



Universidad de Valladolid



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES

Grado en Ingeniería electrónica industrial y automática

Operación con el Sistema Delta-V de control de procesos

Autor:

Macho López, Andrés

Tutor:

**De Prada Moraga, Cesar
Garcia Blanco, Miguel Ángel
Departamento de Ingeniería de
Sistemas y Automática**

Valladolid, junio de 2018.

Resumen y palabras clave

El proyecto consiste en el control de una planta piloto utilizando un sistema de control distribuido comercial (Delta V), para ello se estudiará la instrumentación de la planta, se diseñará el control de esta y un sistema de supervisión control y adquisición de datos mas conocido como SCADA. La planta a controlar combina procesos continuos y procesos batch.

Palabras clave:

- Sistema de control distribuido
- DCS
- Delta V
- Planta industrial
- Procesos continuos
- Procesos batch
- Instrumentación industrial
- Sistema comercial
- Emerson

1.	Introducción y objetivos	5
2.	Desarrollo del TFG.....	7
2.1.	Descripción de la planta	7
2.1.1.	Sensores y actuadores	7
2.1.1.1.	Bomba Flojet 2100-232.....	7
2.1.1.2.	Sensor de temperatura pt100.....	8
2.1.1.3.	Sensor de nivel Rosemount 3051 CD2F22A1J.....	9
2.1.1.4.	Sensor de nivel discreto VP01EM	12
2.1.1.5.	Válvula neumática system 9000.....	12
2.1.1.6.	Convertidor de frecuencia.....	15
2.1.1.7.	Transmisor de temperatura	19
2.1.1.8.	Electroválvula.....	20
2.1.1.9.	Fieldbus Foundation	20
2.1.2.	Delta V.....	21
2.1.2.1.	Hardware	23
2.1.2.2.	Conexiones.....	25
2.1.3.	Control de la planta.....	26
2.2.	Software	28
2.2.1.	Bloques funcionales.....	29
2.2.1.1.	Bloque de entrada analógica.....	29
2.2.1.2.	Bloque de Salida analógica.....	30
2.2.1.3.	Bloque PID.....	33
2.2.1.4.	Bloques lógicos	43
2.2.1.5.	Bloques de operaciones matemáticas.....	45
2.2.1.6.	Otros bloques	47
2.2.2.	Secuencias	47
2.2.2.1.	Deposito 21 y 22	47
2.2.2.2.	Secuencias de emergencia.....	49
2.2.2.3.	Diseño de secuencias.....	51
2.2.3.	Lazos de control	55
2.2.3.1.	Lazo de control del tanque 1	55
2.2.3.2.	Lazo de control del tanque 3	58
2.2.3.3.	Lazo de control del tanque 21.....	59

2.2.3.4. Lazo de control del tanque 22	60
2.2.3.5. Propiedades de los módulos de control.....	61
2.3. SCADA.....	62
2.3.1. Descripción general	62
2.3.2. Diseño del scada.....	67
3. Conclusiones	75
4. Bibliografía.....	77
5. Anexos.....	79

1. Introducción y objetivos

El principal objetivo es controlar una planta piloto utilizando un sistema de control distribuido comercial, este sistema es Delta V de Emerson. La planta a controlar combina procesos continuos con procesos batch, por ello una de las mayores dificultades será controlar una variable utilizando en su conjunto sistemas discretos y continuos.



Figura 1: Fotografía de la planta piloto

Para conseguir el control de la planta es necesario en primer lugar conocer la instrumentación de la planta y como esta esta conectada a nuestro sistema de control ya sea utilizando un bus de campo o una conexión clásica de 4-20mA.

En segundo lugar, será necesario crear un control básico que permita controlar las diferentes variables de forma independiente ya sean discretas o continuas por ejemplo esto equivaldría a controlar el nivel o la temperatura de un tanque.

En tercer lugar, se diseñarán un conjunto de secuencias que permitirán interaccionar unos sistemas con otros de forma que nos permita definir el completo funcionamiento de la planta.

En cuarto lugar, un sistema de alarmas con su debida gestión evitando así situaciones criticas que puedan dañar algún componente de la planta o que simplemente signifiquen un mal funcionamiento de la planta.

Por ultimo se diseñará un SCADA (“Supervisory Control And Data Acquisition”) que consiste en una visualización grafica de la planta que nos permite supervisar y controlar toda la planta.

2. Desarrollo del TFG

2.1. Descripción de la planta

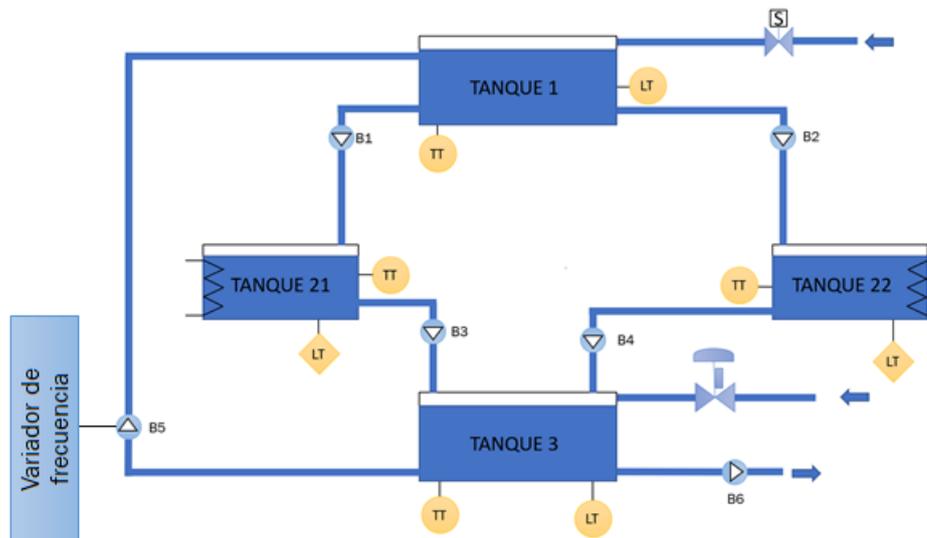


Figura 2: Esquema de la planta

La planta por controlar consiste en un conjunto de 4 depósitos, para mover el fluido de un tanque a otro se dispone de 6 bombas, para medir el nivel de los tanques se dispone de 6 sensores de nivel 4 de ellos discretos y dos continuos, además de estos disponemos de 4 sensores de temperatura, una electroválvula y una válvula neumática.

Estos componentes se describen con detalle a continuación.

2.1.1. Sensores y actuadores

2.1.1.1. Bomba Flojet 2100-232

Las 6 bombas de las que dispone la planta son de este modelo, estas se tratan de una bomba de desplazamiento positivo del tipo diafragma dúplex.

Estas bombas tienen las siguientes características:

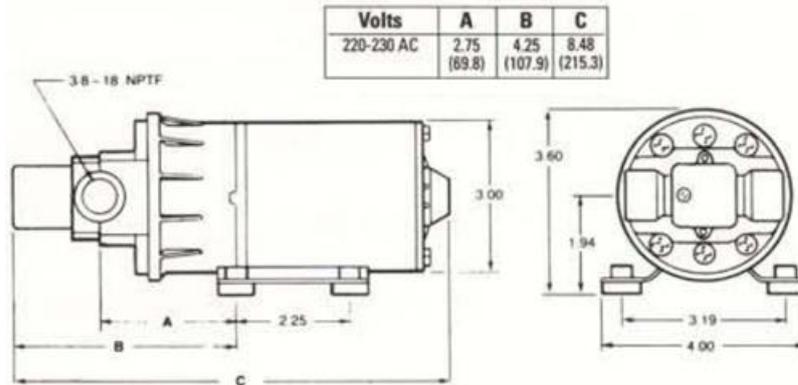


Figura 3: Dimensiones de la bomba(pulgadas(mm))

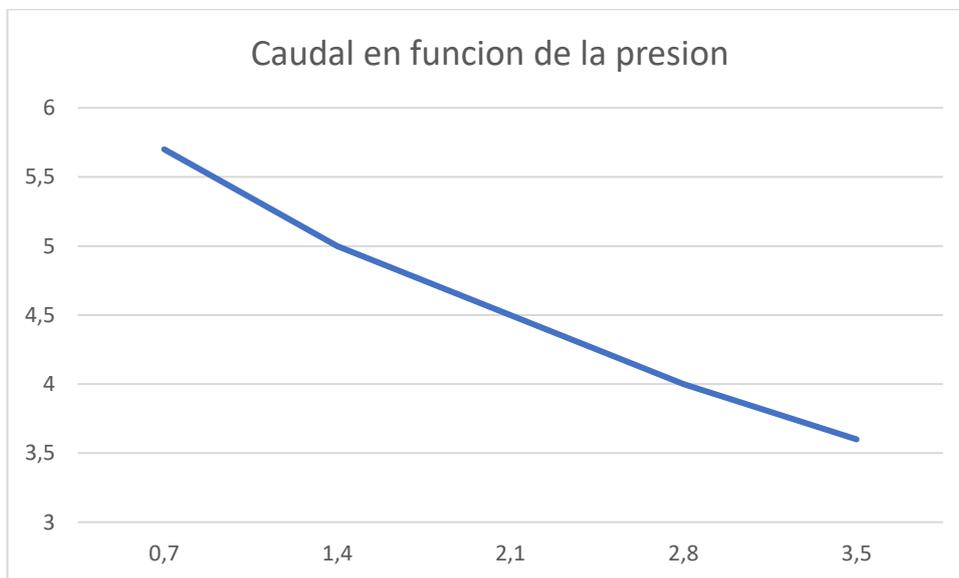


Figura 4: Curva característica de la bomba Q/P

En nuestra instalación las bombas están alimentadas a una tensión monofásica de 230V. Soportan una presión máxima de 3.5 bares, una temperatura de funcionamiento máxima de 71°C y dan una altura máxima de 2,4m.

2.1.1.2. Sensor de temperatura pt100

Un Pt100 es un sensor de temperatura. Consiste en un alambre de platino que a 0 °C tiene 100Ω y que al aumentar la temperatura aumenta su resistencia eléctrica. El incremento de la resistencia no es lineal, pero si creciente y

característico del platino de tal forma que mediante tablas es posible encontrar la temperatura exacta a la que corresponde. Este alambre viene protegido dentro de un tubo de acero inoxidable (vaina), en un extremo está el elemento sensible (alambre de platino) y en el otro está el terminal eléctrico de los cables protegido dentro de una caja redonda de aluminio (cabezal).



Figura 5: Vista exterior de un sensor de temperatura del tipo pt100

2.1.1.3. Sensor de nivel Rosemount 3051 CD2F22A1J

Se trata de un sensor de presión coplanar diferencial con el cual podemos calcular el nivel conociendo la densidad del fluido de forma que $P = \rho g H$ siendo P la presión medida por el sensor, ρ la densidad del fluido, g la gravedad y H la altura de la superficie libre del fluido.

Principio de Medida	Presión diferencial
Señal de salida	Protocolos HART de 4-20 mA, HART de 1-5 VCC de baja potencia, fieldbus Foundation y Profibus PA
Rango	-623mbar a 623 mbar
Precisión	$\pm 0,065\%$ de la amplitud
Sensibilidad	6,2 mbar
Rango de temperatura ambiente	-40 a 85 ° C
Rango de Temperatura del proceso	-40 a 121°C
Conexión al proceso	Fieldbus Foundation
Casa comercial	Rosemount
Referencia	3051 CD2F22A1J

Posee un tiempo de respuesta de 152mS, un tiempo muerto de 97mS y una velocidad de actualización de 22 veces por segundo.

Las dimensiones del transmisor son las siguientes:

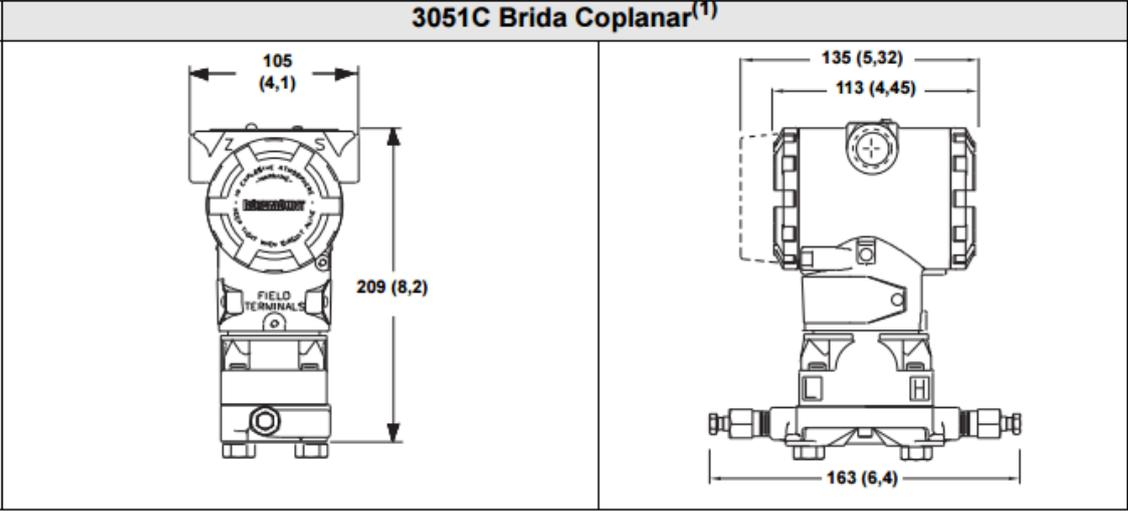


Figura 6: Dimensiones del sensor de nivel

Está formado por los siguientes componentes:

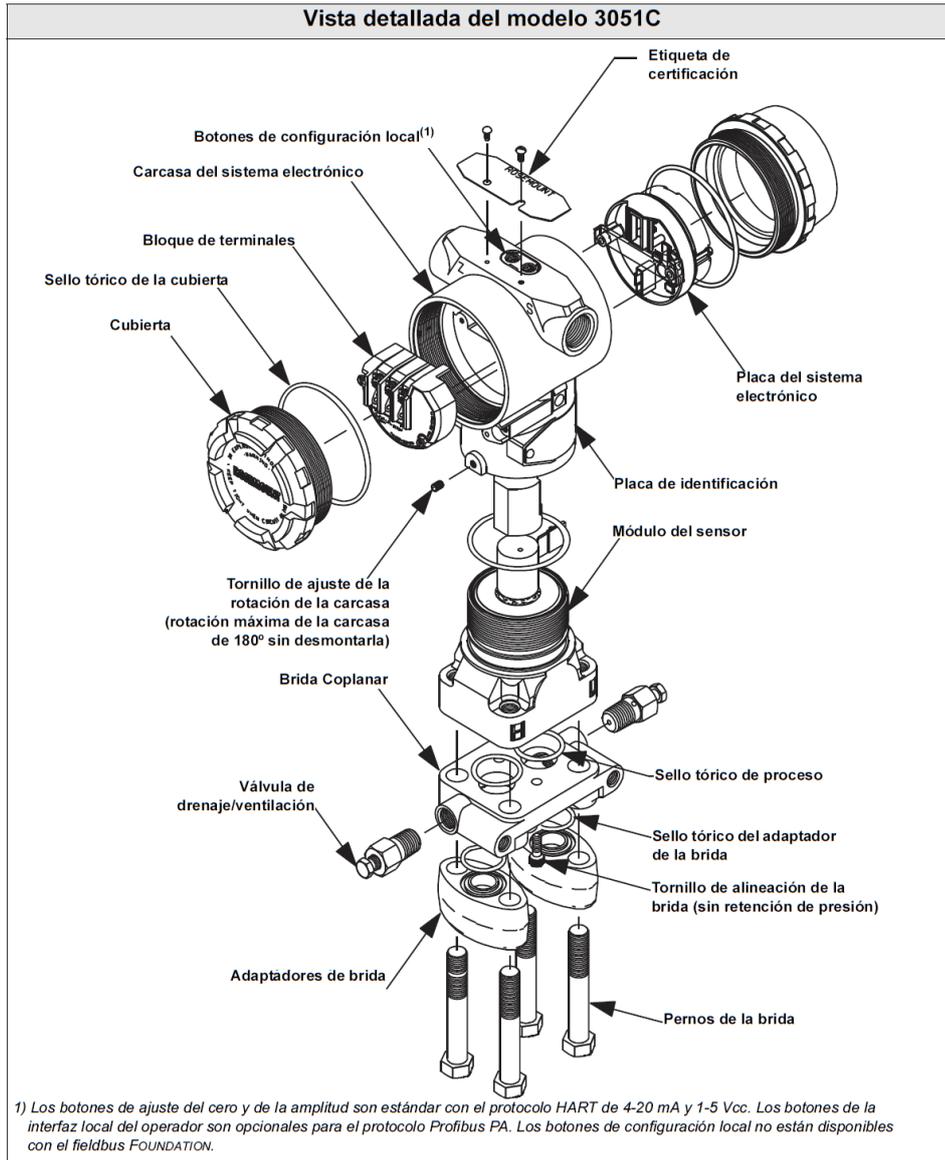


Figura 7: Componentes del sensor de nivel

2.1.1.4. Sensor de nivel discreto VP01EM



Figura 8: Sensor de nivel VP01EM

Se trata de un sensor de nivel discreto, es decir si detecta fluido nos manda un 1 en caso contrario nos manda un 0.

Sus características son las siguientes:

- Tensión de operación 10-40V
- Precisión $\pm 5\text{mm}$
- Frecuencia de operación: 30Hz
- Temperatura de operación: -20°C a 80°C

2.1.1.5. Válvula neumática system 9000



Figura 9: Vista externa de la válvula neumática

Se trata de una válvula neumática de asiento de una sola vía. Como se puede apreciar en la siguiente imagen:

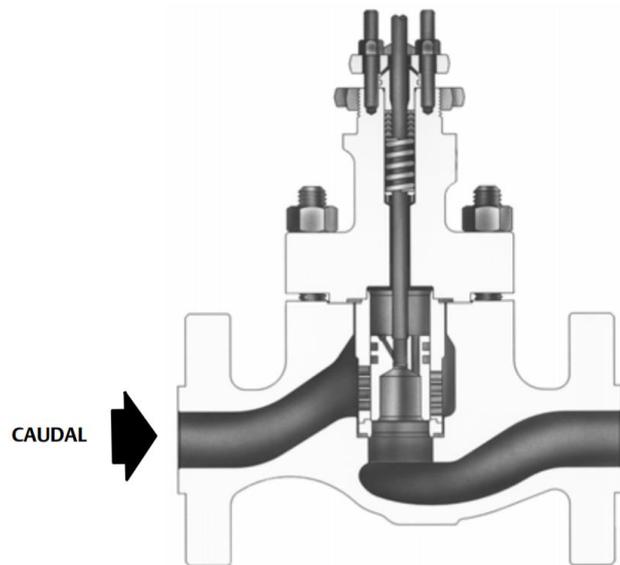


Figura 10: corte transversal de la válvula neumática.

La válvula neumática posee las siguientes características:

- Posee una carrera que va desde los 12,7mm a los 19,1mm
- Presión de alimentación nominal 3, 4 o 6 bares y admite una presión máxima de 6.9 bares
- Temperatura ambiental: -40 a 82°C
- Temperatura del fluido de -10 a 232°C

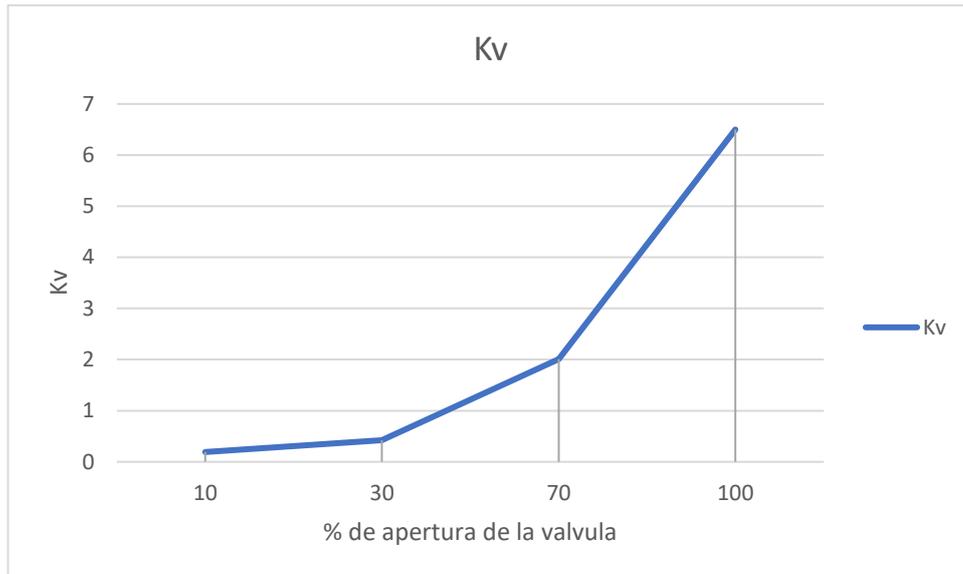


Figura 11: curva característica de la válvula neumática Kv

Esta construida con los siguientes materiales:

- Abrazadera: estructura modular de acero
- Cubierta: aluminio anodizado
- Caja: acero inoxidable

La válvula, para poder conectarse al módulo de control requiere de un sistema que transforme la señal eléctrica en una señal neumática que es con lo que funciona la válvula.

Este sistema es un controlador digital modelo DVC5040F que en nuestro caso transforma la señal digital que le llega por el bus de campo en una señal de presión para esta operación posee un microprocesador que realiza dicha operación. Además, consta de un sistema de calibración automática, diagnóstico anticipado y admite procesos PID.

El posicionador es el modelo 4000 este acepta una señal neumática de entrada para accionar la válvula. Funciona mediante el principio de equilibrio de fuerzas. La señal de entrada está en el rango de 0.2 a 1 bar.

El filtro regulador es el modelo 67AFR proporciona una presión de alimentación controlada constantemente. El regulador cuenta con un filtro interno y una descompresión interna de capacidad limitada que permite una reducción parcial de la presión de flujo descendente.

2.1.1.6. Convertidor de frecuencia

El convertidor de frecuencia de la planta es el modelo 3G3EV de la marca OMRON se trata de un convertidor con una alimentación de 220V monofásicos.

Tipo de instalación	Montaje en panel
Lugar de instalación	Interior
Temperatura ambiente	-10 a 50°C
Humedad	Máximo 90%
Resistencia a vibraciones	Menor de 20Hz: 9,8m/s ² De 20 a 50 HZ: 1,96m/s ²
Longitud del cable entre el convertidor y el motor	Máximo 100m
Rango de control de frecuencia	De 0,5 a 400 Hz
Precisión de la frecuencia	±1%
Resolución de la frecuencia	0,06Hz
Resistencia de sobrecarga	1 min con un 150% de la corriente nominal
Señal de control	De 0 a 10V(20KΩ) o de 4 a 20mA (250Ω)
Tiempo de aceleración/desaceleración	De 0 a 999s

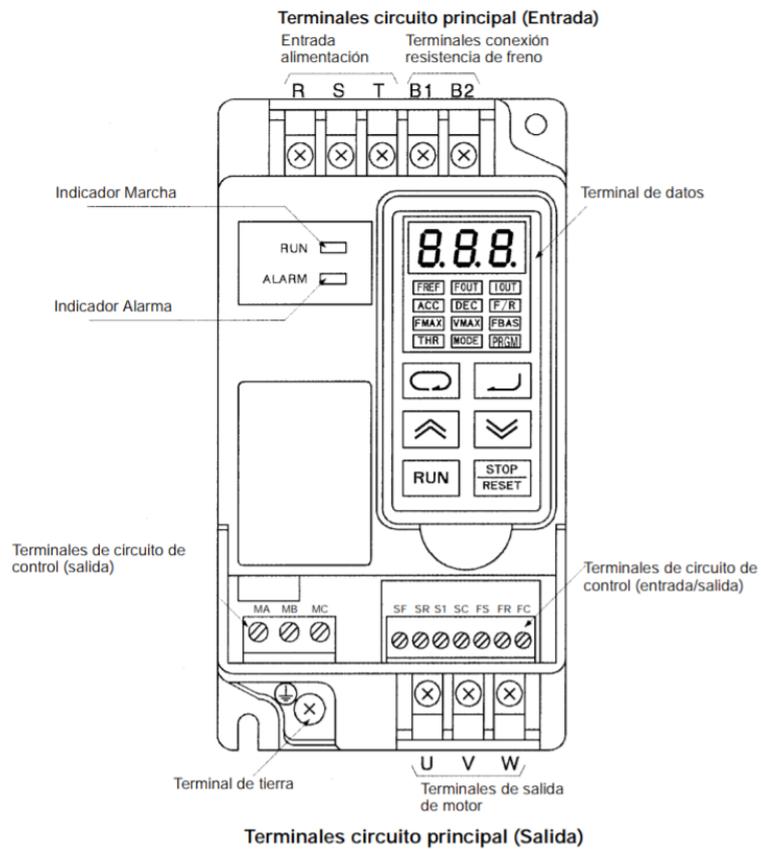


Figura 12: Terminales del variador

En nuestra planta disponemos de un conexionado similar a el siguiente:

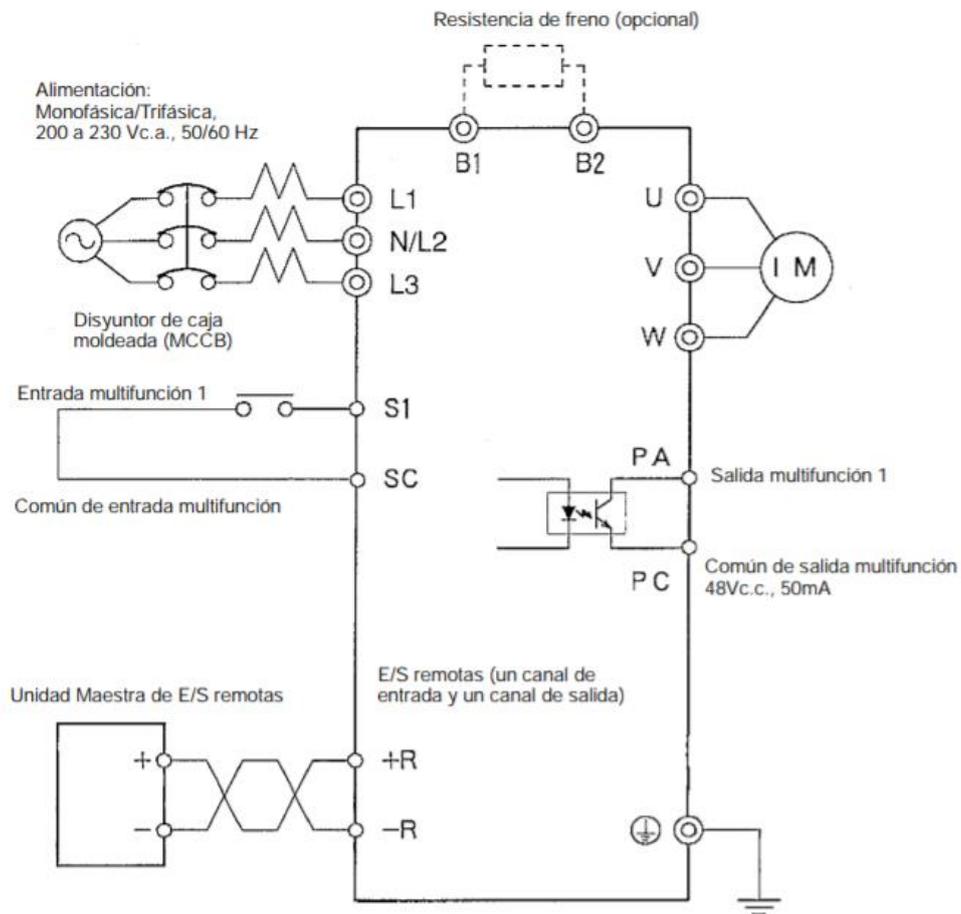


Figura 13: Conexión del Variador

En esta conexión tenemos que las entradas +R y -R estarían conectadas a nuestro controlador mediante una señal 4-20mA desde el cual le indicaremos la frecuencia a la que queremos que oscile, la alimentación la realizamos mediante corriente alterna monofásica 230V, la bomba estaría conectada en las salidas U, V, W y por último no se dispone de resistencia de freno ya que para nuestra aplicación es innecesaria al no necesitar cerrar bruscamente una bomba.

Este dispositivo aparte de poder ser controlado remotamente posee una pequeña pantalla con una serie de botones que nos permite controlar la bomba localmente es la siguiente:

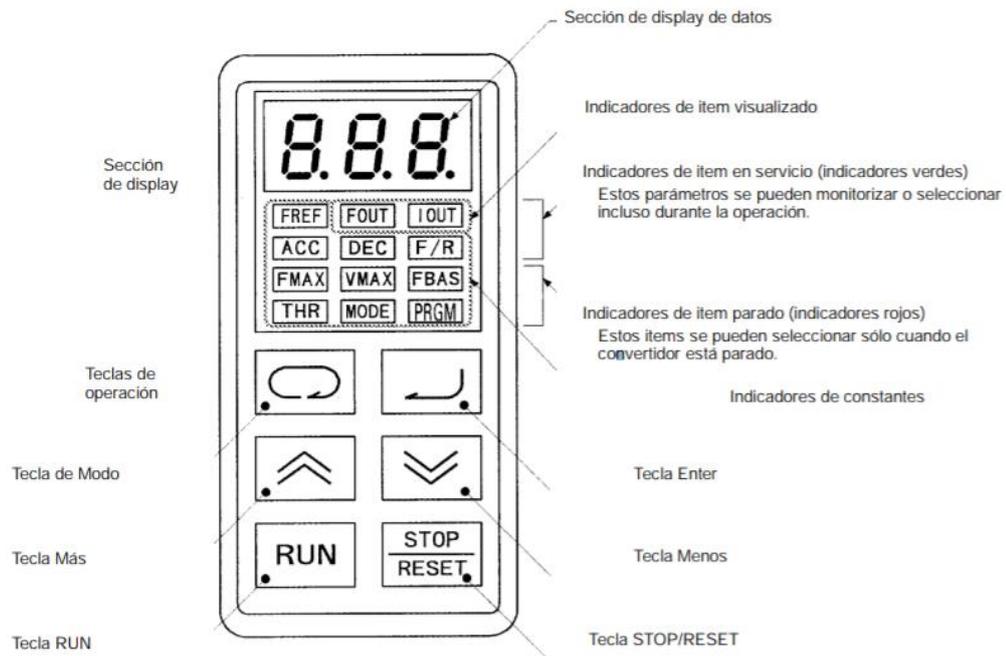
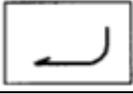
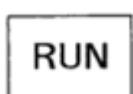
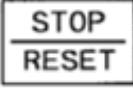


Figura 14: Pantalla de datos del variador

Los botones de dicha pantalla realizan las siguientes operaciones:

	Tecla de modo	Pulsar esta tecla para conmutar entre indicadores de ítem a visualizar e indicadores de constantes
	Tecla Enter	Pulsar esta tecla para registrar el valor seleccionado en una constante
	Tecla Más	Pulsar esta tecla para aumentar el valor de una constante o el número de constante
	Tecla Menos	Pulsar esta tecla para disminuir el valor de una constante o el número de constante
	Tecla RUN	Pulsar esta tecla para arrancar el convertidor. (Esta tecla es válida solo cuando el terminal de datos está en modo run y están apagados todos los indicadores de ítem parado)
	Tecla STOP/RESET	Pulsar esta tecla para parar el convertidor. (Esta tecla es válida solo cuando el terminal de datos esta seleccionado a modo run). Pulsar también para restaurar el convertidor cuando se ha producido un error.

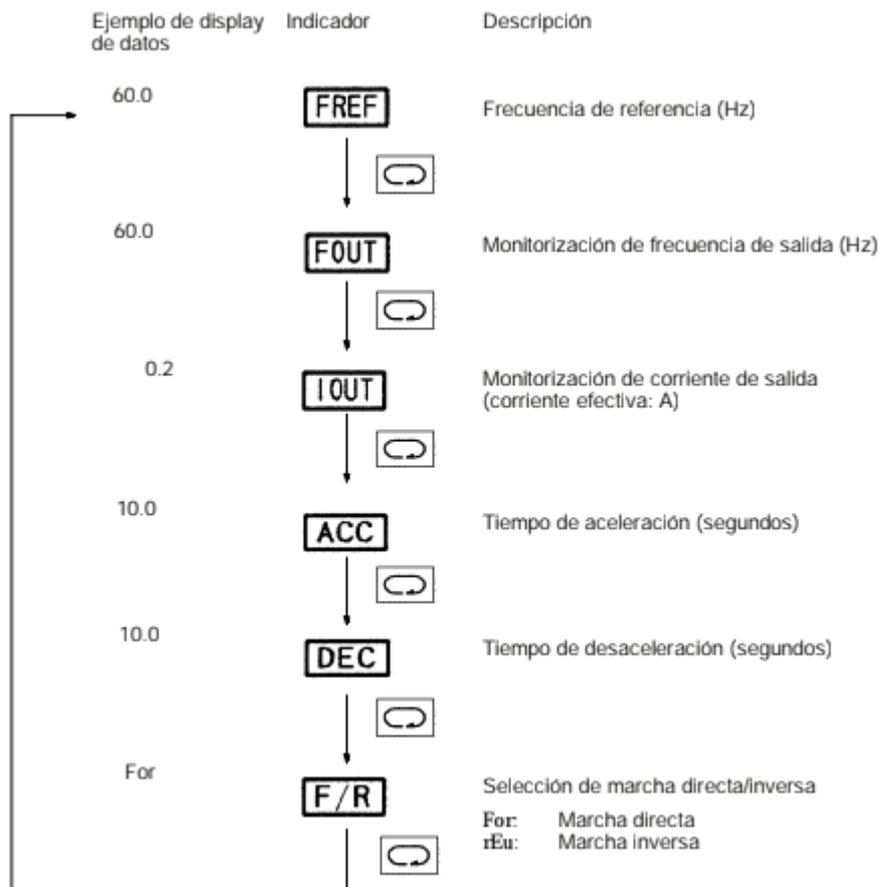


Figura 15: Ejemplo de uso de la pantalla de datos del variador

En este ejemplo podemos ver cómo usar los botones de la pantalla para ir viendo los parámetros de funcionamiento del variador, podemos ver la frecuencia e intensidad a la que estamos alimentando el motor, si estamos en marcha directa o inversa y los tiempos de aceleración y desaceleración.

2.1.1.7. Transmisor de temperatura

Este dispositivo permite la comunicación de hasta 3 sensores de temperatura utilizando Fieldbus, en el caso de nuestra planta tenemos 2 dispositivos de estos conectados cada uno a 2 pt100 con las siguientes características:

Temperatura ambiente	-40 a 85°C
Temperatura de trabajo	0 a 100°C
Precisión	0,1°C
Humedad	De 0 a 100%
Tiempo de actualización	0,5s

Tensión de alimentación	30V
-------------------------	-----

2.1.1.8. *Electroválvula*

La electroválvula funciona con una alimentación de 230V a 50Hz con una potencia 18VA ED100%.

2.1.1.9. *Fieldbus Foundation*

Aunque no se trate ni de un sensor ni de un actuador es necesario hablar aquí de este sistema ya que una parte de los sensores y actuadores de nuestra planta están conectados mediante este bus de campo.

Fieldbus es una conexión serie, digital, que permite la transferencia de datos entre elementos primarios de automatización (elementos de campo) empleados en fabricación o procesos, y elementos de automatización y control de más alto nivel

Fieldbus posee 2 implementaciones que usan diferentes medios físicos y velocidades de comunicación:

- H1 trabaja a 31,25kb/s, proporciona tanto comunicación como alimentación sobre cableado estándar en par trenzado. Es la más común y es la implementada en nuestra planta.
- HSE trabaja a 100Mb/s utilizando cable ethernet estándar, actualmente no es capaz de proporcionar alimentación a través del mismo cable.

Los instrumentos de campo analógico y discretos convencionales usan cableado punto a punto es decir un par para cada dispositivo y tienen la limitación de llevar una variable de proceso o control sobre esos hilos.

Fieldbus en cambio al ser un bus digital no tiene esas limitaciones y nos ofrece las siguientes ventajas:

- Cableado multipunto: soporta hasta 32 dispositivos en un solo par de hilos o mas si se usan repetidores.
- Instrumentos multivariados: Ese mismo par de hilos puede manejar múltiples variables, por ejemplo, en el caso de nuestra planta los transmisores de temperatura 3244MV nos transmite cada uno 2 variables de temperatura utilizando el mismo par de hilos.

- Comunicación de 2 vías. Gracias a fieldbus la comunicación ahora puede ser en ambos sentidos enviar una señal de control a una válvula por ejemplo y que esta nos devuelva su posición.
- Nuevos tipos de información. Fieldbus permite a los dispositivos transmitir si la información que estos envían es buena mala o incierta por lo que elimina la necesidad de la mayoría de las revisiones de rutina.
- Control en campo. Fieldbus también permite la opción de ejecutar los algoritmos de control en los dispositivos de campo en lugar del controlador central, lo que nos permite seguir funcionando, aunque este falle.

2.1.2. Delta V



Figura 16: Vista del conjunto de componentes del Delta V

Delta V es un sistema de control distribuido comercial de la marca Emerson, un Sistema de Control Distribuido o SCD, más conocido por sus siglas en inglés DCS (Distributed Control System), es un sistema de control aplicado a procesos industriales complejos.

Los DCS trabajan con una sola Base de Datos integrada para todas las señales, variables, objetos gráficos, alarmas y eventos del sistema.

La plataforma de programación es multi-usuario de forma que varios programadores pueden trabajar simultáneamente sobre el sistema de forma segura sin conflictos de versiones. Todos los equipos del sistema (ordenadores, servidores, controladores) están sincronizados con un mismo reloj, de forma que todas las medidas, alarmas y eventos tienen una misma marca de tiempo.

El software de control DCS dispone de herramientas para la gestión de la información de planta, integrándola verticalmente hacia la cadena de toma de decisiones y otros sistemas ubicados más arriba en la jerarquía de la producción.

Un DCS aborda la complejidad de los procesos industriales dividiendo en cuatro niveles funcionales su alcance.

- Nivel de Operación. Este nivel es el de interacción del sistema con los operadores de la planta y es donde se encuentran los sistemas informáticos para la monitorización del proceso y adquisición de la información en tiempo real, que se almacena en la base de datos transformándola en datos históricos para análisis posteriores. Este nivel gestiona además el intercambio de información con otros sistemas de mantenimiento y planificación de la producción.

- Nivel de control. En un DCS la responsabilidad del control de las diferentes partes funcionales del proceso, se asignan a varios controladores locales distribuidos por la instalación, en lugar de centralizar estas funciones en un solo punto. Los controladores están conectados entre sí y con las estaciones de operación mediante redes de comunicación.

- Nivel módulos de Entrada/Salida. Los módulos de entradas/salidas para señales cableadas, se distribuyen por la instalación, es lo que se denomina "periferia descentralizada", esto ahorra tiradas de cables de señal aproximando la electrónica del control hasta los elementos de campo. Estos módulos de entrada/salida se comunican con los controladores mediante protocolos específicos o de bus de campo para garantizar los tiempos de comunicación entre controlador y periferia en unos tiempos mínimos, del orden de milisegundos, adecuados a las necesidades del proceso.

- Nivel de elementos de campo. Desde el año 2000, ha ido creciendo la necesidad de integrar directamente los instrumentos y los actuadores en los buses de campo del SCD, de forma que estos equipos son en

realidad una extensión natural del nivel anterior. Estos equipos permiten funcionalidades adicionales como gestionar su mantenimiento o configurar sus parámetros de comportamiento de forma remota desde el nivel de operación. Los instrumentos de este nivel deben ser compatibles con el bus de campo elegido. También existe la posibilidad de integrar instrumentos con protocolo HART como alternativa al bus de campo.

2.1.2.1. Hardware

El sistema delta V este compuesto por una serie de componentes físicos descritos a continuación:



Figura 17: Fuente de alimentación, controlador y H1 Integrated Power

El primer componente y el más básico es la fuente de alimentación se encarga de transformar la corriente alterna de la red eléctrica a una corriente continua de 24V que es a la que funcionan todos los dispositivos del deltaV. El segundo componente es el controlador, este se encarga de gestionar todo el control de la planta, desde lazos PID hasta gestión de alarmas. El tercero se llama H1 integrated Power, es un dispositivo que se encarga de gestionar el bus de campo “Fieldbus Foundation”.

Además de estos 3 necesitamos otros dispositivos que nos permitan conectar los sensores y actuadores al controlador, delta V dispone de un sistema que se conecta aparte del controlador permitiendo a su vez acceder a las entradas y salidas desde varios controladores.

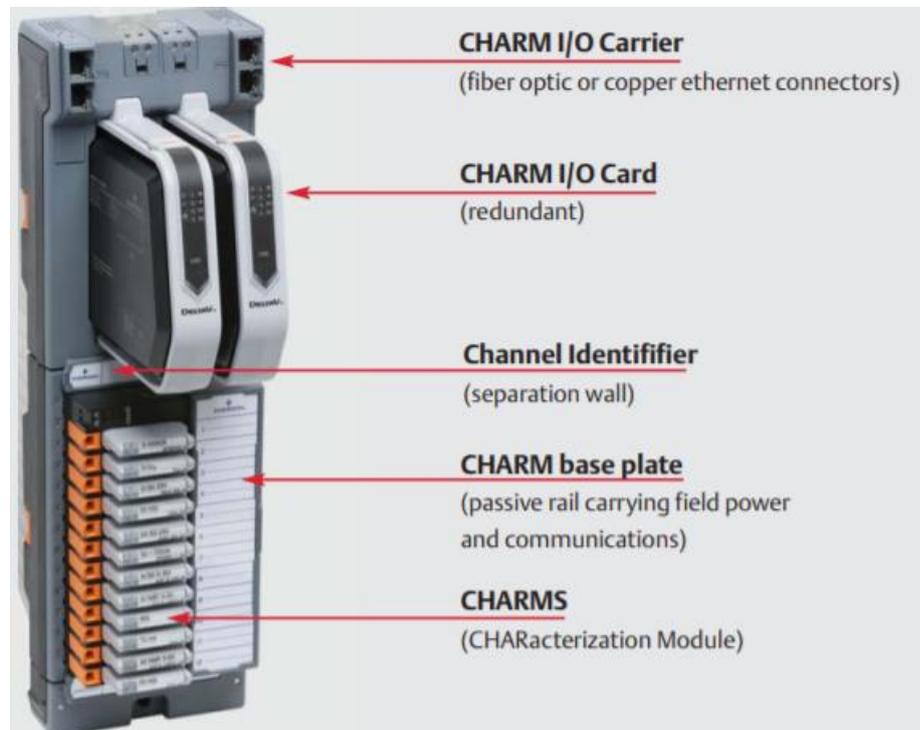


Figura 18: Dispositivo de entradas y salidas del Delta V

Dentro de este conjunto de dispositivos poseemos el “CHARM I/O Card” este dispositivo se encarga de gestionar la comunicación entre los “CHARMS” y los distintos controladores que quieran acceder a ellos, además de este podemos poseer una segunda tarjeta igual para poder seguir funcionando si esta falla. El otro componente de este conjunto son los “CHARMS” estas tarjetas poseen las conexiones para enchufar aquí los cables que vienen de los sensores y actuadores pueden ser entradas o salidas analógicas y entradas y salidas digitales.

Además de todo esto se dispone de un carril que permite el montaje y desmontaje rápido y sencillo de todas estas tarjetas.

Nuestra planta debido al bus de campo necesita un componente más que es el que se encarga de la conexión física del bus de campo:

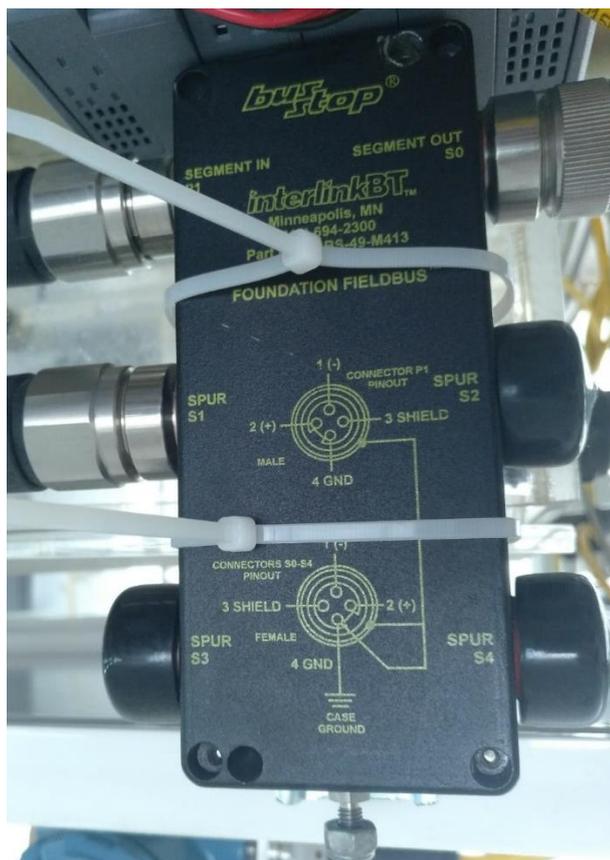


Figura 19: Dispositivo de conexión para el bus de campo

Este dispositivo posee 3 entradas y tres salidas lo que nos permite controlar por ejemplo 3 sensores y tres actuadores utilizando Fieldbus.

2.1.2.2. Conexiones

En la planta todos los sensores y actuadores están conectados al módulo de control mediante Fieldbus, mediante una señal analógica de 4-20mA o mediante un relé. Quedando según se indica en la siguiente tabla:

Sistema	Tipo de conexión	Canal	puerto
Bomba 1	Relé	CHM1	6
Bomba 2	Relé	CHM1	4
Bomba 3	Relé	CHM1	7
Bomba 4	Relé	CHM1	5
Bomba 5	Conectada al Variador		

Bomba 6	Relé	CHM1	2
Variador de frecuencia	4-20mA	CHM1	3
Electroválvula	Relé	CHM1	1
Válvula neumática	Fieldbus	CHM1	35
Sensor de nivel del tanque 1	Fieldbus	CHM1	32
Sensor de nivel del tanque 3	Fieldbus	CHM1	31
Sensor de temperatura del tanque 1	Fieldbus	CHM1	34
Sensor de temperatura del tanque 21	Fieldbus	CHM1	34
Sensor de temperatura del tanque 3	Fieldbus	CHM1	33
Sensor de temperatura del tanque 22	Fieldbus	CHM1	33
Sensor de nivel superior del tanque 21	Digital	CHM2	3
Sensor de nivel superior del tanque 22	Digital	CHM2	1
Sensor de nivel inferior del tanque 21	Digital	CHM2	3
Sensor de nivel inferior del tanque 22	Digital	CHM2	4
Resistencias del tanque 21	4-20mA	CHM1	8
Resistencias del tanque 22	4-20mA	CHM1	9
Caudalímetro	Fieldbus	CHM1	AI1

Cave destacar que la bomba 5 estará conectada al controlador a través del variador de frecuencia.

2.1.3. Control de la planta

El esquema de control de la planta quedaría de la siguiente manera:

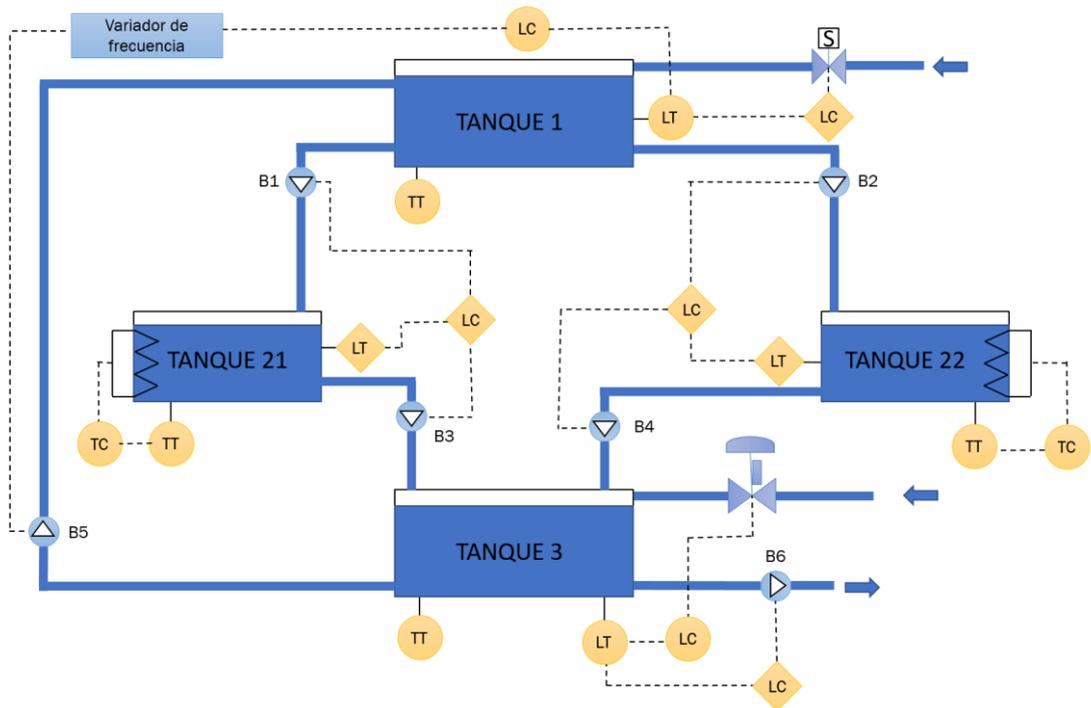


Figura 20: Esquema ISA del control de la planta

Para explicar el control podemos empezar por el tanque 1, este funciona de la siguiente manera:

Este tanque posee una única variable a controlar que es el nivel del tanque, para controlarlo se realiza lo siguiente:

En primer lugar, para introducir fluido a la planta usamos una electroválvula que permanecerá abierta la mayor parte del tiempo, es decir, que a menos que el nivel del tanque 1 supere cierto valor, el cual consideramos que empieza a ser peligroso y el tanque pueda desbordar.

Además de la electroválvula tenemos la bomba 5 que se controla de forma continua gracias al variador al cual está conectada, esta se utiliza para regular el nivel del tanque 1.

Después del tanque 1 tendríamos los tanques 21 y 22, estos tanques tienen un funcionamiento análogo:

Estos tanques, a diferencia del 1 y 3, operan en forma batch siguiendo una cierta secuencia de operaciones y poseen 2 variables a controlar, la temperatura que es una variable continua y el nivel que en estos tanques es discreta.

En el caso del nivel disponemos de 2 sensores discretos de nivel uno en la parte de arriba del depósito y otro en la parte de abajo, además disponemos

de 2 bombas en cada deposito una (la bomba 1 para el tanque 21 y la bomba 2 para el 22) nos permite llenar el tanque bombeando fluido desde el tanque 1 y otra (la bomba 3 para el tanque 21 y la 4 para el 22) que nos permite bombear fluido hacia el tanque 3

Para la temperatura tenemos dos resistencias y un sensor de temperatura en cada deposito, por ello mediante un control PID se realiza un control sobre esta variable. Para evitar romper las resistencias solo será posible encenderlas si el sensor de nivel esta detectando agua arriba del tanque.

Para el tanque 3 tenemos una única variable a controlar, esta es el nivel del tanque, este se realiza de 2 maneras:

Por una parte, disponemos de una válvula neumática que nos permitirá controlar de forma continua, mediante un PID, el nivel del tanque.

Además, disponemos de la bomba 6, esta al ser discreta estará controlada mediante un comparador, este comparara el nivel del tanque con el deseado y si el primero es mayor la bomba arrancara y en caso contrario parara.

De esta forma el control completo de la planta quedaría de la siguiente manera:

El tanque 1 se intentará mantener a un nivel constante mientras que los tanques 21 y 22, cuando se les dé la orden de arranque, se llenaran, se calentara el fluido, se mantendrá a una temperatura determinada y posteriormente se vaciaran sobre el tanque 3 el cual al igual que el 1 se intentara mantener a un nivel constante.

2.2. Software

La planta está formada por un conjunto de módulos como se ve en la siguiente imagen:

Name	Type	Descri...	Work In Progress	Node Assignment	Scan Rate	Primary Control	Detail	Facasplate
BOMBA1	Control Module	Contro...	No	CTLR-23CDEE	1 sec	pruebaAnd		MOD_FP
BOMBA2	Control Module	Contro...	No	CTLR-23CDEE	1 sec	pruebaAnd		MOD_FP
BOMBA3	Control Module	Contro...	No	CTLR-23CDEE	1 sec	pruebaAnd		MOD_FP
BOMBA4	Control Module	Contro...	No	CTLR-23CDEE	1 sec	pruebaAnd		MOD_FP
BOMBA6	Control Module	Contro...	No	CTLR-23CDEE	1 sec	pruebaAnd		MOD_FP
CAUDAL	Control Module	Contro...	No	CTLR-23CDEE	1 sec	pruebaAnd		MOD_FP
CONTROL_T1	Control Module	Contro...	No	CTLR-23CDEE	1 sec	pruebaAnd	Loop_T1	MOD_FP
DEL3	Control Module	Contro...	No	<unassigned>	1 sec	pruebaAnd		MOD_FP
ELECTROVAL	Control Module	Contro...	No	CTLR-23CDEE	1 sec	pruebaAnd		MOD_FP
EMER_T1	Control Module	Contro...	No	CTLR-23CDEE	1 sec			MOD_FP
EMER_T3	Control Module	Contro...	No	CTLR-23CDEE	1 sec			MOD_FP
NORMAL21	Control Module	Contro...	No	CTLR-23CDEE	1 sec			MOD_FP
NORMAL22	Control Module	Contro...	No	CTLR-23CDEE	1 sec			MOD_FP
PID_T3	Control Module	PID co...	No	CTLR-23CDEE	500 ms	pruebaAnd	Loop_T3	MOD_FP
SECUENCIA_T1	Control Module	Contro...	No	<unassigned>	1 sec	pruebaAnd		MOD_FP
SECUENCIA_T21	Control Module	Contro...	No	CTLR-23CDEE	1 sec	pruebaAnd		MOD_FP
SECUENCIA_T22	Control Module	Contro...	No	CTLR-23CDEE	1 sec	pruebaAnd		MOD_FP
TEMP21Y1	Control Module	Contro...	No	CTLR-23CDEE	1 sec	pruebaAnd		MOD_FP
TEMP_T3YT22	Control Module	Contro...	No	CTLR-23CDEE	1 sec	pruebaAnd		MOD_FP

Figura 21: Módulos que componen el control

Estos módulos pueden ser de dos tipos: bloques funcionales o secuencias, estos tipos se describen en los siguientes apartados.

2.2.1. Bloques funcionales

2.2.1.1. Bloque de entrada analógica

El bloque de entrada analógica nos permite acceder a un valor y estado de un canal de entrada; esto lo podemos utilizar para por ejemplo leer un sensor; este bloque nos permite señales de 4-20mA, HART o Fieldbus.



Figura 22: Bloques analógicos de entrada y salida

Este bloque permite funciones de Alarmas, escalado de la señal, y filtrado de la señal. La estructura interna del bloque es la siguiente:

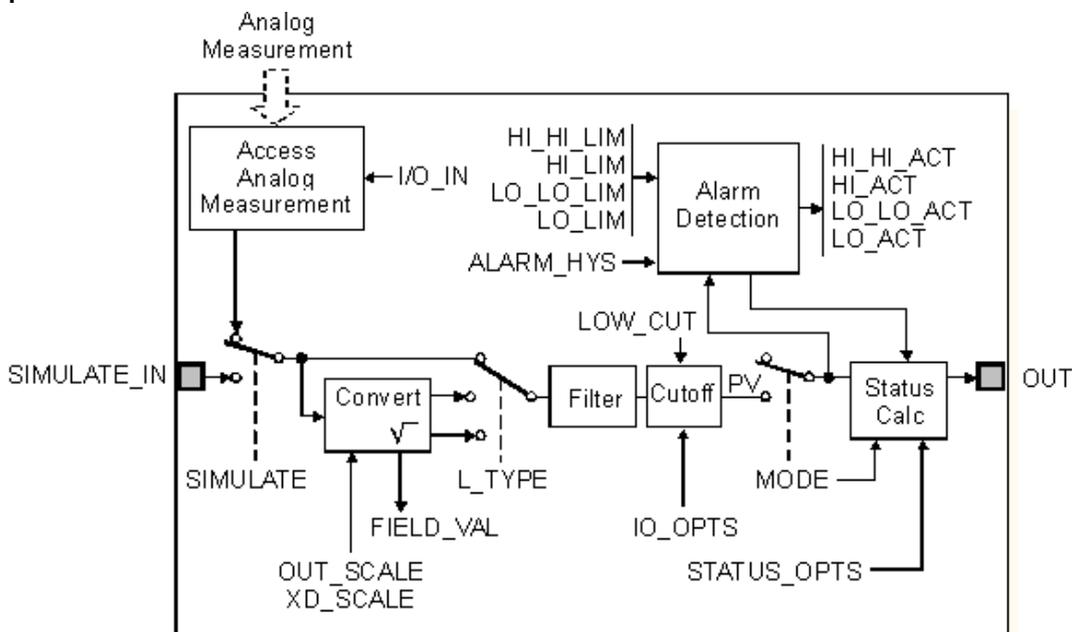


Figura 23: Estructura interna de un bloque de entrada analógico

En esta imagen podemos ver que si “simulate” esta desactivada nos llega la señal del exterior al “convertidor”, este realiza la conversión de la señal a una medida real en unidades de ingeniería siempre que esta señal sea de los tipos permitidos, para realizar esta conversión necesitamos saber la escala en unidades de ingeniería en las que trabaja el sensor que estamos leyendo, esto se configura en el parámetro XD_SCALE, también tenemos que seleccionar mediante el parámetro L_TYPE que tipo de linealización queremos realizar, disponemos de 3 tipos, directa, lineal o mediante la raíz cuadrada.

Una vez tenemos el valor linealizado pasamos a realizarle un filtrado para eliminar el posible ruido que tenga esta entrada, después pasamos a lo que el delta V llama “Cutoff” este bloque nos permite establecer un nivel mínimo, por ejemplo, en nuestra planta cuando se lee un sensor de nivel se sabe que el nivel mínimo de un depósito es 0, de forma que si en el parámetro LOW_CUT ponemos “0” nos permite que si por algún fallo de calibración o por cualquier otro problema nos da un número negativo, la salida de este bloque será 0.

Después de esto tenemos que pasar por la detección de alarmas, esta se basa en 4 tipos de alarmas, delta V las denomina de la siguiente manera: Alarma alta, alarma alta alta, alarma baja y alarma baja baja; es decir nos permite configurar mediante los parámetros HI_LIM y HI_HI_LIM dos valores altos con los que configurar 2 alarmas ya que al verse superado el valor configurados en los parámetros anteriores se activa los parámetros HI_ACT y HI_HI_ACT respectivamente, lo mismo pasa con las alarmas bajas.

Tenemos LO_LIM y LO_LO_LIM que activan LO_ACT y LO_LO_ACT respectivamente cuando la entrada es inferior a los valores configurados en los primeros parámetros. Una vez llegados a este punto llegamos a una etapa en la que se comprueba el estado de la señal es decir si todo ha ido bien en la salida (OUT) obtendremos en la salida el valor leído del sensor con un estado bueno (Good) y si ha ido mal dependiendo de lo que haya ocurrido tendremos un estado “incierto” que significa que no se sabe si el valor leído es cierto o directamente “malo” que implica que la medida es incorrecta. Por ejemplo, si estamos leyendo una señal de 4-20mA y a la entrada leemos 25mA el bloque nos dará la medida correspondiente en unidades de ingeniería a esta lectura, pero como sobrepasa el máximo permitido en la etapa de comprobación de estado la señal quedará marcada como “mala”.

2.2.1.2. Bloque de Salida analógica

El bloque de salida analógica nos permite asignar un valor a un canal de salida, al igual que el de entrada permite salida de 4-20mA, HART y Fieldbus.

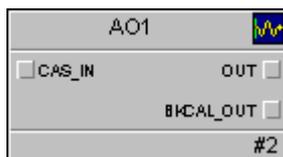


Figura 24: Bloque de salida analógico

La estructura interna de este bloque es la de la siguiente figura:

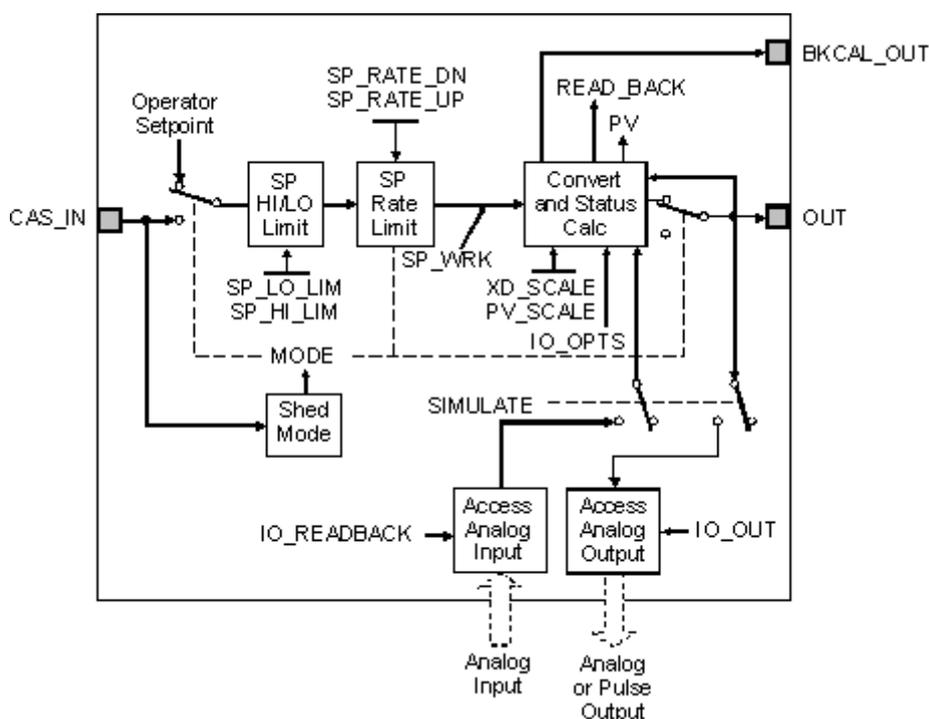


Figura 25: Estructura interna del bloque de salida analógico

El funcionamiento de este bloque es el siguiente: en primer lugar recibimos el valor que queremos enviar por la entrada CAS_IN en función del MODE que tengamos seleccionado podremos saltarnos algunas funciones como puede verse en la imagen, sino nos saltamos ninguna, lo primero que tenemos son unos límites, es decir el valor que nos llega lo comparamos con los parámetros SP_LO_LIM y SP_HI_LIM el primero es un límite inferior y el segundo un límite superior, si el valor sobrepasa uno de estos límites la salida de esta etapa será el valor del límite, después la siguiente etapa limita los cambios bruscos de la salida, es decir, en función de los parámetros SP_RATE_DN y SP_RATE_UP podemos dar la inclinación máxima de bajada y de subida respectivamente que puede tener un cambio en la salida de forma que no pueda ser superior a la programada. Por último, la última etapa es la conversión en la que utilizando XD_SCALE y PV_SCALE transformamos el valor en unidades de ingeniería y

estas ya van al actuador por la salida OUT y se pueden realimentar utilizando BKCAL_OUT (Las escalas en esta etapa funcionan igual que en el bloque de entrada analógica)

Tanto para este bloque como para el bloque de entrada es necesario asignarles lo que Delta V denomina CHARM, esto básicamente es un sensor o actuador asignado a un puerto del controlador, para ello es necesario realizar las siguientes acciones:

En primer lugar, clicamos con el botón derecho sobre el bloque para obtener el siguiente menú.

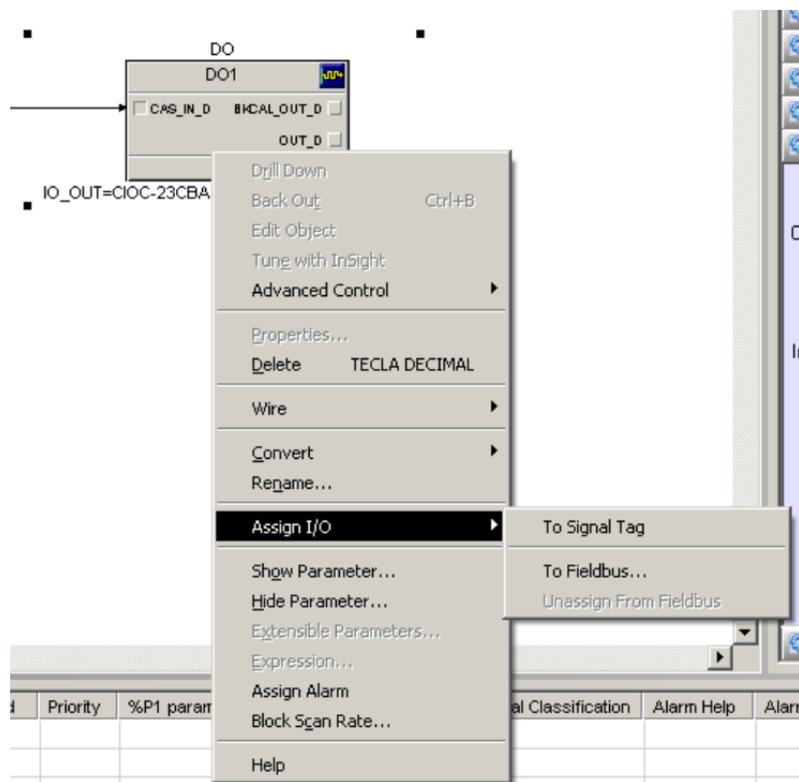


Figura 26: Asignación de un CHARM a un bloque de salida

En este menú elegimos la opción Assign I/O y allí nos da 2 opciones “To signal Tag” o “To Fieldbus” la primera sirve para asignar una señal de 4-20mA y la segunda si es por bus de campo. Una vez elegido el tipo de señal que queremos asignar se abrirá el siguiente menú.



Figura 27: Menú de asignación de un CHARM

En ambos casos basta con buscar la señal que deseamos asignar y ya estaría obteniendo el valor de dicha señal utilizando este bloque.

2.2.1.3. Bloque PID

Este bloque contiene toda la lógica necesaria para implementar un control proporcional integral y derivativo además de muchas funciones las cuales se describirán más adelante, la apariencia del bloque es la siguiente:

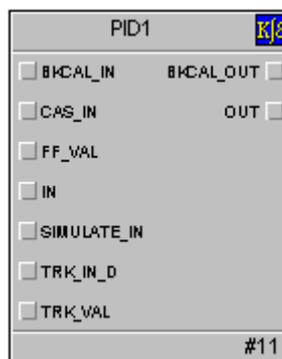


Figura 28: Bloque PID

Para conocer el funcionamiento de este bloque lo primero que necesitamos es conocer todos sus parámetros y su función.

Parámetro	Descripción
ABNORM_ACTIVE	Este parámetro se activa ("True") cuando se cumple alguna condición descrita en BLOCK_ERR que no esté definida en BAD_MASK
ALARM_HYS	El valor que debe devolver la alarma dentro del límite de alarma antes de que desaparezca la condición de alarma activa asociada. ALARM_HYS está limitado al 50% de la escala.
ALERT_KEY	Un número de identificación asignado por el usuario para los mensajes de alarma que permite a las aplicaciones HMI ordenar y filtrar alarmas y eventos.
ALPHA	El valor del filtro para la acción derivativa
ARW_HI_LIM	Es el límite superior para el reset anti windup
ARW_LO_LIM	Es el límite inferior para el reset anti windup
BAD_ACTIVE	La indicación de que una condición de error de bloque seleccionada en BAD_MASK (en el nivel del bloque de funciones) es verdadera (activa).
BAD_MASK	El conjunto de condiciones de error que desencadena una condición incorrecta definida por el usuario. El usuario selecciona un conjunto de condiciones de error (BLOCK_ERR) en el parámetro BAD_MASK. Cuando cualquiera de estas condiciones es Verdadera, el parámetro BAD_ACTIVE se convierte en True.
BETA	Es la fracción de la ganancia que se aplica ante un cambio en la referencia
BIAS	El valor de restablecimiento manual aplicado cuando ESTRUCTURA es 'Acción PD en caso de error' o 'Acción P en caso de error, Acción D en PV'. Para estas estructuras, la opción Actuar sobre control IR determina si BIAS se cambia automáticamente para proporcionar una transferencia sin interrupciones. De lo contrario, el factor requerido para la transferencia sin interrupciones se incrementa en BAL_TIME.
BKCAL_IN	Entrada analógica para realizar la realimentación con otro bloque.
BKCAL_OUT	Salida analógica para realizar una realimentación con otro bloque
BLOCK_ERR	Indica el conjunto de errores asociados a este bloque
BYPASS	Cuando está activo y el bloque está en auto CAS o RCAS trasfiere directamente el valor del setpoint a la salida
CAS_IN	Esta entrada sirve para asignar un SP desde otro bloque
CONDALM_ENABLED	Activa o desactiva las alarmas condicionales
CONTROL_OPTS	Sirve para especificar la estrategia de control que se desee usar, se dispone de las siguientes opciones: <ul style="list-style-type: none"> - Salida sin limitación en manual - Obedezca SP lim si Cas o RCas - Actuar en IR

	<ul style="list-style-type: none"> - Use PV para BKCAL_OUT - Seguir en Manual - Habilitar seguimiento - Acción directa - SP Seguimiento de objetivo retenido - SP-PV Track en LO o IMan - SP-PV Track en ROut - SP-PV Track en MAN - Bypass activo
DV_HI_ACT	Se activa cuando se detecta una alarma de desviación alta
DV_HI_LIM	La cantidad por la cual PV puede desviarse por encima de SP antes de que se active una alarma de desviación alta
DV_LO_ACT	Se activa cuando se detecta una alarma de desviación baja
DV_LO_LIM	La cantidad por la cual PV puede desviarse por debajo de SP antes de que se active una alarma de desviación baja
ENABLE_LEARNING	Habilita o deshabilita el proceso de aprendizaje del PID
ERROR	La diferencia entre el SP y PV
FF_ENABLE	Habilita el control feedforward
FF_GAIN	La ganancia del feedforward
FF_SCALE	El mayor y menor valor en unidades de ingeniería que puede tomar FF_VAL
FF_VAL	El valor de la entrada del feedforward
FIELD_VAL	El valor y el estado de la tarjeta de E/S o de la entrada simulada si la simulación está habilitada.
FORM	Selecciona la forma de la ecuación (serie o estándar). Si se selecciona la opción modificación de ganancia no lineal en FRSPID_OPTS, la formula se convierte automáticamente en estándar, independientemente de la selección configurada de FORM.
FRSPID_OPTS	<p>Las opciones de control de complemento FRSP admitidas son:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Límite de reinicio dinámico - Utilice la salida retrasada en PV malo - Usar la modificación de ganancia no lineal - Use PIDPlus
GAIN	La constante proporcional del PID
GAMMA	Fracción del término derivativo aplicada al SP. Para un valor de 0.6, el 60% de la acción derivada se aplica al SP. El valor de GAMMA se puede cambiar en un rango de 0-1 si STRUCTURE está configurado en "Two Degrees of Freedom Control". De lo contrario, se establece

	automáticamente en un valor de 1 o 0 según la selección de Estructura.
HI_ACT	El resultado de la detección de alarma asociada con HI_LIM. Si HI_ACT es igual a True, se ha excedido HI_LIM.
HI_HI_ACT	El resultado de la detección de alarma asociada con HI_HI_LIM. Si HI_HI_ACT es igual a True, HI_HI_LIM ha sido excedido.
HI_HI_LIM	El ajuste para el límite de alarma utilizado para detectar la condición de “alarma alta alta”(High high alarm).
HI_LIM	El ajuste para el límite de alarma utilizado para detectar la condición de “alarma alta”(high alarm).
IDEADBAND	El valor de la banda muerta. Cuando el error llega a IDEADBAND, la acción integral se detiene. La acción proporcional y derivada continúa.
IN	El valor y el estado de la entrada analógica
INSPECT_ACT	Indica si Inspect está habilitado y uno o más de los límites para el bloque se han excedido. El valor normal es 0.
IO_IN	Define el DST de entrada para el canal de E / S utilizado para el PV.
IO_OPTS	Las opciones de E / S le permiten seleccionar cómo se procesan las señales de E / S. Cuando el bloque se asigna a un controlador, las opciones admitidas son: <ul style="list-style-type: none"> - Corte bajo - Aumentar para cerrar <p>Cuando el bloque está asignado a un dispositivo fieldbus, el parámetro IO_OPTS no está disponible.</p>
IO_OUT	Define el DST de salida para el bloque.
IO_READBACK	Define la etiqueta de señal del dispositivo (DST) para el canal de entrada que proporciona la lectura para el valor escrito en el canal definido por IO_OUT.
L_TYPE	Tipo de linealización Determina si el valor del campo se usa directamente (Directo), se convierte linealmente (Indirecto) o se convierte con la raíz cuadrada (Raíz cuadrada indirecta).
LO_ACT	El resultado de la alarma asociada con LO_LIM. Si LO_ACT es igual a True, LO_LIM ha sido excedido.
LO_LIM	La configuración del límite utilizado para detectar la condición de alarma baja.
LO_LO_ACT	El resultado de la alarma asociada con LO_LO_LIM. Si LO_LO_ACT es igual a True, se ha excedido LO_LO_LIM.
LO_LO_LIM	La configuración del límite utilizado para detectar la condición de alarma baja baja.

LOW_CUT	Se activa cuando la opción de E / S de corte bajo está habilitada. Cuando la medida convertida está por debajo del valor LOW_CUT, el PV se establece en 0.
MODE	Parámetro utilizado para mostrar y establecer el estado de funcionamiento del bloque. MODE contiene los modos real, objetivo, permitido y normal.
NL_GAP	El rango configurado de ERROR, positivo o negativo, donde el modificador de ganancia tiene un valor mínimo. El rango es 0 -> (PV_SCALEHI-PV_SCALELO).
NL_HYST	Valor de histéresis de la banda muerta. El rango es 0 > (PV_SCALEHI-PV_SCALELO).
NL_MINMOD	El modificador de ganancia mínimo configurado. El rango es 0 > 1.0.
NL_TBAND	El rango configurado de ERROR, positivo o negativo, donde el modificador de ganancia transita entre NL_MINMOD y 1.0. El rango es 0 > (PV_SCALEHI-PV_SCALELO).
OUT	El valor de salida analógica y el estado.
OUT_HI_LIM	El valor máximo de salida permitido.
OUT_LO_LIM	El valor de salida mínimo permitido.
OUT_READBACK	El valor y el estado del canal de salida al que hace referencia IO_READBACK.
OUT_SCALE	Los valores de escala alta y baja, el código de unidades de ingeniería y el número de dígitos a la derecha del punto decimal asociado con OUT.
PLUGINSTAT_OPTS	<p>Informa el estado del parámetro ENABLE_LEARNING. Si el valor para:</p> <ul style="list-style-type: none"> - ENABLE_LEARNING es True y PLUGINSTAT_OPTS es 1, Process Learning está habilitado para el bloque PID. - ENABLE_LEARNING es False y PLUGINSTAT_OPTS es 0, Process Learning está deshabilitado para el bloque PID. - ENABLE_LEARNING es True y PLUGINSTAT_OPTS es 0, Process Learning no está habilitado para el bloque PID.
PROCESS_TYPE	Define el tipo esperado de respuesta al proceso: autorregulación o integración
PV	La variable de proceso utilizada en la ejecución del bloque y la detección del límite de alarma. Un bloque PID no se integrará si el estado límite de PV es CONSTANTE.
PV_FTIME	La constante de tiempo del filtro PV de primer orden.

PV_SCALE	Los valores de escala alta y baja, el código de unidades de ingeniería y el número de dígitos a la derecha del punto decimal asociado con PV.
RATE	La constante de tiempo de acción derivada.
RCAS_IN	El valor y estado del punto de ajuste analógico remoto. Entrada proporcionada por un dispositivo o la salida de otro bloque.
RCAS_OUT	El equivalente de BKCAL_OUT para RCAS_IN.
RECOVERY_FLTR	Filtro de recuperación de saturación. Ignorado a menos que se seleccione FRSPID_OPTS PIDPlus. Valores válidos entre 0.0 y 1.0. Cuanto menor es el valor, más agresiva es la respuesta.
RESET	La constante de tiempo de acción integral.
ROUT_IN	Valor y estado de salida remota. Entrada proporcionada por un dispositivo al bloque de control para usar como salida (modo ROut)
ROUT_OUT	El equivalente de BKCAL_OUT para ROUT_IN.
SHED_OPT	Define la acción a tomar en el tiempo de espera del dispositivo de control remoto.
SHED_TIME	El tiempo máximo permitido entre RCAS_IN o ROUT_IN actualizado.
SIMULATE	Habilita la simulación y le permite ingresar un valor y estado de entrada. El bloque SIMULATE_IN solo utiliza el valor SIMULATE cuando no está conectado o actualizado por una aplicación.
SIMULATE_IN	El valor del conector de entrada y el estado utilizado por el bloque en lugar de la medición analógica cuando la simulación está habilitada. Si SIMULATE_IN está conectado o tiene un valor ingresado manualmente, SIMULATE_IN siempre anula SIMULATE.
SP	El valor de consigna del bloque.
SP_FTIME	Constante de tiempo del filtro SP de primer orden.
SP_HI_LIM	El valor SP más alto permitido
SP_LO_LIM	El valor SP más bajo permitido.
SP_RATE_DN	Velocidad de rampa de bajada en la cual se actúan los cambios de punto de ajuste hacia abajo en el modo Auto, en unidades PV por segundo. Si la velocidad de rampa se establece en 0.0, entonces el punto de ajuste se usa inmediatamente. Para los bloques de control, la limitación de velocidad se aplica solo en Auto. Para los bloques de salida, la limitación de velocidad se aplica en los modos Auto, Cas y RCas.
SP_RATE_UP	Velocidad de rampa de subida en la que se actúan los cambios de punto de ajuste hacia arriba en el modo Auto, en unidades PV por segundo. Si la velocidad de rampa se establece en 0.0, entonces el punto de ajuste se usa inmediatamente. Para los bloques de control, la limitación de velocidad se aplica solo en Auto. Para los

	bloques de salida, la limitación de velocidad se aplica en los modos Auto, Cas y RCas.
SP_WRK	El punto de consigna de trabajo del bloque está sujeto a SP_RATE_DN y SP_RATE_UP.
STATUS_OPTS	<p>Las opciones de estado determinan el manejo y el procesamiento del estado. Si el bloque está asignado a un controlador, las opciones disponibles son:</p> <p>Malo si limitado</p> <p>Incierto si limitado</p> <p>Objetivo para manual si es malo</p> <p>Use incierto como bueno</p> <p>Si el bloque está asignado a un dispositivo de bus de campo, las opciones disponibles son:</p> <p>Objetivo para manual si es malo</p> <p>Use incierto como bueno</p> <p>IFS si es malo CAS_IN</p> <p>IFS si es malo</p>
STDEV	La desviación estándar de PV. Para los bloques de control analógico en AUTO, se supone que la media es el SP.
STDEV_CAP	La desviación estándar de la capacidad estimada (medición de la variación a corto plazo). Una estimación de la mínima desviación estándar que el proceso podría lograr de manera ideal.
STDEV_TIME	<p>El período de tiempo durante el cual se realizan STDEV y STDEV_CAP. El valor predeterminado de cero es bueno para la mayoría de los procesos donde la tasa de exploración no es más de aproximadamente 10 veces más rápida que el tiempo hasta el estado estable.</p> <p>Si el proceso es relativamente mucho más lento, se recomienda ingresar el tiempo aproximado que tarda el proceso en volver al estado estable después de un cambio. Esto garantiza que los cálculos STDEV y STDEV_CAP consideren con precisión la constante de tiempo real del proceso.</p>
STRATEGY	Se usa para identificar agrupaciones de bloques. Esta información no es verificada ni procesada por el bloque.
STRUCTURE	Define la estructura de ecuación PID para aplicar la acción del controlador.
TRACK_OPT	Opción de seguimiento. Le permite seleccionar el comportamiento de seguimiento cuando el estado de

	<p>TRK_IN_D es malo. Las tres opciones de seguimiento son:</p> <p>Usar siempre valor: el bloque reacciona al valor actual de TRK_IN_D independientemente del estado.</p> <p>Use Last Good Value: el bloque usa el valor de TRK_IN_D la última vez que su estado no fue malo. Este es el valor predeterminado para TRACK_OPT. Tenga en cuenta que el último valor bueno no se conserva en el cambio de controlador.</p> <p>Seguir si es malo: si el estado de TRK_IN_D es malo, el bloque reacciona como si el valor fuera verdadero, incluso si el valor es falso.</p>
TRK_IN_D	Entrada discreta que inicia el seguimiento externo
TRK_SCALE	Los valores de escala alta y baja, el código de unidades de ingeniería y el número de dígitos a la derecha del punto decimal asociado con el valor de seguimiento externo (TRK_VAL).
TRK_VAL	La entrada analógica utilizada en la función de seguimiento externo.
VAR_IDX	El índice de variabilidad que se calcula en función de los valores de STDEV y STDEV_CAP. El rango es 0-100.
VAR_IDX_LIM	Inspeccionar indica que los bloques tienen una gran variabilidad si el valor de STDEV excede el valor de STDEV_LIMIT. El rango es 0-100.

Este bloque posee la siguiente estructura:

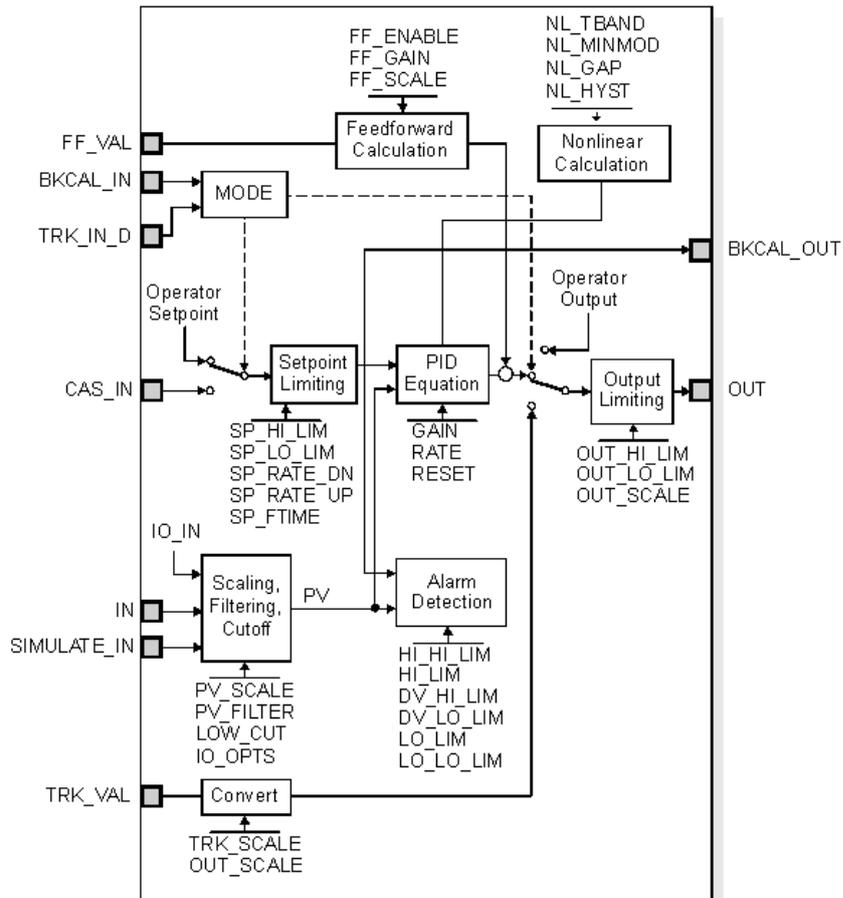


Figura 29: Estructura interna de un bloque PID

El funcionamiento de este bloque tal como se ve en la imagen anterior sería el siguiente:

Como entradas básicas tenemos **IN** y **CAS_IN** la primera es donde introducimos la variable controlada y por la segunda la realimentación de la variable manipulada. La primera entraría en un bloque en la que se escala utilizando los parámetro anteriormente descritos, se filtra y se comprueba que su valor no sea menor que el programado en Cutoff, de aquí pasa a la detección de alarmas y a la ecuación del PID, por otro lado el **CAS_IN** pasa por un bloque que básicamente lo que hace es comprobar que estamos dentro de los límites y de ahí va a la ecuación del PID, usando la constante proporcional, el tiempo integral, tiempo derivativo y setpoint obtenemos la salida del PID, antes de salir del bloque esta pasa por una comprobación de que no haya superado unos límites anteriormente programados y ya se escala en las unidades a las que funciona nuestra variable manipulada.

El funcionamiento más básico de este bloque sería un lazo simple de control como el siguiente:

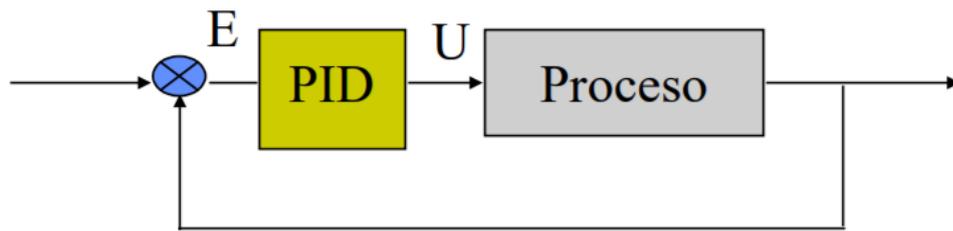


Figura 30: Lazo de control simple

Esto implementado en Delta V quedaría de la siguiente manera:

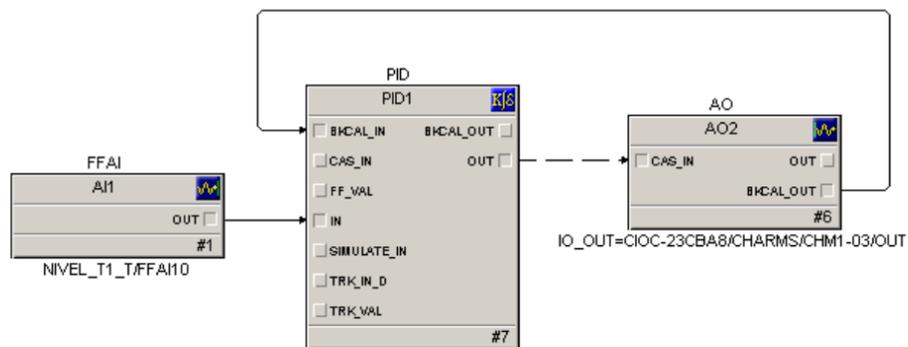


Figura 31: Lazo de control simple implementado en delta V

Conectamos la lectura del sensor a la entrada “IN” del PID la salida “OUT” al “CAS_IN” del actuador y por último conectamos la realimentación que va desde “BKCAL_OUT” del AO hasta el “BKCAL_IN” del PID, de esta forma podríamos controlar el nivel de un tanque si el AI fuese por ejemplo un sensor de nivel y el AO actuase sobre una bomba capaz de introducir y/o sacar el fluido del depósito.

Internamente el PID de Delta V posee la siguiente ecuación:

$$OUT(s) = GAIN_a * KNL * \left(1 + \frac{1}{T_r s} + \frac{T_d s}{(\alpha T_d s + 1)} \right) * E(s) + F(s)$$

Feedforward

Esta ecuación como se puede observar está diseñada para poder incluir un control feedforward, la estructura de este PID es un PID Real no iterativo, es decir:

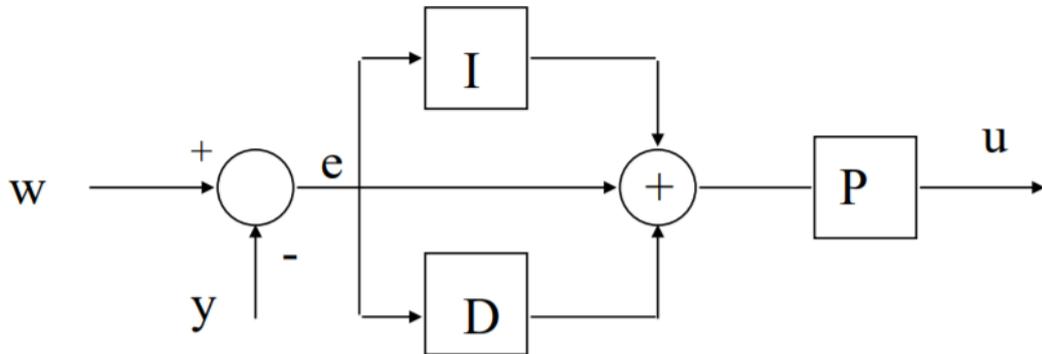


Figura 32: Estructura estándar del PID de delta V

Posee el termino integral paralelo al derivativo y ambos en serie con el proporcional.

Los parámetros en la ecuación son:

- $E(s)$ es el error (SP-PV)
- KNL es la ganancia no lineal aplicada a los termino proporcional e integral, pero no al derivativo
- T_r es el tiempo integral coincide con el parámetro RESET cuya unidad son los segundos
- T_d es el tiempo derivativo que coincide con el parámetro RATE cuya unidad son los segundos
- $GAIN_a$ es el termino proporcional del PID
- $F(s)$ es la contribución del Feedforward

2.2.1.4. Bloques lógicos

El primer bloque lógico es el comparador, nos permite comparar 2 variables y nos da como resultado "TRUE" si se ha cumplido la condición.

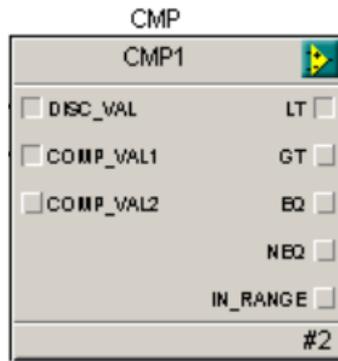


Figura 33: Bloque comparador

Este bloque realiza varias comparaciones al mismo tiempo, utiliza las 3 entradas DISC_VAL, COMP_VAL1 y COMP_VAL2 para lo siguiente:

Operación	LT	GT	EQ	NEQ	IN_RANGE
DISC_VAL > COMP_VAL1	0	1	0	1	¿?
DISC_VAL < COMP_VAL1	1	0	0	1	¿?
DISC_VAL = COMP_VAL1	0	0	1	0	¿?
DISC_VAL ∈ [COMP_VAL1, COMP_VAL2]	¿?	¿?	¿?	¿?	1

La estructura interna del bloque es la siguiente:

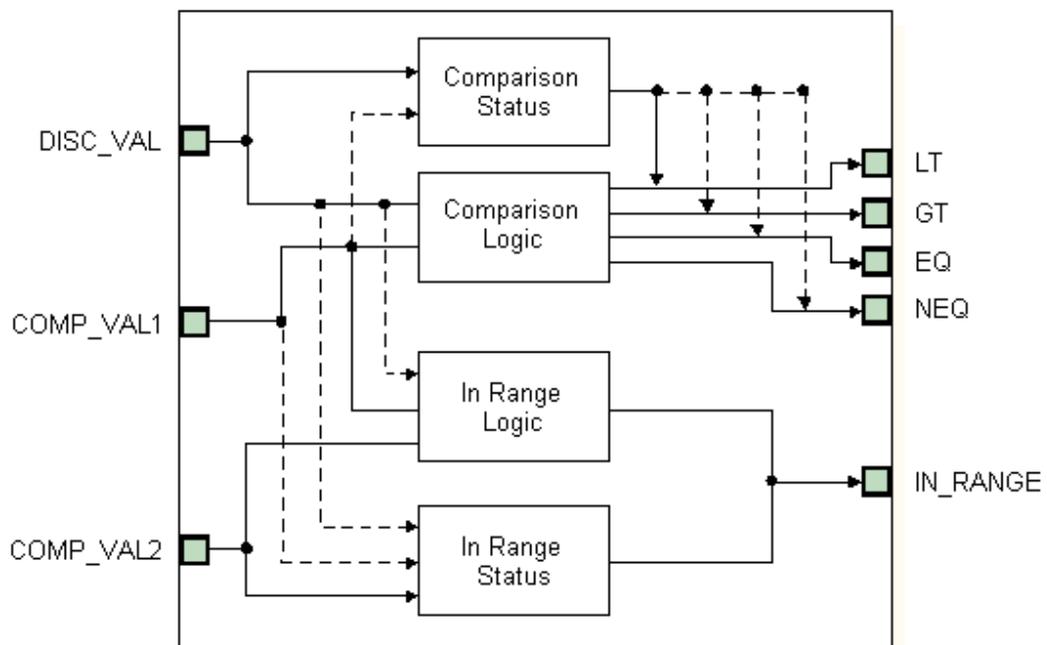
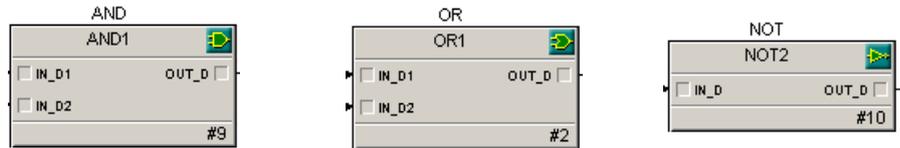


Figura 34: Estructura interna bloque comparador

En ella se puede observar el comportamiento descrito en la tabla anterior.

Los siguientes bloques lógicos utilizados son las puertas lógicas AND, OR y NOT



AND			OR			NOT	
IN_1	IN_2	OUT	IN_1	IN_2	OUT	IN	OUT
0	0	0	0	0	0	0	1
1	0	0	1	0	1	1	0
0	1	0	0	1	1		
1	1	1	1	1	1		

Figura 35: Bloques de puertas lógicas con sus tablas de verdad

2.2.1.5. Bloques de operaciones matemáticas

En este apartado se agrupan los bloques que realizan operaciones matemáticas con varias variables, son:

- Multiplicador:



Figura 36: Bloque multiplicador

Este bloque posee 2 entradas y 1 salida, su función interna es la siguiente:

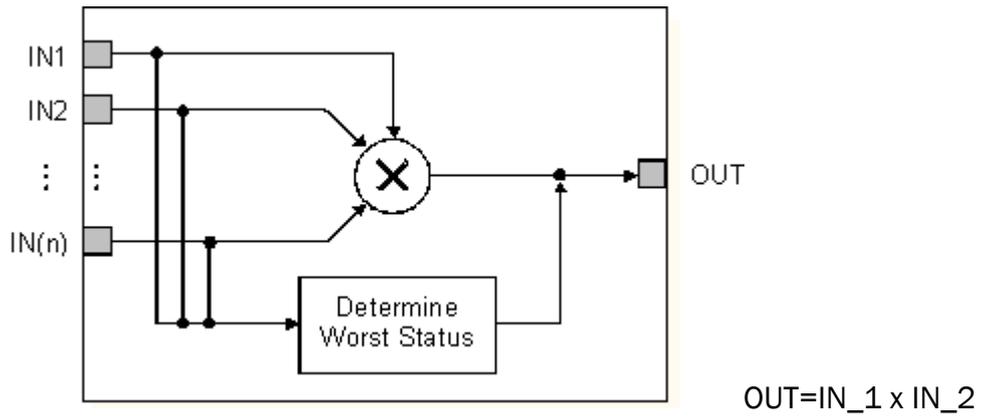


Figura 37: Estructura interna del bloque multiplicador

- Restador

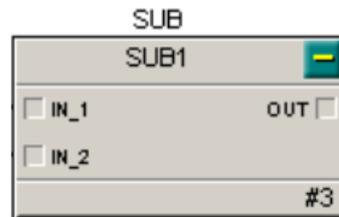


Figura 38: Bloque restador

Este bloque posee la siguiente estructura:

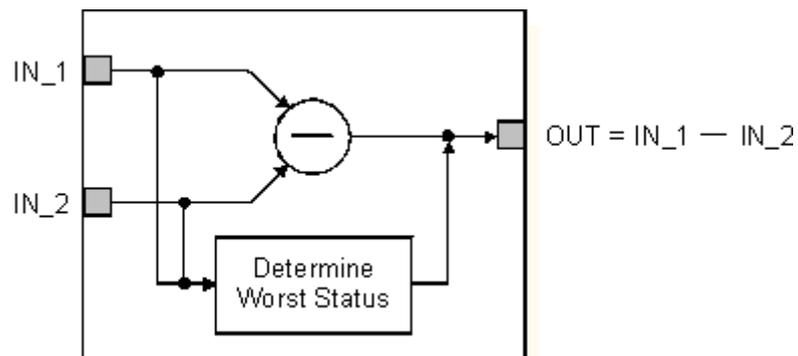


Figura 39: Estructura interna bloque restador

2.2.1.6. Otros bloques

Dentro de este apartado se incluyen los bloques cuya función es generar parámetros que nos permitan interactuar entre varios módulos.



Figura 40: Bloques de parámetros

2.2.2. Secuencias

Las secuencias son un conjunto de acciones que se van realizando de forma secuencial cuando se cumplen una serie de condiciones. Para el control de esta planta se necesitan las siguientes secuencias:

2.2.2.1. Deposito 21 y 22

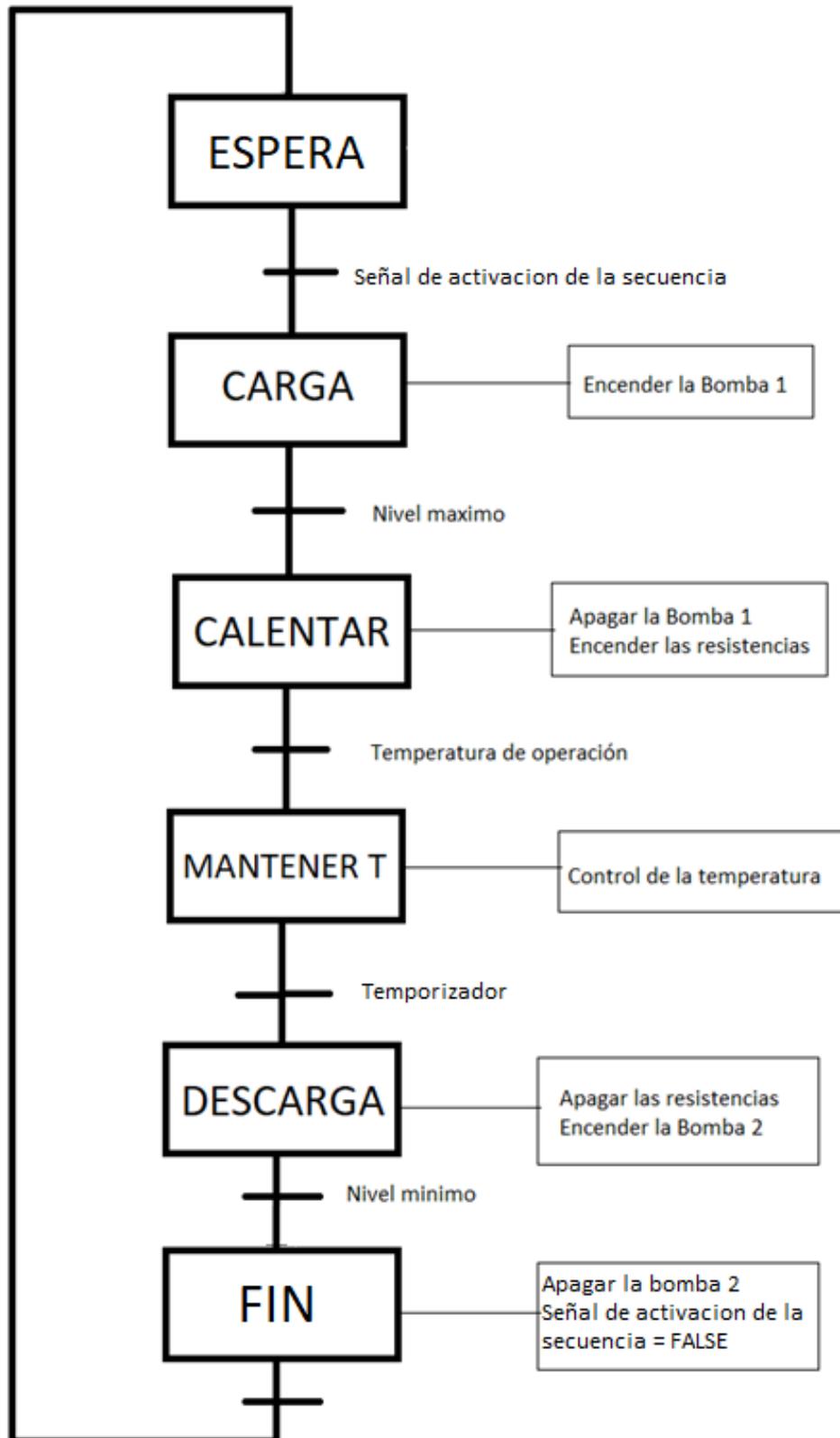


Figura 41: secuencia de funcionamiento del tanque 21

El funcionamiento de esta secuencia es el siguiente:

En primer lugar, esta secuencia permanecerá a la espera hasta que el usuario u otra secuencia le envíe lo que en la imagen se llama “señal de activación de la secuencia” que en la práctica es un parámetro que puede tener 2 valores True o False, si este parámetro es True la secuencia se activa.

De esta manera la secuencia encenderá la bomba 1 hasta que el depósito alcance su nivel máximo, es decir, hasta que el sensor superior e inferior detecten fluido.

Llegados a este punto se encenderán las resistencias hasta que se alcance la temperatura deseada, programada por el usuario, entonces mantendrá la temperatura constante durante un tiempo determinado, también programado por el usuario.

Pasado este tiempo la secuencia encenderá la bomba 2 hasta alcanzar el nivel mínimo, es decir hasta que ningún sensor de nivel detecte fluido, una vez parada la bomba la secuencia quedará a la espera hasta que se vuelva a activar.

Para el tanque 22 el funcionamiento es exactamente el mismo con la excepción de que cuando aquí se dice que se enciende la bomba 1 o la bomba 3 en el tanque 22 se encenderán la 3 o la 4 respectivamente.

2.2.2.2. Secuencias de emergencia

Para gestionar las alarmas que se puedan producir por mal funcionamiento de alguno de los actuadores del sistema se utiliza la alarma HI_HI_ACT esta alarma es teóricamente imposible de darse ya que para llegar al nivel necesario antes abra saltado HI_ACT que como se describe en el apartado de control esta alarma bloquea todas las entradas de fluido por lo que en teoría no se puede pasar de ese nivel, pero si se produjese un fallo en una bomba, válvula o electroválvula que produjese una entrada sin control de fluido o que se introdujese fluido de forma ajena a los sistemas de la planta podríamos llegar a desbordar los depósitos por ello se ha diseñado un sistema que en caso de este tipo de situación sea capaz dentro de lo posible de solventar esta situación, es lo siguiente:

- Tanque 1: Si en este tanque se produjese una alarma HI_HI_ACT esto activaría la siguiente secuencia:

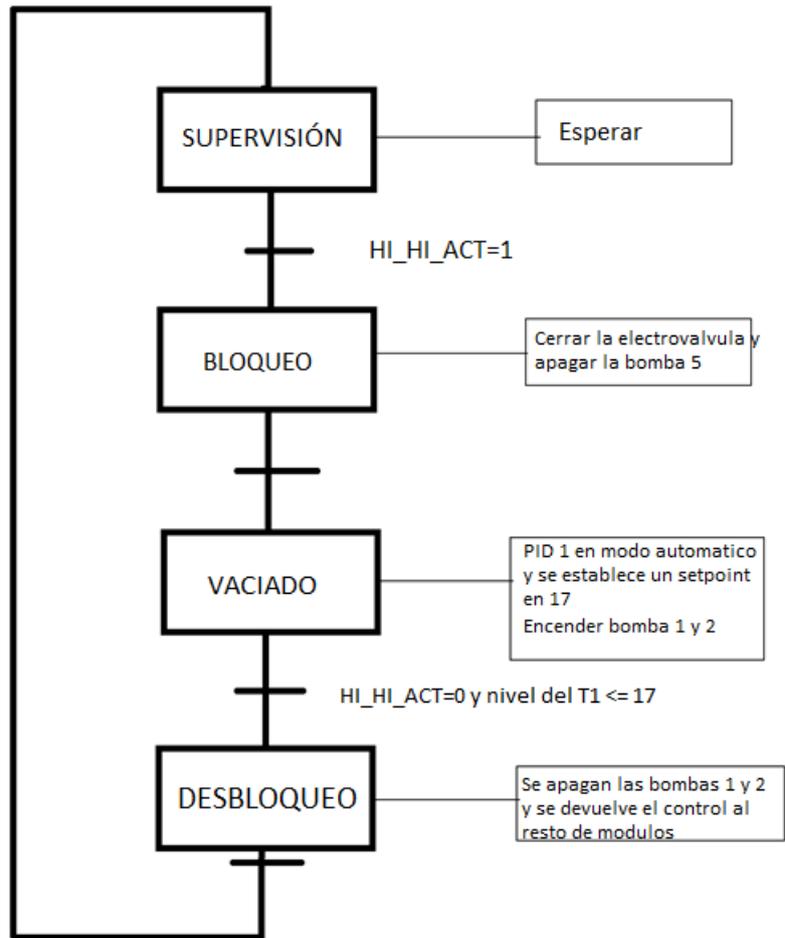


Figura 42: Secuencia de tratamiento de alarma de nivel muy alto para el tanque 1

- Tanque 3: Si en este tanque se produjese una alarma HI_HI_ACT esto activaría la siguiente secuencia:

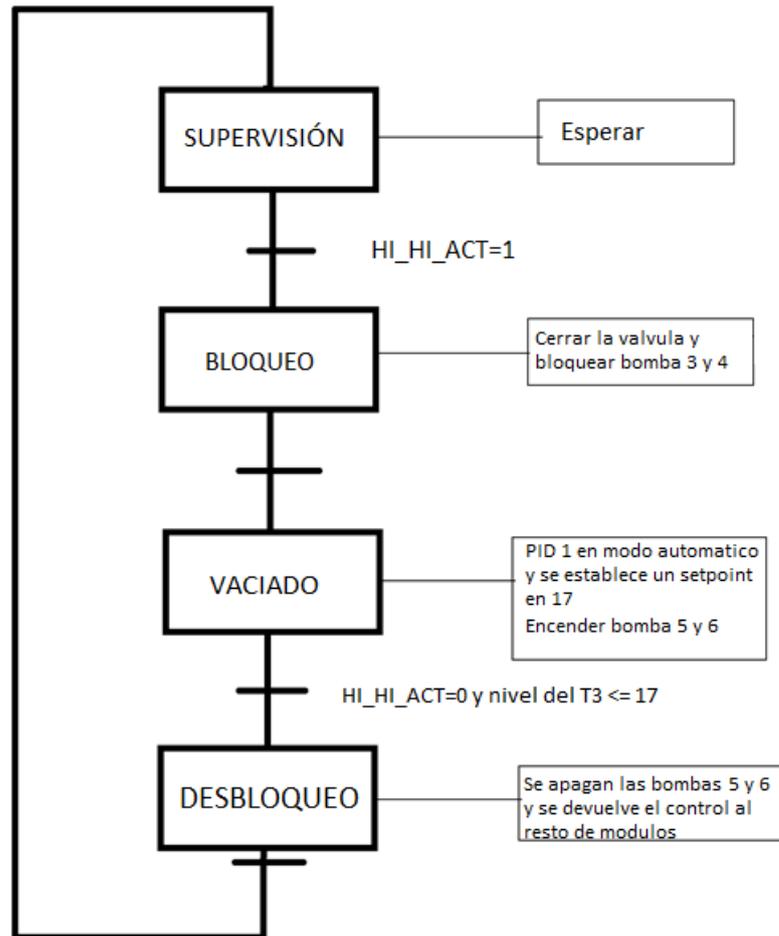


Figura 43: Secuencia de tratamiento de alarma de nivel muy alto para el tanque 3

El funcionamiento de estas 2 secuencias es el siguiente: En primer lugar, se cierran las entradas de fluido del depósito, a continuación, se procede a vaciar el depósito encendiendo las bombas de desagüe de los respectivos depósitos y se establece un setpoint de 17 en los PIDs para que cuando acabe la secuencia se encuentre a un nivel estable, cuando el depósito baja de 17cm la secuencia acaba y devuelve el control de los actuadores a los lazos de control de la planta.

2.2.2.3. Diseño de secuencias

Para diseñar una secuencia en delta V disponemos de 2 elementos principales, el “Step” y la “transition” estos dos elementos nos permiten generar cualquier secuencia anteriormente descrita.

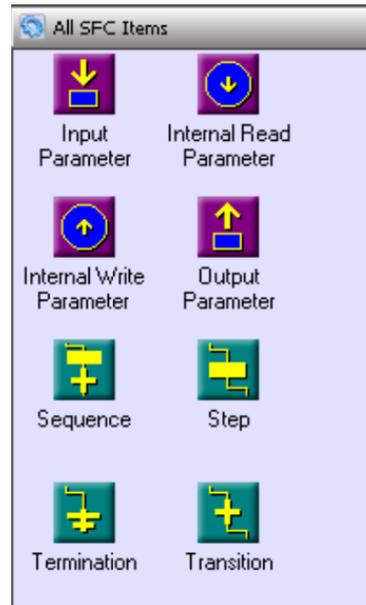


Figura 44: Elementos disponibles para el diseño de una secuencia

Los “step” sirven para incluir cualquier número de acciones que quieras que realice la planta llegado a este elemento mientras que la transition sirve para incluir una serie de condiciones que deben cumplirse para poder pasar de un step a otro.

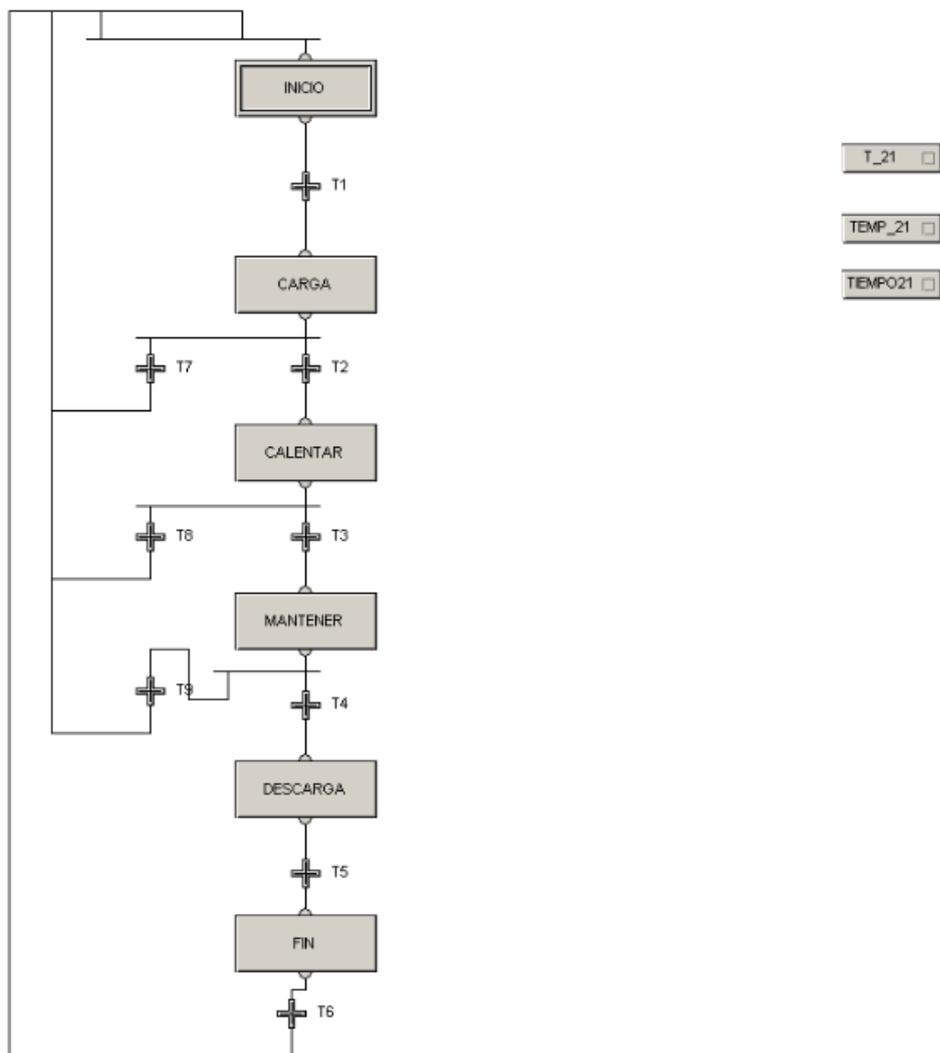


Figura 45: Secuencia del tanque 21 implementada en delta V

En la secuencia de la figura 45 podemos ver como se ha realizado la secuencia, podemos ver que entre 2 step siempre hay una transition necesaria para movernos de un step a otro, si se requiere que no haya ninguna condición para pasar de un step a otro sigue siendo necesario incluir una transition, aunque en la condición de esta se escribirá "true" y con esto delta V entenderá que debe pasar al siguiente step independientemente de lo que suceda.

En esta secuencia además tenemos 3 bloques de parámetros, el primero sirve para arrancar la secuencia y los otros 2 para modificar el funcionamiento de esta, esto es necesario hacerlo así si se quieren manipular desde el exterior. En nuestro caso estos parámetros se utilizan para modificarlos desde el SCADA.

Para introducir una condición sobre una transition basta con dar doble clic sobre esta y se abre el menú de la siguiente figura.

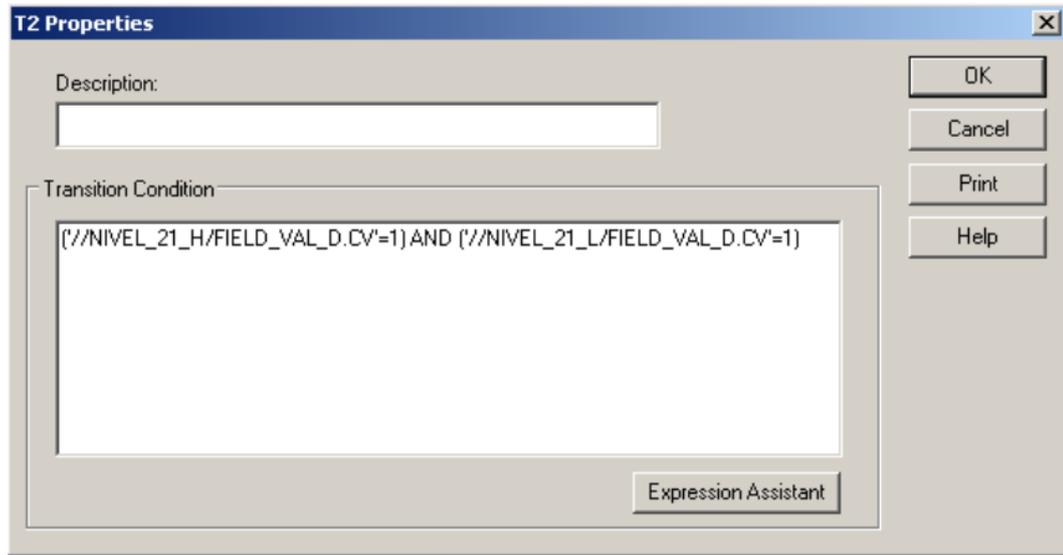


Figura 46: Propiedades del elemento transition

El cuadro que se abre son las propiedades del bloque en el podemos ver 2 cuadros en los que podemos introducir texto, el primero nos permite describir lo que hace el elemento de forma opcional y en el segundo escribimos la condición que queremos que se cumpla en esta transition. En el caso de la figura tenemos la condición de transition T2 de la figura 45 que básicamente es que los sensores del tanque 21 detecten fluido por lo que se ha llenado el tanque.

Por último, nos queda como introducir las acciones que queremos que lleve a cabo cada step.

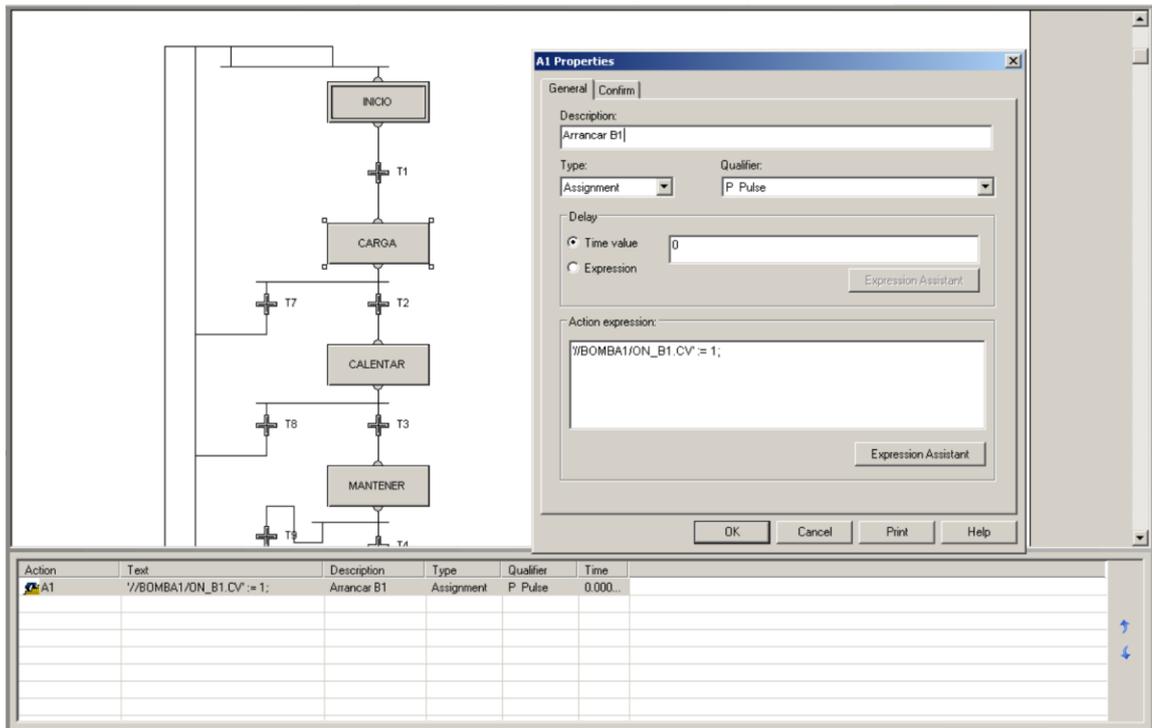


Figura 47: Propiedades de un step

Para introducir una nueva acción basta con clicar con el botón derecho en la lista de acciones de la parte inferior de la figura 47, y dar en la opción de añadir nueva acción o si se desea modificar una acción ya programada basta con dar doble clic sobre ella y en ambos casos se abrirán las propiedades del bloque.

Para añadir la acción llegados a este punto basta con ir al cuadro de texto “Action expression” y aquí escribimos todas las acciones que queramos separadas unas de otras por punto y coma.

2.2.3. Lazos de control

Para realizar el control de todos los sistemas de la planta es necesario un conjunto de bloques que junto con las secuencias permiten el correcto funcionamiento de la planta.

2.2.3.1. Lazo de control del tanque 1

Este lazo contiene 2 partes diferenciadas, una parte que es el control y otra parte que es la gestión de alarmas.

Control

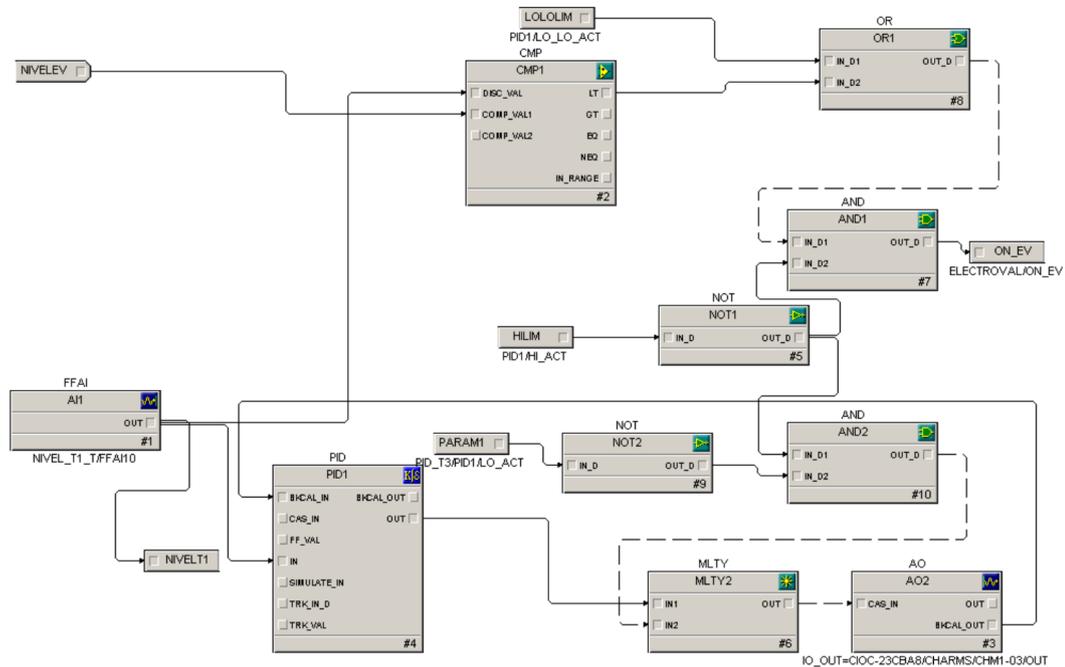


Figura 48: Modulo de control del tanque 1

En este lazo podemos diferenciar 2 tipos de control, un control continuo mediante un PID para la bomba con variador y un control discreto para el control de la electroválvula.

El control discreto consiste en un comparador con un parámetro llamado "NIVELEV" que básicamente consiste en el nivel máximo que queremos tener en el tanque 1, de forma que la electroválvula permanecerá abierta a menos que se supere dicho valor.

El control PID consiste en un lazo simple.

Para funcionar correctamente ha sido necesario sintonizar el PID correctamente para ello se ha utilizado un programa que viene incluido dentro del software del Delta V, InSight, este programa lo que hace es abrirte la siguiente ventana:

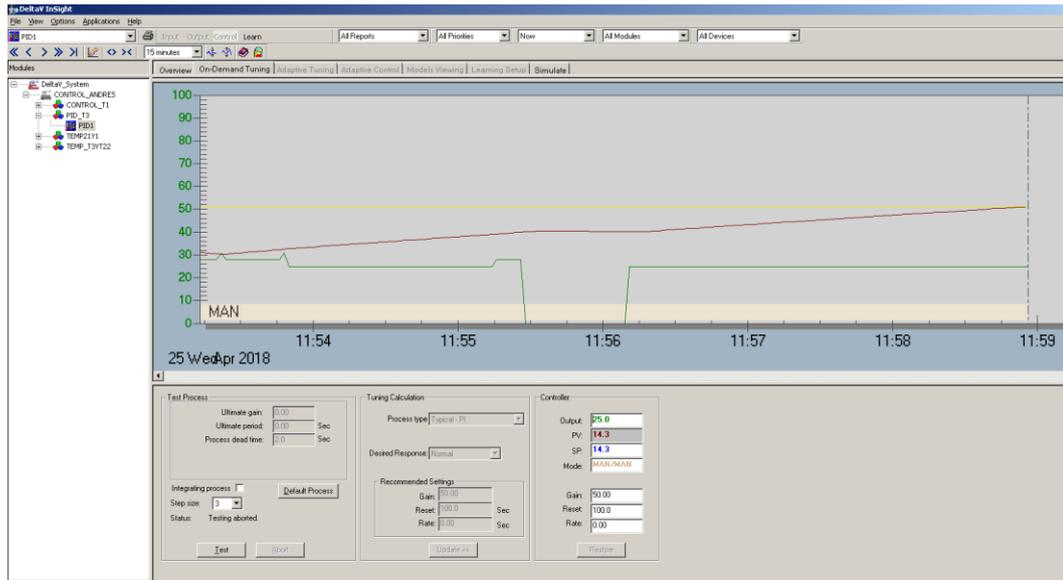


Figura 49: Sintonización de un PID mediante Insight

En esta ventana nos aparece un gráfico que nos indica, en amarillo la referencia, en rojo el valor real que estamos midiendo y en verde la salida del PID, debajo de esto tenemos una serie de datos que nos permite programar 2 cosas, por una parte, el ensayo necesario que realiza este programa para sintonizar el PID y por otro lado el tipo de PID que deseamos usar ya sea un PI, PID con filtro, PID en serie, PD...

El ensayo que realiza el programa es va aumentando y disminuyendo la variable manipulada durante unos determinados periodos de tiempo comenzando un con un tiempo relativamente grande (según hayas determinado el tipo de proceso) y va haciendo intervalos cada vez más pequeños hasta que obtiene suficiente información.

Gestión de alarmas

Los bloques que se encargan de gestionar las alarmas hacen lo siguiente:

- Si el tanque llega a un nivel demasiado alto se activa un parámetro llamado HI_ACT este parámetro va a un bloque NOT y de ahí va por un lado a un bloque AND cuyas entradas son la salida del comparador que activa la electroválvula y dicho parámetro negado de forma que al activarse este parámetro la salida del bloque AND sea 0 y no pueda activarse la electroválvula y por otro lado va a un multiplicador cuya otra entrada es la salida del PID que controla el variador y de la misma forma

de antes tenemos que si se activa esta alarma la salida del PID se multiplica por 0 haciendo imposible activar el variador, de esta forma una vez que dicha alarma se activa no es posible mediante los actuadores de la planta seguir introduciendo fluido en el Tanque 1.

- Si el tanque llega un nivel demasiado bajo al cual las bombas de salida si se encendieran no tuviesen agua que bombear se activa la alarma LOW_ACT, esta alarma lo que hace es activar la electroválvula usando un bloque OR a la salida del comparador. En la hipotética situación en la que tanto la alarma de nivel bajo como la de nivel alto se activaran la de nivel alto tiene prioridad sobre la de nivel bajo ya que se considera preferible que el depósito se vacíe a que se desborde.

2.2.3.2. Lazo de control del tanque 3

Este lazo contiene 2 partes diferenciadas, una parte que es el control y otra parte que es la gestión de alarmas.

Control

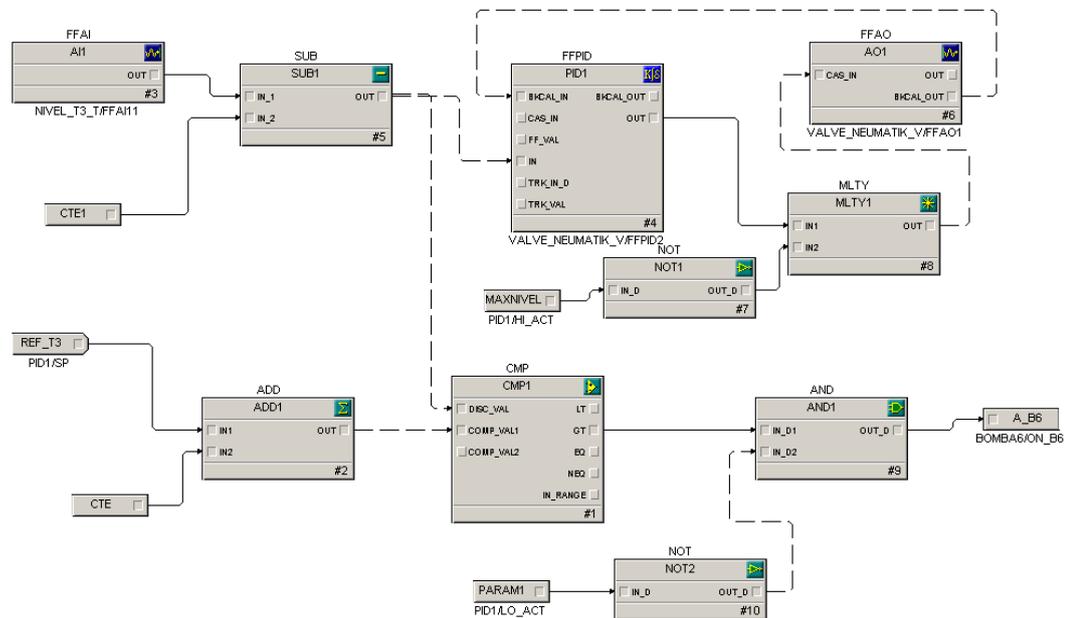


Figura 50: Modulo de control del tanque 3

Este lazo de control funciona igual que el del tanque 1 pero se controla la bomba 6 de forma discreta, y la válvula neumática de forma continua, en este caso tenemos la bomba 6 para disminuir el nivel y la válvula para aumentarlo, como posibles perturbaciones tenemos las bombas 3 y 4 que descargarán fluido según les indique la secuencia y la bomba 5 que está controlada por el lazo del tanque 1.

Gestión de alarmas

Las alarmas en este tanque funcionan de la siguiente manera:

- Nivel demasiado alto, si esto ocurre utilizando el parámetro HI_ACT se bloquea la entrada por la válvula de la misma manera que en el tanque 1 con la bomba 5 y se cierran las bombas 3 y 4.
- Nivel demasiado bajo, si esto ocurre se activa LOW_ACT este parámetro bloquea la bomba 6 igual que la electroválvula en el tanque 1 y bloquea también la bomba 5.

2.2.3.3. Lazo de control del tanque 21

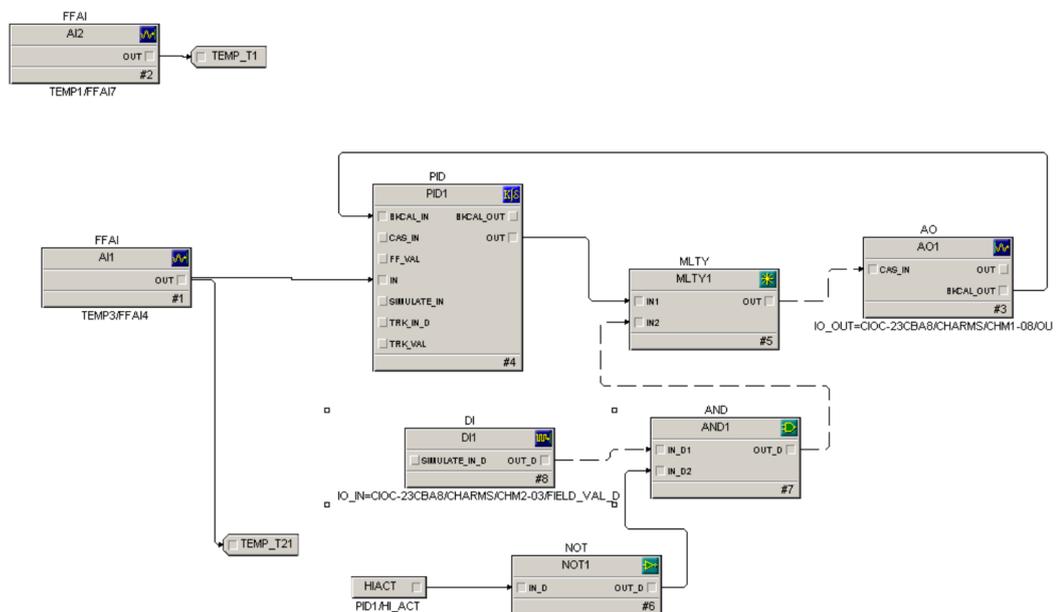


Figura 51: Control de temperatura del tanque 21

Este lazo de control consiste en un PID configurado en lazo simple, pero con 2 medidas de seguridad, en primer lugar, tenemos que si el sensor de la parte superior del tanque no detecta agua no se pueden encender las resistencias, esto se ha hecho así para evitar que las resistencias se dañen cuando los tanques están vacíos. La segunda medida de seguridad que se ha tomado es un limite en la temperatura, es decir se ha colocado como temperatura máxima 45 °C, cuando se supera esta temperatura se activa una alarma que apaga las resistencias, esto se ha hecho así debido a que el material de los tanques es capaz de soportar 60°C por ello se ha limitado dejando un margen de seguridad.

2.2.3.4. Lazo de control del tanque 22

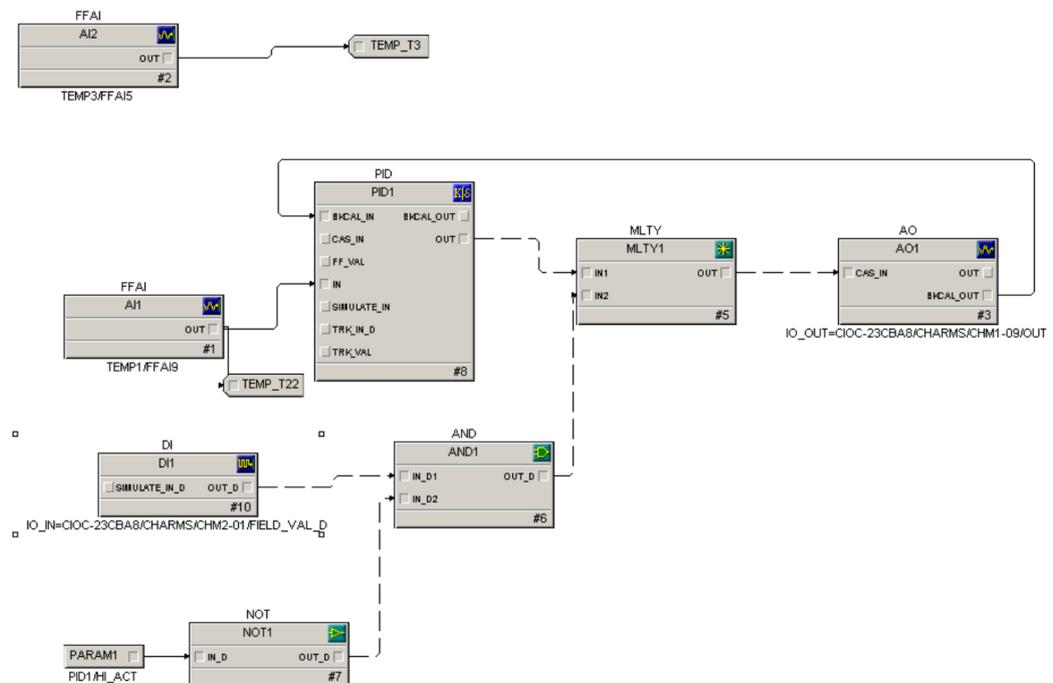


Figura 52: Control de temperatura del tanque 22

El funcionamiento es idéntico al del tanque 21.

2.2.3.5. Propiedades de los módulos de control

Para que todo el control funcione correctamente es necesario configurar bien las propiedades de cada módulo, para ello se dispone de las siguientes opciones:

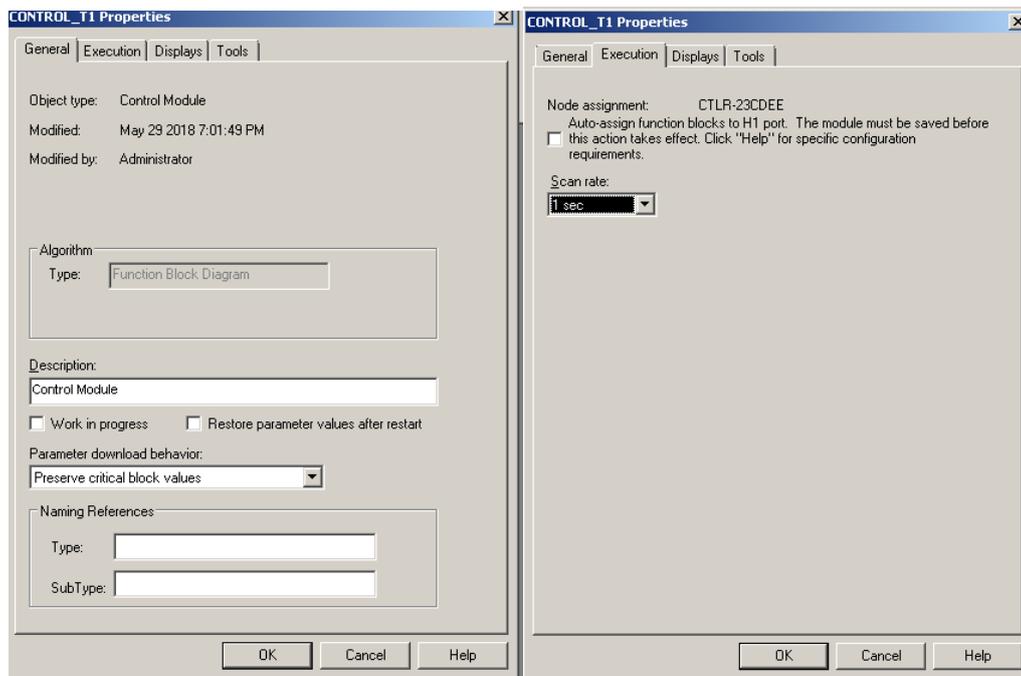


Figura 53: Propiedades de un módulo parte 1

En el primer recuadro podemos ver el tipo de objeto, su última modificación y quien lo ha modificado, además podemos añadirle una descripción. En el segundo podemos modificar el periodo de actualización.

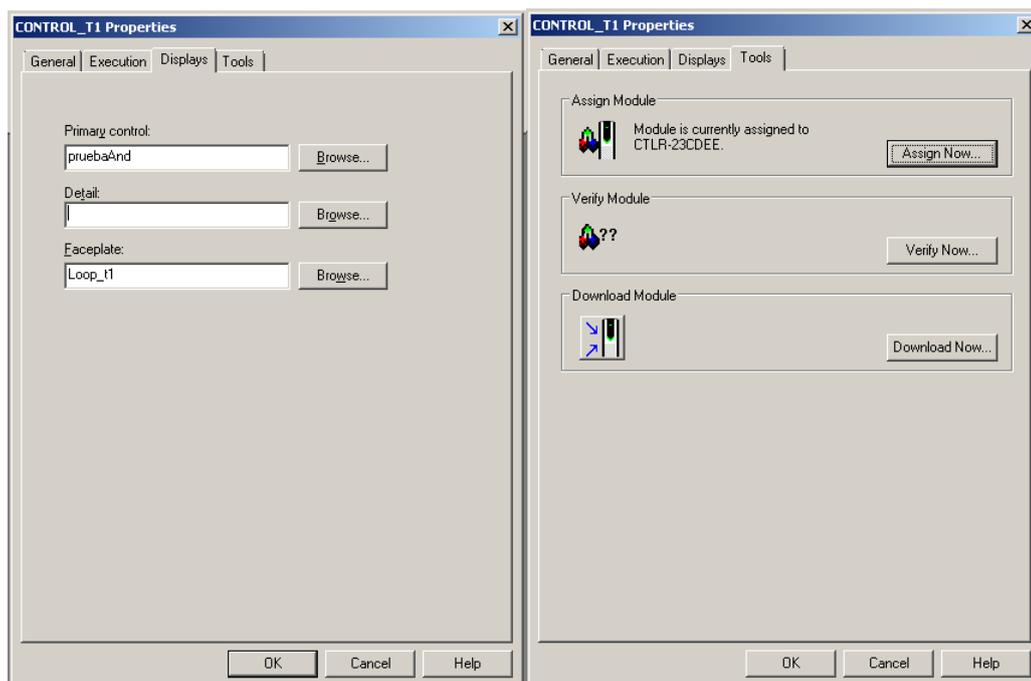


Figura 54: Propiedades de un módulo parte 2

En el tercero tenemos que asignarle las ventanas gráficas para el control, es decir si tenemos un SCADA que realiza un control o supervisión sobre este módulo debemos asignarle en el primer recuadro, para asignarle otro secundario o alguna vista detallada en el segundo y por último en el tercero podemos asignarle un faceplate en el caso de que tengamos un PID.

Por último, la cuarta ventana sirve para asignar el módulo a un controlador, podemos verificar si está todo bien y descargar el programa en dicho controlador

2.3. SCADA

2.3.1. Descripción general

Para visualizar la planta disponemos de un SCADA desde el que podemos ver y controlar en tiempo real todos los actuadores y sensores de la planta.

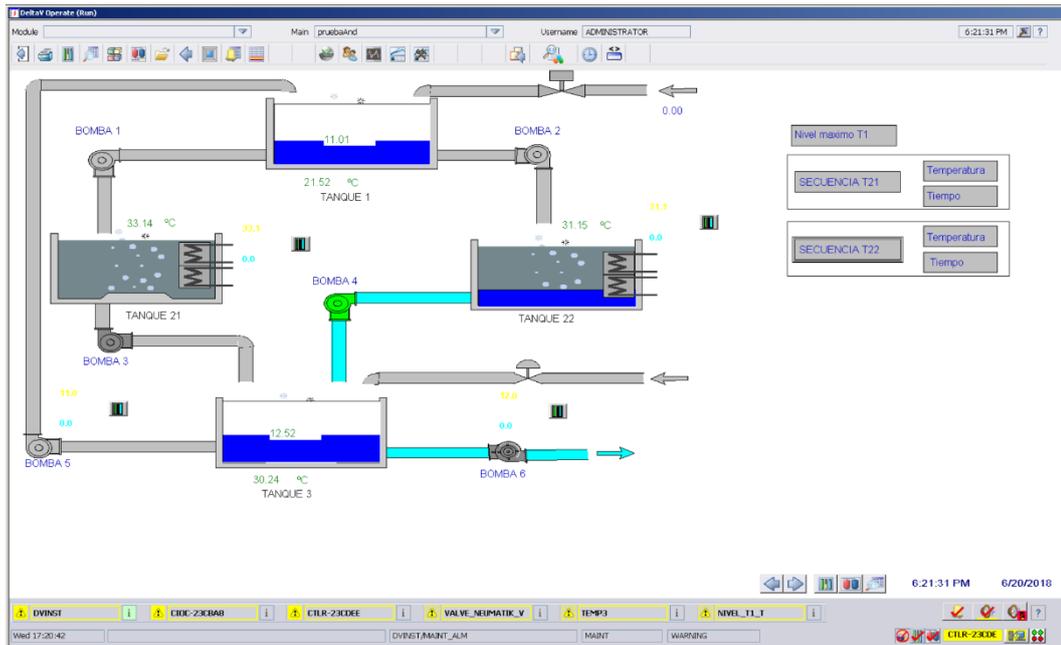


Figura 55: Scada

En la figura 55 se puede ver cómo es la ventana de control, desde la cual se puede observar el nivel de los 4 depósitos, del 1 y el 3 se ve de manera exacta y en los 21 y 22 se ve hasta qué punto se ha detectado fluido, es decir tenemos 2 recuadros azules, si el sensor de abajo detecta fluido el rectángulo inferior se hará visible y si es el superior pues será el recuadro superior el que se hará visible.

A su vez vemos también la temperatura de los 4 tanques, así como los actuadores que pueden influir en cada uno de los depósitos.

Disponemos de un conjunto de botones que nos permiten modificar los parámetros de las secuencias, por ejemplo, para la secuencia 21 disponemos de un botón que nos da la opción de activar o desactivar la secuencia, este es el botón “SECUENCIA T21” y de otros 2 botones “Temperatura” y “Tiempo” que nos permiten modificar la temperatura de operación de la secuencia y el tiempo que queremos mantener el fluido a dicha temperatura.

Además de poder modificar los parámetros de las secuencias disponemos de un botón, “Nivel Máximo T1” que nos permite modificar el nivel para el cual una vez superado se cierra la electroválvula.

Para accionar un actuador, por ejemplo, una bomba basta con clicar sobre ella y se abrirá un menú que nos ofrecerá 2 opciones, apagar o encender por lo que clicando en cada opción podremos encender o apagar la bomba.

En la parte inferior de la figura 54 podemos observar el conjunto de alarmas que se dan en la planta pueden ser desde alarmas de comunicación, alarmas

propias del delta v o alarmas que hayan sido programadas por el usuario previamente.

Pero este menú solo es válido para los sistemas discretos si queremos modificar un control continuo es necesario un “faceplate”, esto es un menú como el de la siguiente figura:

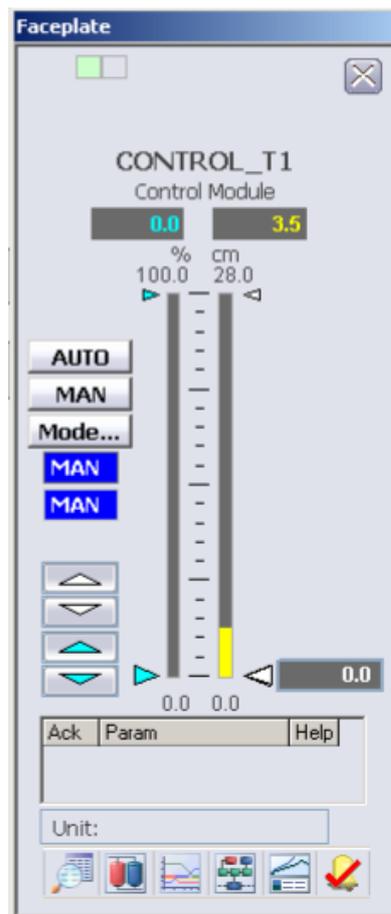


Figura 56: Faceplate

En este menú podemos ver las siguientes cosas:

Por un lado tenemos dos “barras” una azul y una amarilla, la azul se trata de la señal que mandamos al actuador del 0 al 100%, la amarilla se trata de la variable que queremos controlar, a su vez sobre estas barras disponemos de 2 flechas, la azul sirve para en modo manual poder controlar el actuador, es decir, clicando sobre ella y arrastrándola sobre la barra podemos enviar la señal al actuador, la blanca sirve para indicar el setpoint al controlador. A la izquierda de las barras tenemos 3 botones: AUTO, MAN y Mode... estos sirven para poner

el control en modo automático, manual y otros modos respectivamente debajo de estos botones tenemos en orden descendente el modo actual y el modo objetivo en dos pantallas pequeñas. De los botones de la parte inferior cabe destacar 2, empezando por la derecha, el segundo nos da un histórico de la variable controlada mientras que el tercero nos abre el diagrama de bloques que forman el control de dicha variable.

El Scada además de esto nos indica también las alarmas que se activan en nuestra planta que hayan sido marcadas para su supervisión. Para marcar las alarmas para su supervisión se debe ir al bloque que active la alarma que se desea supervisar y dar la opción administrar alarmas, se abrirá un cuadro como el siguiente:

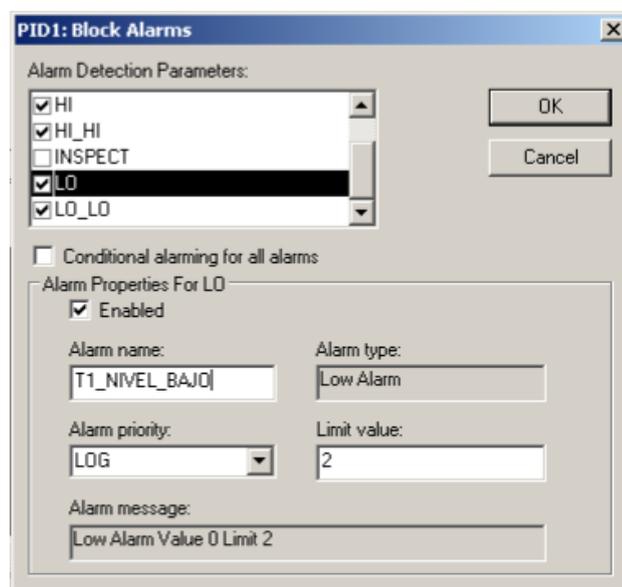


Figura 57: Gestión de alarmas

En este cuadro nos aparecen todas las alarmas disponibles en una lista, seleccionando cada una de ellas podemos habilitarlas, cambiarles el nombre, darles prioridad y limitar su aparición.

Una vez habilitadas dependiendo de que bloque sea aparecerán en los siguientes sitios:

- Si son alarmas del bloque PID aparecerán en el faceplate (ver figura x)
- Si son alarmas de otro tipo aparecerán en la barra de debajo del Scada (ver figura x)

A parte de estas alarmas delta v posee las suyas propias, estas van desde la comunicación con los diferentes sensores y actuadores hasta el

funcionamiento del propio controlador. Estas alarmas aparecerán también en la barra de debajo del Scada.

A su vez para una mejor visualización se ha creado para las alarmas de funcionamiento, es decir para las de nivel de los tanques un recuadro en la que se ve que alarma se ha activado y que acciones se han tomado automáticamente:

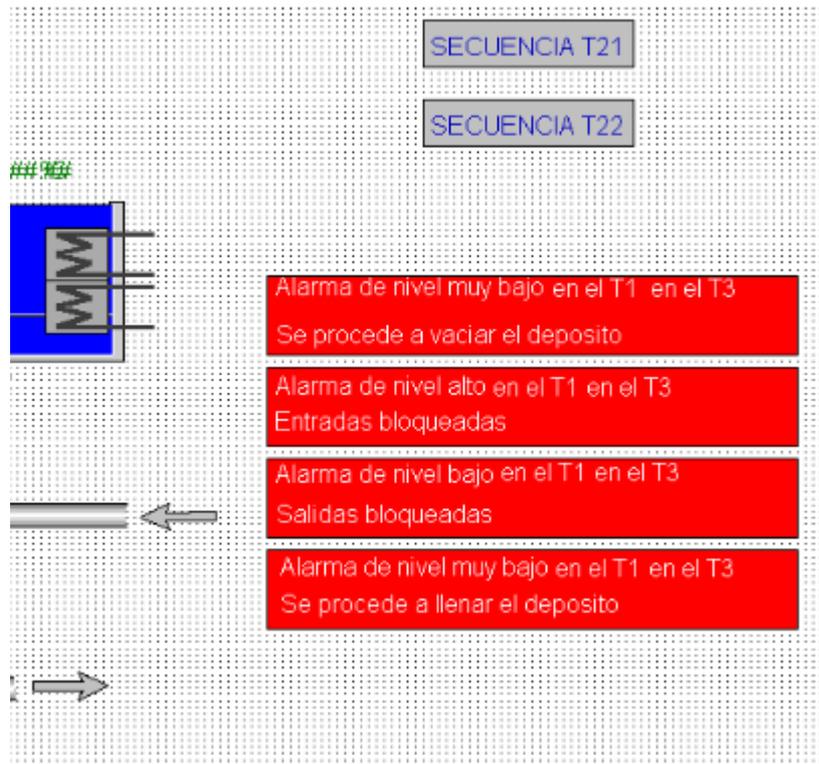


Figura 58: Alarmas de nivel

Estos recuadros solo son visibles si una de estas alarmas esta activa.

El Scada a su vez posee otra ventana en la que podemos ver los históricos de los PID es decir podemos ver el progreso del nivel y la temperatura de los tanques 1 y 3 así como la temperatura del 21 y 22.

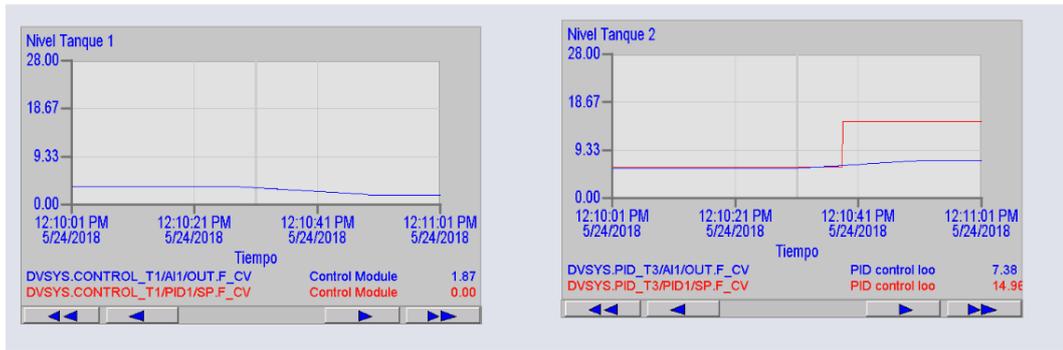


Figura 59: Históricos de nivel

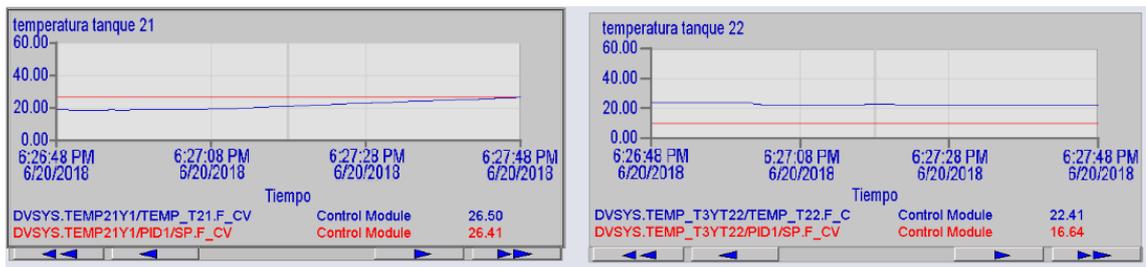


Figura 60: Históricos de temperatura

2.3.2. Diseño del scada

Para el diseño del scada se utiliza el delta opérate configure, que se ve en la siguiente figura:

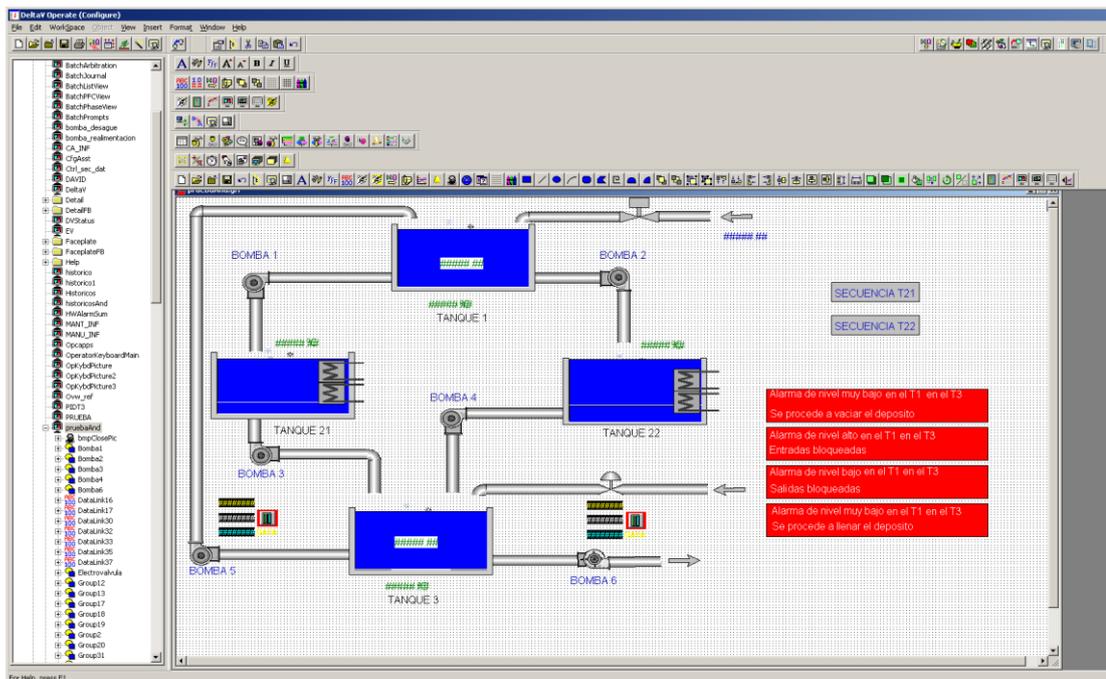


Figura 61: Delta operate configure

Dentro de esta vista podemos diseñar cada componente del scada, se dispone de un conjunto de símbolos ya diseñados como tanques, bombas, resistencia, turbinas... que se pueden incluir a tu scada, algunos de estos símbolos son animados, es decir que se les puede asignar una variable y cambian en función de ella.

En nuestro caso se ha procedido a diseñar un depósito similar a la planta y se han añadido las animaciones. Para añadir animaciones basta con hacer clic derecho sobre un objeto y abrir la opción "Animations" y se abrirá una ventana como en la siguiente imagen:

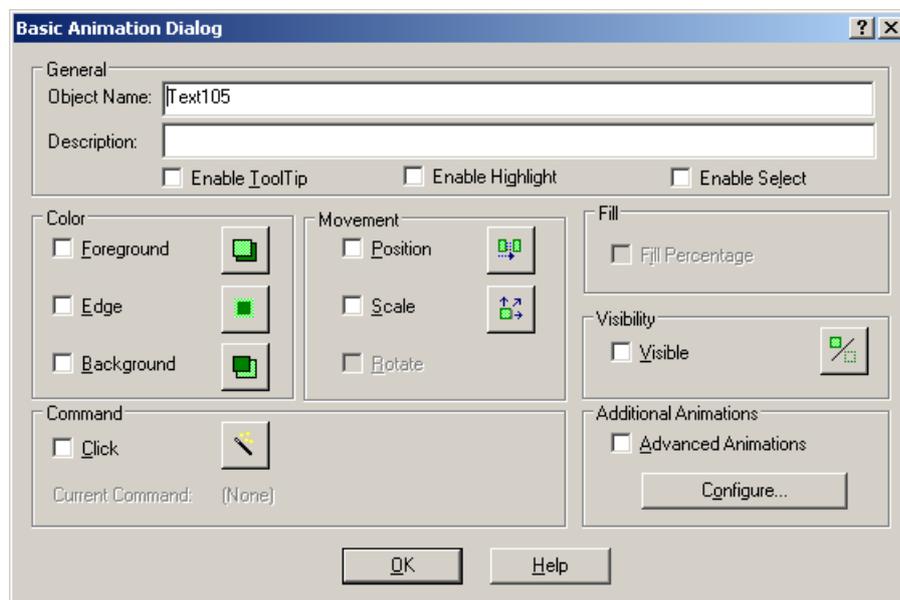


Figura 62: Opciones de animación

Como se ve en la imagen disponemos de varios tipos de animaciones, podemos programar por ejemplo que este bloque sea visible solo si se cumple una condición, por ejemplo, este es el caso de los bloques rojos, estos son visibles si se cumple que el parámetro de la alarma que representan esta activo.

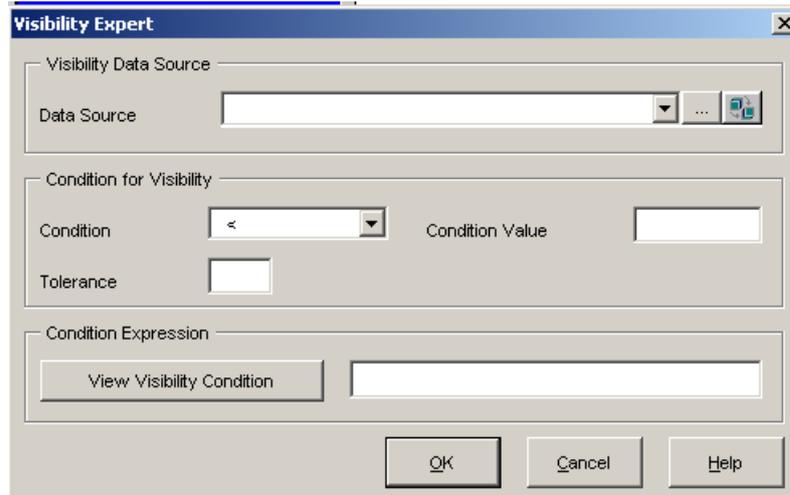


Figura 63: Animación de visibilidad

También disponemos de una animación que nos permite modificar la altura o la anchura de un objeto en función de una variable, por ejemplo, este es el caso del recuadro azul de los depósitos, en ellos se ha programado una animación que modifique la altura del recuadro en función del nivel del tanque para ello es necesario definir la escala en la que oscila dicha variable.

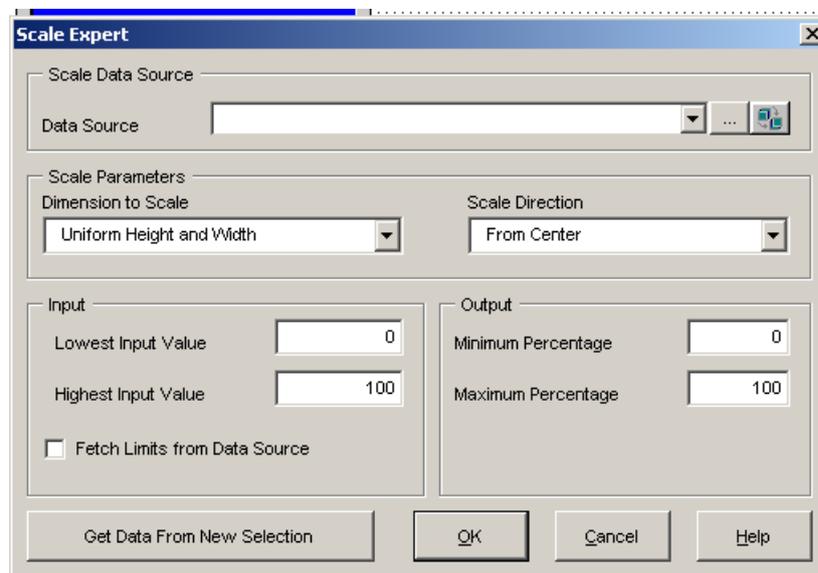


Figura 64: Animación de escalado

Otra animación nos permite cambiar de color un objeto en función de una variable, es decir nos permite generar una tabla con los diferentes valores (o intervalos) para los cuales queremos un determinado valor, por ejemplo, esto se ha utilizado para que cuando se encienda una bomba esta y la tubería por la que circula el fluido se vuelva de color azul mientras que cuando esta desactivada permanece de color gris.

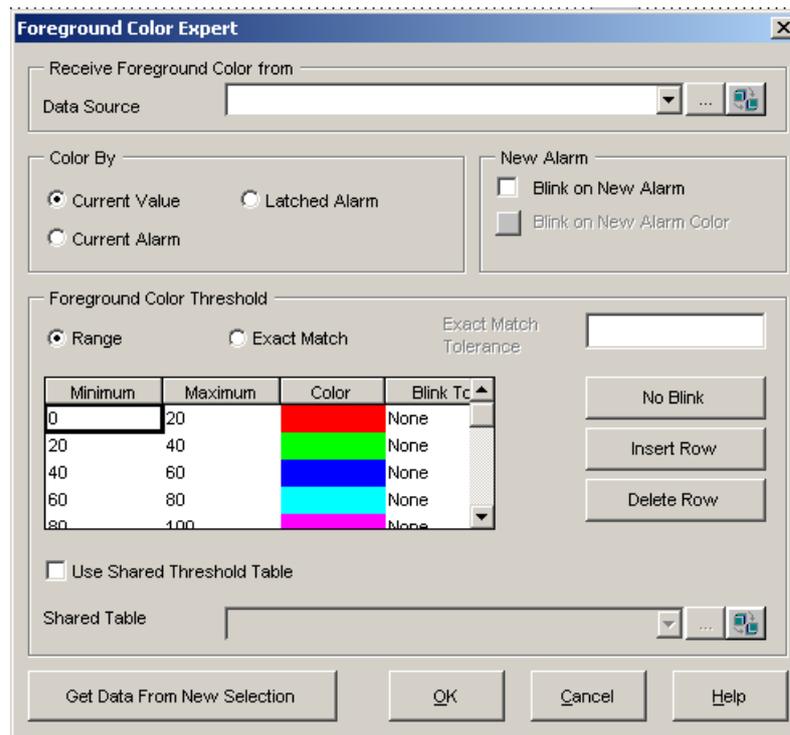


Figura 65: Animación de cambio de color

La última animación utilizada ha sido el “clic” está básicamente nos permite modificar una variable cuando clicamos sobre un objeto, por ejemplo, esto lo utilizamos para accionar las bombas y la electroválvula.

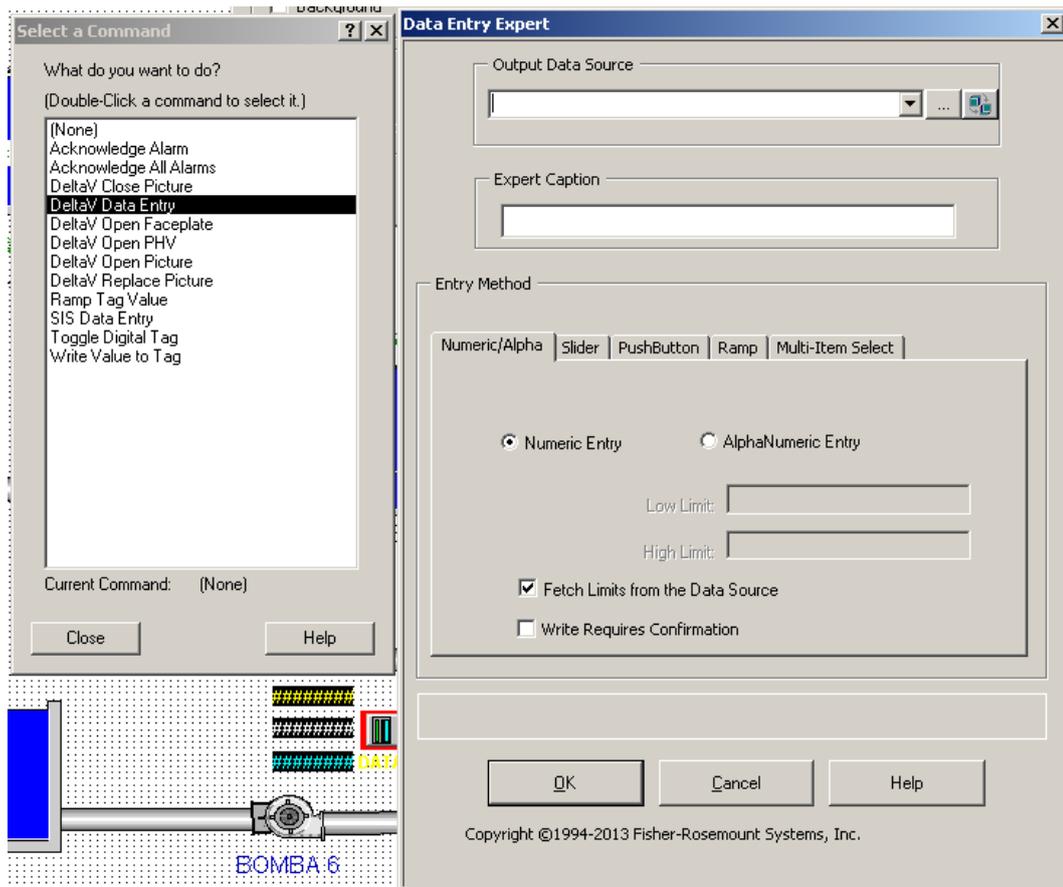


Figura 66: Animación de clic

Basta con seleccionar la variable a modificar y los valores que esta pueda tener.

Otros elementos que podemos introducir en nuestro scada son los bloques de datos, básicamente son unos caracteres a los cuales asignamos una variable y estos nos muestran su valor en tiempo real

Por último, nos quedan los faceplate, estos son un objeto a los que hay que asignarles un diseño de faceplate, una vez asignados cuando están funcionando te permiten al clicar sobre ellos abrir la ventana de faceplate correspondiente. También nos muestran en tiempo real la variable controlada y la manipulada

Con este conjunto de elementos podemos crear un scada para controlar una planta, pero además de estos disponemos de otros elementos para alguna aplicación específica como, por ejemplo:

- Los histogramas estos bloques nos muestran la evolución en el tiempo de una o más variables.

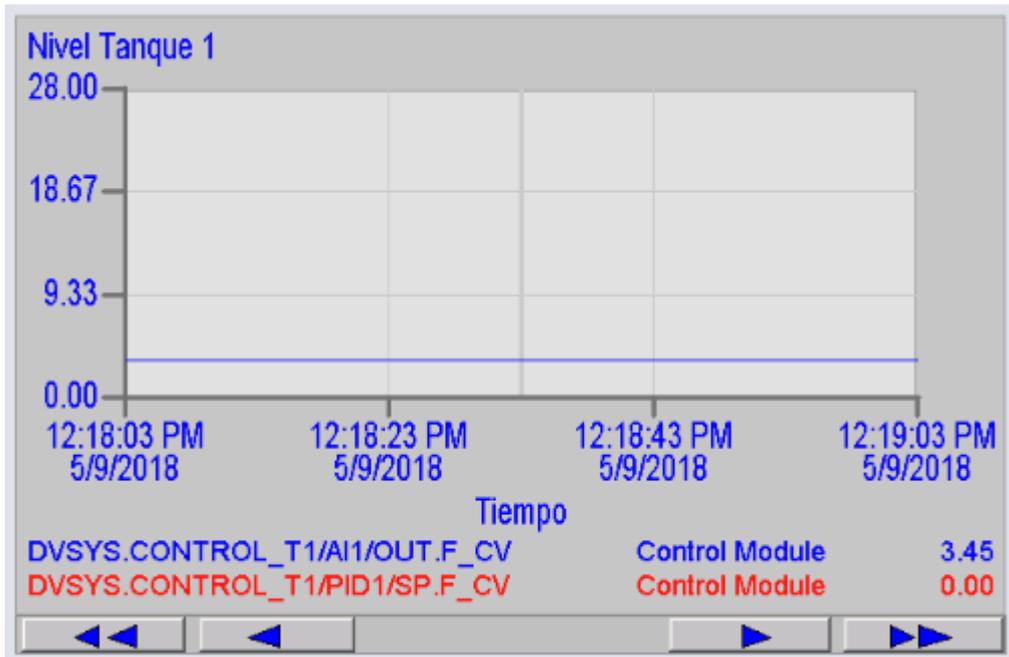


Figura 67: Histograma

Para configurarles basta con asignarles la variable que se quiere visualizar, también permiten configurar la escala del eje y el nombre de cada eje y el color de cada variable, todo esto se realiza en la siguiente ventana:

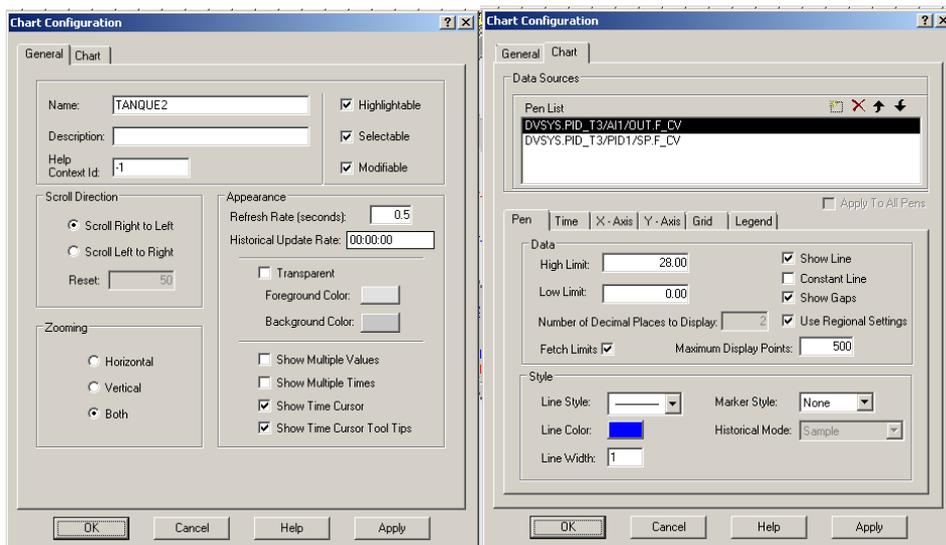


Figura 68: Configuración del histograma

- Los bloques de resumen de alarmas estos nos permiten introducir listas que no dejan ver las alarmas que han surgido a lo largo del tiempo

Ack	Time In	Unit	Module/Param	Description	Alarm	Message	Priority
✓	5/9/2018 12		CTLR-23CDEE/A		ADVISE	ID: IO card softwa	ADVISORY
✓	5/9/2018 12		CI0C-23CB48/A		ADVISE	Redundancy: Not	ADVISORY
	5/9/2018 12		CI0C-23CB48/M		MAINT	[MULT]Node Sta	WARNING
<input type="checkbox"/>	5/9/2018 12		VALVE_NEUMA1		COMM	Communications f	WARNING
<input type="checkbox"/>	5/9/2018 12		TEMP1/COMM_		COMM	Communications f	WARNING
<input type="checkbox"/>	5/9/2018 12		TEMP3/COMM_		COMM	Communications f	WARNING

Alarm Summary Alarms: 10 Unacked: 6

Figura 69: Histórico de alarmas

- Bloques de navegación estos nos permiten movernos e interactuar con las diferentes ventanas del scada



Figura 70: Bloque de navegación

- Fecha y hora nos muestran la hora y la fecha del sistema

12:19:03 PM 5/9/2018

Figura 71: Bloque de fecha y hora

Para que todo lo anterior funcione correctamente hay que asignar todos los módulos de control a la ventana grafica del scada, para hacer esto es necesario asignar el Scada en las propiedades de cada módulo de control, como se ha explicado anterior mente en el apartado de propiedades de los módulos

3. Conclusiones

En conclusión, se ha implementado un sistema de control distribuido comercial en una planta con 2 tipos de procesos, batch y continuos.

Se han utilizado para la instrumentación varios sistemas de comunicación, tanto la clásica comunicación analógica de 4-20mA a la comunicación mediante un bus de campo digital, Fieldbus Foundation.

Se han utilizado comparadores para controlar los procesos discretos y PIDs para los procesos continuos.

Se ha creado un sistema de seguridad que gestiona un sistema de alarmas que evitan cualquier situación crítica.

Se ha diseñado un SCADA de la planta mediante el cual podemos realizar la supervisión y el control de todos los elementos de la planta.

4. Bibliografía

- Manual de usuario del sistema Delta V
- Apuntes de la asignatura Control de procesos
- Apuntes de la asignatura Control y comunicaciones Industriales
- <https://www.emerson.com/es-es/automation/deltav>
- <http://www.emerson.com/es-es/automation/rosemount>

5. Anexos

Como anexos se incluyen las diferentes hojas de datos de toda la instrumentación de la planta.