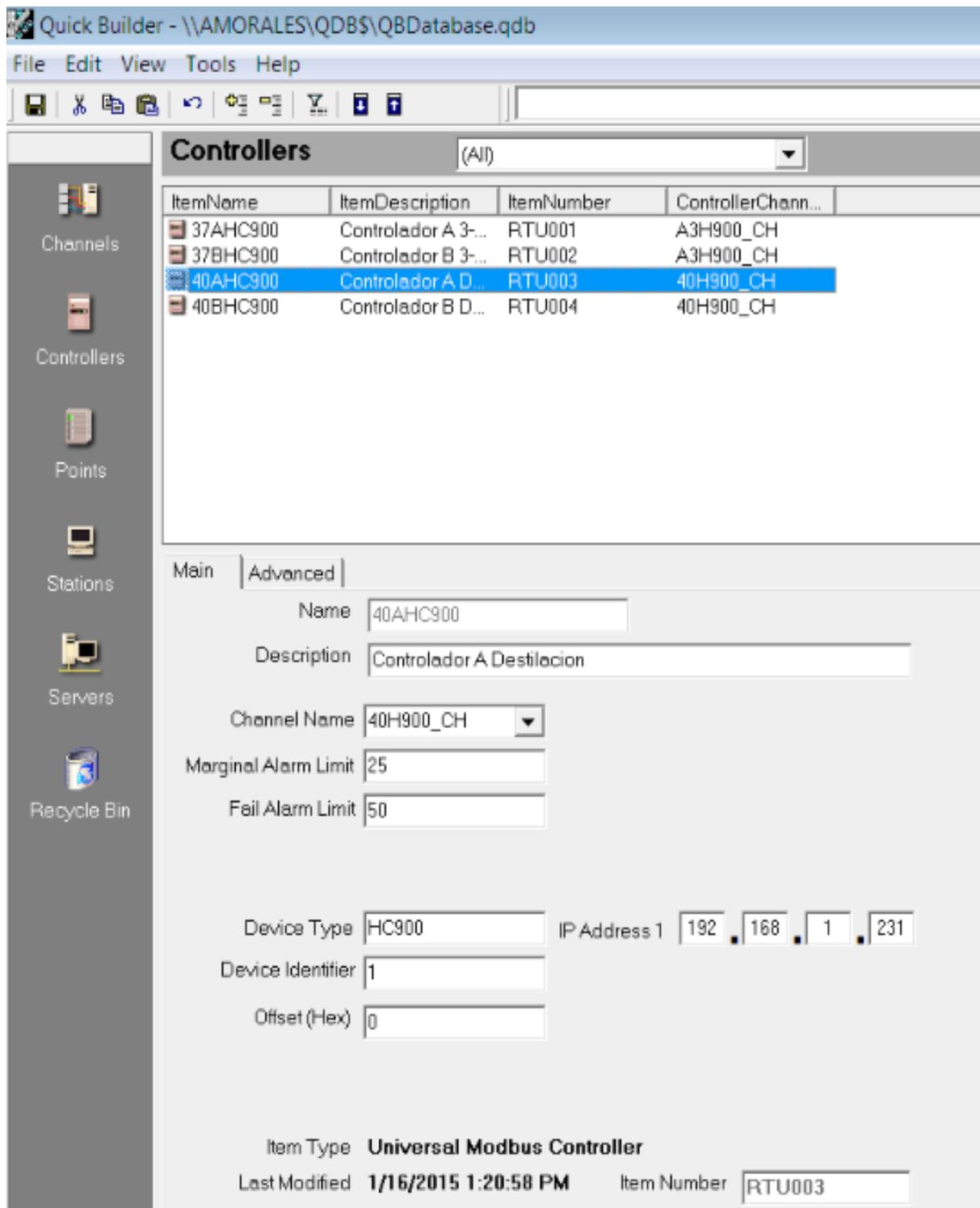
Ya que se agregó el canal de comunicación, se asignó el tipo de puerto de comunicación que tendrá el canal creado como se muestra en figura 4.92. Se selecciona LANVendor (LAN Local Area Network -red de área local-) y con este se termina la configuración del canal dentro del Quick Builder.



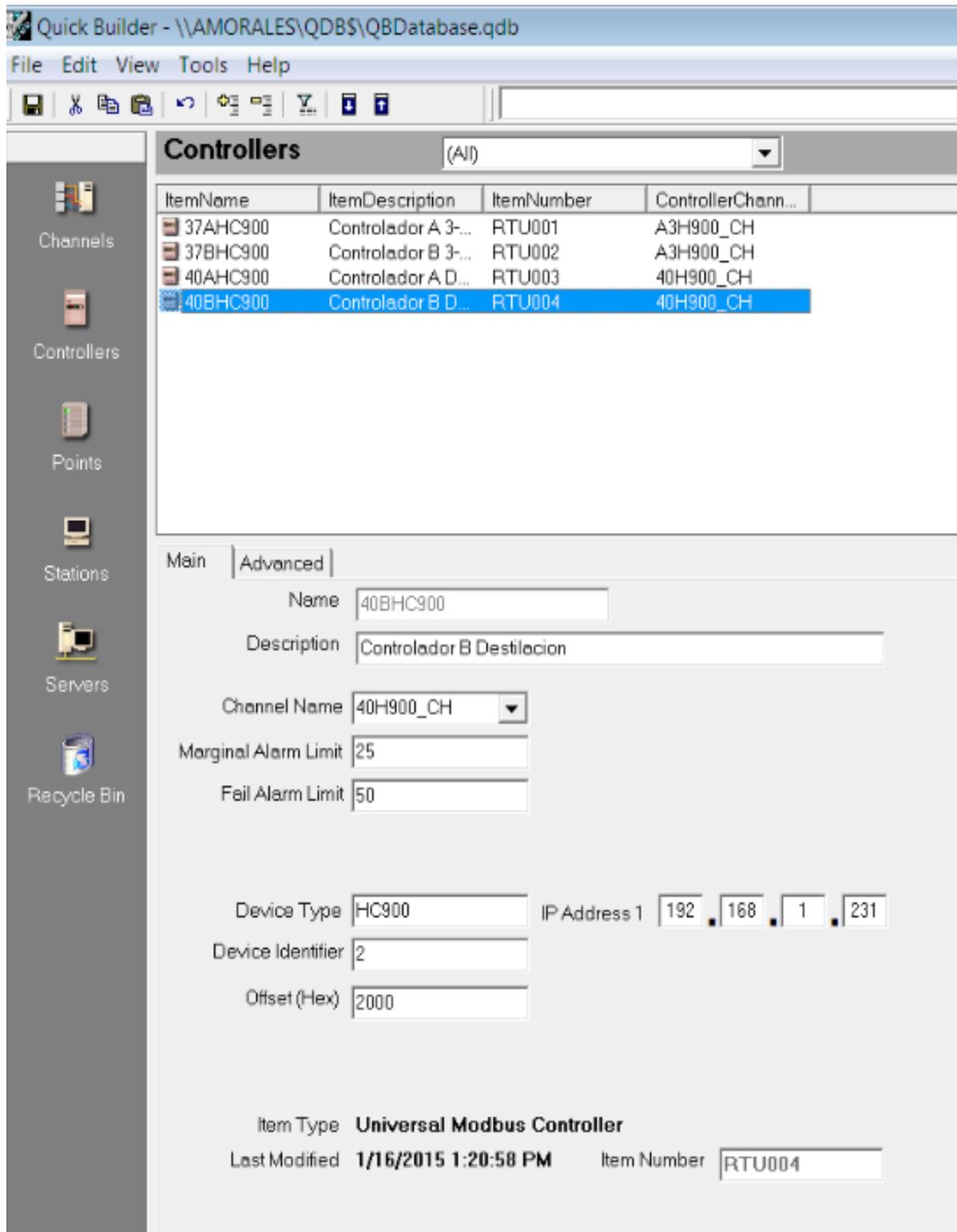
*Figura 4.92. Asignación del puerto de comunicación.*

## 4.6.2 CONTROLADORES.

Para agregar el controlador, se selecciona el icono de *Controllers*, para este caso se van a crear dos controladores, como se muestra a continuación en la figura 4.93 y la figura 4.94. Para crear los controlador se repiten los mismo pasos que se utilizaron para crear los *Channels*, despliega dos opciones que se muestran en la figura 4.90. Una vez seleccionada la opción de agregar ítem se despliega la ventana que se muestra en la figura 4.93 y la figura 4.94 en la cual se selecciona el tipo de controlador, (Canal Universal Modbus), se puede designar el nombre del canal en este caso se dejó con el nombre 40AHC900 y 40BHC900, una vez seleccionado lo anterior se le da OK.



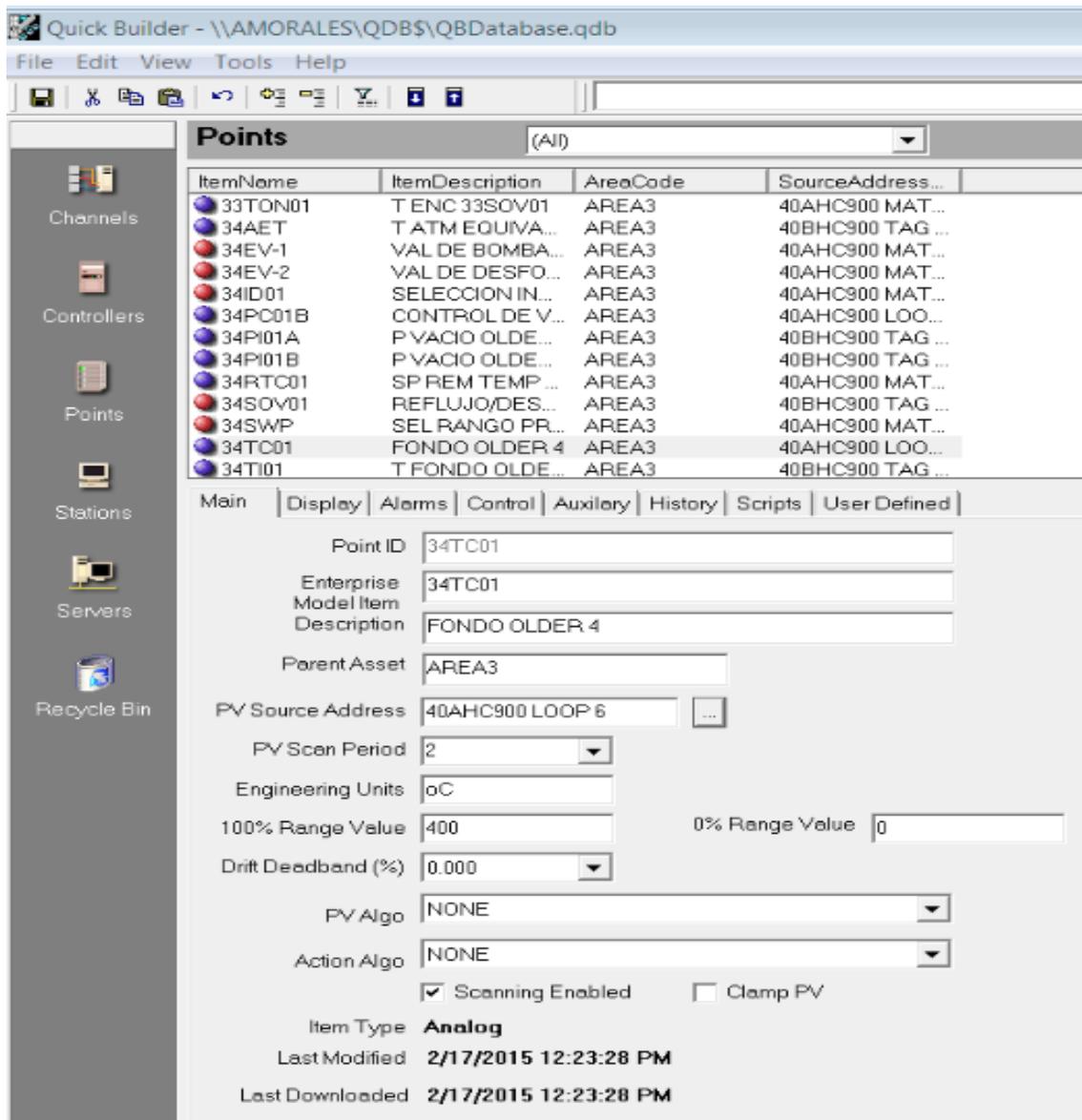
*Figura 4.93. Ventana para crear el controlador 40AHC900.*



*Figura 4.94. Ventana para crear el controlador 40BHC900.*

### 4.6.3 CONSTRUCCIÓN DE LOS PUNTOS.

Para crear un punto se debe seleccionar el icono de *Points*, como se muestra en la figura 4.95, nuevamente se repite los pasos que se utilizaron para crear un *Channels* y *Controllers*. Una vez seleccionada la opción de agregar ítem, se despliega la ventana que se muestra en la figura 4.95, en esta pantalla se selecciona el tipo de punto y dependerá del tipo de señal de la entrada. Normalmente la opción a seleccionar es Analog Point donde se le asigna el nombre del tag.



*Figura 4.95. Ventana de construcción de un Points.*

En la figura 4.95 se creó un punto, en este caso fue el lazo de control de temperatura del fondo 34TC01.

En la creación de los puntos se tienen ocho ventanas en las cuales se designan las características de cada punto, estas ventanas son:

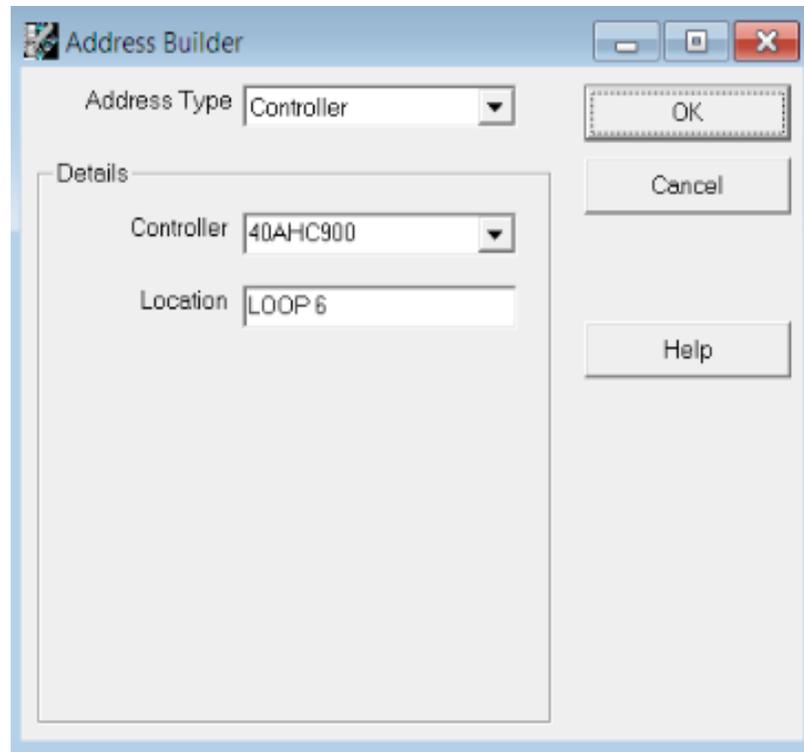
- Main.
- Display.
- Alarms.
- Control.
- Auxiliary.
- History.
- Scripts.
- User defined.

En este caso solo se empleara la ventana de *Main*, *Control* e *History*.

En la ventana de *Main* se designan los siguientes campos para todos los puntos:

- Point ID: es donde se designara el TAG de cada punto.
- Description: Una pequeña descripción que representa el punto creado.
- PV Source address: dirección de la variable de donde se va a tomar el valor.
- PV Scan period: periodo de escaneo a la variable de proceso.
- Engineering units: unidades de ingeniería con las que trabaja este punto.
- 100% Range value: Rango que representa el 100%.
- 0% Range value: Rango que representa el 0%.
- Deadband (%): valor de banda muerta.

En la figura 4.96 se selecciona entre los controladores antes creados, la selección dependerá si es un lazo, tag o variable, en este caso se trata de un lazo de control por lo que se utilizara 40AHC900, también se determina la locación y esta depende del parámetro a seleccionar, en este caso se trata de un lazo, en seguida va el número del lazo al que pertenece en el Hybrid Control Designer.



**Figura 4.96. Direccionamiento del punto construido.**

En la ventana de *Control* que se muestra en la figura 4.97, se designa el direccionamiento origen y destino del setpoint (SP), output (OP) y Mode (MD), del mismo modo que se mostró en el direccionamiento de PV *Source Address*, también se asigna el periodo de escaneo en segundos, en este caso es de 2 segundos.

Quick Builder - \\AMORALES\QDBS\QBDatabase.qdb

File Edit View Tools Help

Points (All)

ItemName	ItemDescription	AreaCode	SourceAddress...
33TON01	T ENC 33SOV01	AREA3	40AHC900 MAT...
34AET	T ATM EQUIVA...	AREA3	40BHC900 TAG ...
34EV-1	VAL DE BOMBA...	AREA3	40AHC900 MAT...
34EV-2	VAL DE DESFO...	AREA3	40AHC900 MAT...
34ID01	SELECCION IN...	AREA3	40AHC900 MAT...
34PC01B	CONTROL DE V...	AREA3	40AHC900 LOO...
34PI01A	P VACIO OLDE...	AREA3	40BHC900 TAG ...
34PI01B	P VACIO OLDE...	AREA3	40BHC900 TAG ...
34RTC01	SP REM TEMP ...	AREA3	40AHC900 MAT...
34SOV01	REFLUJO/DES...	AREA3	40BHC900 TAG ...
34SWP	SEL RANGO PR...	AREA3	40AHC900 MAT...
34TC01	FONDO OLDER 4	AREA3	40AHC900 LOO...
34TI01	T FONDO OLDE...	AREA3	40BHC900 TAG ...

Main | Display | Alarms | Control | Auxiliary | History | Scripts | User Defined

	Source Address	Dest Address	Scan Period (secs)
Setpoint (SP)	40AHC900 LOI ...	40AHC900 LOI ...	2
Output (OP)	40AHC900 LOI ...	40AHC900 LOI ...	2
Mode (MD)	40AHC900 LOI ...	40AHC900 LOI ...	2

Reverse Output

Control Confirmation

	Low Control Limit	High Control Limit
Output (OP) (%)	0	100
Setpoint (SP) (EU)	0	400

Control Deadband (%) 1.000

Control Timeout None

Control Level 0

Normal Mode AUTO

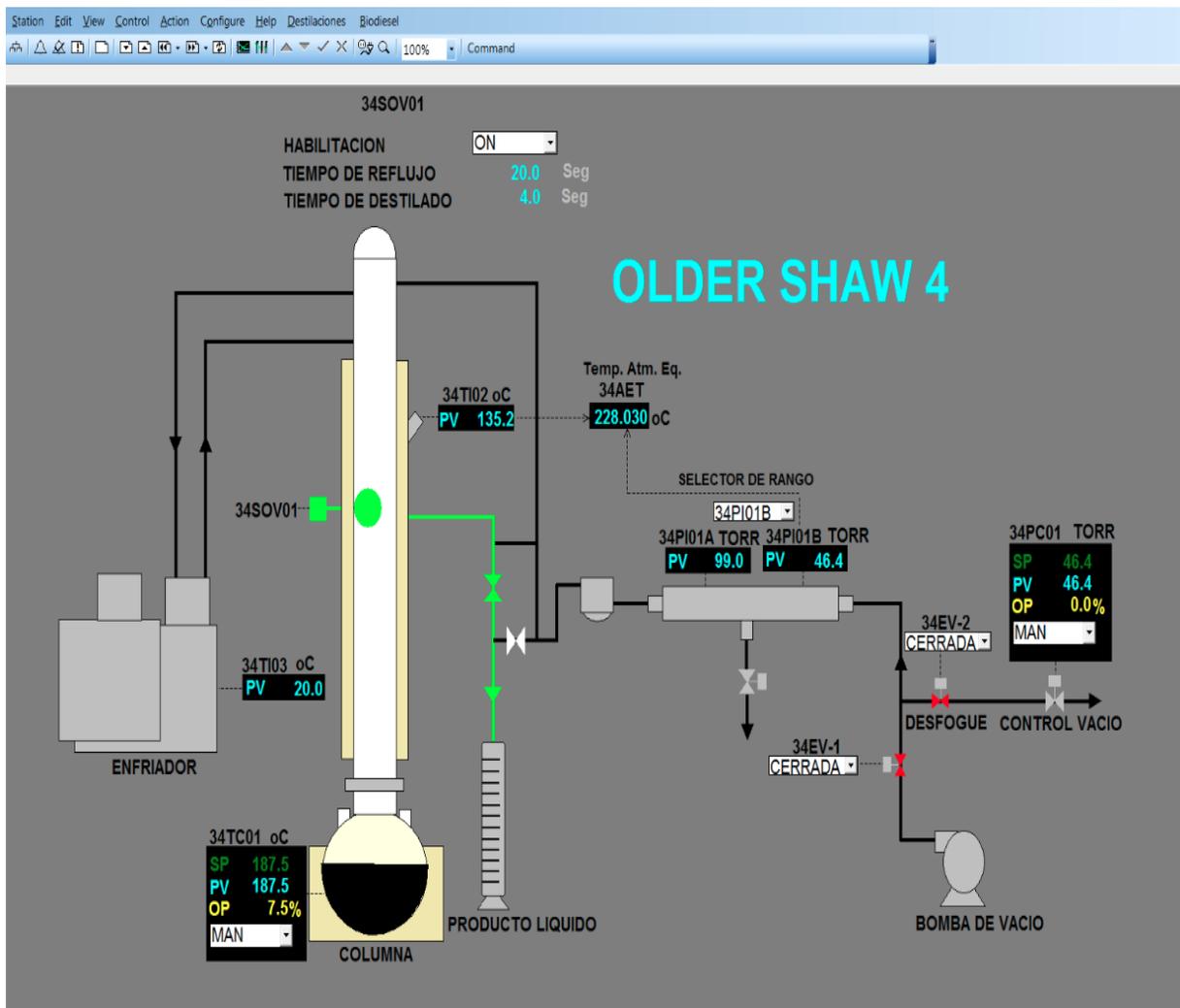
Disable mode checking on output

*Figura 4.97. Características de la ventana de Control.*

La creación de los demás puntos de control se realiza en forma similar, la diferencia radica en la descripción ID y las características que se le asignen a cada uno.

#### 4.7 HMIweb DISPLAY BUILDER.

Este software se utiliza para construir los desplegados de operación, para que el operador puede observar todo lo que esta ocurriendo en la planta, así como manipular las variables de temperatura, presión, nivel, etc. A continuación se muestra en la figura 4.98 el esquemático de la columna de Destilación Older Shaw.



*Figura 4.98. Esquemático de la columna de Destilación Older Shaw.*

En la figura 4.99 se muestra los datos de la columna Older Shaw y de otras columnas de destilación que forman parte de sistema.

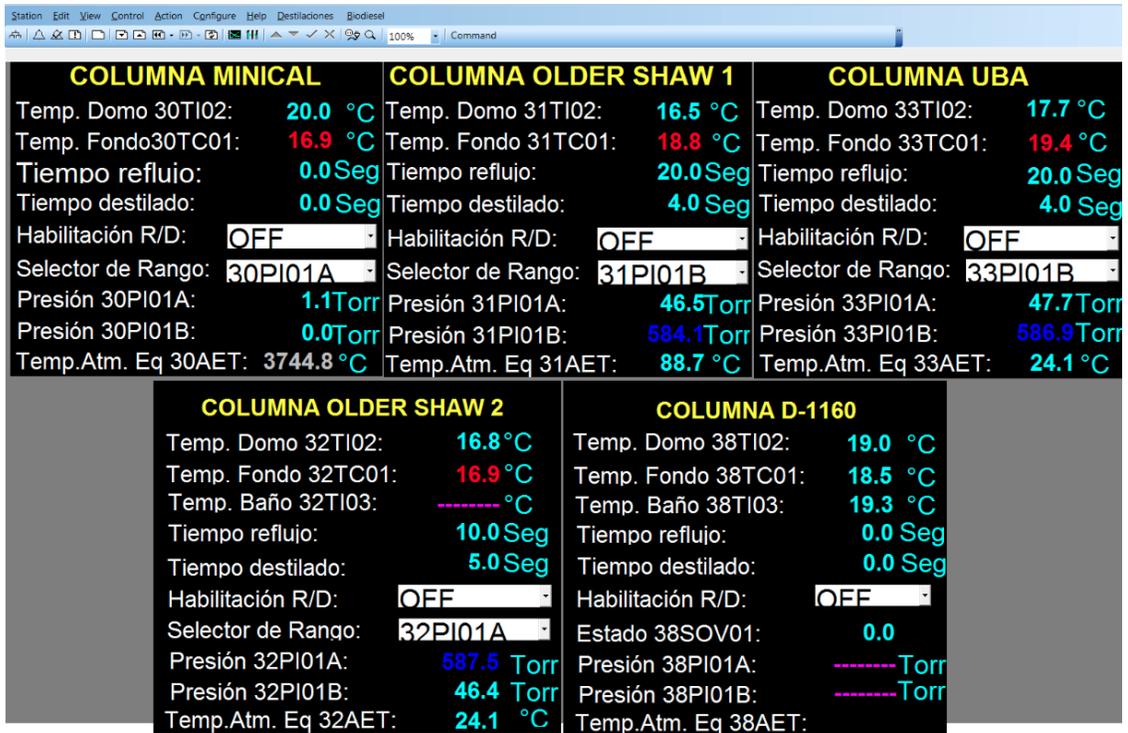


Figura 4.99. Datos de las columnas de destilación.

En la figura 4.100 se muestra como se realiza el lazo de control de las columnas de destilación.

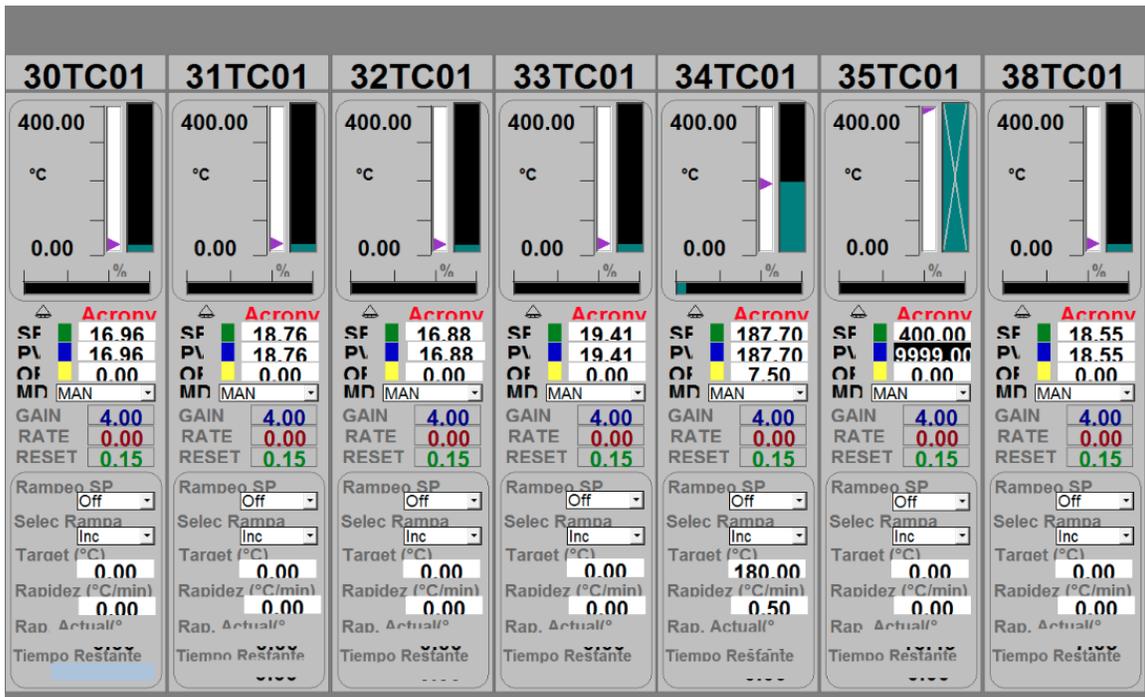
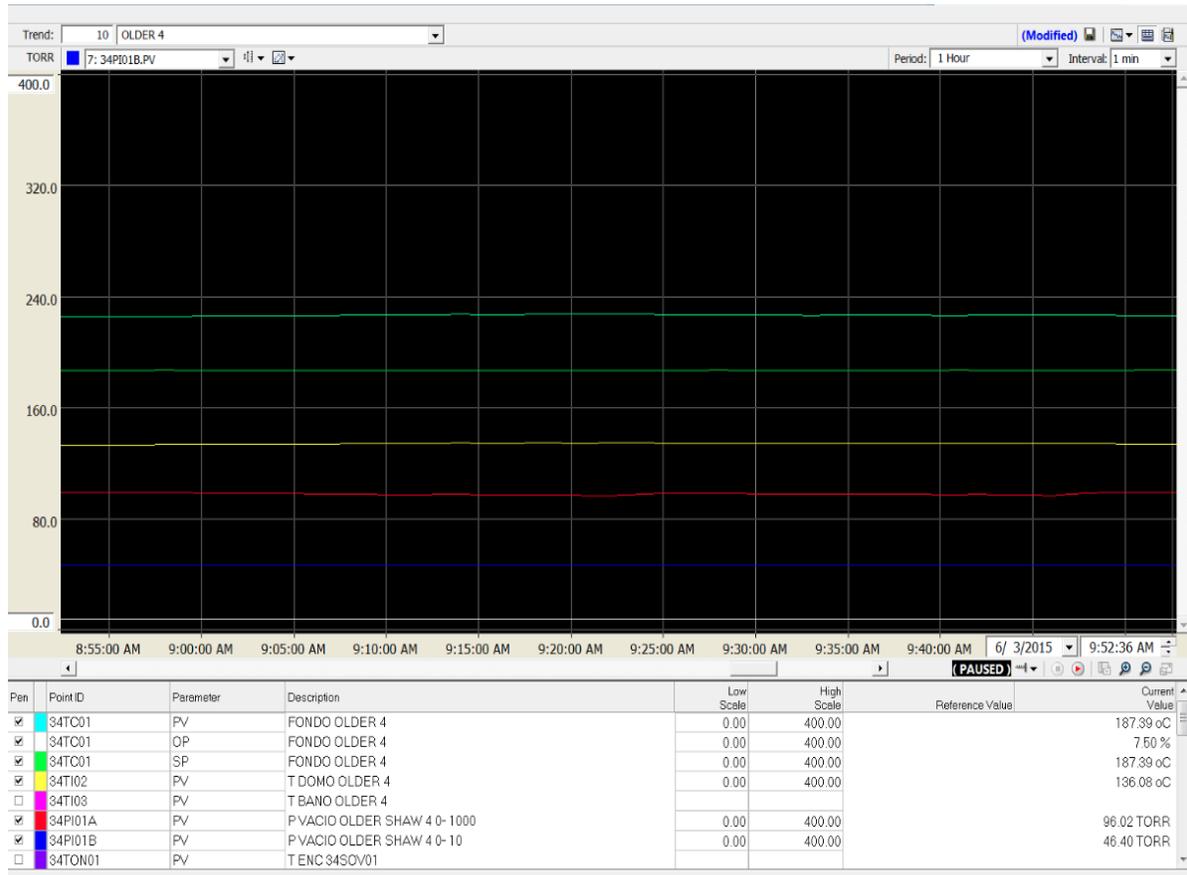


Figura 4.100. Lazo de control para un set point programable.

En la figura 4.101 se puede observar las tendencias de comportamiento del sistema a lo largo del tiempo.



*Figura 4.101. Tendencias*

## 4.8 SUMARIO.

En este capítulo, se describió la configuración del sistema, utilizando los tres software de configuración, también se detalló cómo se construyó el tablero de control y se describió cada uno de los elementos que hacen posible que la columna de Destilación Older Shaw opere de manera correcta.

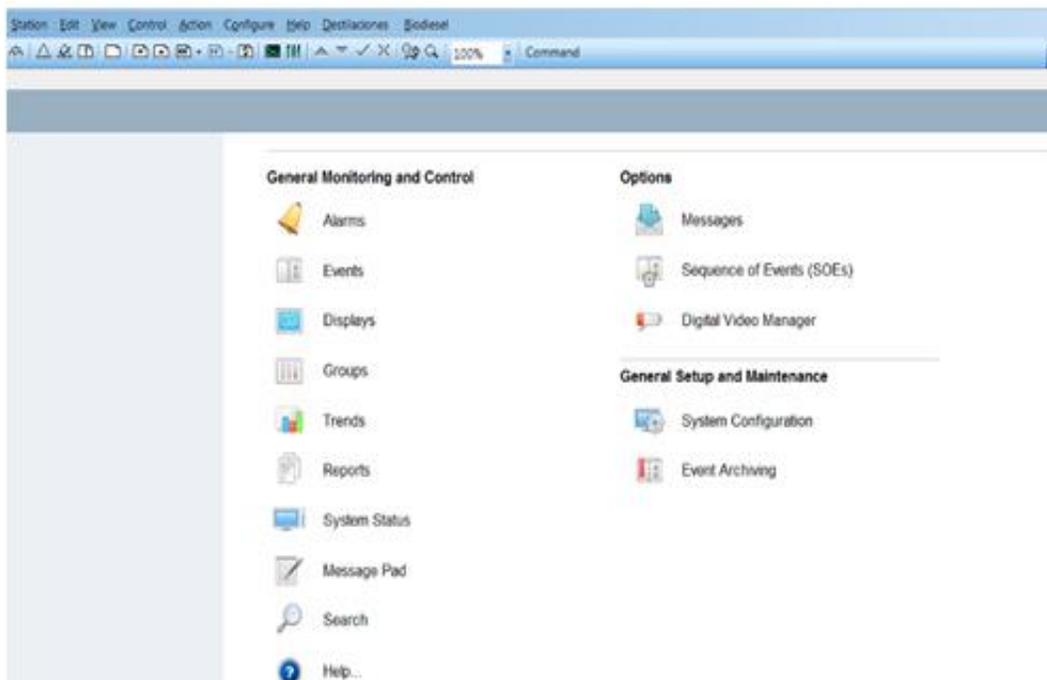
# CAPÍTULO 5

## RESULTADOS

En este capítulo se muestran los resultados que se obtuvieron en las pruebas del sistema de control que fue implementado para la modernización de la Columna de Destilación Older Shaw.

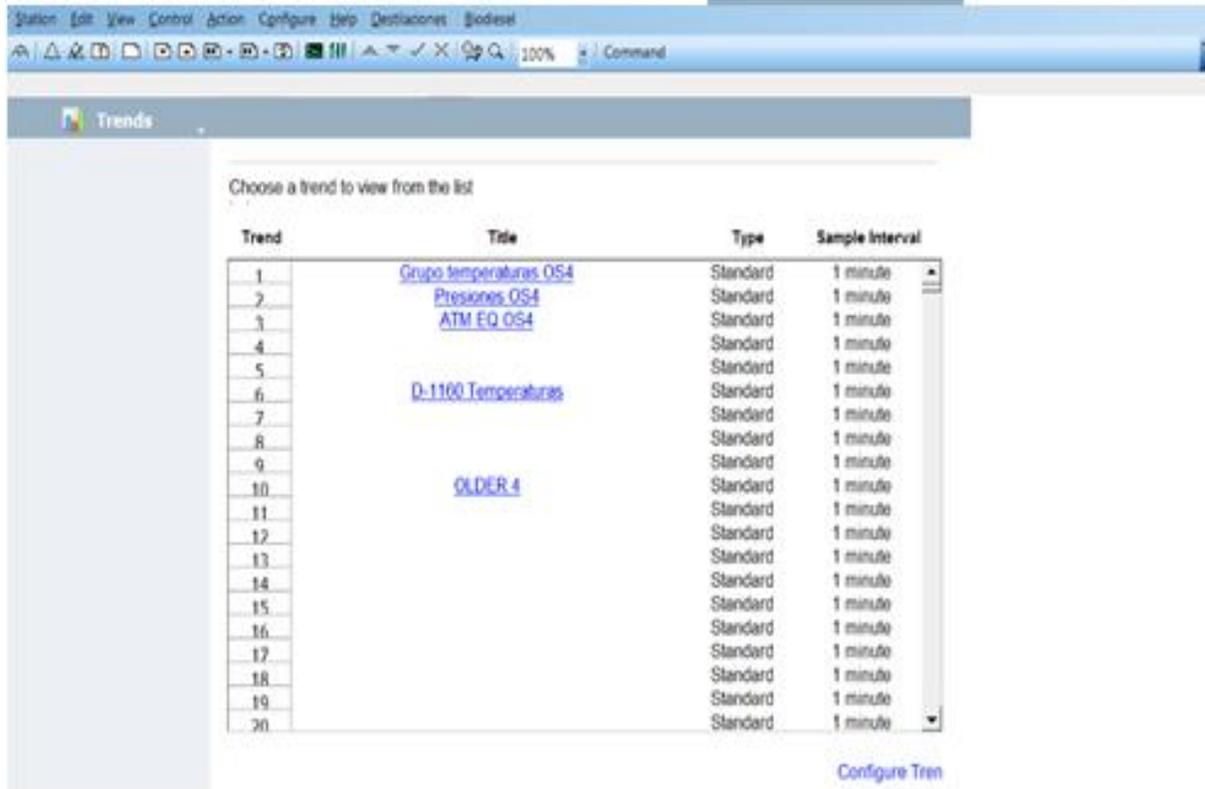
### 5.1 CONFIGURACIÓN DE LAS TENDENCIAS.

Inicialmente se configuraron las tendencias para obtener los desplegados de las variables de proceso. Para efectuar la configuración se utiliza la pantalla general del menú del sistema, figura 5.1.



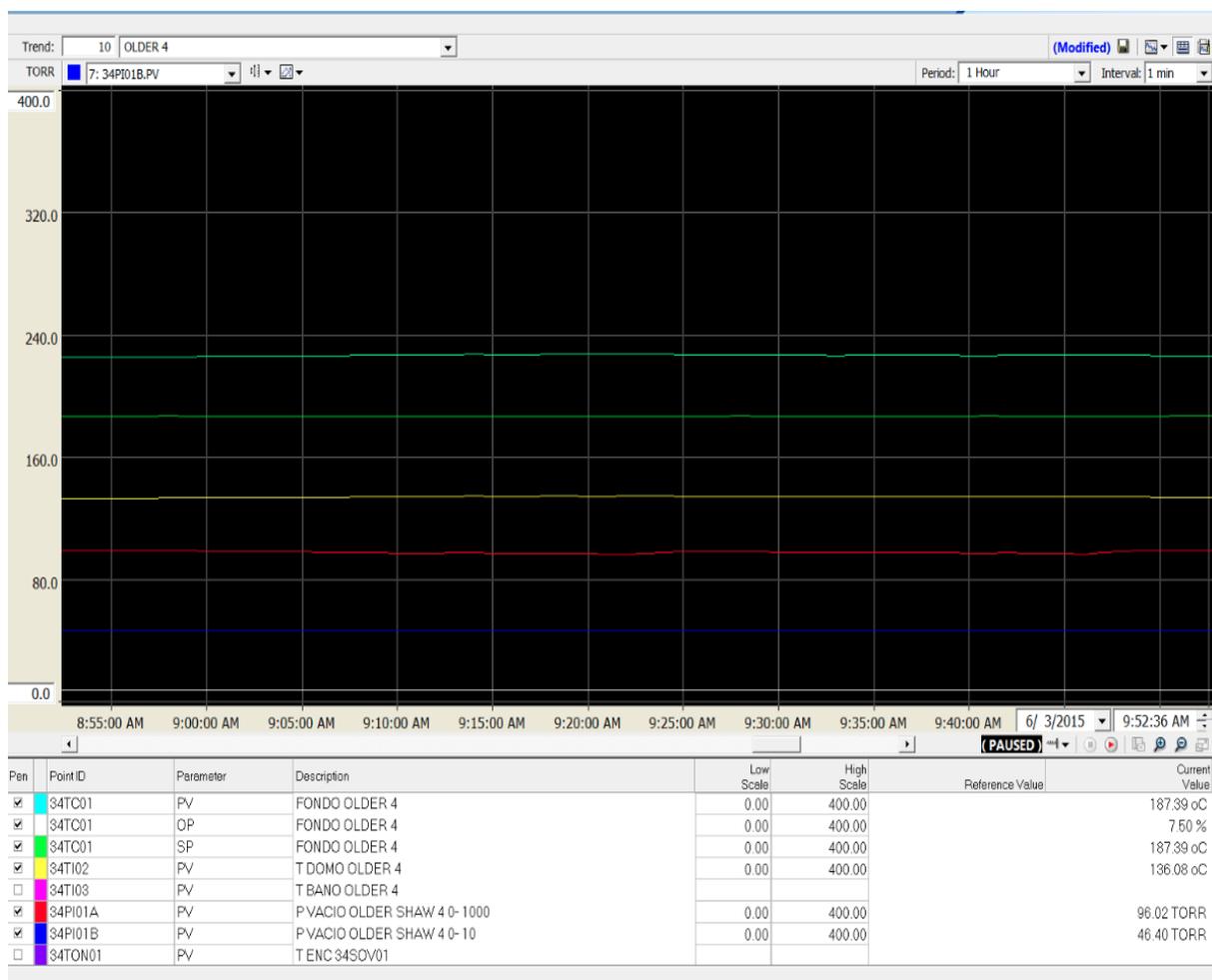
*Figura 5.1. Menú del sistema.*

Una vez que aparece esta ventana, se selecciona el icono *Trends*, el cual despliega una ventana con el listado de tendencias. Para nuestro caso, se configuro la tendencia numero 10 como se muestra en la figura 5.2.



**Figura 5.2. Lista de tendencias.**

Una vez que se le dio nombre a la tendencia, que en este caso es OLDER 4, se seleccionó y se configuraron las diferentes variables del proceso. Las variables empleadas son: la temperatura de fondo de columna (34TC01.PV, 34TC01.OP, 34TC01.SP) para la variable de proceso PV, la salida de control OP y el punto de referencia SP, la temperatura de domo 34TI02.PV, la temperatura del baño 34TI03.PV, la presión de vacío 0-1875 Torr 34PIC01A.PV, la presión de vacío 0-45 Torr 34PIC01B.PV y el control de tiempos de reflujo/destilado 34TON.PV y 34TOFF.PV, como se muestra en la figura 5.3.



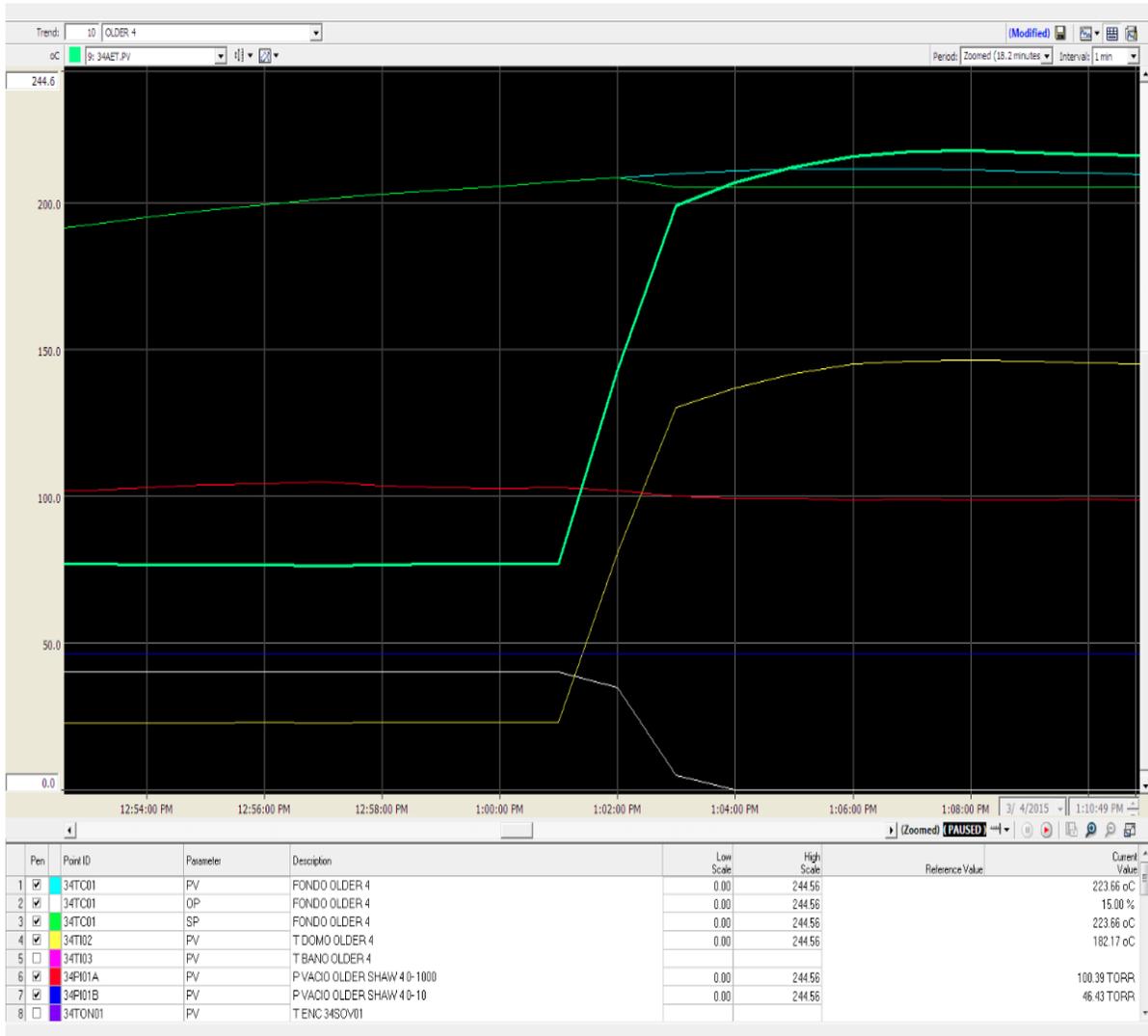
*Figura 5.3. Tendencias.*

## 5.2 RESULTADOS OBTENIDOS.

Se realizó una prueba para comprobar que los elementos a controlar dentro del proceso, funcionan correctamente, arrojando las tendencias que se muestran a continuación en las figuras 5.4 a la 5.8. Estas tendencias son las respuestas de las variables medidas por la instrumentación de campo que está conectada al sistema de control. Cabe mencionar que esta prueba fue realizada con una carga de 40 litros de diésel, para analizar el comportamiento del sistema.

En la figura 5.4 se puede observar el comportamiento de la temperatura en el fondo de la columna y en el domo. Cuando se inició la prueba del lazo de control de temperatura del fondo, la temperatura que se alcanzó en la variable de proceso PV fue de 223.6 °C y la

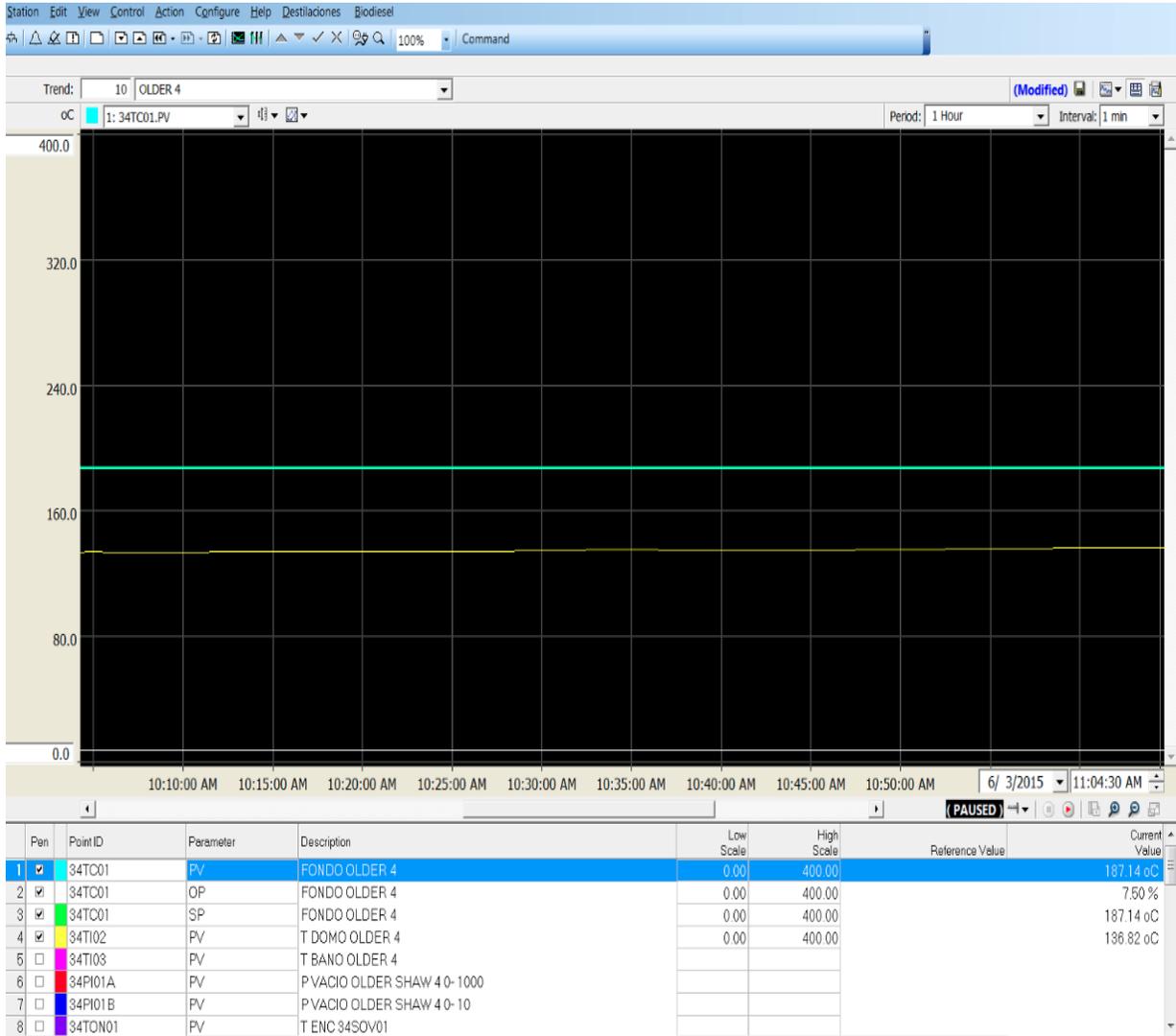
temperatura que alcanzo en el domo fue de 182.17 °C. También se observó que la tendencia del comportamiento de la OP o porcentaje de salida fue de 15.06%, con un valor de punto de ajuste SP de 223.6 °C, lo que indica que el sistema de control se comportó de manera estable y con un funcionamiento correcto.



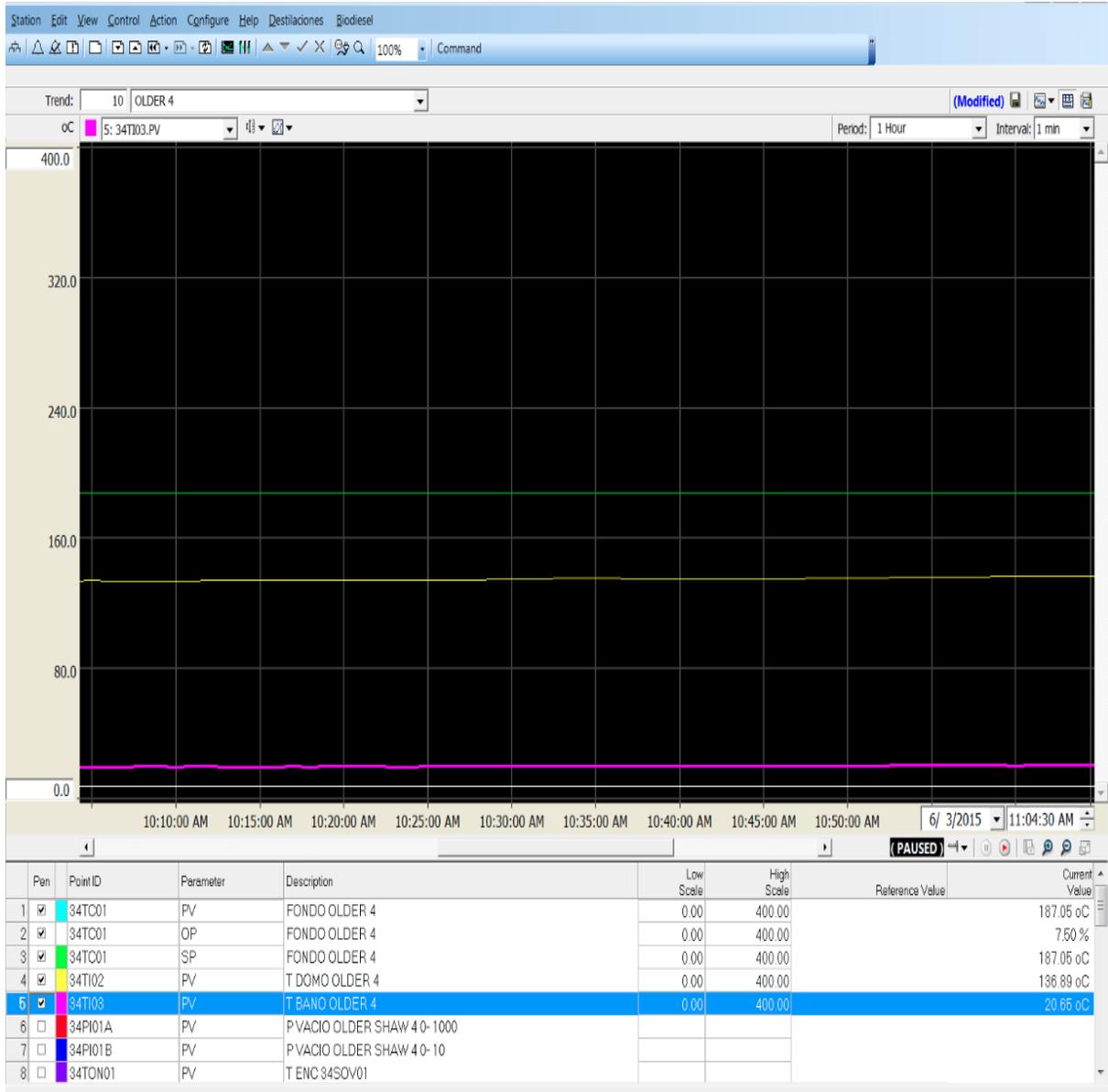
**Figura 5.4. Tendencia de temperatura.**

Como se puede observar, el comportamiento de la temperatura está en función del punto de ajuste SP de la temperatura de fondo, como se muestra en la tendencia de la figura 5.4. Una vez que se alcanza el SP, el sistema hace lo necesario para tratar de estabilizar la PV y, como se aprecia en la figura 5.4, el sistema de control tarda un poco en estabilizar debido a la capacitancia de la columna.

En la figura 5.5, se aprecia la tendencia de una prueba a una temperatura menor que en la anterior, con el fin de analizar y demostrar que la sintonía del controlador funciona adecuadamente y que el sistema puede controlar cualquier SP. Una vez que se seleccionó el SP de 187.14<sup>0</sup>C, el control estabilizo la temperatura de la PV a 187.14<sup>0</sup>C en el fondo de la columna y la temperatura del domo fue de 138.2<sup>0</sup>C, con una salida OP de 7.50 %, con lo cual se puede garantizar que el sistema de control funciona, de acuerdo a lo planeado.

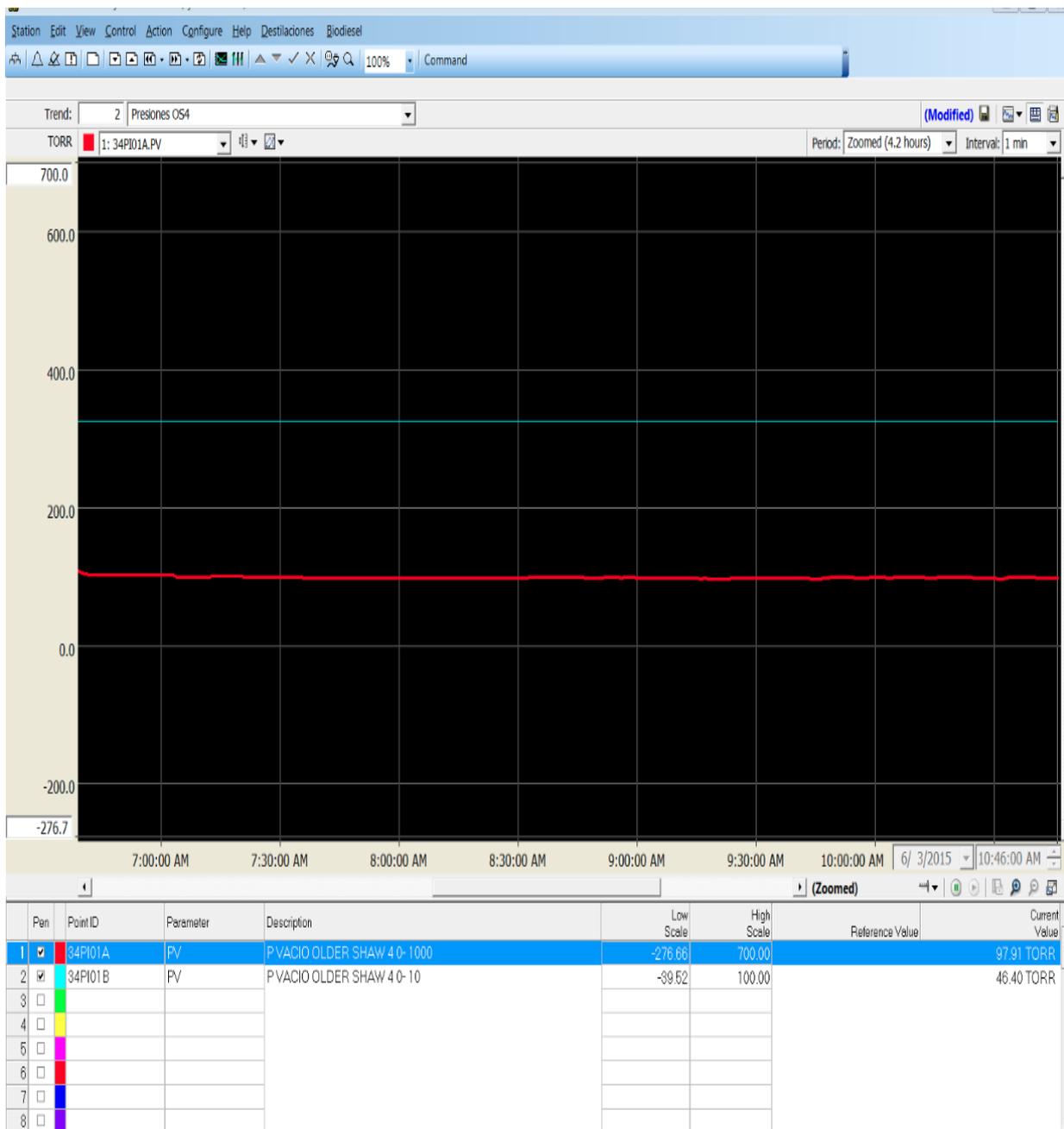


**Figura 5.5. Tendencia de temperatura.**



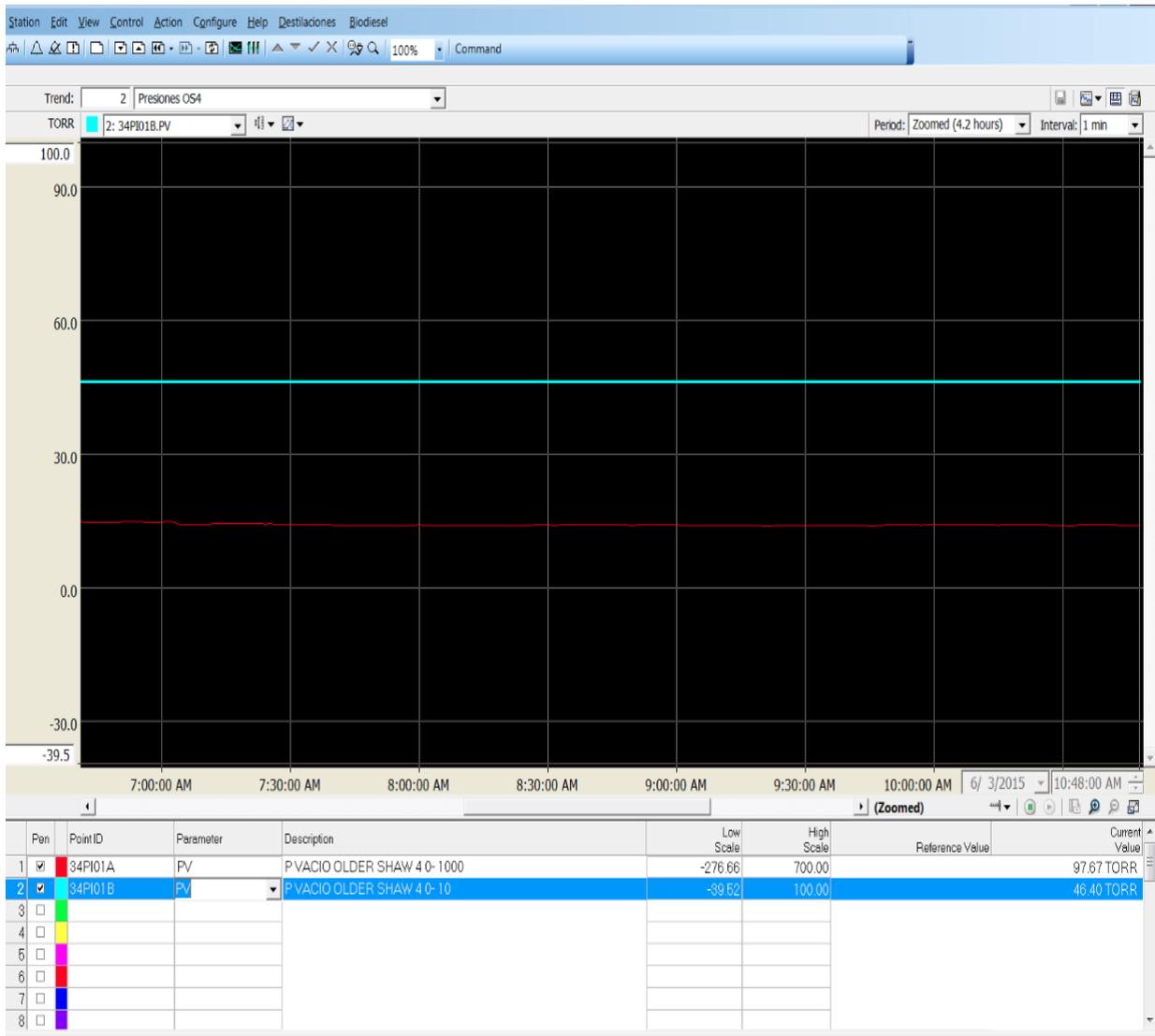
**Figura 5.6. Tendencia de temperatura del domo, olla y baño.**

A continuación se muestra la tendencia de comportamiento de la presión en el transmisor de 0 a 1875 Torr. Esta prueba se realizó para verificar que el transmisor y las válvulas de control funcionan correctamente, e inicialmente se le dio al sistema un SP de 100 Torr y como se puede observar en la tendencia la presión PV fue de 97.91 Torr, con lo cual se puede garantizar que el sistema de control de presión está operando de forma correcta de acuerdo al resultado mostrado en la figura 5.7.



**Figura 5.7. Tendencia de presión del transmisor de presión 0 a 1875 Torr.**

La siguiente prueba fue a una presión reducida de 2 Torr, por lo que se utilizó el transmisor de presión que tiene un rango de operación de 0 a 45 Torr. Este transmisor se emplea cuando se realiza una destilación a presiones debajo de 10 Torr, como se muestra en la figura 5.8.



*Figura 5.8. Tendencia de presión del transmisor de presión 0 a 45 Torr.*

Con todo lo anterior se puede demostrar que el sistema de control cumple con las expectativas esperadas, también se demostró que los sensores, transmisores y el sistema en general trabajan de manera apropiada y correcta a las condiciones de operación de la columna de destilación.

## 5.2 SUMARIO.

En este capítulo se explicó cómo se configuran las tendencias en el sistema de control además también se pudo demostrar por medio de las tendencias, el correcto funcionamiento de los sensores, transmisores y del sistema de control que se implementó a la Columna de Destilación Older Shaw.

# CAPÍTULO 6

## COSTO - BENEFICIO

En este capítulo se efectúa el estudio económico del sistema de control utilizado para la modernización de la Columna de Destilación Older Shaw, así como los beneficios obtenidos al implementar el sistema de control

### 6.1 COSTOS

A continuación se muestra el presupuesto para este proyecto. Cabe señalar que los precios mostrados a continuación son reales e incluyen IVA.

En base al análisis previamente hecho se determinaron los costos en moneda nacional de los materiales necesarios para el proyecto tales como las tarjetas electrónicas para el controlador híbrido HC900, termopares y material eléctrico.

*Tabla 6.1. Costos de tarjetas electrónicas.*

Cantidad	Unidad	Descripción	Costo unitario	Costo total
1	pieza	Tarjeta de control lógico C30 y de lazo avanzado, conectividad a ethernet abierta, control PID superior, funciones de bloques configurables 5000, punto de ajuste programable, marca Honeywell, modelo 900C72-0144-00	32,356.00	32,356.00
2	pieza	Tarjeta de 8 canales de entrada analógicas, tipo de entrada: termopar, RTD, voltaje (-500 a 500 mV. C.D. máximo, -10 a 10 V.D.C. máximo) y corriente (4-20 mA.C.D.), impedancia de entrada: 10 megaohms, aislamiento de entrada: 400 V.C.D. punto a punto, reflexión del ruido: modo serie mayor a 60 dB y en modo común mayor 130 dB, entrada de voltaje: configurable, límite de sobrerango: +/- 10% para rangos lineales y +/-1% para no lineales, detección de termopar abierto, precisión: +/- 0.1% del rango, efectos de temperatura en la precisión: +/-0.01% de la escala total por oC máximo, convertidor A/D de 15 bits, led de indicación de tres estados, datos de configuración de canal almacenados en memoria no volátil, suministro eléctrico: 5 V.C.D. 40 mA. max y 24 V.C.D. 25 mA. Máximo. Marca: Honeywell modelo: 900A01-0102	10,553.00	21,103.00

**COSTOS-BENEFICIOS**

1	pieza	Tarjeta de 8 canales de salida analógica de 0 a 21.8 mA. C.D. aisladas, resistencia de carga: 750 ohms, máxima, aislamiento: 500 V.C.D canal a canal, suministro eléctrico: 5 V.C.D. 40 mA máximo y 24 V.C.D, 200 mA máximo, marca Honeywell, modelo: 900B08-0101.	12,764.00	12,764.00
1	pieza	Tarjeta de 16 canales de salidas digitales, aislamiento: 2 grupos de 8 bits, voltaje de operación: 6.5 a 32 V.C.D., tipo de salida: interruptor de potencia inteligente IPS, voltaje pico: 34 V.C.D., protección de sobrecarga electrónica de corriente alta y alta temperatura. Corriente de carga máxima: 1 A. por punto, carga: resistiva, corriente máxima de fuga: 0.15 mA. A 32 V.C.D. tiempo de respuesta de conmutación: 6 ms., suministro eléctrico: 5 V.C.D. 340 mA. marca: Honeywell, modelo: 900H02-0102	5,520.00	5,520.00
1	pieza	Módulo de salidas digitales 8 canales, voltaje 120 VCA, modelo 900H03-0102	8,400.00	8,400.00
1	pieza	Fuente de alimentación, entrada: 120 VCA, 7A, 60 Hz., voltaje de salida 15 VCD y 24 VCD, 60 W, fusible interno, terminales de alambrado tipo tornillo, marca Honeywell, modelo: 900P01-00	7,800.00	7,800.00
1	pieza	Rack de 12 slots con tarjeta backplane, marca Honeywell, modelo 900R12-0101	7,035.00	7,035.00
4	pieza	Tapa ciega para slot disponible, marca Honeywell, modelo 900TNF-0001	278.00	1,112.00
1	pieza	Tarjeta multiplexora Hub de 8 entradas de RS-232, DB9, una salida a USB 2.0, velocidad: 50 bps, a 921.6 Kbps, marca: Moxa, modelo 1610-8	8,580.00	8,580.00
1	pieza	Hub de red industrial ethernet 10/100TX, 8 puertos RJ45, plug and play, leds indicadores de estado y comunicación por puerto, detección de red automática (auto-link) incluye fuente de suministro de alimentación 120 VCA.	1,750.00	1,750.00
			<b>TOTAL</b>	<b>106,428.00</b>

El costo de los termopares así como de los transmisores de presión se muestra en la tabla 6.2.

**Tabla 6.2. Costos de termopares y transmisores.**

<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Costo unitario</b>	<b>Costo total</b>
3	pieza	Termopar tipo K,Elemento bimetálico de Cromel-Alumel, 8" de longitud, de 1/8" de diámetro, material en acero inoxidable 316, resorte de seguridad, cable de extensión de 2 mt de largo con forro de malla en acero inoxidable, conector macho estándar, marca Watlow	1,420.00	4,260.00
1	pieza	Diafragma para sensor de presión absoluta de alto rendimiento, 0 a 45 Torr , material del diafragma: Hastelloy C-276, exactitud 0.075% de span calibrado, rangeabilidad 100:1, estabilidad 0.15% del máximo span, configuración de alcance, cero y supresión en forma local, resistencia de aislamiento mayor de 100Mohms a 500 VDC, sobrepresión 10 bars, señal de salida: 2 hilos 4-20 mA. CD, alimentación eléctrica 24 V.C.D., conexión a proceso 1/2" NPT.	22,176.00	22,176.00
1	pieza	Diafragma para sensor de presión absoluta de alto rendimiento, 0 a 1875 Torr, material del diafragma: Hastelloy C-276, exactitud 0.075% de span calibrado, rangeabilidad 100:1, estabilidad 0.15% del máximo span, configuración de alcance, cero y supresión en forma local, resistencia de aislamiento mayor de 100Mohms a 500 VDC, sobrepresión 10 bars, señal de salida: 2 hilos 4-20 mA. CD, alimentación eléctrica 24 V.C.D., conexión a proceso 1/2" NPT.	22,176.00	22,176.00
			<b>TOTAL</b>	<b>48,612.00</b>

En la siguiente tabla 6.3 se muestra el costo del material eléctrico empleado.

**Tabla 6.3 Costo del Material eléctrico.**

<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Costo unitario</b>	<b>Costo total</b>
1	pieza	Relevador de estado sólido, señal de excitación: 3-32 VCD, capacidad de contactos: 220 VCA 25 amperes,	372.00	372.00
2	pieza	Relevador de contacto seco, alimentación bobina: 24 VCD, contactos NC y NO, salida en contactos 120 VCA, corriente: 5 A. led de señalización,	178.00	356.00
1	pieza	Placa de aluminio con aletas de enfriamiento para disipar calor en relevador de estado sólido con señal de excitación: 3-32 VCD y contactos 240 VCA, 50 A. , montaje en riel din.	398.00	398.00
2	pieza	Portafusible para tablero de control de potencia, tipo de fusible Entrelec, corriente máxima: 30 Amperes, 250 Volts.	56.00	112.00
3	pieza	Peine de interconexion 10 clemas, paso 8 mm, marca Legrand modelo 37507	39.00	117.00
10	pieza	Portafusible para fusible tipo europeo en riel DIN	29.00	290.00
1	caja	Clema gris para conductor 6 mm., C/10, paso 8 mm, catalogo 37161, marca Legrand caja con 40 piezas.	309.00	309.00
1	pieza	Cinta de aislar plástica color negro, material: vinil, 600V, retardante a la flama y autoextinguible.	16.00	16.00
			<b>TOTAL</b>	<b>1,970.00</b>

Por último se elabora una tabla 6.4 con los costos totales:

**Tabla 6.4 Costos totales.**

<b>Descripción</b>	<b>Costo</b>
Tarjetas Electrónicas	106,428.00
Termopares y transmisores	48,612.00
Material Eléctrico	1,970.00
<b>Costo total</b>	<b>157,010.00</b>

## **6.2 BENEFICIOS.**

Con la modernización de la Columna de Destilación Older Shaw se han obtenido beneficios económicos, técnicos y ambientales, entre ellos destacan los siguientes:

- El sistema de control tiene una adquisición automática de datos, con la se obtiene la información de las variables de proceso en tiempo real. Así, las indicaciones de las variables (datos) se registran con el mínimo de intervención humana, de forma más rápida, más precisa y con mayor confiabilidad en los datos además de tener gran capacidad de almacenamiento y rápido acceso a la información para la toma de decisiones en tiempo real.
- Control de variables de proceso.
- Resultados en tiempo real, cálculos y base de datos de las pruebas.
- Sistema de ayuda interactivo.
- Las mejoras a la programación se realizan en un solo lugar, evitando la instalación en cada computadora.
- Se mejoró la calidad del producto destilado.
- Se redujo los costos de operación.
- Se logró mantener las condiciones de seguridad tanto como para el operador y el medio ambiente.

## **6.3 SUMARIO.**

En este capítulo, se dio a conocer los costos de cada uno de los elementos que conforman el sistema de control de la marca Honeywell y los costos del material eléctrico que se utilizó para la modernización de la columna de Destilación Older Shaw, así como también se describieron los beneficios que se obtuvieron al implementar dicho sistema de control.

## CONCLUSIONES.

Con los resultados obtenidos en las pruebas que se realizaron en la Columna de Destilaciones Older Shaw, se presentan las siguientes conclusiones:

a) Logros alcanzados.

En general, los logros alcanzados dentro de la instalación del sistema de control fue lo siguiente

Se logró la operación en forma automática, antes de la instalación del controlador HC900, el control de temperatura, presión y reflujo/destilador se trabajaba en forma manual, con este desarrollo se opera en automático, dando la ventaja de tener una operación más confiable y segura.

Además también se logró la adquisición de los datos en tiempo real donde se tienen disponibles los datos de las pruebas al momento, sin necesidad de la intervención del operador, en archivos manejables que muestran el comportamiento del proceso y la toma de decisiones en forma inmediata. También se cuenta con la historización la cual almacenan los datos de resultados hasta con tres meses de duración.

También se hizo la modernización del sistema de control y la instrumentación instalada en la columna de destilación Older Shaw, la planta fue equipada con un sistema de control y la instalación de instrumentación moderna que substituyo a la instrumentación obsoleta que se venía utilizando. La comunicación TCP/IP para la integración a redes intranet institucionales y a sistemas de administración.

También se cuenta con la documentación actualizada de la configuración del sistema de control y los diagramas de alambrado.

Y por último se logró la construcción de un tablero de control él cuenta con un nuevo control mucho más moderno y documentado con el que se tendrá disminución de tiempos de reconocimiento de fallas y su posible arreglo, además de que se podrán hacer más fácilmente futuras adaptaciones o adiciones de lazos de control.

b) Trabajos a futuro.

Como trabajos a futuro, se proponen lo siguiente

La meta es integrar el área de destilaciones al sistema de control. Se cuentan con aproximadamente 6 columnas que trabajan en forma manual, por lo que este proyecto, da la pauta para efectuar la implementación a las demás columnas.

Diseñando un sistema de adquisición automática de productos o cortes de destilado, para trabajar la planta completamente automática, donde la tarea del operador se reduce a únicamente a la supervisión de la columna de destilación.

c) Comentarios finales.

Durante el desarrollo de este trabajo se demostró que es posible mejorar el control del proceso de Destilación de la Columna Older Shaw, con un sistema flexible, confiable y seguro.

Un aspecto importante a resaltar, es que este sistema de control instalado tiene las características de configuración de un sistema de control distribuido, por lo que para futuras adaptaciones o modificaciones, tiene un enorme potencial de configuración para resolver cualquier problema de control continuo o discreto, sin ningún problema.

Para concluir, se espera que este trabajo de la pauta para la mejora de la respuesta de los procesos de destilación del Laboratorio de Plantas Piloto y Escalamiento de Catalizadores.

---

# BIBLIOGRAFÍA

1. ATSM internacional, D2892-13, método de prueba estándar para la destilación del petróleo crudo. 2014.
2. Especificaciones Técnicas del Controlador Híbrido HC900 51-52-03- 31-SP, Honeywell. 2011.
3. HC900 Hybrid Control Designer User Guide 51-52-25-110, Honeywell, Revision: 9.2011.
4. HC900 Hybrid Control Designer Function Block Reference Guide 51-52-25-109, Honeywell, Revision: 11. 2011
5. HC900 Hybrid Controller Communications User Guide 51-52-25-111, Honeywell, Revision: 9. 2011
6. Hybrid Control Designer Software Technical Overview 51-52-03-43, Honeywell. 2011
7. Antonio Creus Sole. (2010). Instrumentación Industrial. Barcelona, España: Alfaomega.
8. Richard A. Dawe. (2000). Modern petroleum technology. Virginia: Wiler.
9. Norma ISA 5.1 Instrumentation Symbols and Identification, Jose L Diaz Revision: 1992.
10. Gary james. (1980). Refino del petróleo. New York, USA: Reverte.
11. J. Acedo Sanchez. (2006). Instrumentación y control avanzada de procesos. Madrid: Díaz de Santos.
12. Pedro Ollero de castro y Eduardo Fernández Camacho. (2012). Instrumentación y control de plantas químicas. España: síntesis.
13. Carlos Smith, Armando Corripio. (1991). Control automático de procesos: Teoría y práctica: Limusa.
14. F. C. Shinskey. (1996). Sistemas de control de procesos: Aplicación, diseño y sintonización: Mc Graw Hill.