



industriales  
etsii

Escuela Técnica  
Superior  
de Ingeniería  
Industrial

# UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial

## “Puesta en marcha y auditoría de instrumentación de una planta piloto de procesos industriales”

**TRABAJO FIN DE MASTER**

MÁSTER EN SISTEMAS ELECTRÓNICOS E INSTRUMENTACIÓN

**Autor:** Israel Gil Gallego  
**Director:** Francisco J. Ortiz Zaragoza  
**Codirector:** Héctor David Puyosa Piña



Universidad  
Politécnica  
de Cartagena

Cartagena, 3 septiembre 2017



*Este proyecto se lo dedico  
a mi familia en especial  
a mis padres ya que sin  
ellos no hubiera sido posible  
alcanzar esta meta*



# Agradecimientos

*Quiero dar las gracias en primer lugar a Francisco Ortiz Zaragoza, por darme la oportunidad de realizar este trabajo final de máster, por todo lo que he podido aprender sobre la instrumentación industrial, los consejos y el apoyo recibido por su parte.*

*A Héctor Puyosa Piña, por la ayuda que me ha ofrecido para poder comprender el sistema de control distribuido DeltaV y sus herramientas.*

*Agradecer a Jose Alfonso Vera Repullo por haberme aportado sus conocimientos relacionados con la calibración de instrumentos, algo que sin duda ha sido de gran enriquecimiento profesional.*

*Mencionar a mis padres, sin su apoyo no hubiera llegado a donde hoy estoy, les agradezco la educación y fe que me han aportado y por consiguiente el amor y apoyo que hasta día de hoy me han dedicado. Me han enseñado que con esfuerzo, trabajo y constancia todo se puede conseguir.*

*A mis hermanos: David, Ana Isabel, María Teresa y Raquel, por ser la fuente de motivación y esfuerzo más importante para mí.*

*Agradecer también a Sara Silvente Bernal que con cariño ha estado en cada momento a mi lado, apoyándome siempre en todas mis decisiones.*

*Por último quiero darles las gracias a todos los que siempre han confiado en mí.*



# Índice general

<b>Agradecimientos</b>	<b>5</b>
<b>Lista de figuras</b>	<b>11</b>
<b>1. Introducción</b>	<b>15</b>
1.1. Objetivos del proyecto . . . . .	19
<b>2. Comprobación de los elementos de campo</b>	<b>23</b>
2.1. Importancia del control en la industria . . . . .	23
2.1.1. Sensores . . . . .	24
2.1.1.1. Transmisores de temperatura . . . . .	25
2.1.1.2. Transmisores de presión . . . . .	28
2.1.1.3. Radar de onda guiada . . . . .	30
2.1.1.4. Sensor de caudal . . . . .	32
2.1.2. Actuadores . . . . .	35
2.1.2.1. Válvula solenoide . . . . .	35
2.1.2.2. Variadores de frecuencia . . . . .	37
2.1.2.3. Bombas . . . . .	40
2.1.2.4. Tiristores . . . . .	41
2.1.2.5. Actuadores térmicos . . . . .	44
2.1.2.6. Equipo de frío . . . . .	45
<b>3. Auditoria de la instrumentación</b>	<b>47</b>
3.1. Metrología . . . . .	47
3.1.1. Metrología científica . . . . .	48
3.1.2. Metrología legal . . . . .	49
3.1.3. Metrología industrial . . . . .	50
3.2. Calibración, verificación, validación y ajuste . . . . .	52
3.3. Equipos de calibración . . . . .	53
3.3.1. Pozos de metrología de campo . . . . .	54
3.3.2. PRT de finalidad general y específica . . . . .	56

3.3.3.	Calibrador multifunción Fluke 754 . . . . .	56
3.4.	Software de calibración . . . . .	58
3.4.1.	Software DPC Track 2 . . . . .	59
3.4.2.	Software de calibración Procal . . . . .	61
3.4.3.	Software de gestión ProcalTrack . . . . .	62
3.5.	Procedimiento de calibración . . . . .	62
3.5.1.	Creación de tareas en DPC Track 2 . . . . .	64
3.6.	Calibración de sensores de temperatura . . . . .	69
3.6.1.	Calibración de transmisores Hart . . . . .	70
3.6.1.1.	Comunicación Hart Fluke 754 . . . . .	71
3.6.1.2.	Prueba manual del transmisor Hart . . . . .	72
3.6.1.3.	Prueba automática mediante generación de tarea . . . . .	76
3.6.2.	Calibración del conjunto transmisor y sensor . . . . .	80
3.7.	Calibración de sensores de presión . . . . .	82
<b>4.</b>	<b>Sistema de control y gestión</b>	<b>87</b>
4.1.	DCS DeltaV . . . . .	87
4.1.1.	Hardware . . . . .	89
4.1.1.1.	Módulos de entrada y salida . . . . .	89
4.1.1.2.	Controlador . . . . .	90
4.1.1.3.	Alimentación . . . . .	91
4.1.2.	Software . . . . .	91
4.1.2.1.	DevltaV explorer . . . . .	91
4.1.2.2.	Control Studio . . . . .	94
4.1.2.3.	DevltaV Operate (Configure) . . . . .	96
4.1.2.4.	DevltaV operate run . . . . .	96
4.1.2.5.	Diagnotic . . . . .	97
4.1.2.6.	SFC . . . . .	98
4.2.	AMS Device Manager . . . . .	100
4.2.1.	AMS y DeltaV . . . . .	102
4.2.2.	Configuración de instrumentos en DeltaV . . . . .	105
<b>5.</b>	<b>Comisionado y puesta en marcha de la planta</b>	<b>109</b>
5.1.	Etapa de pre-comisionado . . . . .	109
5.1.1.	Test 1: Verificación del cableado . . . . .	110
5.1.1.1.	Mejoras introducidas en la instalación . . . . .	111
5.1.2.	Test 2: Calibración y pruebas de funcionamiento . . . . .	114
5.1.3.	Test 3: Pruebas funcionales eléctricas . . . . .	116
5.2.	Etapa de comisionado . . . . .	117
5.2.1.	Bloques de control . . . . .	117

5.2.1.1.	Control de Nivel . . . . .	119
5.2.1.2.	Control de Caudal . . . . .	121
5.2.1.3.	Control de Temperatura . . . . .	125
5.2.1.4.	Creación de alarmas de proceso . . . . .	129
5.2.2.	Pantalla del operador . . . . .	131
5.2.2.1.	Configurando DeltaV Operate Configure . . .	131
5.2.2.2.	Links, propiedades dinámicas y parámetros de referencia . . . . .	133
5.2.2.3.	Bombas, depósitos y válvulas . . . . .	139
5.3.	Puesta en marcha . . . . .	141
5.3.1.	Generación de recetas . . . . .	144
<b>6.</b>	<b>Conclusiones</b>	<b>149</b>
<b>7.</b>	<b>Anexos</b>	<b>155</b>



# Índice de figuras

1.1. Ejemplo de planta piloto . . . . .	16
1.2. Planta química real . . . . .	17
1.3. Planta piloto UPCT antes de ser instrumentada . . . . .	18
1.4. Estado actual de la planta de reacción . . . . .	19
2.1. Captación de medida y conversión a señal de medida . . . . .	26
2.2. Pt100 instaladas en los conectores 'T' de la planta piloto . . . . .	26
2.3. Pt100 instaladas en V-10101 y en el reactor . . . . .	28
2.4. Instalación de sensor de nivel en depósito abierto . . . . .	30
2.5. Principio de medición . . . . .	32
2.6. Sensor de caudal . . . . .	33
2.7. Válvula solenoide . . . . .	35
2.8. Circuito de variación de frecuencia . . . . .	37
2.9. Armario contenedor de los variadores de frecuencia . . . . .	37
2.10. Bombas de agua . . . . .	41
2.11. Armario con tiristores y configuración . . . . .	42
2.12. Resistencia espiral de la planta piloto . . . . .	44
2.13. Calentador de línea planta piloto . . . . .	45
2.14. Equipo de frío de la planta piloto . . . . .	46
3.1. Tipos de metrología . . . . .	48
3.2. Metrología científica . . . . .	48
3.3. Metrología legal . . . . .	50
3.4. Metrología industrial . . . . .	51
3.5. Hornos de calibración de la serie 9140 de Fluke . . . . .	55
3.6. Resistencias de platino de Fluke . . . . .	56
3.7. Calibrador de procesos Fluke 754 . . . . .	57
3.8. Medición de variables de proceso en planta . . . . .	58
3.9. Calibrador Fluke y Pozo conectados . . . . .	59
3.10. Ventana principal DPC Track 2 . . . . .	60
3.11. Software Procal . . . . .	61

3.12. Software Procal Track . . . . .	62
3.13. Inicio DPC Track 2 . . . . .	64
3.14. Creación de un nuevo instrumento . . . . .	65
3.15. Puntos de calibración . . . . .	65
3.16. Creación de un nuevo equipo de calibración . . . . .	66
3.17. Tareas a descargar . . . . .	66
3.18. Tarea cargada en calibrador Fluke 754 . . . . .	67
3.19. Resultado de la prueba . . . . .	68
3.20. Carga de tareas al software DPC Track 2 . . . . .	68
3.21. Resultados almacenados en la base de datos . . . . .	69
3.22. Transmisor de temperatura Hart . . . . .	71
3.23. Comunicación Hart entre el calibrador y el transmisor . . . . .	71
3.24. Configuración Hart . . . . .	72
3.25. Configuración del transmisor mediante conexión Hart con Fluke 754 . . . . .	73
3.26. Transmisor de temperatura Hart . . . . .	73
3.27. Conexión para prueba del transmisor 248R . . . . .	74
3.28. Selección de tipo de prueba manual . . . . .	75
3.29. Límite inferior . . . . .	75
3.30. Punto medio . . . . .	76
3.31. Límite superior . . . . .	76
3.32. Tabla del transmisor 248R . . . . .	77
3.33. Puntos de prueba de la tarea creada . . . . .	78
3.34. Calibración transmisor y sensor primario . . . . .	80
3.35. Esquema de conexión en bloque . . . . .	81
3.36. Equipo adicional para la calibración de instrumentos de presión . . . . .	83
3.37. Esquema de conexionado para la calibración de presión . . . . .	84
4.1. Sistema de control DeltaV . . . . .	88
4.2. Niveles DCS . . . . .	89
4.3. Controlador DeltaV . . . . .	90
4.4. Bastidor . . . . .	90
4.5. Diagrama de cableado para la alimentación . . . . .	91
4.6. Aplicaciones DeltaV . . . . .	92
4.7. DeltaV explorer . . . . .	93
4.8. Acceso aControl Studio . . . . .	94
4.9. Pantalla típica de Control Studio . . . . .	95
4.10. Pantalla de DeltaV Operate (Configure) . . . . .	96
4.11. Pantalla de DeltaV Operate (Run) . . . . .	97
4.12. Acceso a Diagnostic . . . . .	98
4.13. Pantalla de Diagnostic . . . . .	98

4.14. Ejemplo de un SFC . . . . .	99
4.15. Ventana de estado de un transmisor . . . . .	101
4.16. Configuración de entrada analógica en DeltaV . . . . .	105
4.17. Escaneo de dispositivos Hart en DeltaV . . . . .	106
4.18. Acceso AMS Device Manager desde DeltaV explorer . . . . .	107
5.1. Antes y después del cuadro de tiristores . . . . .	111
5.2. Cuadro de control después del cambio . . . . .	112
5.3. Puentes realizados para activación de variador . . . . .	113
5.4. Conexión de la activación del variador al sistema de control . . . . .	113
5.5. Cuadro de control: detalle de relés de los variadores . . . . .	114
5.6. Código control de nivel . . . . .	120
5.7. Comportamiento coriolis línea de calor . . . . .	121
5.8. Bloques de lazo de caudal junto al de nivel de la línea de calor . . . . .	122
5.9. Código control de caudal . . . . .	123
5.10. Sintonía del PID de la bomba con Insight . . . . .	125
5.11. Módulo de control de la temperatura de la línea caliente . . . . .	129
5.12. Creación de una alarma nueva . . . . .	130
5.13. Selección de alarma . . . . .	131
5.14. Ventana principal DeltaV Operate Configure . . . . .	132
5.15. Área de trabajo . . . . .	133
5.16. Visibilidad de las barras de herramientas . . . . .	134
5.17. Datalinks añadidos en el área de trabajo . . . . .	135
5.18. Buscar el parámetro de referencia . . . . .	136
5.19. Con figuración del Datalink . . . . .	137
5.20. Data Entry Expert . . . . .	138
5.21. Cuadro de animación de la bomba . . . . .	139
5.22. Configuración de la animación . . . . .	140
5.23. Cuadro de animación del depósito . . . . .	141
5.24. Pantalla del operador . . . . .	142
5.25. Línea caliente . . . . .	143
5.26. Línea de frío . . . . .	144
5.27. Programando un estado . . . . .	145
5.28. Diagrama de estados . . . . .	145
5.29. Receta pantalla de operador . . . . .	146
5.30. Pantalla operador con bloque de recetas . . . . .	147



# Capítulo 1

## Introducción

Es bien conocido, que en la industria química y farmacéutica los procesos comerciales se basan en resultados experimentales.

Hoy en día la investigación para el estudio de nuevos procesos físico-químicos, o para la mejora de procesos ya existente se lleva a cabo en plantas a escala piloto, reduciéndose así los costes asociados a la inversión y a los gastos fijos de operación inherentes a una planta industrial. Las plantas piloto se utilizan en la actualidad con multitud de finalidades, como para la investigación de bioprocesos, procesos químicos e incluso como equipamiento científico para la educación en las Universidades.

Como definición de **planta piloto** encontramos:

*Planta de proceso a escala reducida. El fin que se persigue al diseñar, construir y operar una planta piloto es obtener información sobre un determinado proceso físico o químico, que permita determinar si el proceso es técnico y económicamente viable, así como establecer los parámetros de operación óptimos de dicho proceso para el posterior diseño y construcción de la planta a escala industrial.*

El término 'Planta Piloto' abarca un amplio rango de escalas, desde plantas a escala laboratorio hasta plantas a escala semi-industrial. Los avances tecnológicos en distintas áreas (electrónica, comunicaciones, micromecanizado, etc.) han hecho posible que hoy día se disponga de instrumentación y dispositivos adecuados para el diseño y construcción de plantas a escala muy reducida, plantas a microescala, capaces de operar en idénticas condiciones de presión y temperatura que las plantas industriales. Estos avances ha conducido igualmente a que estas plantas a microescala cuenten con sistemas de

adquisición de datos, supervisión y control (sistemas SCADA) y puedan ser automatizadas, de manera que la producción experimental se multiplique y se reduzca, así, considerablemente el tiempo necesario para el estudio y la optimización de un proceso físico-químico concreto.



Figura 1.1: Ejemplo de planta piloto

Una planta piloto debe ser mucho más flexible que una planta a escala industrial (Figura 1.2) en cuanto al rango permisible de sus parámetros de operación o variables de proceso, ya que una planta industrial opera siempre en las mismas condiciones, mientras que una planta piloto, por el hecho de estar destinada a la investigación o estudio de un proceso, debe permitir trabajar en un amplio rango de valores de temperatura, presión, etc., de manera que puedan realizarse experimentos o ensayos con valores bien distintos de las variables de proceso y poder determinar, así, los valores óptimos.

Aunque, en los últimos años se han desarrollado diversas herramientas para simulación de procesos por ordenador, estos sistemas no pueden sustituir a las plantas piloto, ya que no son capaces de predecir el comportamiento de nuevos procesos, de los que no existen datos disponibles, ni de procesos complejos.



Figura 1.2: Planta química real

La Universidad Politécnica de Cartagena, en concreto la 'Escuela de Industriales', aloja en el departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática una reproducción a escala de una planta piloto de procesado químico como las que hemos mencionado anteriormente. Cuenta con la última tecnología y los métodos que utilizan las empresas del sector, puesto que ha sido equipada con la ayuda de Sabic, Emerson Process Management, Inabensa y Técnicas del Cable. Es una representación a escala de dos unidades de producción industrial real, una planta de reacción química y una planta de destilación.

Desde su construcción, la planta piloto está dividida en dos bloques para facilitar en cierto modo la adaptación de la planta al espacio del laboratorio en la que se instale. El bloque izquierdo está compuesto por el proceso de reacción y el derecho por el proceso de destilación. En la figura 1.3 se aprecian los dos bloques que conforman el total de la planta cuando ésta fue instalada.

La ayuda que proporcionaron las empresas mencionadas anteriormente han conseguido que actualmente podamos trabajar con el primer bloque de la planta piloto: la planta de reacción. Cuenta con lo último en controladores, el sistema de control distribuido (DCS) DeltaV de Emerson, y al mismo tiempo con una instrumentación muy variada y adecuada para la formación académica. El bloque cuenta con dos depósitos y un reactor como elementos de proceso, y con diversos actuadores que se describirán en el siguiente capítulo.

La planta de destilación en un principio llegó a estar en funcionamiento con un sistema de control y unos instrumentos de medida algo antiguos.



Figura 1.3: Planta piloto UPCT antes de ser instrumentada

Hoy en día debido a diversas circunstancias, como la inserción de un control DeltaV de Emerson y la nueva instrumentación, no ha podido aun ser instrumentada y por ende puesta en marcha. Se espera que en un futuro muy cercano el interés de los alumnos en el campo del control y la instrumentación y la visión de los grandes beneficios académicos y personales sea un incentivo para la creación de proyectos de pre-comisionado, comisionado y puesta en marcha de la planta de destilación para la unificación de la planta piloto en un proceso químico completo.

En este proyecto se pretende aprovechar el máximo potencial que ofrece la planta de reacción. La idea viene dada ya que en anteriores proyectos se ha hecho uso de la planta piloto de forma parcial, ya que se ha puesto en marcha una línea de frío en uno de ellos y una línea de calor en el otro. Esos proyectos trataban principalmente de realizar un control de la temperatura de la camisa del reactor, enfriando o calentando el agua (fluido principal) y haciéndola pasar a través de la camisa del reactor.

Por otro lado pretenderá plasmar la importancia del mantenimiento periódico de los elementos de planta tales como instrumentos de campo. Para ello se va a recurrir a los instrumentos de medida disponibles en el departamento para establecer procedimientos de calibración y verificación de los sensores.



Figura 1.4: Estado actual de la planta de reacción

## 1.1. Objetivos del proyecto

El objetivo global del TFM será la realización de la puesta en marcha de una planta piloto ya existente en el Dpto. de Ingeniería de Sistemas y Automática de la UPCT y la auditoría de la instrumentación instalada.

Aunque se cuenta con una instalación previa, que incluye el cuadro principal de control con todos los instrumentos cableados y el DCS instalado, a la propuesta de este TFM no se ha realizado la puesta en marcha funcional de la misma, así que el objetivo principal marcado en este proyecto será el de hacer las acciones necesarias y pruebas pertinentes para dejar la parte instalada de la planta plenamente operativa. Se harán pruebas de lazo y se configurará adecuadamente el sistema de control distribuido instalado, Delta V de Emerson para tener los lazos principales operativos.

Otro objetivo fundamental del proyecto es realizar una auditoría de la instrumentación instalada y realizar una primera calibración sistemática de los instrumentos, dejando documentados los procedimientos y emitidos los primeros certificados de calibración. Se utilizará para ello software y equipos de calibración profesionales, asegurando de esta forma en el TFM que todos los procedimientos realizados se asemejan al máximo a los procedimientos realizados en plantas industriales reales.

Igualmente, con el objetivo de implantar estrategias de mantenimiento preventivo, se instalará y pondrá en marcha el sistema de gestión de activos AMS de Emerson, para gestionar alarmas y crear una base de datos para almacenar los sucesos producidos en la planta durante su funcionamiento.

Los objetivos más específicos que complementan y permiten alcanzar los anteriores objetivos globales, serían:

- A partir proyectos previos y lo explicado en el máster, realizar un inventario u hoja de características de todo lo instalado en la planta piloto con la intención tanto de obtener información de los elementos presentes como una posterior actualización y re-ordenación de la misma. De este modo podremos comprender rápidamente el funcionamiento de cada uno de los elementos por separado.
- Debido al tiempo que ha transcurrido desde los anteriores proyectos hay que definir uno o varios procedimientos para realizar pruebas tanto del funcionamiento de los instrumentos listados en el punto anterior como de la configuración del sistema de control de la planta piloto asegurándonos de su correcto funcionamiento.
- Describir el proceso de puesta en marcha que se seguiría en una planta real y que posteriormente aplicaremos a la planta piloto.
- Se deberá realizar la configuración de un lazo de control en Delta V lo más completo posible pudiendo aprovechar el máximo de instrumentos de la planta piloto e incluyendo uno de los caudalímetros de coriolis presentes para poder manejar la planta piloto con algún fluido como será en este caso el agua.
- Utilizar el software AMS que se instalara en la planta piloto para la monitorización de los transmisores principales, habilitando la gestión de alertas para la obtención o la simulación de errores.

- Definición de auditoria de los equipos de instrumentación en una planta real. Identificación de todos los posibles métodos usados para llevarla a cabo indicando las ventajas e inconvenientes de cada uno de ellos.
- Al disponer de un software y equipos de calibración profesionales se hará la primera verificación/calibración de los instrumentos de planta, siempre dejando documentado los procedimientos más adecuados a seguir.
- Es importante crear una ruta de calibración con el objetivo de que tengamos centralizado en el equipo con AMS cuando se han calibrado y los informes de calibración últimos.
- Redactar las conclusiones obtenidas con la realización de este proyecto y establecer la posibilidad de realizar unas posibles mejoras en el futuro.



# Capítulo 2

## Comprobación de los elementos de campo

En este capítulo se detallará todo componente activo o pasivo que forma parte de la planta de reacción, dejando un listado de componentes con una hoja detallada de los parámetros más relevantes y necesarios a la hora de establecer una instalación o una verificación del elemento en cuestión. Se dividirá en dos bloques fundamentales: sensores y actuadores.

### 2.1. Importancia del control en la industria

El mundo industrial que actualmente conocemos no sería capaz de existir sin las herramientas que permiten el control de todos los procesos de los que estos se conforman. Estas herramientas son, los sensores y actuadores.

La medición y control de estos procesos, interfieren directamente en asegurar la correcta utilización de las materias primas invertidas para la generación de los productos finales, protección de las máquinas, rentabilidad, protección medioambiental y seguridad entre otros.

Los sensores permiten medir, convertir y registrar las variables de un proceso, transformándolas en señales eléctricas y luego transmitir las para que el equipo de control pueda interpretarlas y actuar con tales fines. Estos instrumentos miden las características físicas como la tensión, presión, temperatura, flujo, nivel, velocidad, peso, humedad y punto de rocío; y características químicas como el pH y la conductividad térmica.

La instrumentación garantiza la repetibilidad de las medidas y resultados

llegando a formar estructuras complejas para medir, controlar y monitorear todos los elementos que conforman el sistema industrial. Dichos instrumentos se aplican a todo elemento que actúa directa o indirectamente en el proceso como los reactores, depósitos, bombas, hornos, compresores, etc...

En nuestro caso particular hablaremos y detallaremos todos los sensores y actuadores que forman parte del proceso que se creará en la planta piloto de la universidad politécnica de Cartagena, recopilando toda la información de relevante importancia en tablas individuales.

### 2.1.1. Sensores

Antes entrar en materia con los instrumentos que disponemos me gustaría exponer una introducción muy básica a los tipos de instrumentos que se utilizan para cada variable que vamos a medir en la planta piloto.

Anteriormente hemos hablado de los diferentes características tanto físicas como químicas que pueden ser medidas y, por tanto, ahora nos centraremos en los instrumentos que ámpliamente inundan las industrias del mundo. Las cuatro variables más comunes que podemos encontrarnos en el 90% de los casos son: nivel, presión, caudal y temperatura.

- **Temperatura.** Una de las variables más importantes para la industria, puesto que, la variación de temperatura de un cuerpo afecta directamente a su dilatación, y exceptuando algunos casos concretos todos los cuerpos ya sean, sólidos, líquidos o gaseosos, se dilatan al aumentar la temperatura.
- **Presión.** Al igual que la temperatura, la presión, es una variable fundamental para poder manejar cualquier materia (sea su estado natural indiferente) ya que prácticamente cualquier sustancia puede cambiar de estado a partir de la presión a la que sea sometida.
- **Caudal.** Tal vez esta sea la variable más medida de la industria sobre todo en procesos continuos, ya que, gracias a ello es posible establecer un balance de materiales y tener un control de calidad del producto.
- **Nivel.** Es otra variable muy común sobre todo en procesos industriales que disponen de depósitos. Hay muchas formas de medir nivel en la industria y muchos instrumentos capaces de hacerlo. La medida de nivel además, es un dato que nos confiere mucha información ya que por ejemplo, al conocer el nivel de un depósito podemos calcular la

cantidad de materia prima contenida en él. También es fundamental a la hora de ejercer acciones de control como pudiera ser el caso de parar una bomba si el nivel es muy bajo, abrir o cerrar válvulas, etc...

#### 2.1.1.1. Transmisores de temperatura

La planta piloto hace uso de estos sensores, ya que imita un proceso en el cual se actúa sobre fluidos que se calientan o se enfrían y es necesario un estricto control de la temperatura puesto que se producen reacciones químicas en un reactor tipo batch.

Gracias al gran trabajo que se ha realizado en anteriores proyectos, la planta piloto ya dispone de todos los sensores de temperatura necesarios, así como de cada uno de sus transmisores. Para la medición de temperatura se utilizan termorresistencias Pt100 ( $\alpha=385$ ) puesto que se tuvieron cuenta muchos factores en su elección como conocer entre 'que rangos' de temperatura trabaja el proceso (que no pasará de 400°C), si queremos una regulación muy fina, velocidad de respuesta, error de medida, robustez y costo entre otros. Por todo lo anterior y mucho más se optó por este tipo sensor y no por los termopares.

Las termorresistencias (RTD) están clasificadas como sensores de temperatura de 'tipo eléctrico'. Su funcionamiento se basa en la variación de la resistencia eléctrica del material del que se componen con la variación de temperatura. Las Pt100 que se utilizan en la planta piloto tienen un sensor basado en el platino. Su rango de temperatura se establece por el coeficiente de temperatura (0.00385) y va desde los -200°C hasta los 850°C.

El encapsulado de estos sensores depende del lugar de instalación de los mismos. Podemos encontrarnos Pt100 compactas donde el transmisor se encuentra en el cuerpo del instrumento formando una sola pieza, o instaladas por separado, donde el "elemento primario" se encuentra en la parte de proceso donde se requiere tomar medida de temperatura y el 'elemento secundario' (transmisor) instalado en el carril DIN de un armario, donde captará la señal proveniente del elemento primario generando una señal analógica que interpretará el controlador.

En el caso de planta piloto, todas las Pt100 están instaladas por separado como muestra la figura anterior, teniendo todos los transmisores de las mismas en un carril DIN, lo que facilita mucho el acceso en caso de tener que realizar cualquier mantenimiento o cualquier procedimiento de calibración

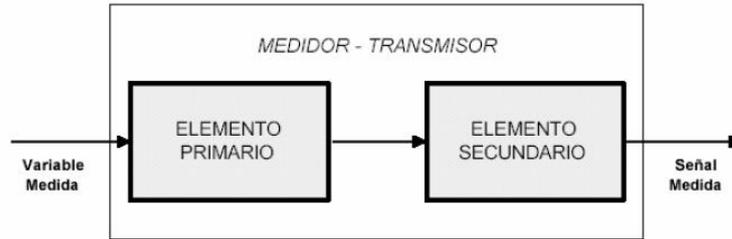


Figura 2.1: Captación de medida y conversión a señal de medida

del transmisor.

En la mayoría de Pt100 se tuvo en cuenta el encapsulado para la instalación a la salida o entrada de los depósitos o actuadores que forman el proceso, por eso son de un tamaño algo más reducido y disponen de un conector integrado que las dota de protección contra múltiples fluidos. Éstas Pt100 disponen de una conexión de 3 hilos. Este tipo de conexión hace que la medida no se vea afectada por la longitud del cable ni por la variación de temperatura mientras la longitud de los conectores sea la misma. En la siguiente figura puede verse estas Pt100.



Figura 2.2: Pt100 instaladas en los conectores 'T' de la planta piloto

Las únicas dos Pt100 con vaina que existen están instaladas una en el depósito V-101001 y otro en el reactor. Aquí se muestra el tipo de encapsulado.

## Transmisor Rosemount 248R de montaje en carril



### Especificaciones funcionales

Fuente de alimentación	Al ser HART requiere una fuente de alimentación externa. El transmisor funciona con un voltaje de 12-42.4V CC. Suministro mínimo de 17.75V CC con una carga de 250 ohmios.
Límites de temperatura	Límite de funcionamiento: -40 a 85°C Límite de almacenamiento: -50 a 120°C
Señal de salida	2 cables, 4-20mA, lineal con la temperatura o entrada; señal de la salida digital superpuesta en una señal de 4-20mA, disponible para un comunicador de campo o interfaz del sistema de control.
Span de medición mínimo recomendado	10 K
Límites de humedad	Humedad relativa de 0-99%, sin conexión

### Especificaciones de funcionamiento

Efecto de la fuente de alimentación	Menos del 0.005% del span por voltio
Estabilidad	Para entradas de termopar y termorresistencia, el transmisor tendrá una estabilidad de 0,1% de la lectura o 0,1 °C (el valor que sea mayor) durante 1 año.

Diagrama de conexión	
----------------------	--

### Exactitud del transmisor y efectos de la temperatura ambiental

Sensor	Rangos de entrada del transmisor		precisión		Efectos de T <sup>a</sup> por cambio de 1°C por cambio en la T <sup>a</sup> ambiental	
	°C	°F	Fijo	% Span	Fijo	% Span
Pt100 (α=385)	-200 a 850	-328 a 1562	0,2 °C	±0,1	0,006°C	±0,004

NOTAS	Todos los transmisores de temperatura han sido ajustados en el siguiente rango:			
	URV	<input type="text" value="120.00"/>	degC	
	LRV	<input type="text" value="0.00"/>	degC	



Figura 2.3: Pt100 instaladas en V-10101 y en el reactor

### 2.1.1.2. Transmisores de presión

Hay diferentes formas de medir nivel en la industria, y una de ellas es emplear sensores de presión. Es muy común el empleo de estos sensores ya puede medir el nivel tanto en fluidos que presentan un estado completamente líquido y expuestos a la presión atmosférica o fluidos que se encuentran en depósitos cerrados sometidos a una presión estática.

El sistema de estos sensores se basa en el principio de medir la presión hidrostática, donde es independiente el volumen del fluido implicado o la forma del recipiente. La presión es proporcional a la columna de fluido. Montan sensores piezoresistivos que se basan en la variación de resistencia que experimenta un metal o un semiconductor cuando es sometido a presión. En la membrana sometida a la deformación se montan cuatro galgas en puente, que generan una salida UA que es amplificada antes del ADC.

Al ser el fluido con el que trabajamos agua y estar sometida a la presión atmosférica, utilizamos los sensores de nivel por presión diferencial instalados en la planta piloto. Este tipo de sensores de nivel no son los únicos que hay instalados en la planta piloto, ya que el hecho de que exista una variedad viene dada por motivos académicos. En la siguiente figura se muestra un depósito abierto, es decir, a presión atmosférica, con una instalación típica para la medida de nivel idéntica a la que se encuentra en la planta piloto.

Dicho esto para la medida de nivel se utiliza la siguiente expresión:

$$dP = AP - BP = ((H * \rho P) + P_{atm}) - P_{atm} = H * \rho P \quad (2.1)$$

En la realidad, los depósitos de las plantas químicas usarían una configuración del sensor de presión distinta ya que los depósitos serían cerrados debido a los productos que en ellos se almacenan.

## Transmisor de presión Rosemount 2051T



### Especificaciones funcionales

Fuente de alimentación	El transmisor funciona con 10.5-42.4V CC. La fuente de alimentación debe suministrar energía con una fluctuación menor al 2% es necesario una carga mínima de 250 ohmios para comunicarse con un comunicador HART.
Límites de temperatura	Límite de funcionamiento: -40 a 85°C Límite de almacenamiento: -46 a 110°C
Señal de salida	2 cables, 4-20mA, lineal con la temperatura o entrada; señal de la salida digital superpuesta en una señal de 4-20mA, disponible para un comunicador de campo o interfaz del sistema de control.
Límites de humedad	Humedad relativa de 0-100%
Tipo de conexión a proceso	1/2 -14 NPT hembra
Conjuntos de manifold	Montar en el manifold integral Rosemount 306

### Especificaciones de funcionamiento

Efecto de la fuente de alimentación	Menos del 0.005% del span por voltio
Estabilidad	Rangos 1-5 ±0,1% del límite superior del rango por 2 años
Exactitud	±0,075% del span

### Exactitud del transmisor y efectos de la temperatura ambiental

#### Límites del rango del sensor 2051T

Span mínimo	Superior (URL)	Inferior (LRL)(abs.)	Inferior(LRL) (Manométrica)
0,103 bar (1.5 psi)	10,3bar (150 psi)	0bar (0 psi)	-1,01 bar (-14,7 psig)

#### NOTAS

Los Transmisores Rosemount 2051T disponibles en la planta estan dedicados específicamente a la medida de nivel.  
El rango de medida que fueron ajustados es:  
**LT-01: 0-105650 mmH2O,** con un span mínimo de 1057 mmH2O

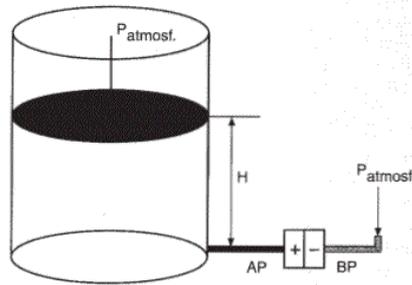


Figura 2.4: Instalación de sensor de nivel en depósito abierto

### 2.1.1.3. Radar de onda guiada

Instalado en el depósito V-10102 de la planta piloto, el sensor de radar por onda guiada de la serie Rosemount 3300, es otro instrumento cuya función es la de medir el nivel del fluido que contiene en su interior. Son capaces de medir tanto nivel como interfases en el caso de que en un depósito existan fluidos con distinta constante dieléctrica.

Este tipo de sensores inteligentes, están basados en los principios de reflectometría en el dominio del tiempo. Cuentan con una sonda, que puede ser rígidas o con plomada, que cubre toda la amplitud del depósito donde se medirá, atravesando todos los fluidos que se encuentren en su interior. Los medios con una constante dieléctrica mayor ofrecen una mejor reflexión y un rango de medición mucho más amplio.

Los umbrales de amplitud de señal se utilizan para separar la señal de medición de ecos y ruidos. En la figura se muestra un ejemplo de los ecos producidos por este sensor.

La tecnología de microonda guiada ofrece la mayor fiabilidad y precisión ya que las mediciones no se ven afectadas por muchos factores como la temperatura, presión, mezclas de gas vapor, densidad, turbulencia, burbujas/ebullición, espumas, etc...

## Radar de onda guiada Rosemount 3300



### Especificaciones funcionales

Fuente de alimentación	El transmisor funciona con un voltaje de 11-42.4V CC para la comunicación HART. Es necesario una carga mínima de 250 ohmios para comunicarse con un comunicador HART.
Límites de temperatura	Límite de funcionamiento: -40 a 150°C Límite de almacenamiento: -40 a 80°C
Señal de salida	2 cables, 4-20mA HART.
Límites de humedad	Humedad relativa de 0-100%
Niveles de alarma	Baja: 3,75mA Alta: 21,75mA
Niveles de saturación	Baja: 3,9mA Alta: 20,8mA

### Características físicas

Tipo de conexión a proceso	1/2 -14 NPT hembra
Tipo de sonda	Cable individual rígido: 0,4-3m

### Rendimiento de medición

Precisión de referencia	± 5mm para sondas < 5 m ± 0,1% de la salida medida para sondas > 5m
Repetibilidad	± 1 mm
Efecto de la Tª ambiental	Menor que 0,01% de la distancia medida por °C.

### Zonas de transición

	Constante dieléctrica	Cable individual rígido
Superior	80	10 cm
Inferior	80	5 cm

NOTAS

	<span style="color: green;">↑</span> URV <input style="width: 80px;" type="text" value="1.150"/> m	<span style="color: red;">↑</span> USL <input style="width: 80px;" type="text" value="1.300"/> m	
	<span style="color: green;">↓</span> LRV <input style="width: 80px;" type="text" value="0.050"/> m	<span style="color: red;">↓</span> LSL <input style="width: 80px;" type="text" value="0.000"/> m	
		<span style="color: red;">↕</span> Min span <input style="width: 80px;" type="text" value="0.100"/> m	

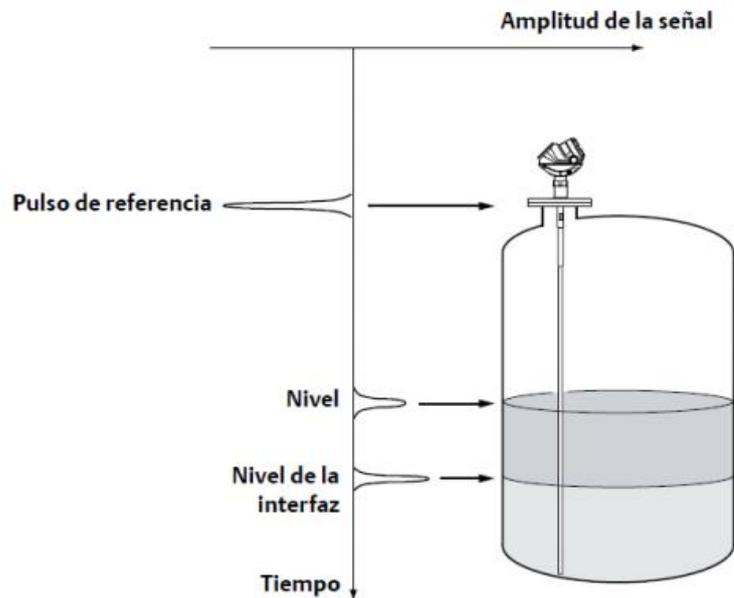


Figura 2.5: Principio de medición

#### 2.1.1.4. Sensor de caudal

Como se describió anteriormente, la medición de caudal de líquidos y gases es una de las variables más importantes en procesos industriales. Cada vez es más relevante en la industria química, petróleo y gas, gestión de aguas, alimentación y bebida, papeleras, etc...

El caudal se deduce midiendo la velocidad a través de un área conocida. Pero a pesar de todo tiene algunos factores que le afectan negativamente: la velocidad del flujo, la fricción del fluido en contacto con la tubería, la densidad y la viscosidad del fluido.

Existen tanto medidores de caudal volumétricos como másicos, y entre los másicos se encuentran los medidores de caudal de coriolis. Éstos últimos son los que están instalados en la planta como se puede ver en la siguiente figura.

El fluido que pasa a través del caudalímetro es forzado a adquirir el movimiento del tubo, entonces la bobina conductora del sensor lo hace vibrar haciendo que oscile y produzca ondas. Cuando un fluido o un gas circulan a través del tubo, el efecto coriolis causa un cambio de fase en la onda seno que es detectada por los dos sensores. El cambio de fase es proporcional al caudal en masa.



Figura 2.6: Sensor de caudal

Los sensores que hay montados en la planta son coriolis de la serie F de altas prestaciones, con un transmisor 2400S Micro Motion.

## Sensor de caudal de coriolis



### Especificaciones funcionales

Fuente de alimentación	El transmisor funciona con 18-100 Vcc. La recomendada es 24 Vcc.
Límites de temperatura del transmisor	Límite de operación y almacenamiento: -40 a 60 °C Por debajo de -20 °C la sensibilidad del indicador disminuye.
Límites de temperatura del medidor	-100 a 350 °C
Señal de salida	Una salida activa o pasiva de 4-20 mA con un límite máximo de carga de 820 Ω. Puede transmitir caudal másico, caudal volumétrico, densidad, temperatura o ganancia de bobina. La salida es lineal con el proceso desde 3,8 a 20,5 mA.
Límites de humedad	Humedad relativa de 5-95%, sin condensación a 60 °C
Tipo de conexión a proceso	1/2 -14 NPT hembra
Conexión de la señal analógica 4-20 mA	<p>820 ohmios de resistencia de lazo máxima</p>

### Exactitud del transmisor y efectos de la temperatura ambiental

Precisión	±0,05 del caudal para líquidos ±0,05% del caudal para gases
Rango de presión	Hasta 350 bares.
NOTAS	El rango de calibración de estos dos instrumentos es: 0-1,8L/min

### 2.1.2. Actuadores

Son los elementos activos de las plantas industriales, actuando según la lógica programada de control en función a las medidas realizadas por los sensores. En esta sección se listarán los actuadores que están disponibles en la planta y que formarán parte de nuestro proceso real de control.

#### 2.1.2.1. Válvula solenoide

El uso de válvulas solenoides en la planta es necesario, ya que interfieren directamente en la distribución del fluido de la planta de forma automática. La instalación de las mismas está unido a la creación de lazos de control que permitan por ejemplo, automatizar la entrada de fluido de los depósitos o cuando abrir el paso del fluido a la camisa del reactor sin acción directa de un operario.

Éstas válvulas son todo o nada y normalmente abiertas por que para cambiar el estado natural de las válvulas de '0' a '1' hay que energizar la bobina que contienen en su interior. En total existen cuatro válvulas de este tipo instaladas en la planta, dos de ellas encargadas de aprovisionar a los depósitos de agua de la red y las dos restantes encargadas de permitir o no, el paso del flujo tanto de la línea caliente como de la fría.

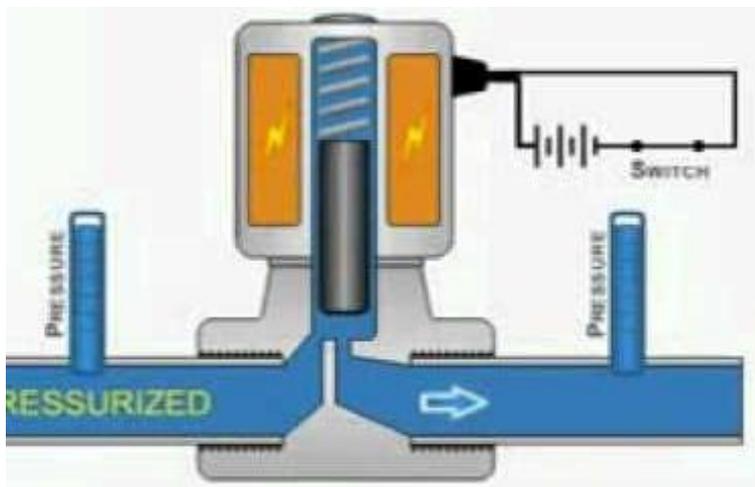


Figura 2.7: Válvula solenoide

## Válvula solenoide



### Construcción

Caja cabeza magnética	EM-MXX-Acero galvanizado (revestimiento epoxy)
Prensastopas	PA, M20 x 1,5
Tubo, culata, núcleo móvil	Acero
Anillo desfasado	Cobre o plata
Placa de características	Polyester
Conexión bobinas	Bornas de tornillo solidarias al bobinado
Modo de protección <b>ATEX</b>	II 2 G tD A21 IP67 II 2 G e mb II
Medida de tubería	1/2

### Características eléctricas

Tensión estandar	CC (=) : 24-48V
------------------	-----------------

### Clasificación por temperatura

Pn(vatios)	Talla bobina	Temperatura de superficie			
		T6 85°C	T5 100°C	T4 135°C	T3 200°C
11.2 W	MXX				40

### Condiciones de funcionamiento

Medida	Gases 0-9 bar Agua 0-9 bar LT OIL 0-9 bar
Estado de la válvula sin alimentación	NA

#### NOTAS

Las 4 válvulas disponibles en la planta piloto disponen de todas las características descritas

### 2.1.2.2. Variadores de frecuencia

Los variadores de frecuencia son sistemas muy empleados para controlar la velocidad rotacional de los motores de corriente alterna. Se alimentan de la corriente alterna proveniente de la red, convirtiendo esa corriente alterna en corriente continua, por medio de un puente rectificador de diodos, este voltaje se filtra por un banco de capacitores interno, con el fin de suavizar el voltaje rectificado y reducir así la emisión de variaciones en la señal; posteriormente en la etapa de inversión, la cual está compuesta por transistores, que encienden y apagan en determinada secuencia para generar una forma de onda cuadrada de voltaje de CD a un frecuencia constante y su valor promedio tiene la forma de onda senoidal de la frecuencia que se aplica al motor.

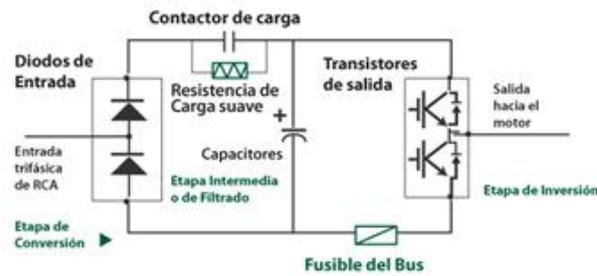


Figura 2.8: Circuito de variación de frecuencia

La planta cuenta con un armario independiente que contiene siete variadores de frecuencia Altivar 11 y una salida de regulación manual además de las protecciones de potencia.



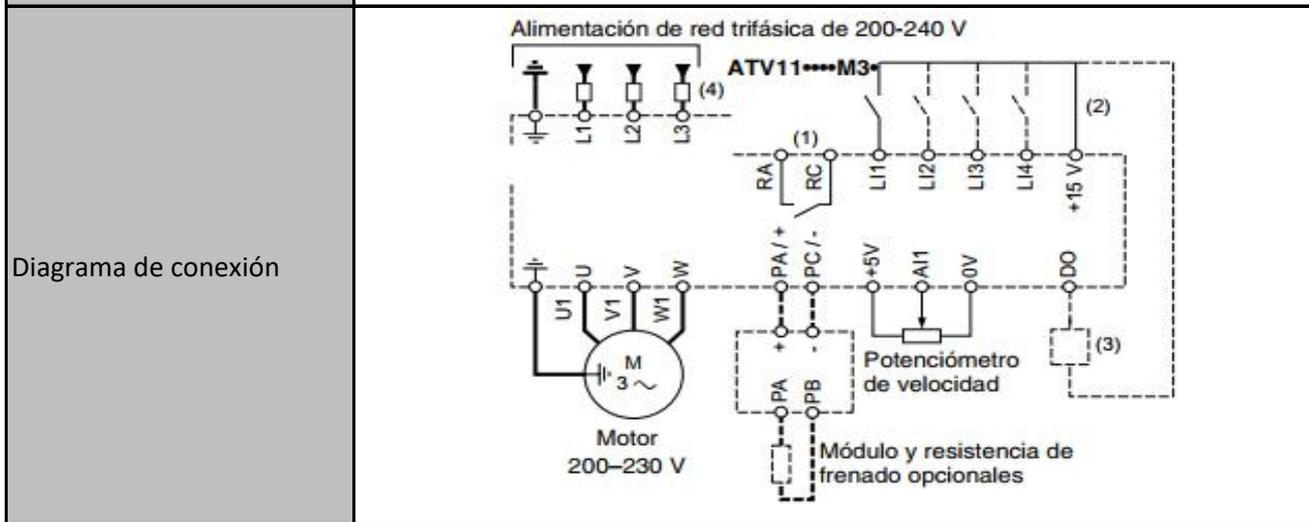
Figura 2.9: Armario contenedor de los variadores de frecuencia

## Variador de frecuencia Altivar 11



### Especificaciones funcionales

Fuente de alimentación	trifásica, 200 - 15% a 230 +10%
Límites de temperatura	Límite de funcionamiento: -10 a 50 °C Límite de almacenamiento: -25 a 69 °C
Frecuencia de la fuente de alimentación	50 Hz ±5% o 60 Hz ±5%
Fuentes de alimentación internas	5 V ±5% para el potenciómetro de velocidad. 15V ±5% para las entradas de control.
Entrada analógica AI1	Tensión 0-5 o 0-10, impedancia de 40 Ω. Corriente 0-20 mA o 4-20 mA (sin resistencia adicional), impedancia 250 Ω.
Entradas lógicas, LI	4 entradas programables: LI1 - LI4



### Variables fundamentales de programación del motor

ACC	Curva de aceleración del motor.
dEC	Curva de desaceleración del motor.
LSP	Velocidad baja.
HSP	Velocidad alta.
ItH	Corriente térmica del motor.
Ait	Configuración de entrada analógica (4A para usar 4-20 mA).

<b>Submenú drC</b>	
UnS	Tensión nominal del motor.
FrS	Frecuencia nominal del motor.
nCr	Corriente nominal de motor.
COS	Factor de potencia nominal del motor.
<b>Submenú Fun</b>	
tCC	Tipo de control (Act/ 2C para el control a 2 hilos).
rrS	Marcha atrás (Seleccionar entrada LI1-LI4 para asignar).
NOTAS	Lo anteriormente descrito son las funciones mas basicas e importantes a tener en cuenta antes de poner en marcha un motor. Es importante programar cada variador en funcion de las características electricas del motor, por lo que se aconseja mirar el datasheet del variador altivar 11 para obtener una información mas detallada.

### 2.1.2.3. Bombas

En total en la planta puede contarse la suma de tres bombas trifásicas, entre la línea de frío, la línea de calor y un motor de igual características para hacer funcionar el agitador del reactor. La bomba V-10051 es la encargada de poner en movimiento el fluido de la línea de calor hacia la camisa del reactor, la bomba V-10052 hace lo mismo con el fluido de la línea fría mientras que la bomba V-10056 es la que se encarga de impulsar el fluido procedente del equipo de frío hacia el intercambiador en un circuito cerrado. Esta bomba cuenta con un acumulador para conseguir un flujo más suave y homogéneo, realizando en el arranque de la bomba una compensación de presión de forma que no sufra la bomba y alargando así su esperanza de vida.

El caudal puede ser mayor o menor dependiendo de la velocidad de giro de las bombas que a su vez es dependiente de la frecuencia que les llega de los variadores de velocidad. Tienen todas unas características semejantes como la conexión en triángulo, una potencia de 50 Hz y un caudal máximo de 15 L/min. En la figura 2.10 podemos ver las bombas encargadas de mover el agua por el circuito de la planta.

Realmente las bombas son elementos que hay que estudiar sus características antes de ponerlos en funcionamiento, ya que para su protección hay que ajustar bien los variadores de velocidad y también evitar altas presiones en la línea y un flujo demasiado bajo. Si la bomba funciona en vacío podría quemarse muy rápido.



(a) Calor



(b) Frío



(c) Loop frío

Figura 2.10: Bombas de agua

#### 2.1.2.4. Tiristores

Son los encargados de controlar las grandes cantidades de corriente que necesitan las resistencias térmicas para poder calentarse. Este control se realiza mediante circuitos electrónicos de bajo consumo de potencia.

La palabra tiristor, procedente del griego, significa puerta. El nombre es fiel reflejo de la función que efectúa este componente: una puerta que permite o impide el paso de la corriente a través de ella. Así como los transistores pueden operar en cualquier punto entre corte y saturación, los tiristores en cambio sólo conmutan entre dos estados: corte y conducción.

Estos elementos se almacenan en un armario de control de tiristores en un lateral de la planta piloto. Este armario es un armario ACT4Z-EE000, con unas dimensiones de 1200x800x300 mm, que está preparado para suministrar una tensión de hasta 400 V, 20 A por tiristor y que cuenta con ventilación forzada para evitar el sobrecalentamiento de los tiristores o la acumulación

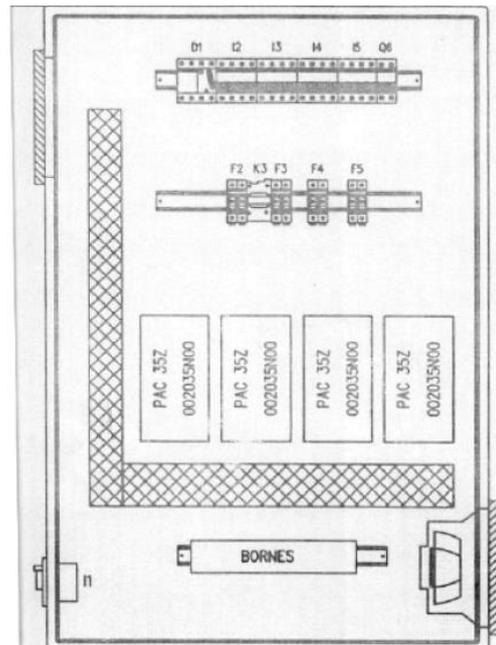
## 42CAPÍTULO 2. COMPROBACIÓN DE LOS ELEMENTOS DE CAMPO

de calor dentro del armario.

Por otro lado los tiristores existentes son del modelo PAC35Z-002035-N00, contando con un total de 4 de estos actuadores en el interior del armario de tiristores. Se puede ver la configuración de los mismos en la figura 2.11.



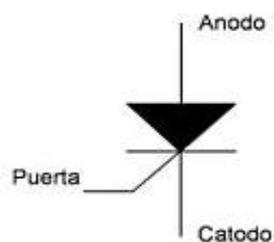
(a) Armario tiristores



(b) Esquema Armario

Figura 2.11: Armario con tiristores y configuración

## Tiristor PAC35Z-002035-N00



### Especificaciones funcionales

Fuente de alimentación	Funcionan con una tensión 200 a 240 Vac o 380 a 440 Vac, comandados por una señal analógica de entrada de 4-20 mA.
Límites de temperatura	Límite de funcionamiento: -10 a 50 °C
Corriente	20 A.
Frecuencia de trabajo	50/60 Hz.
Límites de humedad	Humedad relativa hasta 90%.
Control del tiristor	Se puede controlar por ángulo de fase o conmutación de la tensión cero.
NOTAS	

### 2.1.2.5. Actuadores térmicos

En la planta, se hace uso de actuadores cuya función es calentar el fluido con el que se trabaja, que en este caso es agua. Estos actuadores están divididos en dos, ya que, por un lado tenemos un total de dos resistencias de inmersión y por el otro lado un calentador en línea.

La función de las resistencias de inmersión es la de calentar el agua contenida en el depósito V-10101 (en el caso de la J-10101) y otra resistencia J-10103 contenida en el interior del reactor para simular la temperatura que genera una reacción química dentro de éste. Están sumergidas y apoyadas en unas rejillas a una distancia de 50 mm sobre el fondo del depósito y del reactor. Éstas resistencias están formadas por un tubo de teflón que contiene en su interior la resistencia eléctrica enrollada en forma de espiral. Cuentan con una potencia total de 4.5 kW en trifásica de 400 V, para cada una de las resistencias. Se puede observar en la figura 2.12 este tipo de actuador.

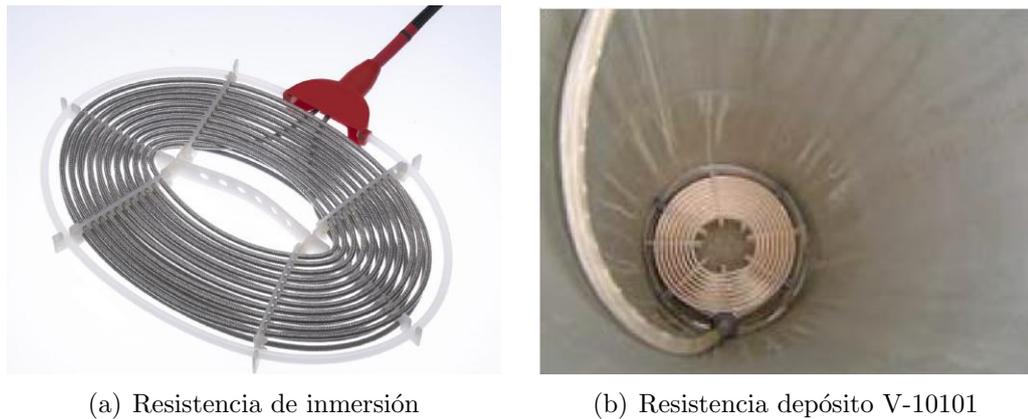


Figura 2.12: Resistencia espiral de la planta piloto

Por otro lado está el calentador en línea, un depósito de acero inoxidable que contiene en su interior una resistencia (J-10102) y que tiene una capacidad de 5 litros. Con este calentador se pretende realizar el ajuste fino de temperatura del fluido proveniente del depósito V-10101, y que pasará a la camisa del reactor cuando se quiera calentar el interior del mismo. La potencia de la resistencia que contiene en su interior es de 10 kW. Lleva incorporado un termostato de seguridad tipo ACT de -10 a 90 °C que corta el suministro de calor cuando se alcanzan estos extremos de temperatura. En la práctica el calentador está diseñado para alcanzar una temperatura máxima de 80 °C para el agua de salida y un caudal máximo de 5L/min, aunque este caudal

queda limitado a 1.8 L/min debido a que los caudalímetros de coriolis y el conjunto de mangueras y tuberías no permite un mayor paso.

Se puede observar en la figura 2.13 el detalle de las resistencias en el interior del calentador en línea a la izquierda y a la derecha el calentador existente en la planta.



(a) Interior calentador de línea



(b) Calentador de línea real

Figura 2.13: Calentador de línea planta piloto

#### 2.1.2.6. Equipo de frío

Va instalado en la misma estructura mecánica bajo la camisa del reactor. Está relleno de líquido anticongelante, tanto el depósito como el serpentín, donde la bomba introduce el fluido y lo hace pasar al intercambiador de calor por medio un circuito cerrado. Se puede observar dicho equipo en la figura 2.14.



Figura 2.14: Equipo de frio de la planta piloto

# Capítulo 3

## Auditoria de la instrumentación

En este capítulo veremos las nociones y conceptos básicos para poder entender más adelante qué procesos sigue la industria para calibrar, que procedimientos vamos a escoger y como se realizan calibraciones y verificaciones en los instrumentos de temperatura y presión (que a su vez miden nivel) que actualmente hay instalados en la Planta Piloto y que son reflejo de lo que hoy en día, un ingeniero de instrumentación realiza en cualquier tipo de planta, ya sea Oíl-Gas, química, de alimentación, etc.

### 3.1. Metrología

Como bien indica su nombre se puede definir metrología a partir de su etimología: del griego que se define como la ciencia de las mediciones y sus aplicaciones (metron: medida y -logía: ciencia o estudio).

Puede ser considerada por sí misma como una ciencia independiente en constante evolución y desarrollo, en todos sus aspectos teóricos, experimentales y prácticos que tiene por finalidad establecer un conocimiento objetivo de nuestro mundo físico.

La metrología posee diversificación en cuanto a los campos de aplicación, a esta diversidad se atribuyen las clases de metrología las cuales han sido aceptadas en todo el mundo a través de la historia debido a la gran aplicabilidad, definiéndose cada clase como se ve en la figura 3.1.

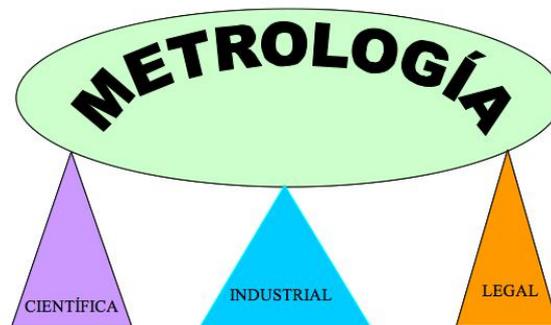


Figura 3.1: Tipos de metrología

### 3.1.1. Metrología científica

También conocida como 'metrología general' es una ciencia determinista encargada de la investigación de unidades de medición, además de la custodia mantenimiento y trazabilidad de los patrones, las técnicas y métodos de medición, los instrumentos, métodos y procedimientos; mediante un conjunto de acciones que apremian el desarrollo de patrones primarios de medición para las unidades base del sistema internacional de unidades, SI. También se ocupa de los problemas tanto prácticos como teóricos relacionados con las unidades de medida, como las estructura de un sistema de unidades o la conversión de medida en fórmulas.



Figura 3.2: Metrología científica

### 3.1.2. Metrología legal

Es una categoría necesaria y ejercitada por cada gobierno de forma independiente.

Se puede definir como:

*'Conjunto de procedimientos administrativos, técnicos y legales constituidos por la autoridad conveniente, que comprende las actividades de control oficial a cargo del estado con el objetivo de detallar y certificar de forma reglamentaria la calidad y credibilidad de las mediciones utilizadas en los controles nacionales'.*

El objetivo principal de esta categoría es proteger al consumidor estableciendo un servicio de metrología legal que comprueba estos requisitos con el fin de garantizar medidas correctas en áreas de interés público, como el comercio, la salud, el medio ambiente y la seguridad. Esto se traduce a que, todo lo que no cumpla lo anteriormente dicho, son productos no conformes y no pueden ser comercializados ni puestos en servicio. Entre sus campos de acción están:

- Verificación de pesas, balanzas y básculas.
- Verificación de cintas métricas.
- Verificación de surtidores de combustible.
- Verificación de productos pre-empacados.
- Control de escapes de gas de automóviles.
- Taxímetros.
- Cilindros de gas.
- Contadores eléctricos, de agua y gas, etc.



Figura 3.3: Metrología legal

### 3.1.3. Metrología industrial

Ésta categoría de metrología es la que se utiliza en este TFM. Cobra un importante papel en lo que se refiere a la calidad aplicada a la fabricación, y comprende todas aquellas actividades de un sistema de gestión de medidas que necesita la industria para cumplir con los objetivos de calidad y gerencia, como lo es la información sobre mediciones, las calibraciones, el aseguramiento de la calidad entre otras, garantizando la confiabilidad de las mediciones que se realizan día a día en la industria.

Es una disciplina centrada en las medidas aplicadas al control de calidad utilizando calibración y gestión de los equipos e instrumentos de medida, con verificación nacional o internacional, según los parámetros de trazabilidad.

Hoy en día, en muchas de las industrias más desarrolladas se ha aumentado complejidad de los procesos y operaciones tecnológicas, ya que las exigencias de tolerancias e incertidumbres son muy estrictas, lo cual requiere



Figura 3.4: Metrología industrial

importantes aportes metroológicos en la investigación y el desarrollo de patrones y métodos de medición con amplia trazabilidad en el sistema internacional, que favorezcan el rompimiento de barreras tecnológicas existentes en la reproductividad y aceptación de resultados en las aplicaciones industriales.

Los avances metroológicos son esenciales para la innovación industrial ya que se necesita contar con buenos fundamentos que sustenten las decisiones tecnológicas y políticas de dicha innovación. La competitividad industrial se soporta en la confianza de los resultados de la medición, y la metrología permite justamente asegurar la comparabilidad internacional de las mediciones y por tanto la intercambiabilidad de los productos a escala internacional.

Por otra parte la globalización de los mercados y el desarrollo tanto social como tecnológico hace que los fabricantes se interesen por la mejora y la actualización de sus sistemas de calidad, especialmente en nuestro país con la adhesión al mercado europeo.

## 3.2. Calibración, verificación, validación y ajuste

Es importante conocer algunos términos que son fundamentales dentro del mundo de la metrología y que forman un ciclo continuo: Calibración, verificación y ajuste.

- Calibración es el conjunto de operaciones que bajo condiciones específicas establece una relación entre los valores y sus incertidumbres asociadas obtenidas a partir de los patrones de medida y los correspondientes valores indicados e incertidumbres asociados del sistema a calibrar.
- Verificación es dar evidencia objetiva de que un elemento satisface los requisitos especificados, por ejemplo, las especificaciones de fábrica. No debe confundirse una verificación con una calibración.
- Ajuste es un conjunto de operaciones realizadas sobre un sistema de medida para que el valor proporcionado por éste, corresponda con un valor dado de una magnitud a medir.

Un instrumento que ha sido ajustado debe ser calibrado. El certificado de calibración debe informar los valores antes y después de realizado el ajuste.

La calibración forma parte de una etapa industrial de vital importancia llamada pre-comisionado. Es necesario conocer el estado de los instrumentos antes de realizar pruebas de lazo o incluso antes de crear cualquier tipo de lazo de control debido al riesgo que supone el tener un instrumento mal calibrado o incluso estropeado.

Universalmente, la calibración de un equipo de medida para procesos industriales, consiste en comparar la salida del equipo frente a la salida de un patrón de exactitud, cuando la misma entrada es aplicada a ambos equipos, en lo que se conoce como trazabilidad.

La incertidumbre forma parte de los procesos de medida, y en las calibraciones, se deben tener en cuenta todas las fuentes significativas de incertidumbre asociadas al proceso de medida del error que se lleva a cabo. En el entorno industrial se acepta que una fuente de incertidumbre puede considerarse no significativa cuando su estimación es inferior

en valor absoluto a 4 veces la mayor de todas las fuentes estimadas.

Además, es importante seguir un mantenimiento periódico de los instrumentos para asegurar que tomen de forma correcta los datos de un proceso concreto. El mantenimiento de los instrumentos es necesario por diversos factores: el paso del tiempo, el envejecimiento de los componentes, el estrés mecánico, los cambios de temperatura que soportan los equipos e instrumentos hacen que sus funciones se deterioren poco a poco.

Cada vez son más numerosas las razones que llevan a los fabricantes a calibrar sus equipos de medida, con el fin de:

- Mantener y verificar el buen funcionamiento de los equipos
- Responder a los requisitos establecidos en las normas de calidad
- Garantizar la fiabilidad y trazabilidad de las medidas

### 3.3. Equipos de calibración

Los equipos de calibración desempeñan un papel fundamental en la industria de control de procesos. La mayoría de los procesos industriales depende del comportamiento de sus instrumentos independientemente de la variable a medir.

Existe todo tipo de calibradores para temperatura y presión, tanto específicos como multifuncionales. Los calibradores de temperatura específicos se usan para calibrar prácticamente cualquier instrumento térmico como RTD, termopares además de realizar medidas eléctricas de voltaje y corriente, aunque realmente están limitados en esta última función ya que no es su propósito principal. Por otro lado los multifunción pueden realizar calibraciones de multitud de instrumentos de temperatura, pero cuentan además con la ventaja de poder calibrar instrumentos de presión.

Tanto los sensores primarios como los transmisores, en términos de temperatura, son elementos que pueden ser calibrados juntos o por separado. Es muy recomendable la calibración de los transmisores por un lado, y la calibración de los propios sensores de temperatura por otro lado, si se quiere asegurar con precisión de la temperatura del proceso. Los calibradores de temperatura de mano son resistentes y generan y miden RTD, termopares,

así como, transmisores de potencia; además, permiten el almacenamiento de datos.

Para las calibraciones en general, se pueden utilizar una gran variedad de métodos e instrumentos, aunque a la hora de calibrar los sensores de la planta piloto utilizaremos los disponibles en la Universidad Politécnica de Cartagena y describimos a continuación.

### 3.3.1. Pozos de metrología de campo

Como consecuencia del tamaño del equipo de calibración, tradicionalmente, la calibración de conjuntos de temperatura ha sido confinada a los laboratorios, pudiendo resultar muy difícil mover los baños de calibración de un lugar a otro dentro del recinto. Pero, con los desarrollos en la tecnología de pozos secos, la calibración de temperatura de exactitud puede realizarse con éxito en terreno.

En la actualidad, resulta posible realizar la calibración de temperatura dentro del entorno de los procesos industriales gracias a los hornos portátiles de calibración. Tienen un peso inferior a 8.2 Kg y un tamaño muy reducido, lo que facilita su transporte a cualquier punto de planta y pudiendo obtener una muy buena exactitud en el trabajo de calibración. Tanto si necesita calibrar un transmisor de 4 a 20 mA como un simple termostato, el horno portátil de calibración es la herramienta adecuada para realizar dichas tareas.

En la Universidad politécnica de Cartagena se disponen de dos modelos Fluke de la serie 9140 que cubren el rango de  $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $660\text{ }^{\circ}\text{C}$ , ofreciendo la posibilidad de calibrar una amplia gama de tipos de sensores, proporcionando dos canales de lectura para termo resistencias (RTD) termo resistencias de platino (PRT), termopares y transmisores de 4 a 20 mA, incluyendo alimentación de lazo de 24 V para el transmisor. Además, si se utilizan sensores industriales de temperatura, tales los dichos anteriormente, se necesita un calibrador de pozo seco que sea capaz de brindar una calibración de temperatura de exactitud. En la figura 3.5 se muestran este tipo de hornos de calibración.

Tradicionalmente, las calibraciones de los transmisores de temperatura se realizaban sobre la electrónica de medida, en tanto que el sensor no se calibraba. Los estudios demuestran, sin embargo, que habitualmente el 75 % de los errores en el sistema transmisor (electrónica del transmisor y sensor de temperatura) se producen en el propio elemento sensor. Por tanto, es im-



Figura 3.5: Hornos de calibración de la serie 9140 de Fluke

portante calibrar el lazo completo, tanto los componentes electrónicos como el sensor.

Los pozos de metrología de campo maximizan la velocidad y la portabilidad sin poner en riesgo los seis criterios clave del rendimiento de la metrología establecidos por EA: exactitud, estabilidad, uniformidad axial (vertical), uniformidad radial (pozo a pozo), carga e histéresis. Todos los criterios son importantes para garantizar mediciones exactas en todas las aplicaciones de calibración. Las pantallas del pozo de metrología en terreno se calibran con PRT de alta calidad rastreables y acreditados.

Entre las características más generales de estos hornos de calibración se encuentran:

- Livianos, portátiles y rápidos.
- Se enfrían a  $-25\text{ °C}$  en 15 minutos y se calientan a  $660\text{ °C}$  en 15 minutos.
- Lectura de dos canales integrada para PRT, RTD, termopares, corriente de 4 a 20 mA.
- Termometría de referencia verdadera con exactitud hasta  $\pm 0,01\text{ °C}$ .
- Funciones integradas de automatización y documentación.
- Rendimiento de metrología en términos de exactitud, estabilidad, uniformidad y carga.

### 3.3.2. PRT de finalidad general y específica

Para la calibración de sensores de temperatura es habitual comparar los sensores de campos con sonda de gran precisión que presentan una exactitud muy alta y hacen de referencia y así poder validar los sensores de la industria.

Este tipo de sondas de temperatura se dividen en dos grupos a su vez: primarias y secundarias. Con las secundarias se puede calibrar todo tipo de sensores de temperatura (PT100, termopares, etc.) y con las primarias a parte poder calibrar sensores, son capaces de calibrar las sondas primarias por tener una exactitud superior. La ventaja de las sondas secundarias es la rapidez de respuesta que tienen debido a que son vainas de acero inoxidable con un diámetro de 0.5 mm por lo que permiten la transferencia de calor de manera instantánea.



Figura 3.6: Resistencias de platino de Fluke

Destacan las resistencias de platino de Fluke (figura 3.6) que presentan una respuesta rápida o un corto plazo de inmersión en un intervalo de temperatura amplio.

### 3.3.3. Calibrador multifunción Fluke 754

En el mercado existe una amplia gama de marcas que trabajan en la comercialización de estos equipos de trabajo, esenciales para un metrologo de campo. Uno de las más potentes del mercado es Fluke, que comercializa el

calibrador de procesos 754, y por supuesto, con el que contaremos para las calibraciones realizadas en planta. Ver figura 3.7.



Figura 3.7: Calibrador de procesos Fluke 754

Se trata del último modelo de la serie 700 que añade opciones que no incluía el 744, como por ejemplo, la calibración por medio de la comunicación Hart, capaz de realizar casi todas las tareas diarias que se realiza con cualquier comunicador independiente. EL calibrador documentador de potencia 754 realiza el trabajo de varios instrumentos: generación, simulación y medición de presión, temperatura y señales eléctricas en un dispositivo portátil y resistente. El mero hecho de ser multifunción y ser portátil hacer que se use mucho para realizar verificaciones o calibraciones de instrumentos 'in situ', como se puede apreciar en la figura 3.8

El calibrador se caracteriza por automatizar los procedimientos de calibración y captura sus datos. Se hará uso del software de Fluke DPCTRACK2 para ellos aunque también es capaz de funcionar con otros programas conocidos de Honeywell Meridium, Emerson, Cornerstone, Yokogawa, Prime Technologies, Intergraph y otros. Realmente es muy cómodo y sencillo utilizar este calibrador ya que se pueden crear y descargar procedimientos, instrucciones y listas de acciones creadas con software para proporcionar la documentación de forma rápida y sencilla.

Algo fundamental, es que permite la comunicación de calibrador con cualquiera de los pozos de metrología de campo que disponemos en la Universidad mediante un cable de comunicación. Para la calibración o verificación de sensores de temperatura es ideal, ya es posible cargar el procedimiento en el



Figura 3.8: Medición de variables de proceso en planta

calibrador, conectarlo al pozo y realizar la calibración de forma automática (solo se debería aceptar ciertos puntos de temperatura). Todos los resultados son recogidos por el calibrador. Figura 3.9.

Este calibrador será el que empleemos en la calibración de todos los sensores de temperatura y presión que disponemos en la planta piloto de la Universidad politécnica de Cartagena.

### 3.4. Software de calibración

El la evolución de la tecnología y gran exigencia de las industrias impulsan a los desarrolladores a crear software que haga más sencilla la tarea de calibración, automatizando los procesos o una parte de ellos, a través de un control informático. Estos softwares permiten que el usuario administre sus datos datos del activos y sus datos de calibración. permiten crearse bases de datos y gestionar instrumentos, crear procedimientos, ejecutar la calibración y poder formular los certificados de los instrumentos bajo prueba.

Las ventajas de emplear un software de calibración son significativas:

- **Regularidad.** Garantiza que diferentes operadores podrán realizar la calibración exactamente de la misma manera en ubicaciones múltiples en distintos momentos. Con esto mejora la calidad de los resultados, se disminuyen los errores y se estandarizan los métodos.



Figura 3.9: Calibrador Fluke y Pozo conectados

- **Eficiencia.** Automatizar el proceso de calibración permite que los técnicos configuren pruebas y luego puedan realizar otras tareas, lo que hace que su tiempo sea más eficiente y que las calibraciones se realizan mucho más rápido, implicando un ahorro de tiempo y dinero.
- **Documentación e informes.** El software de automatización de calibración normalmente incluye funciones para documentar los procedimientos de calibración, almacenar los datos de la calibración y generar informes, lo que le permite eliminar los registros en papel y las hojas de cálculo.

### 3.4.1. Software DPC Track 2

Los softwares de calibración ayudan a gestionar la calibración y el mantenimiento de los instrumentos. Gracias a este tipo de softwares de gestión, se puede generar, actualizar y gestionar los registros de una amplia variedad de dispositivos e instrumentos. Hay una gran variedad de softwares de gestión potentes en el mercado como es CMX de Beamex que permite gestionar las calibraciones realizadas en campo o DPC Track 2 de Fluke entre otros.

Hablaremos sobre el software que se ha empleado en la Universidad, con-

cretamente para realizar todos los procedimientos específicos de calibración realizados en la planta piloto, DPC Track 2. Ver figura 3.10.

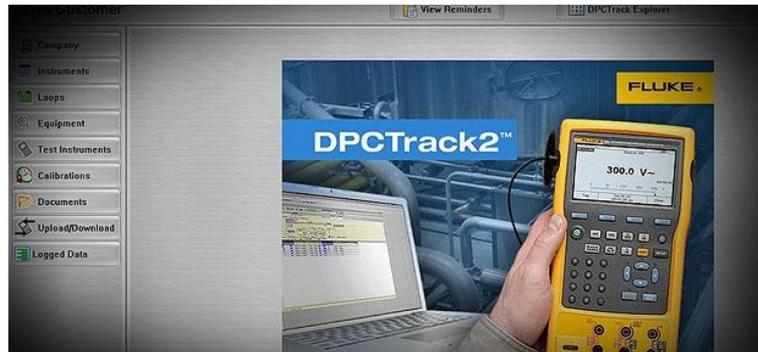


Figura 3.10: Ventana principal DPC Track 2

En este software es donde se realizan los procedimientos de calibración que posteriormente se cargan al calibrador de campo.

Permite descargar sus procedimientos de calibración en un calibrador de procesos de documentación (DPC) para su uso sobre el terreno. También, permite cargar los resultados de las pruebas a una base de datos de calibración o instrumentos.

Las características fundamentales del software:

- Agregar, mostrar, modificar y eliminar registros del instrumento, incluyendo información general, puntos de calibración y otros datos sobre el instrumento.
- Creación de tareas o procedimientos específicos.
- Registrar datos sobre los instrumentos de prueba que utilice en su entorno (calibradores multifunción, módulos de presión, etc...).
- Realizar los registros de calibración de los que ya haya registrado en la base de datos y así poder gestionar los certificados de calibración.
- Permite cargar y descarga datos del software al calibrador y viceversa.
- Importar registros de datos realizados con el calibrador.

### 3.4.2. Software de calibración Procal

Este Software proporciona herramientas para la automatización de calibraciones con los equipos Transmille, a partir de una estación de trabajo se puede controlar una red de múltiples disciplinas. Viene cargado de herramientas para muchos instrumentos comunes, incluyendo todo los equipos Transmille, calibradores multiproducto Fluke e instrumentos de laboratorio de marcas importantes.



Figura 3.11: Software Procal

Procal simplifica la tarea de calibración, proporcionando una interfaz gráfica con una clara indicación de estado de la prueba. Para facilitar su uso, Procal proporciona indicaciones de conexión automatizadas que se muestran en los procedimientos para mostrar las conexiones comunes.

Permite el cálculo de incertidumbres de forma automática, por medio del método GUM explicado en puntos anteriores. Este recurso es una ventaja, puesto que el cálculo de incertidumbres de forma manual para un instrumento que mide una gran variedad de magnitudes a diferentes rangos es bastante aparatoso y puede llegar a errores en los cálculos.

Procal está compuesto por:

- ProSet. Proporciona las facilidades para la configuración del sistema.
- ProEdit. Permite la creación de una lista de test para instrumentos específicos, así como el procedimiento a seguir para dichos instrumentos.
- Procal. Se trata del programa de calibración como tal.
- Procert. Facilita al usuario a imprimir y personalizar los certificados de calibración.

### 3.4.3. Software de gestión ProcalTrack

Procal-Track proporciona herramientas para la gestión de los instrumentos bajo pruebas que entran a un laboratorio y sus puntos de calibración para tenerlos totalmente controlados. Puede ser utilizado independientemente de Procal, es decir, no es necesario tener el software de calibración, pero puede ser integrado para la automatización completa del laboratorio que utiliza calibradores Transmille.



Figura 3.12: Software Procal Track

Es fácil de usar y proporciona características de gran alcance para que el usuario no le sea costoso entender su interfaz. Identifica instrumentos guardados de forma inmediata, incluyendo la capacidad de imprimir etiquetas de identificación de instrumentos que utilizan lectores de códigos de barras para simplificar la entrada de datos.

## 3.5. Procedimiento de calibración

Para comenzar hay que realizar procedimientos de calibración. Para ello es necesario tener un modelo de partida a seguir, que sirva de guía para poder

realizar la calibración de cualquier instrumento de planta.

Existen procedimientos ya creados por organismos para poder realizar las calibraciones tanto de temperatura como de presión, aunque no quiere decir que escoger alguno de ellos sea lo más recomendable, ya que, se pueden crear otros procedimientos que se adapten al modo de trabajo a realizar, los instrumentos de calibración empleados y los diferentes instrumentos y su situación, considerando que es lo más oportuno para una calibración eficiente.

Las fases que se han optado para la calibración de los sensores disponibles en planta son las siguientes:

1. Conocer que instrumento se va a calibrar, que mide, que salida genera, etc.
2. Comprobar en el datasheet las especificaciones generales del instrumento: Span, rango calibrado, exactitud, precisión, repetibilidad, etc.
3. Escoger los calibradores que se van a utilizar en el proceso de calibrado. Dependiendo del instrumento, es necesario elegir el equipo idóneo para la calibración del mismo.
4. Introducir el instrumento en la base de datos de DPC Track 2.
5. Generar con DPC Track 2 la tarea de trabajo específica para la calibración de cada instrumento.
6. Cargar la tarea al calibrador a través del puerto de comunicación USB.
7. Proceso de calibración. Valor esperado, ajuste y valor dejado. Con el calibrador multifunción, se realiza la propia calibración que consta de tres partes:
  - Valor encontrado. Se realiza la primera comprobación en el que se observa que error presenta el instrumento inicialmente.
  - Ajuste. Por medio del calibrador, se puede realizar un ajuste para mejorar el error inicial en puntos concretos como 0 %, 50 % y 100 % del rango de trabajo.
  - Valor dejado. Una vez realizado el ajuste oportuno, en el caso de necesitarlo, se realiza una segunda comprobación para obtener el error final con respecto a las especificaciones marcadas y así poder concluir con el proceso de calibración.

8. Descarga de los resultados en DPC Track 2. Los resultados obtenidos serán cargados a la base de datos, donde estará reflejado todos los informes de calibración realizados a cada uno de los instrumentos.

### 3.5.1. Creación de tareas en DPC Track 2

DPC-TRACK2 es el software de gestión de Fluke con el que se puede gestionar las calibraciones de procesos. La gran ventaja de este software es que el usuario puede introducir cualquier calibrador de Fluke junto con otro tipo de calibradores de marcas importante y añadirlos en la opción 'instrumentos de prueba'. Tiene un arbol de navegación muy intuitivo y que nos ofrece mucha información. Se pueden mostrar todos los instrumentos de prueba y calibraciones vencidas en los últimos 45 días.

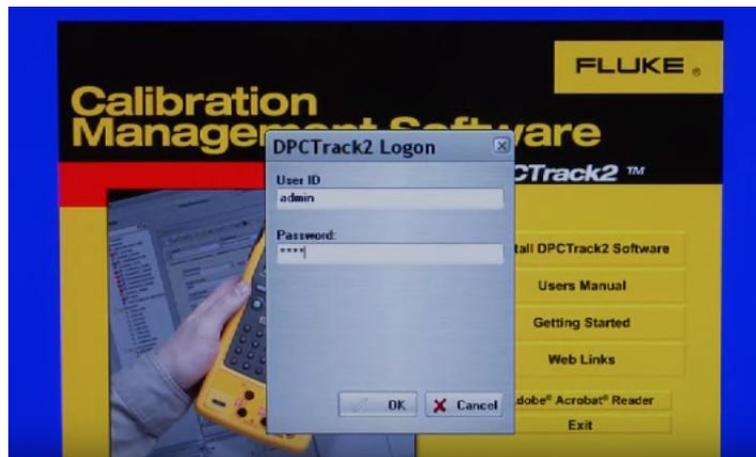


Figura 3.13: Inicio DPC Track 2

Para crear un procedimiento nuevo, básicamente puedes crear o copiar un instrumento, ponerle una etiqueta y luego (Figura 3.14), en la configuración, seleccionar los puntos de calibración, tolerancias de prueba y el número de puntos de prueba que se desee realizar. Una vez introducidos los parámetros anteriores se presiona en 'Calculate limits' y en 'Auto assign limits' y el sistema calculará automáticamente los puntos de prueba de ésta etiqueta. Figura 3.15

De la misma forma con la que creamos instrumentos en la base de datos, hay que crear también los equipos de calibración, en nuestro caso utilizaremos el Fluke 754 para dichas tareas. Figura 3.16

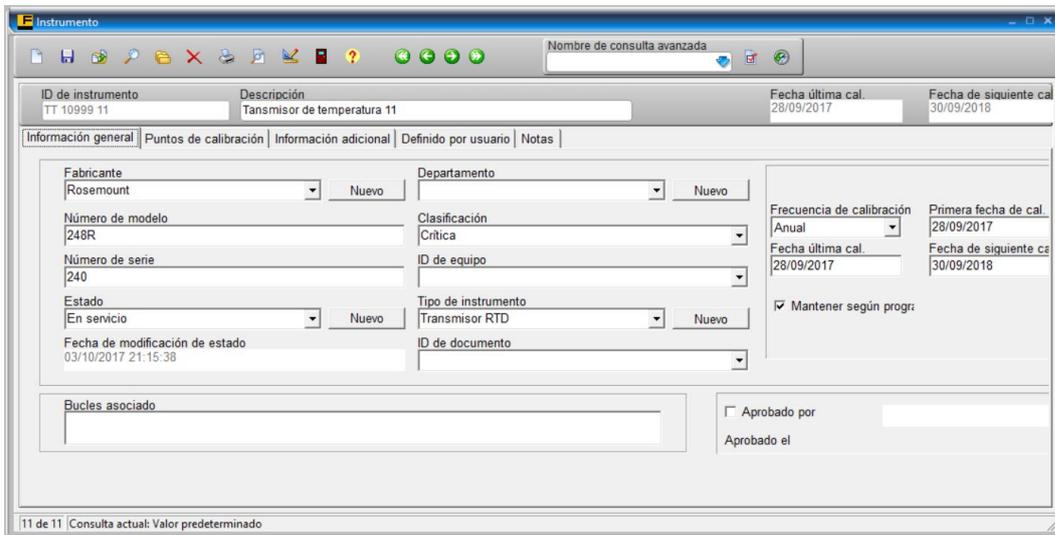


Figura 3.14: Creación de un nuevo instrumento

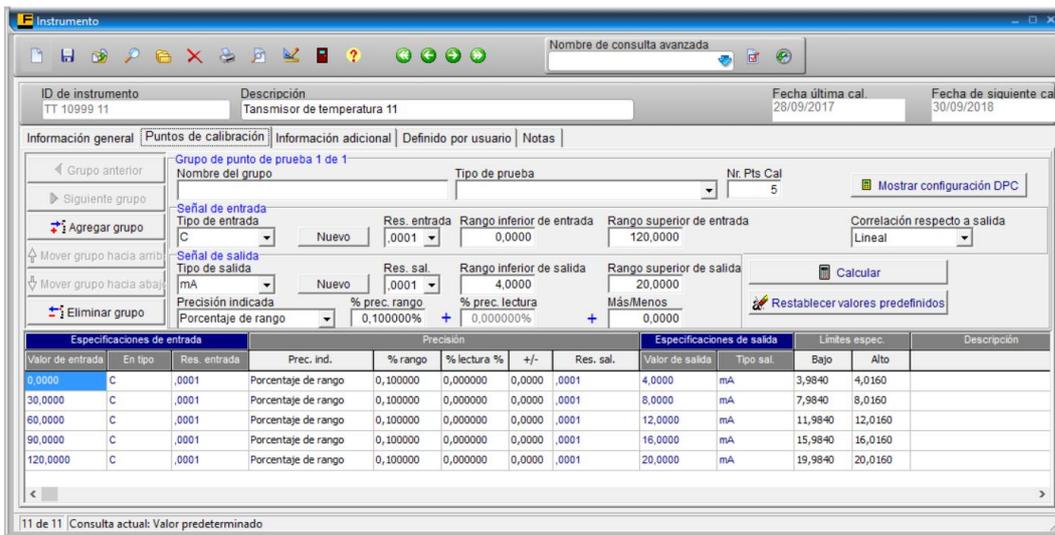


Figura 3.15: Puntos de calibración

Para cargar una etiqueta en el calibrador, hay que seleccionar 'Upload download' en el arbol de navegación de la izquierda. En esta ventana se puede ver las etiquetas pendientes o pasadas, desde una fecha determinada. Para poder ver todas las etiquetas hay que borrar la fecha y después actualizar la lista. Aparecerán todas las etiquetas de los instrumentos, hay que seleccionar la deseada y cargarla en el cuadro 'Tags to download', entonces la etiqueta estará lista para descargará al calibrador Fluke 754. Figura 3.17

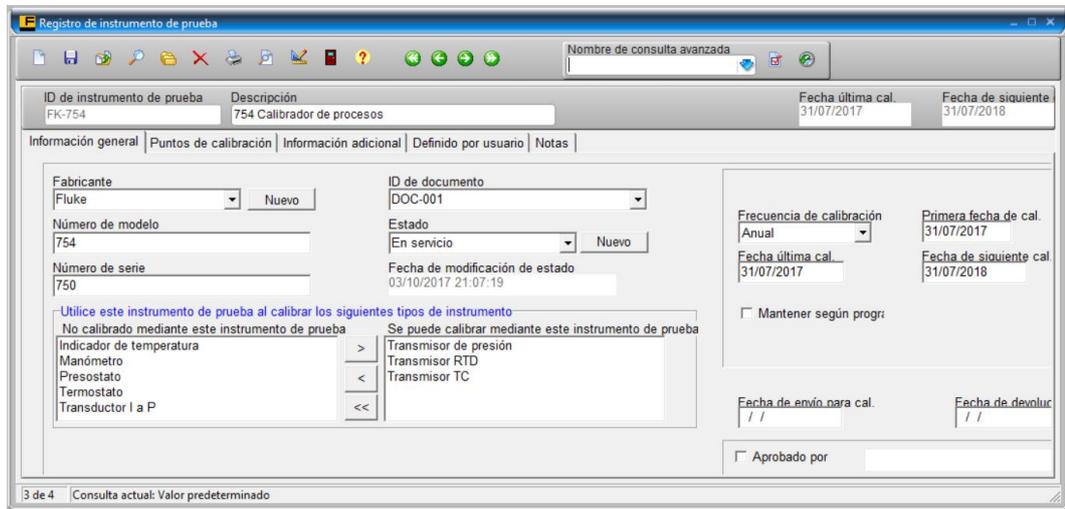


Figura 3.16: Creación de un nuevo equipo de calibración

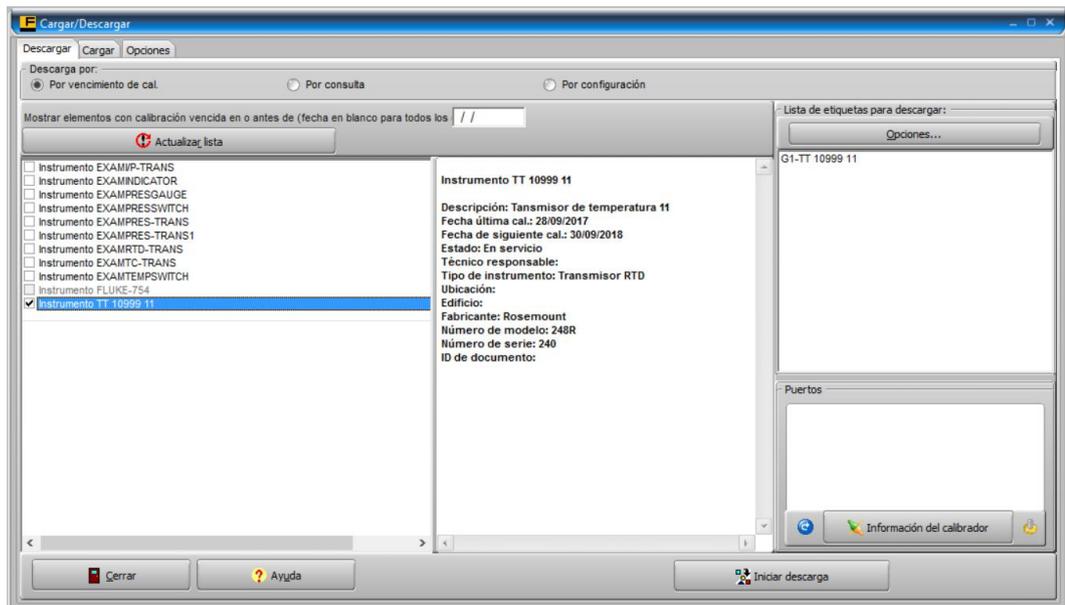


Figura 3.17: Tareas a descargar

Se debe establecer la conexión USB entre el calibrador y el ordenador e iniciar la descarga del procedimiento en el calibrador. A continuación, realizaremos la calibración de la etiqueta descargada en el calibrador. Figura 3.18



Figura 3.18: Tarea cargada en calibrador Fluke 754

Seleccionamos la tarea cargada en el calibrador. Dicha tarea está configurada para un transmisor de temperatura 'Mas opciones ¿tareas'. Aquí vemos la tarea cargada en el calibrador desde el software DCP Track 2.

Presionar 'Enter' para seleccionar la tarea y continuar configurando el calibrador para la prueba. Después seleccionar 'Auto test' para documentar automáticamente el rendimiento del transmisor.

Al acabar, se verán los valores de temperatura registrados aplicados, los miliamperios medidos y el porcentaje de errores del intervalo. Si el porcentaje de errores del intervalo es superior a la primera tolerancia, se marcará el fondo negro, como se ve en la primera línea de la figura 3.19 que indica que la prueba de este transmisor a fallado.

Lo siguiente que hay que hacer es seleccionar 'Continue' y confirmar el Id. de la etiqueta. Para escribir el número de serie de la etiqueta, vamos a 'Serial number' y lo escribimos. Después pulsamos de nuevo en 'Continue' dos veces seguidas.

Ahora la prueba realizada está lista para cargarse en el software DPC Track 2. Para ello conectamos el Fluke mediante la conexión USB y seleccionamos 'Upload', confirmamos los ajustes e iniciamos la descarga. Figura

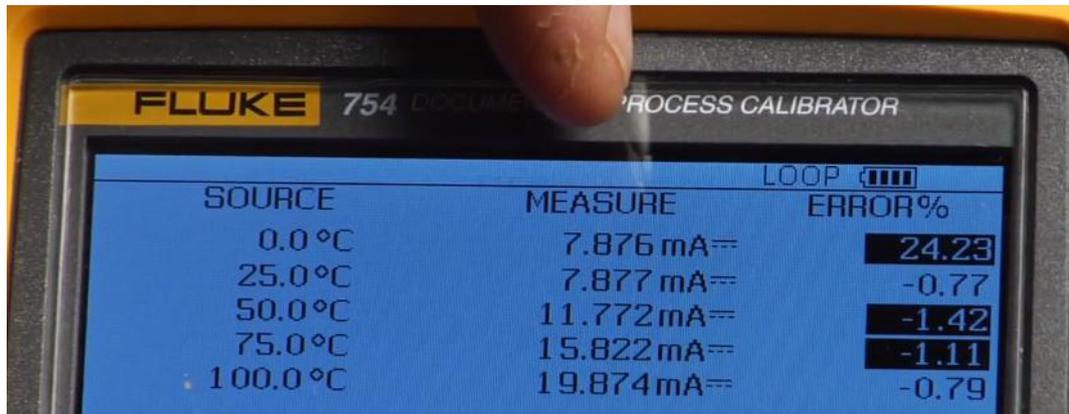


Figura 3.19: Resultado de la prueba

3.20

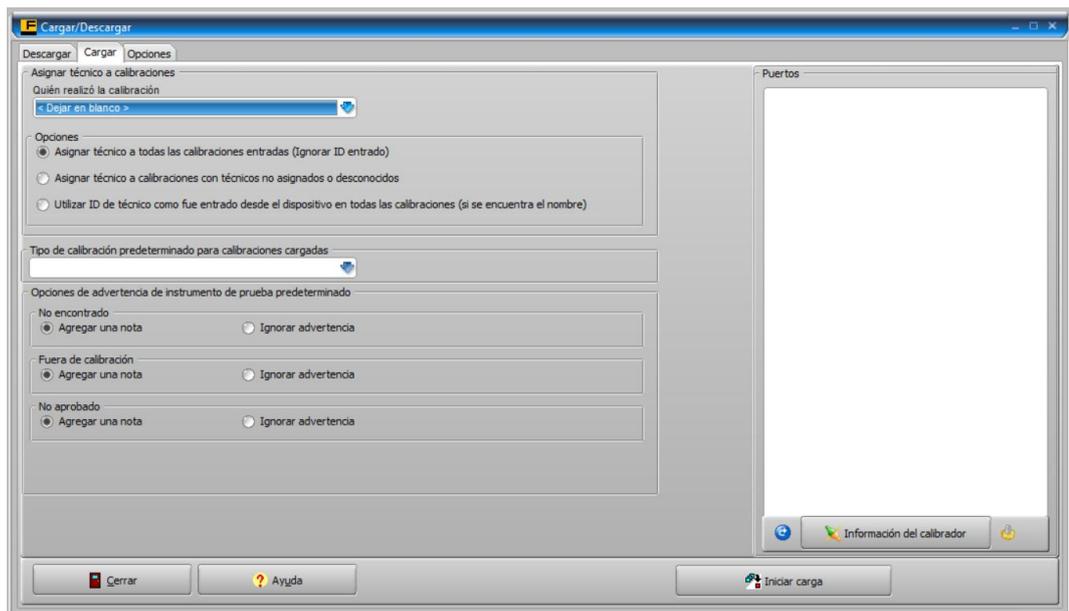


Figura 3.20: Carga de tareas al software DPC Track 2

Una vez cargados los resultados, podremos revisar cada registro y autorizar su grabación en la base de datos.

Para revisar los resultados de la calibración, seleccionamos 'Calibrations' y se verán todos los resultados almacenados en la base de datos. En nuestro

caso debemos seleccionar la etiqueta de la calibración realizada y seleccionar 'Test results'. Figura 3.21

Punto	Especificaciones de entrada			Especificaciones de salida		Lecturas	
Nr. G	Valor de entrada nominal	Valor de entrada	En tipo	Valor de salida	Tipo sal.	Enc. como	Dejado como
1-1	0,0000	0,0000	C	4,0000	mA	4,001	4,001
1-2	30,0000	30,0000	C	8,0000	mA	8	8
1-3	60,0000	60,0000	C	12,0000	mA	11,999	11,999
1-4	90,0000	90,0000	C	16,0000	mA	16,002	16,002
1-5	120,0000	120,0000	C	20,0000	mA	20,002	20,002

Figura 3.21: Resultados almacenados en la base de datos

Este procedimiento para la creación, descarga y carga de tareas es el mismo pero aplicable a los diferentes instrumentos que se quieran calibrar.

### 3.6. Calibración de sensores de temperatura

La calibración de instrumentos de temperatura juega un papel fundamental en las planta de procesos industriales. Las herramientas que se han utilizado como calibradores o patrones de referencia en los diferentes procesos de calibración se han mencionado en el punto anterior, pero conviene recordar que para la calibración de temperatura, en el proyecto se ha utilizado:

- Calibrador multifunción Fluke 754.
- Horno de pozo seco Fluke 9144.
- Sonda de referencia de platino Fluke 5609.

Cabe añadir que para las Pt100 instaladas en las líneas de la planta se ha tenido que fabricar una inserción de aluminio con un orificio en su centro con un diámetro ajustado igual al diámetro de las puntas del sensor de platino.

También se ha realizado otra inserción para las Pt100 instaladas en el depósito V-10101 y en el reactor, ya que las dos inserciones que vienen por defecto no cumplen con los diámetros de los sensores que existen en la planta.

Se procederá a realizar la calibración de los transmisores Hart de cada uno de los instrumentos de temperatura. Como ya se comentó, muchas veces no basta con realizar la calibración al transmisor, puesto que la mayor fuente de errores en el conjunto está producido por el sensor primario. Debido a esto, se realizará la calibración del transmisor Hart por un lado, y por otro la calibración del equipo completo.

Si se quiere realizar la calibración del sensor independiente del transmisor, es necesario llevar al laboratorio de calibración el instrumento, porque el calibrador de procesos no está preparado para realizar la calibración de sensores primarios y el horno de calibración no realiza una calibración detallada con las correspondientes incertidumbres de la medida. En el caso de que se quieran realizar unas comprobaciones o verificaciones de los sensores de temperatura, si se podría realizar fácilmente con el horno de pozo seco.

Como dato adicional, se ha visto que algunas empresas dedicadas en el sector de la calibración, a la hora de calibrar los instrumentos de temperatura, hacen uso de los pozos secos para comprobar los sensores primarios y luego apuntan los resultados de forma manual en una plantilla de 'Excell' que les genera los resultados de la calibración. Por otro lado calibran los transmisores. Estos resultados, evidentemente son puestos en copia del cliente y pueden llevar al cambio de un instrumento, debido a la malfunción del mismo, o a la declaración de conformidad de los resultados obtenidos.

### **3.6.1. Calibración de transmisores Hart**

La calibración de transmisores de temperatura en la industria de procesos abunda debido a la cantidad de transmisores que presenta. En el proyecto se han utilizado los transmisores de temperatura 248R de Emerson.

El instrumento inteligente con protocolo de comunicación Hart/4-20 mA que se ha utilizado es el que se muestra en la figura 3.22.

Las características del transmisor pueden verse en el capítulo de 'Instrumentación', la parte de 'sensores'.



Figura 3.22: Transmisor de temperatura Hart

Calibrar un transmisor de temperatura inteligente Hart requiere una fuente o un simulador de temperatura preciso, mediciones de mA y una herramienta de comunicación Hart para la calibración. Puede usar herramientas independientes o un calibrador que integre los tres requisitos para realizar esta tarea. En nuestro caso, se ha utilizado el calibrador de procesos 754 para la calibración del transmisor.

#### 3.6.1.1. Comunicación Hart Fluke 754

El Fluke nos permite entrar a la configuración del transmisor mediante un cable especial de comunicación Hart que éste trae. Éste cable, se conecta en el lateral del calibrador y el otro extremo debe ir al transmisor. Esta conexión se puede observar en la figura 3.23.

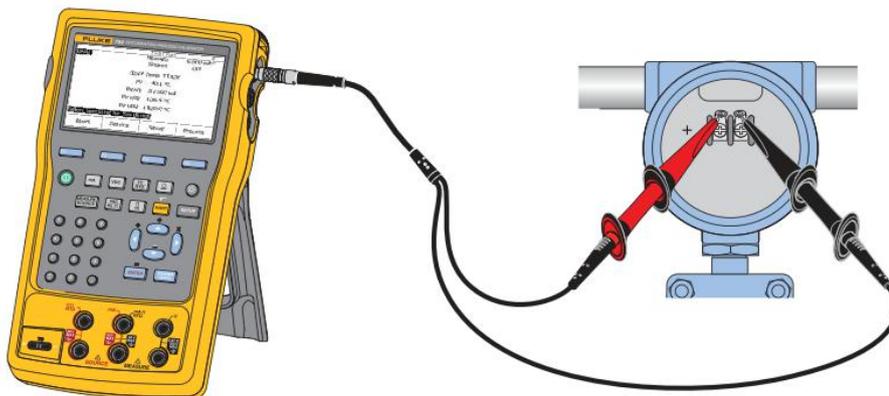


Figura 3.23: Comunicación Hart entre el calibrador y el transmisor

Una vez realizada la comunicación con el dispositivo, desde el propio calibrador se puede visualizar y configurar datos del instrumento, así como el rango en el que está configurado para que trabaje. Simplemente, pulsando el botón Hart, es posible cambiar del modo analógico al modo de comunicación Hart. Figura 3.24.

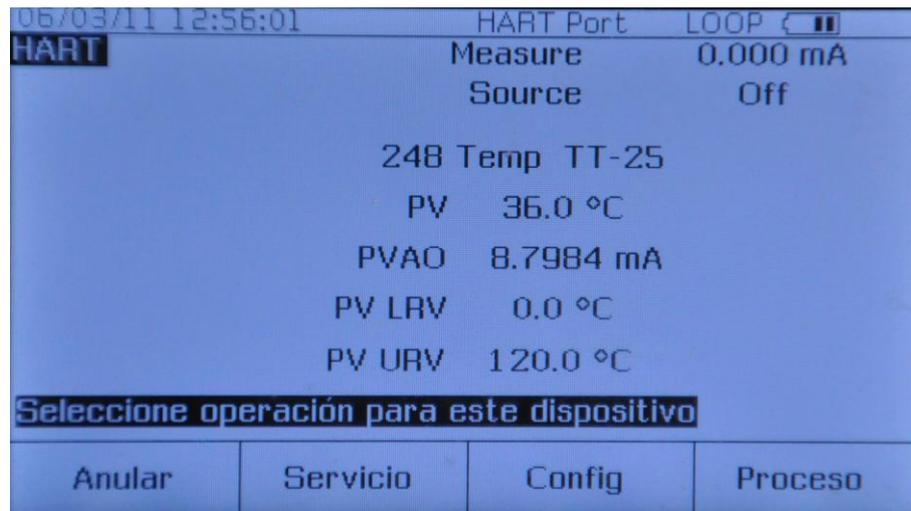


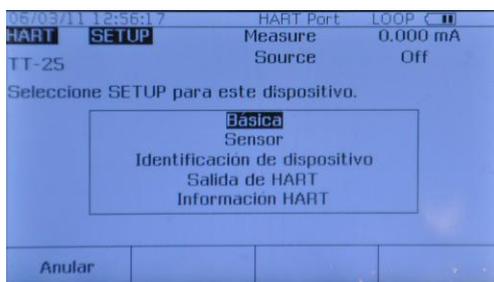
Figura 3.24: Configuración Hart

Podemos acceder a la configuración del transmisor, donde encontramos los menús que aparecen en la figura 3.25.

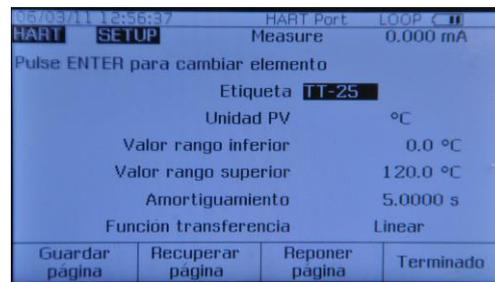
Este tipo de conexión, a la hora de realizar la prueba del transmisor, sirve entre otras cosas para verificar el rango o la amplitud del dispositivo. También podemos cambiar el rango ajustándolo a una escala en la que sepamos que vamos a trabajar sin sobrepasarla. Por ejemplo, para agua podemos usar un rango de [0 a 100 °C], aunque sabemos que con este fluido no debemos sobrepasar mucho los 60 °C ya que a partir de esa temperatura entramos en una zona peligrosa donde podría producirse principios de evaporación. En nuestro caso los transmisores los hemos dejado en un rango algo superior [0 a 120 °C].

### 3.6.1.2. Prueba manual del transmisor Hart

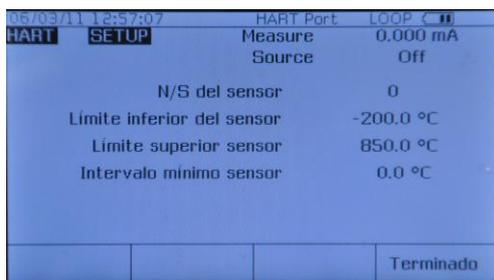
Para empezar debemos tener claro que el conexionado analógico entre el calibrador y el transmisor debe ser el que se muestra en la figura 3.26.



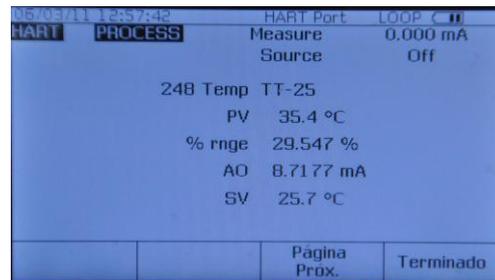
(a) Menú configuración



(b) Configuración Básica



(c) Configuración Sensor



(d) Información del dispositivo

Figura 3.25: Configuración del transmisor mediante conexión Hart con Fluke 754

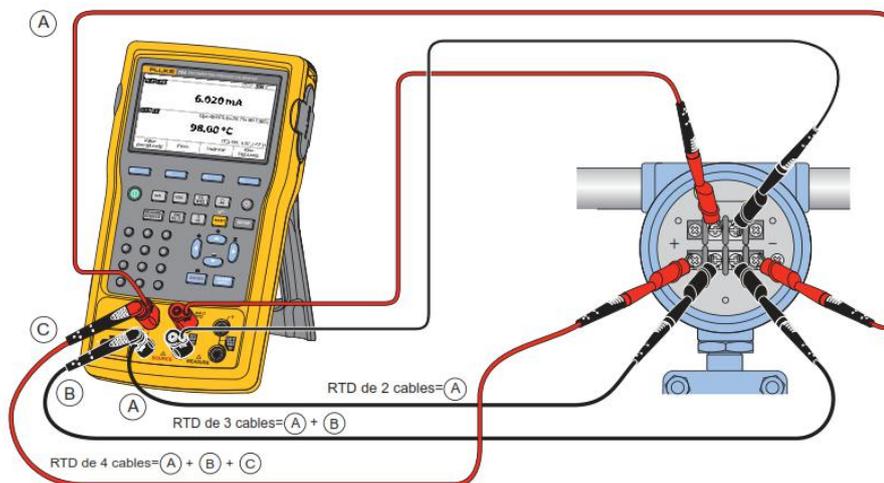


Figura 3.26: Transmisor de temperatura Hart

En nuestro caso, al generar una RTD a tres hilos simplemente se debe quitar un cable del terminal negativo de los cuatro que se muestran en la figura 3.26.

La conexión entre el transmisor y el calibrador quedaría como en la figura 3.27.

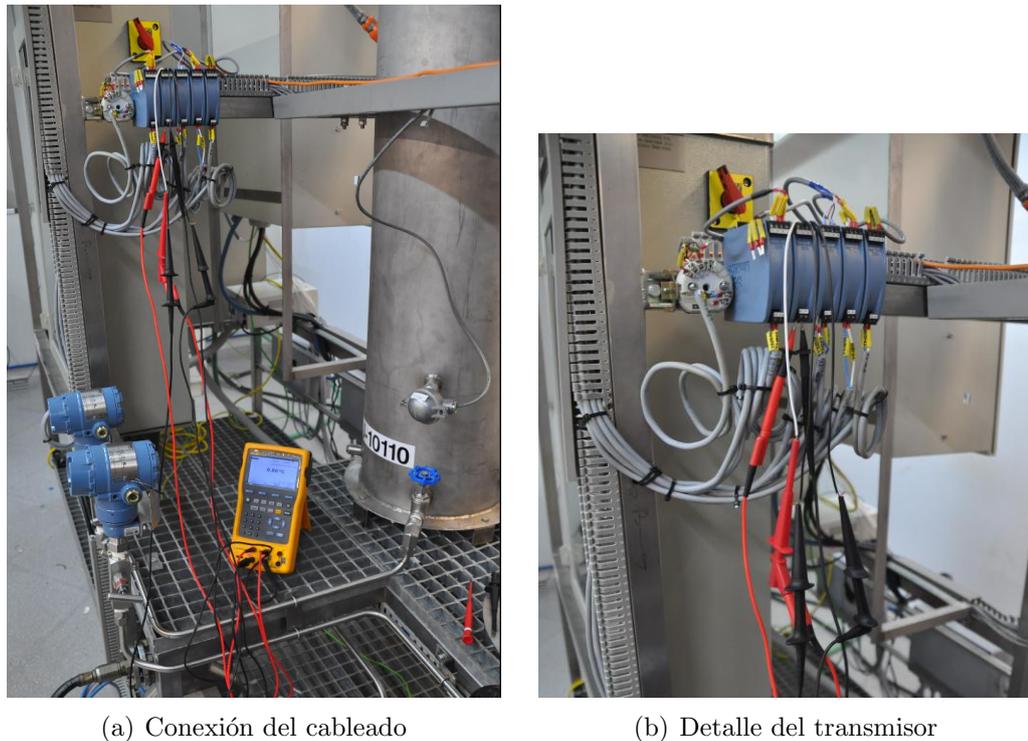


Figura 3.27: Conexión para prueba del transmisor 248R

Se observa que el calibrador está generando una RTDs a tres hilos que se conecta al transmisor y a su vez el mismo calibrador está midiendo la corriente que proporciona el transmisor. En la figura 3.27 también se muestra el detalle de las cinco pinzas utilizadas para la conexión del transmisor; tres de ellas simulan la pt100 de 3 hilos y las dos restantes son las encargadas de medir la salida del transmisor.

Para la prueba rápida tenemos que presionar el botón 'TC/RTD' del calibrador y seleccionar que tipo de sensor vamos a simular (en nuestro caso una Pt100(385) a dos hilos). Los valores de entrada que se introducirán serán °C y los valores que queremos medir a la salida del transmisor son mA, por lo que una vez configurado el proceso y estando todo conectado procedemos a introducir valores de temperatura. Esta prueba no genera ni guarda ningún fichero, solo sirve para comprobar el estado del transmisor. Figura 3.28.

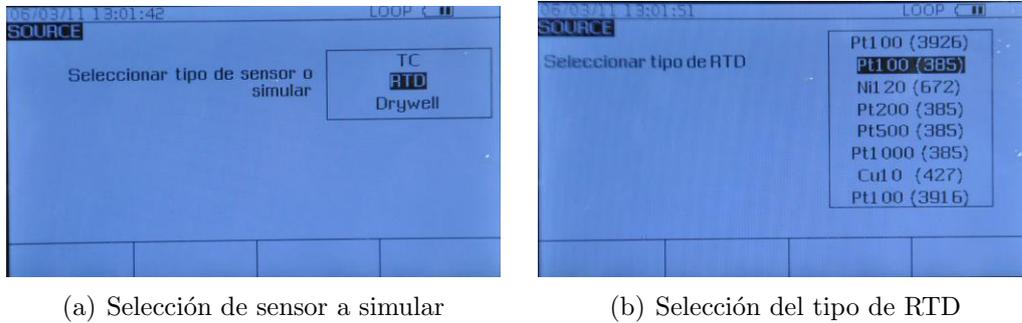


Figura 3.28: Selección de tipo de prueba manual

Se van a introducir tres valores de temperatura, los límites y el punto medio que en este caso serían: 0, 60 y 120 °C. En la figura ?? se pueden apreciar los resultados y las medidas que se obtienen para cada valor de temperatura.

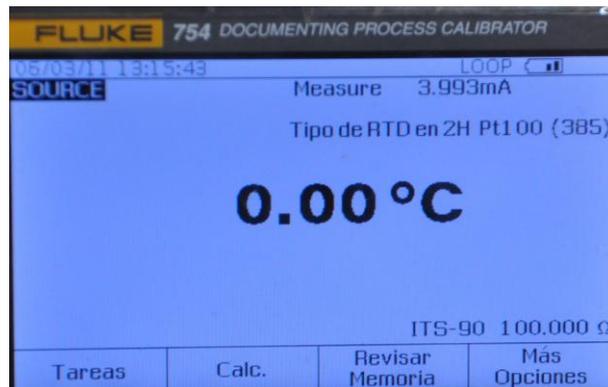


Figura 3.29: Límite inferior



Figura 3.30: Punto medio

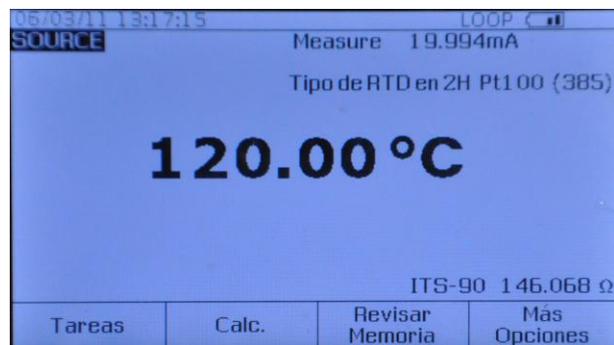


Figura 3.31: Límite superior

### 3.6.1.3. Prueba automática mediante generación de tarea

La conexión entre ambos para estas dos pruebas es totalmente idéntica, por lo que se puede comenzar calibración del instrumento. Para ello, es conveniente realizar la tarea de trabajo por medio del software de gestión DPC Track 2 de la misma forma que ya se ha explicado anteriormente. Otra opción es realizar la tarea de trabajo con el propio calibrador. En nuestro caso, se ha realizado la tarea en el software de calibración y posteriormente se ha descargado en el calibrador.

Dicha tarea de trabajo se ha creado teniendo en cuenta las especificaciones del fabricante, así como, la configuración que tenía el propio instrumento.

Lo primero es saber el rango del transmisor, que podemos verlo mediante el comunicador Hart. Este instrumento está configurado para trabajar con dos PT100 en un rango de entrada de  $[0, 120]$  °C, por lo que el procedimiento específico de trabajo que se ha utilizará consiste en una tarea con

cinco puntos de calibración, en la cual se simulará la medida de temperatura generada por el elemento principal mediante el Fluke 754 y se guardarán todos los datos recogidos por el dispositivo. Otro dato a conocer es la precisión del transmisor, que según el datasheet es de  $\pm 0.1\%$  del porcentaje del rango.

Exactitud del transmisor y efectos de la temperatura ambiental						
Sensor	Rangos de entrada del transmisor		precisión		Efectos de Tª por cambio de 1°C por cambio en la Tª ambiental	
	°C	°F	Fijo	% Span	Fijo	% Span
Pt100 ( $\alpha=385$ )	-200 a 850	-328 a 1562	0,2 °C	$\pm 0,1$	0,006°C	$\pm 0,004$

Figura 3.32: Tabla del transmisor 248R

Se puede observar que el error máximo que se ha estipulado que puede tener el transmisor es de un  $0.21\text{ }^\circ\text{C}$ . Este error se ha obtenido por medio de las hojas del fabricante, en las que marca que para PT100 a 2, 3 o 4 hilos la precisión es de  $0.2\text{ }^\circ\text{C}$  o  $\pm 0.1\%$  de Span y el error por efectos de temperatura es de  $0.006\text{ }^\circ\text{C}$  por grado o  $\pm 0.004\%$  del Span, es decir, el error probable total es:

$$\sqrt{0,2^2 + 0,06^2} = \pm 0,21 \quad (3.1)$$

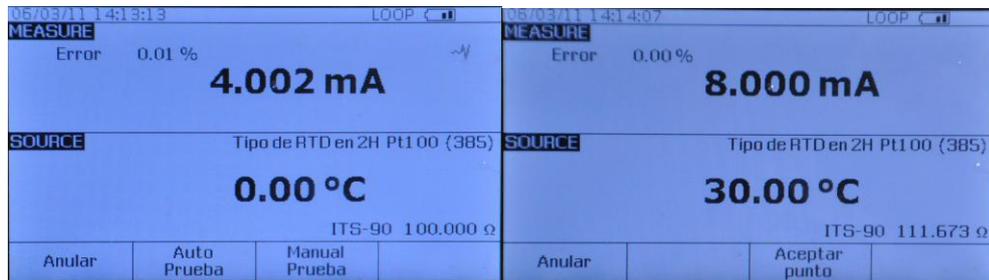
Donde los efectos de la temperatura se han tenido en cuenta para una temperatura de  $30^\circ\text{C}$  en planta, y el fabricante dice que:

*'Change in ambient is with reference to the calibration temperature of the transmitter at 68 °F (20 °C) from factory'*

Por lo que a la temperatura ambiente hay que restarle la temperatura a la que se calibró el instrumento inicialmente, quedando los efectos de temperatura de esta manera:

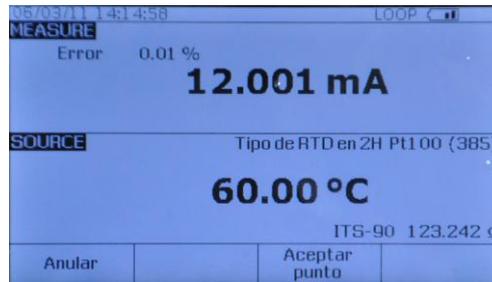
$$Efectos\_temperatura = 0,006 * (30 - 20) = 0,06^\circ\text{C} \quad (3.2)$$

Cuando la tarea se tiene descargada en el calibrador, se puede comenzar el proceso de calibración. Como en todos los procesos de calibración, se hace una prueba inicial de valor encontrado y en el caso de que necesite ajuste una prueba de valor dejado.

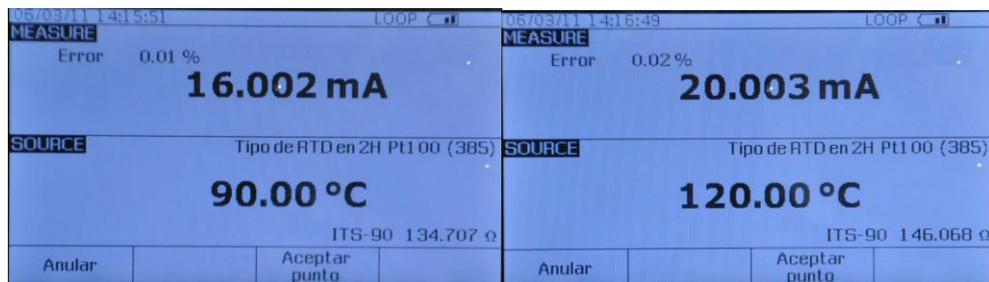


(a) Punto 1

(b) Punto 2



(c) Punto 3



(d) Punto 4

(e) Punto 5

Figura 3.33: Puntos de prueba de la tarea creada

Los resultados de la verificación del transmisor se pueden imprimir dentro del software DPC Track 2. Estos resultados se muestran en la siguiente página.

# INSTRUMENTO INFORME DE CALIBRACIÓN

## Fluke Customer

TT 10999 11  
Tansmisor de temperatura 11

**Calibrado** 06/03/2011

<b>Fabricante</b>	Rosemount	<b>Número de modelo</b>	248R
<b>Estado</b>	En servicio	<b>Número de serie</b>	240
<b>Clasificación</b>	Crítica	<b>Tipo de calibración</b>	Programada
<b>Ubicación</b>		<b>ID de documento</b>	
<b>Edificio</b>		<b>Nr. de certificado</b>	
<b>Departamento</b>		<b>Temp</b>	
<b>ID de equipo</b>		<b>Humedad</b>	

### Especificaciones de la calibración

<b>Nr. de grupo</b>	1	<b>% prec. rango</b>	0,1000
<b>Nombre del grupo</b>		<b>% prec. lectura</b>	0.0000
<b>Precisión indicada</b>	Pct of Range	<b>Más/Menos</b>	0,0000

<u>Valor de entrada nominal /</u>	<u>En tipo</u>	<u>Valor de salida</u>	<u>Tipo sal.</u>	<u>Enc. como</u>	<u>Dejado como</u>	<u>% de desv</u>	<u>Aprobado/F</u>
<b>Valor de entrada</b>							
0,0000 / 0,0000	C	4,0000	mA	4,0010	4,0010	0,03%	Aprobado
30,0000 / 30,0000	C	8,0000	mA	8,0000	8,0000	0,00%	Aprobado
60,0000 / 60,0000	C	12,0000	mA	11,9990	11,9990	-0,01%	Aprobado
90,0000 / 90,0000	C	16,0000	mA	16,0020	16,0020	0,01%	Aprobado
120,0000 / 120,0000	C	20,0000	mA	20,0020	20,0020	0,01%	Aprobado

### Instrumentos de prueba utilizados durante la calibración

<u>ID de instrumento</u>	<u>Descripción</u>	<u>Fabricante</u>	<u>Número de modelo</u>	<u>Número de serie</u>	<u>(Según fecha de inicio de</u>	
					<u>Fecha</u>	<u>Fecha de</u>
<u>de prueba</u>					<u>última cal.</u>	<u>siguiente</u>
						<u>cal.</u>
FK-754	754 Calibrador de procesos	Fluke	754	750	31/7/2017	31/7/2018

### Notas sobre esta calibración

NOTA: El estándar de prueba Fluke 754 (Nr. de serie: 2685517) utilizado en esta calibración no se encontró en la base de datos.

**Resultado de calibración** Calibración correcta

**Quién realizó la calibración**

**Finalizado por**

**Fecha de finalización**

### 3.6.2. Calibración del conjunto transmisor y sensor

En el anterior punto se ha realizado la calibración de los transmisores sin el sensor primario, pero si se quiere realizar una evaluación más completa en planta se debe realizar la calibración en conjunto de transmisor y su respectivo sensor primario. Si este proceso se realiza con el equipo de calibración adecuado, se puede minimizar la cantidad de errores del sensor. Para este tipo de calibraciones se ha usado a parte del calibrador de procesos 754, el horno de calibración de Fluke descrito anteriormente.



Figura 3.34: Calibración transmisor y sensor primario

La conexión entre ambos instrumentos de calibración se realiza por medio de un cable de comunicación como se puede observar en la figura 3.35. La conexión del horno con el calibrador de procesos permite controlar la temperatura del propio horno desde el calibrador de procesos.

Para poder realizar la calibración del conjunto de transmisor y sensor es necesario introducir el sensor de medición que se quiere analizar en el horno de calibración. En estas calibraciones, se utiliza el modo de prueba manual antes que el modo de prueba automático, debido a que es difícil calcular el tiempo de estabilización que necesita el horno en alcanzar la temperatura de control, por tanto, con el modo manual se puede decir cuando se introduce la medición oportuna a la temperatura deseada.



Figura 3.35: Esquema de conexión en bloque

La calibración se ha llevado a cabo para un rango de trabajo de  $[-20 \text{ a } 80] \text{ } ^\circ\text{C}$ , ya que se va a utilizar una Pt100 de la línea de frío. El horno de calibración utilizado para este caso es el modelo 9142. Cuenta con un rango de temperatura máximo de  $-25 \text{ a } 250$  grados suficiente para nuestro caso.

Para comenzar la prueba hay que conectar el Fluke 754 al horno de calibración, introducir el sensor primario en el interior del pozo (ya que utilizamos las pt100 de tubing solo hay que introducirlas en el interior del agujero de diámetro correspondiente) y conectar la medida de mA a los terminales del transmisor.

El proceso de calibración se hará de forma manual para que el horno de calibración pueda estabilizarse a la temperatura que se le ha marcado, debido que los calibradores de pozo seco se estabilizan más rápido en temperaturas ascendentes que en descendentes. Del procedimiento específico o tarea realizada para estos instrumentos hay que resaltar que se ha tenido en cuenta el mismo error que para la calibración del transmisor por separado, es decir,  $\pm 0.21 \text{ } ^\circ\text{C}$ .

La realización de la prueba tiene las siguientes fases:

1. Conectar los conectores de mediciones de mA del 754 al transmisor y conecte el cable de comunicación del pozo seco entre el 754 y el pozo seco.

2. Presionar Hart para consultar la configuración del transmisor.
3. Activar la alimentación de lazo en el equipo 754 según sea necesario.
4. Presionar Hart de nuevo y configure el calibrador para la prueba. Seleccione 'Medir mA, Origen pozo seco'.
5. Seleccionar 'Valor encontrado' para realizar la configuración para documentar la prueba. Hay que asegurarse de determinar la cantidad necesaria de tiempo de retardo como para permitir que el pozo seco cambie de temperaturas y se estabilice.
6. Registrar la prueba de valor encontrado, ya sea mediante la prueba automática, con el tiempo de estabilización para el pozo seco en el tiempo de retardo de la prueba, o manualmente según las temperaturas estables de prueba.
7. Después de la prueba de valor encontrado, hay que seleccionar 'Ajustar' y luego 'Sí' a la pregunta de si desea utilizar un pozo seco para ajustar la entrada del transmisor. La temperatura y el ajuste aplicados configurarán el bloqueo de entrada del transmisor para emitir la medición correcta mediante el ajuste de la salida del sensor y del transmisor en conjunto.
8. Después de ajustar la entrada con sensor, hay que ajustar la salida en mA del transmisor en 'Ajuste de salida'.
9. Una vez completado el ajuste, deberemos registrar el ajuste posterior del valor final del transmisor y los errores de la entrada. Los sensores y los errores de salida del transmisor se deben nominalizar para lograr un mejor rendimiento de la medición de temperatura.

### 3.7. Calibración de sensores de presión

Los fabricantes de transmisores de presión mejoraron la precisión y la tecnología que se diseñó para estos dispositivos de medición de presión inteligentes. Muchas herramientas de calibración convencionales se han vuelto inapropiadas o simplemente incapaces de comprobar y calibrar los transmisores de presión de alta precisión. Se requieren mejores soluciones para las pruebas.

Para verificar y documentar el rendimiento del equipo, así como para ajustar el transmisor inteligente de presión Hart, se requiere de una amplia

variedad de herramientas. Este tipo de tareas se puede ejecutar de una manera más simple con un calibrador habilitado con Hart, como el Fluke 754, lo que reduce la cantidad de herramientas que debe transportar.

Antes de ir al campo es necesario el calibrado Fluke 754 junto con:

- Módulos de presión para diferente rangos. Los módulos son accesorios que se conectan al calibrador de procesos para medir presión. Dicha conexión al calibrador se hace a través del cable de comunicación.
- Bomba de prueba neumática. Se trata de una bomba que suministra presión hasta los 40bar. Es compatible para el uso con los módulos de presión anteriores y además, es ideal para calibrar transmisores e interruptores de presión. Figura 3.36.



(a) Módulo de presión de Fluke



(b) Bomba de prueba manual

Figura 3.36: Equipo adicional para la calibración de instrumentos de presión

Los transmisores de presión con los que se va a realizar esta calibración son los de presión diferencial disponibles en la planta piloto. El conexionado entre el calibrador, el módulo de presión y la bomba neumática se realiza por medio del cable de comunicación que viene con el módulo. Para la calibración de este sensor se ha utilizado el calibrador multifunción 754 junto con la bomba manual y el correspondiente módulo de presión. En la figura 3.37, se muestra como debe de estar conectado el equipo de presión al instrumento.

Para lograr la precisión que se necesitase debe adaptarse el rango estándar de medición de presión cerca del dispositivo probado. Por ejemplo, use un

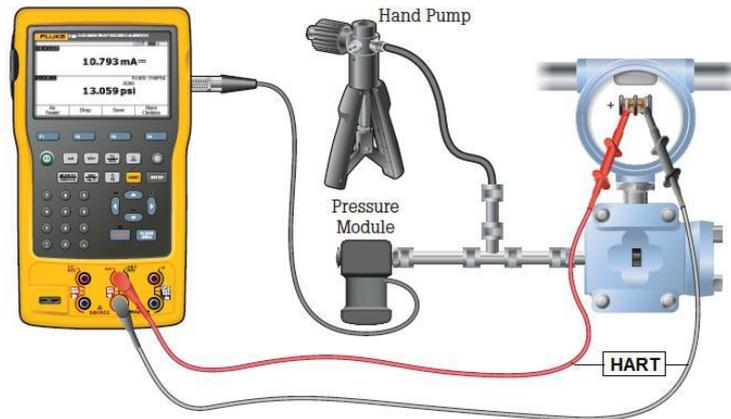


Figura 3.37: Esquema de conexionado para la calibración de presión

módulo de presión de 100 psi para calibrar y probar un transmisor cuyo rango es de 100 psi. Los estándares de la industria sugieren que el estándar de medición debe ser de 4 a 10 veces más preciso que el dispositivo que se prueba, por lo que se requiere de la mejor precisión.

Fluke 754 usa los módulos de presión serie 750P y tiene la funcionalidad Hart incorporada que permite ajustes inteligentes en los transmisores. También puede documentar el rendimiento del transmisor antes y después del ajuste y del cálculo de errores, superados o no.

A continuación se va a exponer los pasos a seguir para realizar la prueba en los transmisores de presión:

1. Lo primero es aislar el transmisor del proceso y su cableado. Si mide la señal de mA en el diodo de prueba, deje intactos los cables. Observe que este método no ofrece la medición más precisa de mA.
2. Conectar las tomas de medición de mA del 754 al transmisor.
3. Conectar el cable del módulo de presión al 754 y la manguera de prueba del transmisor de la bomba manual al transmisor.
4. Presionar el botón Hart del calibrador para ver la configuración del transmisor.
5. Una vez más, presione Hart para que el calibrador ofrezca la combinación correcta de medición/fuente para la prueba. Si durante la docu-

mentación de la calibración presiona “As-Found”, , ingrese la tolerancia de prueba y siga las instrucciones. Si la señal de mA medida en los puntos de prueba se encuentra dentro del valor de tolerancia, la prueba se considera completa. De lo contrario, se requiere un ajuste.

6. Seleccione “ajustar” para regular la presión del transmisor a cero, la señal de salida de mA y el sensor de entrada.
7. Después del ajuste, seleccione “As-Left”, y documente la condición del transmisor; si la prueba es superada, se considera completa.

Conviene destacar la importancia que juega el teflón en el aislamiento del sensor y así poder evitar fugas del instrumento a la hora de la evaluación, pero también decir que el abuso del mismo hace que la toma de medidas pueda ser errónea. Hay que asegurar que los conectores que se van a emplear son los adecuados ya que si intentamos conectar dos aparatos con una manguera con un paso de rosca diferente pero mismo diámetro tendremos fugas de presión y la medida no podrá ser realizada correctamente.

Como consejos técnicos pueden tomarse los siguientes:

- Si el valor de la escala completa del transmisor es inferior al 25 % de la escala total del módulo de presión, seleccione un módulo de presión de rango inferior para obtener mejores resultados.
- Si se establece la precisión de los errores superados o no dentro de los límites del transmisor, ajústelo cuando los errores sean superiores al 25 % de los límites.
- Si los errores son inferiores al 25 % de los límites, sería mejor no ajustar el transmisor, ya que esto podría hacerlo menos preciso.



# Capítulo 4

## Sistema de control y gestión

En este capítulo se hablará sobre el sistema de control DeltaV de Emerson, y de las posibilidades que ofrece la incorporación de AMS en paralelo al sistema de control, como sistema de gestión de activos de planta. También se describirá de forma muy concreta las diferentes herramientas principales que se ha utilizado para la consecución del proyecto.

### 4.1. DCS DeltaV

DeltaV es un sistema de control distribuido que se suele utilizar en procesos industriales para operarlo de forma segura, incrementando la fiabilidad y reduciendo los costes de instalación de los controladores por ubicarlos de forma distribuida cerca de los equipos de planta. Ha sido creado por el fabricante Emerson, una corporación multinacional especializada en soluciones de automatización industriales, comerciales y residentes. Permite automatizar toda una planta integrando todas las señales, variables, objetos, alarmas y eventos del sistema en una sola base de datos.

Normalmente, este tipo de sistemas de control se aplica a las grandes industrias que poseen una serie de procesos complicados como las industrias petroquímicas o las plantas de tratamiento de aguas entre otras.

Todos los equipos del sistema DCS están sincronizados incluyendo varias herramientas para la gestión de la información que lo integran verticalmente en la jerarquía de producción.

Dispone de redundancia en buses de campo, redes, módulos de I/O equipos, controladores, etc... alcanzando factores de disponibilidad muy por enci-



Figura 4.1: Sistema de control DeltaV

ma de los sistemas de control convencionales. DeltaV sobre todo es un sistema totalmente robusto y fiable.

DeltaV como otros DCS tienen diversas características:

- **Flexibilidad y capacidad de expansión.** Capacidad de aumentar número de variables I/O y número de controladores.
- **Operaciones de mantenimiento.** Facilidad de mantener o modificar las configuraciones de control e interfaces de operador.
- **Apertura.** Las variables y parámetros de control son leídos y escritos desde otras funciones de control.
- **Operatividad.** Toda la información o funciones de control se debe mostrar en la misma ventana de operación sin causar confusión a los operadores.
- **Portabilidad.** Parte del algoritmo de control no depende del entorno de hardware y debe poder adaptarse a distintas tecnologías informáticas.
- **Rentabilidad.** Es una inversión que resulta compensada tras la implementación del DCS.
- **Robustez/Redundancia.** Garantizan la operación de las funciones que cumplen dentro del sistema de control frente a fallos del mismo.

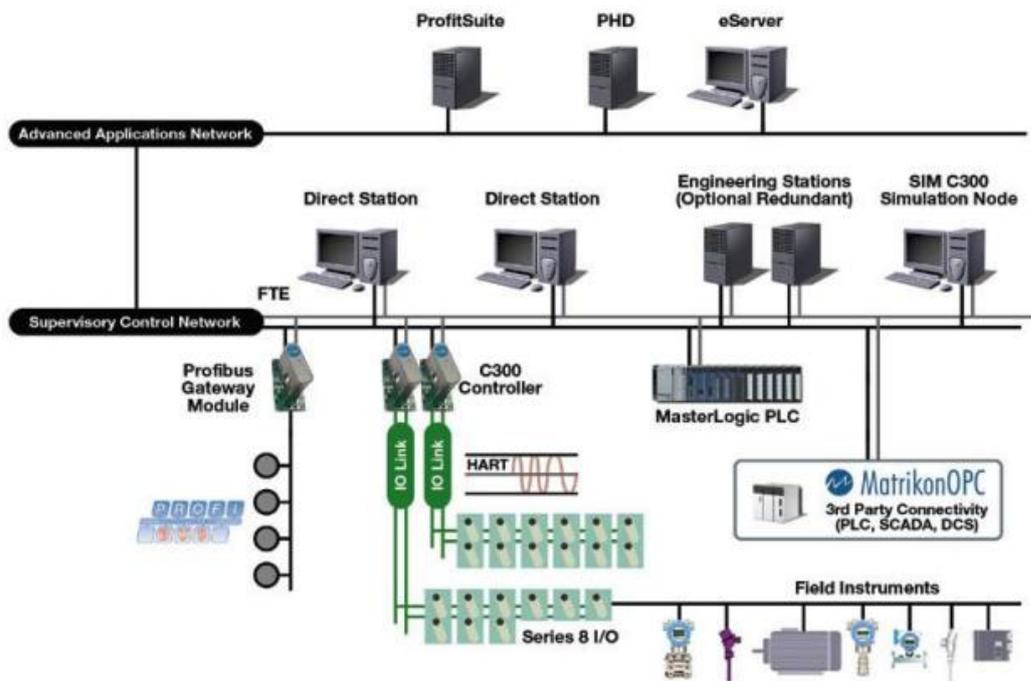


Figura 4.2: Niveles DCS

### 4.1.1. Hardware

#### 4.1.1.1. Módulos de entrada y salida

Se pueden instalar hasta 8 tarjetas o módulos de E/S, también tiene una fuente de alimentación opcional para suministrar energía a los dispositivos de campo.

Existen varios tipos de tarjetas de E/S de DeltaV™, como por ejemplo, de entradas analógicas, de salidas analógicas, de entradas discretas y de salidas discretas. Existen variaciones en cuanto al número de canales y algunas son Hart (“Highway Addressable Remote Transducer”). Hart es un protocolo en el cual los datos son transportados de forma digital superpuestos en la línea tradicional de 4-20mA que se utiliza para enviar o recibir el valor de la variable controlada. De esta forma los dispositivos Hart toman la información que necesitan, que podría ser solamente el valor de la variable controlada, aunque en la señal también venga otra información digital. Este protocolo permite que varios dispositivos sean conectados en serie en el mismo lazo de corriente.

#### 4.1.1.2. Controlador

El controlador (figura 1.5) provee un mecanismo para la comunicación y el control entre los dispositivos de campo y los demás nodos en una red de control.



Figura 4.3: Controlador DeltaV

En la figura se puede ver que el controlador se instala en la posición derecha del bastidor doble para la fuente de alimentación y el controlador ('2-Wide Power/Controller Carrier').

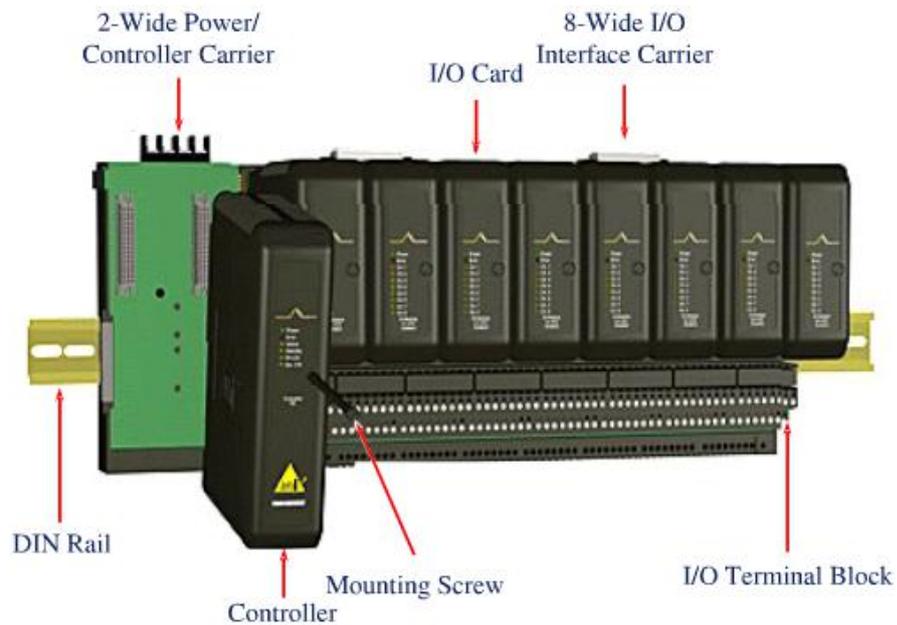


Figura 4.4: Bastidor

### 4.1.1.3. Alimentación

La alimentación del sistema debe ser de 110/220Vac o 12/24Vcc. La fuente de alimentación del DeltaV™ puede ser de corriente alterna a 24Vcc o 12Vcc, o también de 24Vcc a 12Vcc. El esquema de conexión, se muestra en la figura 4.5.

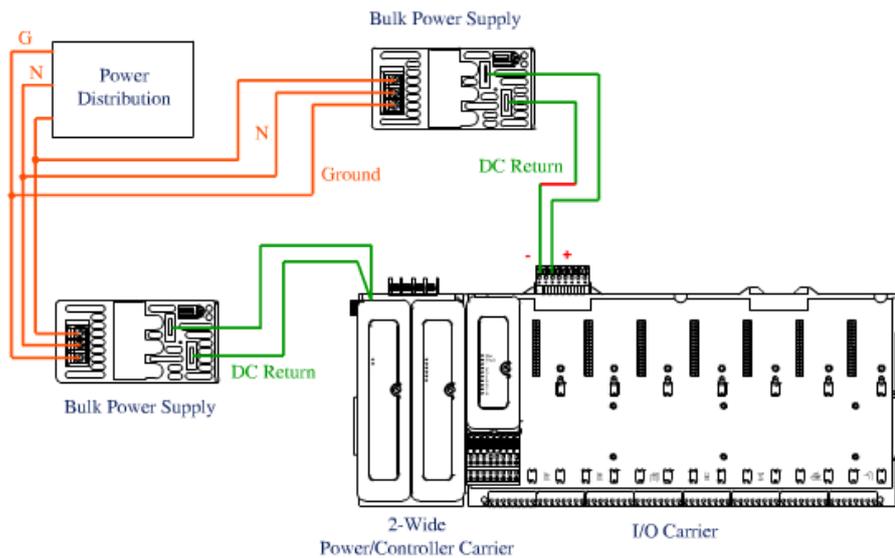


Figura 4.5: Diagrama de cableado para la alimentación

## 4.1.2. Software

La estación de trabajo tiene tres paquetes de software principales: Configuration Studio, Operate, y Diagnostics.

Dentro de esos paquetes hay muchas aplicaciones del sistema de control DeltaV aunque en el proyecto solo se expondrán los que han sido más importantes para la consecución del mismo.

### 4.1.2.1. DevltaV explorer

Esta aplicación permite al usuario definir las características del sistema y ver la estructura global del hardware, así como su configuración. En el DeltaV Explorer se puede observar la jerarquía de los objetos en la base de datos. Estos objetos pueden ser módulos de entrada/salida (E/S), estaciones

de trabajo, áreas, módulos, entre otros elementos.



Figura 4.6: Aplicaciones DeltaV

El software incluye una librería con módulos que se pueden utilizar como plantillas para la aplicación que se necesite. Para utilizarlos, sólo es necesario arrastrar las plantillas en el área de planta que se desea y modificar estos módulos con el Control Studio.

Gracias al DeltaV Explorer, se pueden realizar gráficamente las siguientes funciones:

- Agregar estaciones de trabajo y controladores a la base de datos.
- Agregar áreas de planta y módulos.
- Agregar tipos de alarma.
- Mover o copiar elementos como se hace en el Windows Explorer, arrastrando íconos.

- Editar los tipos de alarma y sus prioridades.
- Editar las propiedades de la red.
- Editar los parámetros de seguridad.
- Editar las propiedades del controlador.
- Editar las propiedades de la estación de trabajo.
- Descargar los módulos en el controlador.
- Abrir otros programas de DeltaV como por ejemplo el Control Studio o el DeltaV Operate.
- Importar y exportar datos desde o hacia una hoja de cálculo en Excel.

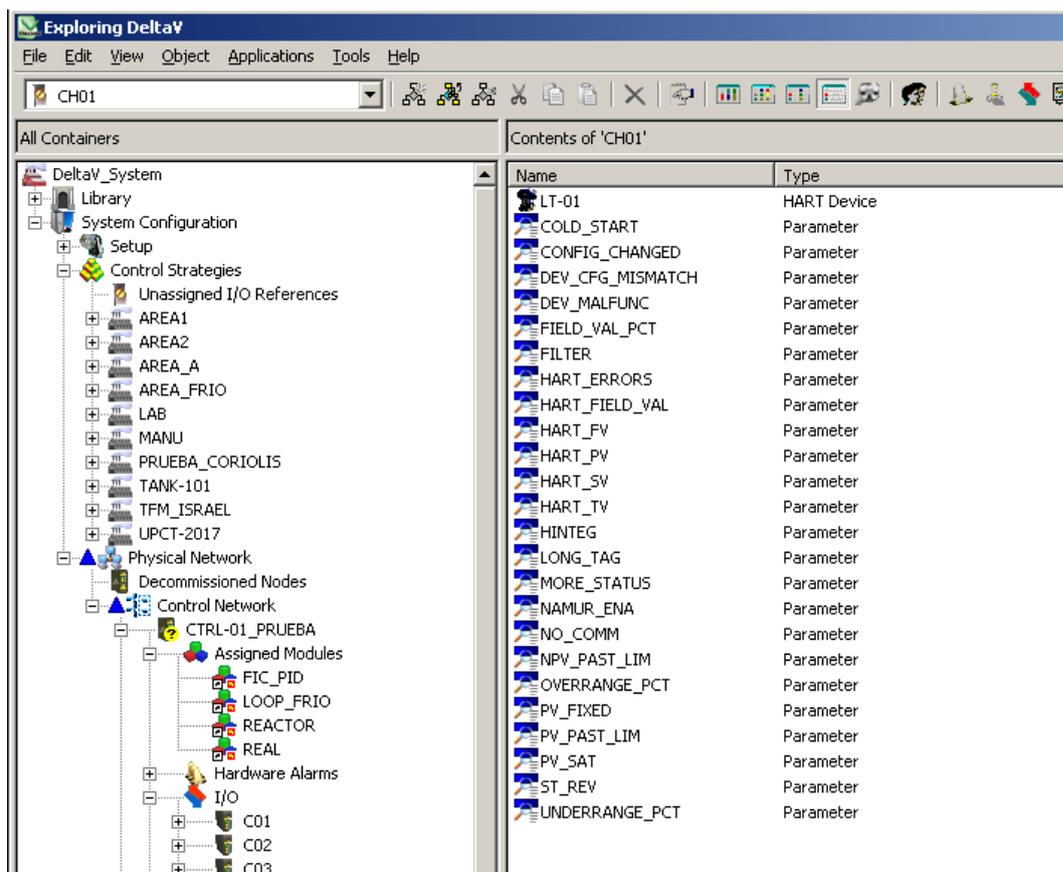


Figura 4.7: DeltaV explorer

El DeltaV Explorer presenta una ventana dividida en partes. En la parte superior está la barra de título, la barra de menú y la barra de herramientas. La parte de la izquierda es la que contiene la jerarquía del sistema y los elementos de las librerías. La parte de la derecha despliega el contenido del elemento seleccionado en la porción de la izquierda.

#### 4.1.2.2. Control Studio

Este software se utiliza para definir los Módulos de Control y también para cambiar su configuración. Gráficamente se puede construir un módulo arrastrando elementos desde una paleta, luego se conectan los elementos de acuerdo al algoritmo que se desea que realice el módulo.

El Control Studio utiliza ya sean Bloques de Función (“function blocks”) para control continuo o Diagramas de Función Secuencial (SFC por sus siglas en inglés de “sequential function charts”) que se utiliza para control secuencial.

Se puede ingresar al Control Studio de varias formas: haciendo click en el botón “Launch Control Studio” desde el DeltaV Explorer (figura 4.8) o desde el escritorio como se muestra en la figura 4.6.

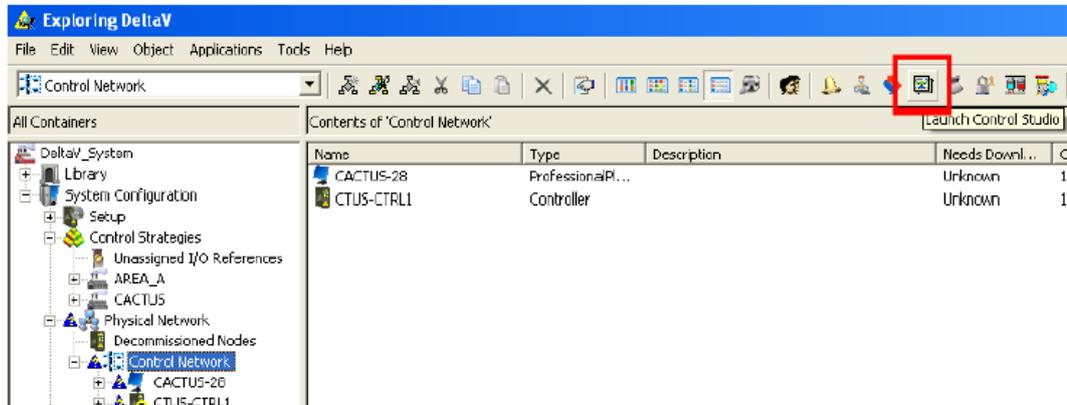


Figura 4.8: Acceso aControl Studio

Se pueden observar cinco zonas principales en la figura 4.9.

1. Vista de la Jerarquía (“Hierarchy View”): Se muestra los contenidos del módulo de control, en este caso, a la derecha están los diferentes Bloques de Función que componen el módulo LIC-101.
2. Vista del Diagrama (“Diagram View”): Es el área de trabajo. En esta área se colocan los bloques de función y se hacen las conexiones

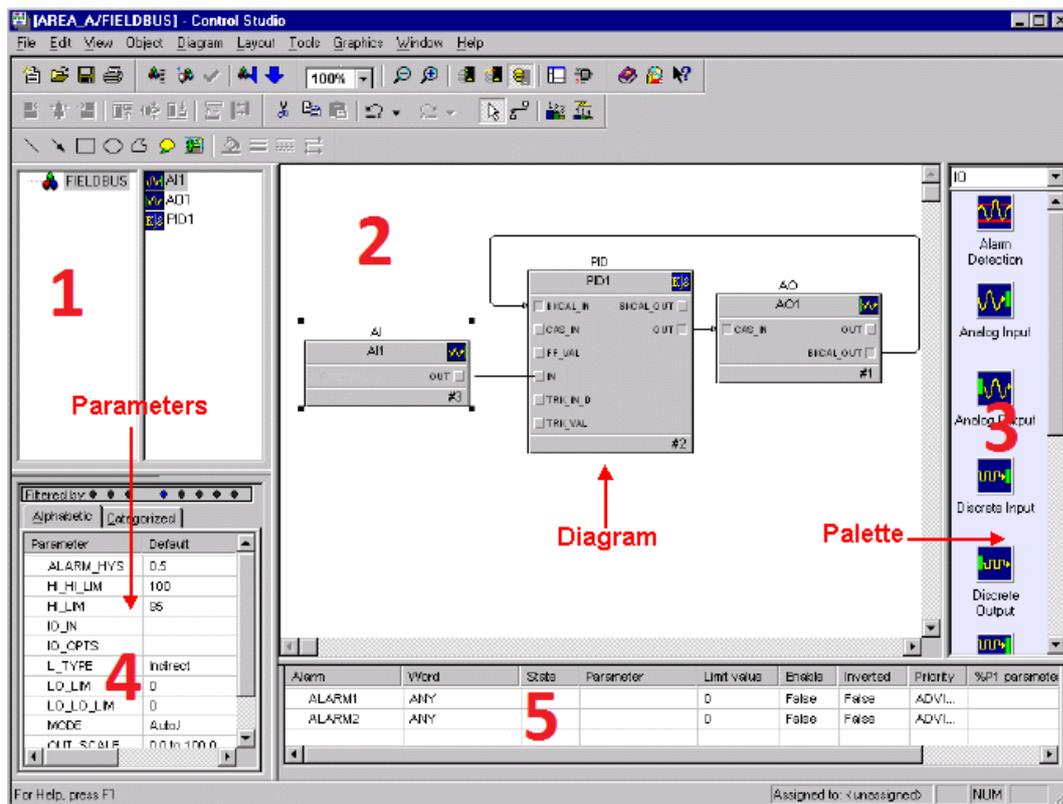


Figura 4.9: Pantalla típica de Control Studio

necesarias para construir las estrategias de control para el módulo correspondiente. Se pueden ver tres módulos en el área: a la izquierda un bloque de entrada analógica, en el centro un bloque PID y a la derecha una salida analógica. Todo el conjunto forma un lazo de control, donde el PID lee la entrada y actúa según error sobre la salida.

3. Paleta ('Palette'): Contiene Bloques de Función, parámetros, y otros bloques personalizados que pueden ser arrastrados a la vista del diagrama para construir las estrategias de control.
4. Vista de los Parámetros ('Parameter View'): Se muestran los parámetros que corresponden al bloque de función seleccionado en la vista del diagrama.
5. Vista de las Alarmas ('Alarm View'): Allí se crean y se muestran las alarmas, las cuales pueden ser predefinidas o creadas por el usuario.

#### 4.1.2.3. DevltaV Operate (Configure)

El modo Configure se utiliza para construir los gráficos del proceso simulado. Se puede incorporar texto, gráficos, animaciones y sonidos. El Árbol del Sistema muestra los archivos del proyecto y los objetos asociados a cada archivo.

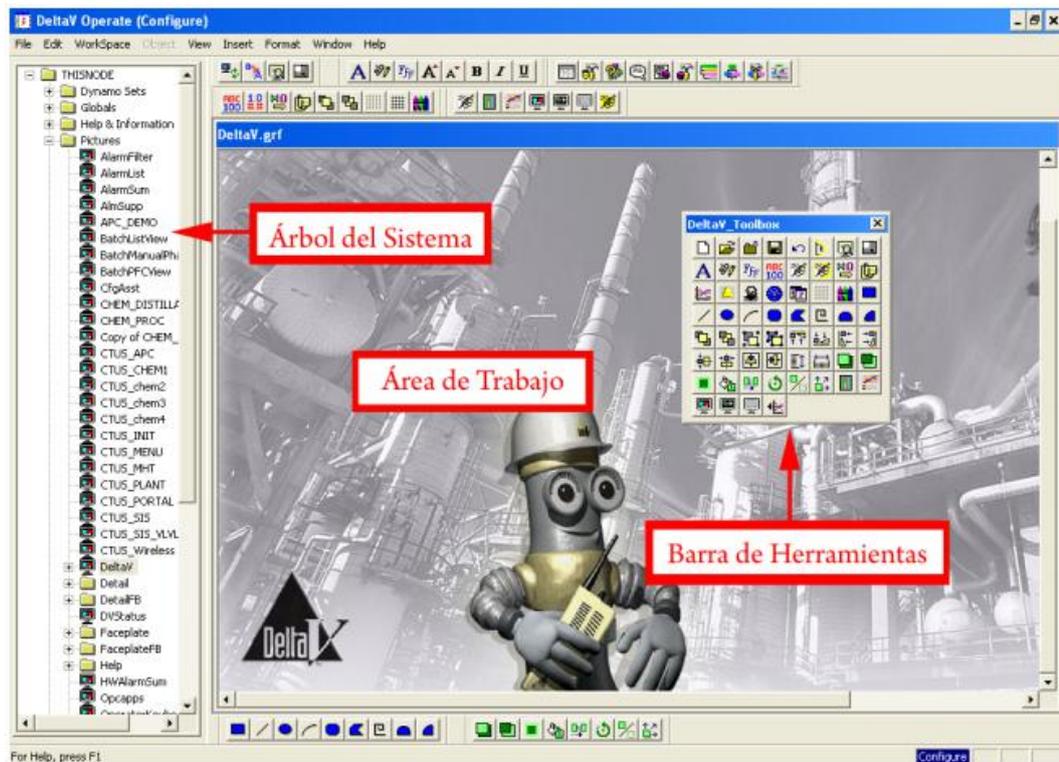


Figura 4.10: Pantalla de DeltaV Operate (Configure)

El Área de Trabajo contiene el documento que se está trabajando y la Barra de Herramientas contiene elementos que permiten al usuario modificar el documento. Figura 4.10.

#### 4.1.2.4. DevltaV operate run

En el modo Run, los operadores del sistema de control utilizan esos gráficos configurados para el monitoreo y el mantenimiento del proceso.

La pantalla tiene tres partes, la barra de herramientas, el área de trabajo y el tablero de alarmas. Figura 4.11



Figura 4.11: Pantalla de DeltaV Operate (Run)

#### 4.1.2.5. Diagnostic

Esta aplicación provee información sobre el estado y la integridad de los dispositivos del sistema. Se puede ver la información de 'diagnostics' luego de haber hecho la configuración y de haber descargado las estaciones de trabajo.

Para acceder puedes hacer clic derecho en un instrumento de cualquier tarjeta de entradas o salidas como se muestra en la figura 4.12.

Se puede ver también la pantalla principal de la aplicación Diagnostic de DeltaV. Figura 4.13.

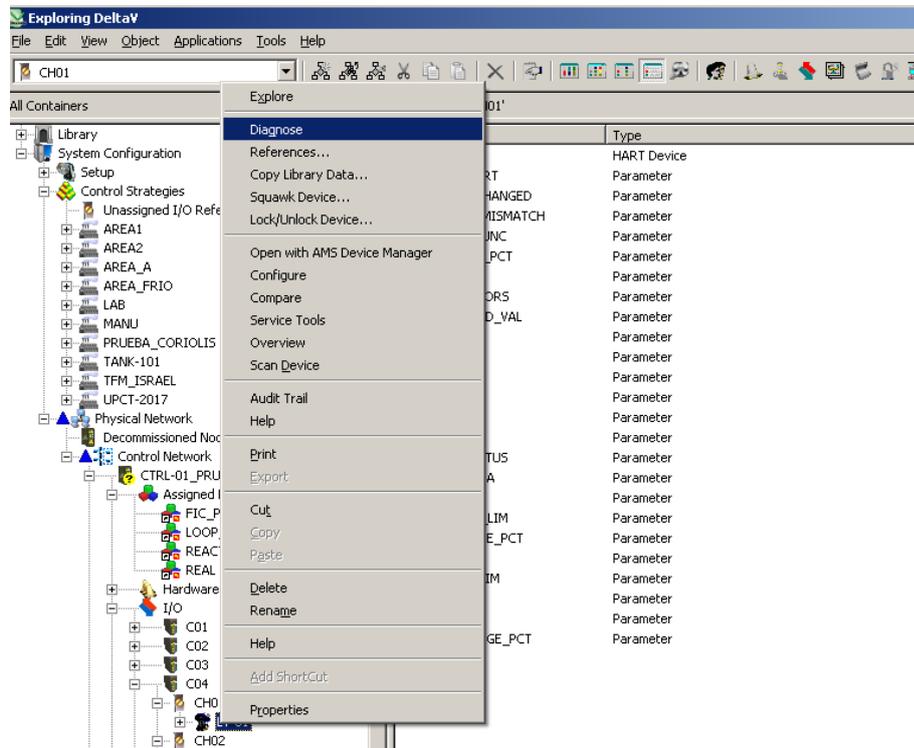


Figura 4.12: Acceso a Diagnostic

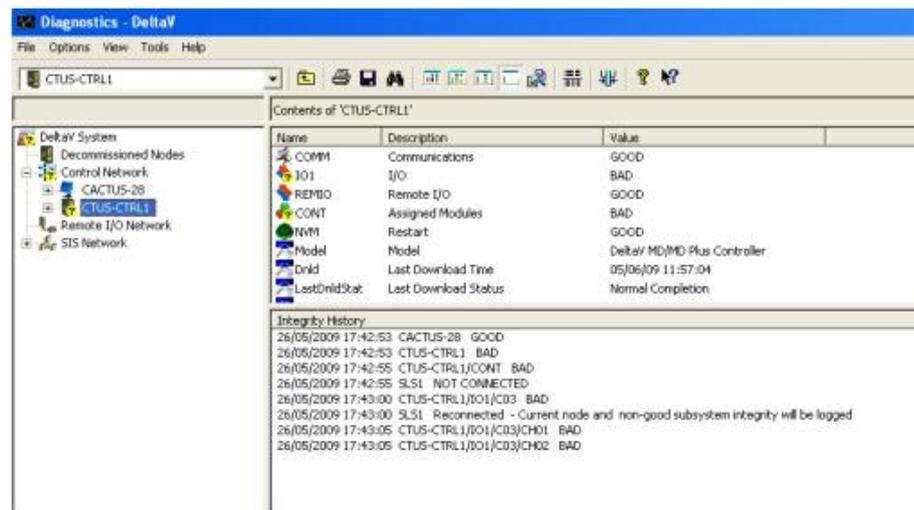


Figura 4.13: Pantalla de Diagnostic

#### 4.1.2.6. SFC

El software del DeltaV permite el uso de tres lenguajes para la configuración, estos son los 'bloques de función', el texto estructurado, y los 'gráficos

de función secuencial' o SFC's por sus siglas en inglés ('Sequential Function Charts'). En un mismo módulo se pueden usar los tres lenguajes permitidos.

Los SFC son algoritmos que se utilizan para controlar secuencias, como por ejemplo para 'recetas' o para el arranque o apagado de algún proceso. Los SFC están hechos de 'pasos' y de 'transiciones'. Los pasos contienen las acciones por realizar, y las transiciones son las condiciones que si se cumplen, permiten a la secuencia, pasar de un paso a otro.

No existen módulos de plantilla para los SFC, entonces se deben fabricar a mano.

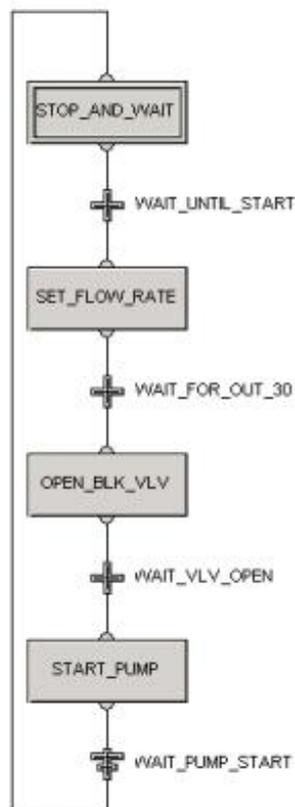


Figura 4.14: Ejemplo de un SFC

Al comienzo, la secuencia está en un estado de espera. En el momento en que el operador da la instrucción de arranque ('start'), se pasa al segundo paso. En este paso se establece el flujo que va a pasar por la tubería, por eso

se debe abrir la válvula que se está al final de la tubería para que permita el paso de esa cantidad de líquido.

En el momento en que la válvula esté abierta un 30%, se pasa al paso 3. Éste abre la válvula de bloqueo que se encuentra inmediatamente después de la bomba. Cuando está abierta, se pasa al paso 4 y se arranca la bomba. La transición final confirma que la bomba arrancó.

## 4.2. AMS Device Manager

AMS Device Manager es un software especializado para la industria de procesos enfocado a la gestión de los activos de una planta industrial. El diseño y la comercialización de este producto es propiedad de EMERSON.

AMS Device Manager ayuda a evitar costos innecesarios permitiendo visualizar la salud de los dispositivos inteligentes en campo. La obtención de datos en tiempo real de los dispositivos inteligentes de campo permite al personal de la planta tomar decisiones y responder rápidamente ante cualquier anomalía presente en el proceso. Es por ello por lo que este software permite, entre otras cosas, configurar, calibrar y registrar toda la información asociada a la instrumentación.

AMS Device Manager es un software de EMERSON de gestión de los activos industriales de cualquier fabricante. Puede ser instalado en un PC servidor central o en clientes y conectado a la red de planta para poder realizar:

- Mantenimiento de los activos gracias a los diagnósticos predictivos de los eventos que se puedan producir en los instrumentos monitorizados.
- Configuración remota de los activos inteligentes sin necesidad de estar físicamente cerca con un comunicador de campo o con el display del instrumento.
- Calibración y gestión de la calibración de los equipos de planta.
- Documentación de los eventos producidos, registro, trazabilidad y generación de informes de calibración.

AMS permite comprobar rápidamente la salud de cualquier equipo conectado por cables o de manera inalámbrica observando su estado, usando

las capacidades de diagnóstico y monitorización como 'Alert Monitor'. En la pantalla de esta herramienta se ofrece una visión general de todas las alertas de los instrumentos, independientemente del protocolo, y le da la capacidad adicional de acceder a la información del instrumento para más detalles. Hace las configuraciones de los instrumentos simple, fácil y de manera organizada y con fácil acceso a toda la información de configuración del transmisor inteligente, válvula, etc. Usando el 'Configuration Management' se puede cambiar, guardar, comparar y transferir configuraciones entre instrumentos, facilitando el comisionado con la configuración remota y en masa de instrumentos.

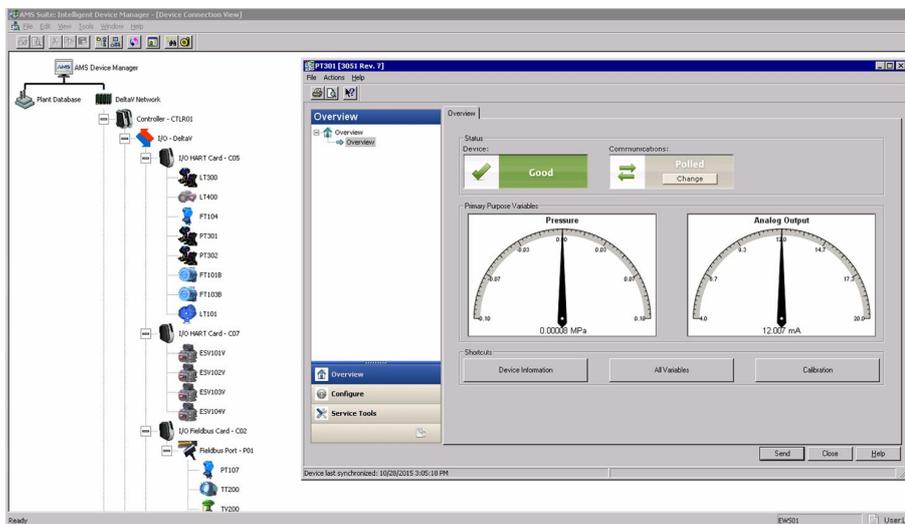


Figura 4.15: Ventana de estado de un transmisor

Resumen de características y ventajas:

- La mayor ventaja de AMS es el ahorro de tiempo en la puesta en marcha y comisionado.
- Gestiona de forma eficaz planes de calibración.
- Permite el diagnóstico y monitoreo avanzado de alertas.
- Generación de documentación de alarmas.
- Mejora la calidad y la flexibilidad ya que se dispone de información para tomar las decisiones más acertadas.
- Reduce costes.

- Simplifica la seguridad, solo el personal autorizado puede realizar cambios.
- El sistema de control distribuido (DCS) de EMERSON, DeltaV y AMS pueden estar comunicados y se realimentan de información de uno a otro.

#### 4.2.1. AMS y DeltaV

AMS Device Manager permite a su equipo de mantenimiento monitorear fácilmente el estado de salud del dispositivo de campo y resolver problemas potenciales antes de que se conviertan en problemas costosos. Cuando se instalan in situ, AMS Device Manager y el sistema de control DeltaV trabajan juntos para ofrecer una interfaz de usuario perfecta en un entorno operativo integrado. Puede administrar todos los dispositivos de campo utilizando una sola aplicación integrada y con ello se obtiene unas capacidades completas de administración de activos a través de información de diagnóstico predictivo.

La integración con el software DeltaV para ofrece seguridad y confiabilidad común en el funcionamiento de sus activos de campo.

AMS Device Manager se comunica con dispositivos de campo a través del DCS el protocolo Hart. DeltaV tiene la estación Professional Plus 'ProPlus' la cual contiene la base de datos de configuración de DeltaV sin conexión.

Cuando se abre el software AMS Device Manager, se puede escanear manualmente los dispositivos en las distintas redes configuradas. DeltaV monitorea continuamente los dispositivos conectados a través de Hart, si se habilita 'Hart' en el canal analógico, por lo que no es necesario intentar detectar problemas mediante el escaneo manual de dispositivos

AMS permite llevar la capacidad de configuración de los dispositivos al siguiente nivel, ya que al tenerlo junto a DeltaV, obtenemos los beneficios de un sistema de gestión de activos integral para todos los dispositivos inteligentes:

- **Acceso a toda la potencia de los dispositivos de campo inteligentes.** Utilizando AMS Device Manager con el sistema DeltaV, se pueden configurar los dispositivos de campo desde el taller de mantenimiento, almacenar configuraciones de los dispositivos en la base de datos de la planta, realizar pruebas de lazo y calibraciones, asociar dibujos electrónicos y notas con un dispositivo en particular, importar

o exportar datos del sistema, establecer contraseñas multi-niveles de forma rápida y sencilla.

- **Mejorar las operaciones y la eficacia del mantenimiento.** Se aumenta la productividad mediante la detección y el diagnóstico de posibles problemas de equipos antes de afectar al proceso, reduciendo tareas innecesarias e improductivas.

Los Dashboards de dispositivos proporcionan una interfaz gráfica consistente para ingenieros y personal de mantenimiento durante la configuración y el mantenimiento del dispositivo. Además, la interfaz de usuario mejorada, ofrece a los operadores gráficos intuitivos para ayudar a tomar decisiones oportunas y precisas cuando se producen condiciones de funcionamiento anormales.

- **Mejorar la disponibilidad del sistema mediante 'Alert Monitor'.** Alert Monitor, es una poderosa herramienta de diagnóstico, que se utiliza para observar dispositivos de campo sospechosos de una periódica o intermitente mal-función - uno de los modos de fallo más difíciles de solucionar.

Se pueden ver patrones de fallo de los dispositivos de campo y las alertas de los dispositivos de las aplicaciones SNAP-ON™. La pantalla de resumen del Alert Monitor proporciona una visión general de todas las alertas de dispositivos, independientemente del protocolo del dispositivo de campo.

Alert Monitor es capaz de organizar las alertas para que se pueda identificar fácilmente nuevas alertas y realizar un seguimiento de las existentes. Filtre las alertas para encontrar rápidamente la información que necesita.

- **Aplicación potente de verificación de Interlock.** Cuando un sistema de control digital controla el proceso, el software de simulación comprueba la configuración y programación del DCS, pero no verifica el funcionamiento de los dispositivos de campo o el cableado.

La aplicación QuickCheck™ SNAP-ON facilita y acelera la comprobación del interlok, ahorrando tiempo y mejorando la seguridad. AMS Device Manager y el QuickCheck SNAP-ON le permiten verificar todo

el cableado del campo a la sala de control para que pueda centrarse en comprobar la configuración y la lógica del DCS.

- **Smart SIS mejorado.** AMS Device Manager ayuda a los usuarios a evitar cambios no autorizados o accidentales en instrumentos y válvulas de procesos críticos. AMS Device Manager proporciona herramientas para controlar el acceso por área y tarea de la planta, brindando a los usuarios mayor flexibilidad para garantizar que solo personas capacitadas y autorizadas tengan acceso.
- **Documentos de auditorías automáticos, alertas y acciones.** Los usuarios de DeltaV pueden agilizar las prácticas de trabajo y obtener diagnósticos mejorados de AMS Device Manager con la opción Audit Trail.

Audit Trail genera y guarda automáticamente un registro histórico en AMS Device Manager para alertas de dispositivo capturadas de dispositivos en las listas de exploración, configuraciones de dispositivos, pruebas de calibración e información de diagnósticos. Todos los registros están marcados con fecha y hora e incluyen correlación de usuario y PC.

El formato tabular de Audit Trail permite revisar todos los cambios de configuración o centrarse en unos pocos cambios específicos. Además, puede ver registros para una planta completa o para un solo dispositivo específico. Para garantizar la integridad de los datos, los registros históricos no se pueden editar.

- **Acceso a dispositivos con DeltaV.** El sistema DeltaV pasa de forma sencilla y rápida los datos del dispositivo de campo a través del controlador al sistema de AMS Device Manager sin necesidad de hardware o cableado adicionales. Las estaciones de AMS Device Manager se pueden implementar en estaciones DeltaV Professional PLUS, estaciones de aplicación y otras estaciones de trabajo DeltaV compatibles.

Todas las estaciones de operador de DeltaV tienen la capacidad de ver las pantallas de estado de diagnósticos del dispositivo Fieldbus de Foundation cuando se ha instalado AMS Device Manager.

### 4.2.2. Configuración de instrumentos en DeltaV

Anteriormente se ha hablado de como AMS Device Manager detecta los dispositivos Hart. Aquí se mostrará como configurar las tarjetas de entradas analógicas para que DeltaV sea capaz de detectar los dispositivo Hart y que AMS pueda mostrar todas las alarmas derivadas de los instrumentos.

En primer lugar tenemos que dirigirnos a DeltaV explorer y hacer clic en la pestaña 'I/O Configuration' para mostrar la configuración de todos los módulos. Una vez aquí dentro buscamos las tarjetas de entrada analógica y en todos los canales donde haya un instrumento Hart, hay que cambiar el tipo de canal de 'Analog Input Chanel' por 'Hart Analog Input Chanel'. Figura 4.16.

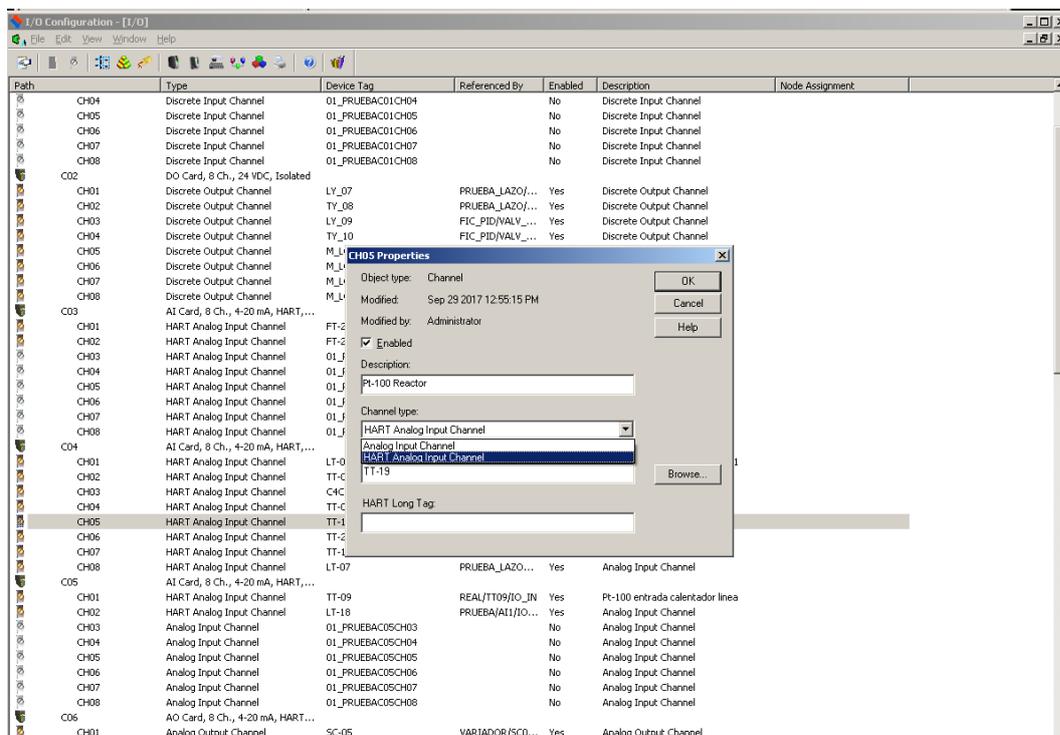


Figura 4.16: Configuración de entrada analógica en DeltaV

El siguiente paso es cerrar la ventana 'I/O Configuration' y mostrar todos los canales de las tarjetas analógicas en DeltaV explorer.

Los resultados son como hemos dicho. El dispositivo Hart DEBE ser detectado automáticamente para poder procesar las alertas de Device Specific cuando se utiliza el escaneo por defecto del dispositivo DeltaV. Aparecerá

en cada canal un icono rojo que indica que esa entrada esta configurada como Hart. Se muestran los paso a realizar a continuación:

- Hacer clic derecho en cualquier canal Hart y hacer clic en 'Auto-Sense Hart Device'. De este modo detectará el instrumento Hart y el icono rojo dicho anteriormente será sustituido por un icono del instrumento detectado. Figura 4.17.
- Verificar que las propiedades del dispositivo tengan activadas las alarmas del dispositivo. Para ello una vez detectado el instrumento hacemos clic en sus propiedades y vemos si dichas alarmas aparecen activadas.
- Configurar las alertas del instrumento que deben transmitirse al historial de procesos de DeltaV (no en la lista de alarmas) y en 'Alert Monitor' de AMS Device Manager.

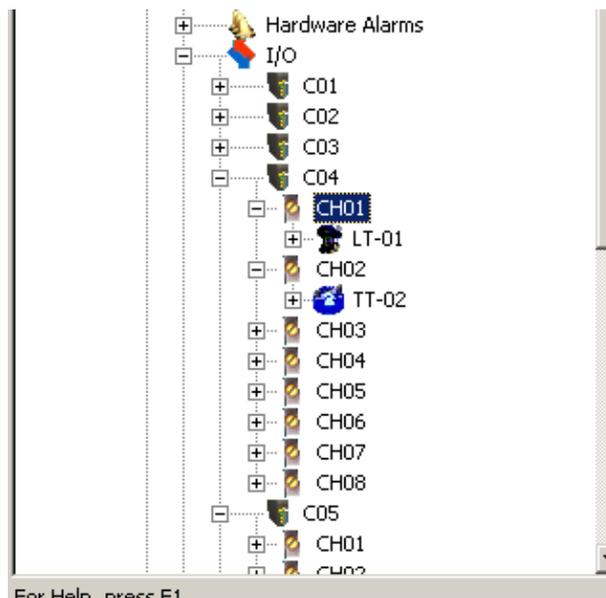


Figura 4.17: Escaneo de dispositivos Hart en DeltaV

Hay que realizar este proceso con todos los instrumentos que dispongan de comunicación Hart. Una vez este todo configurado podemos acceder a AMS Device Manager como se muestra en la figura 4.18.

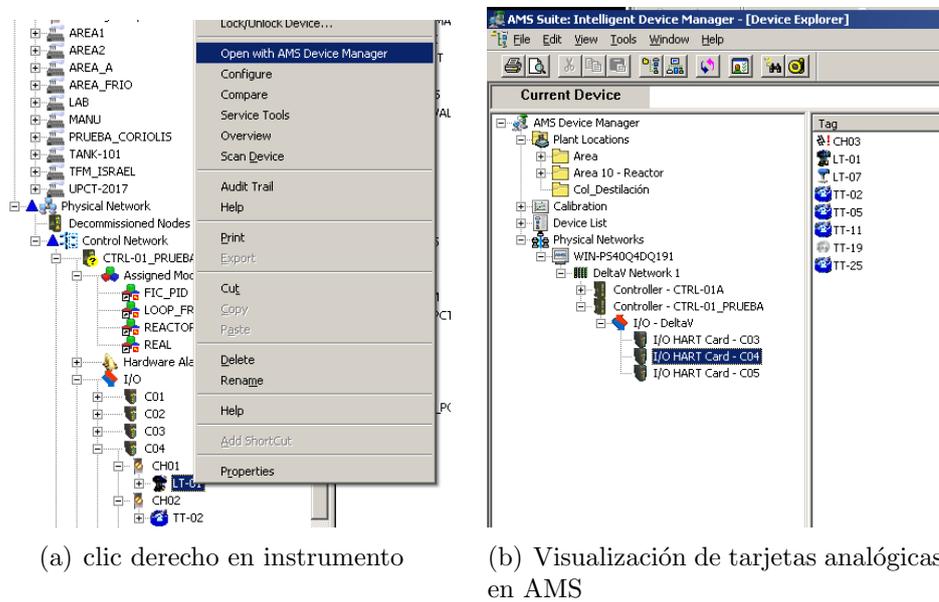


Figura 4.18: Acceso AMS Device Manager desde DeltaV explorer



# Capítulo 5

## Comisionado y puesta en marcha de la planta

En este capítulo se va a proceder a la puesta en marcha de la planta piloto, pasando por las etapas previas de pre-comisionado y comisionado y cada una de sus etapas correspondientes. La planta piloto ya pasó por la etapa de pre-comisionado en un proyecto anterior, por lo que en el actual proyecto, se van a realizar las pruebas más importantes, como la revisión del cableado de alimentación (sobre todo el que une los instrumentos al sistema de control), pruebas de funcionamiento de los instrumentos y pruebas de lazo y de control de parte del sistema. Por otro lado se va a realizar el comisionado de la planta, donde se construirán todos los bloques que pondrán en marcha toda la planta, realizando pruebas de enclavamientos para poder ajustar definitivamente el sistema. Se configurará un conjunto de alarmas de proceso para poder ver como son detectadas por el sistema y mostradas en una pantalla de operación sencilla donde solo se visualizará la información más relevante del proceso controlado.

Una vez acabadas todas las etapas anteriormente dichas se realizará una puesta en marcha de todo el sistema.

### 5.1. Etapa de pre-comisionado

En la ejecución de un proyecto de construcción de una planta, las etapas finales son pre-comisionado (ya realizado) el comisionado y la puesta en marcha. Estas dos últimas etapas se cubren en este TFM.

Las actividades principales que se realizan en esta fase son pruebas estáti-

cas tales como las pruebas de presión de recipientes y tuberías, las pruebas de los equipos eléctricos, pruebas de continuidad de los lazos de instrumentación, el alineamiento de los equipos rotativos (bombas, compresores) con su centro de control de motores, las pruebas del sistema industrial de control y los sistemas de seguridad y paro de emergencia. También se inicia en esta fase actividades de limpieza en el interior de los equipos, haciéndose un barrido neumático o hidráulico, según esté especificado para el proceso y los materiales de construcción, para desplazar y remover cualquier suciedad o pequeños restos que hubieran podido quedar en el interior de los recipientes y tuberías.

Antes de proceder a la ejecución de esta etapa se han realizado unas **modificaciones físicas** en el interior de la planta.

Para empezar se ha realizado la conexión mecánica e hidráulica de las dos líneas de la planta, tanto la de calor como la de frío. Esto nos permitirá poder controlar ambas líneas. Se han revisado todas las conexiones de las bombas tanto eléctricas como hidráulicas, el paso de las tuberías por todos los elementos, se han sustituido algunos conectores por otros nuevos, se ha instalado una válvula mariposa 'T' a la salida del reactor, ya que estaba solamente conectada a un transmisor de presión y no existía ninguna salida del fluido del reactor (Esto es un grave error).

En el presente proyecto se va a dividir la etapa de pre-comisionado en varias actividades a realizar dentro del punto de vista de la automatización e instrumentación, que corresponde todo el proceso de cableado tanto de la instrumentación en campo como de los cambios efectuados en la alimentación eléctrica, así como los cambios realizados en algunos tramos de tubería, que han quedado fijos.

En las actividades que se realizarán pueden descubrirse una serie de fallos debidos a la etapa de ejecución realizada en anteriores proyectos, como cables sueltos o mal conectados, etiquetas o Tags mal colocados, etc.

### **5.1.1. Test 1: Verificación del cableado**

Es la primera actividad a realizar ya que no hace falta que esté alimentado el circuito para ello. La actividad consiste en revisar el cableado que se ha tendido por toda la planta, su conexionado, identificación y como última tarea la comprobación de la continuidad del mismo, tarea llamada como **timbrado**. La revisión conlleva consigo una serie de mejoras en los puntos donde la falta de tiempo o la mala organización no hayan permitido dejar el

cableado como debería de estar.

#### 5.1.1.1. Mejoras introducidas en la instalación

Se ha llevado una exhaustiva revisión en la planta piloto y se han identificado algunos elementos mal cableados e incluso sin cablear.

1. En primer lugar, el cuadro de tiristores, las salidas de control analógico de los actuadores térmicos que venían del controlador, estaban conectadas pasando por el exterior del cuadro a través de la puerta, de forma que no había forma de cerrar el cuadro de tiristores. Siendo un cuadro que trabaja con mucha potencia resulta peligroso no mantenerlo cerrado, además que ya disponemos de poco espacio en la sala como para tener la puerta abierta. La solución al problema fue desmontar una tapa de la parte inferior del cuadro, realizar un agujero y colocar un prensaestopa del suficiente diámetro como para albergar los cables de control que a día de hoy se disponen quedando hueco para alguno más que pueda ser necesario en una futura expansión. Figura 5.1.



(a) Antes



(b) Después

Figura 5.1: Antes y después del cuadro de tiristores

2. Con el cuadro de control sucedía algo similar, ya que los cables de alimentación y un bus de comunicación estaban conectados por la puerta del cuadro impidiendo que éste pudiera ser cerrado. Esto si me parece algo que se debería haber hecho anteriormente ya que se trata del control de una planta con el que se trabaja a menos de medio metro

con líquidos. Si por cualquier causa entra algo de líquido al cuadro de control podría producirse un corto que estropeará el controlador y sus módulos, además de poner en riesgo la seguridad de la planta.



Figura 5.2: Cuadro de control después del cambio

3. El siguiente problema que se encontró, fue que al motor del agitador del reactor le habían cortado los terminales, dejando el motor fuera de todo posible control. Para ponerlo en marcha, hubo que reemplazar todo el cableado por otro completamente nuevo, introduciéndolo por las canaletas que se distribuyen a lo largo de la planta hasta llegar al cuadro de variadores de frecuencia.
4. Por último, en el cuadro de variadores habían puentes realizados en el bornero inferior con trozos de cables y cuya función era actuar como un interruptor 'manual' para permitir la puesta en marcha de las bombas en el sentido de giro programado.

En la figura 5.3 pueden verse los puentes de cable de color rojo y negro que permitían poner en marcha de forma manual las bombas de la planta. La solución adoptada está basada en la automatización de la puesta en marcha de las bombas, por lo que se pasó cable desde el cuadro de variadores hasta el cuadro de control. En el cuadro de variadores se conectaron 4 de los variadores disponibles para controlar todas las bombas que actualmente se

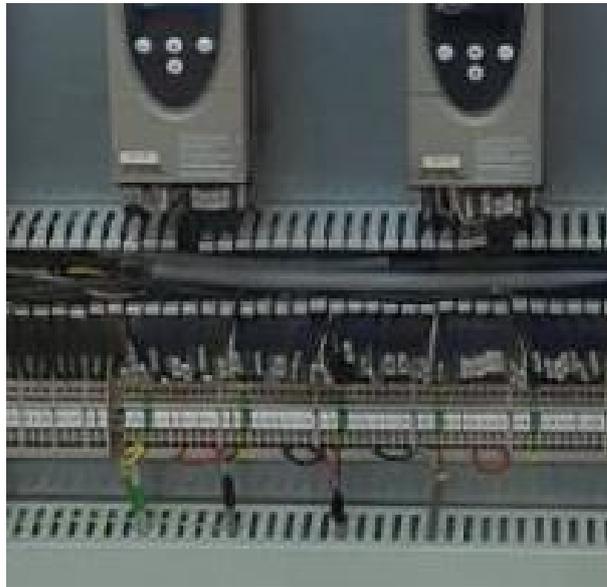


Figura 5.3: Puentes realizados para activación de variador

encuentran en la planta de forma totalmente automática desde el controlador DeltaV. Figura 5.4.



Figura 5.4: Conexión de la activación del variador al sistema de control

Los cables que provienen del cuadro de variadores llegan al cuadro de control, donde se han instalado cuatro relés que se activan con el módulo de salidas digitales del controlador DeltaV. Los relés se han instalado para aislar eléctricamente las fuentes de los variadores de las del controlador. Se puede ver los relés en la figura 5.5.

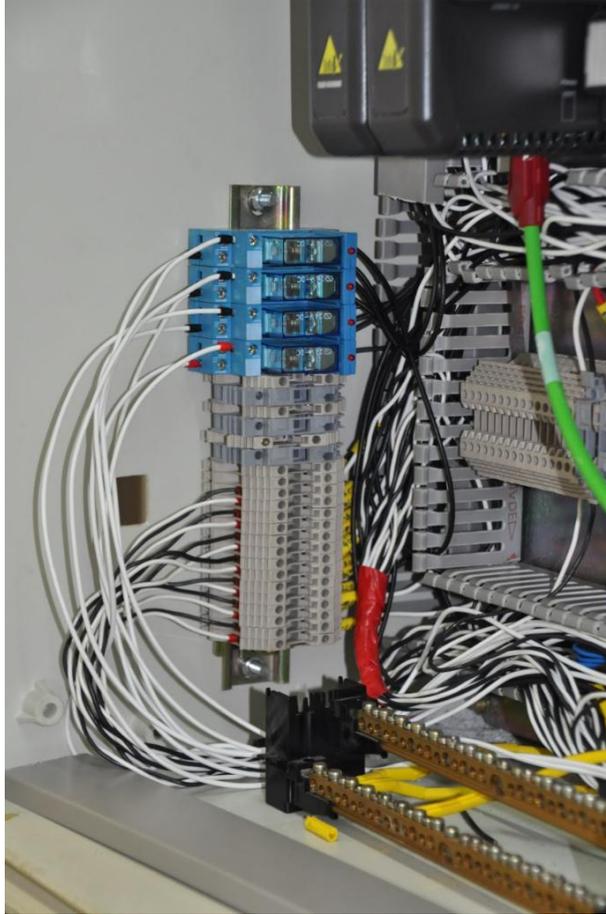


Figura 5.5: Cuadro de control: detalle de relés de los variadores

Para finalizar la primera tarea, realizamos el timbrado de los elementos eléctricos y el cableado de la instrumentación. Realizaremos el timbrado en dos fases, y nos ayudaremos de los planos de conexión realizados:

- La primera fase se dedica al timbrado del cuadro de control.
- La segunda fase se dedica al timbrado de los circuitos de control, desde el cuadro de control a las cajas de conexión en campo, y desde ahí, a los instrumentos finales.

### 5.1.2. Test 2: Calibración y pruebas de funcionamiento

Como la calibración de los instrumentos de campo ya se realizó anteriormente nos centraremos en realizar unas pruebas. Las pruebas que deben

realizarse en esta actividad, tienen relación con la reacción de los instrumentos ante condiciones de operación simuladas.

Una de las tareas es asegurarse del estado de cada instrumento, por lo que se debe asegurar para todos los instrumentos que:

1. Las tuberías han sido probadas a presión.
2. Los cables de instrumentos han sido probados para verificar continuidad y aislamiento.
3. Los instrumentos han sido calibrados y que los certificados de calibración están disponibles.
4. Las cajas de empalme están conexas y marquilladas.
5. Los planos están disponibles.

Se han comprobado ciertos puntos de cada tipo de instrumento. A continuación mostraremos algunos aspectos importantes a revisar de cada tipo de instrumento y su transmisor.

■ **Instrumentos de Caudal:**

- Revisar que todo esto de acuerdo a los planos.
- Revisar que el tamaño del dispositivo es el correcto y está instalado en la dirección del flujo.
- Verificar la tubería de la línea de impulso.
- Verificar los puntos donde puedan producirse fugas.
- Verificar la calibración del dispositivo.

■ **Otros instrumentos (Transmisores de presión, temperatura, controladores, etc...):**

- Verificación de la condición, instalación, visibilidad y accesibilidad.
- Verificación del rango y rating.
- Verificar los puntos donde puedan producirse fugas, válvulas y conexiones.

■ **Indicadores (manómetros, indicadores de temperatura, etc.):**

- Verificación de la condición e instalación.
- Verificación del rango, rating y tamaño.
- Verificar los puntos donde puedan producirse fugas.

### **5.1.3. Test 3: Pruebas funcionales eléctricas**

El propósito de las pruebas de funcionamiento eléctricas es energizar los equipos para comprobar su operación, para lo cual éstos deben ser revisados antes de someterlos a carga y comprobar su capacidad para ser energizados de forma segura.

Las pruebas funcionales comprenden principalmente los ensayos de las protecciones eléctricas y de los bloqueos internos (interlocks) e interfaces con otros equipos con y sin energización.

En todos los casos la continuidad de los circuitos deberá ser comprobada visualmente, al igual que su conexión a tierra antes de energización.

Los ensayos realizados a alto voltaje pueden afectar la vida útil de los equipos y por tanto se debe evitar su repetición.

Se realizarán las pruebas de funcionamiento de instrumentación y de los accionamientos como bombas, motores, válvulas y termorresistencias.

El propósito de las pruebas de funcionamiento es la verificación dinámica de cada instrumento para comprobar su correcto desempeño. Lo anterior aplica a las pruebas de lazos y pruebas de lógica.

- **Prueba de lazos de instrumento.** Para Transmisores de presión, nivel o temperatura se debe simular cinco puntos en lazo abierto: 0 %, 25 %, 50 %, 75 % y 100 %.
- **Motores.** Se realiza la puesta en marcha y paro del mismo.
- **Actuadores térmicos.** Se lanza una señal 4-20 mA para comprobar el funcionamiento del equipo.

Los instrumentos han sido probados desde la estación de trabajo una vez instalado AMS Device Manager, que es capaz de detectar automáticamente los módulos de entradas analógicas y sus respectivos instrumentos siempre que cuenten con comunicación Hart.

En las pruebas de comunicación con los instrumentos Hart se encontraron varios problemas en algunos transmisores.

- Se detectó que todos los transmisores de temperatura estaban configurados como termopares tipo k los cuales al someter a 80 °C a el sensor primario no cambiaba la salida del transmisor a penas. Mediante AMS Device Manager se cambió en la configuración principal el sensor primario de termopar a termorresistencia pt100 ( $a=0.00385$ ), y realizando medidas de temperatura se comprobó su correcto funcionamiento.
- AMS no era capaz de detectar uno de los dos caudalímetros instalados en la planta piloto. La solución ha derivado en abrir el transmisor y ver que, para nuestra sorpresa, los terminales de conexión Hart estaban mal conectados (en lugar de estar en los terminales 1-2 estaban conectados en 3-4). Una vez conectado correctamente, AMS detectó el instrumento a la primera, permitiéndonos entrar a su configuración. A día de hoy me sorprende como se dió por válida la prueba de instrumentación con estos errores tan graves.

Una vez realizadas las pruebas podemos dar por terminada la etapa de pre-comisionado.

## 5.2. Etapa de comisionado

En la fase de comisionado se energizan los sistemas y se realizan pruebas dinámicas de los equipos, y en general se revisa la instalación y se pone a punto para su puesta en marcha. Para este proceso, DeltaV debe estar operativo ya que se utilizará en parte de las actividades de comisionado.

Las actividades principales que se llevan a cabo en una puesta en marcha son:

- Programación del controlador.
- Pruebas de enclavamientos.
- Pruebas funcionales de los sistemas de control.
- Ajuste final de instrumentos

### 5.2.1. Bloques de control

En esta sección se explicara la programación de los lazos de control que se van a implantar en la planta piloto. Estos lazos vienen limitados físicamente por la sección de los tubos, capacidad de los caudalímetros, el hecho

que en un reactor real, el flujo empleado para enfriar o calentar la camisa esta dispuesto en un circuito cerrado y los instrumentos de temperatura no tienen tanta inercia térmica (algo que hace muy complicado el control de temperatura).

En nuestro caso en lugar de controlar la temperatura en lazo cerrado, tenemos los dos depósitos para el fluido de la línea caliente y el otro de frío.

La estrategia de control que se implantará contará con varios controles: nivel, caudal y temperatura.

- **Nivel:** Se trata de un control todo o nada. Está implementado para ambos depósitos, de forma que cuando el nivel de cualquier depósito, se sitúe por debajo de un límite inferior establecido, se abra la electroválvula que permite la entrada de agua para llenar dicho depósito hasta que su nivel alcance a el límite superior, cerrando la electroválvula y repitiendo ese proceso de forma cíclica.
- **Caudal:** De la misma forma se implementará un control de caudal para ambas líneas, ya que, es importante controlar la cantidad de fluido que pasa por un determinado espacio de tiempo. El caudal toma un factor muy importante, ya que es uno de los encargados de acelerar el proceso de calentamiento o enfriamiento de la camisa del reactor. A un mayor caudal, la temperatura se verá afectada de forma más rápida, tanto como si se calienta como si se enfría. Esta es una de las causas que tengamos un sistema de temperatura muy lento, ya que debido a la sección de las tuberías y el caudal máximo detectado por los caudalímetros, el flujo máximo que las bombas pueden llegar a suministrar es solo de 1.8 L/min, un caudal realmente bajo.
- **Temperatura:** Quizás el control más complicado pero importante de realizar. Como se ha explicado, en los reactores la temperatura es un factor muy crítico, y aunque nuestro proceso no siga del todo el que se implementaría en una planta de reacción real (por las limitaciones contadas anteriormente), el control de la temperatura se hará intentando que los set point que se ejecuten sean alcanzados lo más rápido posible y que se mantenga la estabilidad en el sistema. Para calentar solo se activará la línea de calor. Para saltos pequeños de temperatura descendente seguirá solo activa la línea de calor. Pero para cambios descendentes más bruscos o para temperaturas que sean inferiores a la temperatura ambiente, la línea que entrará en acción será la de frío.

Todos los módulos que serán cargados al controlador, se crean a partir de control estudio, arrastrando y modificando los bloques necesarios para la programación.

#### 5.2.1.1. Control de Nivel

Hay que tener claro los módulos que tienen que formar parte de este módulo de control, que datos son imprescindibles conocer para saber cuando abrir o cerrar la electroválvula. Bien pues en este caso lo más importante es conocer que nivel tiene el depósito en cada momento, para que cuando rebase por arriba o por abajo los límites, el controlador pueda actuar.

***Nota:** en mi proyecto el control de nivel y de caudal lo tengo en un mismo módulo de función por comodidad pero puede realizarse todo por separado siempre que se descarguen los módulos al controlador*

Lo primero que debemos abrir control estudio y crear un nuevo módulo de control. Aparecerá entonces la paleta que contiene todas las funciones que utilizaremos para la creación de este módulo.

En la paleta de funciones buscamos la pestaña de entradas y salidas, y arrastramos una entrada analógica a la zona de trabajo. Esta entrada analógica se tiene que configurar para que pueda leer los datos del sensor de nivel del depósito V-10101.

Para configurar la entrada, se pincha sobre el módulo de entrada analógica y en la vista de parámetros hacer doble clic en el parámetro 'IO\_IN'.

En las propiedades del cuadro que aparece hay que insertar el Tag 'LT-10999-01' correspondiente al transmisor de presión diferencial que mide el nivel del depósito V-10101. Hacer clic en 'OK'.

En el parámetro 'OUT\_SCALE\_Properties' se puede modificar el valor de salida para que sea más fácil referenciar todo el sistema.

El control de apertura o cierre de la electroválvula se ha realizado con un bloque de 'cálculo'. A este bloque hay que añadirle más entradas, dando clic derecho encima del bloque aparece una opción para modificar las entradas y salidas.

En 'IN1.CV' conectamos la salida del bloque anterior (entrada analógica).

Ahora en la paleta de funciones buscamos el a función 'Parámetro de entrada', arrastramos dos de estos bloques y los conectamos a las entradas 3 y 4 (en mi esquema uso las entradas 3 y 4 por tener unidos caudal y nivel en un mismo módulo de control). Le cambiaremos el nombre a estos parámetros por: Máximo y mínimo; También le daremos un valor de 80 y 40 respectivamente.

Ahora falta programar el bloque para crear las condiciones en las que queremos que actúe la electroválvula. Hacemos clic derecho y pulsamos en 'Expression'. LA programación de este bloque se muestra en la figura 5.6.

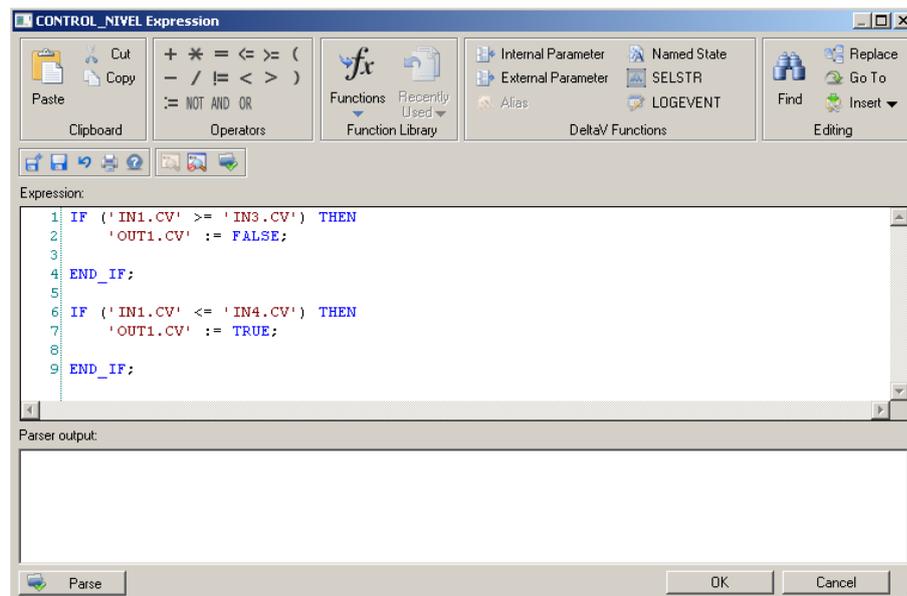


Figura 5.6: Código control de nivel

El bloque de 'cálculo' solo tiene una salida 'OUT1.CV', que según el bloque de programación será 'TRUE' cuando el nivel actual esté por encima del máximo o 'FALSE' si está por debajo del nivel mínimo.

De la paleta de bloques de función hay que arrastrar una salida digital, en este caso será para actuar sobre la electroválvula. Hay que unir la salida del bloque de cálculo a la entrada de esta salida digital.

Hacemos dos clic en 'IO\_OUT' del bloque de salida digital y seleccionamos el Tag LV-01' correspondiente a la electroválvula que permite el paso de agua al depósito.

Por último solo queda guardar el módulo y descargarlo al controlador.

#### 5.2.1.2. Control de Caudal

Lo primero que hay que hacer es conocer las limitaciones de cada instrumento. En nuestro caso las del coriolis ya las hemos probado como muestra la figura 5.7.

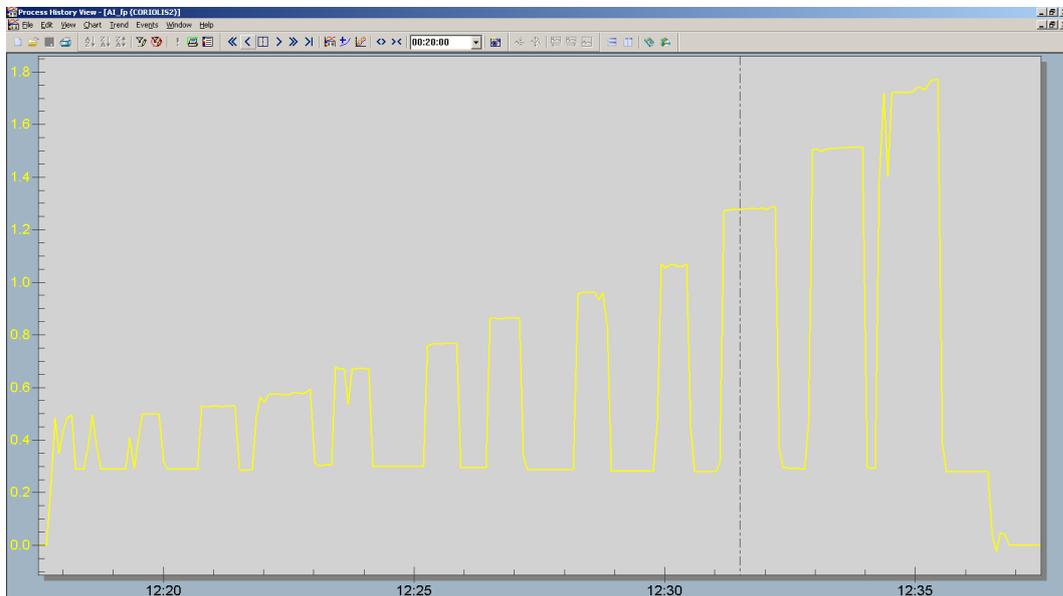


Figura 5.7: Comportamiento coriolis línea de calor

Ya se conoce que su límite esta en 1.8 L/min.

Desde el entorno de la herramienta 'Control Studio' de Delta V se implementó el control de caudal junto al de nivel. Para el control de caudal se programó una entrada analógica asociada al caudalímetro, una salida analógica asociada a la bomba, un bloque PID para controlar este lazo, un bloque de cálculo para los interlocks y una salida analógica que controla la frecuencia suministrada a la bomba por el variador, como vemos en la figura 5.8.

Como se observa en dicha figura, se utiliza un bloque de cálculo para establecer interlocks en la bomba. Esto no es lo que se utiliza realmente en la

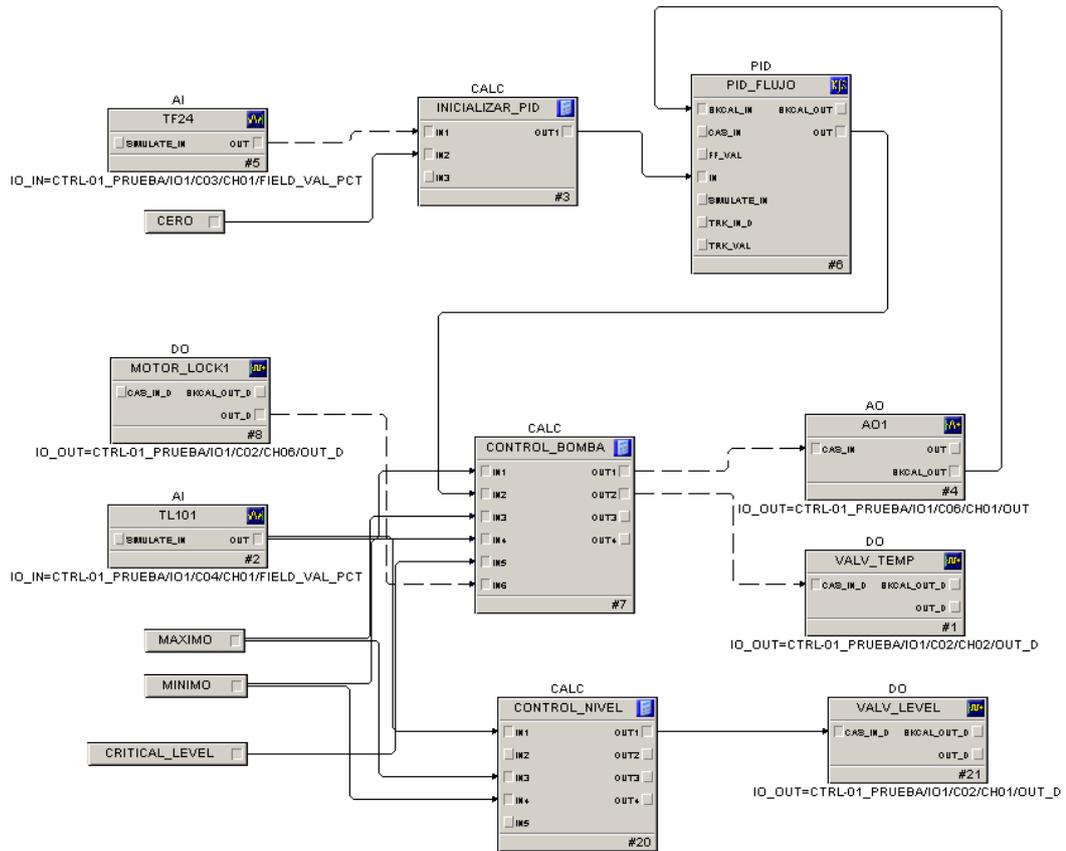


Figura 5.8: Bloques de lazo de caudal junto al de nivel de la línea de calor

industria ya que, para controlar los interlocks de los motores hay un módulo en la librería que permite hacer esto, aunque no está implementado por falta de conocimiento de dicho bloque.

La programación del bloque de cálculo se muestra en la figura 5.9.

En este bloque hay dos condiciones, una para inicializar la ejecución de la bomba y otra condición de seguridad que hace parar la bomba. La primera condición activa la bomba y abre la electroválvula de la misma cuando el nivel del depósito está por encima del mínimo. La segunda condición hace justo lo contrario, parar la bomba y cerrar la válvula siempre que el nivel del depósito se sitúe por debajo de un 'nivel crítico'. Esto se debe porque en el depósito V-10101 como sabemos esta la resistencia térmica que precalienta el agua, y esta condición evita que este actuador pueda sufrir y estropearse.

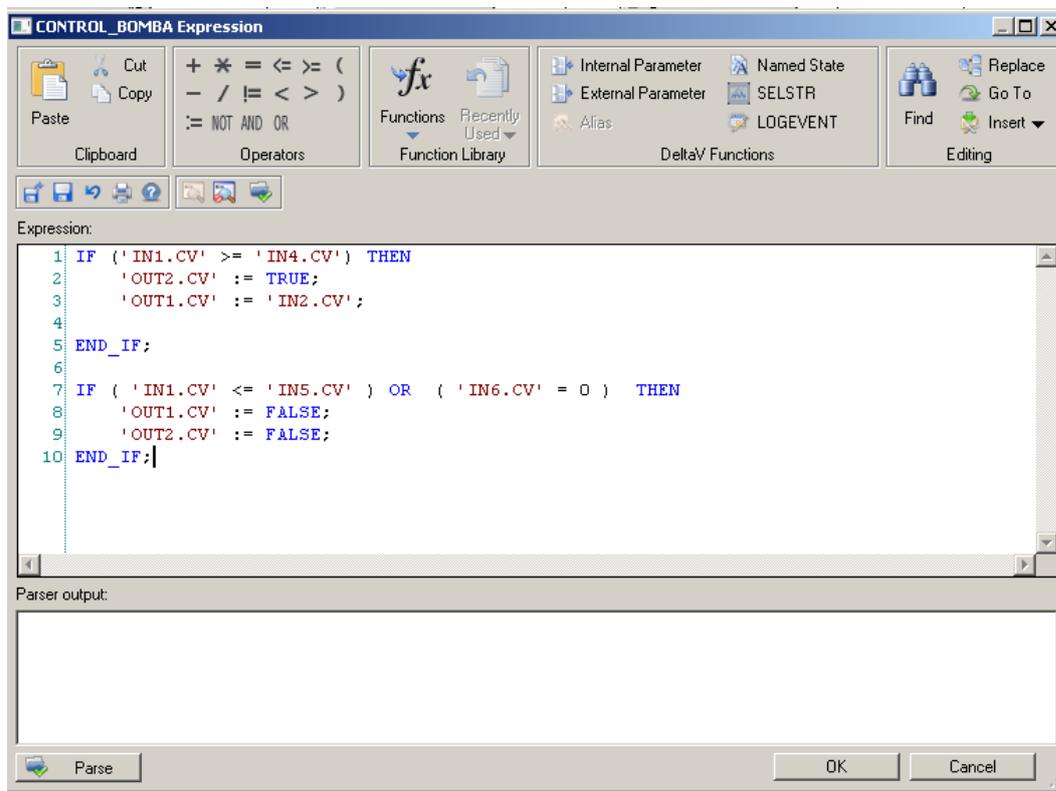


Figura 5.9: Código control de caudal

Para la línea de frío sería exactamente el mismo esquema pero cambiando los Tags de los instrumentos que intervienen.

El PID permite dos modos de funcionamiento: manual y automático. En manual, desde DCS se establece el valor de la frecuencia a la cual se quiere que la bomba funcione, plasmándose dicho valor en el variador de frecuencia, y consecuentemente produciéndose el funcionamiento de la bomba a la frecuencia establecida. En el modo automático en cambio, se le marca un set point de caudal (en L/min) y el PID se encarga de ajustar la frecuencia de la bomba para que se llegue al caudal deseado. Esta selección de modo y la introducción de los valores se realizan desde la herramienta 'Delta V Run Operate'. En ella, pinchando en el icono de 'Faceplate', se introduce el nombre del archivo correspondiente.

El ajuste de un PID en un sistema de control de lazo cerrado en el mundo industrial es todo un arte. En la industria se emplean los métodos de sintonía por tanto, ya que resulta más sencillo y es realmente muy eficaz.

Aún cuando se haya diseñado el sistema de control con algún criterio previo es necesario hacer ajustes en campo cuando se instala el controlador (tuning, sintonía). El ajuste por ensayo y error, si bien requiere cierta experiencia, sigue siendo válido, y particularmente se torna necesario cuando no se tiene mayor idea del modelo del proceso. Muchas veces se parte de la base de algún proceso similar por lo que ya se tiene una idea de los valores de los parámetros. Últimamente se han desarrollado controladores adaptativos, esto es, que ajustan automáticamente los valores de los parámetros.

Para el control de flujo nos encontramos con que:

- Los lazos de control de caudales líquidos se caracterizan en general por respuestas rápidas (del orden de los segundos), sin tiempo muerto o delay. Las dinámicas comienzan a aparecer cuando se trata de fluidos compresibles (gas, vapor) o debido a eventuales procesos inerciales en líquidos.
- Los sensores y líneas de transmisión neumáticas pueden introducir dinámicas significativas.
- Cuando las perturbaciones tienden a ser frecuentes pero de pequeña magnitud, normalmente se trata de ruidos de alta frecuencia debidos a turbulencias, cambios en válvulas, vibraciones en las bombas, etc.
- Por estos motivos en principio es conveniente utilizar controladores PI (sin acción derivativa), con valores intermedios de  $K_c$ .

Sabiendo esto, se va a describir el proceso que se ha empleado para el ajuste del PI de la bomba. Lo primero de todo seleccionamos el bloque del PID y abrimos la ayuda de sintonización en la barra de herramientas llamada 'Tune with Insight' cuando estamos en modo online. Aquí se nos abre una ventana donde se muestra un gráfico y un panel donde se ajustan los parámetros del PID y los Set Point.

Los parámetros de un PID en los bloques de DeltaV son:

- Proporcional - Gain
- Tiempo integral - Reset
- Tiempo derivativo - Rate

Para la prueba, eliminaremos la constante integral y la derivativa, mantendremos el set point a '0' y establecemos una constante proporcional. Lo siguiente es darle un salto escalón dentro del rango establecido y esperamos como reacciona el sistema.

Un control PI es suficiente para establecer un control bueno en la bomba. Como se puede ver en la figura 5.10, para distintos escalones ascendentes/descendentes se ha conseguido un control bastante rápido y sin sobreoscilaciones.

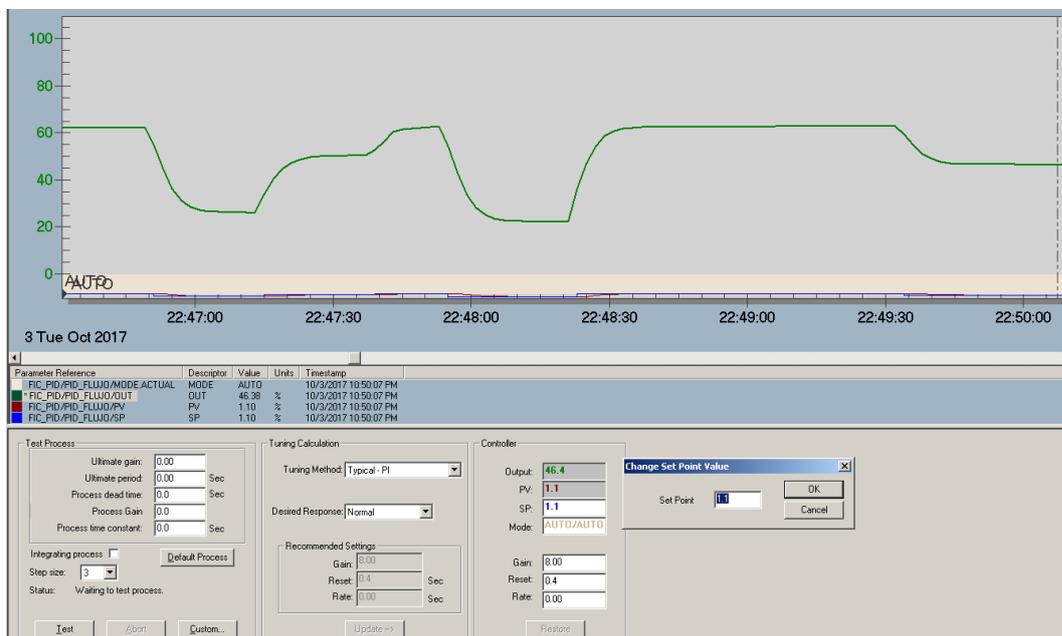


Figura 5.10: Sintonía del PID de la bomba con Insight

Los parámetros resultantes del ajuste del PI de la bomba son:

- Gain: 8.00
- Reset: 0.4
- Rate: 0.0

### 5.2.1.3. Control de Temperatura

Los lazos de temperatura a controlar en la planta piloto son 3: temperatura del tanque V-10101, temperatura de la camisa del reactor de la línea

fría y temperatura de la camisa del reactor de la línea caliente.

***Nota:** al principio de todo, en las primeras pruebas realizadas surgió problemas de control de temperatura debido a que las pt100 tenían el transmisor configurado como termopar y que existía un 'damping' muy elevado de 5 seg.*

Gracias a la incorporación de **AMS** pudimos solventar estos dos problemas rápidamente pudiendo realizar los bloques de control.

### **Depósito V-10101**

En primer lugar hay que tener en cuenta que la función de la resistencia térmica en este depósito es 'pre-calentar' el agua a unos 25-30°C antes de pasar por el calentador en línea. Siendo una temperatura muy cercana a la temperatura ambiente la energía consumida por la resistencia no es muy elevada por lo que el control de la temperatura se realizará con un control 'PI'. La medida de temperatura se hará a través de la pt100 TE02 situada en la zona inferior del depósito V-10101.

Realizando pruebas de ajuste manual se han establecido los siguientes parámetros:

- Gain: 0.8
- Reset: 100
- Rate: 0.0

### **Línea frío**

En esta prueba comprobaremos la temperatura que puede alcanzar la línea de agua fría. Para ello se parte con una temperatura inicial en la balsa del equipo de frío de 0°C, a continuación se activa la bomba N10056 para obtener un flujo en el circuito estanco de 1 l/min hasta que la temperatura del interior del circuito quede estabilizada con el fin de comenzar siempre en las mismas condiciones iniciales.

Como consecuencia la temperatura del agua que sale del depósito se mantiene estable durante todo el experimento en torno a los 21°C, al dar una consigna a la bomba N10056 que es la que bombea el circuito de enfriamiento, la temperatura del circuito disminuye y por lo tanto también la temperatura de la línea de agua fría gracias al intercambiador de calor. Cuando la temperatura del circuito de enfriamiento se estabiliza y llega a su punto mínimo, sobre los 5°C aproximadamente, y se activa la bomba N10052 por lo que el

flujo de la línea de agua fría aumenta y por ello podemos decir que la temperatura de entrada a la camisa queda estabilizada rápidamente en torno a 15°C.

### Línea caliente

El control de la temperatura de la camisa del reactor como tal no es posible, ya que no se dispone de un sensor de temperatura instalado en la misma camisa. Solo se cuenta con un sensor justo a la entrada de la misma (TE25), lo que únicamente puede tomar temperaturas en este punto.

Las dificultades que engloba este control son obvias puesto que las tuberías de acero inoxidable y la misma camisa del reactor no están aisladas térmicamente, el caudal máximo propulsado por la bomba es de 1.8 L/min y la distancia que debe recorrer el fluido desde la salida del calentador en línea hasta la entrada a la camisa del reactor.. El problema de las fugas de calor hace que la temperatura en el punto de medida baje unos grados respecto a la pt100 TE05, y el problema del caudal Por ello hay que llevar especial cuidado cuando trabajamos con agua, ya que si estableciéramos un 'Set Point' de 45°C a la entrada de la camisa, la temperatura del agua que sale por el calentador en línea puede alcanzar una temperatura superior a 50°C e incluso alcanzar puntos de inicio de evaporación.

Debido a esto se han realizado dos ensayos para el control de temperatura:

En el **primer ensayo** se tomara la temperatura de la pt100 TE25 de la entrada de la camisa del reactor. En este lazo hay que tener en cuenta todo lo dicho anteriormente ya que la temperatura en este punto cambiara con una pequeña inercia producida por el caudal impulsado y con unas pérdidas mayores.

A efectos de ello, la medida tomada es implementar un '**PI**' algo **más lento**, de forma que el sistema amortigüe el impacto de un retardo en la medida de temperatura, dejando que el sistema cambie lentamente para evitar así que la temperatura a la salida del calentador de línea se dispare. En la prueba se estableció un set point de 40°C estando inicialmente el agua a unos 30°C. Una vez pasados casi cinco minutos el sistema se estabilizada, siendo la temperatura a la salida del calentador en línea es de unos 43°C y la temperatura a la entrada del reactor de unos 40-41°C. Ese grado de diferencia se debe a la falta de aislamiento de las tuberías por lo que el control aumenta levemente la salida del calentador de línea.

El ajuste del 'PI' para esta prueba a sido el siguiente:

## 128CAPÍTULO 5. COMISIONADO Y PUESTA EN MARCHA DE LA PLANTA

- Gain: 0.8
- Reset: 100
- Rate: 0.0

En el **segundo ensayo** se ha tomado la pt100 TE05 (situada a la salida del calentador de línea) para realizar el lazo de control. Controlar ésta temperatura es razonablemente más sencillo ya que los retardos de medida son mínimos y se puede actuar rápidamente sobre el calentador de línea.

En este caso El 'PI' puede tener una ganancia mayor haciendo el sistema algo más rápido. Se ha probado en unas condiciones idénticas a el primer ensayo: un set point de 40°C, reaccionando el sistema casi inmediatamente y estabilizandose en dos minutos y medio con una medida 'exacta'.

El ajuste del 'PI' para esta prueba a sido el siguiente:

- Gain: 4.00
- Reset: 100
- Rate: 0.0

En la figura 5.11 se ve el control de lazo cerrado que se ha creado en Control Studio, para controlar la temperatura del depósito V-10101 y el calentador en línea.

Arriba el control de temperatura del depósito, y abajo el control de temperatura del calentador de línea.

Los bloques de cálculo tienen la función de proteger el sistema mediante interlocks. La programación de estos bloques, hace que la salida sea '0' cuando la bomba de la línea esta apagada, o la electroválvula está cerrada, de esta forma se evita un recalentamiento del agua estancada en el interior del calentador de línea.

Los otros bloques de entrada analógica en la parte inferior de los lazos de temperatura son para mostrar la temperatura de todas las partes del proceso.

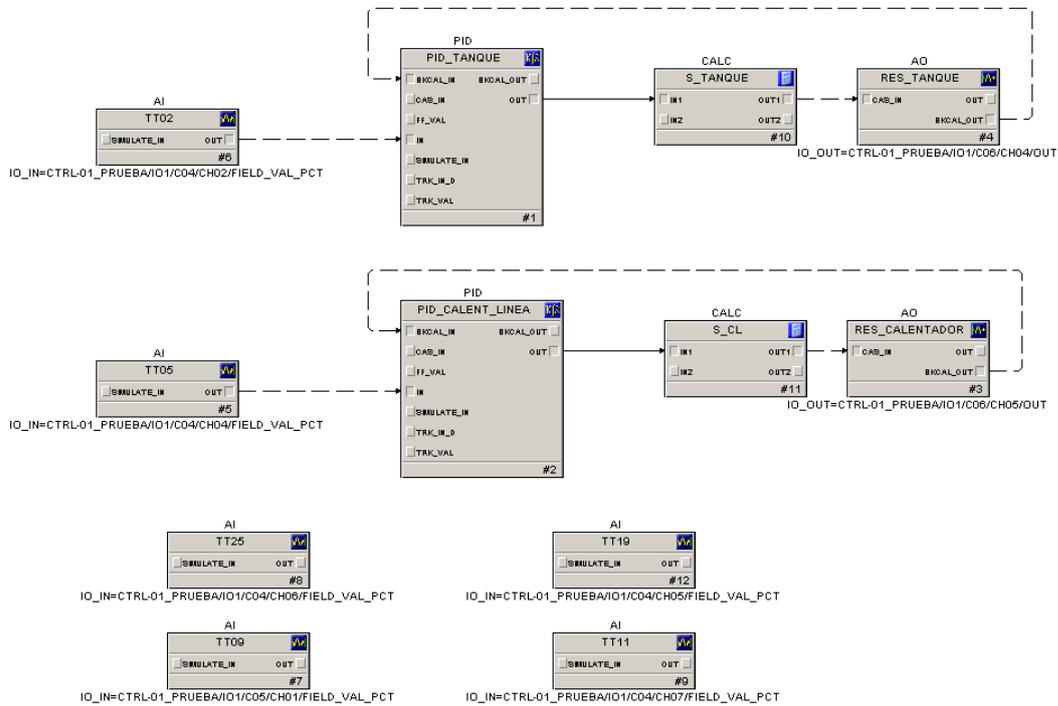


Figura 5.11: Módulo de control de la temperatura de la línea caliente

#### 5.2.1.4. Creación de alarmas de proceso

Las alarmas de proceso alertan al operador cuando una variable controlada está fuera de su rango normal de operación. Las alarmas se asignan a módulos. Por lo general, se desea que el operador realice algún tipo de acción y que responda a la señal de alarma. Éstas pueden ser simultáneamente visibles y audibles.

La creación de las alarmas de procesos se realiza en 'Control Studio'. Para ver cómo se crea una alarma realizaremos un ejemplo estableciendo alarmas de nivel en el depósito V-10101.

Para comenzar seguiremos los siguientes pasos:

1. Hacer clic derecho en la entrada analógica del instrumento de nivel.
2. Acceder a la opción 'Assign Alarm'.
3. En esta ventana nos da la opción de establecer 5 tipos de alarma: 'Hi', 'Hi\_Hi', 'INSPECT', 'Low\_Low' y 'Low'. En cada una de ellas te pide

## 130CAPÍTULO 5. COMISIONADO Y PUESTA EN MARCHA DE LA PLANTA

que escribas un nombre, la prioridad de la alarma y el valor que hará saltar dicha alarma. En nuestro caso solo seleccionaremos la alarma de 'Hi' con un valor límite de '70.0' y la alarma 'Low' con un valor límite de '40'. La prioridad de ambas alarmas sera 'Warning'.

### 4. Clic en 'OK'

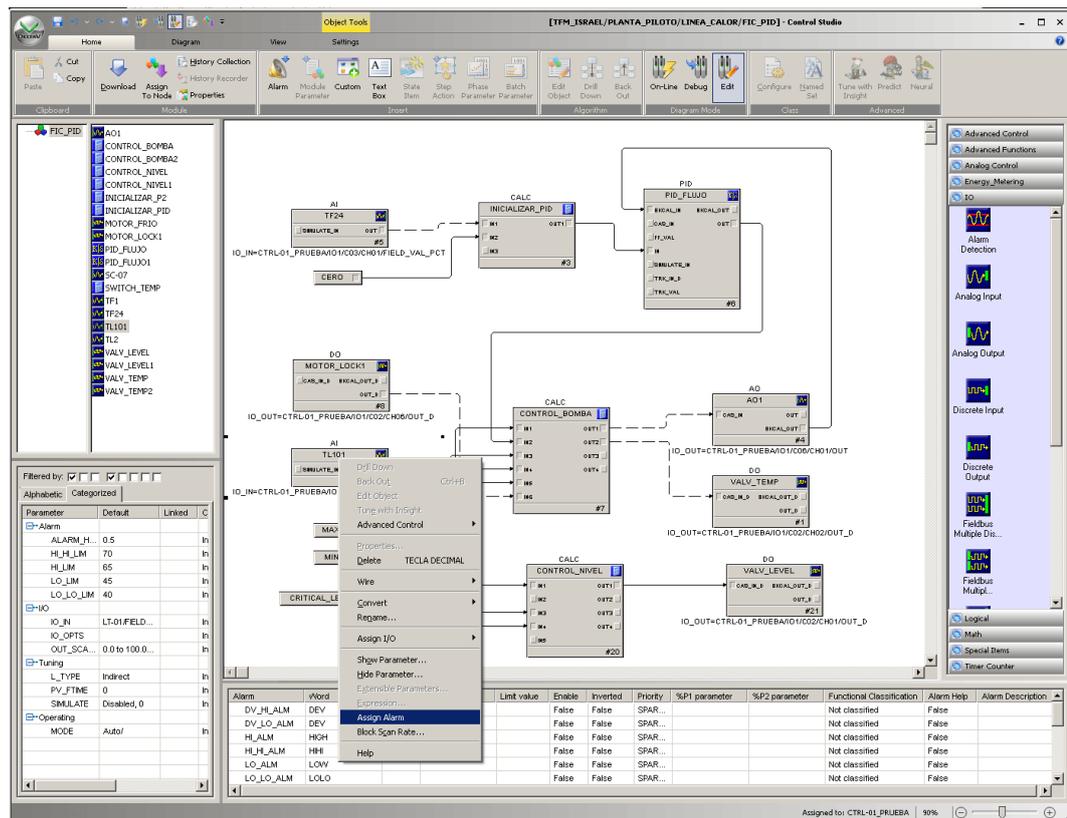


Figura 5.12: Creación de una alarma nueva

Con esto ya tendríamos definida la alarma para el nivel del depósito V-10101. En el caso de bajar el nivel por debajo de '40.0' saltaría una alarma 'Warning' en la pantalla del operador, y si llegara a '70.0' la alarma en este límite también aparecería.

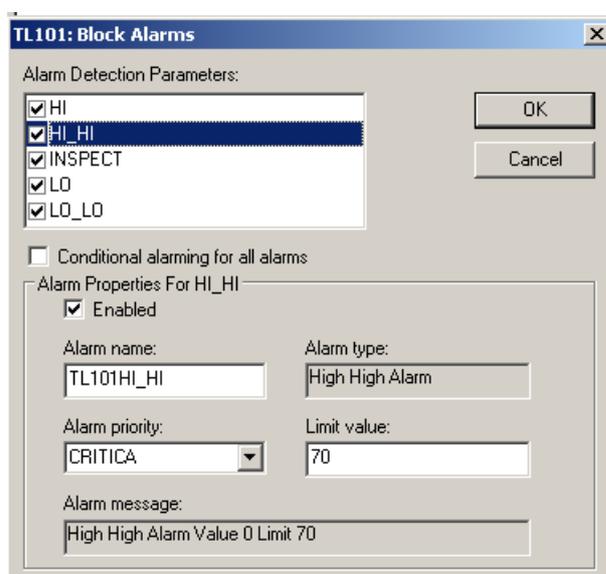


Figura 5.13: Selección de alarma

## 5.2.2. Pantalla del operador

En esta sección se explicará la creación de la pantalla del operador de forma muy sencilla. Para esta parte del proyecto se ha empleado la aplicación DeltaV Operate(Configure).

### 5.2.2.1. Configurando DeltaV Operate Configure

Abriremos esta aplicación para comenzar 'DeltaV/ingeniería/DeltaV Operate Configure', apareciendo un dibujo en blanco. Además de la barra de menús y la barra de herramientas, la ventana se compone de un árbol del sistema y el área de trabajo. Figura 5.14.

El árbol del sistema muestra una vista jerárquica de los archivos en el nodo local y todos los objetos asociados con cada archivo. El árbol del sistema puede cambiar el tamaño, mover, o se oculta. La apertura y cierre de las carpetas en el árbol del sistema es el mismo que el de apertura y cierre de las carpetas en el Explorador de Windows: clic en el signo más (+) para abrir una carpeta y ver su contenido; clic en el signo menos (-) para cerrar una carpeta y ocultar su contenido.

Para abrir un nuevo proyecto 'main', en el árbol del sistema, hay que hacer clic en el signo más en la carpeta 'Pictures' para expandir su contenido

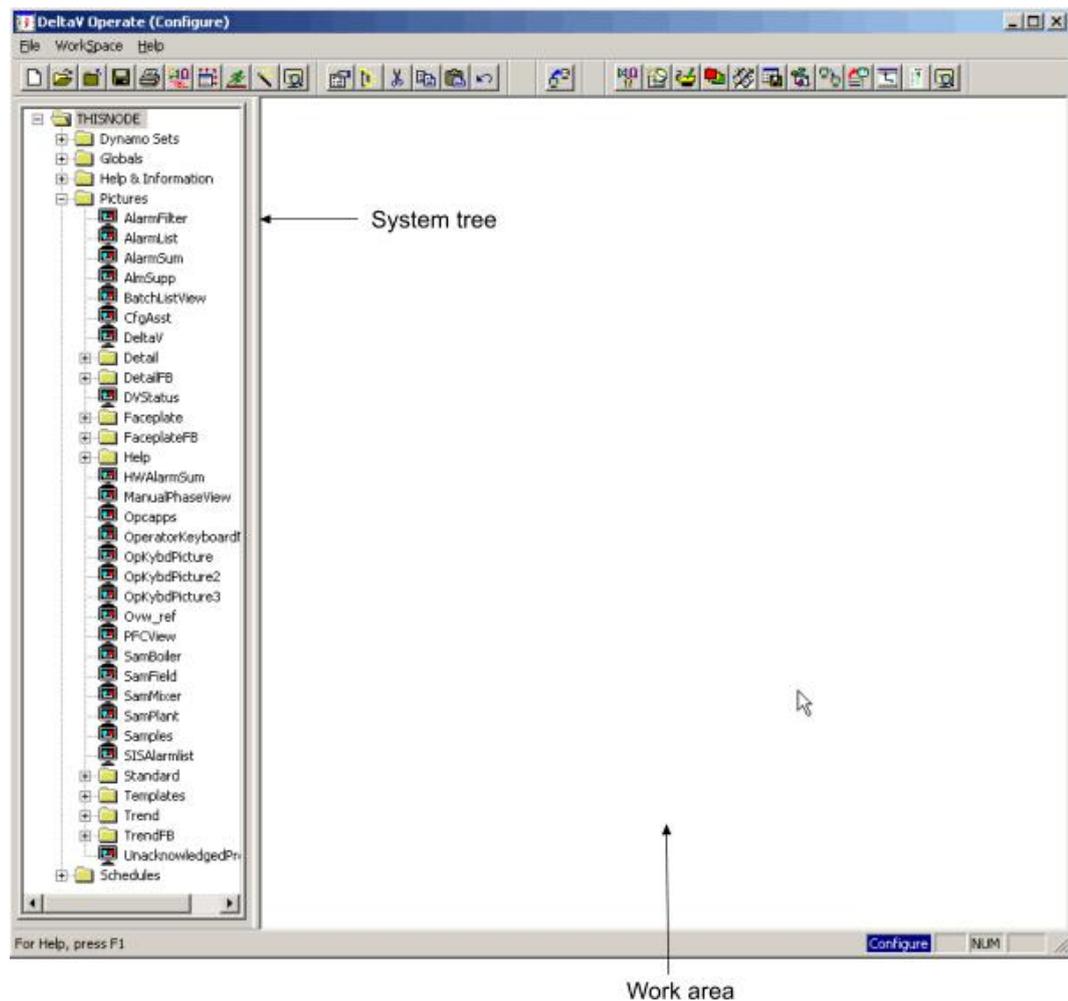


Figura 5.14: Ventana principal DeltaV Operate Configure

y, a continuación, hacer clic en el signo más en la carpeta 'Templates' para expandir su contenido.

Lo siguiente consta en hacer doble clic en 'main' para abrirlo en el área de trabajo. Puedes hacer clic en el signo más de esta plantilla de trabajo para ver de que se compone. Los manuales de DeltaV te invitan a que leas el texto de información de plantilla de trabajo y luego la borres para tener espacio para trabajar. Figura 5.15.

Guarde el proyecto de esta forma 'Guardar como'.

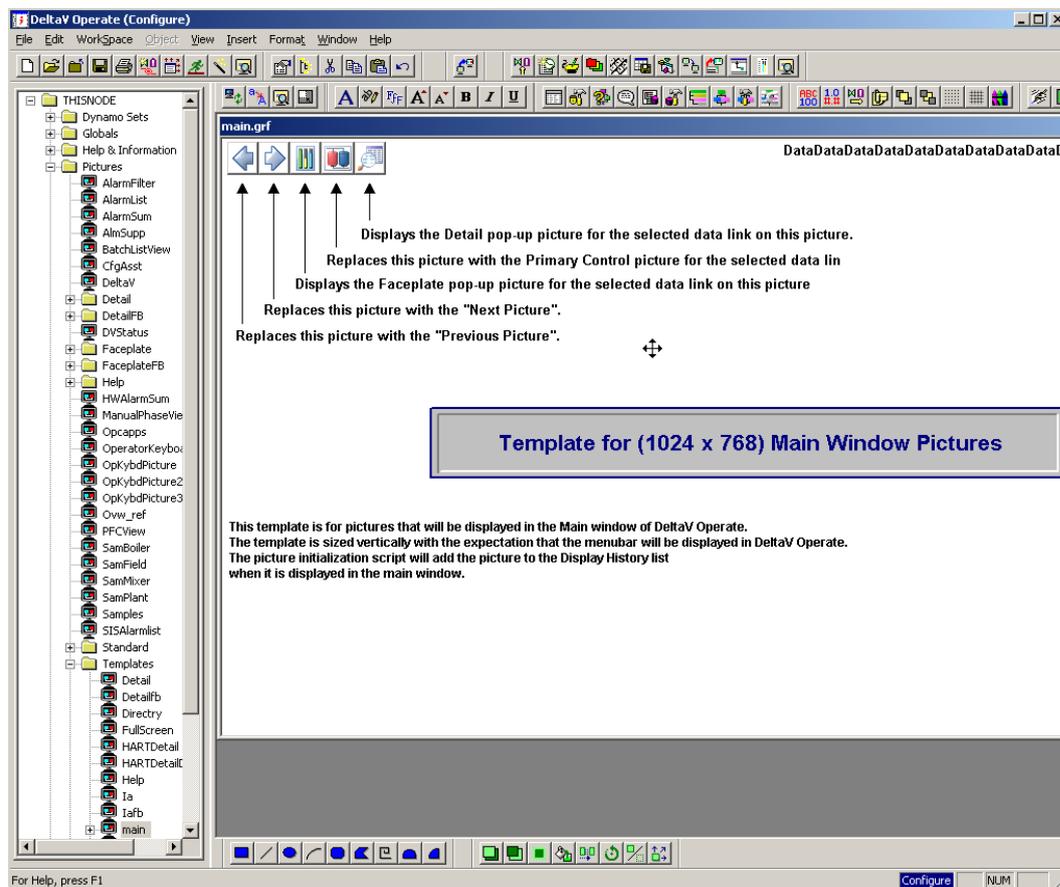


Figura 5.15: Área de trabajo

Ahora vamos a mostrar todas las barras de herramientas haciendo clic en 'Workspace/Toolbars'. Aparecerá un cuadro que indica las barras que se están mostrando. Figura 5.16.

Las seleccionaremos todas, aunque utilizaremos principalmente una barra de herramientas llamada 'DeltaV\_ Toolbox' ya que contiene todo, desde simples herramientas de dibujo para crear líneas, rectángulos, círculos y a herramientas de gráficos complejos.

### 5.2.2.2. Links, propiedades dinámicas y parámetros de referencia

Los 'Links' permiten mostrar los datos del sistema en tiempo real en la aplicación DeltaV. Hay varios tipos diferentes de Links. Los Links introducidos en este proyecto son enlaces de datos.

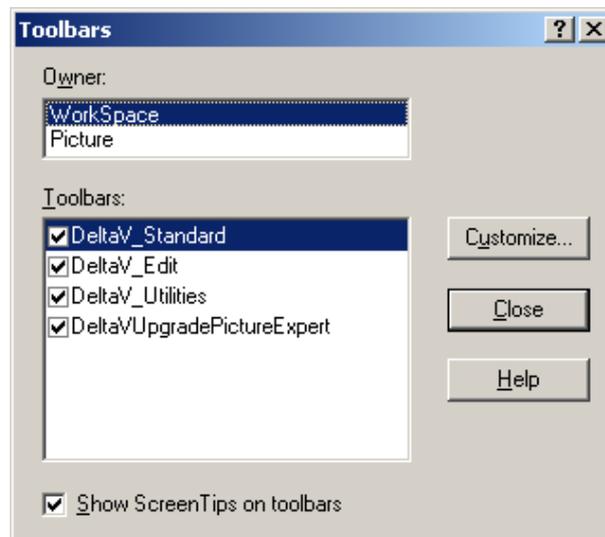


Figura 5.16: Visibilidad de las barras de herramientas

En el modo configuración, 'properties' son parámetros de objetos que se pueden modificar usando herramientas, comandos de menú y cuadros de diálogo. Las 'Dynamic properties' son parámetros de objetos que puedes cambiar en DeltaV Operate Run y funcionan basados principalmente en los cambios de los valores de la base de datos. (Por ejemplo, un tanque puede cambiar de color a medida que se llena, es decir, El cambio de color es un indicador de que el tanque se esta llenado.)

Para crear un Datalinks se pondrá un ejemplo como los siguientes:

- Mostrar el valor actual de nivel de un depósito (ejemplo de referencia de un parámetro: LI-101/AI/PV)
- Mostrar el valor actual de una variable de proceso de un PID (ejemplo de referencia de un parámetro: FIC-101/PID1/PV)
- Permitir modificar un 'SP' de un control PID (ejemplo de referencia de un parámetro: FIC-101/PID1/SP)
- Mostrar la salida del PID.
- Permitir a un operador poner en marcha o parar una bomba (ejemplo de referencia de un parámetro: MTR-101/DC1/SP\_D)

Ahora se explicara como crear estos datalinks e incorporarlos en el área de trabajo.

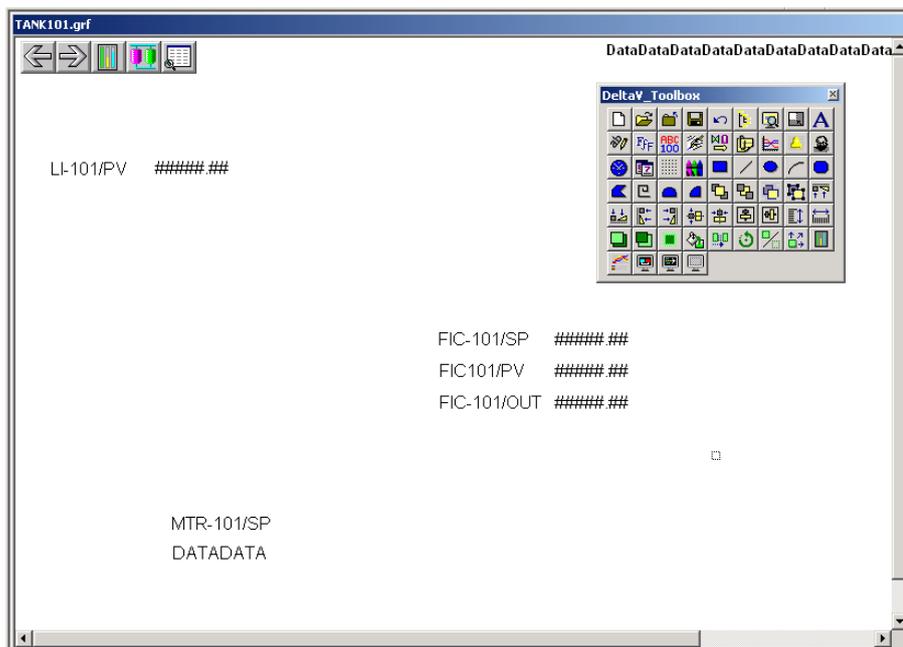


Figura 5.17: Datalinks añadidos en el área de trabajo

- Para crear un datalink para el **nivel de un tanque** hay que seguir estos pasos:
  1. Hacer clic en 'Datalink Stamper button' en la caja de herramientas.
  2. Hacer clic en los puntos suspensivos para proceder a la búsqueda del parámetro de referencia.
  3. Seleccionar 'Browse DeltaV Control Parameters' para abrir el cuadro de búsqueda. Figura 5.18.
  4. En nuestro caso el módulo a clicar es LI-101, donde se encuentra la entrada analógica correspondiente con el nivel del depósito.
  5. Seleccionar la entrada analógica AI1.
  6. Buscar el parámetro 'PV'.
  7. Clic en 'CV' (current value) y hacer clic en 'OK'.
  8. Clic 'OK' en todas las pestañas para terminar.
  
- Para crear un Datalink para establecer un **SP** en un PID el proceso es el mismo:

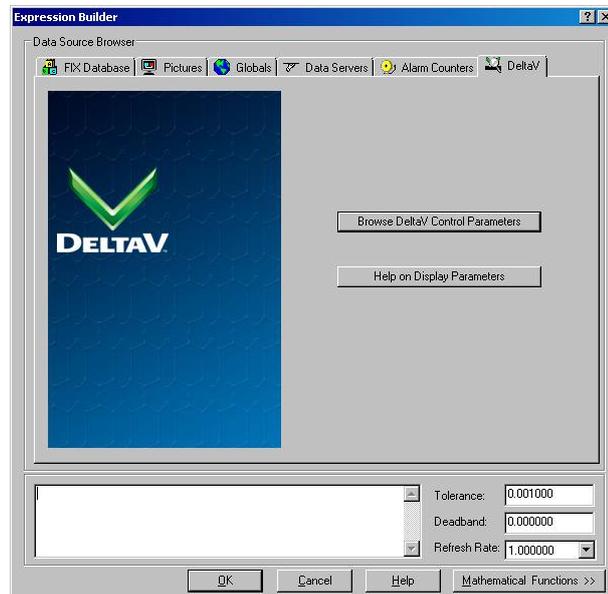


Figura 5.18: Buscar el parámetro de referencia

1. Hacer clic en 'Datalink Stamper button' en la caja de herramientas.
  2. Buscar el parámetro con referencia FIC-101/PID/SP.
  3. Seleccionar 'In-Place' en 'Data Entry Type' para permitir al operador cambiar el valor del SP. Figura 5.19.
  4. Clic 'OK'.
  5. Poner el Datalink en cualquier lugar del área de trabajo.
  6. Usar el botón de texto (Text button) para poner su identificación (FIC-101/SP).
- Crear un datalink para la variable de proceso (**PV**) de un PID:
    1. Hacer clic en 'Datalink Stamper button' en la caja de herramientas.
    2. Introducir el parámetro de referencia FIC-101/PID1/PV.F\_CV.
    3. Establecer 'Formatting Type' como 'Numeric' y hacer clic en 'OK'.
    4. Poner este datalink debajo del datalink del SP.
    5. Usar el botón de texto (Text button) para poner su identificación (FIC-101/SP).

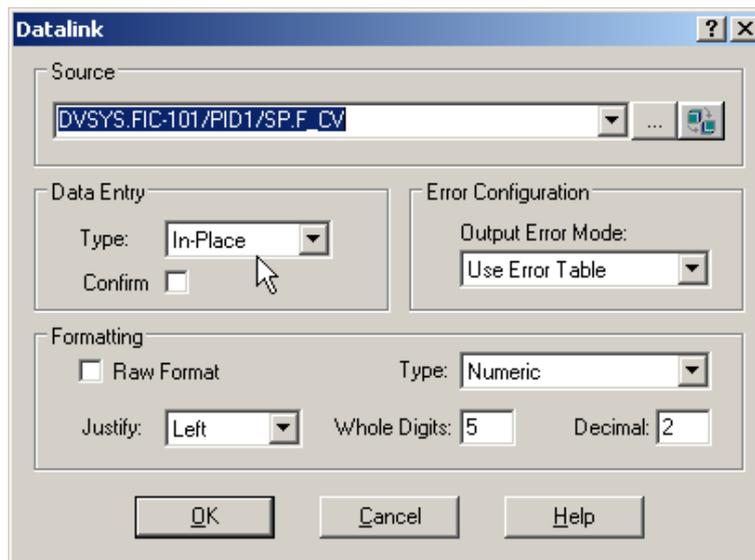


Figura 5.19: Con figuración del Datalink

- Crear un Datalink para la salida del PID:
  1. Hacer clic en 'Datalink Stamper button' en la caja de herramientas.
  2. Introducir el parámetro de referencia FIC-101/PID1/OUT.F\_CV.
  3. Seleccionar 'In-Place' y establecer el formato 'Numeric'. Hacer clic en 'OK'.
  4. Seleccionar el datalink y hacer clic en el botón 'DeltaV Data Entry Expert' de la caja de herramientas.
  5. Asegúrese de que la entrada numérica está seleccionada y haga clic en 'Fetch Limits' en 'Data Source'.
  6. Hacer clic en 'OK'.
  7. Poner el datalink bajo el datalink 'PV'.
  8. Usar el botón de texto (Text button) para poner su identificación (FIC-101/OUT).
  
- Crear un datalink para el 'SP' de un motor:
  1. Hacer clic en 'Datalink Stamper button' en la caja de herramientas.
  2. Poner el parámetro de referencia: MTR-101/DC1/SP\_D.A\_CV.

3. En el cuadro de diálogo Datalink, seleccionar None en la sección Type y haga clic en 'OK' para permitir que la aplicación configure los campos restantes en el diálogo.
4. Hacer clic con el ratón para colocar el nuevo datalink en el cuadrante inferior izquierdo.
5. Seleccionar el datalink y hacer clic en el botón 'Data Entry Expert' en la caja de herramientas.
6. Hacer clic en 'Pushbutton' en la sección 'Entry Method'.
7. Escriba PARO en el campo 'Open Button Title' (0).
8. Escriba MARCHA en el campo 'Close Button Title' (1). Figura 5.20.

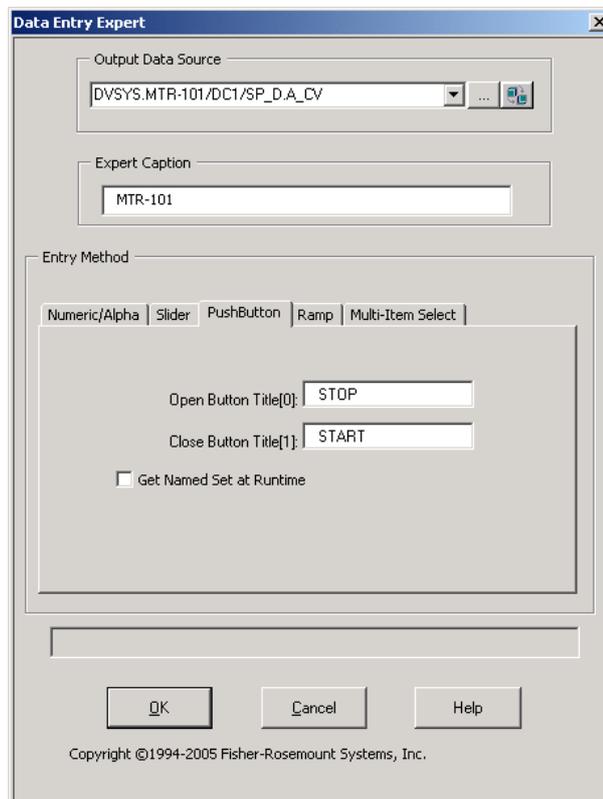


Figura 5.20: Data Entry Expert

**NOTA:** Este método de introducción de datos le permite crear un pulsador MARCHA/PARO para los operadores. Al hacer clic en el enlace de datos en la imagen, el operador puede iniciar y detener el motor de la bomba.

9. Hacer clic en 'OK'.
10. Reposicionar el nuevo enlace de datos, si es necesario, en el cuadrante inferior izquierdo.
11. Usar el botón de texto (Text button) para poner su identificación: MTR-101/SP.
12. Seleccionar Archivo/Cerrar y guardar.

### 5.2.2.3. Bombas, depósitos y válvulas

En esta sección se explicará como añadir dibujos que representan a los elementos de campo que vamos a incluir en la pantalla del operador. Estos elementos de alguna forma tendrán una función activa o pasiva, es decir, habrá elementos como depósitos que mediante una animación pueda verse el nivel actual, y elementos como bombas y electroválvulas que, aparte de funcionar automáticamente según los enclavamientos del sistema, se podrá actuar en ellos de forma manual.

#### ■ Creación de una bomba con una Dynamo.

1. En el árbol del sistema, expandir el conjunto de carpetas 'Dynamo' y hacer clic en 'PumpAnim'. Se abra una ventana con bombas en la pantalla.
2. En el árbol del sistema hay que escoger la bomba 'PumpsAnim-VertA1'.
3. Arrastrar la bomba al área de trabajo. Como es una bomba animada, saldrá una ventana preguntando si quieres una animación que cambie de color la bomba. Este cambio se producirá si ponemos en marcha o paramos la bomba. Figura 5.21.

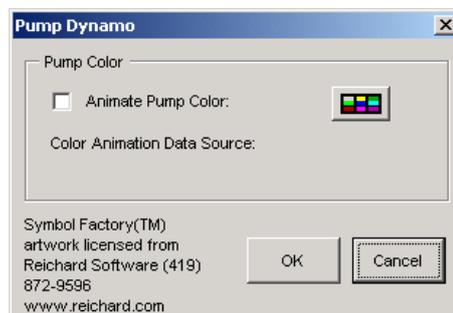


Figura 5.21: Cuadro de animación de la bomba

4. Selecciona la casilla de animación 'Animate Pump Color'
5. Busca el parámetro de referencia 'MTR-101/DC1/SP\_D/CV' como el Tag digital para la bomba.
6. Selecciona 'Exact Match'.
7. Hacer clic en el botón 'Delete Row' y elimina todas las filas menos dos.
8. Pon el el valor de la primera fila a '0.00', y selecciona el color rojo.
9. Pon el el valor de la segunda fila a '1.00', y selecciona el color verde. Figura 5.22.

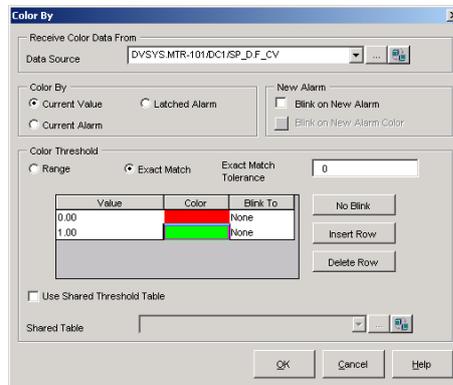


Figura 5.22: Configuración de la animación

10. Por último hacer clic en 'OK' en ambas ventanas. Coloca la bomba donde corresponda en la pantalla.

#### ■ Creación de depósito animado con una Dynamo.

1. En el árbol del sistema, cierra la carpeta 'PumpsAnim' haciendo clic derecho y seleccionando cerrar.
2. Hacer clic en el conjunto de 'TanksAnim1' para ver las dynamos.
3. Seleccionar y arrastrar el depósito 'TankWDoorD1' a el área de trabajo.
4. Busca el siguiente Tag para el nivel del depósito: LI-101/AI1/PV/CV
5. Selecciona 'Fetch Limits from Data Source'.
6. Hacer clic en 'OK'. El depósito aparecerá en la pantalla.
7. Cierra el conjunto de depósitos animados.

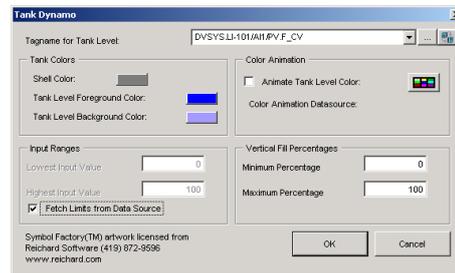


Figura 5.23: Cuadro de animación del depósito

#### ■ Creación de una electroválvula animada con una Dynamo.

1. Hacer clic en el conjunto de 'ValvesAnim' para ver las dynamos.
2. Seleccionar y arrastrar la electroválvula 'ValveHorizontalOnOff1' a el área de trabajo.
3. Busca el siguiente Tag para visualizar el estado de la electroválvula: XV-101/DC1/PV\_ D/CV
4. Al igual que con la animación de la bomba elimina todas las filas dejando solo dos, y selecciona el color rojo para el valor '0.00' y verde para el valor '1.00'.
5. Hacer clic en 'OK'. La electroválvula aparecerá en la pantalla.
6. Cierra el conjunto de válvulas animadas.

Con la información y los ejemplos que se han incluido en esta pequeña guía es suficiente para poder crear una pantalla 'HMI' decente para la planta piloto.

### 5.3. Puesta en marcha

Como trabajo final y después de haber realizado las fases anteriores solo queda poner en funcionamiento la planta. Aquí hay que establecer los set point de los actuadores que intervienen como los de temperatura y las bombas.

Para acceder a la pantalla del operador nos meteremos en 'DeltaV Operate Run' y nos saldrá por defecto la ventana principal del programa.

Para llegar desde ahí a nuestra pantalla, habrá que pinchar en el icono de la carpeta amarilla de la parte superior y buscar el archivo que ponga

## 142CAPÍTULO 5. COMISIONADO Y PUESTA EN MARCHA DE LA PLANTA

'Planta\_ Piloto' y automáticamente tendremos acceso a nuestra pantalla.

En la figura 5.24 se observa que todos los elementos que conforman la pantalla son visibles de inmediato ya que están compuestos de líneas e imágenes hechas con figuras simples. Podemos diferenciar también las dos líneas que la componen: la línea de calor y la de frío.

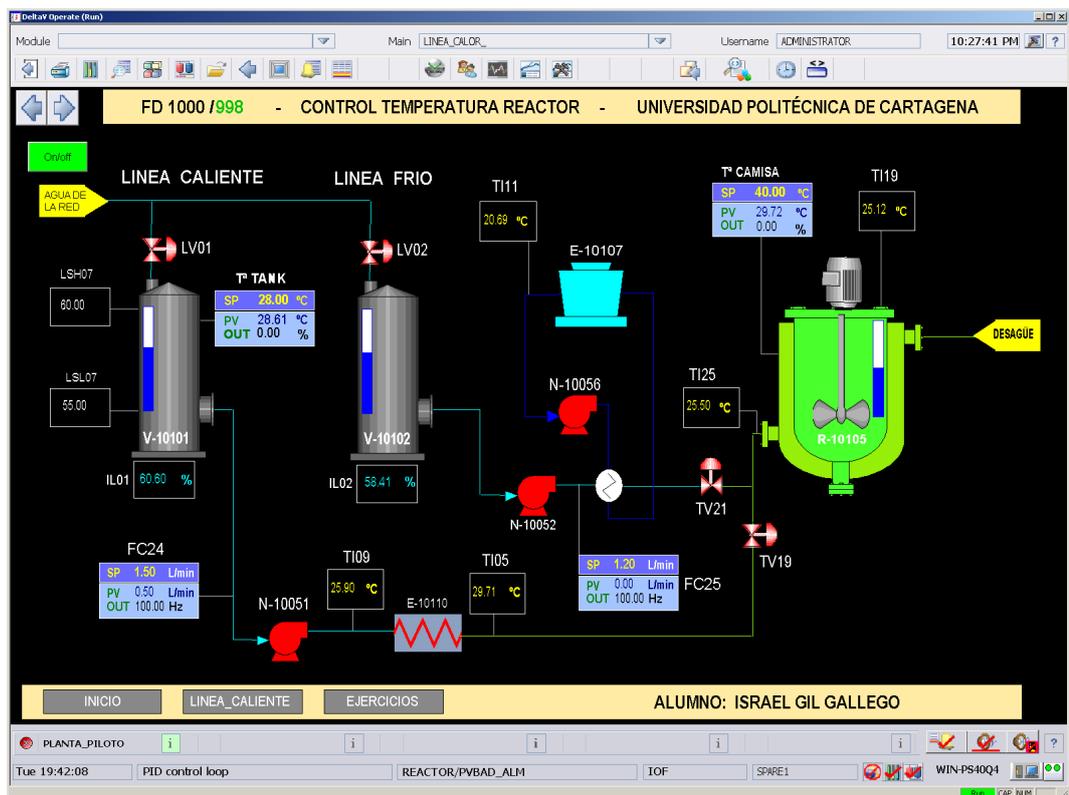


Figura 5.24: Pantalla del operador

Para la puesta en marcha se deben seleccionar todos los SP de accionamiento. Los de temperatura dependen directamente de que haya flujo o no de entrada, por lo que hasta que no circule el agua no subirá la temperatura. La bomba N-10056, es activada y se queda en permanente funcionamiento mientras el equipo de frío este en marcha.

Es necesario establecer un SP tanto para la temperatura que debe alcanzar el reactor, como para el caudal que impulsa la bomba hacia la camisa del reactor. Para poner en marcha la bomba en modo manual se puede pinchar so-

bre el dibujo de la misma y saldrá una ventana con la opción de marcha/paro.

Al activar la bomba, se abre la electroválvula de la línea de calor y el proceso comienza a ponerse en marcha, subiendo la temperatura y controlando que el nivel del tanque siempre quede en los límites establecidos. Se han animado las líneas, el reactor y la camisa, de modo que la temperatura generada hace que el color de todos estos elementos cambie. Pasa do un tiempo se puede ver en la imagen 5.25 como la temperatura ha cambiado el color de la camisa del reactor.

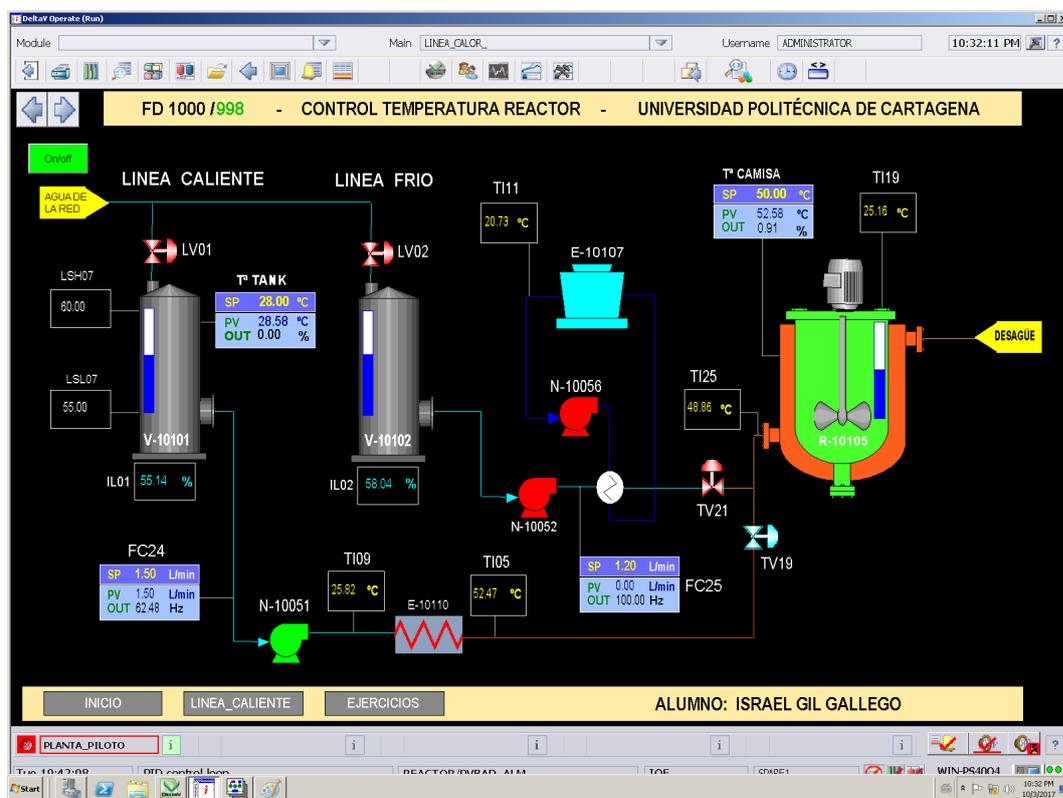


Figura 5.25: Línea caliente

Por otro lado se muestra la línea de frío que baja la temperatura de la camisa cerrando el circuito caliente y dejando pasar agua que ha sido enfriada en el intercambiador.

El proceso de activación de esta línea comienza cerrando la electroválvula de la línea caliente y se parando la bomba de la misma. Entonces se activa la bomba de la línea de frío, abriendo la electroválvula para dejar paso al agua

hasta la camisa del reactor.

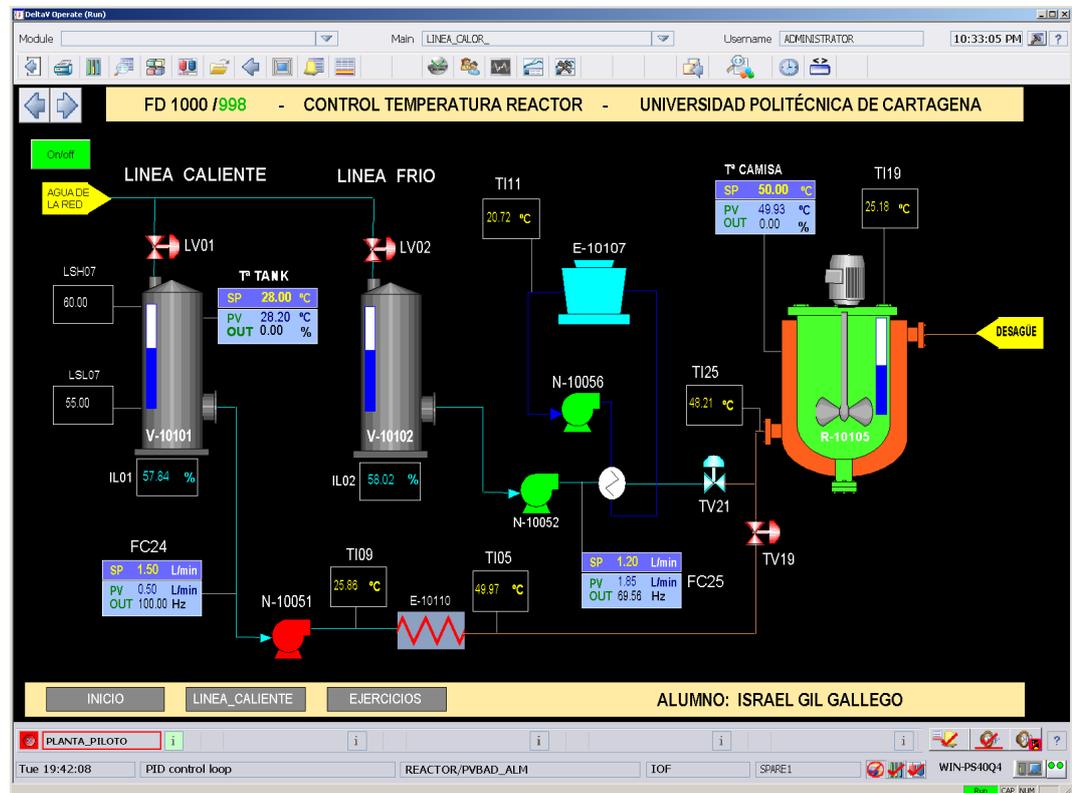


Figura 5.26: Línea de frío

### 5.3.1. Generación de recetas

Como algo de valor añadido se ha incluido un pequeño bloque 'SFC' permitiendo lanzar una recetas simples en la línea de calor. Las recetas se ejecutan de forma secuencial. Están compuestos por unos bloques de estados (donde en cada bloque se ejecuta una acción programada) y unas condiciones que permiten el cambio de estado cuando se cumplen las mismas.

La programación de los estados se realiza pinchando en uno de los estados y haciendo clic derecho en la barra inferior de control estudio donde aparecerá '+add'. Aquí podemos programar el estado mediante código como lo hemos hecho anteriormente. Figura 5.27.

Action	Text	Description	Type	Qualifier	Time
A1	//CONTROL_CAUDAL/PID_FT23/SP.CV' := 'SP_FLOW.CV';...	SET FLOW	Assignment	P Pulse	0.000...
A2	'START.CV' := 0;		Assignment	P Pulse	0.000...

Figura 5.27: Programando un estado

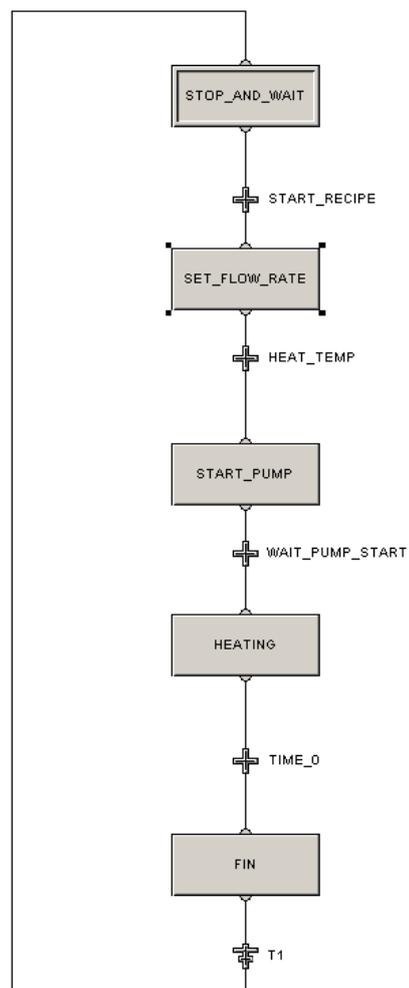


Figura 5.28: Diagrama de estados

El funcionamiento de la secuencia plasmada en la figura 5.28 es la siguiente:

1. En el primer estado no se hace nada, solo espera que el operador pulse el botón de lanzar la receta.
2. Una vez el operador ha pulsado dicho botón, se procede a pasar los Set Point de caudal y temperatura a los PID de los bloques de control.
3. En este estado 'START.PUMP' se activa la bomba de la línea caliente y se ajusta al valor de caudal introducido por el operador en la receta lanzada y se pone en marcha el calentador en línea. Para poder pasar al siguiente bloque la condición de transición espera que la temperatura de la camisa alcance la temperatura del Set Point.
4. El cuarto bloque es un bloque temporizado que mantiene las condiciones de operación (caudal y temperatura) durante un tiempo programado en el interior de dicho estado. Una vez cumplido este tiempo se pasa al último estado.
5. Este estado desactivará la bomba apagando el calentador en línea, pasando al estado inicial para esperar el lanzamiento de otra nueva receta.

Las condiciones se programan de forma similar. Simplemente hacemos clic derecho en ellas y le damos a propiedades. Aparecerá un cuadro de programación en la ventana que se nos abre donde pondremos las condiciones de transición apropiadas.

Los parámetros que se pueden programar en la pantalla de operador son la temperatura de la camisa del reactor y el caudal impulsado por la bomba.

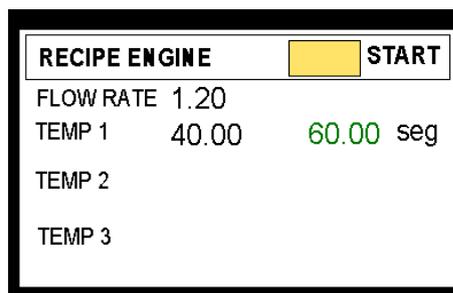


Figura 5.29: Receta pantalla de operador

En la figura 5.29 se aprecia la sencillez del bloque de recetas. Se visualiza el tiempo (en segundos) que será sometido el reactor a la primera temperatura, y también los set point para lanzar la receta. El botón de lanzamiento

de la receta se muestra en la parte superior de un color amarillento.

En este ejemplo solo se realiza un ciclo con un caudal y un set point de temperatura. Esto se hace a conciencia de forma que los alumnos que trabajen con la planta piloto puedan comprender de una forma más sencilla el funcionamiento de los bloques 'SFC' y puedan replicar, o incluso mejorar el trabajo que se ha realizado en este proyecto.

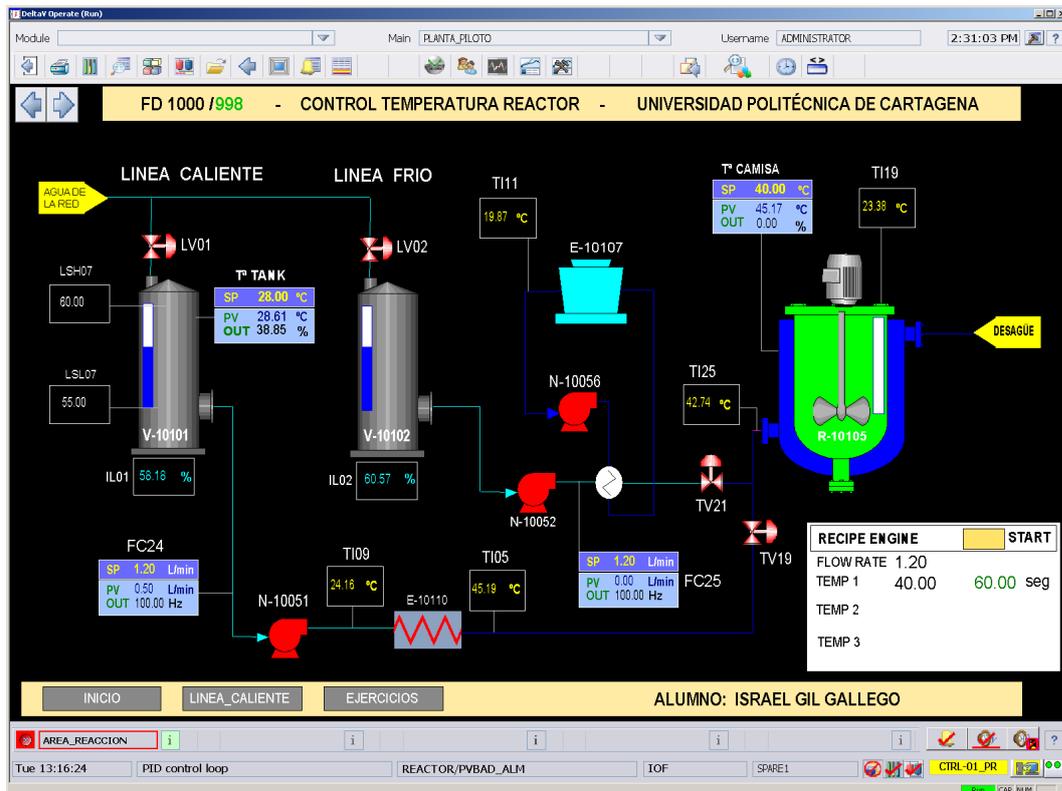


Figura 5.30: Pantalla operador con bloque de recetas



# Capítulo 6

## Conclusiones

Llegados a este punto y justo antes de dar por acabado el proyecto hay que evaluar si el trabajo realizado ha sido satisfactorio, analizando si cumple con los objetivos y pautas que se dejaron claramente marcadas en un principio.

- Se han realizado y puesto en funcionamiento los módulos y lazos de control que permiten el funcionamiento autónomo de los procesos encargados de controlar la temperatura de la camisa del reactor. Esto no solo ha permitido crear un proyecto completo sino que a resultado ser una gran fuente de aprendizaje en los ámbitos de control, calibración e instrumentación industrial.
- Se han puesto en marcha los dos caudalímetros de coriolis instalados en la planta piloto para poder incluirlos en el proceso de control.
- Se han creado procedimientos de calibración con el software DPC Track 2 y se han realizado las verificaciones de los instrumentos de la planta de la misma forma que se haría en cualquier gran industria, dejando constancia de las limitaciones que conlleva la calibración de ciertos instrumentos como los caudalímetros.
- Todos los instrumentos han sido revisados y comprobados basándonos en las características de su datasheet. Se ha creado en base a ello una hoja con las características más relevantes de cada uno de ellos a la hora de incluirlos en un proceso de control.
- Ha sido instalada la herramienta de control preventivo 'AMS Device Manager' con la que todos los instrumentos Hart han sido clasificados y configurados. Se han creado alarmas solo en los instrumentos que se han considerado como críticos permitiendo que solo salten alarmas de

interés de proceso en la pantalla de operación. Se han simulado errores para comprobar el funcionamiento de algunas de las alarmas creadas.

- Casi la totalidad de la metodología empleada en el proyecto se ha basado en el concepto '*Open Source*', lo que implica unos beneficios directos de la reducción considerable del presupuesto. Esto también se aplica al software, ya que en su totalidad sigue ésta metodología y puede accederse a su código fuente.
- Durante todo el proceso hasta llegar a la puesta en marcha se han encontrado algunos problemas mecánicos, errores de cableado y se han realizado algunos cambios en la planta.

El trabajo realizado durante el máster de sistemas electrónicos e instrumentación me ha aportado unos conocimientos imprescindibles para el desarrollo del proyecto siendo capaz de poner en práctica competencias como:

- Con el desarrollo de este proyecto se demuestra un conocimiento y comprensión de los conocimientos de sistemas de control, instrumentación industrial así como de calibración de procesos industriales.
- Identificar y obtener toda la información necesaria para su labor; realizar búsquedas bibliográficas; consultar de forma crítica bases de datos y otras fuentes; consultar y aplicar códigos y normativas de seguridad.
- Se demuestra la capacidad de resolución de problemas en entornos poco conocidos para los estudiantes como los sistemas de control DCS.
- He aprendido a aplicar criterios de selección de sistemas de instrumentación y control para la automatización y control de procesos industriales, así como aplicar las buenas prácticas de diseño y gestión de proyectos para la implementación de sistemas complejos para la automatización y control de procesos industriales.
- Diseñar e implementar interfaces complejas de operación HMI ha sido parte de nuestra tarea.
- Identificar las fuentes de error en instrumentos y medidas y cuantificar la bondad de los mismos en cuanto a precisión, resolución y repetitividad, seleccionando el principio de medida más apropiada.

Por último, se proponen algunas mejoras para que en un futuro puedan ser ejecutadas y así poder ampliar y mejorar de forma sustancial el trabajo que se ha realizado en este proyecto final de máster:

- Una clara mejora es la re-ubicación del transmisor de nivel del reactor, que está instalado donde debería estar la salida del producto final. En este proyecto se ha realizado un pequeño apañó temporal para poder descargar el producto y consta de la inclusión de una 'T' a la que se ha unido una válvula de mariposa que sirve para la descarga del reactor.
- Aislar térmicamente tanto las tuberías de la línea de frío como las de calor, así de igual modo la camisa del reactor, con fin de minimizar las pérdidas de energía producidas al ambiente.
- Mejora de los bloques de control incluyendo (faceplates en PID's y válvulas por ejemplo), sobretodo la creación de un bloque 'SFC' más completo.
- Instrumentar y automatizar con DeltaV la columna de destilación con el fin de crear un proceso químico completo.
- Incluir en el sistema de control la válvula regulable con conexión mediante bus de campo Fieldbus.
- Realizar un procedimiento de mantenimiento de los accionamientos como las bombas de la planta, el motor del agitador, el acople del agitador en el reactor, calentador de línea y las resistencias térmicas.



# Bibliografía

- [1] Ortiz Zaragoza, Francisco José. Apuntes de instrumentación electrónica. Universidad politécnica de Cartagena.
- [2] JoséJose Alfonso Vera Repullo. Apuntes de calibración.
- [3] Héctor Puyosa Piña. Sistemas de Control Distribuido y SCADA.
- [4] Katsuhiko Ogata. Ingeniería de control moderna. Edición 5. Pearson.
- [5] Trabajos finales de carrera de la Planta Piloto.
- [6] Efrain Israel Arroyo Alania. [Internet]. Procedimiento de pre-comisionado y comisionado [actualizado el 1 de octubre de 2015; acceso 13 de septiembre de 2017]. Disponible en: <https://documents.tips/documents/217-opo-pro-030-procedimiento-de-pre-comisionado-y-comisionado-rev1pdf.html>
- [7] Emerson, Revision 11, Educational Services. [Internet]. DeltaV Operate Implementation I. Disponible en: <http://www2.emersonprocess.com>
- [8] Emerson. [Internet].AMS Suite: Intelligent Device Manager with the DeltaV<sup>TM</sup> System. [actualizado el 25 de febrero de 2017; acceso el 5 de septiembre de 2017] Disponible en: [http://www2.emersonprocess.com/siteadmincenter/PM%20DeltaV%20Documents/ProductDataSheets/PDS\\_AMSDeltaVv11.pdf](http://www2.emersonprocess.com/siteadmincenter/PM%20DeltaV%20Documents/ProductDataSheets/PDS_AMSDeltaVv11.pdf)

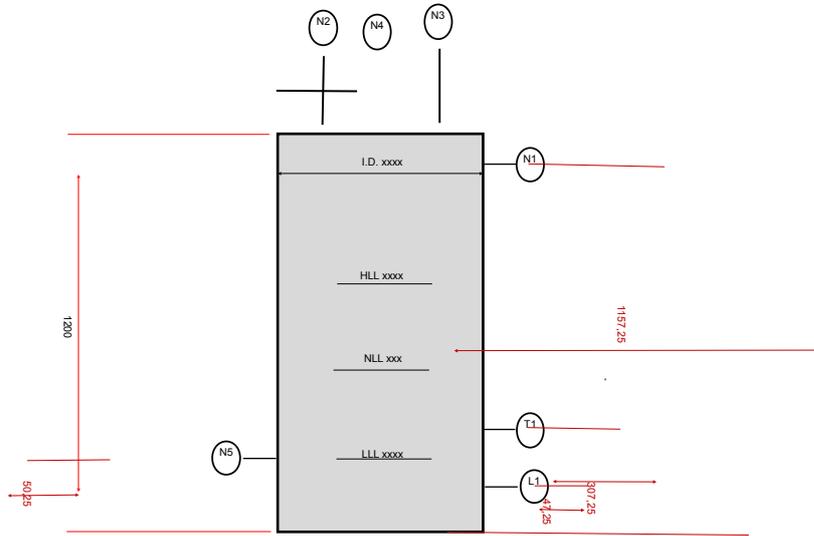


# Capítulo 7

## Anexos

## HOJA DE DATOS DE DEPÓSITOS

Client **UPCT** Item no. **V-10101**  
 Area **Unit name : Maqueta Dpto Automática** Location **Cartagena**



1	Service <b>Depósito de Agua Bruta</b>		Fluid <b>Water</b>	
2	Shell Dia. (I.D.)	Shell Dia. (I.D.) <b>324</b> mm	Shell Length (TL-TL)	<b>1200</b> mm
3		<b>PRESSURE</b>	<b>TEMPERATURE</b>	<b>NOZZLES</b>
4	Operating	bar g	°C	<b>Mark No.</b>
5	Design	bar g	°C	<b>Size In.</b>
6				<b>Qty.</b>
7		<b>MATERIAL</b>	<b>CORR. ALLOW.</b>	<b>Rating</b>
8	Shell		mm	<b>Facing</b>
9	Heads		mm	
10	Coil		mm	
11	Type of Heads			
12	Code			
13	Emergency Vacuum Design			
14	Liquid Ht.:	mm Sp.Gr.	<b>1.0</b> at <b>AMB</b> °C	
15	Insulation			
16	Stress Relieve for Process Reasons			
17	Min. design temperature °C			
18	Steam out conditions : barg @ °C			
19	Min. Elevation : BTL to Grade mm			
20	<b>MECHANICAL (MATERIALS)</b>			
21	Supports			
22	Skirt Length mm			
23	Saddles No.			
24	Lugs No.			
25				
26	Applicable code :			
27	Construction Inspection			
28	Stress Relieve Radiograph			
29	Insulation-Type:			
30	Thickness			
31				
32				
33				
34				
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA			ISSUE <b>1</b>	DATE <b>9-May-16</b>
			SHEET <b>2 OF 2</b>	<b>V-10101</b>
				<b>MAQUETA</b>
1	<b>Diseño</b>	<b>JJG</b>	<b>SC</b>	
ISSUE	DESCRIPTION	BY	CH'K'D	APP'D



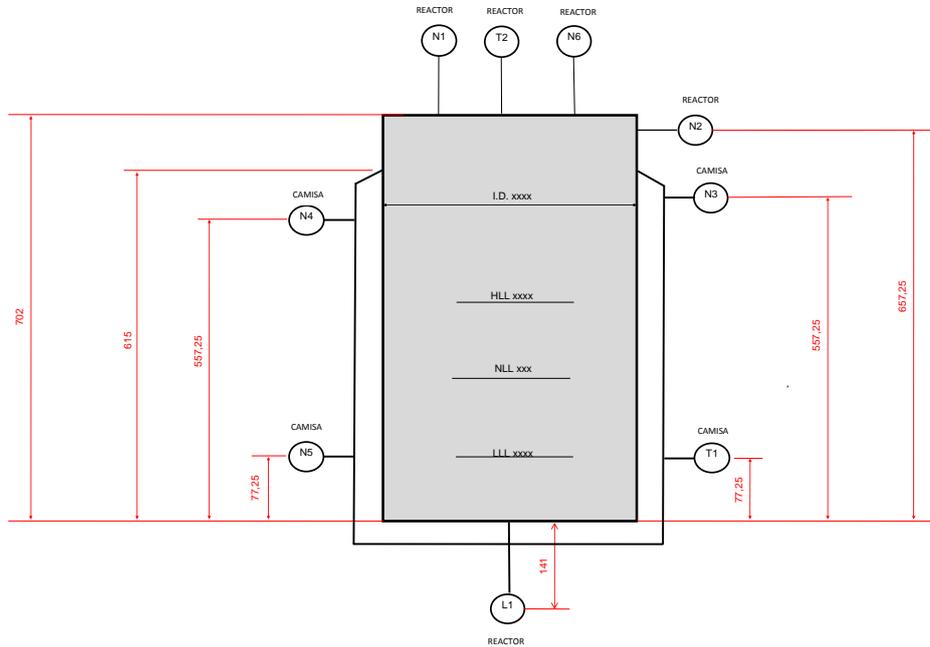
HOJA DE DATOS

REACTOR BATCH DE COMPUESTOS QUÍMICOS  
R-10105

JOB N°		UPCT (UNIVERSIDAD POLITECNICA DE CARTAGENA)				MAQUETA DEPARTAMENTO DE AUTOMATICA	
						CERTIFIED	DATE
						DP/PM	_____
						QAM	_____
						CLIENT	_____
1	3-May-16	Diseño	JJG	SC			
ISSUE	DATE	DESCRIPTION	BY	CH'K'D	APP'D	APP'D	
ID. NO. R-10105					SHEET 1 OF 2		

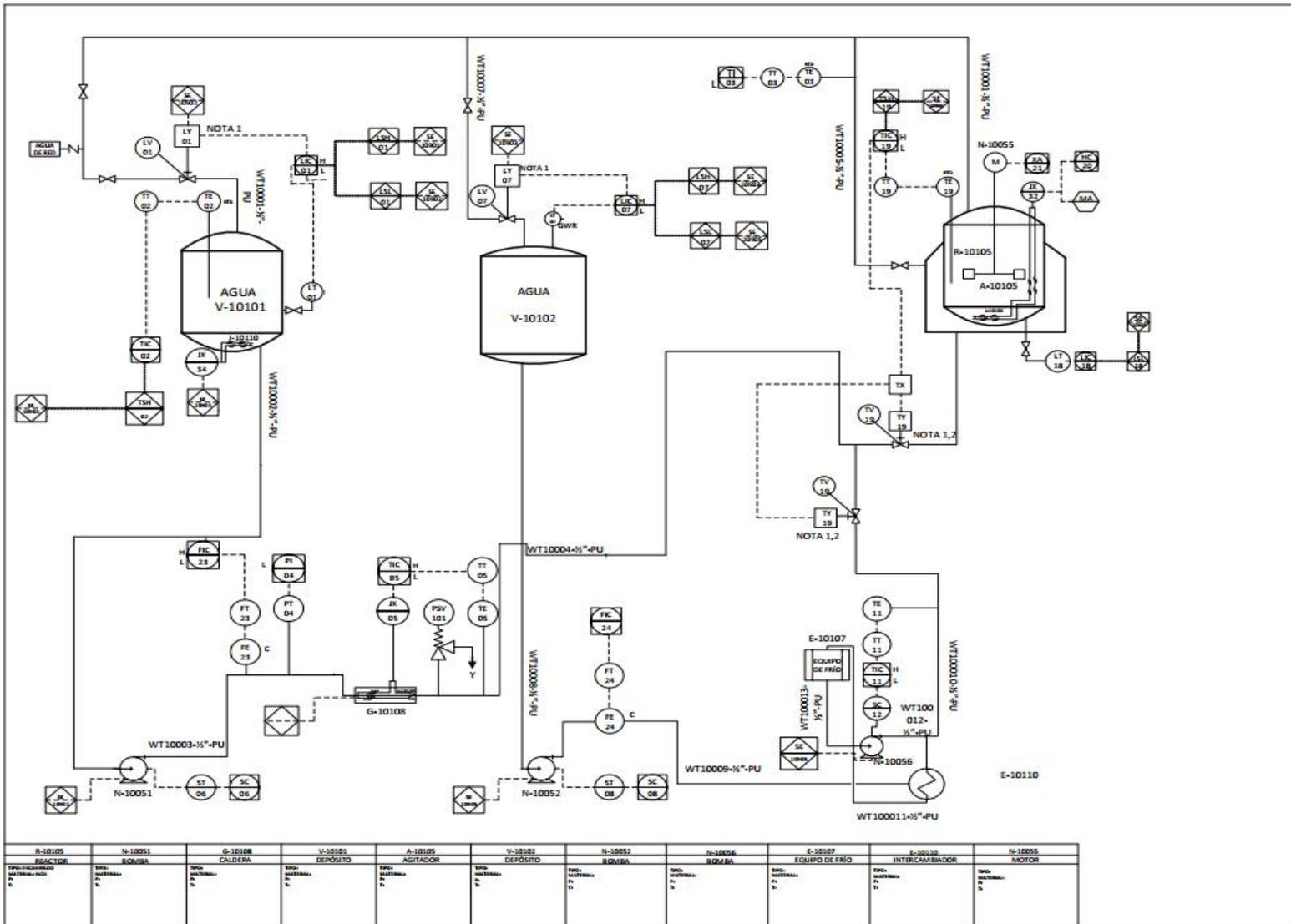
## HOJA DE DATOS DE REACTORES

**Client** UPCT **Item no.** R-10105  
**Area** Unit name : Maqueta Dpto Automática **Location** Cartagena



1	Service	Reactor Batch de compuestos químicos		Fluid	Water and chemical mixture					
2	Shell Dia. (I.D.)	524	mm	Shell Length (TL-TL)	702	mm	Number Required			
3		<b>PRESSURE</b>		<b>TEMPERATURE</b>	<b>NOZZLES</b>	<b>Mark No.</b>	<b>Size In.</b>	<b>Qty.</b>	<b>Rating</b>	<b>Facing</b>
4	Operating	bar g		°C	Reserva	N1		1		
5	Design	bar g		°C	Reserva	N2		1		
6					Reserva	N3		1		
7		MATERIAL		CORR. ALLOW.	Entrada de Agua	N4		1		
8	Shell			mm	Entrada de Agua	N5		1		
9	Heads			mm	Transmisor de Temperatura	T1		1		
10	Coil			mm	Transmisor de Temperatura	T2		1		
11	Type of Heads									
12	Code									
13	Emergency Vacuum Design				Transmisor de Nivel	L1		1		
14	Liquid Ht.	mm	Sp.Gr.	1.0	at	AMB	°C	Entrada de Agua	N6	1
15	Insulation									
16	Stress Relieve for Process Reasons									
17	Min. design temperature	°C								
18	Steam out conditions :	barq @ °C								
19	Min. Elevation : BTL to Grade	mm								
20	<b>MECHANICAL (MATERIALS)</b>									
21	Supports									
22	Skirt Length	mm								
23	Saddles No.									
24	Lugs No.									
25										
26	Applicable code									
27	Construction	Inspection								
28	Stress Relieve	Radiograph								
29	Insulation-Type:									
30	Thickness									
31										
32										
33										
34										

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA		ISSUE 1	DATE 9-May-16	SHEET 2 OF 2	R-10105
					MAQUETA
1	Diseño	JYG	SC		
ISSUE	DESCRIPTION	BY	CHK'D	APP'D	



ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	QUANTIDAD
R-10105	REACTOR		1
N-10051	BOMBA		1
G-10108	CALDERA		1
V-10101	DEPOSITO		1
A-10105	AGITADOR		1
V-10102	DEPOSITO		1
N-10052	BOMBA		1
N-10055	BOMBA		1
E-10107	EQUIPO DE FRIO		1
E-10110	INTERCAMBIADOR		1
N-10055	MOTOR		1

**GENERAL NOTES**

NOTA 1: ELECTRÓVALVULAS  
 NOTA 2: CONTROL COMPARTIDO LÍNEA AGUA FRÍA Y CALIENTE

---

ITEMS No. ON THIS DWG

R-10105 V-10102 N-10055  
 V-10101 N-10052  
 N-10051 N-10056  
 G-10108 E-10107  
 A-10105 E-10110

REV	PROB	DESCRIPCIÓN	BY	CHK	DATE
2		ISSUE FOR DESIGN			
1		ISSUE FOR APPROVAL			
0		ISSUE FOR REVIEW			

REVISIONS

SCALE: REPLACES

ENGINEERING FLOW DIAGRAM  
**LÍNEA DE AGUA CALIENTE Y AGUA FRÍA**

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA**



DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE SISTEMAS Y AUTOMÁTICA  
 B.P.: JIG  
 DATE:

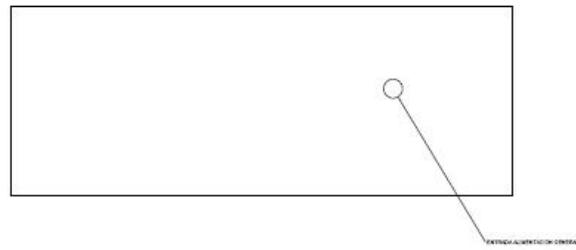
PROJ. NO.	REC. NO.	DISEÑO NO.	REV.

FD: 1000-007

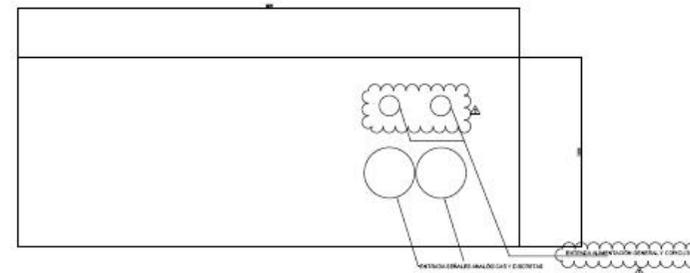
## **ANEXO II. ESQUEMAS UNIFILARES**



VISTA SUPERIOR

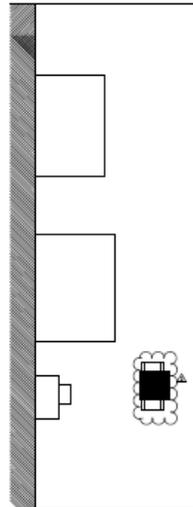


VISTA INFERIOR

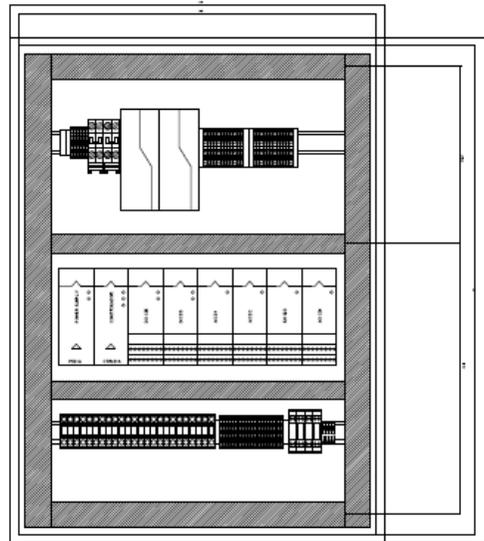


1	ARTIST	ESTRUC. POR ATROFIA	IND	00	00
1	ORIGEN	ESTRUC. POR ATROFIA	IND	00	00
2	ORIGEN	ESTRUC. POR ATROFIA	IND	00	00
APRO	IND	INDICADO	INDICADO	INDICADO	INDICADO
<p>UPCT</p>					
<p>DESARROLLO CONTROL DEL 100 PLANER</p>					
INDIC	IND	IND	SISTEMA DE ESTRELLACION EN		
INDIC	IND	IND	SISTEMA DE ESTRELLACION EN		
INDIC	IND	IND	IND	IND	IND
INDIC	IND	IND	IND	IND	IND
INDIC	IND	IND	IND	IND	IND

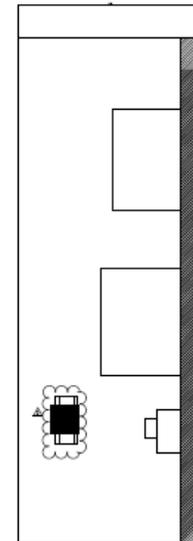
VISTA LATERAL IZQUIERDA



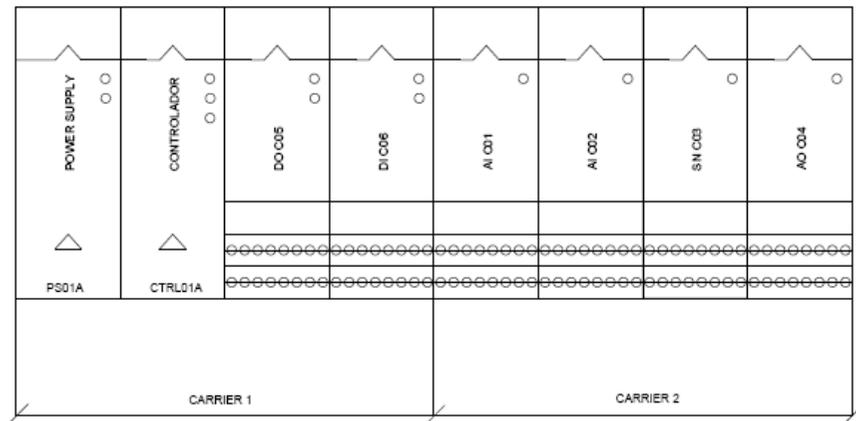
VISTA FRONTAL SIN PUERTA



VISTA LATERAL DERECHA



1	DESCRITO	ESTR. POR APPROX.	NO.	CD.
1	DESCRITO	ESTR. POR APPROX.	NO.	CD.
1	DESCRITO	ESTR. POR APPROX.	NO.	CD.
APR	INC.	TECNO	PROY	APR
<p>PROYECTO:</p> <p>UPCT</p> <p>CONTRATO:</p> <p>PROYECTO: DESARROLLO CONTROL DEL IVA PLANTA</p> <p>UNIDAD: INC. 2</p> <p>CAJAS DE CONTROL</p> <p>NO. 2</p> <p>PROY. 2</p> <p>PROY. 2</p>				

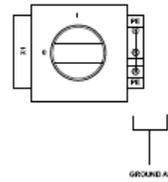


1	2023-10-10	REVISIÓN 01	REVISIÓN 01	REVISIÓN 01	REVISIÓN 01
2	2023-10-10	REVISIÓN 02	REVISIÓN 02	REVISIÓN 02	REVISIÓN 02
3	2023-10-10	REVISIÓN 03	REVISIÓN 03	REVISIÓN 03	REVISIÓN 03
4	2023-10-10	REVISIÓN 04	REVISIÓN 04	REVISIÓN 04	REVISIÓN 04
5	2023-10-10	REVISIÓN 05	REVISIÓN 05	REVISIÓN 05	REVISIÓN 05
6	2023-10-10	REVISIÓN 06	REVISIÓN 06	REVISIÓN 06	REVISIÓN 06
7	2023-10-10	REVISIÓN 07	REVISIÓN 07	REVISIÓN 07	REVISIÓN 07
8	2023-10-10	REVISIÓN 08	REVISIÓN 08	REVISIÓN 08	REVISIÓN 08
9	2023-10-10	REVISIÓN 09	REVISIÓN 09	REVISIÓN 09	REVISIÓN 09
10	2023-10-10	REVISIÓN 10	REVISIÓN 10	REVISIÓN 10	REVISIÓN 10

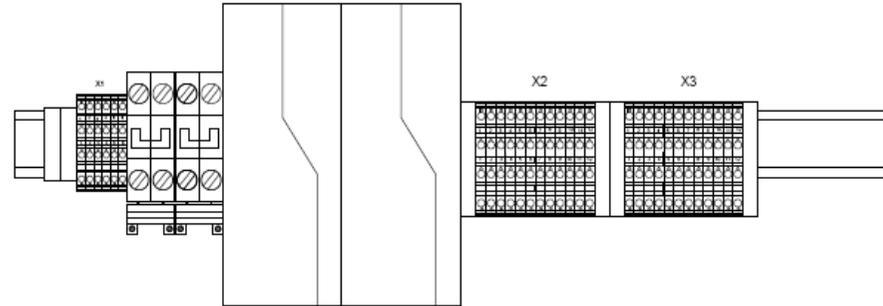
UPECT  
 DESARROLLO CONTROL DEL TAP PLANTA  
 PLANTA  
 ARCHITECTURA DEL TAP  
 3



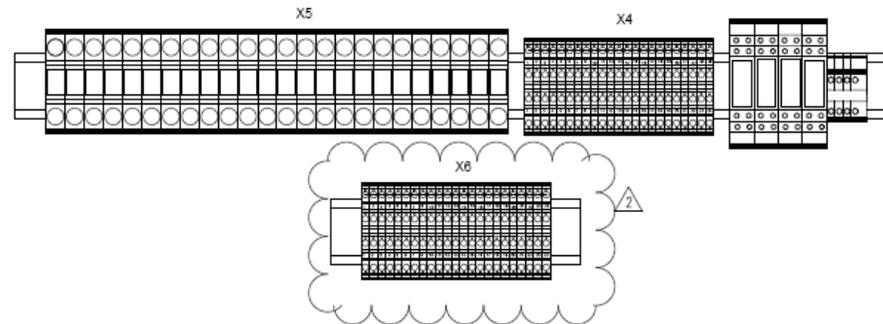
INTERRUPTOR GENERAL 230 Vac



MAGNETOTÉRMICOS Y FUENTES DE ALIMENTACIÓN 24Vdc



BORNEROS CON FUSIBLES, SECCIONABLES Y RELÉS

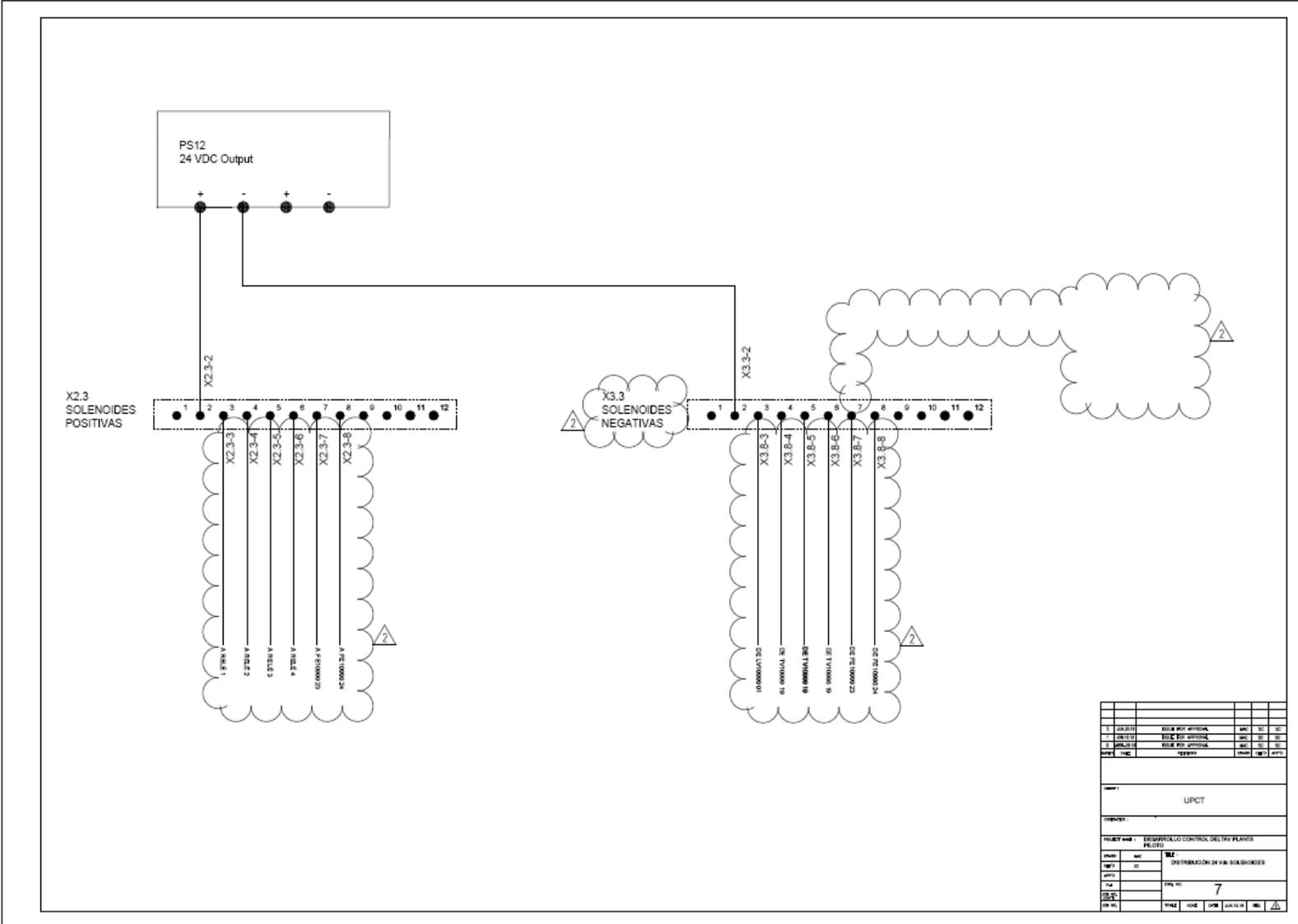


REF.	DESCRIPCIÓN	CANT.	UNID.	NOTAS
1	INTERRUPTOR GENERAL	1	PC	
2	RELÉ	1	PC	
3	TERMINAL BLOCK	1	PC	
4	TERMINAL BLOCK	1	PC	
5	TERMINAL BLOCK	1	PC	
6	TERMINAL BLOCK	1	PC	
7	TERMINAL BLOCK	1	PC	

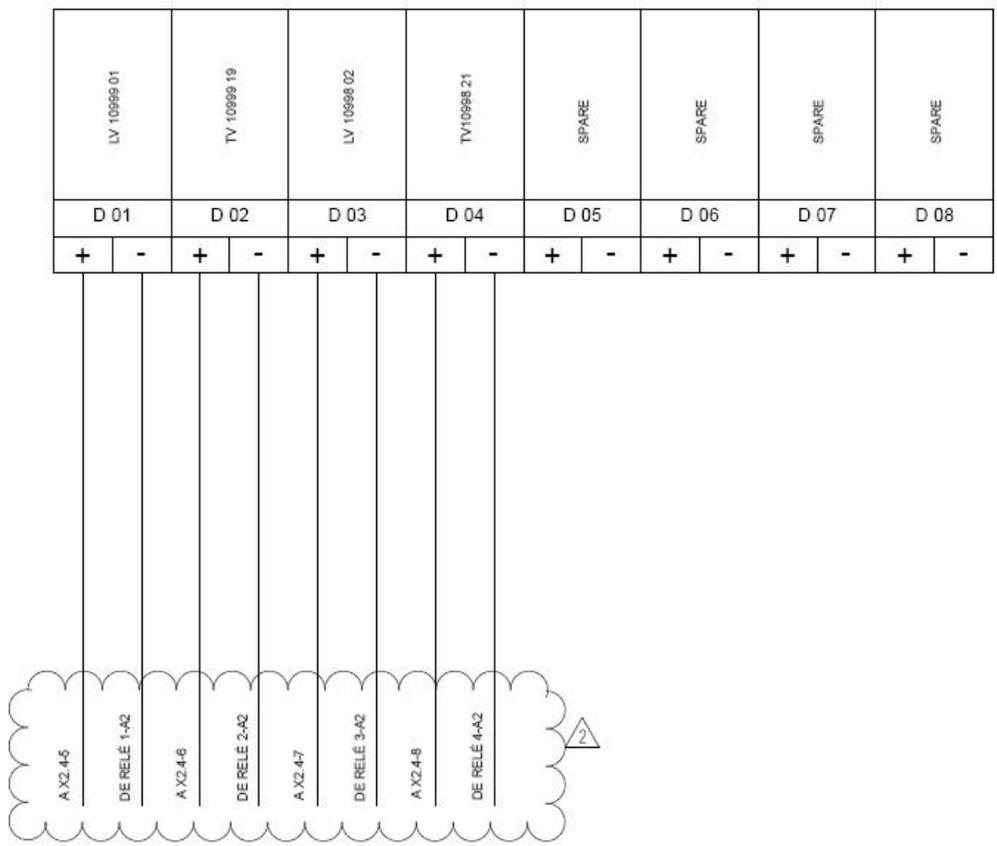
PLANTA N.º 5	
DESCRIPCIÓN: CONTROL DEL IVA PLANTA	
PELIGRO	
REF.	DESCRIPCIÓN
1	INTERRUPTOR GENERAL
2	RELÉ
3	TERMINAL BLOCK
4	TERMINAL BLOCK
5	TERMINAL BLOCK
6	TERMINAL BLOCK
7	TERMINAL BLOCK
8	TERMINAL BLOCK
9	TERMINAL BLOCK
10	TERMINAL BLOCK
11	TERMINAL BLOCK
12	TERMINAL BLOCK
13	TERMINAL BLOCK
14	TERMINAL BLOCK
15	TERMINAL BLOCK
16	TERMINAL BLOCK
17	TERMINAL BLOCK
18	TERMINAL BLOCK
19	TERMINAL BLOCK
20	TERMINAL BLOCK
21	TERMINAL BLOCK
22	TERMINAL BLOCK
23	TERMINAL BLOCK
24	TERMINAL BLOCK
25	TERMINAL BLOCK
26	TERMINAL BLOCK
27	TERMINAL BLOCK
28	TERMINAL BLOCK
29	TERMINAL BLOCK
30	TERMINAL BLOCK
31	TERMINAL BLOCK
32	TERMINAL BLOCK
33	TERMINAL BLOCK
34	TERMINAL BLOCK
35	TERMINAL BLOCK
36	TERMINAL BLOCK
37	TERMINAL BLOCK
38	TERMINAL BLOCK
39	TERMINAL BLOCK
40	TERMINAL BLOCK
41	TERMINAL BLOCK
42	TERMINAL BLOCK
43	TERMINAL BLOCK
44	TERMINAL BLOCK
45	TERMINAL BLOCK
46	TERMINAL BLOCK
47	TERMINAL BLOCK
48	TERMINAL BLOCK
49	TERMINAL BLOCK
50	TERMINAL BLOCK
51	TERMINAL BLOCK
52	TERMINAL BLOCK
53	TERMINAL BLOCK
54	TERMINAL BLOCK
55	TERMINAL BLOCK
56	TERMINAL BLOCK
57	TERMINAL BLOCK
58	TERMINAL BLOCK
59	TERMINAL BLOCK
60	TERMINAL BLOCK
61	TERMINAL BLOCK
62	TERMINAL BLOCK
63	TERMINAL BLOCK
64	TERMINAL BLOCK
65	TERMINAL BLOCK
66	TERMINAL BLOCK
67	TERMINAL BLOCK
68	TERMINAL BLOCK
69	TERMINAL BLOCK
70	TERMINAL BLOCK
71	TERMINAL BLOCK
72	TERMINAL BLOCK
73	TERMINAL BLOCK
74	TERMINAL BLOCK
75	TERMINAL BLOCK
76	TERMINAL BLOCK
77	TERMINAL BLOCK
78	TERMINAL BLOCK
79	TERMINAL BLOCK
80	TERMINAL BLOCK
81	TERMINAL BLOCK
82	TERMINAL BLOCK
83	TERMINAL BLOCK
84	TERMINAL BLOCK
85	TERMINAL BLOCK
86	TERMINAL BLOCK
87	TERMINAL BLOCK
88	TERMINAL BLOCK
89	TERMINAL BLOCK
90	TERMINAL BLOCK
91	TERMINAL BLOCK
92	TERMINAL BLOCK
93	TERMINAL BLOCK
94	TERMINAL BLOCK
95	TERMINAL BLOCK
96	TERMINAL BLOCK
97	TERMINAL BLOCK
98	TERMINAL BLOCK
99	TERMINAL BLOCK
100	TERMINAL BLOCK





1	02.000001.02	SOLENOIDE POSITIVA	AMP	DC	24
2	01.000001.01	SOLENOIDE POSITIVA	AMP	DC	24
3	01.000001.02	SOLENOIDE POSITIVA	AMP	DC	24
4	02.000001.01	SOLENOIDE POSITIVA	AMP	DC	24
5	01.000001.03	SOLENOIDE POSITIVA	AMP	DC	24
6	01.000001.04	SOLENOIDE POSITIVA	AMP	DC	24
7	01.000001.05	SOLENOIDE POSITIVA	AMP	DC	24
8	01.000001.06	SOLENOIDE POSITIVA	AMP	DC	24
9	01.000001.07	SOLENOIDE POSITIVA	AMP	DC	24
10	01.000001.08	SOLENOIDE POSITIVA	AMP	DC	24
11	01.000001.09	SOLENOIDE POSITIVA	AMP	DC	24
12	01.000001.10	SOLENOIDE POSITIVA	AMP	DC	24

PROJECT: UPCT  
 COMPANY:   
 PROJECT NAME: DESARROLLO CONTROL DEL IVA PLANO PL.010  
 SHEET NO: 7  
 DISTRIBUCIÓN DE VIVAS SOLENOIDES  
 DRAWN BY:   
 CHECKED BY:   
 APPROVED BY:   
 DATE:   
 SCALE:   
 SHEET NO: 7

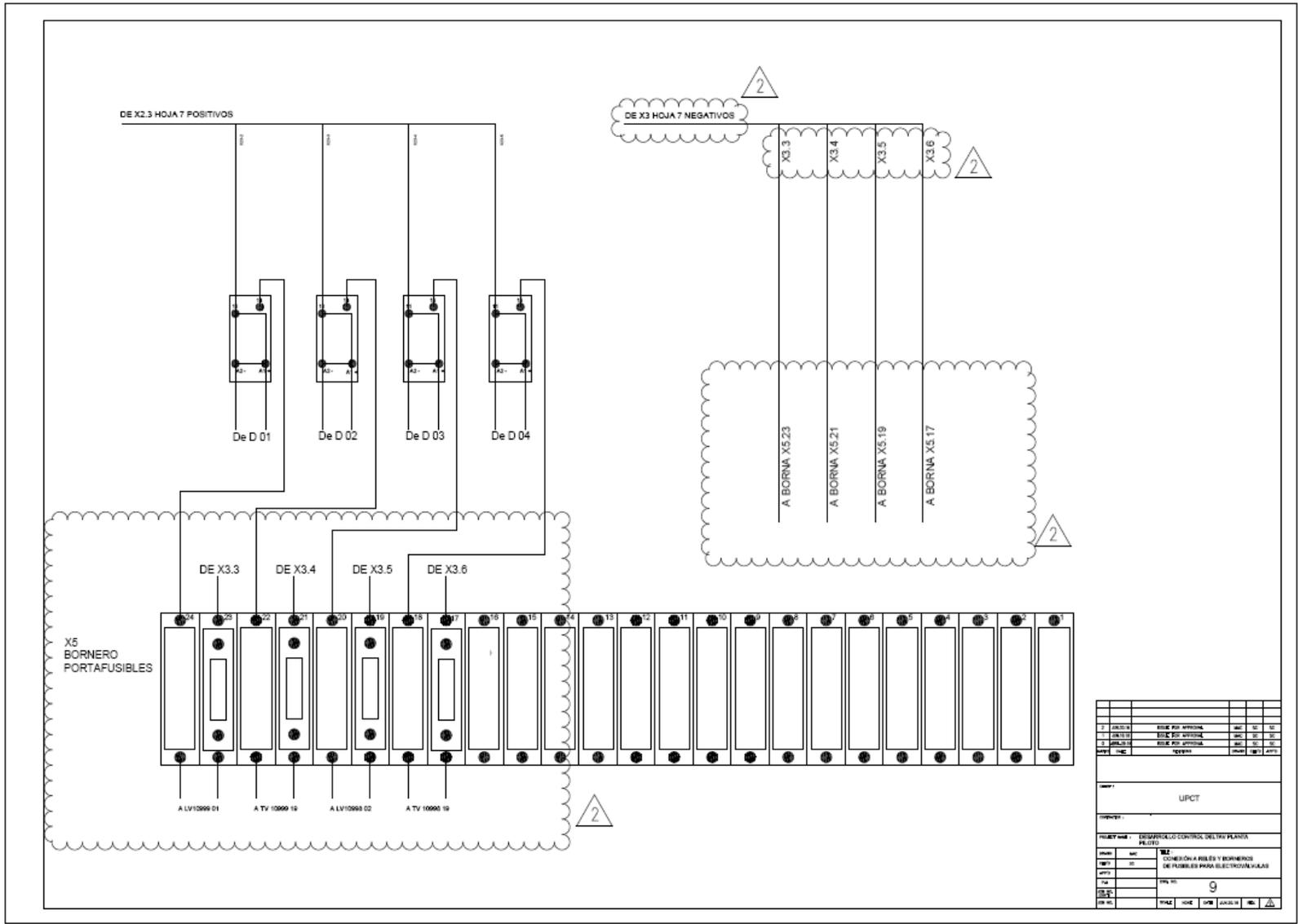


1	RELÉ 1	RELÉ 1	RELÉ 1	RELÉ 1
2	RELÉ 2	RELÉ 2	RELÉ 2	RELÉ 2
3	RELÉ 3	RELÉ 3	RELÉ 3	RELÉ 3
4	RELÉ 4	RELÉ 4	RELÉ 4	RELÉ 4
5	RELÉ 5	RELÉ 5	RELÉ 5	RELÉ 5
6	RELÉ 6	RELÉ 6	RELÉ 6	RELÉ 6
7	RELÉ 7	RELÉ 7	RELÉ 7	RELÉ 7
8	RELÉ 8	RELÉ 8	RELÉ 8	RELÉ 8
9	RELÉ 9	RELÉ 9	RELÉ 9	RELÉ 9
10	RELÉ 10	RELÉ 10	RELÉ 10	RELÉ 10
11	RELÉ 11	RELÉ 11	RELÉ 11	RELÉ 11
12	RELÉ 12	RELÉ 12	RELÉ 12	RELÉ 12
13	RELÉ 13	RELÉ 13	RELÉ 13	RELÉ 13
14	RELÉ 14	RELÉ 14	RELÉ 14	RELÉ 14
15	RELÉ 15	RELÉ 15	RELÉ 15	RELÉ 15
16	RELÉ 16	RELÉ 16	RELÉ 16	RELÉ 16
17	RELÉ 17	RELÉ 17	RELÉ 17	RELÉ 17
18	RELÉ 18	RELÉ 18	RELÉ 18	RELÉ 18
19	RELÉ 19	RELÉ 19	RELÉ 19	RELÉ 19
20	RELÉ 20	RELÉ 20	RELÉ 20	RELÉ 20
21	RELÉ 21	RELÉ 21	RELÉ 21	RELÉ 21
22	RELÉ 22	RELÉ 22	RELÉ 22	RELÉ 22
23	RELÉ 23	RELÉ 23	RELÉ 23	RELÉ 23
24	RELÉ 24	RELÉ 24	RELÉ 24	RELÉ 24
25	RELÉ 25	RELÉ 25	RELÉ 25	RELÉ 25
26	RELÉ 26	RELÉ 26	RELÉ 26	RELÉ 26
27	RELÉ 27	RELÉ 27	RELÉ 27	RELÉ 27
28	RELÉ 28	RELÉ 28	RELÉ 28	RELÉ 28
29	RELÉ 29	RELÉ 29	RELÉ 29	RELÉ 29
30	RELÉ 30	RELÉ 30	RELÉ 30	RELÉ 30
31	RELÉ 31	RELÉ 31	RELÉ 31	RELÉ 31
32	RELÉ 32	RELÉ 32	RELÉ 32	RELÉ 32
33	RELÉ 33	RELÉ 33	RELÉ 33	RELÉ 33
34	RELÉ 34	RELÉ 34	RELÉ 34	RELÉ 34
35	RELÉ 35	RELÉ 35	RELÉ 35	RELÉ 35
36	RELÉ 36	RELÉ 36	RELÉ 36	RELÉ 36
37	RELÉ 37	RELÉ 37	RELÉ 37	RELÉ 37
38	RELÉ 38	RELÉ 38	RELÉ 38	RELÉ 38
39	RELÉ 39	RELÉ 39	RELÉ 39	RELÉ 39
40	RELÉ 40	RELÉ 40	RELÉ 40	RELÉ 40
41	RELÉ 41	RELÉ 41	RELÉ 41	RELÉ 41
42	RELÉ 42	RELÉ 42	RELÉ 42	RELÉ 42
43	RELÉ 43	RELÉ 43	RELÉ 43	RELÉ 43
44	RELÉ 44	RELÉ 44	RELÉ 44	RELÉ 44
45	RELÉ 45	RELÉ 45	RELÉ 45	RELÉ 45
46	RELÉ 46	RELÉ 46	RELÉ 46	RELÉ 46
47	RELÉ 47	RELÉ 47	RELÉ 47	RELÉ 47
48	RELÉ 48	RELÉ 48	RELÉ 48	RELÉ 48
49	RELÉ 49	RELÉ 49	RELÉ 49	RELÉ 49
50	RELÉ 50	RELÉ 50	RELÉ 50	RELÉ 50
51	RELÉ 51	RELÉ 51	RELÉ 51	RELÉ 51
52	RELÉ 52	RELÉ 52	RELÉ 52	RELÉ 52
53	RELÉ 53	RELÉ 53	RELÉ 53	RELÉ 53
54	RELÉ 54	RELÉ 54	RELÉ 54	RELÉ 54
55	RELÉ 55	RELÉ 55	RELÉ 55	RELÉ 55
56	RELÉ 56	RELÉ 56	RELÉ 56	RELÉ 56
57	RELÉ 57	RELÉ 57	RELÉ 57	RELÉ 57
58	RELÉ 58	RELÉ 58	RELÉ 58	RELÉ 58
59	RELÉ 59	RELÉ 59	RELÉ 59	RELÉ 59
60	RELÉ 60	RELÉ 60	RELÉ 60	RELÉ 60
61	RELÉ 61	RELÉ 61	RELÉ 61	RELÉ 61
62	RELÉ 62	RELÉ 62	RELÉ 62	RELÉ 62
63	RELÉ 63	RELÉ 63	RELÉ 63	RELÉ 63
64	RELÉ 64	RELÉ 64	RELÉ 64	RELÉ 64
65	RELÉ 65	RELÉ 65	RELÉ 65	RELÉ 65
66	RELÉ 66	RELÉ 66	RELÉ 66	RELÉ 66
67	RELÉ 67	RELÉ 67	RELÉ 67	RELÉ 67
68	RELÉ 68	RELÉ 68	RELÉ 68	RELÉ 68
69	RELÉ 69	RELÉ 69	RELÉ 69	RELÉ 69
70	RELÉ 70	RELÉ 70	RELÉ 70	RELÉ 70
71	RELÉ 71	RELÉ 71	RELÉ 71	RELÉ 71
72	RELÉ 72	RELÉ 72	RELÉ 72	RELÉ 72
73	RELÉ 73	RELÉ 73	RELÉ 73	RELÉ 73
74	RELÉ 74	RELÉ 74	RELÉ 74	RELÉ 74
75	RELÉ 75	RELÉ 75	RELÉ 75	RELÉ 75
76	RELÉ 76	RELÉ 76	RELÉ 76	RELÉ 76
77	RELÉ 77	RELÉ 77	RELÉ 77	RELÉ 77
78	RELÉ 78	RELÉ 78	RELÉ 78	RELÉ 78
79	RELÉ 79	RELÉ 79	RELÉ 79	RELÉ 79
80	RELÉ 80	RELÉ 80	RELÉ 80	RELÉ 80
81	RELÉ 81	RELÉ 81	RELÉ 81	RELÉ 81
82	RELÉ 82	RELÉ 82	RELÉ 82	RELÉ 82
83	RELÉ 83	RELÉ 83	RELÉ 83	RELÉ 83
84	RELÉ 84	RELÉ 84	RELÉ 84	RELÉ 84
85	RELÉ 85	RELÉ 85	RELÉ 85	RELÉ 85
86	RELÉ 86	RELÉ 86	RELÉ 86	RELÉ 86
87	RELÉ 87	RELÉ 87	RELÉ 87	RELÉ 87
88	RELÉ 88	RELÉ 88	RELÉ 88	RELÉ 88
89	RELÉ 89	RELÉ 89	RELÉ 89	RELÉ 89
90	RELÉ 90	RELÉ 90	RELÉ 90	RELÉ 90
91	RELÉ 91	RELÉ 91	RELÉ 91	RELÉ 91
92	RELÉ 92	RELÉ 92	RELÉ 92	RELÉ 92
93	RELÉ 93	RELÉ 93	RELÉ 93	RELÉ 93
94	RELÉ 94	RELÉ 94	RELÉ 94	RELÉ 94
95	RELÉ 95	RELÉ 95	RELÉ 95	RELÉ 95
96	RELÉ 96	RELÉ 96	RELÉ 96	RELÉ 96
97	RELÉ 97	RELÉ 97	RELÉ 97	RELÉ 97
98	RELÉ 98	RELÉ 98	RELÉ 98	RELÉ 98
99	RELÉ 99	RELÉ 99	RELÉ 99	RELÉ 99
100	RELÉ 100	RELÉ 100	RELÉ 100	RELÉ 100

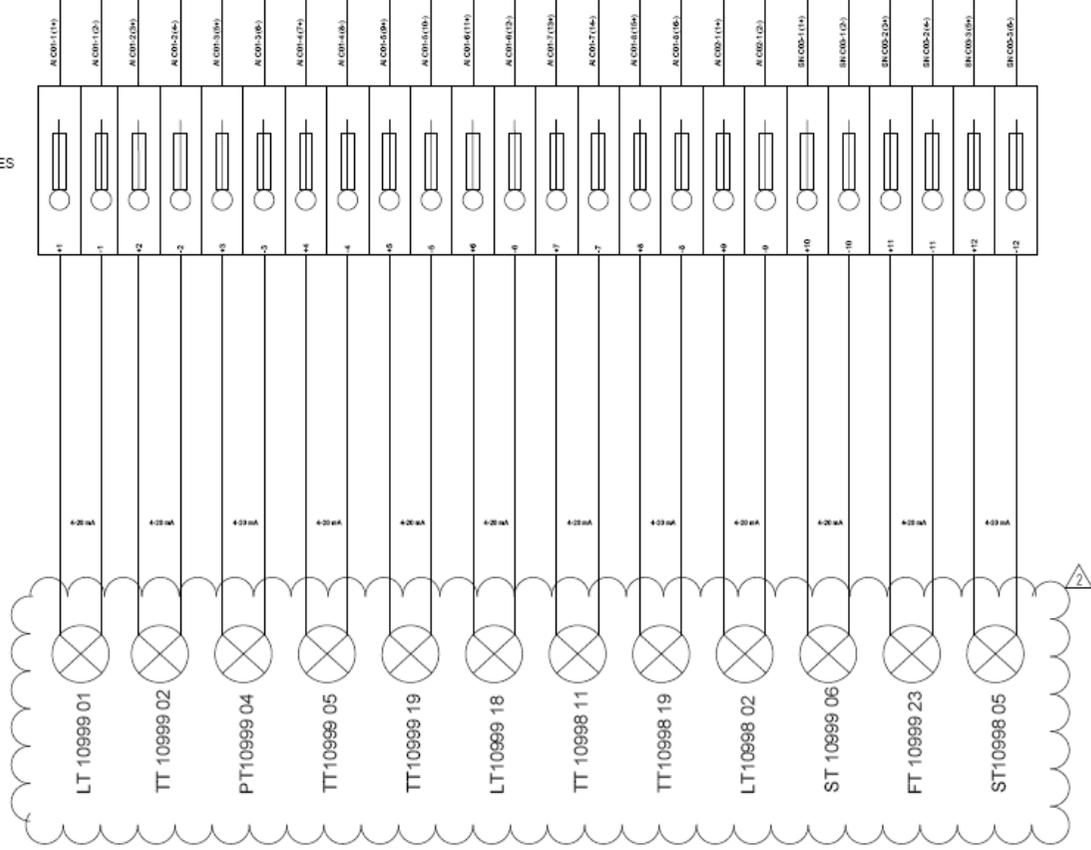
UPCT

DESARROLLO TÉCNICO DEL TABLERO DE CONTROL

8



X4  
BORNERO CON  
SECCIONADORES

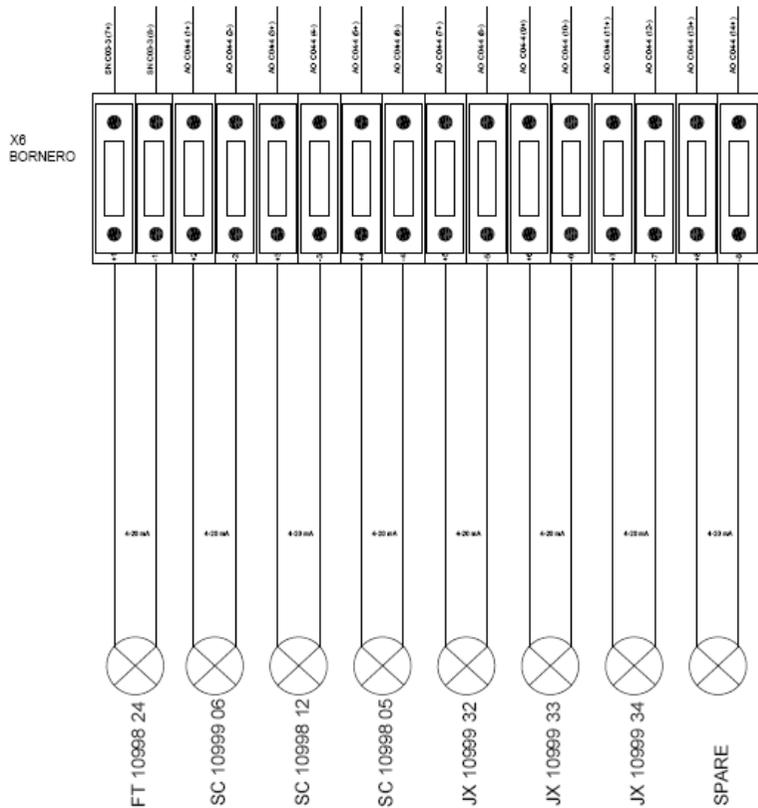


1	400 mA												
2	400 mA												
3	400 mA												
4	400 mA												
5	400 mA												
6	400 mA												
7	400 mA												
8	400 mA												
9	400 mA												
10	400 mA												
11	400 mA												
12	400 mA												
13	400 mA												

UPCT	
PROYECTO: DESARROLLO CONTROL DEL TAY PLANTA P-100	
FECHA:	10
ESCALA:	10
PROYECTISTA:	
REVISOR:	

Seleccionar y Ampliar/Reducir



2

1	COMB 10	SI COMB 317H	420 mA	SI
2	COMB 11	SI COMB 318	420 mA	SI
3	COMB 12	NO COMB 17	420 mA	SI
4	COMB 13	NO COMB 15	420 mA	SI
5	COMB 14	NO COMB 16	420 mA	SI
6	COMB 15	NO COMB 17	420 mA	SI
7	COMB 16	NO COMB 18	420 mA	SI
8	COMB 17	NO COMB 19	420 mA	SI
9	COMB 18	NO COMB 20	420 mA	SI
10	COMB 19	NO COMB 21	420 mA	SI
11	COMB 20	NO COMB 22	420 mA	SI
12	COMB 21	NO COMB 23	420 mA	SI
13	COMB 22	NO COMB 24	420 mA	SI
14	COMB 23	NO COMB 25	420 mA	SI

UPCT

DESARROLLO CONTROL DEL IVA PLANO PLENO

PROYECTO	11
----------	----



## **ANEXO III. CONEXIÓN DE INSTRUMENTACIÓN**

CAJA DE DERIVACIÓN: JB-IA-10-0001 TÍPICO: 1

INSTRUMENTO	CABLE SIMPLE	BORNAS DE CONEXIÓN	
SIGLAS	SIGLAS	CAJA	REGLETA
LT 10999 01	IA-10-0001-01	1/-1	1/-1
TT 10999 02	IA-10-0001-02	2/-2	2/-2
PT 10999 04	IA-10-0001-03	3/-3	3/-3
TT 10999 05	IA-10-0001-04	4/-4	4/-4
TT 10999 19	IA-10-0001-05	5/-5	5/-5
LT 10998 19	IA-10-0001-06	6/-6	6/-6
TT 10998 11	IA-10-0001-07	7/-7	7/-7
TT 10998 19	IA-10-0001-08	8/-8	8/-8
LT 10998 02	IA-10-0001-09	9/-9	9/-9
ST 10999 06	IA-10-0001-10	10/-10	10/-10
FT 10999 23	IA-10-0001-11	11/-11	11/-11
ST 10998 05	IA-10-0001-12	12/-12	12/-12

<u>MULTICABLE</u>		<u>REGLETA</u>	
SIGLA:	IA-10-0001	LOCALIZACION:	SHELTER
		CAJA:	JBA-IA-10-0001

NOTAS:

--

REVISIÓN	DIBUJADO	COMPROBADO	FECHA	PLANO Nº:	HOJA Nº
0	MAC	SC	30/06/2016	100001-01	1
1	MAC	SC	01/09/2016		
AS BUILT	MAC	SC	29/09/2016		
				ESQUEMA DE INTERCONEXIONES	

SEÑAL ANALÓGICA ENTRADA 4-20 mA TÍPICO: 3

INSTRUMENTO CABLE SEÑAL REGLETA



INSTRUMENTO	CABLE	REGLETERO
		LOCALIZACIÓN
LT 10999 01	IA-10-0001-01	CAJA
		X4
		SHELTER
		JB-IA-10-0001

NOTAS:

REVISIÓN	DIBUJADO	COMPROBADO	FECHA	PLANO Nº	HOJA Nº
0	MAC	SC	30/06/2016	100001-01	3
1	MAC	SC	01/09/2016		
AS BUILT	MAC	SC	29/09/2016		
				ESQUEMA DE INTERCONEXIONES	

SEÑAL ANALÓGICA DE ENTRADA 4-20 mA TÍPICO: 4

INSTRUMENTO CABLE SEÑAL REGLETA



INSTRUMENTO	CABLE	REGLETERO
		LOCALIZACIÓN
		CAJA
TT 10999 02	IA-10-0001-02	X4
		SHELTER
		JB-IA-10-0001

NOTAS:

Empty box for notes.

REVISIÓN	DIBUJADO	COMPROBADO	FECHA	PLANO Nº	HOJA Nº
0	MAC	SC	30/06/2016	100001-01	4
1	MAC	SC	01/09/2016		
AS BUILT	MAC	SC	29/09/2016		
				ESQUEMA DE INTERCONEXIONES	

SEÑAL ANALÓGICA DE ENTRADA 4-20 mA TÍPICO: 5

INSTRUMENTO CABLE SEÑAL REGLETA



INSTRUMENTO	CABLE	REGLETERO
		LOCALIZACIÓN
		CAJA
PT 10999 04	IA-10-0001-03	X4
		SHELTER
		JB-IA-10-0001

NOTAS:

REVISIÓN	DIBUJADO	COMPROBADO	FECHA	PLANO Nº	HOJA Nº
0	MAC	SC	30/06/2016	100001-01	5
1	MAC	SC	01/09/2016		
AS BUILT	MAC	SC	29/09/2016	ESQUEMA DE INTERCONEXIONES	

SEÑAL ANALÓGICA DE ENTRADA 4-20 mA TÍPICO: 6

INSTRUMENTO CABLE SEÑAL REGLETA



INSTRUMENTO	CABLE	REGLETERO
		LOCALIZACIÓN
TT 10999 05	IA-10-0001-04	CAJA
		X4
		SHELTER
		JB-IA-10-0001

NOTAS:

REVISIÓN	DIBUJADO	COMPROBADO	FECHA	PLANO Nº	HOJA Nº
0	MAC	SC	30/06/2016	100001-01	6
1	MAC	SC	01/09/2016		
AS BUILT	MAC	SC	29/09/2016		
				ESQUEMA DE INTERCONEXIONES	

SEÑAL ANALÓGICA DE ENTRADA 4-20 mA TÍPICO: 7

INSTRUMENTO CABLE SEÑAL REGLETA



INSTRUMENTO	CABLE	REGLETERO
		LOCALIZACIÓN
		CAJA
TT 10999 19	IA-10-0001-03	X4
		SHELTER
		JB-IA-10-0001

NOTAS:

Empty box for notes.

REVISIÓN	DIBUJADO	COMPROBADO	FECHA	PLANO Nº	HOJA Nº
0	MAC	SC	30/06/2016	100001-01	7
1	MAC	SC	01/09/2016		
AS BUILT	MAC	SC	29/09/2016	ESQUEMA DE INTERCONEXIONES	

SEÑAL ANALÓGICA DE ENTRADA 4-20 mA TÍPICO: 10

INSTRUMENTO CABLE SEÑAL REGLETA

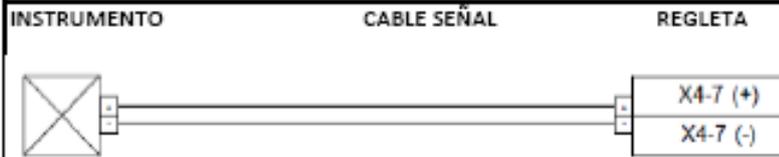


INSTRUMENTO	CABLE	REGLETERO
		LOCALIZACIÓN
		CAJA
TT 10998 19	IA-10-0001-08	X4
		SHELTER
		J8-IA-10-0001

NOTAS:

REVISIÓN	DIBUJADO	COMPROBADO	FECHA	PLANO Nº	HOJA Nº
0	MAC	SC	30/06/2016	100001-01	10
1	MAC	SC	01/08/2016		
AS BUILT	MAC	SC	29/08/2016	ESQUEMA DE INTERCONEXIONES	

SEÑAL ANALÓGICA DE ENTRADA 4-20 mA TÍPICO: 9



INSTRUMENTO	CABLE	REGLETERO
		LOCALIZACIÓN
TT 10998 11	IA-10-0001-07	CAJA
		X4
		SHELTER
		JB-IA-10-0001

NOTAS:

REVISIÓN	DIBUJADO	COMPROBADO	FECHA	PLANO Nº	HOJA Nº
0	MAC	SC	30/06/2016	100001-01	9
1	MAC	SC	01/09/2016		
AS BUILT	MAC	SC	29/09/2016		
				ESQUEMA DE INTERCONEXIONES	

SEÑAL ANALÓGICA DE ENTRADA 4-20 mA

TÍPICO: 11

INSTRUMENTO

CABLE SEÑAL

REGLETA

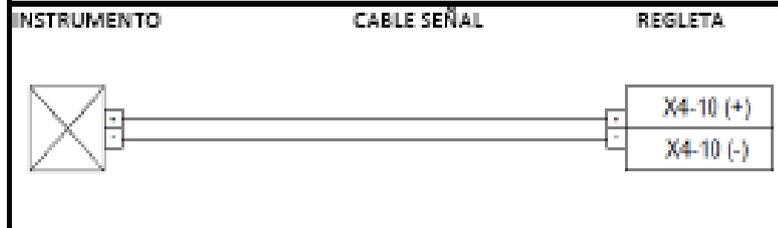


INSTRUMENTO	CABLE	REGLETERO
		LOCALIZACIÓN
		CAJA
LT 10998 02	IA-10-0001-09	X4
		SHELTER
		JB-IA-10-0001

NOTAS:

REVISIÓN	DIBUJADO	COMPROBADO	FECHA	PLANO Nº	HÓJA Nº
0	MAC	SC	30/06/2016	100001-01	11
1	MAC	SC	01/09/2016		
AS BUILT	MAC	SC	29/09/2016	ESQUEMA DE INTERCONEXIONES	

SEÑAL ANALÓGICA DE ENTRADA 4-20 mA TÍPICO: 12



INSTRUMENTO	CABLE	REGLETERO
		LOCALIZACIÓN
		CAJA
ST 10999 06	IA-10-0001-10	X4
		SHELTER
		JB-IA-10-0001

NOTAS:

REVISIÓN	DIBUJADO	COMPROBADO	FECHA	PLANO Nº	HÓJA Nº
0	MAC	SC	30/06/2016	100001-01	12
1	MAC	SC	01/09/2016		
AS BUILT	MAC	SC	29/09/2016	ESQUEMA DE INTERCONEXIONES	

SEÑAL ANALÓGICA DE ENTRADA 4-20 mA

TÍPICO: 13

INSTRUMENTO

CABLE SEÑAL

REGLETA



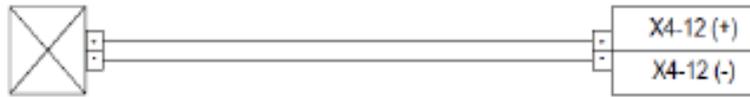
INSTRUMENTO	CABLE	REGLETERO
		LOCALIZACIÓN
		CAJA
FT 10999 23	IA-10-0001-11	X4
		SHELTER
		JB-IA-10-0001

NOTAS:

REVISIÓN	DIBUJADO	COMPROBADO	FECHA	PLANO Nº	HOJA Nº
0	MAC	SC	30/06/2016	100001-01	13
1	MAC	SC	01/09/2016		
AS BUILT	MAC	SC	29/09/2016	ESQUEMA DE INTERCONEXIONES	

SEÑAL ANALÓGICA DE ENTRADA 4-20 mA TÍPICO: 14

INSTRUMENTO CABLE SEÑAL REGLETA



INSTRUMENTO	CABLE	REGLETERO
		LOCALIZACIÓN
		CAJA
ST 10998 05	IA-10-0001-12	X4
		SHELTER
		JB-IA-10-0001

NOTAS:

Empty box for notes.

REVISIÓN	DIBUJADO	COMPROBADO	FECHA	PLANO Nº	HOJA Nº
0	MAC	SC	30/06/2016	100001-01	14
1	MAC	SC	01/09/2016		
AS BUILT	MAC	SC	29/09/2016	ESQUEMA DE INTERCONEXIONES	

**CAJA DE DERIVACIÓN: JB-IA-10-0002 TÍPICO: 2**

INSTRUMENTO	CABLE SIMPLE	BORNAS DE CONEXIÓN	
SIGLAS	SIGLAS	CAJA	REGLETA
FT 10998 24	IA-10-0002-01	1/-1	1/-1
SC 10999 06	IA-10-0002-02	2/-2	2/-2
SC 10998 12	IA-10-0002-03	3/-3	3/-3
SC 10998 03	IA-10-0002-04	4/-4	4/-4
JX 10999 32	IA-10-0002-05	5/-5	5/-5
JX 10999 33	IA-10-0002-06	6/-6	6/-6
JX 10999 34	IA-10-0002-07	7/-7	7/-7
SPARE		8/-8	8/-8

<u>MULTICABLE</u>		<u>REGLETA</u>	
SIGLA:	IA-10-0002	LOCALIZACION:	SHELTER
		CAJA:	JB-IA-10-0002

NOTAS:

REVISIÓN	DIBUJADO	COMPROBADO	FECHA	PLANO Nº:	FOLIA Nº
0	MAC	SC	30/06/2016	100001-01	2
1	MAC	SC	01/09/2016		
AS BUILT	MAC	SC	29/09/2016	ESQUEMA DE INTERCONEXIONES	

SEÑAL ANALÓGICA ENTRADA 4-20 mA

TÍPICO: 3

INSTRUMENTO

CABLE SEÑAL

REGLETA



INSTRUMENTO	CABLE	REGLETERO
		LOCALIZACIÓN
		CAJA
FT 10998 24	IA-10-0002-01	XS
		SHELTER
		JB-IA-10-0002

NOTAS:

REVISIÓN	DIBUJADO	COMPROBADO	FECHA	PLANO Nº	HOJA Nº
0	MAC	SC	30/06/2016	100001-02	2
1	MAC	SC	01/09/2016		
AS BUILT	MAC	SC	29/09/2016	ESQUEMA DE INTERCONEXIONES	

SEÑAL ANALÓGICA ENTRADA 4-20 mA

TÍPICO: 3

INSTRUMENTO

CABLE SEÑAL

REGLETA

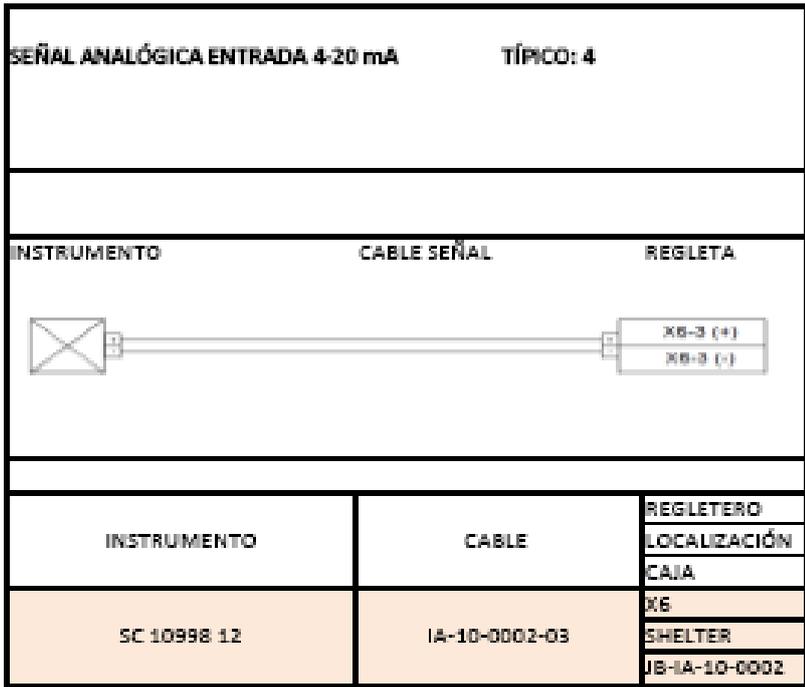


INSTRUMENTO	CABLE	REGLETERO
		LOCALIZACIÓN
SC 10999 06	IA-10-0002-02	CAJA
		X8
		SHELTER
		JB-IA-10-0002

NOTAS:

Empty box for notes.

REVISIÓN	DIBUJADO	COMPROBADO	FECHA	PLANO Nº	HOJA Nº
0	MAC	SC	30/06/2016	100001-02	3
1	MAC	SC	01/09/2016		
AS BUILT	MAC	SC	29/09/2016		
				ESQUEMA DE INTERCONEXIONES	



NOTAS:

REVISIÓN	DIBUJADO	COMPROBADO	FECHA	PLANO Nº	HOJA Nº
0	MAC	SC	30/06/2016	100001-02	4
1	MAC	SC	01/09/2016		
AS BUILT	MAC	SC	29/09/2016	ESQUEMA DE INTERCONEXIONES	

SEÑAL ANALÓGICA ENTRADA 4-20 mA

TÍPICO: 5

INSTRUMENTO

CABLE SEÑAL

REGLETA



INSTRUMENTO	CABLE	REGLETERO
		LOCALIZACIÓN
SC 10998 12	IA-10-0002-04	CAJA
		XB
		SHELTER
		JB-IA-10-0002

NOTAS:

REVISIÓN	DIBUJADO	COMPROBADO	FECHA	PLANO Nº	HOLIA Nº
0	MAC	SC	30/06/2016	100001-02	5
1	MAC	SC	01/09/2016		
AS BUILT	MAC	SC	29/09/2016	ESQUEMA DE INTERCONEXIONES	

SEÑAL ANALÓGICA ENTRADA 4-20 mA

TÍPICO: 6

INSTRUMENTO

CABLE SEÑAL

REGLETA



INSTRUMENTO	CABLE	REGLETERO
		LOCALIZACIÓN
		CAJA
JX 10999 32	IA-10-0002-05	X6
		SHELTER
		JB-IA-10-0002

NOTAS:

Empty box for notes.

REVISIÓN	DIBUJADO	COMPROBADO	FECHA	PLANO Nº	HOJA Nº
0	MAC	SC	30/06/2016	100001-02	6
1	MAC	SC	01/09/2016		
AS BUILT	MAC	SC	29/09/2016		
				ESQUEMA DE INTERCONEXIONES	

SEÑAL ANALÓGICA ENTRADA 4-20 mA

TÍPICO: 7

INSTRUMENTO

CABLE SEÑAL

REGLETA



INSTRUMENTO	CABLE	REGLETERO
		LOCALIZACIÓN
IX 10999 33	IA-10-0002-06	CAJA
		X6
		SHELTER
		JB-IA-10-0002

NOTAS:

REVISIÓN	DIBUJADO	COMPROBADO	FECHA	PLANO Nº	HOJA Nº
0	MAC	SC	30/06/2016	100001-02	7
1	MAC	SC	01/09/2016		
AS BUILT	MAC	SC	29/09/2016	ESQUEMA DE INTERCONEXIONES	

SEÑAL ANALÓGICA ENTRADA 4-20 mA

TÍPICO: 8

INSTRUMENTO

CABLE SEÑAL

REGLETA



INSTRUMENTO	CABLE	REGLETERO
		LOCALIZACIÓN
JX 10999 34	IA-10-0002-08	CAJA
		X8
		SHELTER
		JB-IA-10-0002

NOTAS:

REVISIÓN	DIBUJADO	COMPROBADO	FECHA	PLANO Nº	HOJA Nº
0	MAC	SC	30/06/2016	100001-02	8
1	MAC	SC	01/09/2016		
AS BUILT	MAC	SC	29/09/2016	ESQUEMA DE INTERCONEXIONES	

CAJA DE DERIVACIÓN: JB-ID-10-0003 TÍPICO: 1

INSTRUMENTO	CABLE SIMPLE	BORNAS DE CONEXIÓN	
SIGLAS	SIGLAS	CAJA	REGLETA
LV10999 01	ID-10-0003-01	1/-1	1/-1
TV 10999 19	ID-10-0003-02	2/-2	2/-2
LV 10998 02	ID-10-0003-03	3/-3	3/-3
TV 10998 19	ID-10-0003-04	4/-4	4/-4
SPARE		5/-5	5/-5
SPARE		6/-6	6/-6
SPARE		7/-7	7/-7
SPARE		8/-8	8/-8
SPARE		9/-9	9/-9
SPARE		10/-10	10/-10
SPARE		11/-11	11/-11
SPARE		12/-12	12/-12

<u>MULTICABLE</u>		<u>REGLETA</u>	
SIGLA:	ID-10-0003	LOCALIZACION:	SHELTER
		CAJA:	JB-ID-10-0003

NOTAS:

--

REVISIÓN	DIBUJADO	COMPROBADO	FECHA	PLANO Nº:	HOJA Nº
0	MAC	SC	30/06/2016	100001-03	1
1	MAC	SC	01/09/2016		
AS BUILT	MAC	SC	29/09/2016	ESQUEMA DE INTERCONEXIONES	

SEÑAL DISCRETA DE SALIDA 24V dc

TÍPICO: 2

INSTRUMENTO

CABLE SEÑAL

REGLETA



INSTRUMENTO	CABLE	REGLETERO
		LOCALIZACIÓN
		CAJA
LV 10999 01	ID-10-0003-01	X5
		SHELTER
		JB-ID-10-0003

NOTAS:

REVISIÓN	DIBUJADO	COMPROBADO	FECHA	PLANO Nº	HOJA Nº
0	MAC	SC	30/06/2016	100001-01	2
1	MAC	SC	01/09/2016		
AS BUILT	MAC	SC	29/09/2016	ESQUEMA DE INTERCONEXIONES	

SEÑAL DISCRETA DE SALIDA 24V dc

TÍPICO: 3

INSTRUMENTO

CABLE SEÑAL

REGLETA



INSTRUMENTO	CABLE	REGLETERO
		LOCALIZACIÓN
		CAJA
TV 10999 19	ID-10-0003-02	X5
		SHELTER
		JB-ID-10-0003

NOTAS:

REVISIÓN	DIBUJADO	COMPROBADO	FECHA	PLANO Nº	HOJA Nº
0	MAC	SC	30/06/2016	100001-03	3
1	MAC	SC	01/09/2016		
AS BUILT	MAC	SC	29/09/2016		
				ESQUEMA DE INTERCONEXIONES	

SEÑAL DISCRETA DE SALIDA 24V dc

TÍPICO: 4

INSTRUMENTO

CABLE SEÑAL

REGLETA



INSTRUMENTO	CABLE	REGLETERO
		LOCALIZACIÓN
		CAJA
LV 10998 02	ID-10-0003-01	X5
		SHELTER
		JB-ID-10-0003

NOTAS:

REVISIÓN	DIBUJADO	COMPROBADO	FECHA	PLANO Nº	HOJA Nº
0	MAC	SC	30/06/2016	100001-03	4
1	MAC	SC	01/09/2016		
AS BUILT	MAC	SC	29/09/2016	ESQUEMA DE INTERCONEXIONES	

SEÑAL DISCRETA DE SALIDA 24V dc

TÍPICO: 5

INSTRUMENTO

CABLE SEÑAL

REGLETA



X5-4 (+)

X5-4 (-)

INSTRUMENTO

CABLE

REGLETERO

LOCALIZACIÓN

CAJA

LV 10998 02

ID-10-0003-05

X5

SHELTER

JB-ID-10-0003

NOTAS:

REVISIÓN	DIBUJADO	COMPROBADO	FECHA	PLANO Nº	HOJA Nº
0	MAC	SC	30/06/2016	100001-03	5
1	MAC	SC	01/09/2016		
AS BUILT	MAC	SC	29/09/2016		
				ESQUEMA DE INTERCONEXIONES	