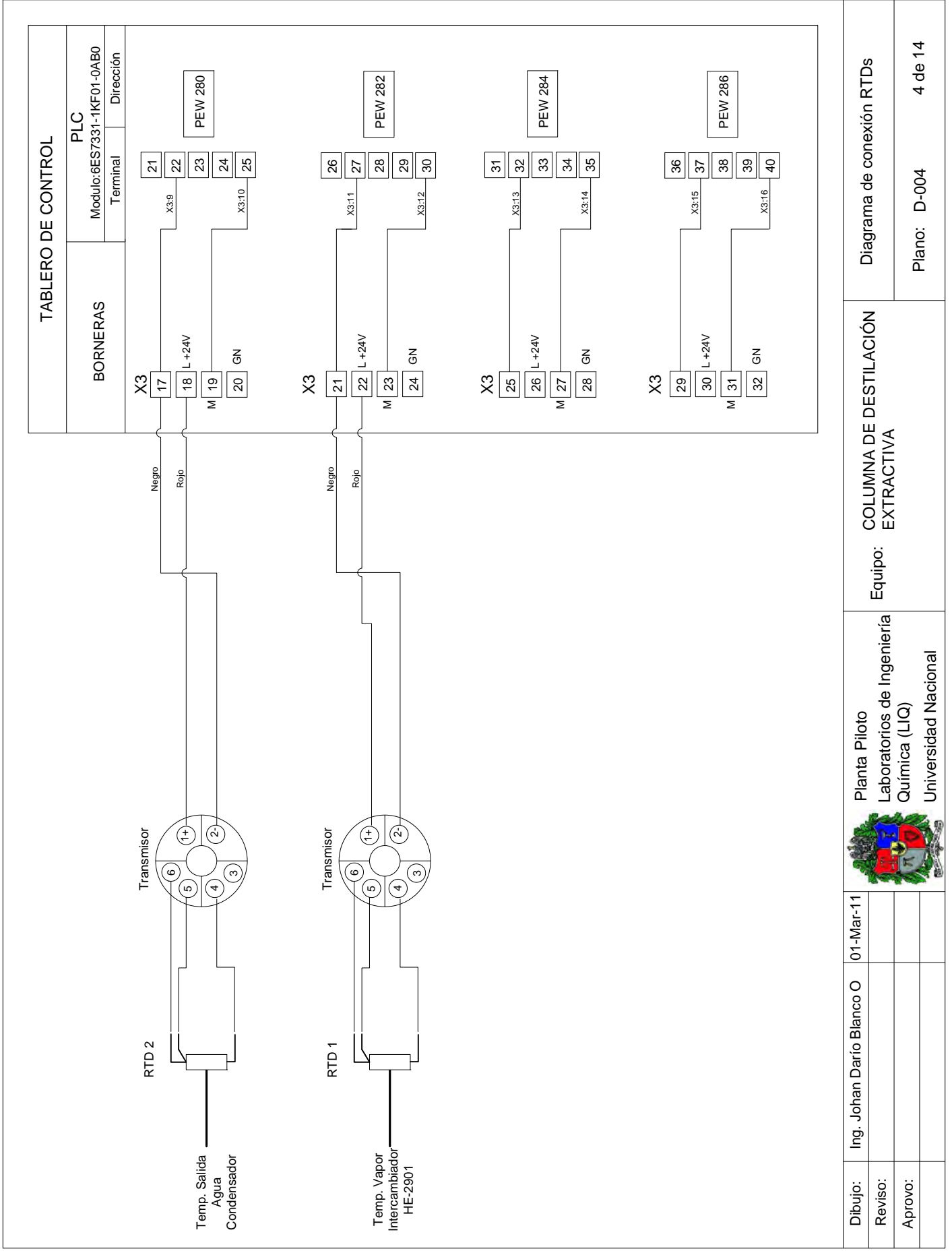


Planta Piloto  
Laboratorios de Ingeniería  
Química (LIQ)  
Universidad Nacional

Equipo: COLUMNA DE DESTILACIÓN  
EXTRACTIVA

Diagrama de conexión RTDs  
Plano: D-003      3 de 14

Dibujo:	Ing. Johan Darío Blanco O	01-Mar-11
Reviso:		
Aprovo:		



Planta Piloto  
Laboratorios de Ingeniería  
Química (LIQ)  
Universidad Nacional

Equipo: COLUMNA DE DESTILACIÓN  
EXTRACTIVA

Diagrama de conexión RTDs

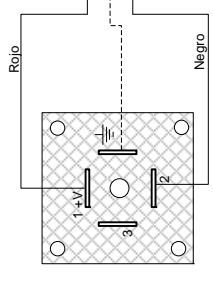
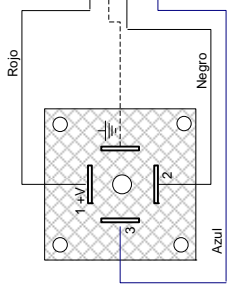
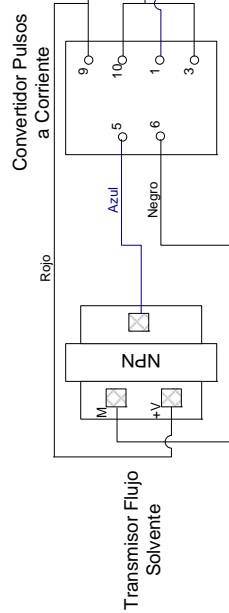
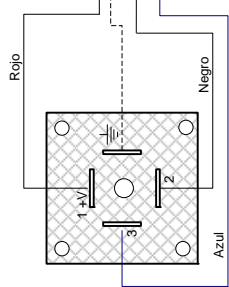
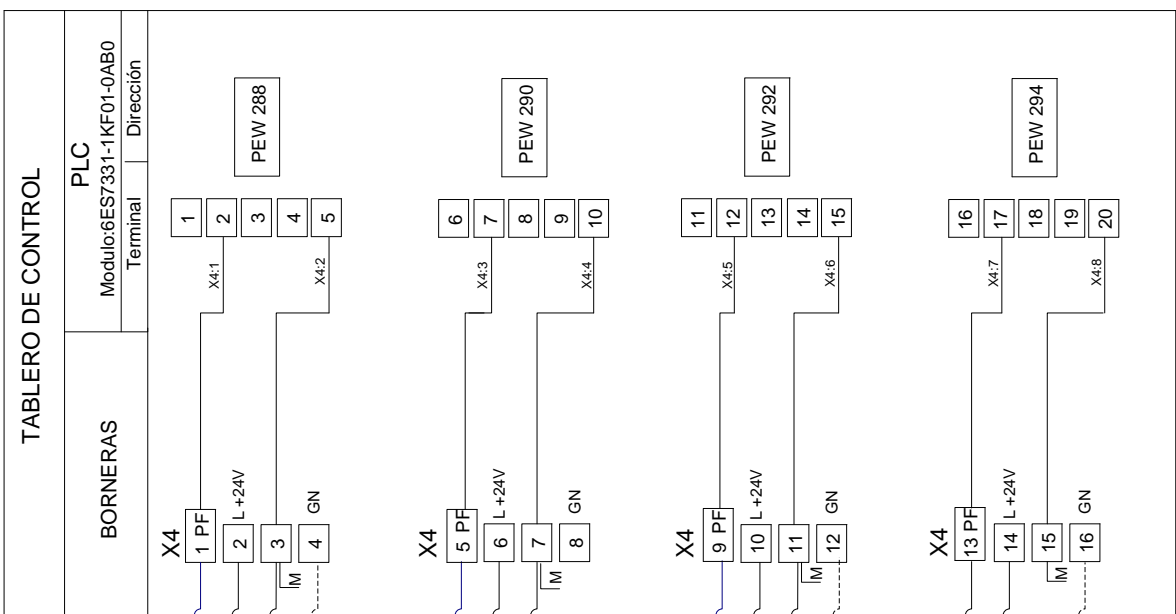
Plano: D-004

4 de 14

Dibujo: Ing. Johan Darío Blanco O 01-Mar-11

Reviso:

Aprovo:



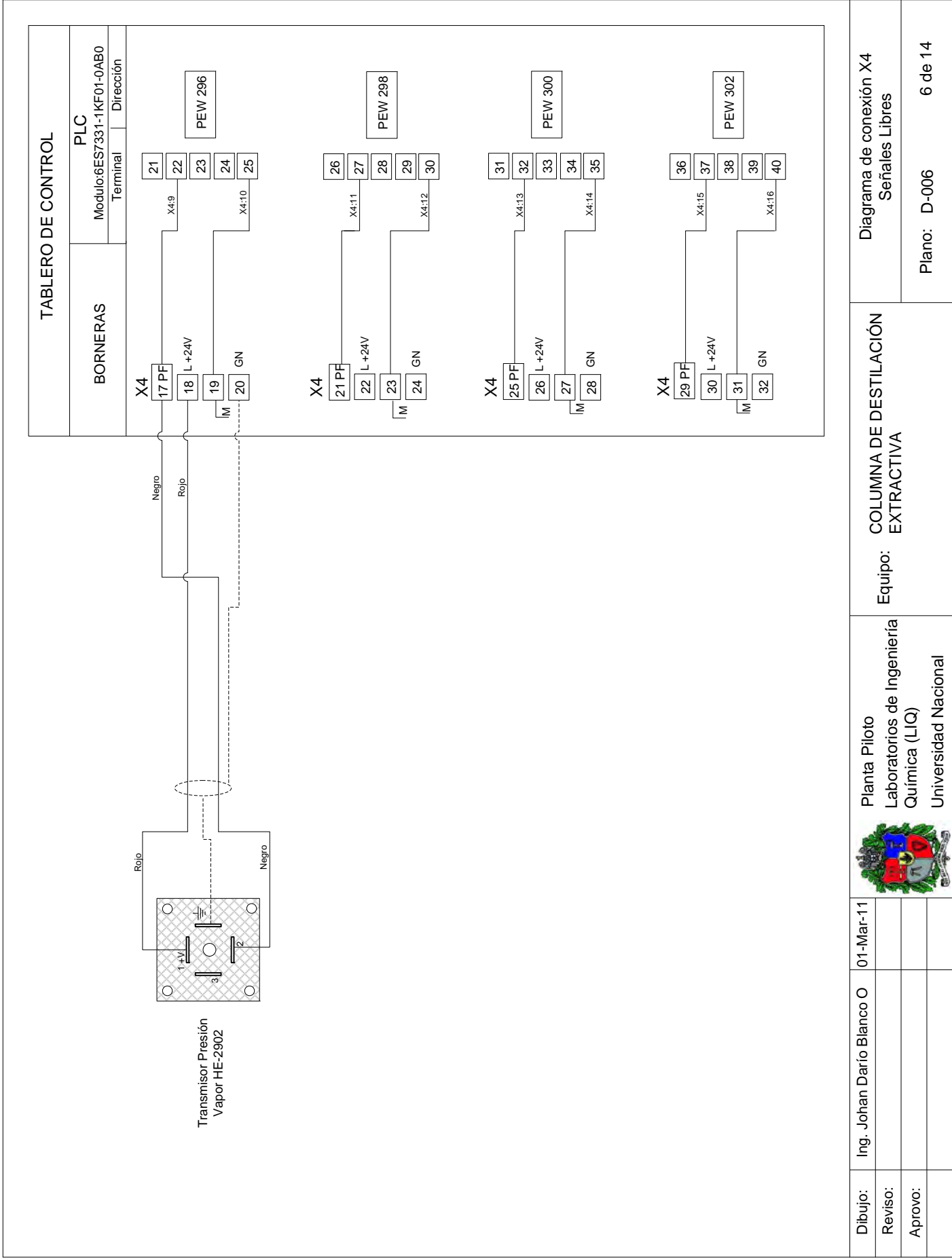
Planta Piloto  
Laboratorios de Ingeniería  
Química (LIQ)  
Universidad Nacional

Equipo: COLUMNA DE DESTILACIÓN  
EXTRACTIVA


Diagrama de conexión X4  
Transmisores de Flujo y presión

Plano: D-005      5 de 14

Dibujo:	Ing. Johan Darío Blanco O	01-Mar-11	
Reviso:			
Aprovo:			

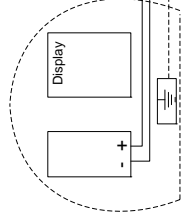
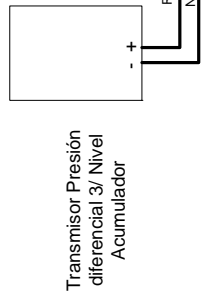
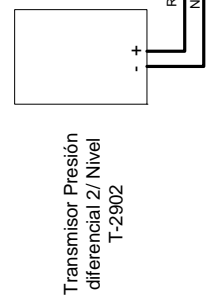
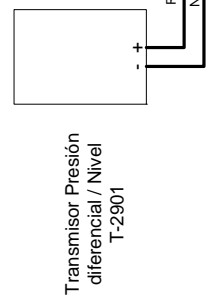
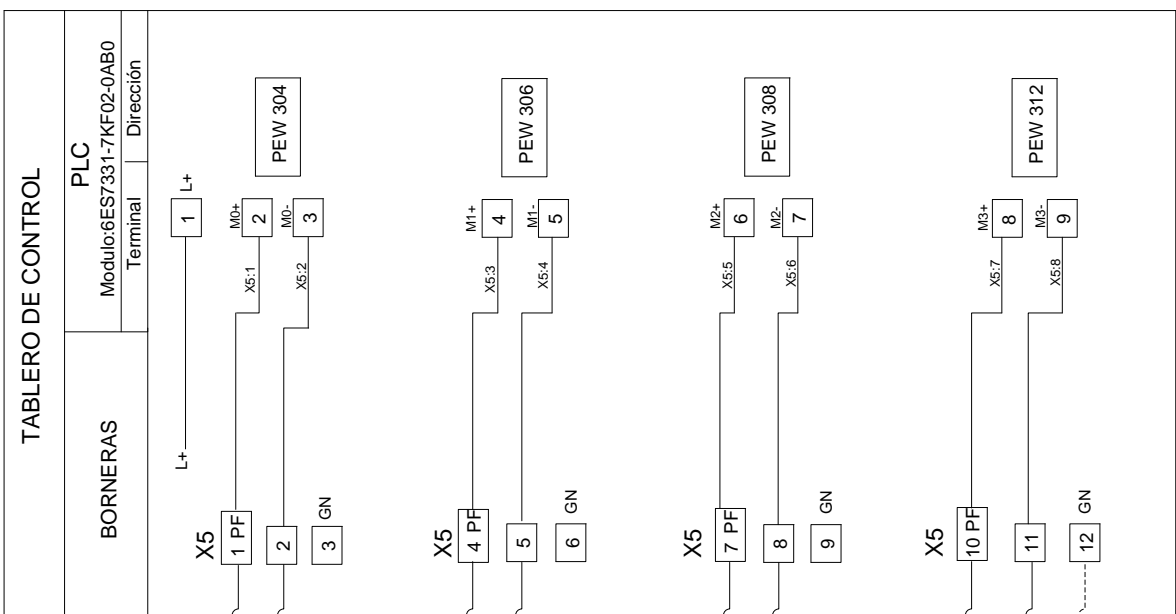



Dibujo:	Ing. Johan Darío Blanco O	01-Mar-11
Reviso:		
Aprovo:		

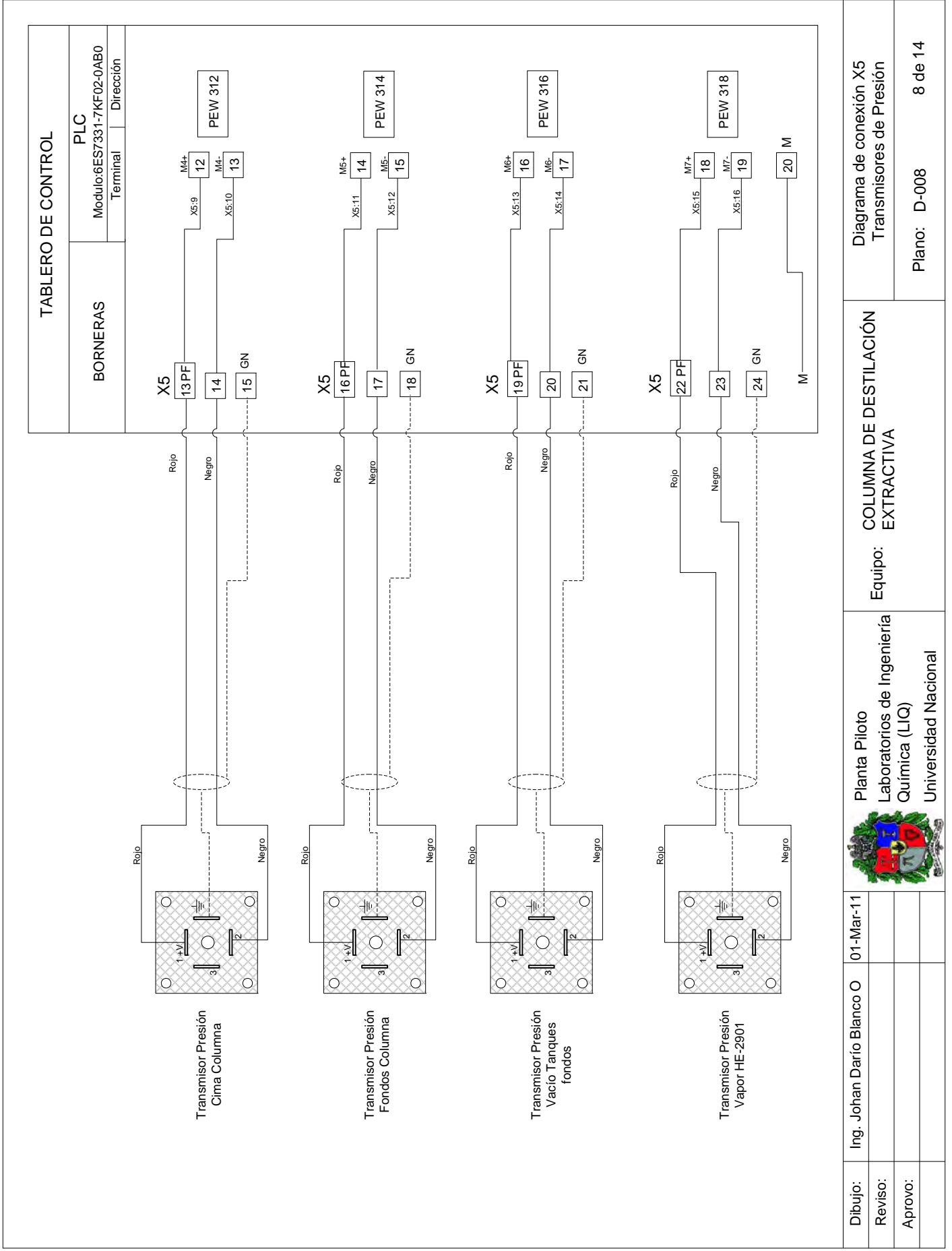
  
 Planta Piloto  
 Laboratorios de Ingeniería  
 Química (LIQ)  
 Universidad Nacional

Equipo: COLUMNA DE DESTILACIÓN  
 EXTRACTIVA

Diagrama de conexión X4  
 Señales Libres  
 Plano: D-006      6 de 14



Dibujo:	Ing. Johan Darío Blanco O	01-Mar-11	 Planta Piloto Laboratorios de Ingeniería Química (LIQ) Universidad Nacional	Equipo: COLUMNA DE DESTILACIÓN EXTRACTIVA	Diagrama de conexión X5 Transm. de Presión dif y Capacitivo
Reviso:					
Aprovo:					



Planta Piloto  
Laboratorios de Ingeniería  
Química (LIQ)  
Universidad Nacional

Equipo: COLUMNA DE DESTILACIÓN  
EXTRACTIVA

Diagrama de conexión X5  
Transmisores de Presión

Plano: D-008

8 de 14

Dibujo: Ing. Johan Darío Blanco O 01-Mar-11

Reviso:

Aprovo:

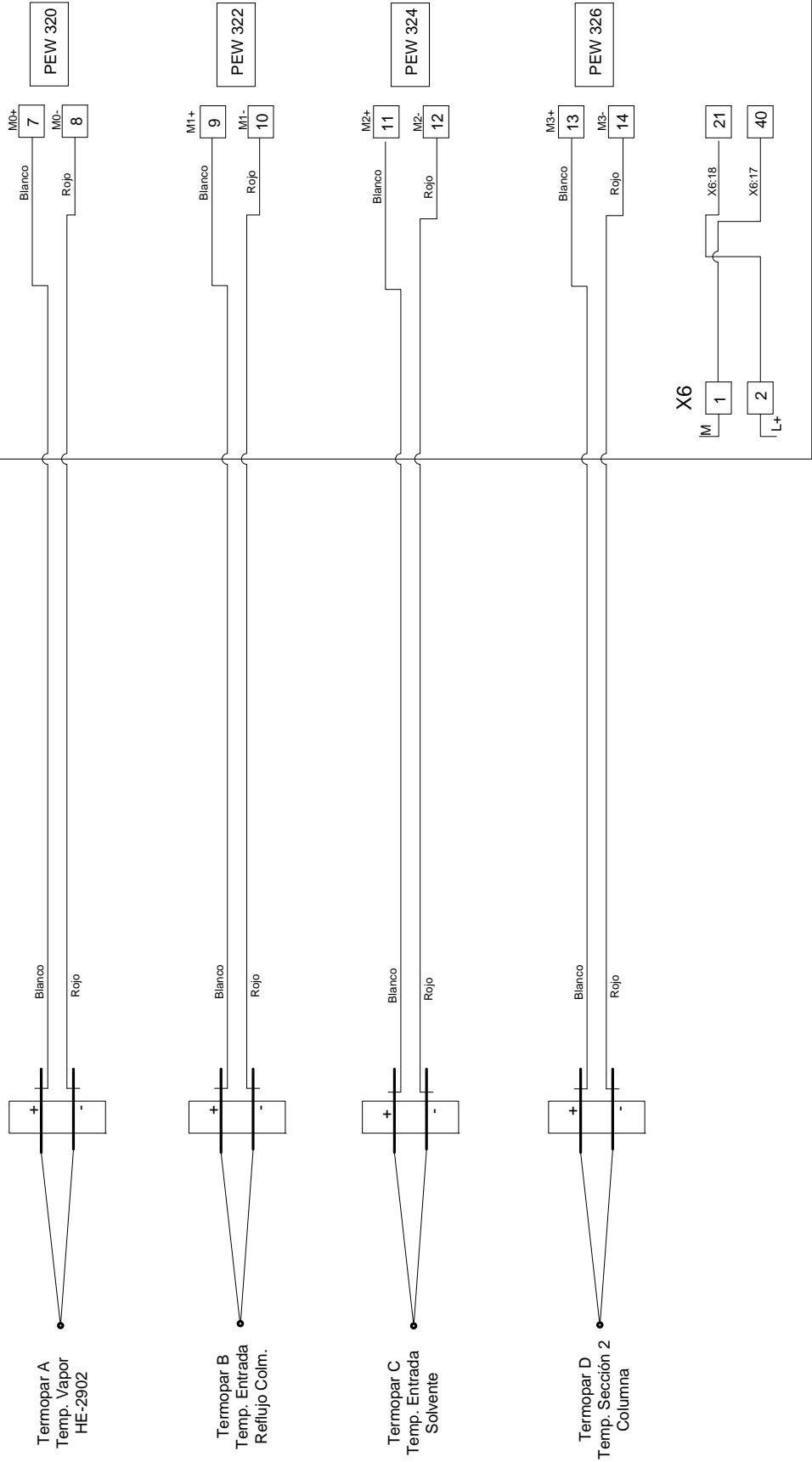
# TABLERO DE CONTROL

PLC

Modulo:6ES7331-7PF11-0AB0

Terminal Dirección

BORNERAS



Termopar A  
Temp. Vapor  
HE-2902

Termopar B  
Temp. Entrada  
Reflujo Colm.

Termopar C  
Temp. Entrada  
Solvente

Termopar D  
Temp. Sección 2  
Columna

Dibujo: 01-Mar-11

Ing. Johan Darío Blanco O

Reviso:

Aprovo:

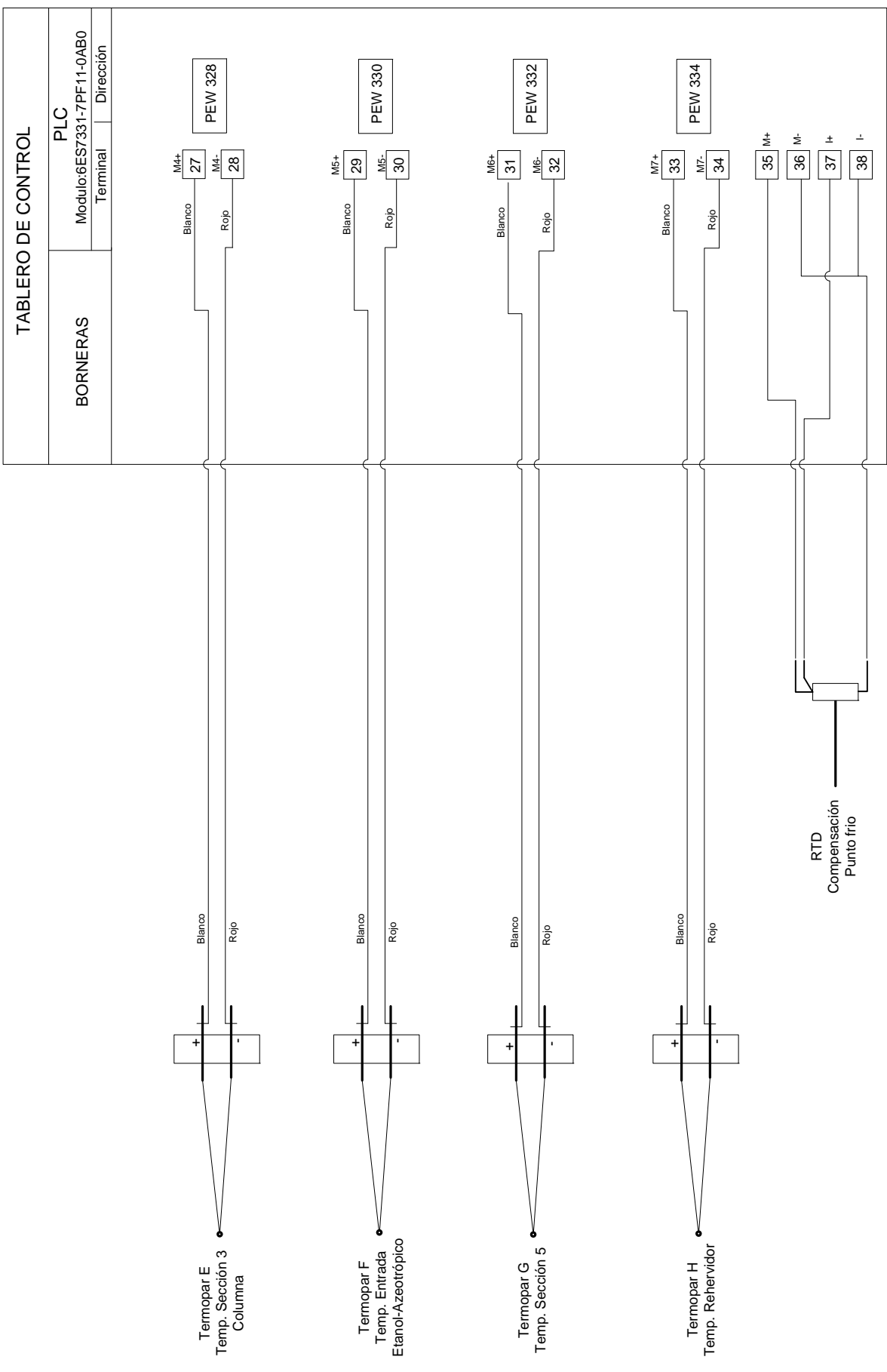
Planta Piloto  
Laboratorios de Ingeniería  
Química (LIQ)  
Universidad Nacional

Equipo: COLUMNA DE DESTILACIÓN  
EXTRACTIVA


Diagrama de conexión X6  
Termopares

Plano: D-009

9 de 14



Dibujo:	Ing. Johan Darío Blanco O	01-Mar-11	
Reviso:			
Aprovo:			

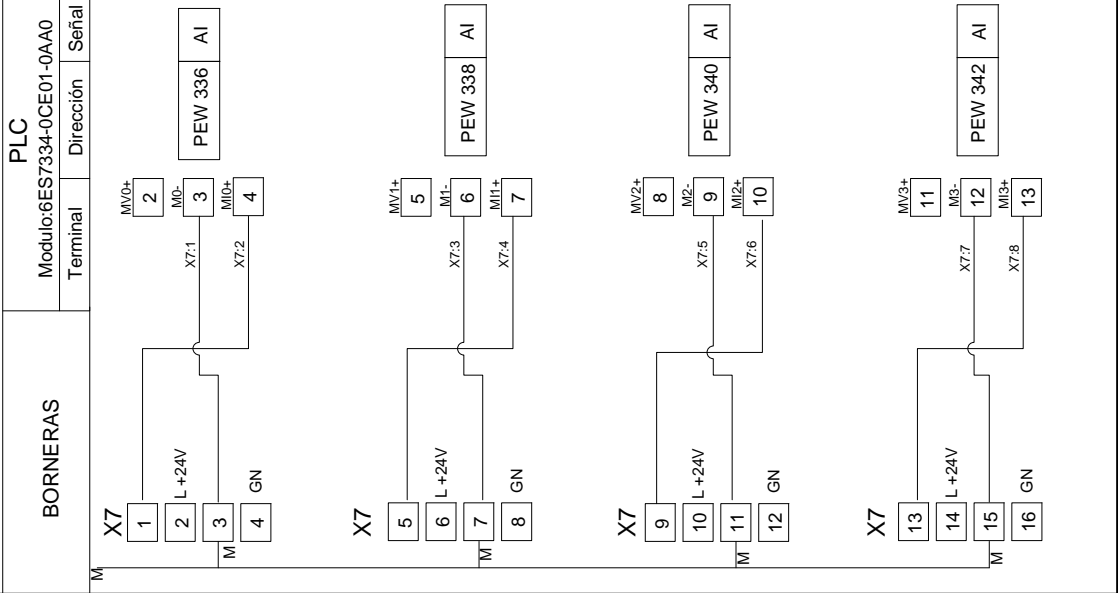
  
**Planta Piloto**  
**Laboratorios de Ingeniería**  
**Química (LIQ)**  
**Universidad Nacional**

**Equipo:** COLUMNA DE DESTILACIÓN  
**EXTRACTIVA**

**Diagrama de conexión X6**  
**Termopares 2**  
  
**Plano:** D-010      **10 de 14**



**TABLERO DE CONTROL**



**BORNERAS**

**PLC**

Modulo:6ES7334-0CE01-0AA0

Terminal	Dirección	Señal
----------	-----------	-------

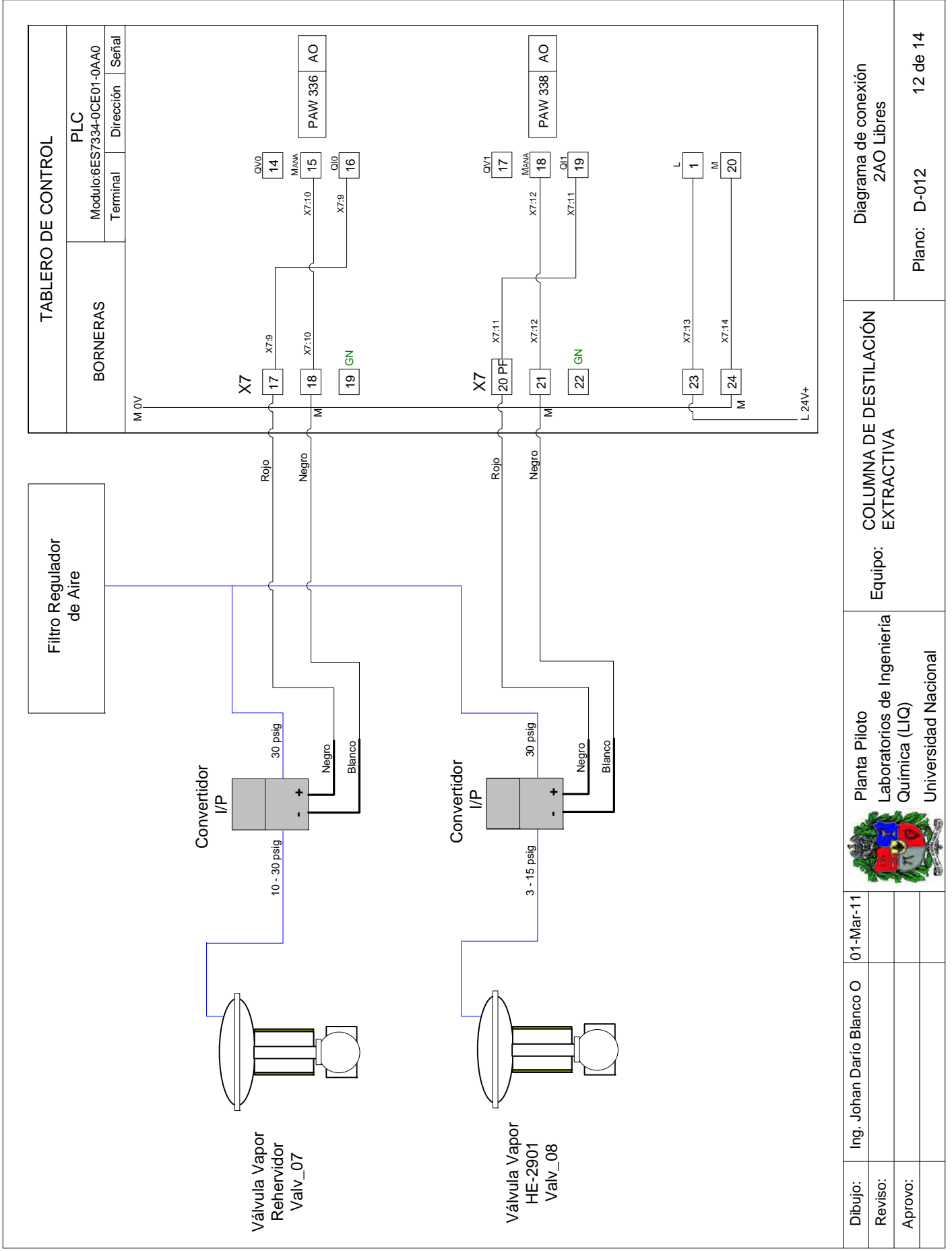


Planta Piloto  
Laboratorios de Ingeniería  
Química (LIQ)  
Universidad Nacional

Equipo: COLUMNA DE DESTILACIÓN  
EXTRACTIVA

Diagrama de conexión  
4AI Libres

Dibujo:	Ing. Johan Darío Blanco O	01-Mar-11
Reviso:		
Aprovo:		



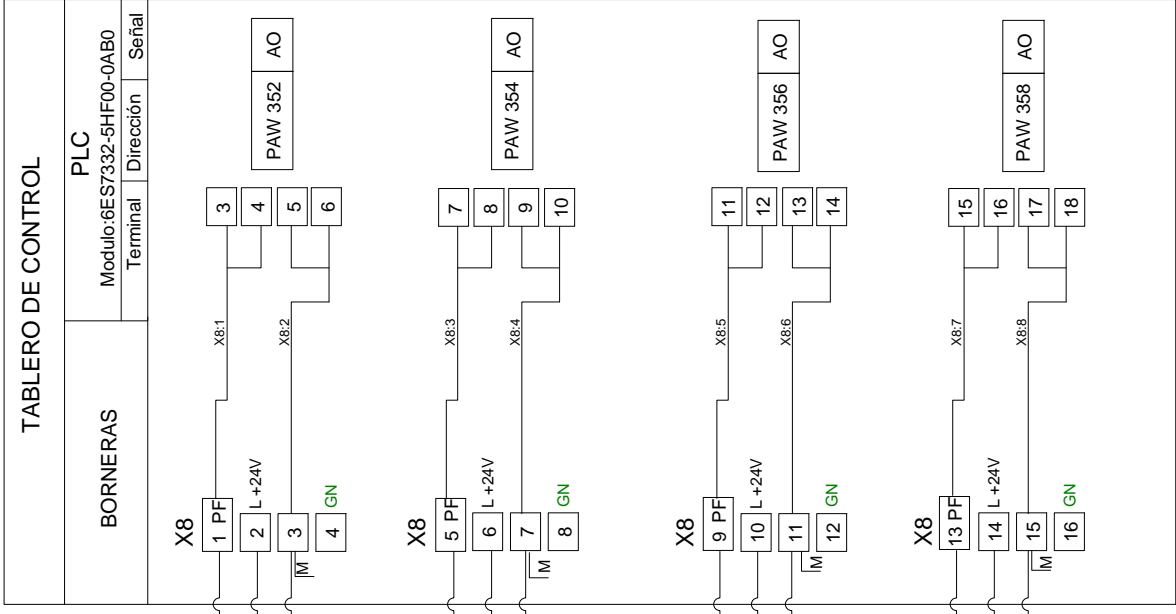
Dibujo:	Ing. Johan Darío Blanco O	01-Mar-11
Reviso:		
Aprovo:		

Planta Piloto  
Laboratorios de Ingeniería  
Química (LIQ)  
Universidad Nacional

Equipo: COLUMNA DE DESTILACIÓN  
EXTRACTIVA

Diagrama de conexión  
2AO Libres

Plano: D-012      12 de 14




Válvula Alim.  
Etanol-Azeotrop  
Valv\_01

Válvula Alim.  
Solvente  
Valv\_02

Válvula Reflujo  
Valv\_03

Válvula  
Destilado  
Valv\_04

Dibujo:	Ing. Johan Darío Blanco O	01-Mar-11
Reviso:		
Aprovo:		



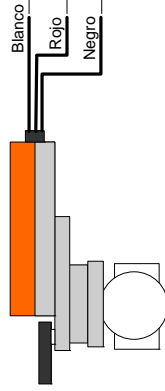
Planta Piloto  
Laboratorios de Ingeniería  
Química (LIQ)  
Universidad Nacional

Equipo: COLUMNA DE DESTILACIÓN  
EXTRACTIVA

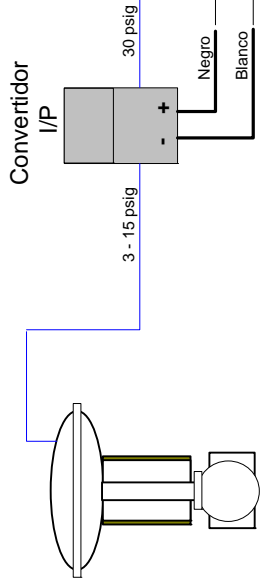
Diagrama de conexión X8  
4 Válvulas Eléctricas

Plano: D-013      13 de 14

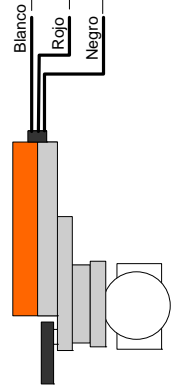
Filtro Regulador de Aire



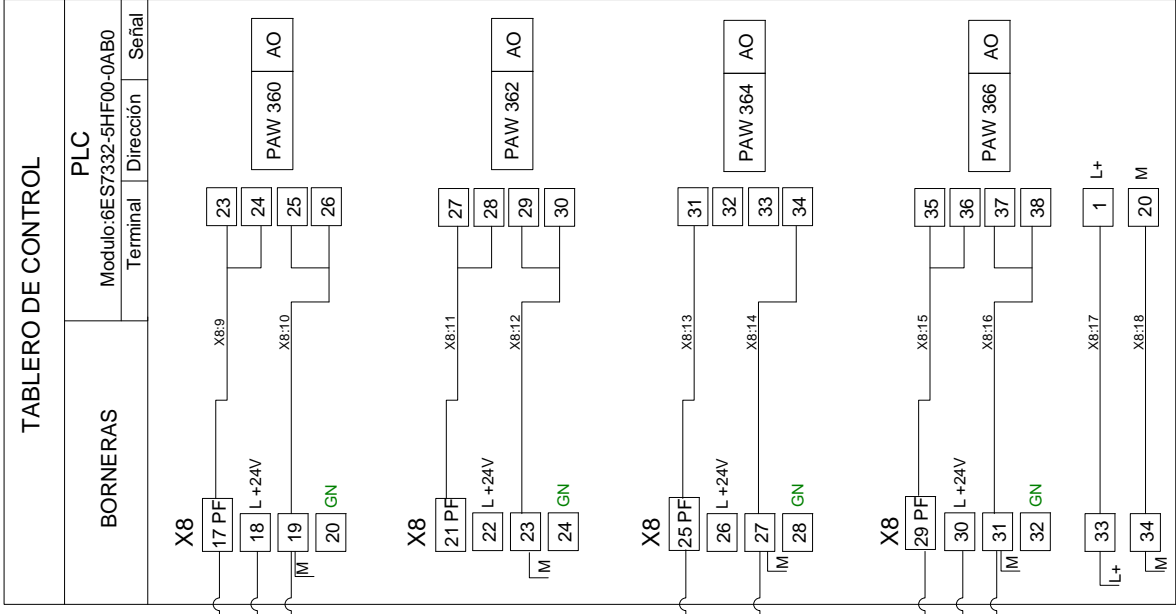
Válvula Agua Condensador Valv\_05



Válvula Vapor HE-2902 Valv\_09



Válvula Vacío Fondos Valv\_06



Planta Piloto  
Laboratorios de Ingeniería  
Química (LIQ)  
Universidad Nacional

Equipo: COLUMNA DE DESTILACIÓN EXTRACTIVA

Diagrama de conexión X8  
2 Válv. Eléctricas y 1 Neumática

Plano: D-014

14 de 14

Dibujo:	Ing. Johan Darío Blanco O	01-Mar-11	
Reviso:			
Aprovo:			

## **C.4 Arquitectura y listado de señales**



X2:1		<b>1</b>	L+
X2:18		<b>18</b>	M
X2:19		<b>19</b>	L+
X2:28		<b>28</b>	M
X2:29		<b>29</b>	L+
		<b>38</b>	M

<b>SLOT 4 MODULO 8AI 6ES7-331-1KF01</b>	<b>AI 1</b>	PEW 272	2 (+)	X3:1
			5	X3:2
	<b>AI 2</b>	PEW 274	7	X3:3
			10	X3:4
	<b>AI 3</b>	PEW 276	12	X3:5
			15	X3:6
	<b>AI 4</b>	PEW 278	17	X3:7
			20	X3:8
	<b>AI 5</b>	PEW 280	22	X3:9
			25	X3:10
<b>AI 6</b>	PEW 282	27	X3:11	
		30	X3:12	
<b>AI 7</b>	PEW 284	32	X3:13	
		35	X3:14	
		37	X3:15	

X3:1	<b>AI</b>	<b>1 PF</b>	Negro_
L		<b>2</b>	Rojo_
X3:2		<b>3</b>	M
		<b>4 GN</b>	Alambre
X3:3		<b>5 PF</b>	Negro_
L		<b>6</b>	Rojo_
X3:4		<b>7</b>	M
		<b>8 GN</b>	Alambre
X3:5		<b>9 PF</b>	Negro_
L		<b>10</b>	Rojo_
X3:6		<b>11</b>	M
		<b>12 GN</b>	Alambre
X3:7		<b>13 PF</b>	Negro_
L		<b>14</b>	Rojo_
X3:8		<b>15</b>	M
		<b>16</b>	Alambre
X3:9		<b>17 PF</b>	Negro_
L		<b>18</b>	Rojo_
X3:10		<b>19</b>	M
		<b>20</b>	Alambre
X3:11		<b>21 PF</b>	Negro_
L		<b>22</b>	Rojo_
X3:12		<b>23</b>	M
		<b>24</b>	Alambre
X3:13		<b>25 PF</b>	
L		<b>26</b>	
X3:14		<b>27</b>	M
		<b>28</b>	
X3:15		<b>29 PF</b>	

Negro (2-)	Temperatura cima columna	TT-10-R RTD 4 - Clase A MD10
Rojo (1+)		
Negro (2-)	Temperatura Salida Condensador Etanol Anhidro	TT-11-R RTD 3 - Clase B MD14
Rojo (1+)		
Negro (2-)	Temperatura Sección 4	TT-12-R RTD 5 - Clase B MD18
Rojo (1+)		
Negro (2-)	Temperatura Sección 6	TT-13-R RTD 6 - Clase A MD22
Rojo (1+)		
Negro (2-)	Temperatura Salida Agua Condensador	TT-14-R RTD 2 - Clase B MD26
Rojo (1+)		
Negro (2-)	Temperatura Vapor entrada HE-2901	TT-15-R RTD 1 - Clase A MD30
Rojo (1+)		
	-	-





**PLC**

Modulo	Tipo	Dirección	Borne	cable
<b>SLOT 6 MODULO 8AI 6ES7-331-7KF02</b>	<b>AI 1</b>	PEW 304	2 (+)	X5: 1
			3 (-)	X5:2
	<b>AI 2</b>	PEW 306	4 (+)	X5: 4
			5 (-)	X5: 3
	<b>AI 3</b>	PEW 308	6 (+)	X5: 5
			7 (-)	X5: 6
	<b>AI 4</b>	PEW 310	8 (+)	X5: 7
			9 (-)	X5: 8
	<b>AI 5</b>	PEW 312	12 (+)	X5: 9
			13 (-)	X5: 10
	<b>AI 6</b>	PEW 314	14 (+)	X5: 11
			15 (-)	X5: 12
	<b>AI 7</b>	PEW 316	16 (+)	X5: 13
			17 (-)	X5: 14
	<b>AI 8</b>	PEW 318	18 (+)	X5: 15
			19 (-)	X5: 16

1	
20	

**TABLERO**

cable up	Tipo	Bornera	cable down
X5: 1	<b>AI</b>	<b>1 PF</b>	Rojo
X5:2		<b>2</b>	Negro
		<b>3 GN</b>	
X5: 4		<b>4 PF</b>	Rojo
X5: 3		<b>5</b>	Negro
		<b>6 GN</b>	
X5: 5		<b>7 PF</b>	Rojo
X5: 6		<b>8</b>	Negro
		<b>9 GN</b>	
X5: 7		<b>10 PF</b>	Rojo
X5: 8		<b>11</b>	Negro
		<b>12 GN</b>	
X5: 9		<b>13 PF</b>	Rojo
X5: 10		<b>14</b>	Negro
		<b>15 GN</b>	Alambre
X5: 11		<b>16 PF</b>	Rojo
X5: 12		<b>17</b>	Negro
		<b>18 GN</b>	Alambre
X5: 13		<b>19 PF</b>	Rojo
X5: 14		<b>20</b>	Negro
		<b>21 GN</b>	Alambre
X5: 15		<b>22 PF</b>	Rojo
X5: 16		<b>23</b>	Negro
		<b>24 GN</b>	Alambre

		<b>25</b>	
		<b>26</b>	

**INSTRUMENTO**

cable/born	señal	Instrumento / sensor
Rojo (+) Negro (-)	Nivel Tanque Etanol - Azeotrópico	PDT-01 MD74
Rojo (+) Negro (-)	Nivel Tanque Solvente	PDT-02 MD78
Rojo (+) Negro (-)	Nivel Tanque Acumulador	PDT-03 MD82
1 (+) 2 (-) GN	Nivel Rehervidor	Transmisor Capacitivo LT-01 MD86
1 (+) 2 (-) GN	Presión cima columna	Transmisor de Presión PT-01 MD90
1 (+) 2 (-) GN	Presión Fondo columna	Transmisor de Presión PT-02 MD94
1 (+) 2 (-) GN	Presión Vacío Tanques Fondos	Transmisor de Presión PT-03 MD98
1 (+) 2 (-) GN	Presión de Vapor HE- 2901	Transmisor de Presión PT-04 MD102



**PLC**

Modulo	Tipo	Dirección	Borne	cable
<b>SLOT 8 MODULO 4AI / 2AO 334</b>	AI 1	PEW 336	2	
			3	
			4	
	AI 2	PEW 338	5	
			6	
			7	
	AI 3	PEW 340	8	
			9	
			10	
	AI 4	PEW 342	11	
			12	
			13	
	AO 1	PAW 336	15	x7:9
			16	x7:10
	AO 2	PAW 338	18	x7:11
			19	x7:12

1	x7:13
20	x7:14

**TABLERO**

cable up	Tipo	Bornera	cable down
X7:2	AI	1 PF	
		2	
X7:1		3	
		4 GN	
X7:4		5 PF	
		6	
X7:3		7	
		8 GN	
X7:6		9 PF	
		10	
X7:5		11	
		12 GN	
X7:8		13 PF	
		14	
X7:7		15	
		16 GN	
x7:9	AO	17 PF	
x7:10		18	
		19 GN	
x7:11		20 PF	
x7:12		21	
		22 GN	

x7:13		23	
x7:14		24	

**INSTRUMENTO**

cable/born	señal	Instrumento / sensor
Negro (+) Blanco (-)	Control Flujo Vapor en Rehervidor	VALV-07 MD154
Negro (+) Blanco (-)	Control Flujo Vapor en HE-2901	VALV-08 MD158

<b>SLOT 9 MODULO 8AO GES7-332-5HF00</b>	<b>AO 1</b>	PAW 352	3	X8:1
			4	
			5	X8:2
			6	
	<b>AO 2</b>	PAW 354	7	X8:3
			8	
			9	X8:4
			10	
	<b>AO 3</b>	PAW 356	11	X8:5
			12	
			13	X8:6
			14	
	<b>AO 4</b>	PAW 358	15	X8:7
			16	
			17	X8:8
			18	
	<b>AO 5</b>	PAW 360	23	X8:9
			24	
			25	X8:10
			26	
	<b>AO 6</b>	PAW 362	27	X8:11
			28	
			29	X8:12
			30	
	<b>AO 7</b>	PAW 364	31	X8:13
			34	X8:14
	<b>AO 8</b>	PAW 366	35	X8:15
			36	
			37	X8:16
			38	

X8:1	<b>AO</b>	<b>1 PF</b>	Azul
		<b>2</b>	Rojo
X8:2		<b>3</b>	Negro
		<b>4 GN</b>	Alambre
X8:3		<b>5 PF</b>	Azul
		<b>6</b>	Rojo
X8:4		<b>7 GN</b>	Negro
		<b>8</b>	Alambre
X8:5		<b>9</b>	Azul
		<b>10</b>	Rojo
X8:6		<b>11</b>	Negro
		<b>12</b>	Alambre
X8:7		<b>13</b>	Azul
		<b>14</b>	Rojo
X8:8		<b>15</b>	Negro
		<b>16</b>	Alambre
X8:9		<b>17</b>	Azul
		<b>18</b>	Rojo
X8:10		<b>19</b>	Negro
		<b>20</b>	Alambre
X8:11		<b>21</b>	-
		<b>22</b>	-
X8:12		<b>23</b>	-
		<b>24</b>	-
X8:13		<b>25 PF</b>	Rojo
		<b>26</b>	-
X8:14		<b>27</b>	Negro
		<b>28 GN</b>	-
X8:15		<b>29</b>	Azul
		<b>30</b>	Rojo
X8:16		<b>31</b>	Negro
		<b>32</b>	Alambre

_Blanco	Flujo Alimento (Etanol Azeotropico)	VALV-01 MD162
_Rojo		
_Negro		
_Naranja	Control Flujo Solvente	VALV-02 MD166
_Blanco		
_Rojo		
_Negro	Control de Flujo de Reflujo	VALV-03 MD170
_Naranja		
_Blanco		
_Rojo	Control de Nivel LC-01 Flujo Destilado	VALV-04 MD174
_Negro		
_Naranja		
_Blanco	Control de Flujo Agua en Condensador	VALV-05 MD178
_Rojo		
_Negro		
_Naranja		
Negro (+)	Control de Flujo de Vapor HE-2902	VALV-09 Actuator Neumático MD186
Blanco (-)		
	Control Nivel LC-02 Valv Vacío	VALV-06 MD190
_Blanco		
_Rojo		
_Negro		
_Naranja		

## **C.5 P&ID**

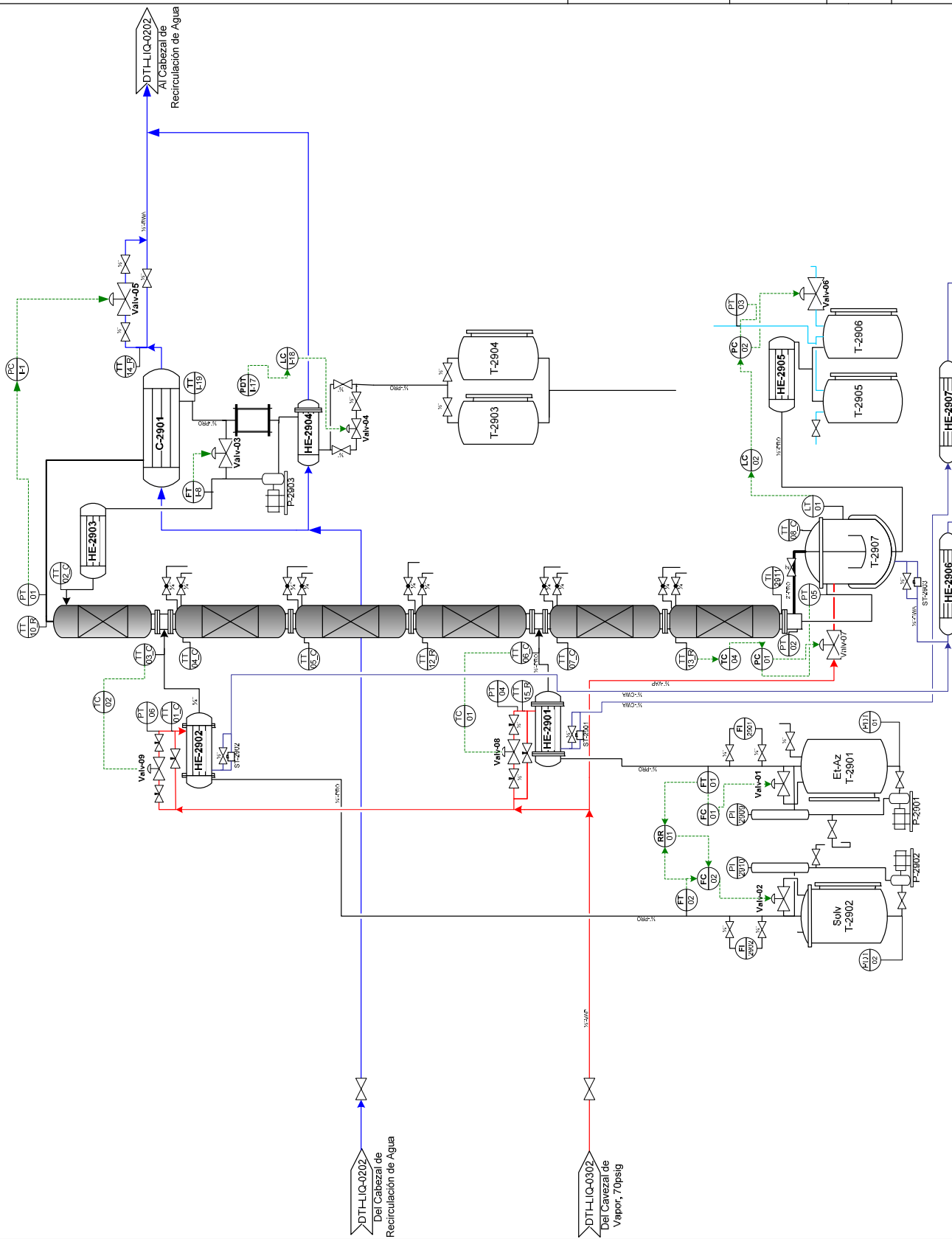


DIAGRAMA DE TUBERÍA E INSTRUMENTACIÓN

COLUMNA DE DESTILACIÓN EXTRACTIVA

DIBUJO

J.B.



## ANEXO D. CALIBRACIÓN DE SENSORES

### D.1 Calibración transmisores de flujo

Las curvas de calibración de los transmisores de flujo FT01 y FT02 se muestran en las figuras D.1 y D.2 respectivamente. El sensor FT03 es de la misma referencia que el FT01 por lo que no es necesaria otra curva de calibración para este sensor:

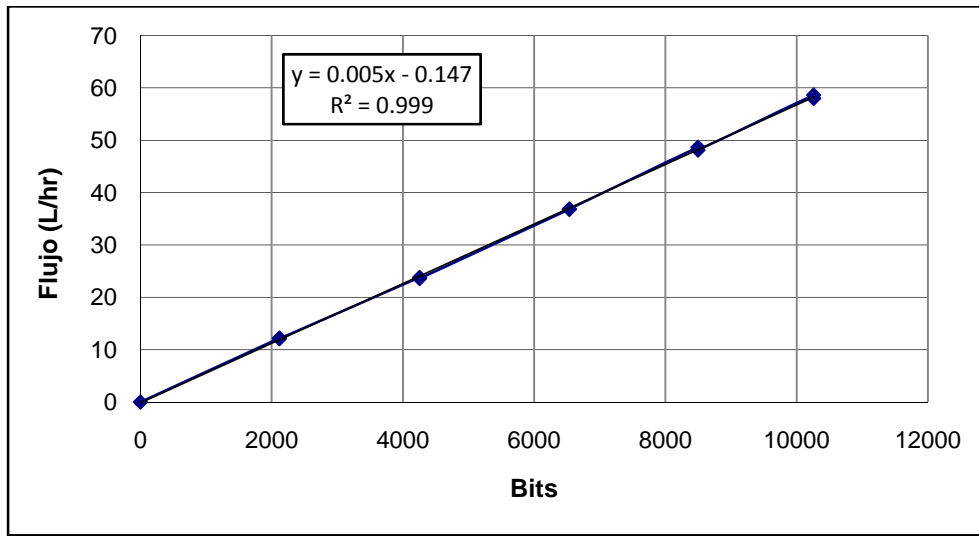


Figura D.1 Curva calibración transmisor FT\_01

Con la ecuación de la línea de tendencia se determina que los límites para realizar la escalización de la señal del sensor FT01 y FT03 se encuentra entre 0 y 157,3 L/hr, teniendo en cuenta que el PLC escaliza la señal entre 0 y 27648bits.

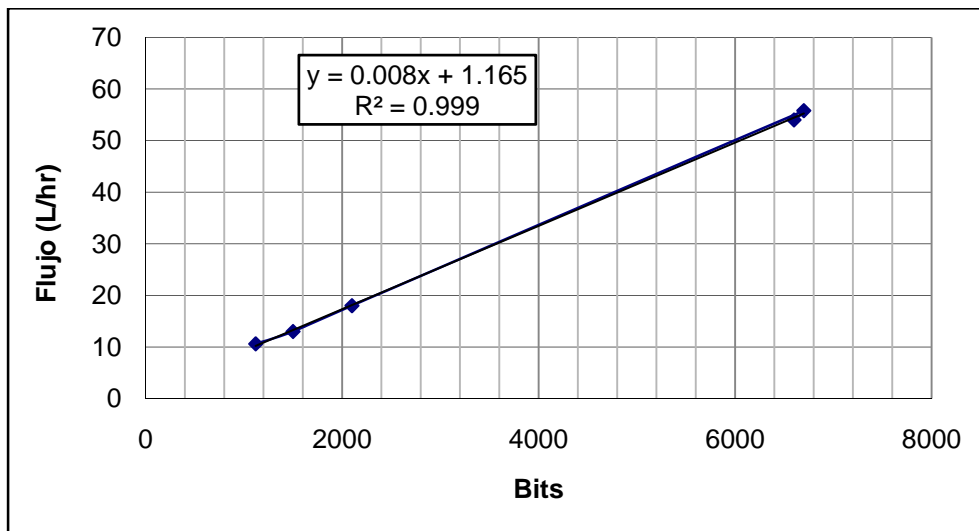


Figura D.2 Curva calibración transmisor FT\_02

De la anterior figura se encontró que los límites para escalizar la señal de flujo del sensor FT02 están entre 1,16 y 225,1 L/hr.

## D.2 Calibración transmisor de Nivel Capacitivo

En la figura D.3 se encuentran las curvas de calibración para el sensor de nivel del rehervidor para 4 diferentes temperaturas.

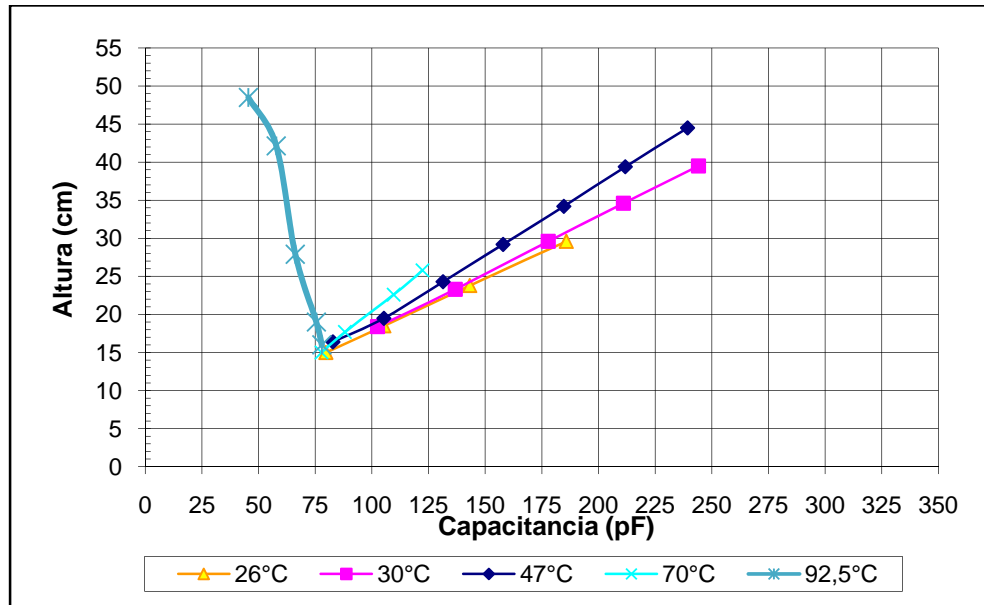


Figura D.3 Curva calibración transmisor LT\_01

En la anterior figura se puede ver que no existe una relación lineal entre la temperatura y la capacitancia, incluso para temperaturas mayores a 80°C la relación es inversa, es decir a mayor altura la capacitancia disminuye, por esta razón no se pudo encontrar una relación entre el nivel, la capacitancia y la temperatura, de ahí que no se pudo cerrar el lazo de control de nivel LC02.

## D.3 Calibración Termopares

La curva de calibración de las termopares se puede ver en la siguiente figura:

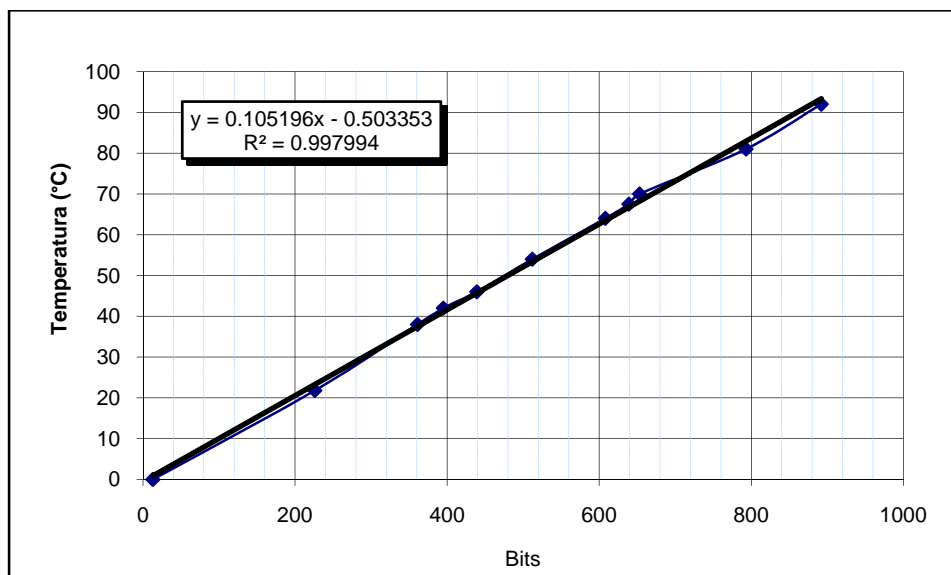


Figura D.4 Curva calibración termopares



De la anterior figura se sacó la ecuación de la línea de tendencia con la que se calcularon los valores para escalar la señal de los termopares la cual está entre -0,5 y 2907,95°C.

#### D.4 Calibración sensores de presión diferencial

La curva de calibración de las figuras D.5 y D.6 sirven para determinar el volumen de los tanques T-2901 y T-2902 respectivamente a partir del nivel registrado por el sensor.

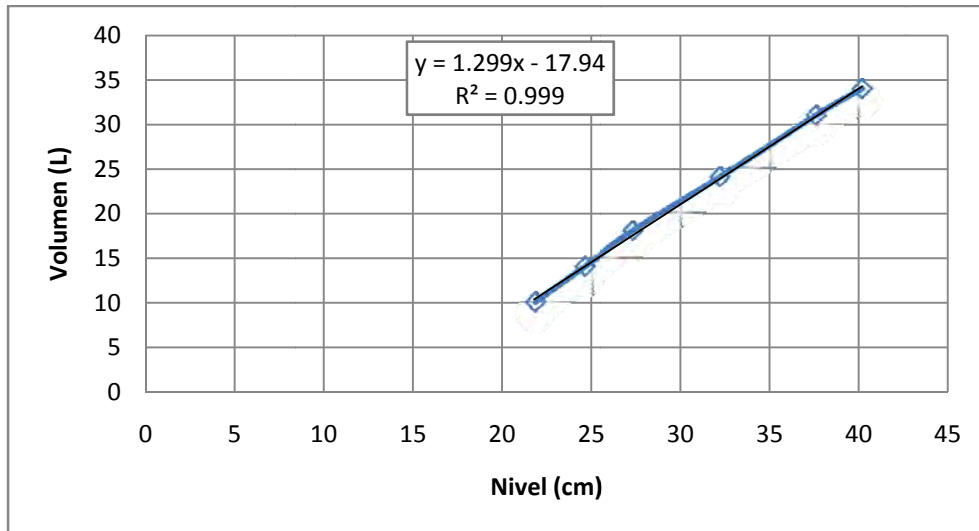


Figura D.5 Calibración PDT\_01

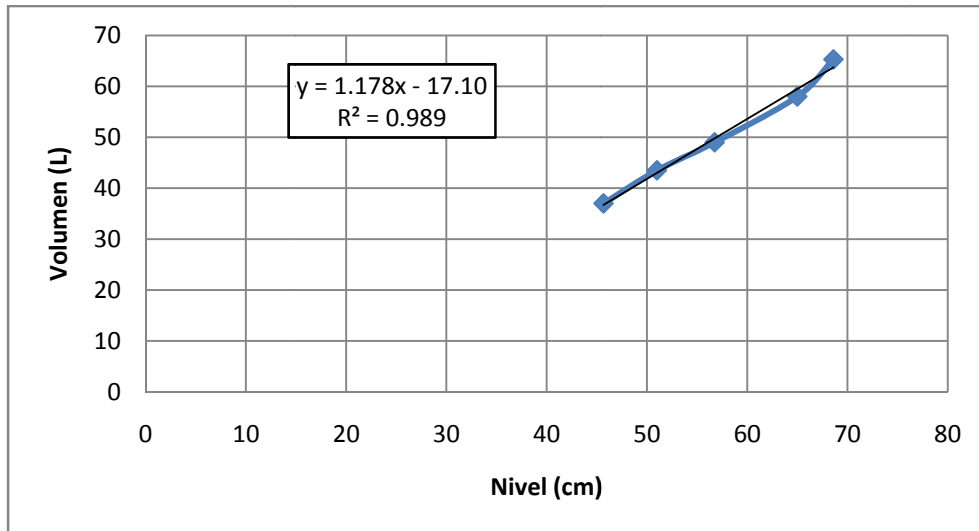


Figura D.6 Calibración PDT\_02

El acumulador no es necesario calibrarlo puesto que el tanque tiene base plana y no elipsoidal como los otros tanques. Por lo que el volumen se calcula fácilmente con el área transversal del tanque multiplicado por la altura.

## **ANEXO E**

### **ALGORITMO DE PROGRAMACIÓN DEL PLC EN STEP7**

**OB1 - <offline>**

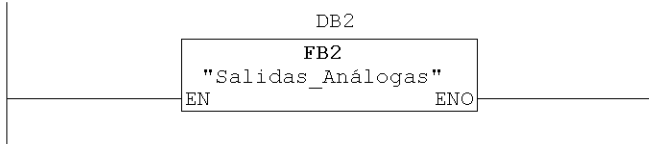
"CYCL\_EXC" Cycle Execution

**Nombre:** Familia:  
**Autor:** Versión: 0.1  
 Versión del bloque: 2  
**Hora y fecha Código:** 24/01/2011 10:05:35  
**Interface:** 15/02/1996 16:51:12  
**Longitud (bloque / código / datos):** 00278 00152 00026

Nombre	Tipo de datos	Dirección	Comentario
TEMP		0.0	
OB1_EV_CLASS	Byte	0.0	Bits 0-3 = 1 (Coming event), Bits 4-7 = 1 (Event class 1)
OB1_SCAN_1	Byte	1.0	1 (Cold restart scan 1 of OB 1), 3 (Scan 2-n of OB 1)
OB1_PRIORITY	Byte	2.0	Priority of OB Execution
OB1_OB_NUMBR	Byte	3.0	1 (Organization block 1, OB1)
OB1_RESERVED_1	Byte	4.0	Reserved for system
OB1_RESERVED_2	Byte	5.0	Reserved for system
OB1_PREV_CYCLE	Int	6.0	Cycle time of previous OB1 scan (milliseconds)
OB1_MIN_CYCLE	Int	8.0	Minimum cycle time of OB1 (milliseconds)
OB1_MAX_CYCLE	Int	10.0	Maximum cycle time of OB1 (milliseconds)
OB1_DATE_TIME	Date_And_Time	12.0	Date and time OB1 started

Bloque: OB1 "Main Program Sweep (Cycle)"

Segm.: 1

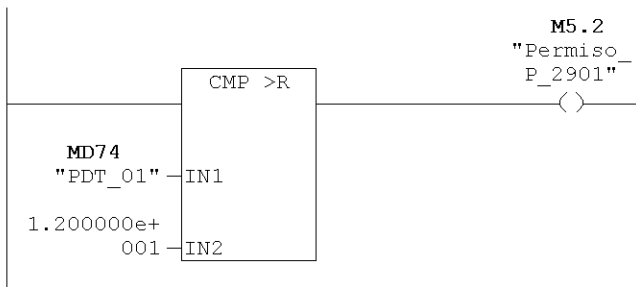


Segm.: 2



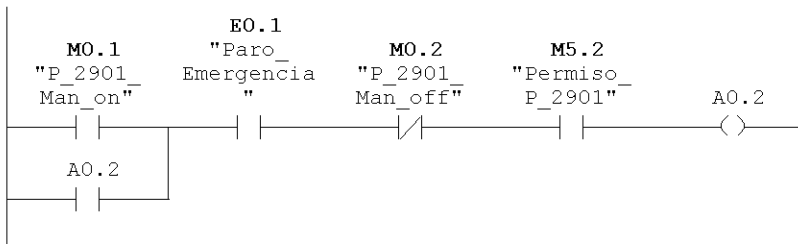
Segm.: 3 Enclave P-2901

Comparación nivel del tanque T-2901 con nivel mínimo en 11



Segm.: 4

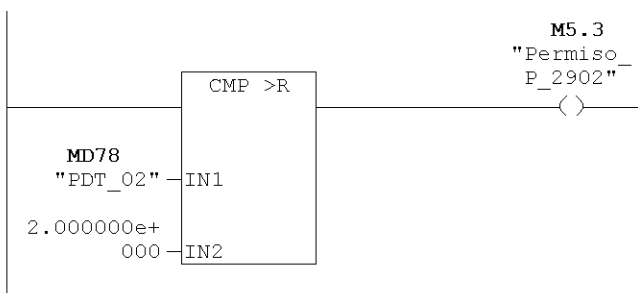
Arranque y parada en modo manual Bomba de Etanol Azeotrópico: P\_2901



Segm.: 5

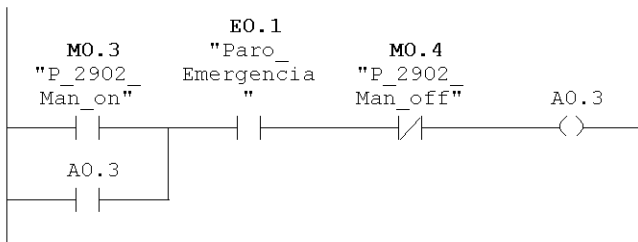
Enclave P-2902

Comparación nivel del tanque T-2902 con nivel mínimo



Segm.: 6

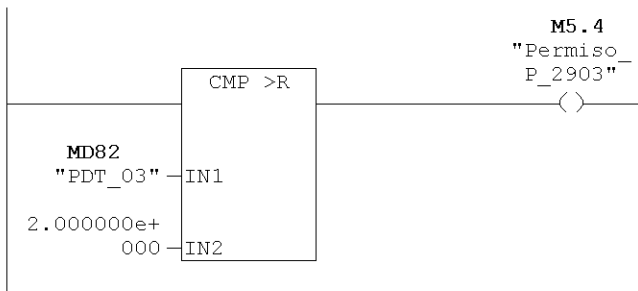
Arranque y parada en modo manual Bomba de Solvente: P\_2902



Segm.: 7

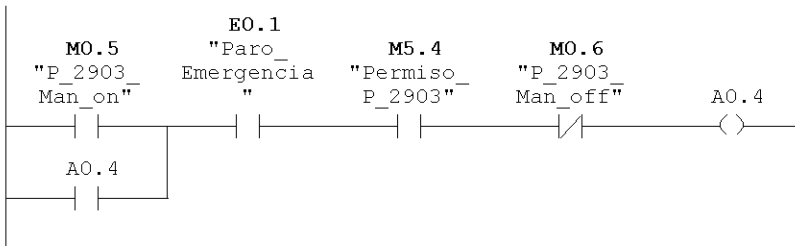
Enclave P-2903

Comparación nivel del Acumulador con nivel mínimo



Segm.: 8

Arranque y parada en modo manual Bomba de Reflujo: P\_2903



**FB1 - <offline>**

"Lectura\_Analogas"

Nombre:

Familia:

Autor:

Versión: 0.1

Versión del bloque: 2

Hora y fecha Código: 31/01/2011 16:51:48

Interface: 24/08/2010 11:49:29

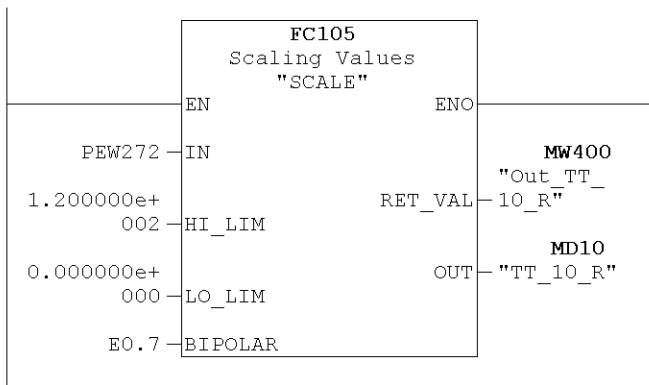
Longitud (bloque / código / datos): 02448 02278 00014

Nombre	Tipo de datos	Dirección	Valor inicial	Comentario
IN		0.0		
OUT		0.0		
IN_OUT		0.0		
STAT		0.0		
TEMP		0.0		

Bloque: FB1

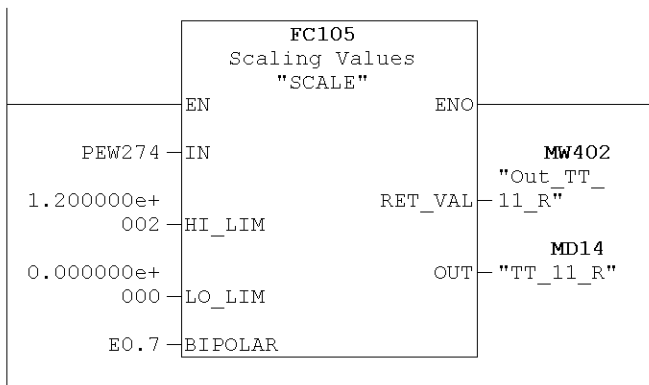
Segm.: 1

Lectura Temperatura de Cima de la columna (RTD-) Tag:TT\_10\_R



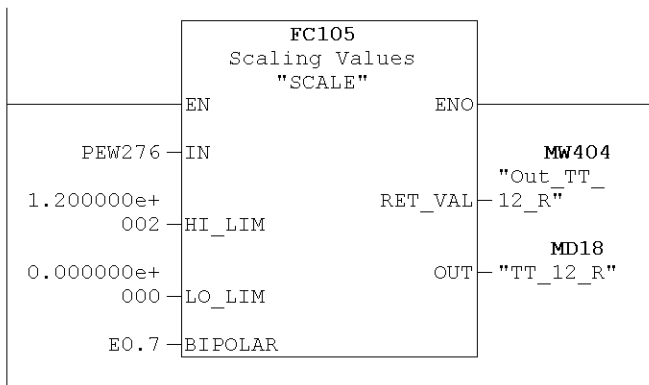
Segm.: 2

Lectura Temperatura de etanol saliendo del condensador (RTD-) Tag:TT\_11\_R



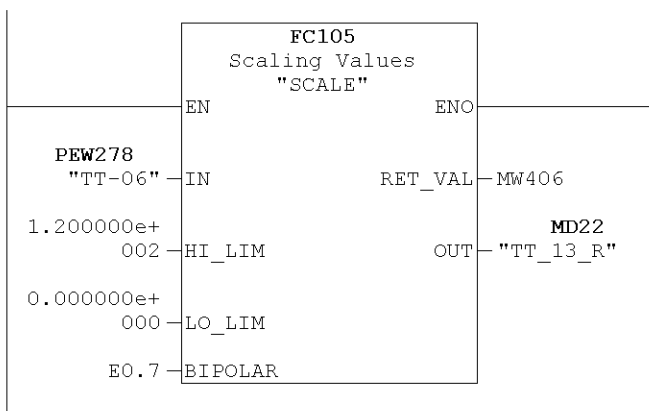
Segm.: 3

Lectura Temperatura Sección 4 Columna (RTD-) Tag:TT\_12\_R



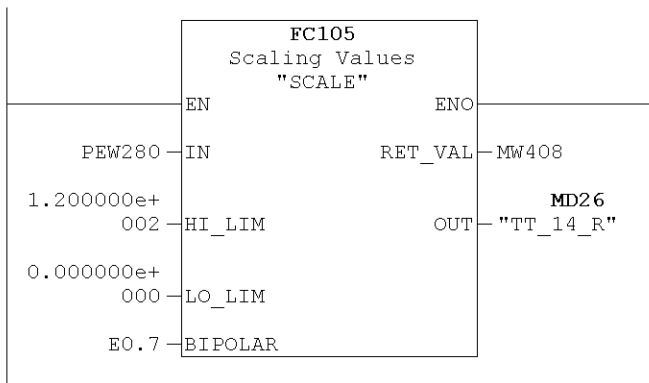
Segm.: 4

Lectura Temperatura Sección 6 Columna (RTD-6) Tag:TT\_13\_R



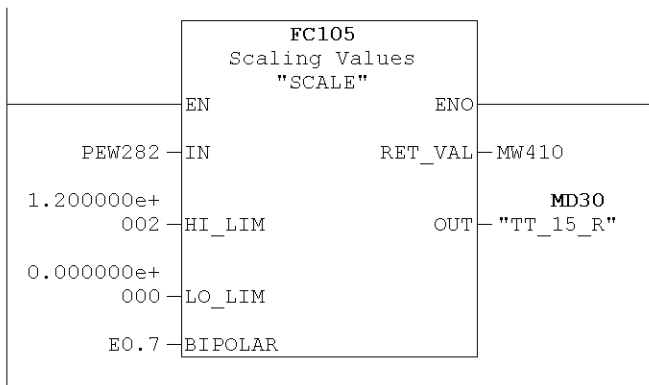
Segm.: 5

Lectura Temperatura Agua saliendo del condensador (RTD-) Tag:TT\_14\_R



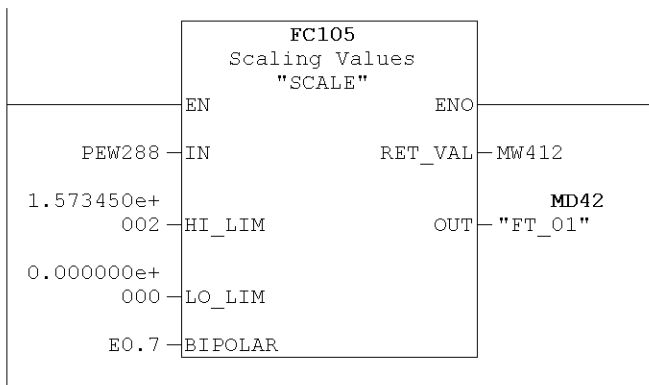
Segm.: 6

Lectura Temperatura Vapor entrada HE-2901 (RTD-1) Tag:TT\_15\_R



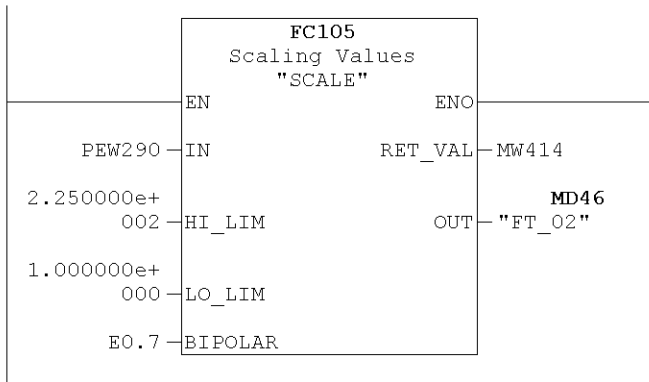
Segm.: 7

Lectura Sensor de Flujo de Etanol Azeotrópico, Tag:FT\_01



Segm.: 8

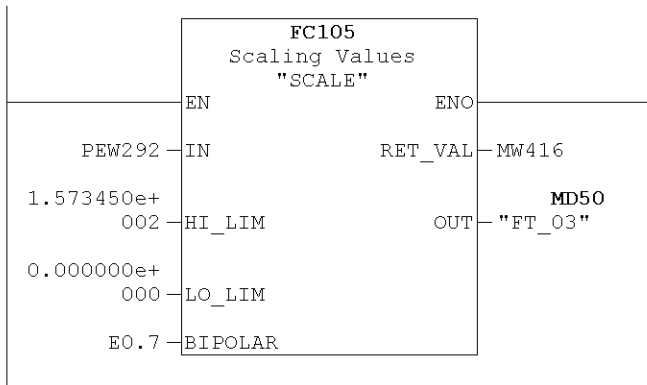
Lectura Sensor de Flujo de Solvente, Tag:FT\_02





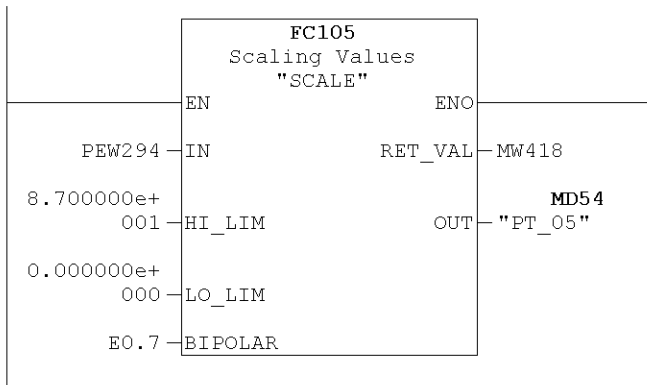
Segm.: 9

Lectura Sensor de Flujo de Reflujo, Tag:FT\_03



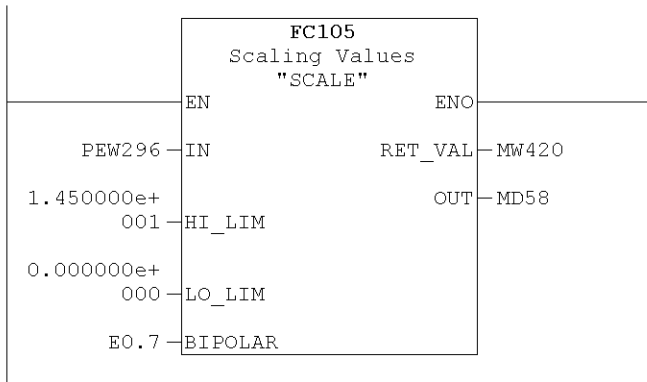
Segm.: 10

Lectura Sensor de Presión Vapor Rehervidor, Tag:PT\_05



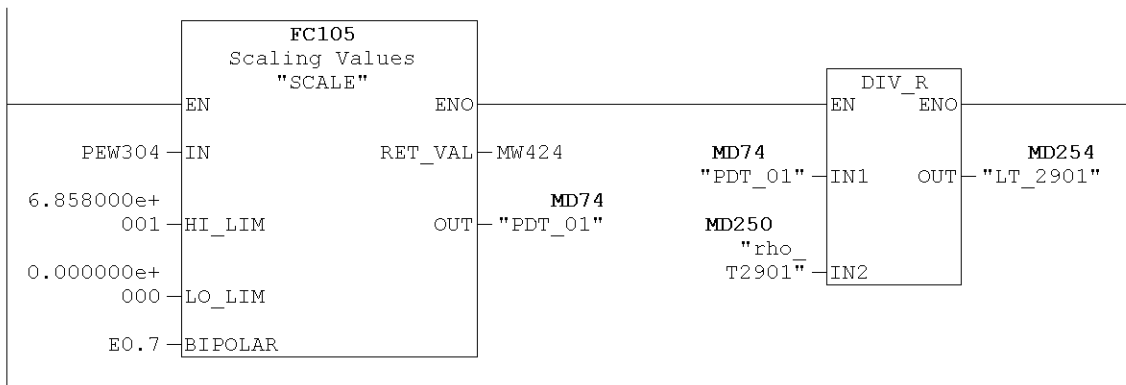
Segm.: 11

Lectura Sensor de Presión Vapor HE-2902, Tag:PT\_06



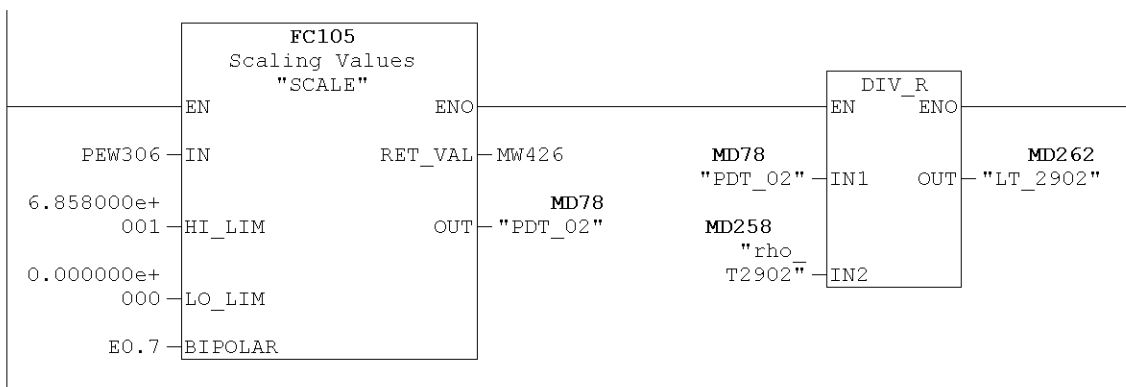
Segm.: 12

Lectura Sensor de Presión diferencial 01, nivel tanque etanol, Tag:PDT\_01



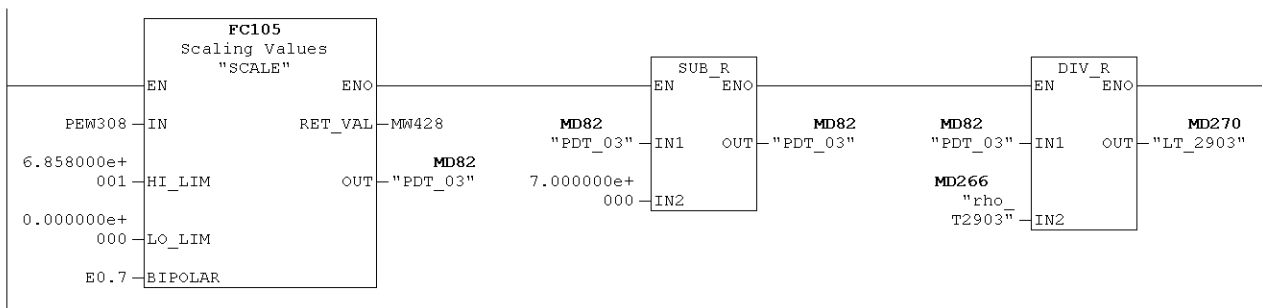
Segm.: 13

Lectura Sensor de Presión diferencial 02, Nivel Tanque Solvente, Tag:PDT\_02



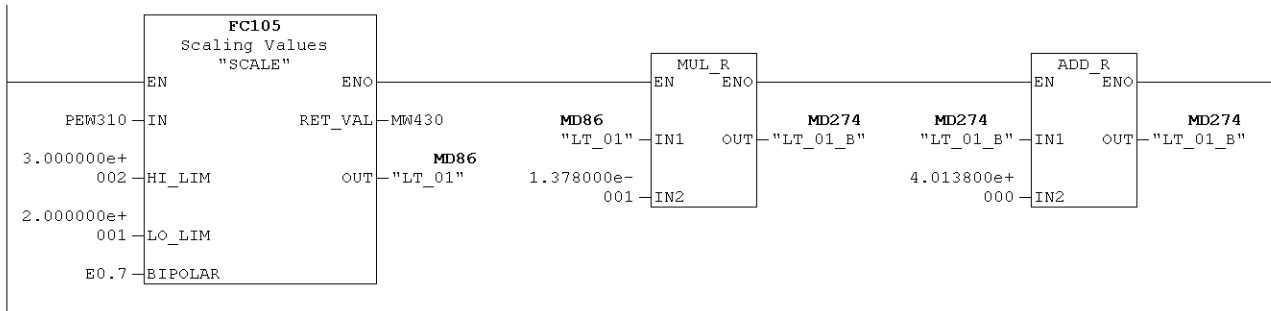
Segm.: 14

Lectura Sensor de Presión diferencial 03, Nivel Tanque Acumulador, Tag:PDT\_03



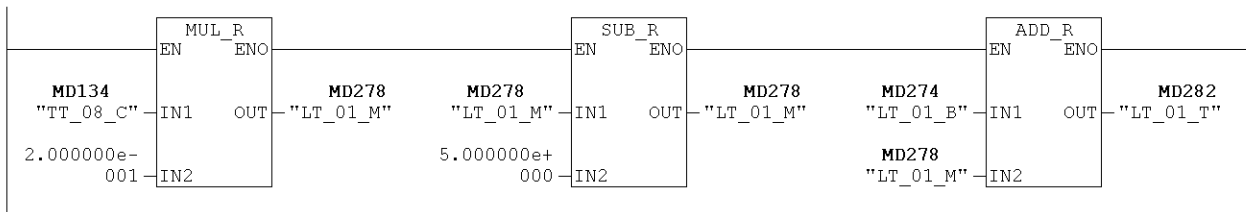
Segm.: 15 Lectura sensor Nivel Rehervidor LT\_01

La lectura corresponde a la capacitancia del sensor en pF. Con este valor se obtiene el nivel con una correlación hecha a 30°C.



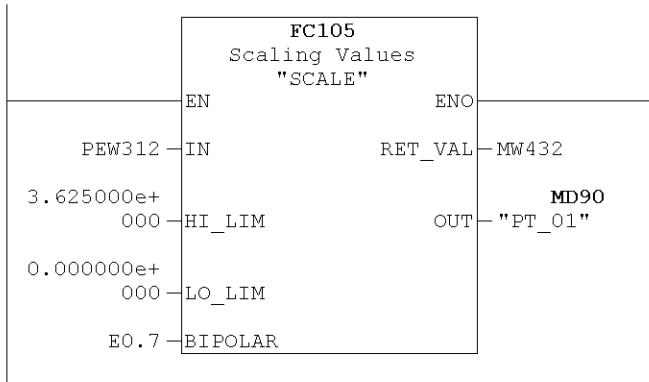
Segm.: 16 Corrección del nivel por Temperatura en el Rehervidor

Si la Temperatura en el Rehervidor es menor de 80, se realiza la siguiente corrección al nivel base.



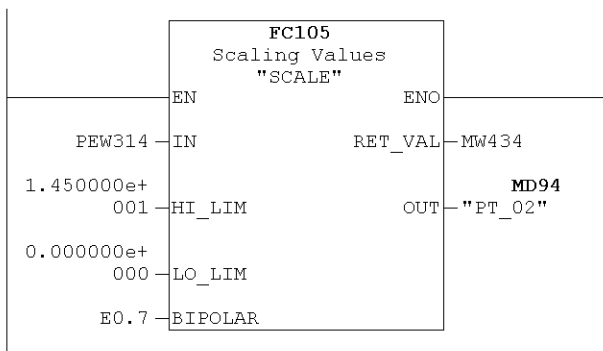
Segm.: 17

Lectura Sensor de Presión Cima Columna, Tag: PT\_01



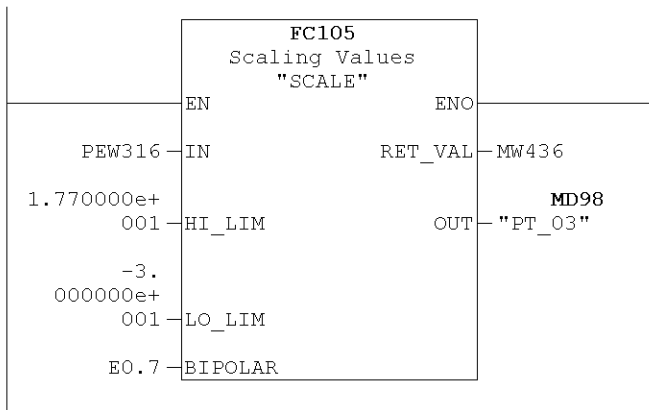
Segm.: 18

Lectura Sensor de Presión Fondo Columna, Tag: PT\_02



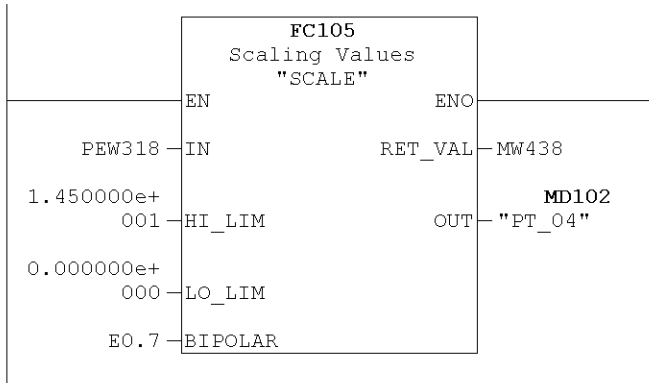
Segm.: 19

Lectura Sensor de Presión de vacío, Tag:PT\_03 Unidades: inHg

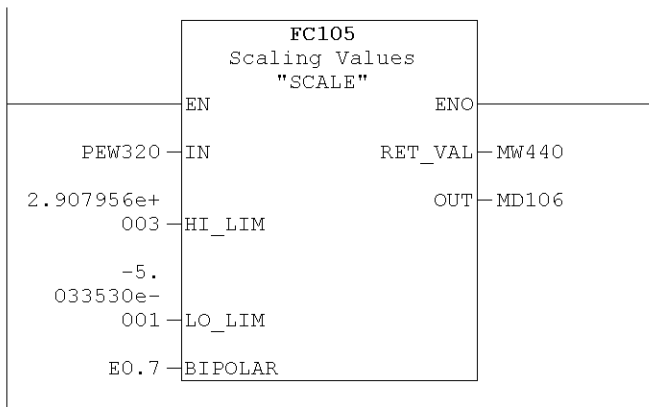


Segm.: 20

Lectura Sensor de Presión de vapor de entrada a HE-2901, Tag:PT\_04

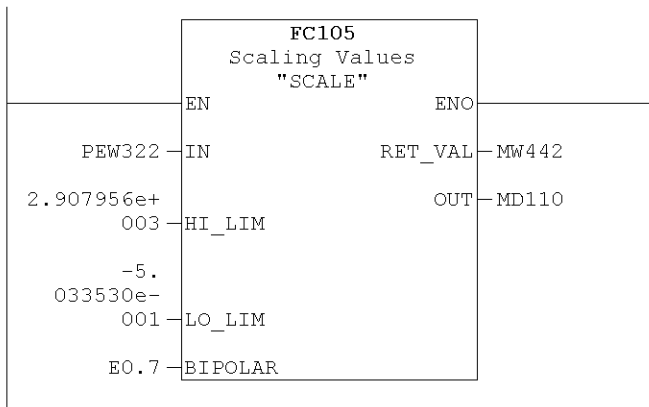


Segm.: 21

Lectura Sensor de Temperatura, Termocupla A,  
Temperatura Vapor entrada a HE-2902, Tag:TT\_01\_C

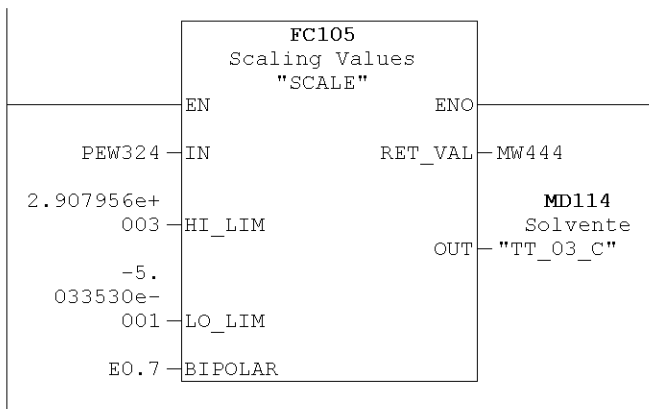
Segm.: 22

Lectura Sensor de Temperatura, Termocupla B  
T. Entrada Reflujo, Tag:TT\_02\_C



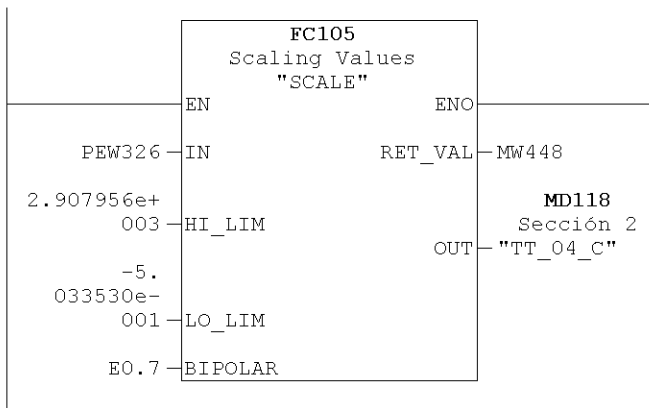
Segm.: 23

Lectura Sensor de Temperatura, Termocupla C  
T. Entrada Solvente, Tag:TT\_03\_C



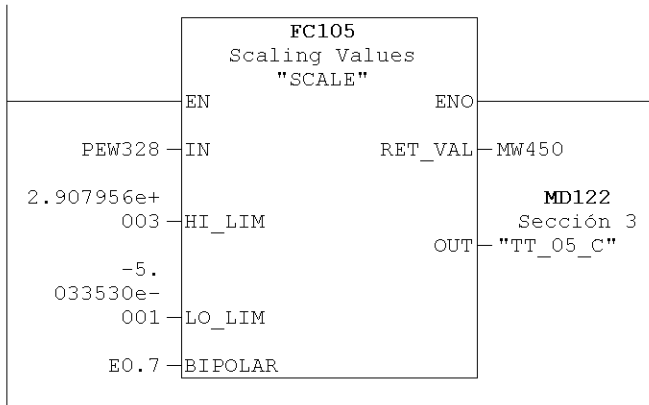
Segm.: 24

Lectura Sensor de Temperatura, Termocupla D  
T. Sección 2 Columna, Tag:TT\_04\_C



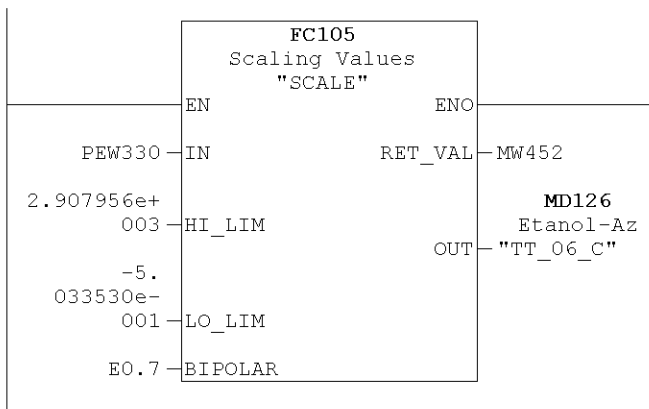
Segm.: 25

Lectura Sensor de Temperatura, Termocupla E  
T. Sección 3 Columna, Tag:TT\_05\_C



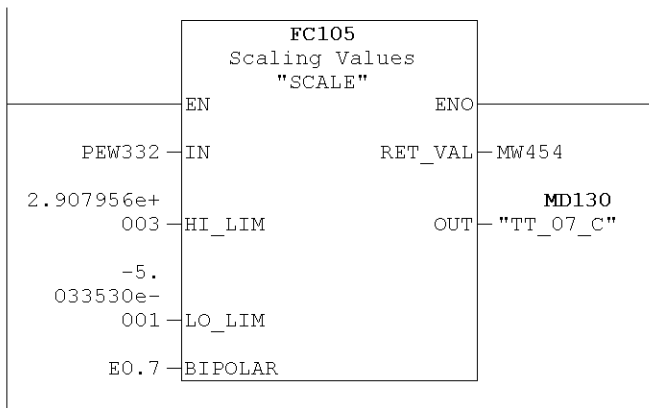
Segm.: 26

Lectura Sensor de Temperatura, Termocupla F  
T. Entrada Etanol-Az, Tag:TT\_06\_C

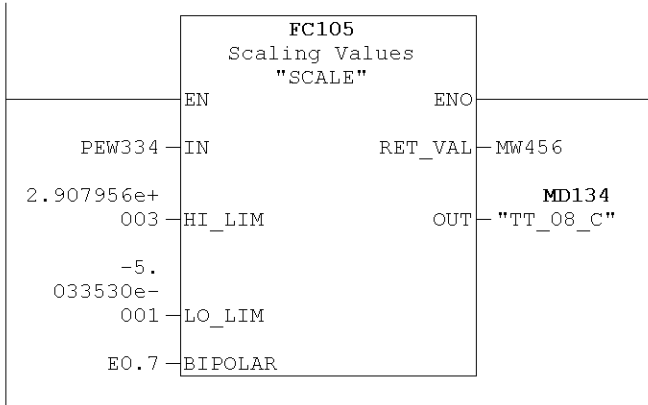


Segm.: 27

Lectura Sensor de Temperatura, Termocupla G  
T. Sección 5, Tag:TT\_07\_C



Segm.: 28

Lectura Sensor de Temperatura, Termocupla H  
T. Rehervidor, Tag:TT\_06\_C

**OB35 - <offline>**

"PID"

Nombre:

Familia:

Autor:

Versión: 0.1

Versión del bloque: 2

Hora y fecha Código:

27/04/2011 12:11:49

Interface:

15/02/1996 16:51:11

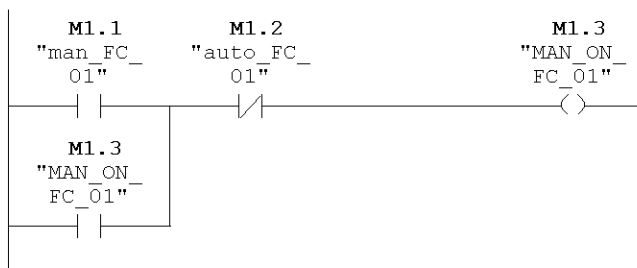
Longitud (bloque / código / datos): 02438 02252 00026

Nombre	Tipo de datos	Dirección	Comentario
TEMP		0.0	
OB35_EV_CLASS	Byte	0.0	Bits 0-3 = 1 (Coming event), Bits 4-7 = 1 (Event class 1)
OB35_STRT_INF	Byte	1.0	16#36 (OB 35 has started)
OB35_PRIORITY	Byte	2.0	Priority of OB Execution
OB35_OB_NUMBR	Byte	3.0	35 (Organization block 35, OB35)
OB35_RESERVED_1	Byte	4.0	Reserved for system
OB35_RESERVED_2	Byte	5.0	Reserved for system
OB35_PHASE_OFFSET	Word	6.0	Phase offset (msec)
OB35_RESERVED_3	Int	8.0	Reserved for system
OB35_EXC_FREQ	Int	10.0	Frequency of execution (msec)
OB35_DATE_TIME	Date_And_Time	12.0	Date and time OB35 started

Bloque: OB35 "Cyclic Interrupt"
---------------------------------

Segm.: 1
----------

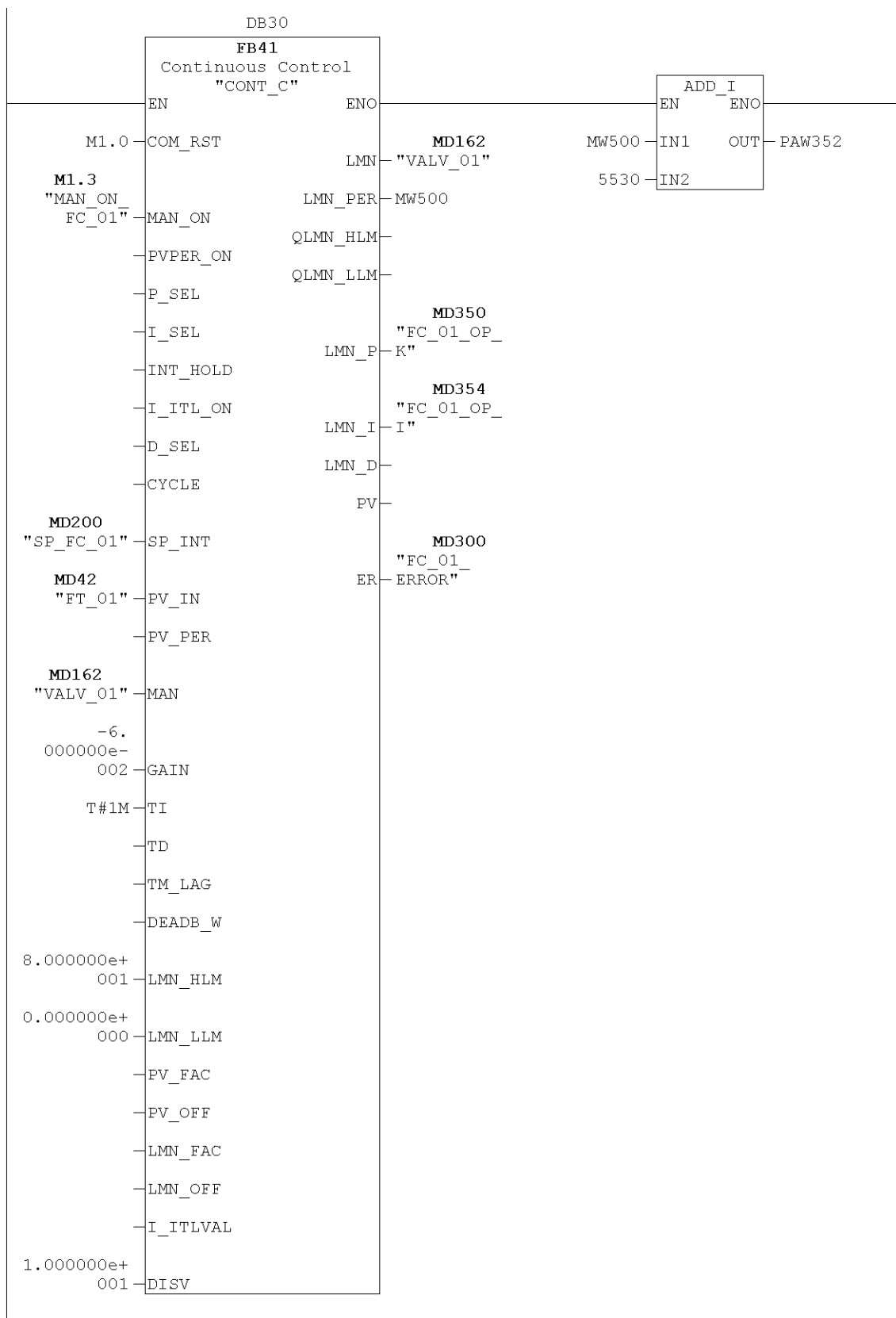
Lazo de Control 01, Control de Flujo de Etanol Azeotrópico, FC-01
---





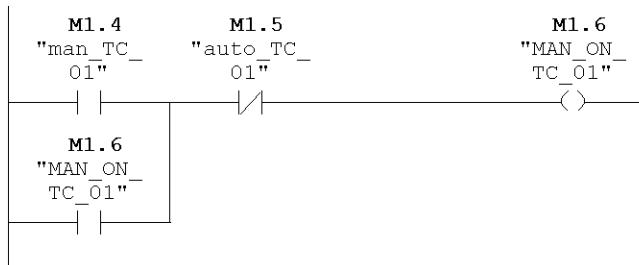
Segm.: 2 PID FC-01

Lazo de Control 01, Control de Flujo de Etanol Azeotrópico, FC-01  
 CV:FC\_01 , MV:VALV-01 (Válvula Actuador Eléctrico)

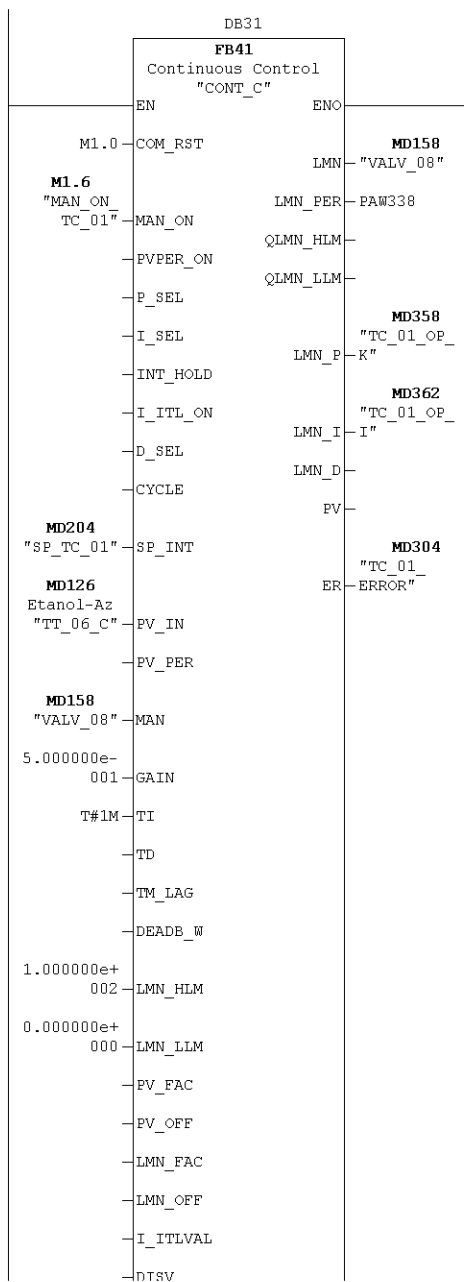


Segm.: 3

Lazo de Control 02, Control de Temperatura entrada Etanol Az, TC-01

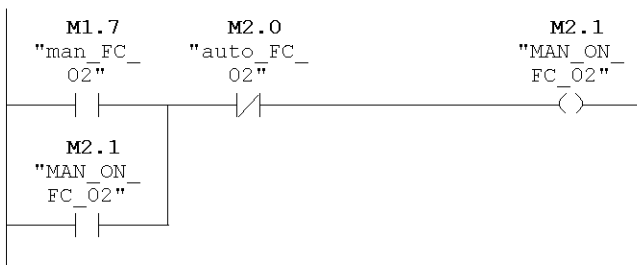


Segm.: 4 PID TC-01

Lazo de Control 02, Control de Temperatura entrada Etanol Az, TC-01  
CV:TT\_06\_C, MV:VALV\_08 (pneumática)

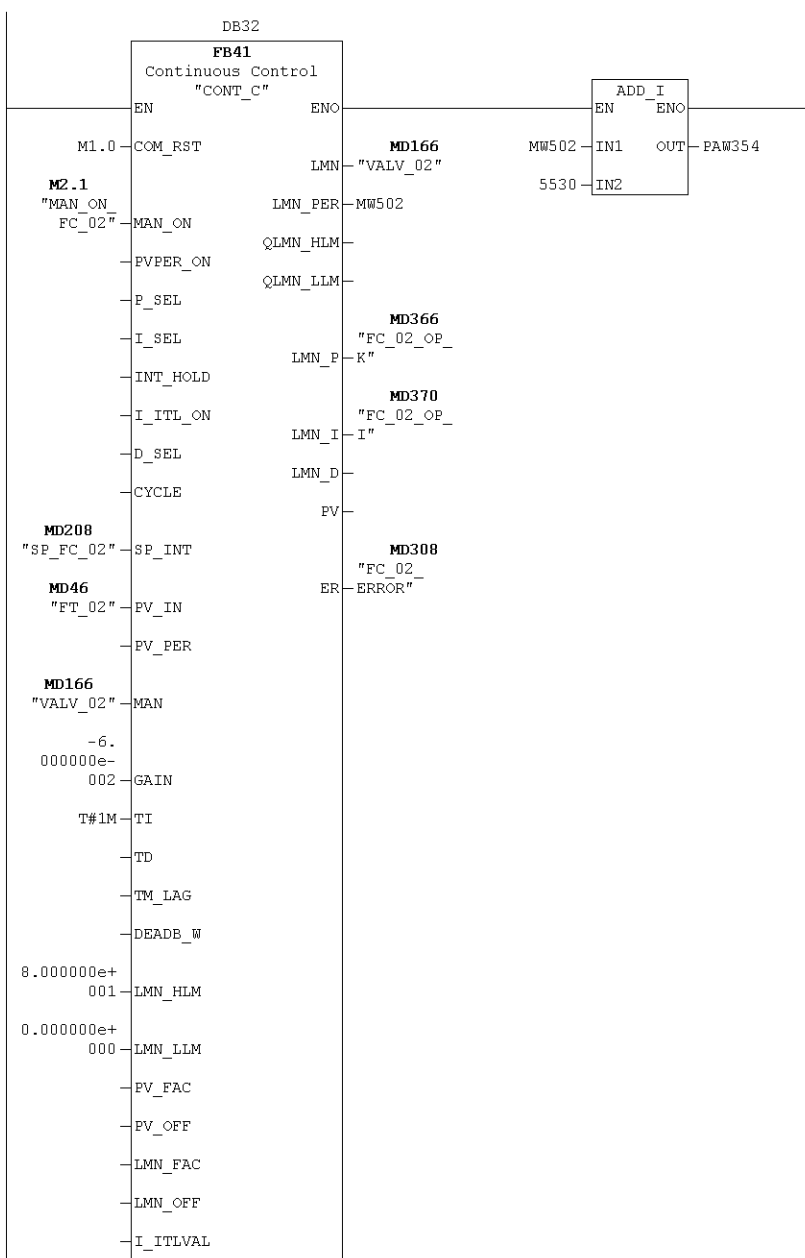
Segm.: 5

Lazo de Control 03, Control de Flujo de Solvente, FC-02



Segm.: 6 PID FC-02

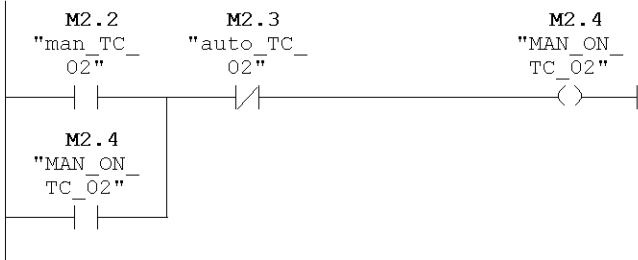
Lazo de Control 03, Control de Flujo de Solvente, FC-02



-disv

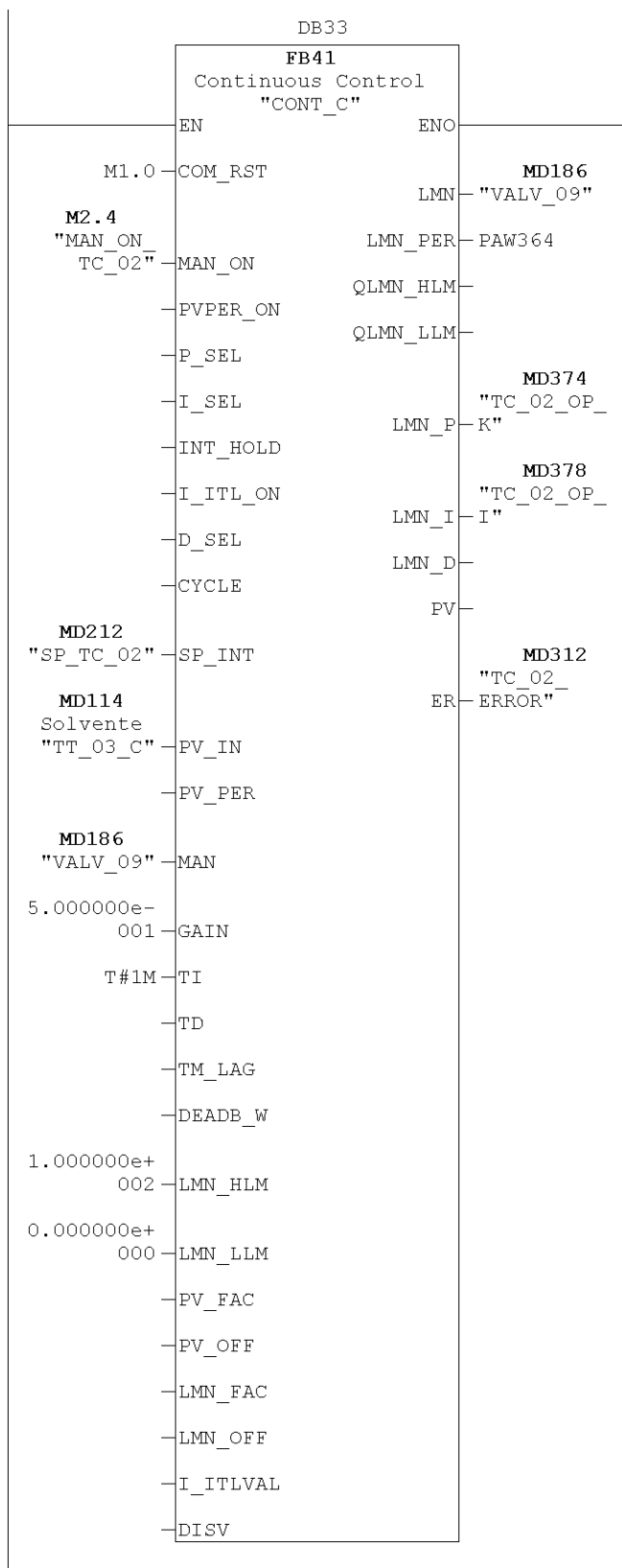
Segm.: 7

Lazo de control 04, Control de Temperatura, TC-02  
Temperatura Salida Intercambiador HE-2902



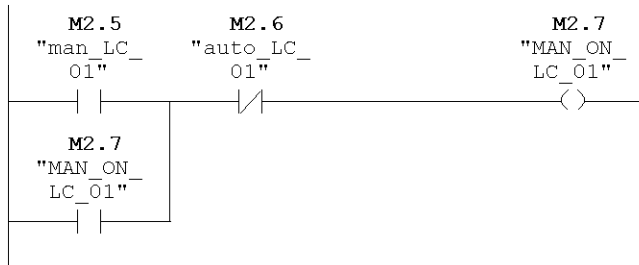
Segm.: 8 PID TC-02

Lazo de control 04, Control de Temperatura, TC-02  
 Temperatura Salida Intercambiador HE-2902 MV:VALV\_09

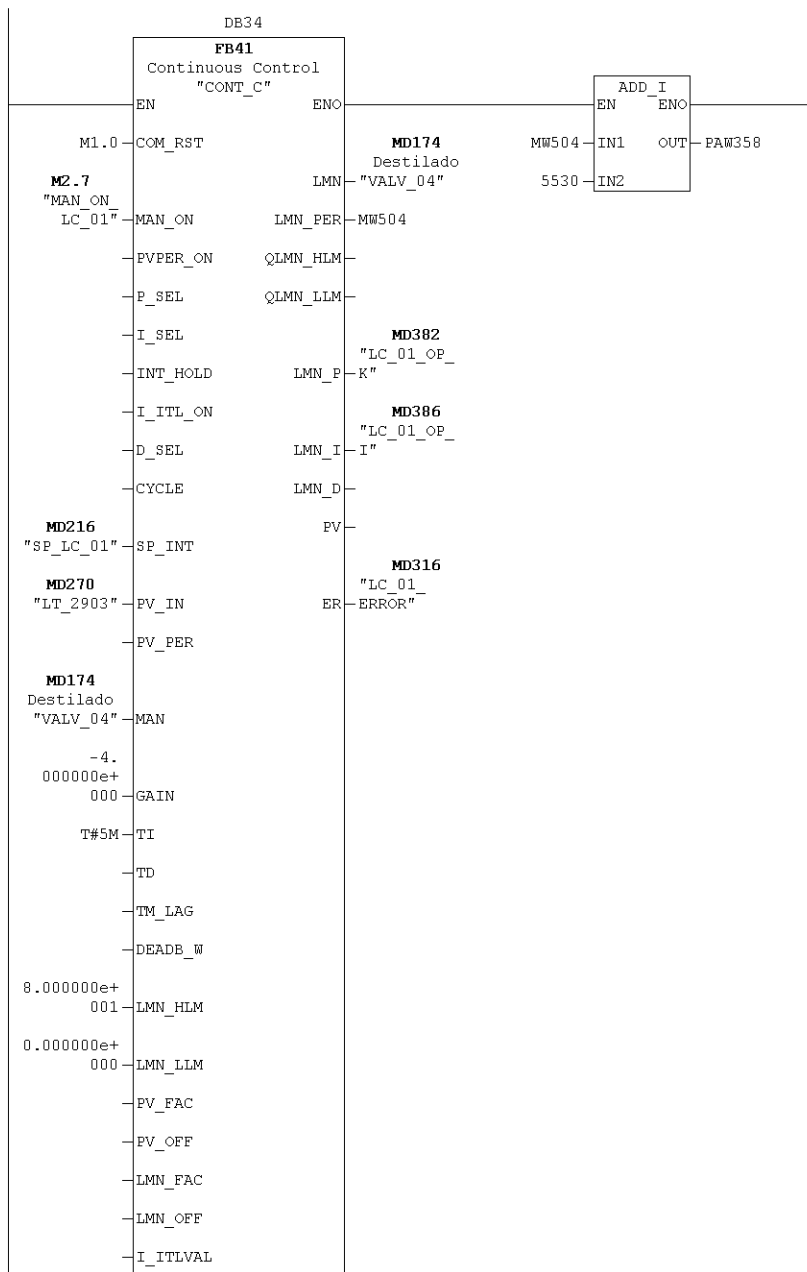


Segm.: 9

Lazo de Control 05, Control de Nivel en Acumulador, LC-01



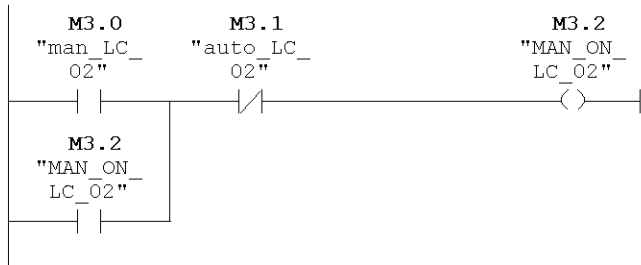
Segm.: 10 PID LC-01

Lazo de Control 05, Control de Nivel en Acumulador, LC-01  
CV:PDT\_03, MV:VALV\_04 (Válvula Actuador Eléctrico)

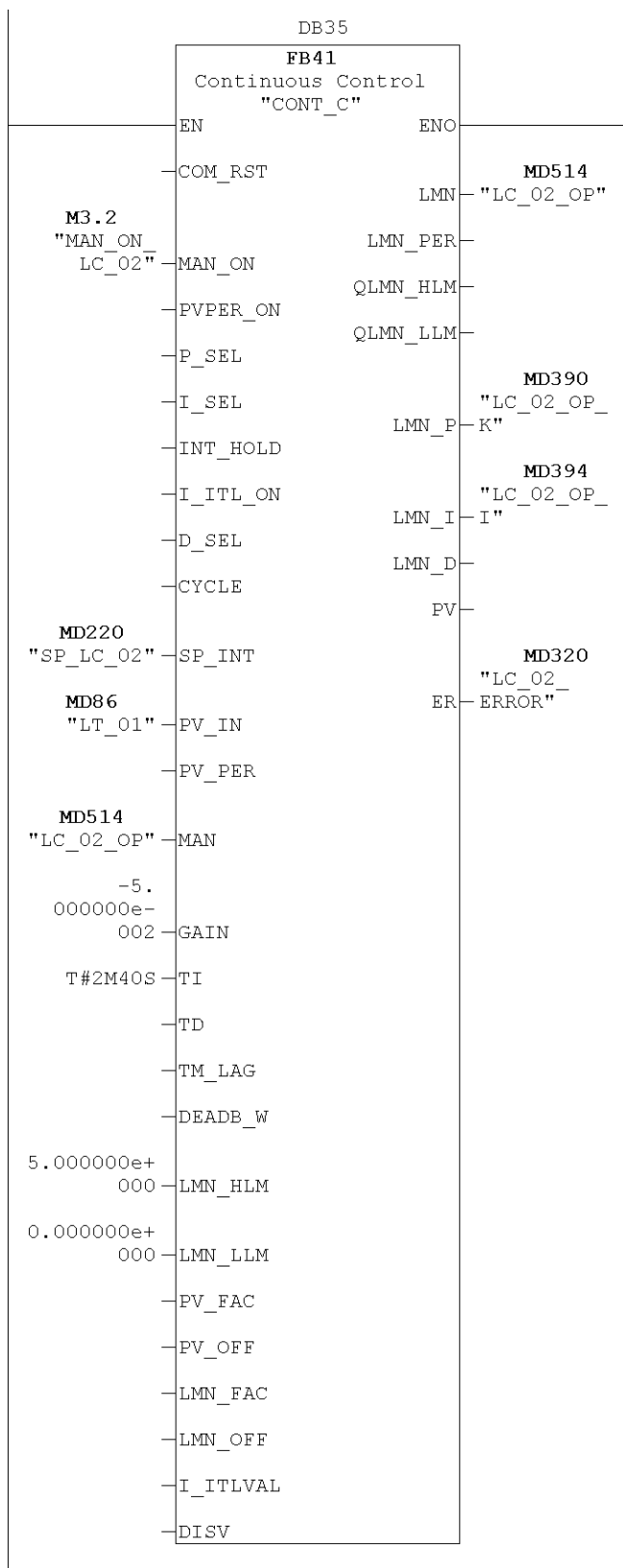
-disv

Segm.: 11

Lazo de Control 06, Lazo de Control de Nivel en Rehervidor, LC-02



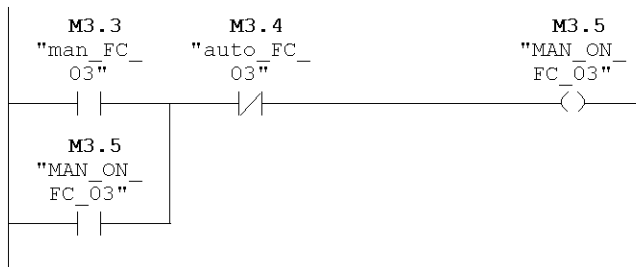
Segm.: 12 PID LC-02

Lazo de Control 06, Control de Nivel en Rehervidor, LC-02  
CV:(presión vacío ó Sensor Nivel) MV:VALV\_06



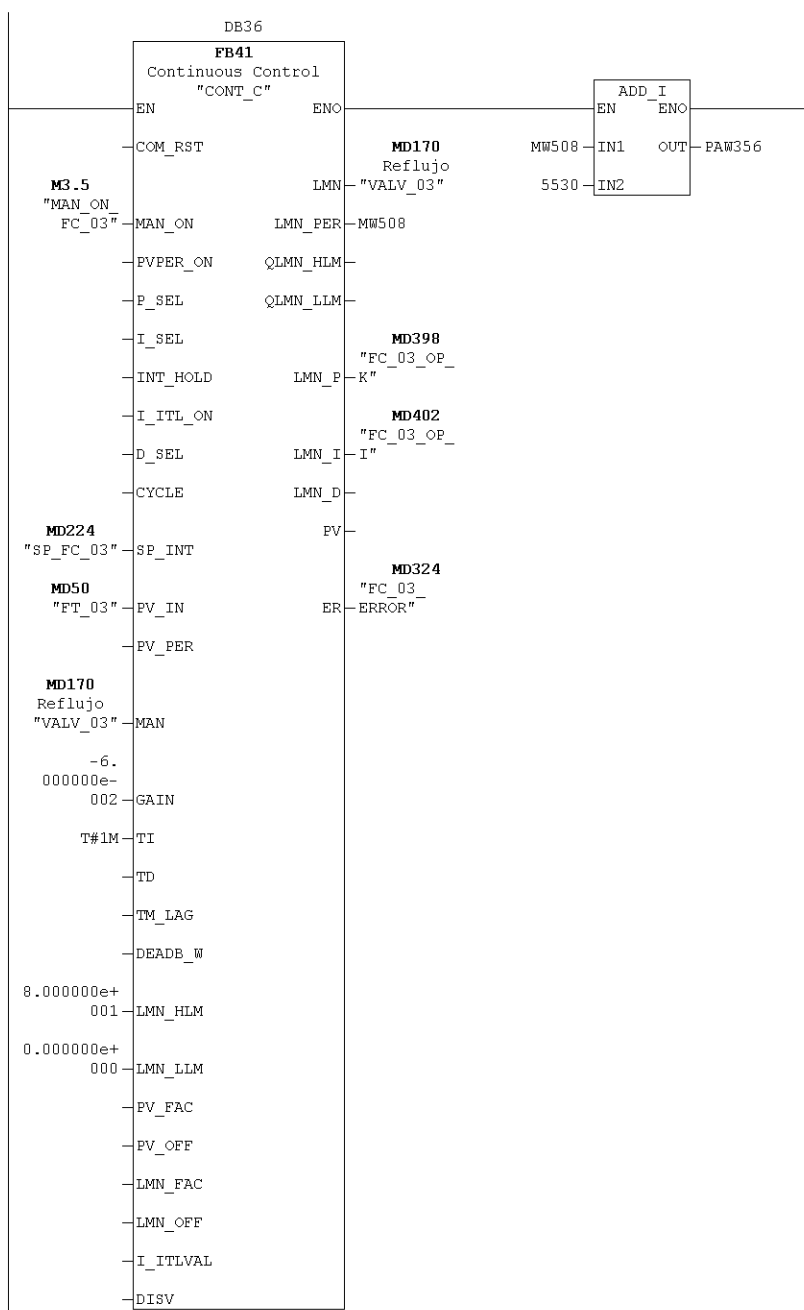
Segm.: 13

Lazo de Control 07, Control de Flujo del reflujo, FC-03



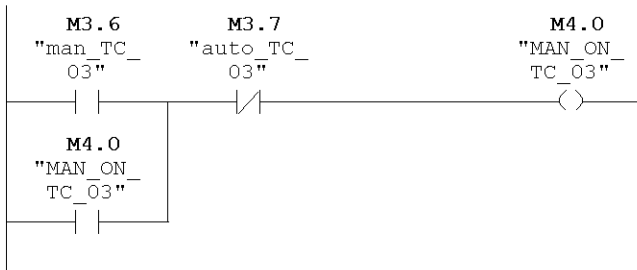
Segm.: 14 PID FC-03

Lazo de Control 07, Control de Flujo del reflujo, FC-03



Segm.: 15

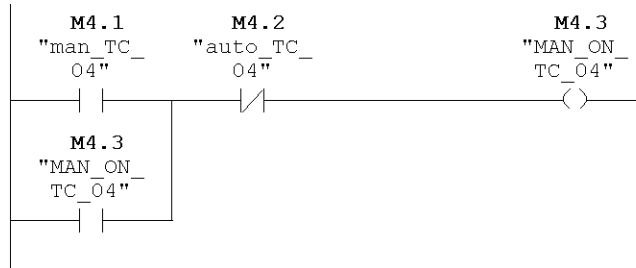
Lazo de Control 08, Control de Temperatura salida Condensador, TC-03  
Control indirecto de Presión en la cima



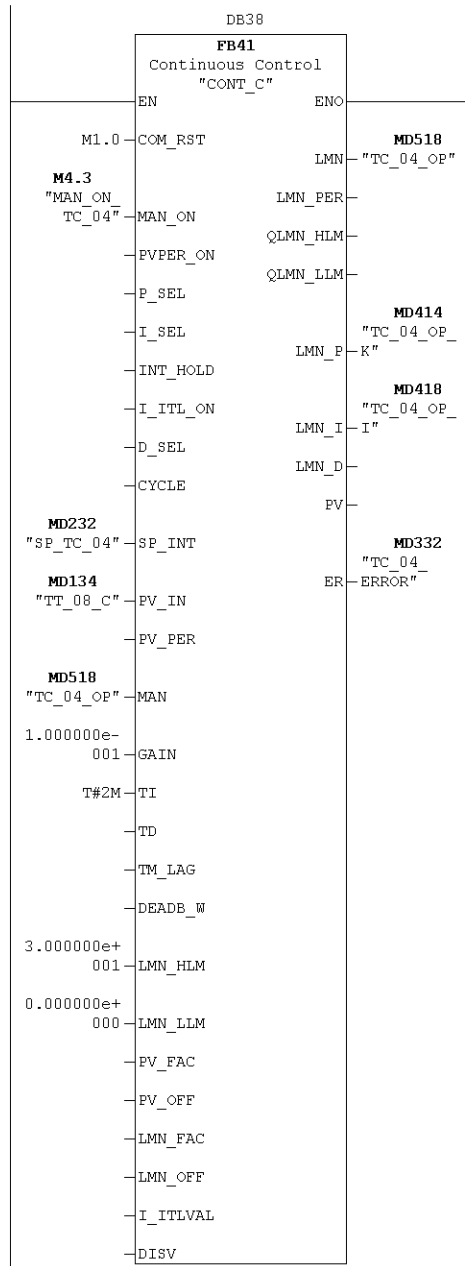


Segm.: 17

Lazo de Control 09, Control de Temperatura sección 6 Columna, TC-04

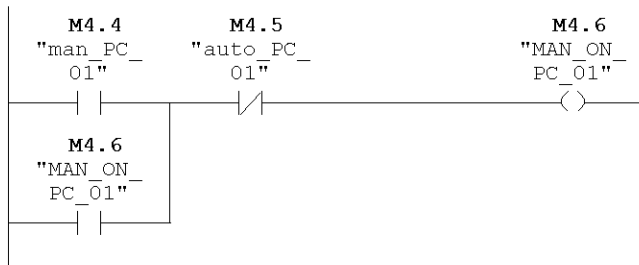


Segm.: 18 PID TC-04

Lazo de Control 09, Control de Temperatura sección 6 Columna, TC-04  
MV: VALV\_07 (Vapor Rehervidor, Valv Pneumática)

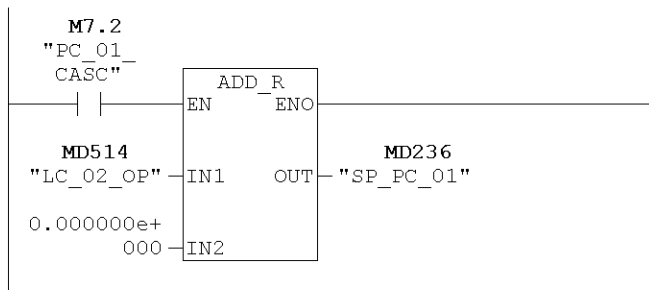
Segm.: 19

Lazo de Control 10, Control de Presión de vacío Fondos



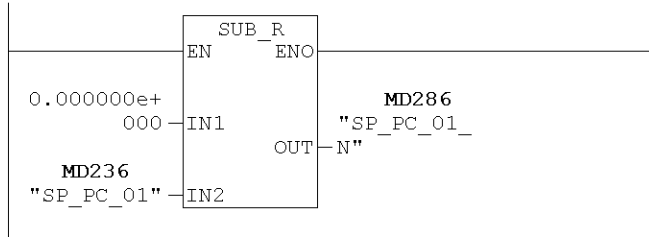
Segm.: 20

Activación del lazo PC-01 y LC-02 en cascada. La salida del LC-02 se iguala al SP del lazo PC-01.



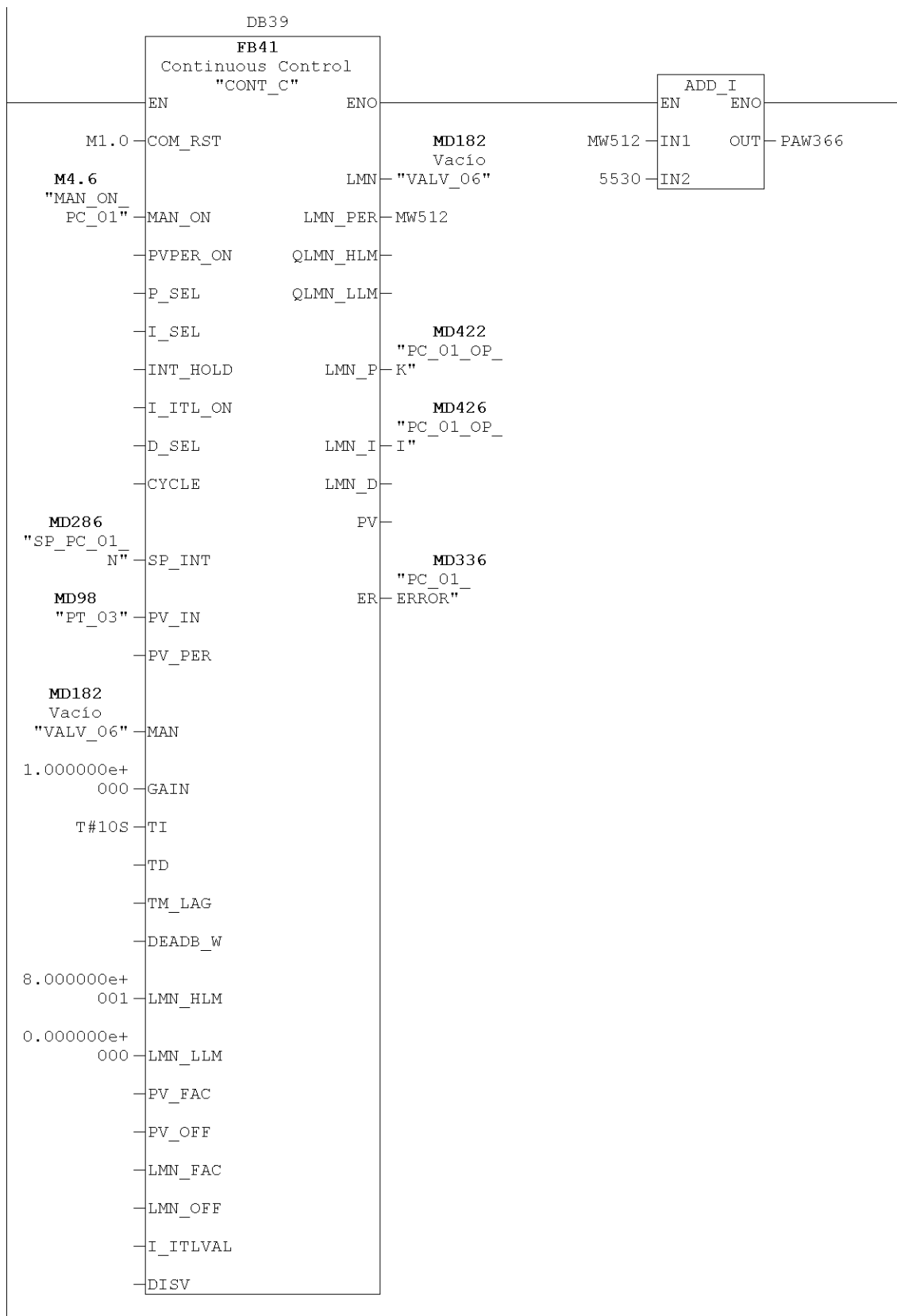
Segm.: 21

Convertir SP en negativo



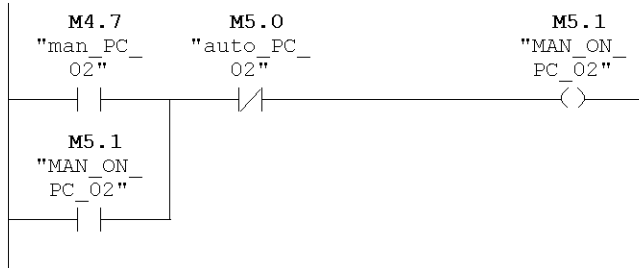
Segm.: 22 PID PC-01

Lazo de Control 10, Control de Presión de vacío Fondos

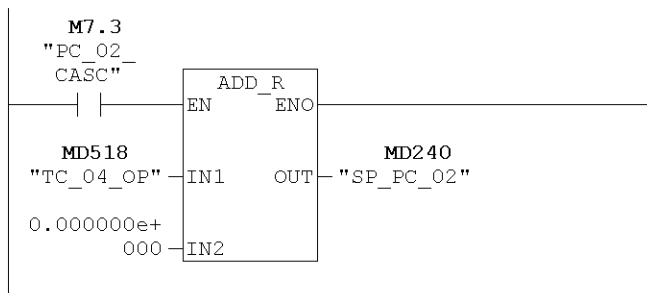


Segm.: 23      Modo PID PC-02

Lazo de Control 11, Control de Presión Vapor Rehervidor

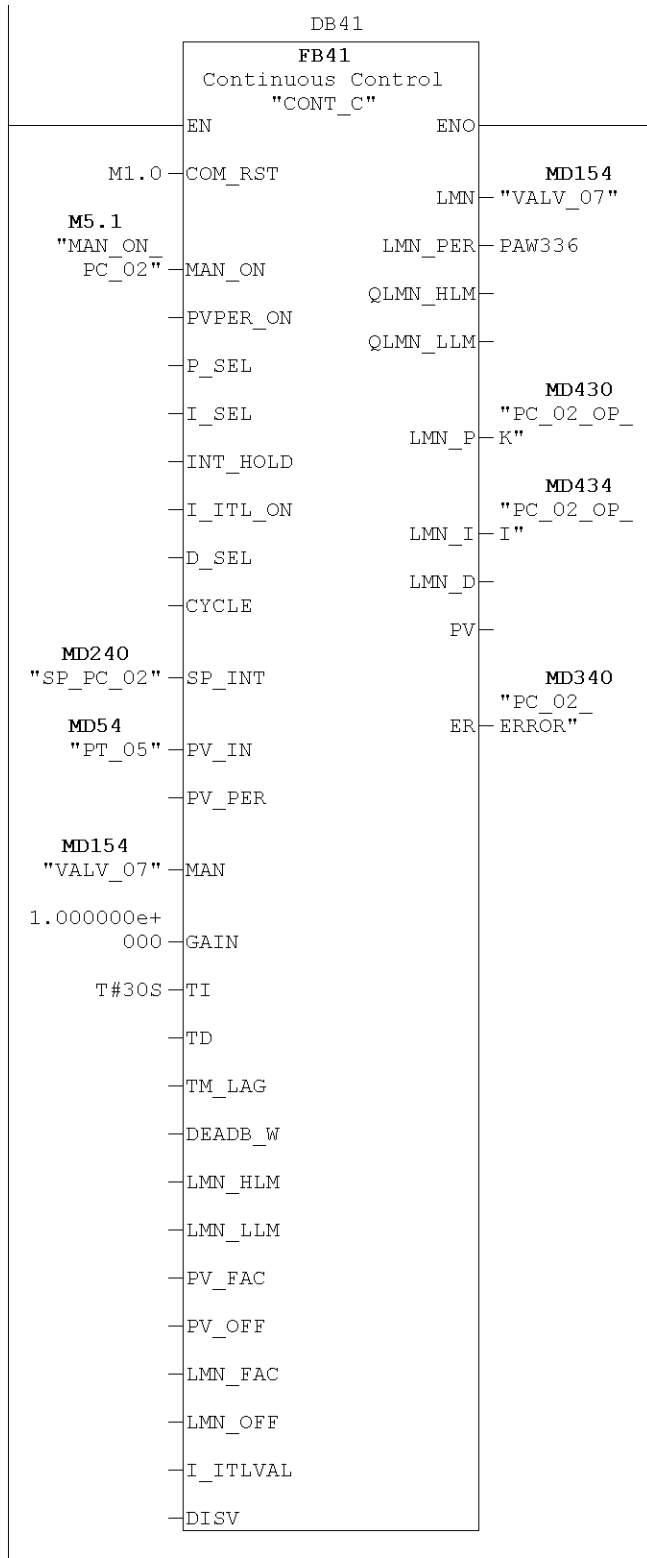


Segm.: 24



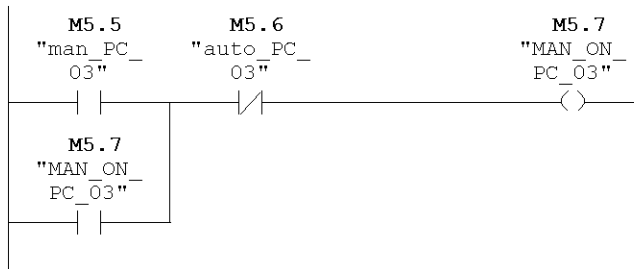
Segm.: 25 PID PC-02

Lazo de Control 11, Control de Presión Vapor Rehervidor

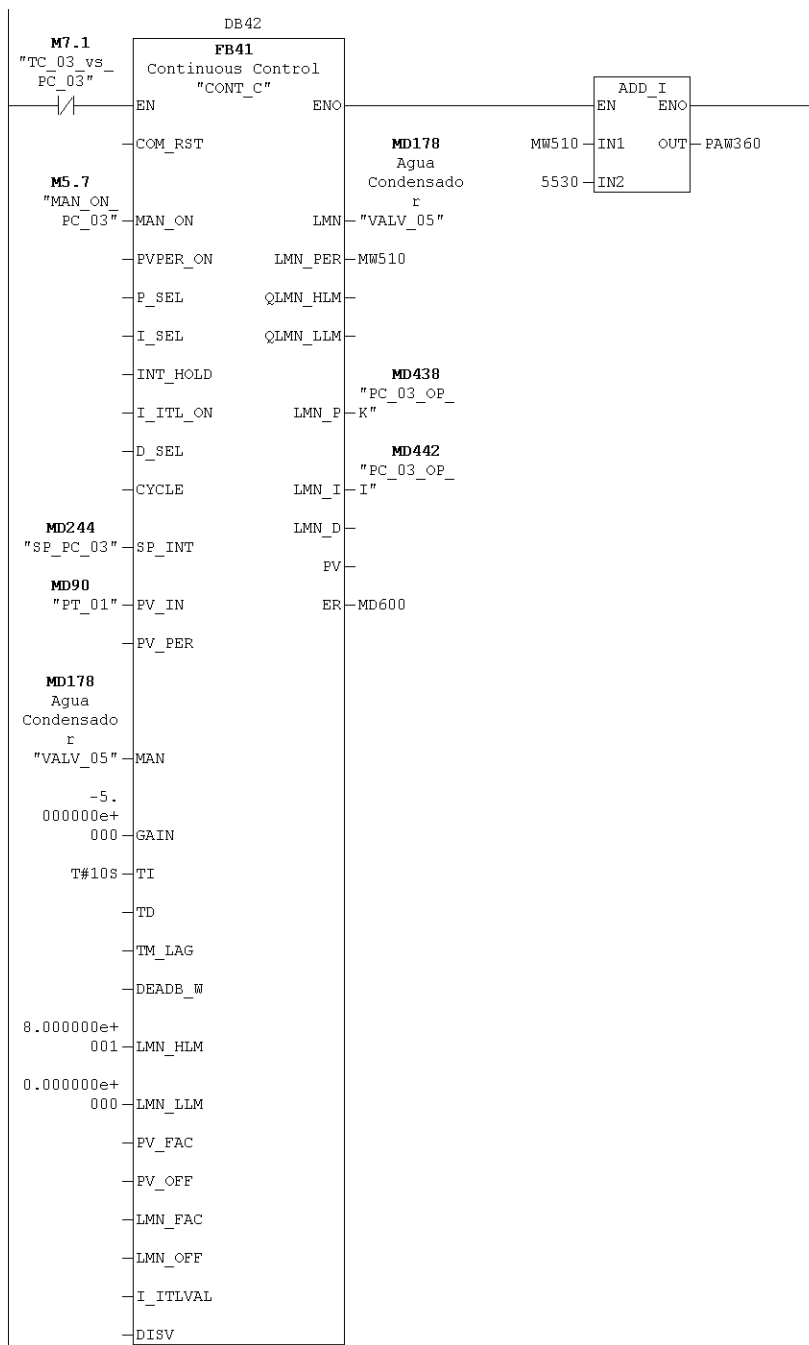




Segm.: 26



Segm.: 27



**FB2 - <offline>**

"Salidas\_Analogas"

Nombre:

Familia:

Autor:

Versión: 0.1

Versión del bloque: 2

Hora y fecha Código:

18/01/2011 15:29:52

Interface:

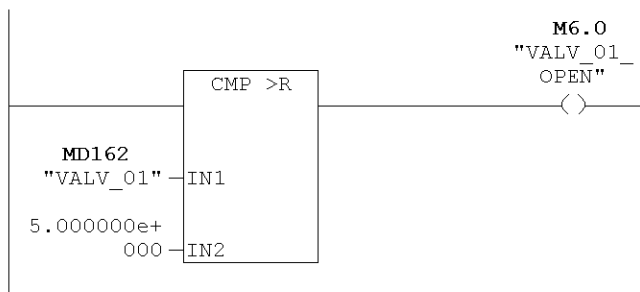
26/08/2010 14:42:53

Longitud (bloque / código / datos): 00226 00110 00000

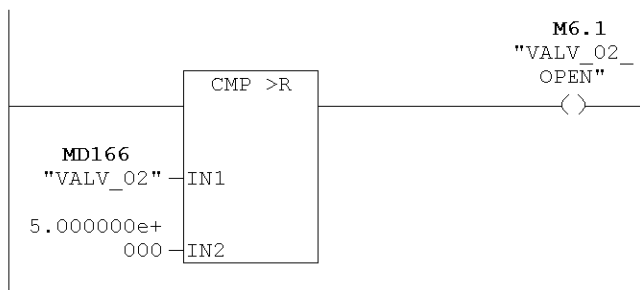
Nombre	Tipo de datos	Dirección	Valor inicial	Comentario
IN		0.0		
OUT		0.0		
IN_OUT		0.0		
STAT		0.0		
TEMP		0.0		

Bloque: FB2

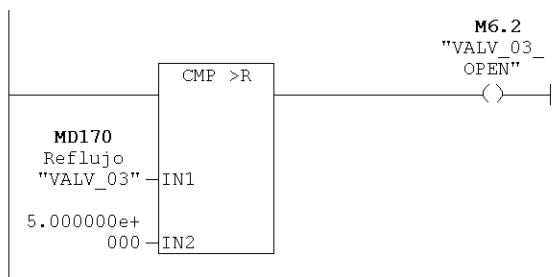
Segm.: 1



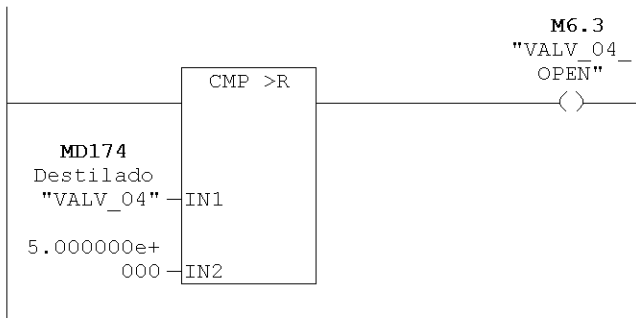
Segm.: 2



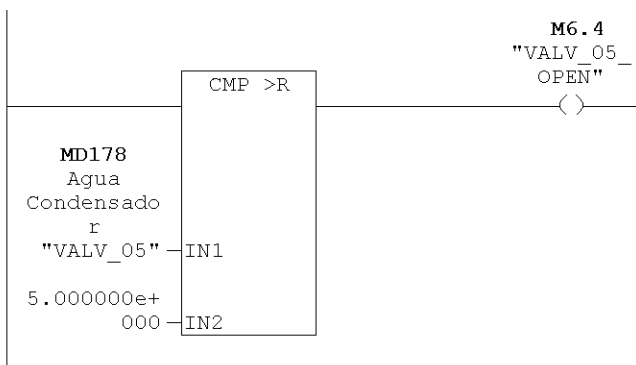
Segm.: 3



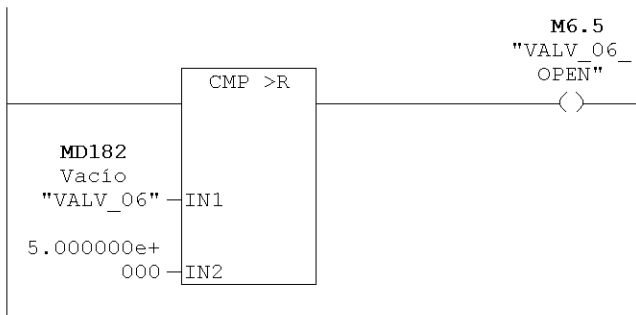
Segm.: 4



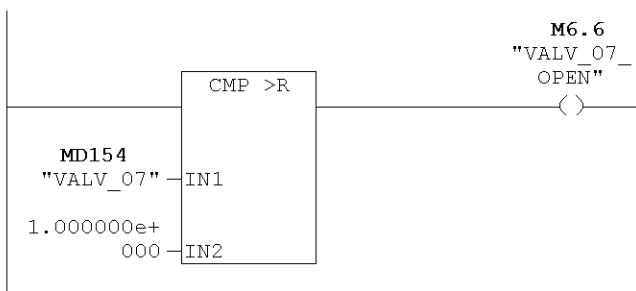
Segm.: 5



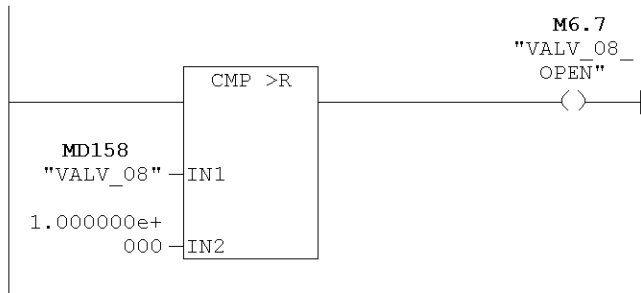
Segm.: 6



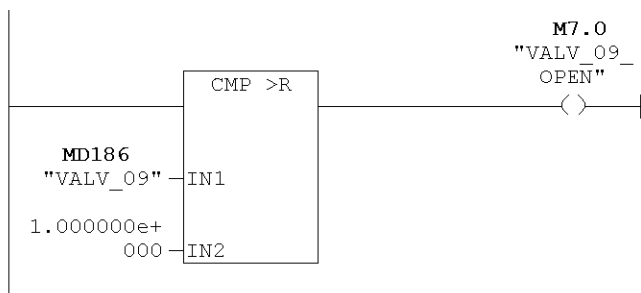
Segm.: 7



Segm.: 8



Segm.: 9



## ANEXO F. MANUAL DE USUARIO DE LA COLUMNA AUTOMATIZADA

La automatización de la columna permite que ahora la operación y supervisión de esta se realice en su gran mayoría directamente desde un computador dispuesto en la sala de control de los laboratorios de Ingeniería Química. A continuación se muestra como operar la columna desde la interfaz desarrollada.

### F.1 Encendido del PLC y de la interfaz de operación

Para trabajar con el sistema de control de la columna hay que asegurar los siguientes ítems:

- ✓ Tener el computador conectado con el PLC mediante un cable Ethernet. Este computador se puede tener en la sala de control donde llega un cable proveniente del tablero, ó se puede dejar cerca al tablero de control donde se encuentra un cable de repuesto más corto.
- ✓ Encender el PLC, para esto hay que abrir el tablero de control, subir el breaker, el cual alimenta todo el tablero, y subir una pequeña palanca de color negro para prender el PLC, inmediatamente se encienden unos leds en el PLC de forma intermitente hasta que finalmente queda en verde el led que dice *RUN*. Esto indica que el PLC está listo para trabajar, en la figura F.1 se puede ver una fotografía del tablero de control que indica la posición del breaker y del PLC.

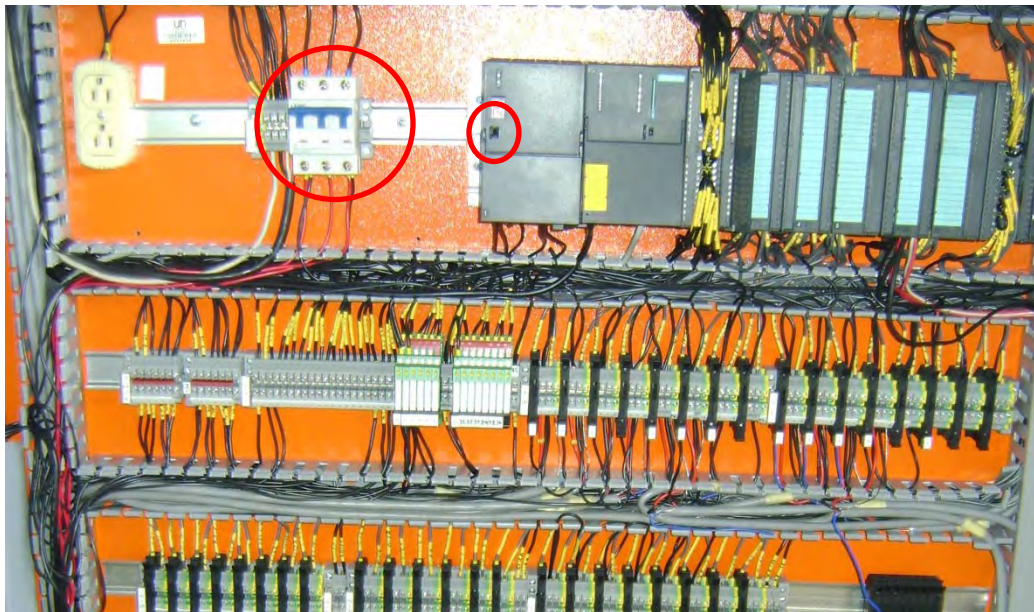


Figura F.1 Fotografía del Breaker y del PLC en el tablero de control

- ✓ Luego en el escritorio del computador que está disponible para la columna, hacer doble clic en el icono de WinCC Explorer. En la figura F.2 se puede ver la imagen de este icono.



- ✓ Finalmente activar el proyecto Columna\_Extractiva.mcp el cual se debe encontrar por defecto. Para esto en la parte superior del explorador dar clic en el botón *Activate*. En la figura F.2 se puede ver una imagen del explorador, señalando el botón *Activate*.

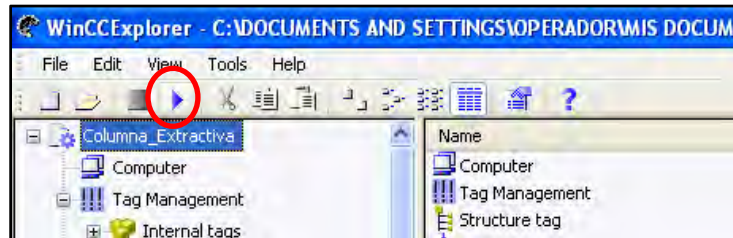


Figura F.2 Activación del proyecto en WinCC Explorer

## F.2 Descripción general del mímico

A continuación se describe la pantalla del supervisorio o WinCC con el fin de que las personas que van a operar la columna se familiaricen con esta interfaz. La primera imagen que va a mostrar el supervisorio luego de activar el proyecto es la siguiente:

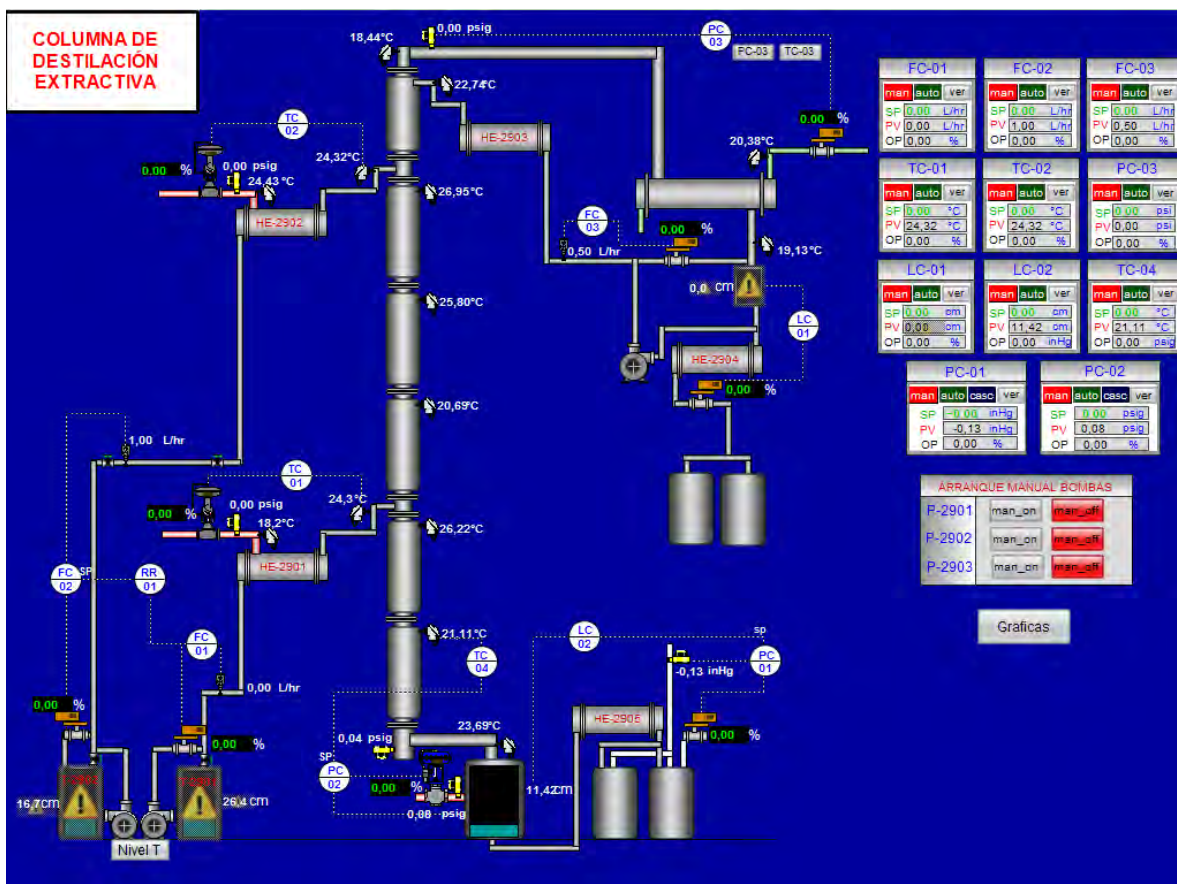


Figura F.3 Interface inicial del WinCC

Esta interfaz muestra en resumen lo siguiente:

- ✓ Diagrama general de la columna de destilación
- ✓ Dibujos de los instrumentos y válvulas junto con sus valores y unidades

- ✓ Esquema de los lazos de control
- ✓ Botones con cierta funcionalidad
- ✓ Cuadros de control o faceplates

El diagrama de la columna de control consiste en los tanques de alimentación de etanol azeotrópico y solvente llamados T-2901 y T-2902 respectivamente, los principales intercambiadores de calor, tanque acumulador y rehervidor, las 6 secciones de la columna, los tanques de almacenamiento de fondos y destilado, las tres bombas de la columna y alguna tubería del proceso. Estos dibujos tienen como fin guiar al usuario por las diferentes partes o secciones de la columna.

En la interfaz también se visualizan los sensores de temperatura, presión y flujo en su correspondiente posición en la columna. Al lado de cada instrumento se indica el valor en tiempo real que registra el transmisor junto con las unidades en las cuales fue calibrado. Los valores y unidades se muestran de color blanco y sin algún fondo en particular.

#### Nivel de los Tanques

En el caso de las señales de nivel no se muestra un dibujo del sensor pero si se indica el valor del nivel al lado de los tanques que tienen sensor, estos son los tanques T-2901, T-2902, acumulador y rehervidor. Estos tanques tienen un fondo de color negro en la parte interior, junto con una barra de color azul claro que sube o baja dependiendo del valor del nivel, el objetivo de estas barras es dar un estimado visual del nivel de los tanques.

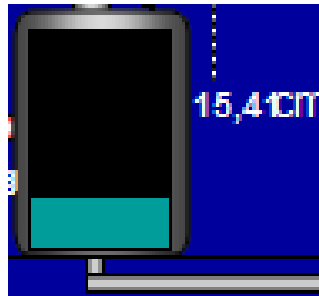


Figura F.4 Esquema de un tanque con indicación de nivel

Al prender el PLC los tanque T-2901 y T-2902 se mostraran como aparece en la figura F.5 (a). Esto se debe a que el valor de nivel de estas señales no se ha calculado puesto que es necesario inicialmente suministrar el valor de las densidades de los fluidos con las cuales cuenta cada tanque. Como se mencionó en el capítulo 3, el sensor de nivel de estos tanques en realidad mide la presión diferencial del tanque, así que para calcular el nivel real se necesita de la densidad del fluido. Estos valores se ingresan dando clic en el botón “*Nivel T*” que se encuentra en la parte inferior de estos dos tanques. Al dar clic en este botón aparecerá una ventana como la mostrada en la figura F.6.



(a) (b)

F.5 Imagen del nivel en los tanques T-2901 con (a) Nivel sin calcular (b) Nivel calculado

En esta ventana se pide en la parte superior suministrar los valores de las gravedades específicas de los fluidos que se encuentran en los tanques T-2901 y T-2902. Durante las corridas para este trabajo se tenía etanol azeotrópico en el tanque T-2901 por lo que la gravedad específica que se ingresaba era de 0,79, mientras que en el tanque T-2902 se tenía glicerina por lo que la gravedad específica que se ingresaba era de 1.1. No se dejaron unos valores fijos de gravedades específicas por darle flexibilidad al sistema puesto que no siempre la columna se va a operar con estas sustancias.

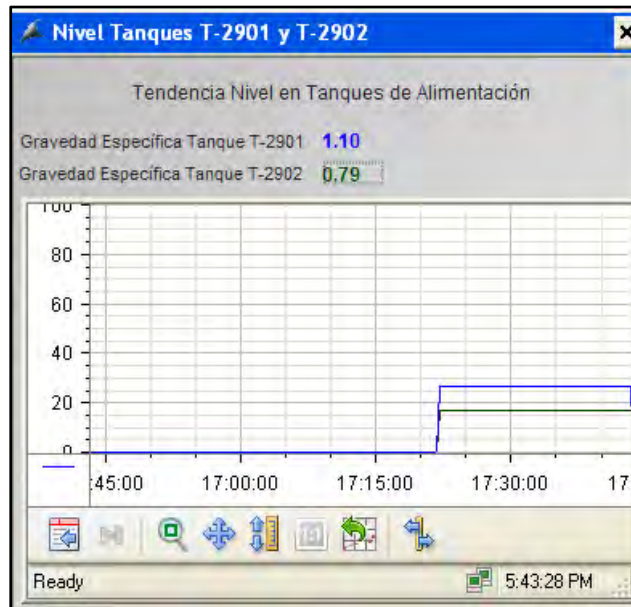


Figura F.6 Ventana de cálculo y registro del nivel real en los tanques T-2901 y T-2902

Después de ingresar los valores de gravedades específicas las señales se van a calcular y los valores de los niveles al igual que las barras de indicación se van a ver como en la figura F.5 (b).

### F.3 Operación de las Válvulas de control

En el mímico se muestran 9 válvulas que corresponden a las 9 válvulas de control instaladas en la columna. A las 6 válvulas eléctricas se les asignó una figura similar a como se ve una válvula real, mientras que con las 3 válvulas neumáticas se tienen un dibujo diferente. Todos los valores de apertura de las válvulas son valores de entrada/salida y se muestran en color verde dentro de una caja con fondo negro, esto con el fin de diferenciarlo de los valores de solo lectura, ver figura F.7.

Los controladores PID se pueden trabajar en modo manual o automático. Cuando estos se encuentran en modo manual, se les puede asignar directamente el valor que se desea de apertura de cada una de las válvulas, para esto simplemente se da clic sobre el valor y se escribe el nuevo valor de apertura que se desea. Los valores de apertura están en porcentaje el cual para las válvulas con actuador neumático está entre 0 y 100%, mientras que para las válvulas con actuador eléctrico los valores están entre 0 y 80%. Este rango de valores de apertura con las válvulas eléctricas se debe a la diferencia entre la señal de salida del PLC que es entre 0 y 10V y la señal que recibe la válvula para comenzar a abrir la cual está entre 2 y 10V.

Todos los dibujos de las válvulas en la interfaz tienen un cuadro el cual cambia de color dependiendo del estado de la válvula. Si la válvula está completamente cerrada el cuadro esta de color café, mientras que si la válvula está ligeramente abierta el cuadro cambia a color verde claro, en la siguiente figura se puede ver los dos estados de una de las válvulas.



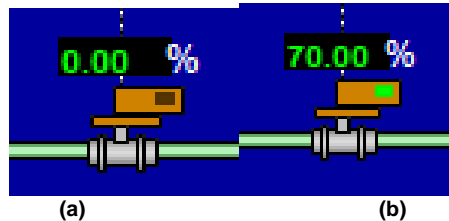


Figura F.7 Estado visual de las válvulas, (a) Válvula cerrada y (b) válvula abierta

Hay que tener en cuenta que cuando se prende el PLC los valores de apertura de todas las válvulas va a estar en 0%, es decir todas las válvulas están inicialmente cerradas. Por lo que se tiene la seguridad de que al arrancar el PLC no va a fluir vapor en la columna puesto que todas las válvulas neumáticas se encuentran cerradas.

#### F.4 Operación de las Bombas

Las bombas se representan por el dibujo mostrado en la figura F.8. El color rojo e intermitente indica que la bomba se encuentra apagada, mientras que el color verde fijo indica que se encuentra encendida.

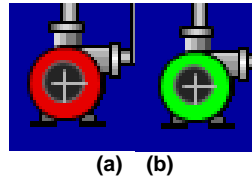


Figura F.8 Esquema de las bombas (a) Bomba apagada y (b) Bomba encendida

La operación de las bombas depende únicamente del PLC puesto que no hay un mecanismo de acción local de estas. La forma de encenderlas por lo tanto es directamente en la interfaz, para lo cual se tiene una ventana llamada “arranque manual bombas” desde donde se puede encender o apagar cada una de las tres bombas haciendo clic en los botones man\_on o man\_off respectivamente. Igualmente estos botones presentan dos colores, el rojo que indica que la bomba está apagada mientras que el color verde indica que la bomba se encuentra encendida. La ventana de operación de las bombas se encuentra en la parte central derecha de la interface principal y se resalta en la figura F.9:

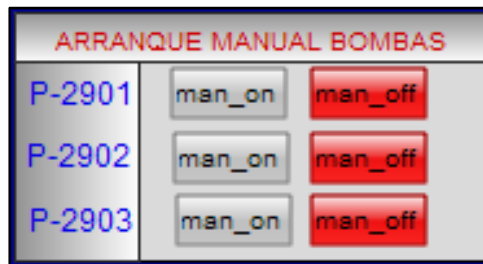


Figura F.9 Ventana de operación de las bombas

Cuando se da clic en el botón man\_on de alguna de las bombas, la bomba correspondiente se enciende, el botón se pone de color verde al igual que el dibujo de la bomba en el esquema de la columna de destilación en la interfaz.

## F.5 Operación de los lazos de control

Cada uno de los 11 lazos de control se muestran de forma gráfica en el diagrama de la columna de destilación. Cada lazo de control se muestra como un círculo que por dentro indica el tipo y número de lazo de control, así mismo recibe una línea punteada de color blanco que indica la variable de proceso, una línea de salida que indica cual es la válvula o señal sobre la que actúa el lazo de control, y en algunas ocasiones otra línea que indica el set point remoto para el caso de los lazos en cascada. Un ejemplo de un esquema de lazo de control se puede ver en la figura F.10.

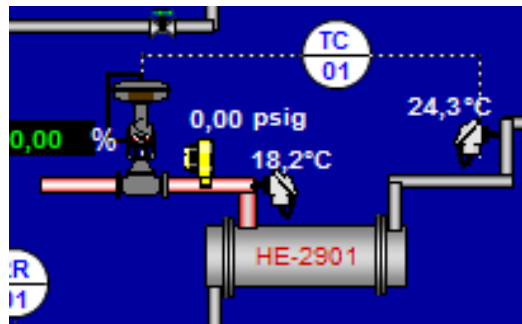


Figura F.10 Esquema del lazo de control TC\_01 dentro de la interfaz principal

Cada lazo de control tiene una ventana asociada donde se muestra el valor en tiempo real del set point (SP), la variable de proceso (PV) y el porcentaje de salida del controlador (OP) al igual que las unidades de la variable, esta ventana se conoce normalmente como Faceplate. Los 11 Faceplate correspondientes a los 11 lazos de control se encuentra en la parte superior derecha de la interfaz principal, una imagen de uno de estos se puede ver en la figura F.11:

Cada Faceplate cuenta además con tres botones en la parte superior. Los dos primeros botones indican y dan la orden al controlador de estar en manual o automático. Normalmente todos los lazos se encuentran en modo manual, es decir en lazo abierto, la forma de reconocerlo es porque el botón **man** se encuentra de color rojo claro y el botón **auto** se encuentra en verde oscuro. Cuando se desea pasar el controlador a automático, es decir en lazo cerrado, se da clic en el botón **auto**, e inmediatamente el botón **man** se pone de color rojo oscuro mientras que el botón **auto** se pone de color verde claro. Este estado del lazo en automático se puede ver en la figura F.11 (b).

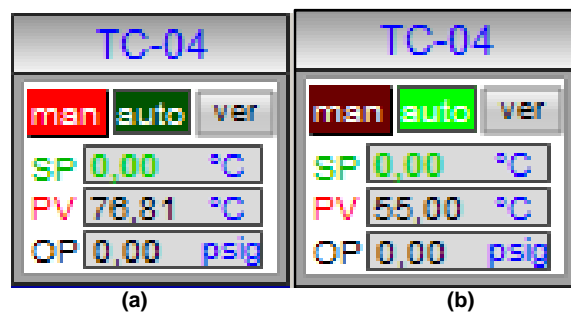


Figura F.11 Faceplate para el lazo de control TC04 (a) lazo abierto (b) lazo cerrado

El tercer botón de los 9 primeros faceplate dice **ver**. Al dar clic en este botón se despliega una nueva ventana que muestra mayor información del correspondiente lazo, un ejemplo de esta ventana se puede ver en la figura F.11:

Esta ventana muestra información propia del controlador, por ejemplo muestra el error, la salida proporcional e integral, así como los parámetros de sintonía y una gráfica que va mostrando la tendencia del error, el set point, la PV y OP. Se puede ver que todos los controladores se trabajaron únicamente PI y no PID puesto que con el primero los lazos respondían de forma

satisfactoria y suficiente para esta aplicación. Otro de los motivos es que muchas de las señales presentan ruido lo que afecta el correcto funcionamiento de la acción derivativa en los controladores.



Figura F.12 Ventana de información del lazo de control FC-01

En la columna se montaron dos lazos o controladores en cascada. Estos consisten de un lazo interno y un lazo externo cuya salida es el valor del setpoint del primer lazo. En la columna de destilación los lazos en cascada corresponden a los lazos PC01/LC02 y PC02/TC04.

Los FacePlate de los lazos de control internos que hacen parte de una cascada son ligeramente diferentes, estos se encuentran debajo de los 9 faceplates simples y corresponden a los lazos de control PC-01 y PC-02. La principal diferencia con los demás faceplates es que cuentan con un botón adicional llamado casca. Uno de estos faceplate se muestra en la figura F.13 (a):

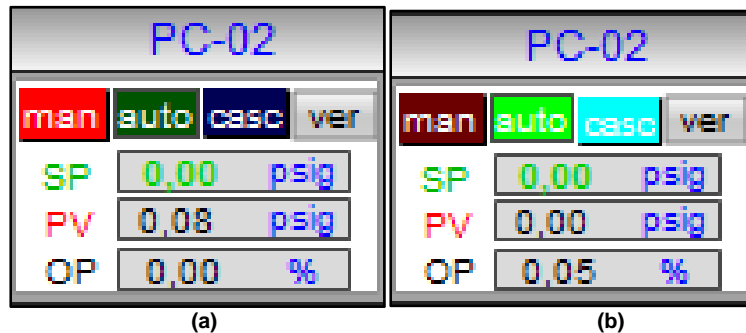


Figura F.13 Faceplate para el lazo de control PC02 (a) lazo abierto (b) lazo cerrado y en cascada

Cuando se vayan a trabajar los lazos de control en cascada es necesario que primero se encuentren en automático, tanto el lazo interno como el externo de la cascada. Luego se da clic en el botón casca, y el botón se pondrá de color azul claro como se puede ver en la figura F.13 (b). Al igual que con los demás Faceplate al dar clic en el botón ver se despliega una ventana como la mostrada en la figura F.14:

Esta ventana es muy similar a la de los demás lazos de control solo que incluye un botón adicional llamado cascada.



F.14 Ventana de información del lazo de control PC01

En la interfaz inicial, mostrada en la figura F.3, se pueden observar dos botones adicionales relacionados a los lazos de control ubicados en la cima de la columna, estos son los botones **PC-03** y **TC-03**. Esto se debe a que existen dos formas de controlar la presión en la cima de la columna, uno directo con el lazo PC03 y otro indirecto, con el lazo TC03. Al dar clic en el botón **TC-03** la variable a controlar no es la presión en la cima sino la temperatura de salida del condensador.

Por condiciones de seguridad con la bomba de reflujo, se requiere que la temperatura del fluido no sea muy alta. Por lo que es necesario que el condensador subenfrie lo mas que pueda, para esto es que se utiliza el lazo TC-03 y se coloca un set point bajo el cual puede ser de 40°C o máximo 50°C. Las dos configuraciones de control se pueden ver en la figura F.15:

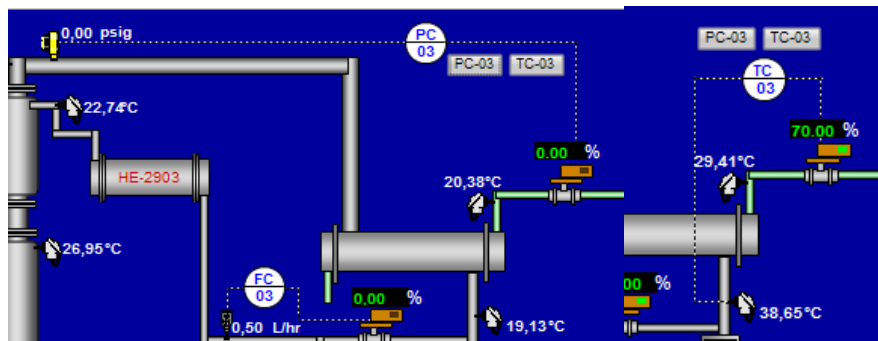


Figura F.15 Configuraciones de control en la cima de la columna

Estas dos configuraciones son opcionales, por lo que el usuario seleccionará con cuál de las dos desea trabajar dando clic en alguno de los dos botones.

### Gráficos de tendencia

Finalmente la interfaz principal tiene un botón en la parte inferior derecha llamado **Graficas**. Al dar clic en este botón se despliega una ventana como se muestra en la figura F.16:

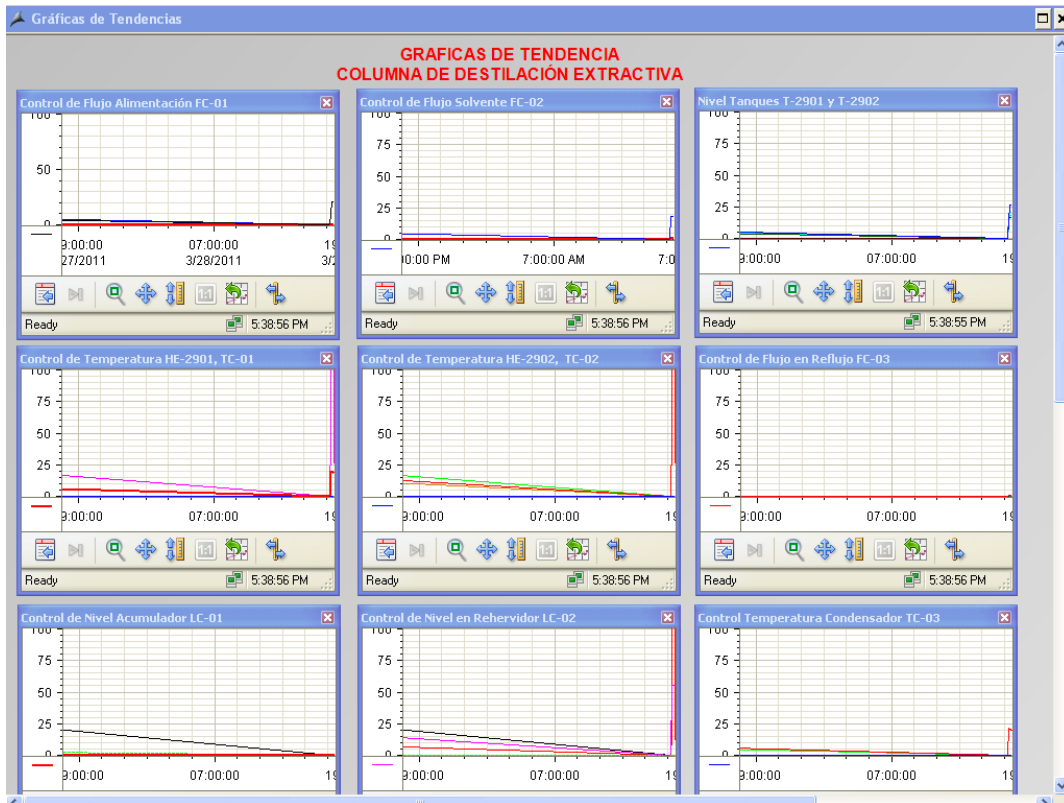


Figura F.16 Ventana de gráficos de tendencia

Esta ventana contiene los gráficos de tendencia de todas las variables de la columna de destilación. Son 14 graficas en total correspondientes a los 11 lazos de control, 1 grafica de nivel de los tanques T-2901 y T-2902, 1 grafica del perfil de temperaturas de la columna de destilación y una grafica que registra la presión de la cima y fondo de la columna. Estas dos últimas se encuentran en la parte inferior de esta ventana.

Cada grafica luce como en la figura F.17, en la parte superior se muestra el titulo de la grafica y en la parte inferior se encuentra una serie de botones que permiten configurar el plano donde se está registrando las señales correspondientes. El rango de tiempo es por defecto de una hora, aunque se puede configurar con el primer botón de la parte inferior.

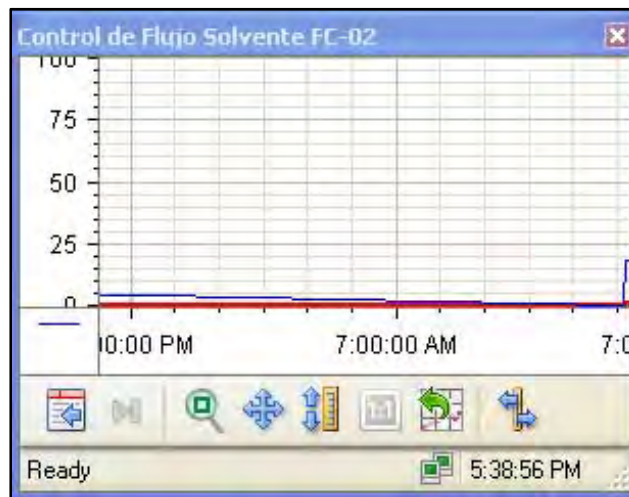



Figura F.17 Grafica de tendencia del lazo de control FC-02



El penúltimo botón  permite exportar los datos registrados durante un día a un formato tipo .csv. Luego este archivo se puede abrir en una hoja de Excel para el posterior análisis de los datos.

## F.6 Apagado de la columna

Para detener la operación de la columna se siguen los siguientes pasos:

- ✓ Suspender el suministro de vapor a la columna, para esto hay que cerrar la válvula que da paso al vapor en el rehervidor poniendo en manual el lazo PC02 y dando un valor de cero en la apertura de la válvula.
- ✓ De igual forma cerrar las válvulas de los lazos TC01 y TC02 para evitar que siga pasando vapor por los intercambiadores HE-2901 y HE-2902 respectivamente.
- ✓ Apagar las 3 bombas de la columna, esto se realiza con los botones de operación de las bombas dando clic en los botones man\_off de cada bomba, ver figura F.9.
- ✓ Los lazos de control TC03 y LC01 deben encontrarse en automático por un tiempo mientras el vapor que permanece en la columna condense, salga como destilado y no se inunde el acumulador.
- ✓ Una vez las temperaturas en la columna comiencen a disminuir el lazo TC03 cerrará automáticamente la válvula que da paso al agua de refrigeración en el condensador.
- ✓ Finalmente se cierra el proyecto dando clic en *desactivar* en el explorador de WinCC, cerrar el software, apagar el equipo, apagar el PLC bajando la pequeña palanca negra en el PLC y bajar el breaker.