FORMICS
INDUSTRIAL CHEMICAL
FORMALDEHIDO DE CALIDAD

PLANTA DE PRODUCCIÓN DE FORMALDEHÍDO

LUIS M. APARICIO SÁNCHEZ
ALEJANDRO JUÁREZ SÁNCHEZ
MASOUMEH HONARKAR ASHNA
MANEL NÁJERA ROCABAYERA
EDUARD MARTÍ CARDONER
DAVID A. SARRIA VALDIVIA

TUTOR : JOSEP A. TORÀ SUAREZ

JUNIO 2026

UAB
Universitat Autònoma de Barcelona

CC BY NC ND

FORMICS
INDUSTRIAL CHEMICAL
FORMALDEHIDO DE CALIDAD

PLANTA DE PRODUCCIÓN DE FORMALDEHÍDO

CAPITULO 3. CONTROL E INSTRUMENTACIÓN

UAB
Universitat Autònoma de Barcelona

CC BY NC ND

Tabla de contenido

Capítulo 3. Control e instrumentación 1
3.1 Introducción 1
3.2 Sistemas de control 1
3.2.1 Variables de control 2
3.2.2 Elementos de control 2
3.2.3 Metodologías de control 4
3.2 Normativa y Criterios de nomenclatura 9
3.2.1 Nomenclatura de los lazos de control 10
3.2.2 Nomenclatura de los instrumentos de control 11
3.2.3 Simbología de los instrumentos de control 13
3.2.4 Simbología de las interconexiones de señales 15
3.3 Instrumentación de la planta 15
3.3.1 Sensores 15
3.3.2 Elementos finales de control 33
3.3.3 Elementos de control 38
3.4 Listado de lazos de control de la planta 39
3.4.1 Zona almacenamiento materia prima A-100 40
3.4.2 Zona de reacción (A-200) 41
3.4.3 Zona absorción y tratamiento de gases (A-300) 43
3.4.4 Zona almacenamiento producto acabado 45
3.5 Listado de la instrumentación 46
3.5.1 Almacenamiento de las materias primas (A-100) 47
3.5.2 Zona reacción 51
3.5.3 Absorbedores 58
3.5.3 Almacenamiento de producto acabado (A-400) 64
3.6 Descripción y diagrama de los lazos de control 68
3.6.1 Tanques de almacenaje de reactivos y productos 68
3.6.2 Bombas y compresores 75
3.6.3 Intercambiadores 78
3.6.4 Reactor 86
3.6.5 Torre de absorción 93

3.6.6 Scrubber 98
3.6.7 Reactor biológico 103
3.7 Bibliografía 108

Capítulo 3. Control e instrumentación

3.1 Introducción

Tanto el control como la instrumentación desempeñan un papel muy importante en la producción de formaldehído mediante el proceso Formox, ya que garantizan que todos los equipos operen correctamente, eficientemente y de forma segura ante cualquier perturbación que pueda ocurrir durante el proceso.

El diseño de los sistemas de control e instrumentación se ha llevado a cabo de manera que se cumpliesen los siguientes 2 objetivos:

En primer lugar, garantizar la seguridad del proceso, teniendo en cuenta la de todos los trabajadores involucrados. Para que sea posible la producción final de este compuesto de alto valor añadido, se utiliza metanol, un compuesto inflamable que da lugar a una reacción muy exotérmica. A diferencia del proceso Formox con catalizador de plata que opera por encima del límite superior de inflamabilidad, con catalizador de óxido metálico se opera por debajo del límite inferior de inflamabilidad, donde el aire se encuentra en exceso mezclado con el metanol. Esta relación de exceso debe mantenerse muy controlada para que no supere estos límites de inflamabilidad. Además de esto, se deben controlar muchos otros parámetros en los equipos involucrados a lo largo del proceso, como el nivel y la presión en los tanques de almacenamiento, o la temperatura en los reactores y columnas.

Por otro lado, los sistemas de control e instrumentación deben aportar y asegurar tanto la calidad del producto como la estabilidad operativa. Las variaciones en las condiciones de los distintos equipos no solo pueden representar un riesgo físico, sino que también afectan la calidad del producto. Una variación en la temperatura de los reactivos de entrada al reactor podría provocar la aparición de impurezas o un aumento de la degradación de los equipos, afectando la pureza de los productos y acortando su vida útil.

3.2 Sistemas de control

Los sistemas de control implementados en la planta tienen como objetivo conseguir controlar una variable de salida, como puede ser el caudal de un corriente o la temperatura en un punto, mediante la manipulación de una variable controlada, que, al ser modificada, tendrá como resultado un valor aproximado de la variable de salida al requerido. Este valor objetivo de la variable de salida se denomina set point o punto de consigna.

3.2.1 Variables de control

Existen diferentes variables de control, las cuales se pueden agrupar como variables de entrada y variables de salida, lo que conceptualmente ayuda a diferenciarlas y definirlas.

En primer lugar, se pueden definir las variables de entrada como flujos, estímulos o factores externos que afectan de manera directa al comportamiento del proceso y dependiendo de la capacidad que haya para poder manipularlas se pueden dividir en dos grupos:

- Se puede definir como variable manipulada si el operador humano o el sistema de control puede manipularla libremente, de manera que se puedan contrarrestar las posibles perturbaciones.

- Se puede definir, por otro lado, como variable de perturbación cualquier variable de entrada que no sea ajustada a conciencia por el operador o el sistema de control.

En segundo lugar, las variables de salida serían los efectos físicos o respuestas que se generan como consecuencia del comportamiento interno del proceso y que acaban afectando al exterior. Dentro de este grupo también se pueden diferenciar dos grupos:

- Las variables controladas o variables de proceso son las variables de salida específicas que interesa mantener en un valor óptimo y constante. Para que sea controlada, debe medirse en tiempo real mediante la instrumentación correspondiente.
- Las variables de salida no controladas son propiedades del proceso que cambian en consecuencia de la operación, pero que no se monitorizan de forma continua ni forman parte del lazo cerrado de control.

3.2.2 Elementos de control

Los elementos físicos necesarios en un lazo de control cerrado son: proceso, sensor, líneas de transmisión, controlador y elemento final. Se trata de sistemas con una entrada y una salida, cuyo comportamiento puede describirse mediante una ecuación diferencial o una función de transferencia.

3.2.2.1 Controladores

Los controladores son el elemento de control más importante puesto que es el encargado de tomar el valor medido por el sensor y el transmisor y compararlo con el valor de consigna o set

point estipulado. Y en función de la diferencia entre estos valores y dependiendo del tipo de controlador utilizado, tomar una acción de control en la variable de entrada que aproxime el valor de la salida al punto de consigna. Dependiendo del tipo de controlador, la señal que mandará este será muy diferente, por lo que diferenciamos entre 4 tipos:

- Controlador ON/OFF: Este tipo de controlador es el más básico y económico, puesto que no calcula posiciones intermedias, la señal que manda este controlador es de abierto completamente o cerrado completamente. En el caso de estar la variable de proceso por debajo del set point, este se enciende al completo y se apaga en el momento exacto en el que se supera, lo que suele dar problemas de oscilación. Solucionable con la programación de una banda muerta llamada histéresis, donde el controlador no actúa.

- Controlador proporcional (P): A diferencia del ON/OFF, este controlador permite un ajuste más gradual y continuo, puesto que la acción sobre la variable manipulada es directamente proporcional al tamaño del error, siendo este la diferencia entre la variable de salida y el punto de consigna. Numéricamente, sabiendo que cs es el valor de la salida cuando el error es 0 y Kc la ganancia proporcional, se puede ver representado como:

$$c(t) = Kc * \varepsilon(t) + cs$$

Ecuación 3.1 Controlador Proporcional

- Controlador proporcional-integral (PI): En este controlador se mantiene el perfil proporcional, pero se le añade el término integral, el cual no mira el error actual, sino que acumula el error a lo largo del tiempo. Mientras exista una desviación (por pequeña que sea), la integral sumará esa área y continuará moviendo la válvula hasta que el error sea exactamente cero.

$$c(t) = kc * \varepsilon(t) + \frac{kc}{\tau_1}\int \varepsilon(t)dt + cs$$

Ecuación 3.2 Controlador Proporcional Integral

- Controlador proporcional-integral-derivativo (PID): Al bloque anterior se le suma ahora el perfil derivativo, el cual añade al control un factor anticipativo. La derivada calcula la velocidad y la tendencia de cambio del error. Con un ejemplo más práctico, si ve que la variable de proceso está subiendo demasiado rápido hacia el set point, frenará el actuador amortiguando la subida.

$$c(t) = kc * \varepsilon(t) + \frac{kc}{\tau_1}\int \varepsilon(t)dt + kc * \tau_d * \frac{d\varepsilon}{dt} + cs$$

Ecuación 3.3 Controlador Proporcional Integral Derivativo

3.2.2.2 Sensores y Transmisores

Por un lado, está el sensor, es el nombre genérico que se da a diversos dispositivos o sistemas que responden a la medida de una magnitud y la transmiten en forma de señal, normalmente eléctrica, a otro dispositivo o sistema, el cual los utiliza como información para supervisarlos o para llevar a cabo algún tipo de control. Se pueden clasificar, en función del tipo de magnitud, como sensores físicos o químicos. Y por el otro lado, está el transmisor, es un dispositivo encargado de transmitir la señal producida por un sensor a distancia. La señal transmitida es generalmente una corriente eléctrica o una señal de radiofrecuencia. La información transmitida puede codificarse de forma analógica o digital.

Tanto los sensores como los transmisores están separados físicamente del controlador, por lo que se requieren líneas de transmisión para poder pasar la información hasta ellos. Las señales estándar son: eléctricas (4-20 mA / 0-10 V / 0-5 V), neumáticas (3-15 psi / 0,2-1 bar) y digitales (Modbus, Profibus). La ventaja de las señales eléctricas es que se puede transmitir la información a larga distancia de manera prácticamente instantánea.

3.2.2.3 Elemento final

El elemento final del lazo cerrado es el componente que transforma la señal recibida del controlador en una acción física en el proceso controlado, manipulando la variable de entrada del proceso para que la variable de salida sea lo más cercana posible a la deseada.

Las válvulas de control automáticas o válvula de control es el elemento de control final más utilizado en la industria química. Básicamente, se trata de un orificio de sección variable. Al modificar la sección de paso, aumenta o disminuye la caída de presión provocada por la válvula en el circuito en el que está instalada, lo que permite variar el caudal.

3.2.3 Metodologías de control

Un lazo de control simple donde solo hay un único lazo PID que mide una variable y hace actuar una sola válvula, no es suficiente para controlar la complejidad, los retardos o las posibles fuertes perturbaciones de una planta industrial lo hacen imposible. Por lo que se hace uso, como en el caso del proceso de Formics Chemicals, de diferentes metodologías de lazo cerrado de control. Estas estrategias o metodologías combinan el uso de diferentes sensores,

controladores o elementos finales para lograr el control necesario. A continuación, se ven representadas las metodologías de las cuales se hace uso en este caso.

3.2.3.1 Feedback

El lazo de control cerrado por retroalimentación, o *feedback*, es la estrategia principal de control continuo en la instalación. Basa su funcionamiento en que el sistema actúa de forma correctiva una vez aparece una desviación o perturbación en las condiciones de diseño.

En primer lugar, mediante la instrumentación de campo, que son el transmisor y el sensor, se mide en tiempo real el valor de la variable controlada del proceso y se envía la señal analógica al controlador, donde se compara matemáticamente con el valor de consigna determinado, de manera que la diferencia entre el valor medido y el de la consigna será el error del sistema.

$$Error = set\ point - variable\ controlada$$

A partir de este error y en función del tipo de controlador, se calcula la salida requerida hacia el elemento final de control, que, como se ha comentado anteriormente, suele ser una válvula de regulación automática. La válvula modifica la variable manipulada para contrarrestar la desviación y devolver la estabilidad al proceso. A pesar de su simplicidad y amplio uso, presenta como principal limitación que no puede anticiparse a las perturbaciones, requiriendo que el proceso sufra una alteración antes de poder iniciar una acción correctora.

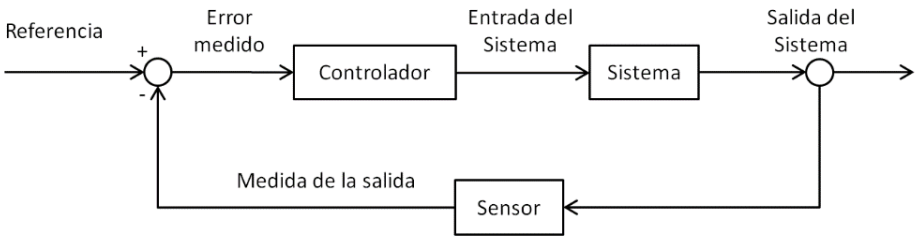


Figura 3.2.1. Lazo de control feedback

3.2.3.2 En cascada

El control de lazo cerrado en cascada es una metodología que se implementa para mejorar la velocidad de respuesta del sistema en procesos donde hay retardos de tiempo significativos, como pueden ser transferencias térmicas en reactores o intercambiadores. Esta metodología consiste en poner dos controladores en serie para que estos actúen sobre un único elemento final de control.

El sistema se divide en dos lazos diferenciados:

- Lazo Externo: Este lazo se encarga de regular la variable principal del proceso que se desea estabilizar a largo plazo. El controlador de este lazo externo evalúa esta variable, pero su salida no actúa sobre la válvula, sino que se convierte directamente en el punto de consigna dinámico *setpoint* del lazo secundario o interno.

- Lazo Interno: Este lazo regula una variable intermedia que responde con mayor rapidez ante las fluctuaciones, por ejemplo, si el lazo externo regula la temperatura interna del reactor, el lazo interno se encarga de la temperatura o el caudal del fluido de servicio en la camisa de refrigeración. El controlador interno compara la medición de esta variable intermedia con el *setpoint* recibido del externo y actúa físicamente sobre la válvula de regulación.

La gran ventaja de esta configuración es que las perturbaciones que afectan a los servicios auxiliares (como variaciones de presión o temperatura en las redes de planta) son detectadas y corregidas de inmediato por el lazo interno, evitando que lleguen al interior del proceso principal.

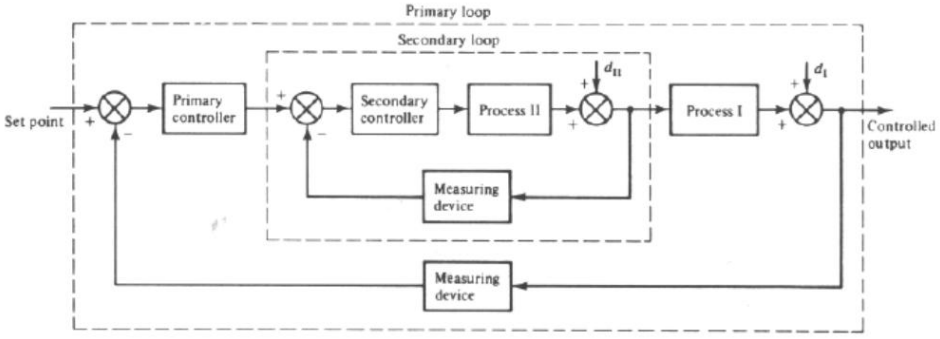


Figura 3.2.2. Lazo de control cascada

3.2.3.3 ON/OFF

El lazo de control ON/OFF, comúnmente conocido como lazo de control todo o nada, es la metodología de control más sencilla, puesto que esta no dispone de una configuración de varias posiciones, sino que está configurado de manera que cuando la señal de la variable controlada es inferior a un valor establecido, se encienda, y cuando este sea superior al valor establecido, se apague por completo. Este tipo de control se puede observar en los tanques de almacenamiento de formaldehído, donde dependiendo de los niveles de producto designados se abrirá o cerrará la válvula de entrada.

La principal limitación técnica de un control ON/OFF es que, cuando la variable de proceso alcanza exactamente el valor del setpoint, cualquier mínima fluctuación del proceso o ruido eléctrico en la señal del sensor provocará que se encienda o apague a una altísima frecuencia. Este fenómeno, conocido como *chattering* o repiqueteo, provoca un severo desgaste mecánico

en válvulas, relés y motores, reduciendo la vida útil de los equipos. Como se ha comentado anteriormente para solucionar este problema, se establece una histéresis, por lo que, en lugar de conmutar en un único punto, se establecen dos límites asimétricos alrededor de la consigna.

3.2.3.4 Ratio control

El lazo de control de relación, comúnmente conocido como ratio control, es una estrategia de control diseñada para mantener una proporción constante y predeterminada entre los caudales de dos corrientes distintas. Basa su funcionamiento en juntar la regulación de una variable secundaria a las fluctuaciones de una variable principal, permitiendo que ambas operen a la misma vez de manera automática sin importar los cambios individuales de demanda en el proceso.
En primer lugar, mediante la instrumentación de campo dedicada a la medición de flujo, se registra en tiempo real el caudal de la corriente principal. Esta señal analógica se transmite al controlador, donde se procesa mediante un algoritmo que aplica un factor de proporción específico. El valor resultante de esta operación se establece como la consigna de trabajo para la línea secundaria.

$$\text{Set Point (variable controlada)} = R \times \text{Caudal (variable salvaje)}$$

A partir de esta consigna dinámica y en función del tipo de controlador, se calcula la salida requerida hacia el elemento final de control de la línea secundaria, modificando la variable manipulada para corregir de forma inmediata cualquier desviación en la mezcla. Su principal ventaja radica en su comportamiento, ya que es capaz de minimizar el impacto de las perturbaciones de caudal aguas arriba antes de que estas desestabilicen la operación global. A pesar de su utilidad, presenta como principales limitaciones ante errores de calibración o derivas en los sensores de campo, además de requerir una sintonización más rigurosa y mostrar dificultades cuando el proceso presenta comportamientos no lineales o retardos significativos en el tiempo de respuesta. En la instalación, este esquema se aplica en la etapa de dosificación previa a los reactores. Su propósito fundamental es fijar una relación estricta entre el flujo de metanol vaporizado y el aire de alimentación, asegurando que la mezcla reactiva opere de manera eficiente y permanezca en todo momento fuera de los rangos de inflamabilidad exigidos por la normativa de seguridad ATEX.

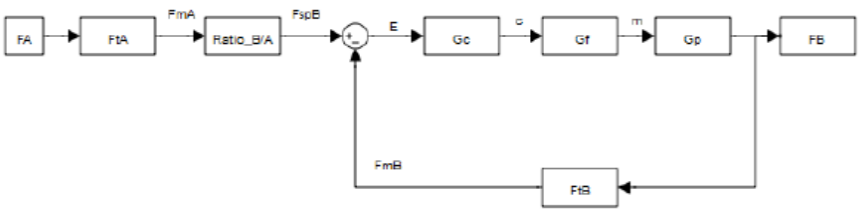


Figura 3.2.3. Lazo de ratio control

3.2.3.5 Split range

El lazo de control por rango dividido, o *split range*, es una estrategia de control en la que una única variable controlada se regula mediante la acción combinada de dos o más elementos finales de control. Esta configuración actúa de forma correctiva y secuencial cuando un único elemento final es insuficiente para cubrir las necesidades de diseño o cuando las acciones requeridas ante desviaciones positivas y negativas son físicamente opuestas.
En primer lugar, mediante la instrumentación de campo, se mide en tiempo real el valor de la variable controlada del proceso y se envía la señal al controlador. Tras comparar matemáticamente el valor medido con la consigna o *setpoint*, el controlador calcula una única señal de salida, que se divide en subrangos independientes mediante posicionadores calibrados en cada válvula. A partir de este error, la señal de salida del controlador se ramifica hacia los elementos finales de control. Este tipo de lazo de control se puede observar en los controladores de presión de tanques y reactores, donde se utiliza este tipo de estrategia para mantener la presión en el interior de la carcasa.
A pesar de su gran utilidad para estabilizar variables con dinámicas no lineales, presenta como principal limitación la sintonización de los parámetros del controlador, ya que ambos elementos finales de control pueden tener capacidades de flujo y ganancias de proceso muy distintas.

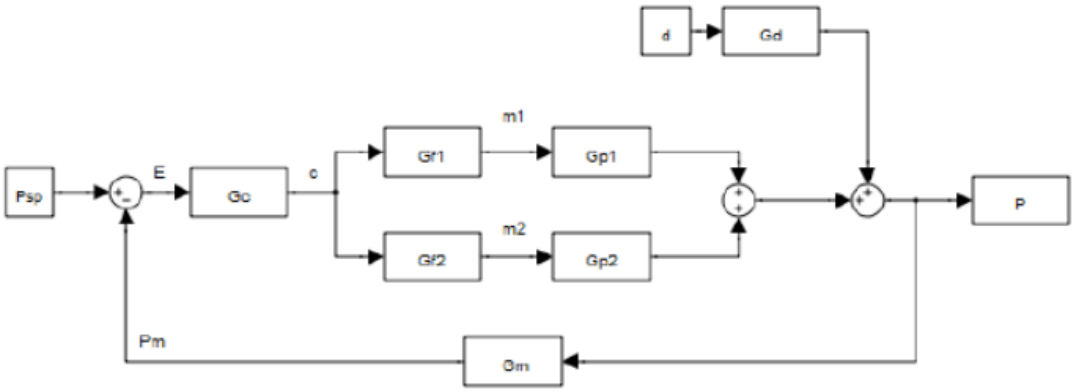


Figura 3.2.4. Lazo Split range

3.2 Normativa y Criterios de nomenclatura

El desarrollo de los apartados de este documento, donde se detallan el diseño, la identificación y la simbología de todos los instrumentos y lazos de control, se ha realizado en cumpliendo con la norma estandarizada ANSI/ISA-5.1-2009 (Sistemas de Instrumentación y Automatización de la sociedad).

Tabla 3.2.1. Letras de instrumentos y funciones

1.ª Letra			Letras sucesivas		
	Variable medida (3)	Letra de modificación	Función de lectura pasiva	Función de salida	Letra de modificación
A	Análisis (4)	. . . . .	Alarma	. . . . .	. . . . .
B	Llama (quemador)	. . . . .	Libre (1)	Libre (1)	Libre (1)
C	Conductividad	. . . . .	. . . . .	Control	. . . . .
D	Densidad o peso específico	Diferencial (3)	. . . . .	. . . . .	. . . . .
E	Tensión (f.e.m.)	. . . . .	Elemento primario	. . . . .	. . . . .
F	Caudal	Relación (3)	. . . . .	. . . . .	. . . . .
G	Calibre	. . . . .	Vidrio (8)	. . . . .	. . . . .
H	Manual	. . . . .	. . . . .	. . . . .	Alto (6) (13) (14)
I	Corriente eléctrica	. . . . .	Indicación (9) o indicador	. . . . .	. . . . .
J	Potencia	Exploración (6)	. . . . .	. . . . .	. . . . .
K	Tiempo	. . . . .	. . . . .	Estación de control	. . . . .
L	Nivel	. . . . .	Luz piloto (10)	. . . . .	Bajo (6) (13) (14)
M	Humedad	. . . . .	. . . . .	. . . . .	Medio o intermedio (6) (13)
N	Libre (1)	. . . . .	Libre	Libre	Libre
O	Libre (1)	. . . . .	Orificio	. . . . .	. . . . .
P	Presión o vacío	. . . . .	Punto de prueba	. . . . .	. . . . .
Q	Cantidad	Integración (3)	. . . . .	. . . . .	. . . . .
R	Radiactividad	. . . . .	Registro	. . . . .	. . . . .
S	Velocidad o frecuencia	Seguridad (7)	. . . . .	Interruptor	. . . . .
T	Temperatura	. . . . .	. . . . .	Transmisión o transmisor	. . . . .
U	Multivariable (5)	. . . . .	Multifunción (11)	Multifunción (11)	Multifunción (11)
V	Viscosidad	. . . . .	. . . . .	Válvula	. . . . .
W	Peso o Fuerza	. . . . .	Vaina	. . . . .	. . . . .
X	Sin clasificar (2)	. . . . .	Sin clasificar	Sin clasificar	Sin clasificar
Y	Libre (1)	. . . . .	. . . . .	Relé o computador (12)	. . . . .
Z	Posición	. . . . .	. . . . .	Elemento final de control sin clasificar	. . . . .

3.2.1 Nomenclatura de los lazos de control

Para asegurar la claridad y la correcta interpretación de los diagramas, la instrumentación y la documentación técnica de la planta, se utiliza la siguiente nomenclatura alfanumérica estandarizada para cada instrumento y lazo de control. Este código de identificación permite conocer de forma inmediata tanto la variable física del proceso que se está midiendo o controlando como la función específica que desempeña el dispositivo dentro del sistema de control. El primer elemento del código alfanumérico sirve para definir la variable física del proceso objeto de medición o control. De acuerdo con el criterio de diseño adoptado para este proyecto, las variables principales se codifican mediante su letra inicial correspondiente:

Tabla 3.2.2. Variables controladas y sus abreviaturas

Variable controlada	Abreviatura
Temperatura	T
Nivel	L
Presión	P
Concentración	C
Caudal	F

La configuración completa de un código de identificación se divide en dos bloques conceptuales diferenciados: la Identificación Funcional y la Identificación del Lazo. Para ilustrar esta estructura, se toma como modelo de ejemplo el código FRC 102 A, cuyo desglose analítico se expone a continuación.

Identificación Funcional: Este bloque está compuesto por el conjunto de letras situadas al inicio del código.

- Primera letra: Determina la variable del proceso. En el ejemplo (*F*), indica que el lazo opera sobre la variable de caudal.

- Letras sucesivas: Indican las funciones operativas, de lectura o de salida que realiza el instrumento de manera consecutiva. En el siguiente apartado está definida la nomenclatura para cada instrumento de control.

Identificación del Lazo: Este bloque define la ubicación y asociación física del instrumento mediante caracteres numéricos y complementarios.

- Número del lazo de control: Corresponde al código numérico secuencial (en este caso, *102*) que se asigna de manera única a una malla o lazo de control específico dentro de la planta. Todos los instrumentos (transmisores, controladores, elementos finales de control) que intervienen y comparten señal dentro de un mismo lazo comparten obligatoriamente esta numeración.

- Sufijo: Consiste en una letra mayúscula final (en el ejemplo, la letra *A*), aunque puede también ser un número, que se emplea con carácter diferenciador cuando existen dos o más instrumentos idénticos, o funciones duplicadas en paralelo, operando dentro del mismo lazo de control.

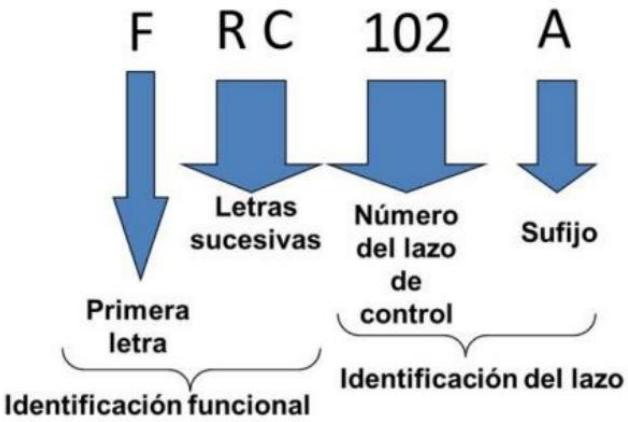


Figura 3.2.1. Código codificación para elementos de instrumentación

3.2.2 Nomenclatura de los instrumentos de control

Una vez definida la estructura general y la codificación de los lazos, es necesario detallar la nomenclatura asignada a los instrumentos individuales de monitorización y seguridad de la planta. Esta designación clasifica mediante prefijos normalizados e identifica la naturaleza física de cada dispositivo, su ubicación jerárquica dentro de la cadena de señal y su acción operativa, asegurando una correcta lectura de los diagramas de instrumentación.

Tabla 3.2.3 Funciones operativas de los instrumentos de control

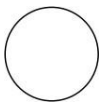
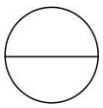
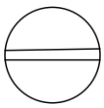
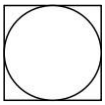
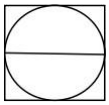
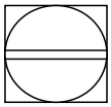
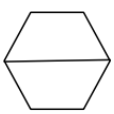
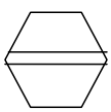
Prefijos	Instrumento
CAL	Alarma de concentración baja
CCV	Válvula de control de concentración
CE	Sensor de concentración
CIC	Controlador Indicador de concentración

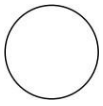
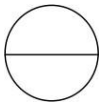
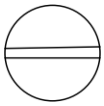
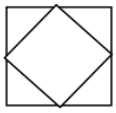
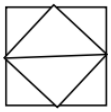
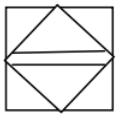
Prefijos	Instrumento
CAL	Alarma de concentración baja
CSL	Interruptor de concentración baja
CT	Transmisor de concentración
CY	Transductor I/P para el control de concentración
DPAH	Alarma de presión diferencial alta
DPAL	Alarma de presión diferencial baja
DPCV	Válvula de control de presión diferencial
DPIC	Controlador Indicador de presión diferencial
DPE	Sensor de presión diferencial
DPSH	Interruptor de presión diferencial alta
DPSL	Interruptor de presión diferencial baja
DPT	Transmisor de presión diferencial
DPY	Transductor I/P para el control de presión diferencial
FCV	Válvula de control de caudal
FE	Sensor de caudal
FIC	Controlador Indicador de caudal
FT	Transmisor de caudal
FY	Transductor I/P para el control de caudal
LAH	Alarma de nivel de líquido alto
LAL	Alarma de nivel de líquido bajo
LE	Sensor de nivel de líquido
LIC	Controlador Indicador de nivel de líquido
LSH	Interruptor de nivel de líquido alto
LSL	Interruptor de nivel de líquido bajo
LT	Transmisor de nivel de líquido
LVC	Válvula de control de nivel de líquido
LY	Transductor I/P para el control de nivel de líquido
PAH	Alarma de presión alta
PAL	Alarma de presión baja
PCV	Válvula de control de presión
PE	Sensor de presión

Prefijos	Instrumento
CAL	Alarma de concentración baja
PIC	Controlador Indicador de presión
PSH	Interruptor de presión alta
PSL	Interruptor de presión baja
PT	Transmisor de presión
PY	Transductor I/P para el control de presión
TAH	Alarma de temperatura alta
TAL	Alarma de temperatura baja
TCV	Válvula de control de temperatura
TE	Sensor de temperatura
TIC	Controlador indicador de temperatura
TSH	Interruptor de temperatura alta
TSL	Interruptor de temperatura baja
TT	Transmisor de temperatura
TY	Transductor I/P para el control de temperatura
VFD	Variador de frecuencia

3.2.3 Simbología de los instrumentos de control

Tabla 3.2.4. Simbología de los instrumentos

	Montada en campo	Panel principal	Panel auxiliar
Instrumentos discretos			
Instrumentos de control distribuidos			
Función de computador			

	Montada en campo	Panel principal	Panel auxiliar
Instrumentos discretos			
Función de control lógico programable			

Aparte de la codificación alfanumérica mediante la representación de los lazos de control en los diagramas de instrumentación. Requiere el uso de una simbología gráfica normalizada. Esta representación geométrica permite identificar de manera visual e inmediata dos atributos fundamentales de cada dispositivo: la arquitectura tecnológica del instrumento y su ubicación física y accesibilidad por parte del personal de operación. La combinación de la forma geométrica exterior y las líneas divisorias internas configura el símbolo definitivo de cada elemento dentro del plano.

Clasificación según la tecnología (formas geométricas):

- Instrumentos discretos (Círculo): Elementos físicos e independientes dedicados a una sola función específica en el proceso.
- Control distribuido o DCS (Círculo en un cuadrado): Funciones de control y monitorización compartidas, operadas a través de pantallas de visualización.
- Función de computador (Hexágono): Procesamiento de datos o lazos de control ejecutados por un sistema informático central.
- Control lógico programable o PLC (Rombo en un cuadrado): Control secuencial y lógicas de enclavamiento (*interlocks*) gestionados por un autómata.

Clasificación según la ubicación y accesibilidad (líneas internas):

- Montada en campo (sin línea): El instrumento está instalado físicamente en la línea de proceso o equipo, por lo que solo es accesible de manera presencial.

- Panel principal (Línea horizontal simple): El dispositivo o la función está ubicada en la consola central de la sala de control, siendo accesible de forma remota para el operador.

- Panel auxiliar (Línea horizontal doble): El elemento se sitúa en un armario secundario o panel local de la planta, fuera del campo visual directo de la sala principal pero accesible para mantenimiento o control local.

3.2.4 Simbología de las interconexiones de señales

A continuación, se presentan los diferentes tipos de señales y líneas de conexión utilizadas en los diagramas PID del proyecto para enlazar los instrumentos y equipos:

Tabla 3.2.5. Simbología de las conexiones de señales

	Conexión a proceso, enlace mecánico, o alimentación de instrumentos.
	Señal indefinida
ó	Señal Eléctrica
E.U. Internacional	
	Señal Hidráulica
	Señal Neumática
	Señal electromagnética o sónica (guiada)
	Señal electromagnética o sónica (no guiada)
	Señal neumática binaria
ó	Señal eléctrica binaria
	Tubo capilar
	Enlace de sistema interno (software o enlace de información)
	Enlace mecánico

3.3 Instrumentación de la planta

3.3.1 Sensores

Como se ha comentado anteriormente, los sensores son dispositivos o sistemas que responden a la medida de una magnitud y la transmiten en forma de señal, normalmente eléctrica, a otro dispositivo o sistema. Por lo que a continuación, se verán definidos el tipo o tipos de sensores que se utilizan en la planta de Formics Chemical, en función de la magnitud que se quiera controlar

- Temperatura

En el caso de la temperatura, se ha adoptado una estrategia según el equipo. Para las líneas de proceso generales y tanques de almacenamiento, donde se requiere un control preciso y lineal, se hace uso de sensores RTD [1] (Detector de temperatura de resistencia), los cuales ofrecen una excelente repetibilidad y estabilidad a largo plazo. No obstante, para los reactores, se ha optado por termopares industriales [2], cuya capacidad para soportar rangos térmicos elevados y cambios bruscos de temperatura es muy útil para la detección de picos de temperatura (*hot spots*), previniendo y controlando así la degradación del catalizador. Para mitigar los riesgos de los vapores inflamables, toda la instrumentación se ha seleccionado bajo criterios ATEX.

- Nivel

Para la medición de nivel en tanques, tanto de almacenamiento de metanol como de producto final, se utiliza el radar de onda guiada [3] (GWR) con certificación ATEX II. Esta elección se justifica debido a la alta volatilidad de las mezclas de metanol y formaldehído, las cuales operan bajo una atmósfera inertizada con nitrógeno (N2). El radar GWR garantiza una medición continua y precisa, que es inmune a las variaciones en la densidad del fluido, la presencia de espuma en la superficie o la composición de la atmósfera de gas inerte, asegurando control y seguridad del proceso independientemente de las condiciones internas del tanque.

- Presión

La monitorización de la presión en la planta es muy importante para mantener las condiciones operativas de la reacción y minimizar riesgos de sobrepresión en líneas inflamables. Para ello, se han utilizado cuatro tecnologías que cumplen rigurosamente con la normativa ATEX para atmósferas explosivas. En primer lugar, los sensores piezorresistivos [4] se emplean en los lazos de control general del proceso debido a su alta sensibilidad y rápido tiempo de respuesta. Los cuales usan sello de diafragma, los cuales aíslan físicamente el elemento interno mediante una membrana de alta resistencia química para evitar obstrucciones. Por otra parte, los sensores de presión diferencial [5] se implementan para medir la pérdida de carga a través del lecho catalítico del reactor. Finalmente, e independientes de toda la electrónica de control, se utilizan presostatos mecánicos de seguridad [6]. Estos dispositivos actúan por deformación mecánica al alcanzar el límite de diseño, ejecutando de forma instantánea los enclavamientos críticos (interlocks) de parada de emergencia como última barrera de defensa activa de la planta.

- Caudal

En cuanto a la gestión de caudales, se ha elegido un tipo de sensor basado en la precisión másica. Debido a la importancia de la medición en la alimentación de metanol, se han elegido caudalímetros másicos de efecto Coriolis [7] con certificación ATEX II, ya que mantener la relación entre el metanol y el aire es fundamental para mantener y evitar mezclas fuera de rango que podrían derivar en atmósferas explosivas.

- Conductividad

La medición de la conductividad es un parámetro importante en el lazo de recirculación del tratamiento biológico de gases. Permite cuantificar indirectamente la concentración total de iones (salinidad) generados por la acumulación de sales y metabolitos durante la degradación de los contaminantes. Un control preciso de esta variable es vital para controlar las purgas del sistema y evitar que un exceso de presión osmótica inactive la biomasa. El uso de conductímetros tradicionales de contacto queda descartado por el rápido ensuciamiento de sus electrodos. Por ello, se ha seleccionado un sensor de conductividad de principio inductivo (toroidal) [8].

En la siguiente sección, se presentan las fichas técnicas detalladas de cada uno de los sensores seleccionados para el control y la seguridad de la planta. Tal como se ha justificado, toda la instrumentación seleccionada cuenta con certificación ATEX, habiéndose determinado una especificación dentro de la certificación ATEX en función de la naturaleza del riesgo y la zona Zona 0, 1 o 2 del equipo o línea donde van instalados.

3.3.1.1 Temperatura

FICHA DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE INSTRUMENTACIÓN	
Tipo de Equipo:	**Sensor RTD**
Hoja 1 de 2	21/04/2026

IDENTIFICACIÓN DEL INSTRUMENTO Y TAG		
Código de Tag / Ítem ID	TE-PT100-A400 / Zonas de Proceso	
Variable Medida de Proceso	Temperatura de proceso	
Fluido de Proceso Asociado	Formaldehído comercial, metanol líquido, agua de refrigeración	
Estado Físico del Fluido	Líquido / Fase vapor condensable	
CONDICIONES OPERATIVAS DE SERVICIO EN PLANTA		
Parámetro de Proceso	**Límite Operativo Mínimo**	**Límite Operativo Máximo**
Temperatura del Medio	-50 °C	400 °C
Presión de Operación	-0.5 bar r	16.0 bar r
PARÁMETROS METROLÓGICOS Y ELÉCTRICOS		
Rango de Medida Calibrado	-50.0 a 400.0 °C	
Precisión / Tolerancia Máxima	< ± 0.15 °C a 0 °C	
Señal de Salida e Interfaces	4 - 20 mA + Protocolo HART® digital	
Requerimiento de Alimentación	12 a 35 V DC	
Tiempo de Respuesta (t90)	< 4.5 segundos	
Certificado de Calibración	Sí	
Indicador Digital Integrado	Sí	
CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS Y CONSTRUCTIVAS		
Tecnología Interna del Sensor	Termorresistencia Pt100 de película delgada, sonda de triple hilo (3 hilos) para compensación de línea	
Tipo de Conexión Mecánica	Brida normalizada ANSI 1-1/2" Clase 150 o DIN DN40 PN16	
Material de la Carcasa Externa	Aluminio fundido a presión con recubrimiento epoxi	
Material de Elementos Húmedos	Acero Inoxidable AISI 316L	
Límites de Temp. Diseño	-50 °C a 450 °C	**Presión Máx. Diseño** 40.0 bar r
Grado de Protección Enclosure	IP66 / IP67	
Orientación de Montaje Admitida	Inserción recta perpendicular	

FICHA DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE INSTRUMENTACIÓN	
Tipo de Equipo:	**Sensor RTD**
Hoja 1 de 2	21/04/2026

CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS Y CONSTRUCTIVAS			
Tecnología Interna del Sensor	Termopar de Metal Base Tipo N		
Tipo de Conexión Mecánica	Brida normalizada ANSI 2" Clase 300		
Material de la Carcasa Externa	Aluminio fundido		
Material de Elementos Húmedos	Inconel 600 o Acero Inoxidable refractario AISI 310		
Límites de Temp. Diseño	-40 °C a 1150 °C	**Presión Máx. Diseño**	25.0 bar r
Grado de Protección Enclosure	IP68		
Orientación de Montaje Admitida	Inserción recta perpendicular u oblicua a contracorriente en tubería		
SEGURIDAD INDUSTRIAL Y MODELOS DE REFERENCIA			
Clasificación de Áreas (ATEX)	ATEX II 1G Ex ia IIC T6 Ga		
Nivel de Integridad de Seguridad (SIL)	Apto y certificado para lazos de seguridad instrumentados con requerimiento SIL 2		
Fabricante Sugerido	Endress+Hauser	**Modelo de Catálogo**	Omnigrad TR10
ESQUEMA			



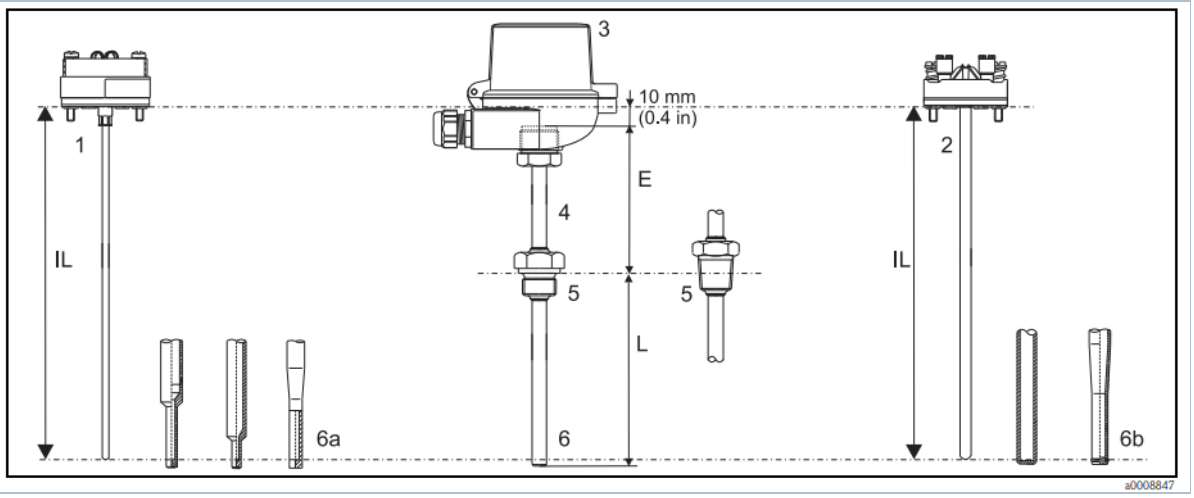
FORMICS	**FICHA DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE INSTRUMENTACIÓN**	
	Tipo de Equipo:	**Sensor de Temperatura con Termopar Industrial (Tipo N / K)**
	Hoja 1 de 2	21/04/2026

IDENTIFICACIÓN DEL INSTRUMENTO Y TAG			
Código de Tag / Ítem ID	TE-TC-HT / Zonas de Fuego y Alta Temp		
Variable Medida de Proceso	Temperatura de proceso		
Fluido de Proceso Asociado	Gases de combustión, aceite térmico a alta temperatura, corrientes gaseosas reactivas		
Estado Físico del Fluido	Gaseoso / Gas de combustión a alta velocidad		
CONDICIONES OPERATIVAS DE SERVICIO EN PLANTA			
Parámetro de Proceso	**Límite Operativo Mínimo**	**Límite Operativo Máximo**	
Temperatura del Medio	200 °C	1000 °C	
Presión de Operación	0.0 bar r	10.0 bar r	
PARÁMETROS METROLÓGICOS Y ELÉCTRICOS			
Rango de Medida Calibrado	0.0 a 1100.0 °C		
Precisión / Tolerancia Máxima	< ± 1.5 °C o ± 0.4% de la lectura		
Señal de Salida e Interfaces	4 - 20 mA + Protocolo HART® digital		
Requerimiento de Alimentación	12 a 35 V DC		
Tiempo de Respuesta (t90)	< 2.0 segundos		
Certificado de Calibración	Sí		
Indicador Digital Integrado	Sí		
CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS Y CONSTRUCTIVAS			
Tecnología Interna del Sensor	Termopar de Metal Base Tipo N		
Tipo de Conexión Mecánica	Brida normalizada ANSI 2" Clase 300 o brida de alta temperatura refractaria		
Material de la Carcasa Externa	Aluminio fundido		
Material de Elementos Húmedos	Inconel 600 o Acero Inoxidable refractario AISI 310		
Límites de Temp. Diseño	-40 °C a 1150 °C	**Presión Máx. Diseño**	25.0 bar r
Grado de Protección Enclosure	IP68		
Orientación de Montaje Admitida	Inserción recta perpendicular u oblicua a contracorriente en tubería		

FICHA DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE INSTRUMENTACIÓN	
Tipo de Equipo:	**Sensor de Temperatura con Termopar Industrial (Tipo N / K)**
Hoja 2 de 2	21/04/2026

SEGURIDAD INDUSTRIAL Y MODELOS DE REFERENCIA			
Clasificación de Áreas (ATEX)	ATEX II 2G Ex d IIC T6 Gb		
Nivel de Integridad de Seguridad (SIL)	Apto y certificado para lazos de seguridad instrumentados con requerimiento SIL 2		
Fabricante Sugerido	Endress+Hauser	**Modelo de Catálogo**	Omnigrad TC10

ESQUEMA



3.3.1.2 Presión

FICHA DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE INSTRUMENTACIÓN	
Tipo de Equipo:	**Sensor de Presión Absoluta/Relativa piezorresistivo**
Hoja 1 de 2	21/04/2026

IDENTIFICACIÓN DEL INSTRUMENTO Y TAG			
Código de Tag / Ítem ID	PT-301-1 / PT-CA301-B		
Variable Medida de Proceso	Presión relativa de proceso		
Fluido de Proceso Asociado	Formaldehído comercial		
Estado Físico del Fluido	Líquido / Vapor condensable		
CONDICIONES OPERATIVAS DE SERVICIO EN PLANTA			
Parámetro de Proceso	**Límite Operativo Mínimo**	**Límite Operativo Máximo**	
Temperatura del Medio	40 °C	120 °C	
Presión de Operación	0.2 bar	3.5 bar	
PARÁMETROS METROLÓGICOS Y ELÉCTRICOS			
Rango de Medida Calibrado	0.0 a 6.0 bar		
Precisión / Tolerancia Máxima	< ± 0.075%		
Señal de Salida e Interfaces	4 - 20 mA + Protocolo HART		
Requerimiento de Alimentación	12 a 35 V DC		
Tiempo de Respuesta (t90)	< 0.20 segundos		
Certificado de Calibración	Sí		
Indicador Digital Integrado	Sí		
CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS Y CONSTRUCTIVAS			
Tecnología Interna del Sensor	Sensor piezorresistivo acoplado a sello de diafragma remoto		
Tipo de Conexión Mecánica	Brida normalizada DIN DN50 PN16 o ANSI 2" Clase 150		
Material de la Carcasa Externa	Acero Inoxidable AISI 316L		
Material de Elementos Húmedos	Hastelloy C-276		
Límites de Temp. Diseño	-40 °C a 200 °C	**Presión Máx. Diseño**	16.0 bar
Grado de Protección Enclosure	IP67 / NEMA 4X		
Orientación de Montaje Admitida	Montaje vertical u horizontal (Se recomienda ajuste de cero tras su instalación mecánica)		

	FICHA DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE INSTRUMENTACIÓN	
FORMICS	**Tipo de Equipo:**	**Sensor de Presión Absoluta/Relativa con Sello de Diafragma**
	Hoja 2 de 2	21/04/2026

SEGURIDAD INDUSTRIAL Y MODELOS DE REFERENCIA			
Clasificación de Áreas (ATEX)	ATEX II 1/2G Ex ia IIC T4 Ga/Gb		
Fabricante Sugerido	Endress+Hauser	**Modelo de Catálogo**	Cerabar PMP71

ESQUEMA



FORMICS	FICHA DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE INSTRUMENTACIÓN	
	Tipo de Equipo:	Transmisor de Presión Diferencial
	Hoja 1 de 2	21/04/2026

IDENTIFICACIÓN DEL INSTRUMENTO Y TAG			
Código de Tag / Ítem ID	PDT-CA301-1		
Variable Medida de Proceso	Presión diferencial		
Fluido de Proceso Asociado	Gases de proceso		
Estado Físico del Fluido	Bifásico		
CONDICIONES OPERATIVAS DE SERVICIO EN PLANTA			
Parámetro de Proceso	Límite Operativo Mínimo	Límite Operativo Máximo	
Temperatura del Medio	30 °C	90 °C	
Presión de Operación	0.05 bar	1.2 bar	
PARÁMETROS METROLÓGICOS Y ELÉCTRICOS			
Rango de Medida Calibrado	0.0 a 500.0 mbar		
Precisión / Tolerancia Máxima	< ± 0.065% de la escala completa		
Señal de Salida e Interfaces	4 - 20 mA + HART		
Requerimiento de Alimentación	12 a 35 V DC		
Tiempo de Respuesta (t90)	< 0.25 segundos		
Certificado de Calibración	Sí		
Indicador Digital Integrado	Sí		
CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS Y CONSTRUCTIVAS			
Tecnología Interna del Sensor	Transmisor de presión diferencial con doble capilar relleno y dos sellos de diafragma remotos		
Tipo de Conexión Mecánica	Doble brida DIN DN50 PN16		
Material de la Carcasa Externa	Acero Inoxidable AISI 316L		
Material de Elementos Húmedos	Hastelloy C-276 o AISI 316L con recubrimiento de protección en PTFE		
Límites de Temp. Diseño	-20 °C a 150 °C	Presión Máx. Diseño	10.0 bar
Grado de Protección Enclosure	IP67		
Orientación de Montaje Admitida	Montaje local mediante soporte rígido en tubería vertical u horizontal de 2"		

FICHA DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE INSTRUMENTACIÓN		
Tipo de Equipo:	**Transmisor de Presión Diferencial (ΔP)**	
Hoja 2 de 2		21/04/2026

SEGURIDAD INDUSTRIAL Y MODELOS DE REFERENCIA			
Clasificación de Áreas (ATEX)	ATEX II 2G Ex ia IIC T4 Gb (Apto para operación continua en atmósferas clasificadas Zona 1)		
Fabricante Sugerido	Endress+Hauser	**Modelo de Catálogo**	Deltabar PMD75
ESQUEMA			



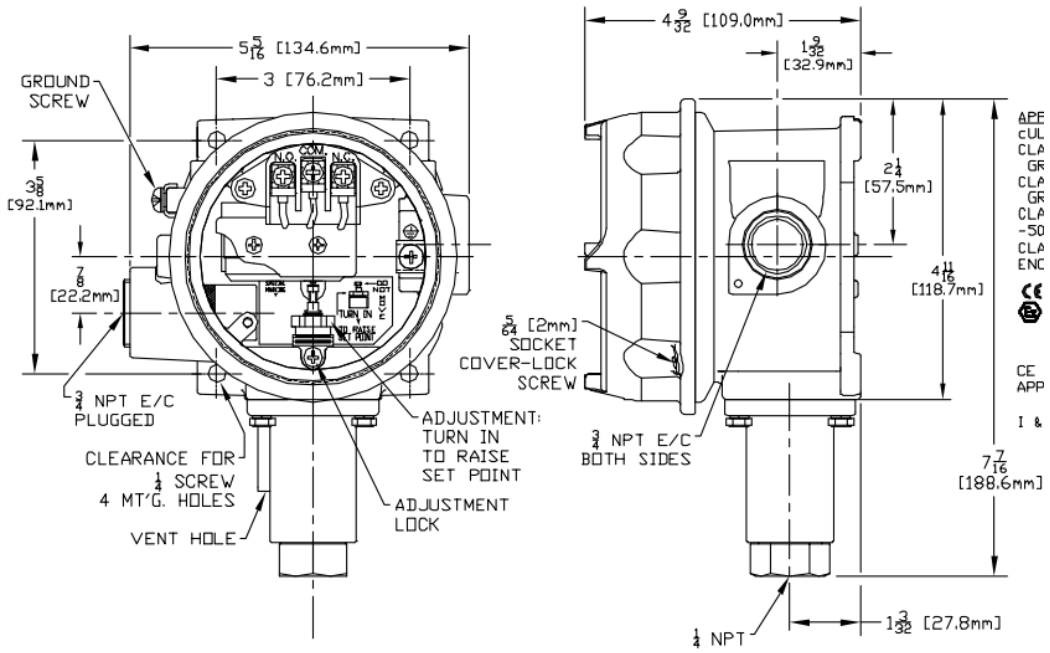
FICHA DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE INSTRUMENTACIÓN	
Tipo de Equipo:	**Presostato**
Hoja 1 de 2	21/04/2026

IDENTIFICACIÓN DEL INSTRUMENTO Y TAG			
Código de Tag / Ítem ID	PSH-301-1 / PSL-301-1		
Variable Medida de Proceso	Presión relativa		
Fluido de Proceso Asociado	Gases de proceso / Mezcla gaseosa inflamable de aire de carga y metanol		
Estado Físico del Fluido	Gaseoso		
CONDICIONES OPERATIVAS DE SERVICIO EN PLANTA			
Parámetro de Proceso	**Límite Operativo Mínimo**	**Límite Operativo Máximo**	
Temperatura del Medio	20 °C	220 °C	
Presión de Operación	0.3 bar	2.5 bar	
PARÁMETROS METROLÓGICOS Y ELÉCTRICOS			
Rango de Medida Calibrado	0.0 a 4.0 bar		
Precisión / Tolerancia Máxima	< ± 1.0%		
Señal de Salida e Interfaces	Contacto seco SPDT		
Requerimiento de Alimentación	No requiere		
Tiempo de Respuesta (t90)	< 0.05 segundos		
Certificado de Calibración	Sí		
Indicador Digital Integrado	No aplicable		
CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS Y CONSTRUCTIVAS			
Tecnología Interna del Sensor	Mecanismo de pistón de carrera corta indexado y balanceado por diafragma flexible de alta resistencia		
Tipo de Conexión Mecánica	Rosca rígida 1/2" NPT macho		
Material de la Carcasa Externa	Aluminio libre de cobre con revestimiento exterior de pintura epoxi de grado marino		
Material de Elementos Húmedos	Acero Inoxidable AISI 316L		
Límites de Temp. Diseño	-30 °C a 160 °C	**Presión Máx. Diseño**	25.0 bar
Grado de Protección Enclosure	IP66 / Carcasa antideflagrante NEMA 7, 9		
Orientación de Montaje Admitida	Cualquier orientación, aunque se prefiere vertical para facilitar el guiado mecánico del cableado		

FICHA DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE INSTRUMENTACIÓN	
Tipo de Equipo:	**Interruptor de Presión Mecánico / Presostato de Seguridad**
Planta / Proceso: Fecha / Rev:	21/04/2026

SEGURIDAD INDUSTRIAL Y MODELOS DE REFERENCIA			
Clasificación de Áreas (ATEX)	ATEX II 2G Ex d IIC T6 Gb		
Fabricante Sugerido	United Electric Controls (UE)	**Modelo de Catálogo**	UE Series 120 (tipo 703)

ESQUEMA



3.3.1.3 Nivel

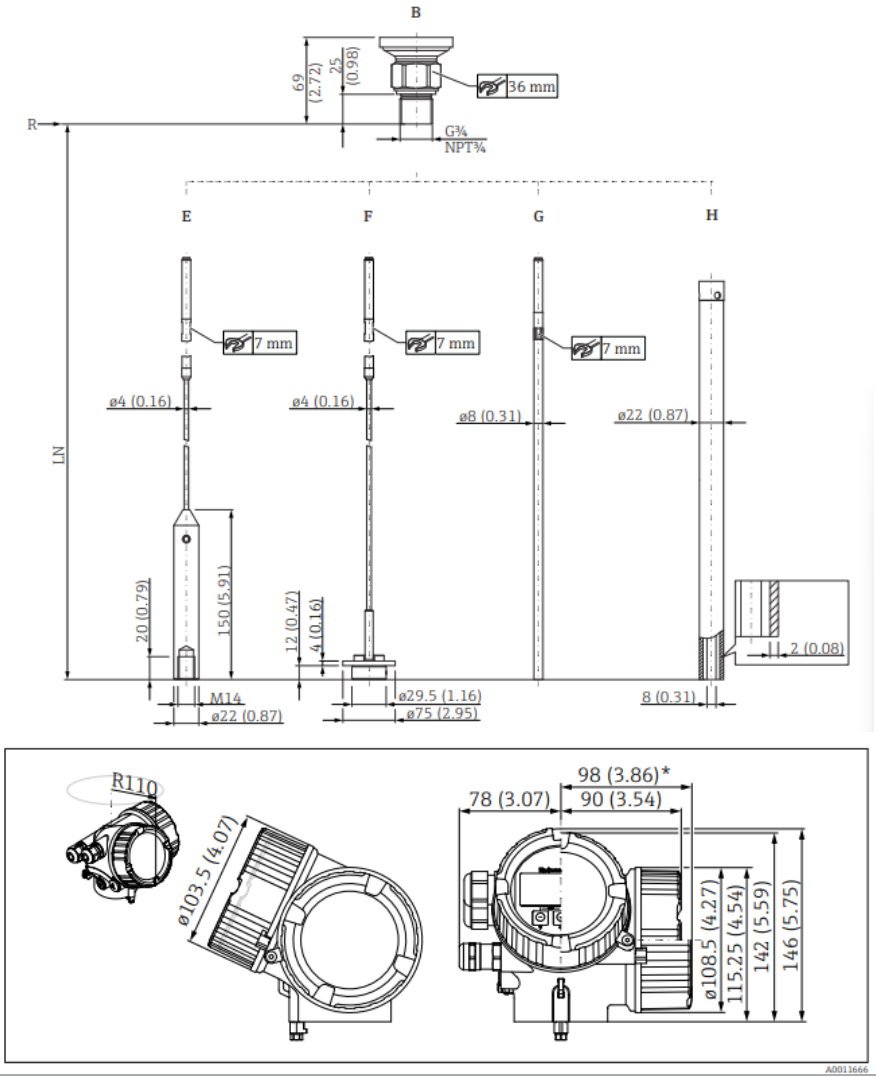
FICHA DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE INSTRUMENTACIÓN		
Tipo de Equipo:	**Sensor de Nivel Continuo por Radar de Onda Guiada (GWR)**	
Hoja 1 de 2		21/04/2026

IDENTIFICACIÓN DEL INSTRUMENTO Y TAG			
Código de Tag / Ítem ID	LT-T401 / LT-T402 / LT-T403 / LT-T404		
Variable Medida de Proceso	Nivel continuo de producto líquido		
Fluido de Proceso Asociado	Producto químico orgánico		
Estado Físico del Fluido	Fase líquida inferior y capa de gas presurizado		
CONDICIONES OPERATIVAS DE SERVICIO EN PLANTA			
Parámetro de Proceso	**Límite Operativo Mínimo**	**Límite Operativo Máximo**	
Temperatura del Medio	10 °C	60 °C	
Presión de Operación	5.0 mbar	50.0 mbar	
PARÁMETROS METROLÓGICOS Y ELÉCTRICOS			
Rango de Medida Calibrado	0.0 a 6.0 metros		
Precisión / Tolerancia Máxima	< ± 2.0 mm		
Señal de Salida e Interfaces	4 - 20 mA		
Requerimiento de Alimentación	24 V DC		
Tiempo de Respuesta	< 1.0 segundos		
Certificado de Calibración	Sí		
Indicador Digital Integrado	Sí		
CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS Y CONSTRUCTIVAS			
Tecnología Interna del Sensor	Sonda electromagnética TDR		
Tipo de Conexión Mecánica	Brida superior recta DIN DN50 PN16 o ANSI 2" Clase 150		
Material de la Carcasa Externa	Aluminio fundido a presión sin cobre, recubierto de pintura epoxi anticorrosiva		
Material de Elementos Húmedos	Acero Inoxidable AISI 316L (Juntas de sellado en PTFE/FKM)		
Límites de Temp. Diseño	-40 °C a 150 °C	**Presión Máx. Diseño**	16.0 bar
Grado de Protección Enclosure	IP68		
Orientación de Montaje Admitida	Instalación cenital vertical estricta, respetando las distancias de despeje radial desde la pared del tanque		

FICHA DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE INSTRUMENTACIÓN		
Tipo de Equipo:	**Transmisor de Nivel Continuo por Radar de Onda Guiada (GWR)**	
Hoja 2 de 2		21/04/2026

SEGURIDAD INDUSTRIAL Y MODELOS DE REFERENCIA			
Clasificación de Áreas (ATEX)	ATEX II 1/2G Ex ia IIC T6 Ga/Gb (Certificado mixto para sonda en Zona 0 y cabezal en Zona 1)		
Fabricante Sugerido	Endress+Hauser	**Modelo de Catálogo**	Levelflex FMP51

ESQUEMA



3.2.1.4 Caudal

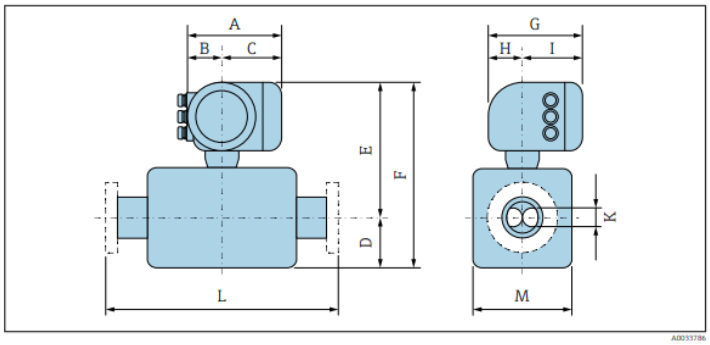
FICHA DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE INSTRUMENTACIÓN	
Tipo de Equipo:	**Transmisor de Caudal másico por Efecto Coriolis**
Hoja 1 de 2	21/04/2026

IDENTIFICACIÓN DEL INSTRUMENTO Y TAG			
Código de Tag / Ítem ID	FIT-MEOH-401 / FIT-FORM-402		
Variable Medida de Proceso	Caudal másico directo, densidad en línea y temperatura del fluido		
Fluido de Proceso Asociado	Metanol puro de alimentación líquida / Formaldehído concentrado base		
Estado Físico del Fluido	Líquido homogéneo puro / Mezcla líquida de alta viscosidad relativa		
CONDICIONES OPERATIVAS DE SERVICIO EN PLANTA			
Parámetro de Proceso	**Límite Operativo Mínimo**	**Límite Operativo Máximo**	
Temperatura del Medio	10 °C	75 °C	
Presión de Operación	1.5 bar r	12.0 bar r	
PARÁMETROS METROLÓGICOS Y ELÉCTRICOS			
Rango de Medida Calibrado	0.0 a 25,000.0 kg/h		
Precisión / Tolerancia Máxima	< ± 0.10%		
Señal de Salida e Interfaces	4 - 20 mA + HART® digital		
Salidas Adicionales de Canal	Salida de pulsos/frecuencia configurable		
Tiempo de Respuesta (t90)	< 0.20 segundos		
Certificado de Calibración	Sí		
Indicador Digital Integrado	Sí		
CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS Y CONSTRUCTIVAS			
Tecnología Interna del Sensor	Tubos oscilantes paralelos en doble bucle de torsión geométrica		
Tipo de Conexión Mecánica	Brida normalizada ANSI 2" Clase 150 RF (Cara levantada) / DIN DN50 PN16		
Material de la Carcasa Externa	Acero Inoxidable AISI 304 hermético		
Material de Elementos Húmedos	Acero Inoxidable AISI 316L		
Límites de Temp. Diseño	-50 °C a 180 °C	**Presión Máx. Diseño**	40.0 bar r
Grado de Protección Enclosure	IP66 / IP67		
Orientación de Montaje Admitida	Tubos hacia abajo para líquidos		

FICHA DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE INSTRUMENTACIÓN	
Tipo de Equipo:	**Transmisor de Caudal másico por Efecto Coriolis**
Hoja 1 de 2	21/04/2026

SEGURIDAD INDUSTRIAL Y MODELOS DE REFERENCIA			
Clasificación de Áreas (ATEX)	ATEX II 1/2G Ex d [ia] IIC T6 Ga/Gb		
Nivel de Integridad de Seguridad (SIL)	Apto y certificado según IEC 61508		
Fabricante Sugerido	Endress+Hauser	**Modelo de Catálogo**	Promass F 300

ESQUEMA



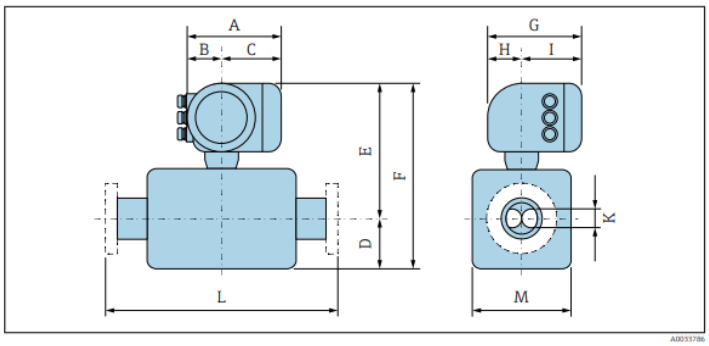
Código de pedido para "Caja", opción A "Aluminio, recubierto"

DN [mm]	A [1] [mm]	B [1] [mm]	C [mm]	D [mm]	E [2] [3] [mm]	F [2] [3] [mm]	G [4] [mm]	H [mm]	I [4] [mm]	K [mm]	L [mm]	M [mm]
8	169	68	101	75	259,5	334,5	200	59	141	5,35	[5]	70
15	169	68	101	75	259,5	334,5	200	59	141	8,31	[5]	70
25	169	68	101	75 [6]	259,5	334,5	200	59	141	12,0	[5]	70
40	169	68	101	105	264,5	369,5	200	59	141	17,6	[5]	79
50	169	68	101	141	274,5	415,5	200	59	141	26,0	[5]	99
80	169	68	101	200	294,5	494,5	200	59	141	40,5	[5]	139
100	169	68	101	254	312,5	566,5	200	59	141	51,2	[5]	176
150	169	68	101	378	333,5	711,5	200	59	141	68,9	[5]	218
250	169	68	101	548	377,5	925,5	200	59	141	102,3	[5]	305

3.2.1.5 Conductividad

FICHA DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE INSTRUMENTACIÓN	
Tipo de Equipo:	**Sensor de conductividad Inductivo (Tiroidal)**
Hoja 1 de 2	21/04/2026

ESPECIFICACIONES GENERALES	
Fabricante	Endress+Hauser
Modelo	Indumax CLS50D
Tipo de Medición	Inductiva
Tecnología de Transmisión	Digital
CONDICIONES DE PROCESO Y OPERACIÓN	
Fluido Líquido	Licor de lavado acuoso con biomasa activa
Componentes Principales	Agua, trazas de metanol, formaldehído y sales disueltas
Temperatura de Operación	25 °C – 35 °C
Presión de Operación	1.013 bar
Comportamiento Crítico	Riesgo extremo de ensuciamiento biológico (*biofouling*)
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS Y PERFORMANCE	
Rango de Medición Mín/Máx	2 µS/cm a 2000 mS/cm
Límite de Temperatura	-20 °C a +125 °C
Límite de Presión Máxima	21 bar
Sensor de Temperatura Integrado	Pt1000
Precisión de Medición	± (0.5% del valor medido + 5 µS/cm)
ESPECIFICACIONES MECÁNICAS Y MATERIALES	
Material en Contacto con Fluido	PEEK (Polieteretercetona) de alta resistencia química
Conexión a Proceso	Brida normalizada DN50 / Rosca G ¾
Grado de Protección Estanca	IP68
Peso Neto del Equipo	0.65 kg
ALIMENTACIÓN Y COMUNICACIÓN	
Señal de Salida	4-20 mA
Conexión Eléctrica	Cable de conexión inductivo sin contactos mecánicos
Integración en Planta	Conexión directa al Sistema de Control Distribuido (DCS)
ESQUEMA	



Código de pedido para "Caja", opción A "Aluminio, recubierto"

DN [mm]	A [1] [mm]	B [1] [mm]	C [mm]	D [mm]	E [2] [3] [mm]	F [2] [3] [mm]	G [4] [mm]	H [mm]	I [4] [mm]	K [mm]	L [mm]	M [mm]
8	169	68	101	75	259,5	334,5	200	59	141	5,35	[5]	70
15	169	68	101	75	259,5	334,5	200	59	141	8,31	[5]	70
25	169	68	101	75 [6]	259,5	334,5	200	59	141	12,0	[5]	70
40	169	68	101	105	264,5	369,5	200	59	141	17,6	[5]	79
50	169	68	101	141	274,5	415,5	200	59	141	26,0	[5]	99
80	169	68	101	200	294,5	494,5	200	59	141	40,5	[5]	139
100	169	68	101	254	312,5	566,5	200	59	141	51,2	[5]	176
150	169	68	101	378	333,5	711,5	200	59	141	68,9	[5]	218
250	169	68	101	548	377,5	925,5	200	59	141	102,3	[5]	305

3.3.2 Elementos finales de control

Los elementos finales de control, como se ha comentado anteriormente, son los dispositivos encargados de modificar físicamente las variables manipuladas del proceso (como el caudal o la presión) en respuesta a la señal de salida calculada por el controlador. Su acción directa altera los balances de materia y energía para mantener la planta dentro de los límites de operación seguros y óptimos.
A continuación, se describen las tres tecnologías principales implementadas en el proyecto:

- **Válvulas Todo o Nada (On/Off)**

Son elementos de control binario que operan exclusivamente en dos estados: completamente abiertos o completamente cerrados. Su función principal no es la regulación fina del flujo, sino el aislamiento seguro de líneas de proceso, el desvío de corrientes, la alimentación secuencial de reactivos y la activación de los lazos de enclavamiento o *interlocks* y paradas de emergencia [8].

- **Válvulas de regulación**

Son dispositivos diseñados para modular de forma continua y precisa el área de paso del fluido a lo largo de toda su carrera del 0% al 100%. Al variar dinámicamente la pérdida de carga en la línea en respuesta a una señal analógica como 4-20 mA, se permite estabilizar variables críticas del proceso (caudal, nivel, temperatura) dentro de un lazo de control cerrado [9].

- **Variadores de frecuencia (VFD)**

Son sistemas electrónicos que regulan el caudal o la presión modificando directamente la velocidad de rotación de los motores eléctricos asociados a equipos dinámicos como bombas centrífugas o ventiladores. A diferencia de las válvulas de regulación, que estrangulan el fluido y generan pérdidas energéticas, los variadores ajustan la velocidad del motor a la demanda exacta del proceso, optimizando drásticamente la eficiencia energética y reduciendo el desgaste mecánico [10].

A continuación, se encuentran las fichas técnicas de cada uno de los elementos finales que se han explicado y se han implementado en la planta:

HOJA DE ESPECIFICACIONES VÁLVULA ON/OFF	FORMICS
Aprobado por:	Dirección Técnica
Fecha:	2026-05-31
DATOS DEL ELEMENTO FINAL	
Modelo	Series 240 · Type 3351
Funcionamiento	On/Off
Actuador	Neumático
Rango diámetro nominal	15 a 100
Rango presión (bar)	1 a 40
RANGO TEMPERATURA (ºc)	-150 a 250
DATOS DE CONSTRUCCIÓN	
Material del cuerpo	A 351 CF8M
Material actuador	NBR, EPDM o FKM con refuerzo
Conexión a proceso	Brida
CUMPLIMIENTO	
Normativas	CE / ATEX / SIL
DISTRIBUIDOR	
Empresa	Samson S.A.
ESQUEMA DEL INSTRUMENTO	
Esquema	



Fig. 1 · Válvula de accionamiento neumático todo-nada Tipo 3351-1

HOJA DE ESPECIFICACIONES VÁLVULA DE REGULACIÓN	FORMICS
APROBADO POR:	Dirección Técnica
FECHA:	2026-05-31
DATOS DEL ELEMENTO FINAL	
MODELO	Series 240 · Type 3241
FUNCIONAMIENTO	Regulación (4-20 mA)
ACTUADOR	Neumático
RANGO DIÁMETRO NOMINAL	15 a 150
RANGO PRESIÓN (bar)	1 a 40
RANGO TEMPERATURA (ºC)	-196 a 450
DATOS DE CONSTRUCCIÓN	
MATERIAL DEL CUERPO	A 216 WCB
MATERIAL ACTUADOR	Diafragma NBR
CONEXIÓN A PROCESO	Brida
CUMPLIMIENTO	
NORMATIVAS	CE / ATEX / SIL
DISTRIBUIDOR	
EMPRESA	Samson S.A.
ESQUEMA DEL INSTRUMENTO	
Esquema	



Fig. 1 · Válvula de control eléctrica Tipo 3241-4, con accionamiento eléctrico Tipo 3274

HOJA DE ESPECIFICACIONES VARIADOR (VFD)	FORMICS
APROBADO POR:	Dirección Técnica
FECHA:	2026-05-31
DATOS DEL ELEMENTO FINAL	
MODELO	SINAMICS G120
FUNCIONAMIENTO	Control Vectorial / V/f
ACTUADOR	Inversor Electrónico
RANGO DIÁMETRO NOMINAL	0.55 a 250
RANGO PRESIÓN (bar)	380 a 480 (Trifásico)
RANGO TEMPERATURA (ºC)	0 a 550
DATOS DE CONSTRUCCIÓN	
MATERIAL DEL CUERPO	Policarbonato / Aluminio
MATERIAL ACTUADOR	Ventilación Forzada
CONEXIÓN A PROCESO	Bornes Eléctricos / Profinet
CUMPLIMIENTO	
NORMATIVAS	CE / ATEX / SIL
DISTRIBUIDOR	
EMPRESA	SIEMENS S.A.
ESQUEMA DEL INSTRUMENTO	
Esquema	



3.3.3 Elementos de control

Para controlar la planta de manera automática, eficiente y segura, se ha seleccionado un Sistema de Control Distribuido (DCS) modelo Siemens SIMATIC PCS 7. Se ha elegido este sistema porque el proceso de la planta es continuo y cuenta con lazos de control muy críticos, como el perfil térmico del reactor, donde un PLC normal se quedaría corto para gestionar tantas variables a la vez. La gran ventaja de este DCS es que integra en un mismo sistema tanto la lógica de control de los equipos como las pantallas de supervisión (SCADA o HMI). Desde estas pantallas en la sala de control, los operadores pueden ver el estado de la planta en tiempo real mediante gráficos dinámicos, cambiar los puntos de consigna (*set-points*) de los lazos y gestionar el sistema de alarmas si alguna variable se sale de sus límites normales de operación.

El algoritmo que utiliza este sistema para la regulación de las variables continuas de la planta es el control PID (Proporcional-Integral-Derivativo), el cual se ha comentado en el primer apartado. Este algoritmo compara constantemente el valor real medido por el sensor con el valor que queremos conseguir y calcula la corrección que debe enviar al actuador. La parte proporcional da una respuesta rápida según el tamaño del error actual; la parte integral elimina la desviación a largo plazo para que el valor sea exacto; y la parte derivativa actúa como un freno si la variable cambia de golpe ante una perturbación. La sintonización de estos lazos se realiza con las herramientas de calibración del propio software de Siemens para conseguir que el sistema sea estable y no dé tirones que puedan dañar los equipos.

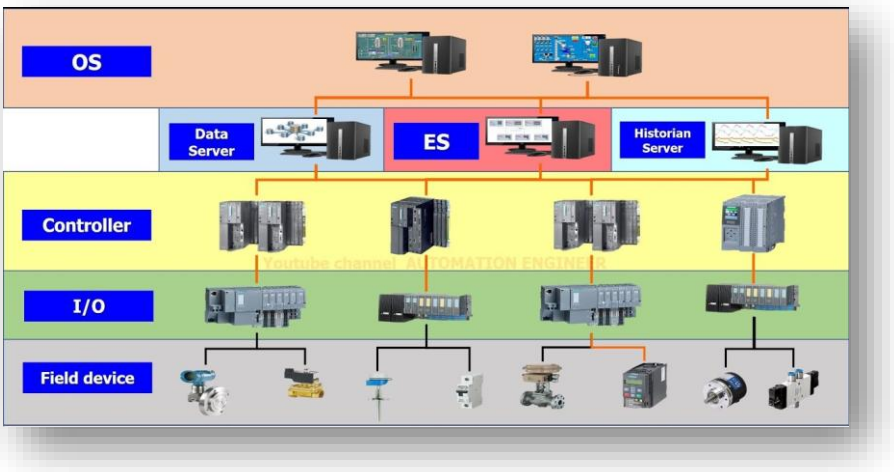


Figura 3.3.6. Esquema sistema de control distribuido SIMATIC PCS 7

Aunque el DCS controla toda la planta a nivel global, la arquitectura se complementa con Autómatas Programables (PLC) independientes para las llamadas unidades de paquete. Estas unidades son equipos cerrados que se compran directamente a un proveedor especializado, como pueden ser el compresor de gases de proceso o bombas. Como estos equipos tienen un

funcionamiento interno muy específico y crítico para su propia seguridad mecánica, el fabricante los ofrece al mercado con su propio PLC programado de fábrica. Para integrarlos en la planta, estos PLC se conectan al DCS principal mediante un cable de red industrial. De este modo, el DCS central puede enviar órdenes generales de marcha o paro y leer las variables más importantes para que el operador las vea en su pantalla, pero sin interferir en la programación interna del equipo.

3.4 Listado de lazos de control de la planta

En la sección siguiente, se presentan los listados de los lazos de control de cada uno de los equipos, de cada una de las áreas, diferenciadas por el tipo de variable que controlan y por el tipo de lazo que utilizan. A su vez, se especifican tanto las variables controladas y manipuladas como los elementos primarios y secundarios.

3.4.1 Zona almacenamiento materia prima A-100

FORMICS	Hoja 1 de 1		LISTADO DE LAZOS DE CONTROL		
	Área planta	A-100	Fecha	20/05/2026	
			Revisión	30/05/2026	
Nomenclatura equipo	**Nomenclatura lazo**	**Variable controlada**	**Variable manipulada**	**Elemento primario**	**Elemento secundario**	**Configuración**
T-101	**L-T101-1**	Nivel del tanque de almacenamiento	Caudal de entrada y salida del tanque	LSL-T101-1 y LSH-T101-1	LCV-T101-1 y LCVT-101-2	Secuencial digital
	T-T101-1	Temperatura del tanque de almacenamiento	-	-	-	lazo abierto
	P-T101-1	Presión en el interior del tanque de almacenamiento	Entrada de nitrógeno y salida de gas	PE-T101-1	PCV-T101-1, PCV-T101-2	Feedback
T-102	**L-T102-2**	Nivel del tanque de almacenamiento	Caudal de entrada y salida del tanque	LSL-T102-1 y LSH-T102-1	LCV-T102-1 y LCV-T102-2	Secuencial digital
	T-T102-2	Temperatura del tanque de almacenamiento	-	-	-	lazo abierto
	P-T102-2	Presión en el interior del tanque de almacenamiento	Entrada de nitrógeno y salida de gas	PE-T102-1	PCV-T102-1, PCV-T102-2	Feedback
T-103	**L-T103-3**	Nivel del tanque de almacenamiento	Caudal de entrada y salida del tanque	LSL-T103-1 y LSH-T103-1	LCV-T103-1 y LCV-T103-2	Secuencial digital
	T-T103-3	Temperatura del tanque de almacenamiento	-	-	-	lazo abierto
	P-T103-3	Presión en el interior del tanque de almacenamiento	Entrada de nitrógeno y salida de gas	PE-T103-1	PCV-T103-1, PCV-T103-2	Feedback
T-104	**L-T104-4**	Nivel del tanque de almacenamiento	Caudal de entrada y salida del tanque	LSL-T104-1 y LSH-T104-1	LCV-T104-1 y LCV-T104-2	Secuencial digital
	T-T104-4	Temperatura del tanque de almacenamiento	-	-	-	lazo abierto
	P-T104-4	Presión en el interior del tanque de almacenamiento	Entrada de nitrógeno y salida de gas	PE-T104-1	PCV-T104-1, PCV-T104-2	Feedback

3.4.2 Zona de reacción (A-200)

FORMICS	Hoja 1 de 2		LISTADO DE LAZOS DE CONTROL		
	Área planta	A-200	**Fecha**	20/05/2026	
			Revisión	30/05/2026	
Nomenclatura equipo	**Nomenclatura lazo**	**Variable controlada**	**Variable manipulada**	**Elemento primario**	**Elemento secundario**	**Configuración**
R-201	**F-R201-1**	Caudal de reactivos de entrada	Apertura de válvula de alimentación principal	FE-R201-1	FCV-R201-1	Ratio control
	P-R201-1	Presión	Caudal de venteo de vapor generado	PE-R201-1	PCV-R201-1 y PCV-R201-2	Split range
	T-R201-1	Temperatura	Caudal aceite térmico	TE-R201-1 y FE-R201-1	FCV-R201-1	Cascada
	dP-R201-1	Presión diferencial	Apertura de válvula en bypass de reactivos	DPE-R201-1	DPCV-214	Feedback
R-202	**F-R202-1**	Caudal de reactivos de entrada	Apertura de válvula de alimentación	FE-R202-1	FCV-R202-1	Ratio control
	P-R202-1	Presión	Caudal de venteo de vapor generado	PE-R202-1	PCV-R202-1 y PCV-R202-2	Split range
	T-R202-1	Temperatura	Caudal aceite térmico	TE-R202-1 y FE-R202-1	FCV-R202-1	Cascada
	dP-R202-1	Presión diferencial	Apertura de válvula en bypass	DPE-R202-1	DPCV-R202-1	Feedback
E-201	**T-E201-1**	Temperatura de salida de la mezcla gaseosa	Caudal de vapor de servicio de calentamiento	TE-E201-1	TCV-E201-1	Feedback
	F-E201-1	Caudal de metanol líquido de alimentación	Apertura de la válvula de entrada al evaporador	FE-E201-1	FCV-E201-1	Feedback
	P-E201-1	Presión	Venteo / Alivio de presión de carcasa	PE-E201-1	PCV-E201-1	Feedback
	dP-E201-1	Presión diferencial	Apertura de válvula en bypass salida	DPE-E201-1	DPCV-E201-1	Feedback

		Hoja 2 de 2		LISTADO DE LAZOS DE CONTROL		
		Área planta	A-200	Fecha	20/05/2026	
				Revisión	30/05/2026	
Nomenclatura equipo	**Nomenclatura lazo**	**Variable controlada**	**Variable manipulada**	**Elemento primario**	**Elemento secundario**	**Configuración**
E-202	**T-E202-1**	Temperatura de gases de entrada al reactor	Caudal de fluido térmico de bypass	TE-E202-1	TCV-E202-1	Feedback
	F-E202-1	Caudal de gas de proceso de entrada	Regulación de flujo balanceado	FE-E202-1	FCV-E202-1	Feedback
	dP-E202-1	Presión diferencial	Apertura de válvula en bypass salida	DPE-E202-1	DPCV-E202-1	Feedback

3.4.3 Zona absorción y tratamiento de gases (A-300)

FORMICS	Hoja 1 de 2		LISTADO DE LAZOS DE CONTROL		
	Área planta	A-300	Fecha	20/05/2026	
			Revisión	30/05/2026	
Nomenclatura equipo	**Nomenclatura lazo**	**Variable controlada**	**Variable manipulada**	**Elemento primario**	**Elemento secundario**	**Configuración**
CA-301	**P-CA301**	Presión en cabeza de la columna de absorción	Caudal de salida de gases de cola	PE-CA301-1	PCV-CA301-1 y PCV-CA301-2	Split range
	F-CA301	Caudal de alimentación de gas	Apertura de la válvula de admisión de gas	FE-CA301-1	FCV-CA301-1	Feedback
AC-301	**dP-AC301**	Presión diferencial	Apertura de válvula en bypass salida	DPE-CA301-1	DPCV-AC301-1	Feedback
	F-AC301	Caudal de aire de entrada	Apertura de la válvula	FE-CA301-1	FCV-AC301-1	Feedback
	T-AC301	Temperatura de acondicionamiento de la muestra	Potencia del calentador/enfriador del lazo analítico	FE-CA301 y TE-CA301	FCV-AC301	Cascada
E-301	**dP-E301**	Presión diferencial	Apertura de válvula en bypass salida	DPE-E301-1	DPCV-E301-1	Feedback
	F-E301	Caudal de amoníaco de entrada	Apertura de la válvula	FE-E301-1	FCV-E301-1	Feedback
	T-E301	Temperatura del solvente enfriado de salida	Caudal de agua de refrigeración de servicio	FE-E301-1 y TE-E301-1	FCV-E301-1	Cascada
LG-301	**F-LG301**	Caudal de descarga de producto del fondo de columna	Apertura de válvula de purga a almacenamiento	FE-LG301-1	FCV-301	Feedback
	P-LG301	Presión columna	Venteo/alivio presión carcasa	PE-LG301-1	PCV-LG301-1 y PCV-LG301-2	Split range

FORMICS	Hoja 2 de 2		LISTADO DE LAZOS DE CONTROL		
	Área planta	A-300	Fecha	20/05/2026	
			Revisión	30/05/2026	
Nomenclatura equipo	**Nomenclatura lazo**	**Variable controlada**	**Variable manipulada**	**Elemento primario**	**Elemento secundario**	**Configuración**
LG-302	**F-LG302**	Caudal de descarga de producto del fondo de columna	Apertura de válvula de purga a almacenamiento	FE-LG302-1	FCV-LG302-1	Feedback
	P-LG302	Presión columna	Venteo/alivio presión carcasa	PE-LG302-1	PCV-LG302-1 y PCV-LG302-2	Split range
RB-301	**P-RB302**	Presión reactor	Apertura/cierra válvula entrada N2	PE-RB302-1	PCV-RB302-1 y PCV-RB302-2	Split range
	C-RB301	Concentración / Composición de la mezcla	Velocidad giro agitador y caudal de aire de entrada	CE-RB301-1	VFD-RB301-1 / VFD-CO-301-1 y VFD-CO-301-2	Split rango/ Cascada

3.4.4 Zona almacenamiento producto acabado

FORMICS	Hoja 1 de 1		LISTADO DE LAZOS DE CONTROL		
	Área planta	A-400	**Fecha**	20/05/2026	
			Revisión	30/05/2026	
Nomenclatura equipo	**Nomenclatura lazo**	**Variable controlada**	**Variable manipulada**	**Elemento primario**	**Elemento secundario**	**Configuración**
T-401	**L-T401-1**	Nivel del tanque de almacenamiento	Caudal de entrada y salida del tanque	LSL-T401-1 y LSH-T401-1	LCV-T401-1 y LCV-T401-2	Secuencial digital
	T-T401-1	Temperatura del tanque de almacenamiento	-	-	-	Feedback
	P-T401-1	Presión en el interior del tanque de almacenamiento	Entrada de nitrógeno y salida de gas	PE-T401-1	PCV-T401-1, PCV-T401-2	Lazo abierto
T-402	**L-T402-2**	Nivel del tanque de almacenamiento	Caudal de entrada y salida del tanque	LSL-T402-1 y LSH-T402-1	LCV-T402-1 y LCV-T402-2	Secuencial digital
	T-T402-2	Temperatura del tanque de almacenamiento	-	-	-	Lazo abierto
	P-T402-2	Presión en el interior del tanque de almacenamiento	Entrada de nitrógeno y salida de gas	PE-T402-1	PCV-T402-1, PCV-T402-2	Feedback
T-403	**L-T403-3**	Nivel del tanque de almacenamiento	Caudal de entrada y salida del tanque	LSL-T403-1 y LSH-T403-1	LCV-T403-1 y LCV-T403-2	Secuencial digital
	T-T403-3	Temperatura del tanque de almacenamiento	-	-	-	Lazo abierto
	P-T403-3	Presión en el interior del tanque de almacenamiento	Entrada de nitrógeno y salida de gas	PE-T403-1	PCV-T403-1, PCV-T403-2	Feedback
T-404	**L-T404-4**	Nivel del tanque de almacenamiento	Caudal de entrada y salida del tanque	LSL-T404-1 y LSH-T404-1	LCV-T404-1 y LCV-T404-2	Secuencial digital
	T-T404-4	Temperatura del tanque de almacenamiento	-	-	-	Lazo abierto
	P-T404-4	Presión en el interior del tanque de almacenamiento	Entrada de nitrógeno y salida de gas	PE-T404-1	PCV-T404-1, PCV-T404-2	Feedback

3.5 Listado de la instrumentación

3.5.1 Almacenamiento de las materias primas (A-100)

	Hoja 1 de 4	LISTADO DE INSTRUMENTACIÓN		
FORMICS	Área planta	A-100	Fecha	21/05/2026
			Revisión	30/05/2026

Nomenclatura equipo	ID	Descripción	Ubicación	Actuación
T-101	LIC-T101-1	Controlador Indicador de nivel	En sala de control	Eléctrica
	LY-T101-1	Transductor I/P	En campo	Electroneumática
	LY-T101-2	Transductor I/P	En campo	Electroneumática
	LCV-T101-1	Válvula de control de nivel	En campo	Neumática
	LCV-T101-2	Válvula de control de nivel	En campo	Neumática
	LSH-T101-1	Interruptor de nivel alto	En campo	Eléctrica
	LAH-T101-1	Alarma de nivel alto	En sala de control	Eléctrica
	LSL-T101-1	Interruptor de nivel bajo	En campo	Eléctrica
	LAL-T101-1	Alarma de nivel bajo	En sala de control	Eléctrica
	TE-T101-1	Sensor de temperatura	En campo	Eléctrica
	TT-T101-1	Transmisor de temperatura	En campo	Eléctrica
	TIC-T101-1	Controlador Indicador de temperatura	En sala de control	Eléctrica
	PE-T101-1	Sensor de presión	En campo	Eléctrica
	PT-T101-1	Transmisor de presión	En campo	Eléctrica
	PIC-T101-1	Controlador Indicador de presión	En sala de control	Eléctrica
	PY-T101-1	Transductor I/P	En campo	Electroneumática
	PCV-T101-1	Válvula de control de presión	En campo	Neumática
	PCV-T101-2	Válvula de control de presión	En campo	Neumática
	PSH-T101-1	Interruptor de presión alta	En campo	Eléctrica
	PAH-T101-1	Alarma de presión alta	En sala de control	Eléctrica
	PSL-T101-1	Interruptor de presión baja	En campo	Eléctrica
	PAL-T101-1	Alarma de presión baja	En sala de control	Eléctrica

	Hoja 2 de 4	LISTADO DE INSTRUMENTACIÓN		
FORMICS	Área planta	A-100	Fecha	21/05/2026
			Revisión	30/05/2026

Nomenclatura equipo	ID	Descripción	Ubicación	Actuación
T-102	LIC-T102-1	Controlador Indicador de nivel	En sala de control	Eléctrica
	LY-T102-1	Transductor I/P	En campo	Electroneumática
	LY-T102-2	Transductor I/P	En campo	Electroneumática
	LCV-T102-1	Válvula de control de nivel	En campo	Neumática
	LCV-T102-2	Válvula de control de nivel	En campo	Neumática
	LSH-T102-1	Interruptor de nivel alto	En campo	Eléctrica
	LAH-T102-1	Alarma de nivel alto	En sala de control	Eléctrica
	LSL-T102-1	Interruptor de nivel bajo	En campo	Eléctrica
	LAL-T102-1	Alarma de nivel bajo	En sala de control	Eléctrica
	TE-T102-1	Sensor de temperatura	En campo	Eléctrica
	TT-T102-1	Transmisor de temperatura	En campo	Eléctrica
	TIC-T102-1	Controlador Indicador de temperatura	En sala de control	Eléctrica
	PSH-T102-1	Interruptor de presión alta	En campo	Eléctrica
	PAH-T102-1	Alarma de presión alta	En sala de control	Eléctrica
	PSL-T102-1	Interruptor de presión baja	En campo	Eléctrica
	PAL-T102-1	Alarma de presión baja	En sala de control	Eléctrica
	PE-T102-1	Sensor de presión	En campo	Eléctrica
	PT-T102-1	Transmisor de presión	En campo	Eléctrica
	PIC-T102-1	Controlador Indicador de presión	En sala de control	Eléctrica
	PY-T102-1	Transductor I/P	En campo	Electroneumática
	PCV-T102-1	Válvula de control de presión	En campo	Neumática
	PCV-T102-2	Válvula de control de presión	En campo	Neumática

	Hoja 3 de 4	LISTADO DE INSTRUMENTACIÓN		
FORMICS	Área planta	A-100	Fecha	21/05/2026
			Revisión	30/05/2026

Nomenclatura equipo	ID	Descripción	Ubicación	Actuación
T-103	LIC-T103-1	Controlador Indicador de nivel	En sala de control	Eléctrica
	LY-T103-1	Transductor I/P	En campo	Electroneumática
	LY-T103-2	Transductor I/P	En campo	Electroneumática
	LCV-T103-1	Válvula de control de nivel	En campo	Neumática
	LCV-T103-2	Válvula de control de nivel	En campo	Neumática
	LSH-T103-1	Interruptor de nivel alto	En campo	Eléctrica
	LAH-T103-1	Alarma de nivel alto	En sala de control	Eléctrica
	LSL-T103-1	Interruptor de nivel bajo	En campo	Eléctrica
	LAL-T103-1	Alarma de nivel bajo	En sala de control	Eléctrica
	TE-T103-1	Sensor de temperatura	En campo	Eléctrica
	TT-T103-1	Transmisor de temperatura	En campo	Eléctrica
	TIC-T103-1	Controlador Indicador de temperatura	En sala de control	Eléctrica
	PSH-T103-1	Interruptor de presión alta	En campo	Eléctrica
	PAH-T103-1	Alarma de presión alta	En sala de control	Eléctrica
	PSL-T103-1	Interruptor de presión baja	En campo	Eléctrica
	PAL-T104-1	Alarma de presión baja	En sala de control	Eléctrica
	PE-T103-1	Sensor de presión	En campo	Eléctrica
	PT-T103-1	Transmisor de presión	En campo	Eléctrica
	PIC-T103-1	Controlador Indicador de presión	En sala de control	Eléctrica
	PY-T103-1	Transductor I/P	En campo	Electroneumática
	PCV-T103-1	Válvula de control de presión	En campo	Neumática
	PCV-T103-2	Válvula de control de presión	En campo	Neumática

FORMICS	Hoja 4 de 4	LISTADO DE INSTRUMENTACIÓ		
	Área planta	A-100	Fecha	21/05/2026
			Revisión	30/05/2026

Nomenclatura equipo	ID	Descripción	Ubicación	Actuación
T-104	LIC-T104-1	Controlador Indicador de nivel	En sala de control	Eléctrica
	LY-T104-1	Transductor I/P	En campo	Electroneumática
	LY-T104-2	Transductor I/P	En campo	Electroneumática
	LCV-T104-1	Válvula de control de nivel	En campo	Neumática
	LCV-T104-2	Válvula de control de nivel	En campo	Neumática
	LSH-T104-1	Interruptor de nivel alto	En campo	Eléctrica
	LAH-T104-1	Alarma de nivel alto	En sala de control	Eléctrica
	LSL-T104-1	Interruptor de nivel bajo	En campo	Eléctrica
	LAL-T104-1	Alarma de nivel bajo	En sala de control	Eléctrica
	TE-T104-1	Sensor de temperatura	En campo	Eléctrica
	TT-T104-1	Transmisor de temperatura	En campo	Eléctrica
	TIC-T104-1	Controlador Indicador de temperatura	En sala de control	Eléctrica
	PSH-T104-1	Interruptor de presión alta	En campo	Eléctrica
	PAH-T104-1	Alarma de presión alta	En sala de control	Eléctrica
	PSL-T104-1	Interruptor de presión baja	En campo	Eléctrica
	PAL-T104-1	Alarma de presión baja	En sala de control	Eléctrica
	PE-T104-1	Sensor de presión	En campo	Eléctrica
	PT-T104-1	Transmisor de presión	En campo	Eléctrica
	PIC-T104-1	Controlador Indicador de presión	En sala de control	Eléctrica
	PY-T104-1	Transductor I/P	En campo	Electroneumática
	PCV-T104-1	Válvula de control de presión	En campo	Neumática
	PCV-T104-2	Válvula de control de presión	En campo	Neumática

3.5.2 Zona reacción

	Hoja 1 de 7	LISTADO DE INSTRUMENTACIÓN		
FORMICS	Área planta	A-200	Fecha	21/05/2026
			Revisión	30/05/2026

Nomenclatura equipo	ID	Descripción	Ubicación	Actuación
R-201	FE-R201-1	Elemento primario de caudal	En campo	Eléctrica
	FT-R201-1	Transmisor de caudal de reactivos	En campo	Eléctrica
	FIC-R201-1	Controlador Indicador de caudal	Sala de control	Eléctrica
	FY-R201-1	Transductor de señal (I/P)	En campo	Electroneumática
	FCV-R201-1	Válvula de control de caudal principal	En campo	Neumática
	PE-R201-1	Sensor de presión del domo de vapor	En campo	Eléctrica
	PT-R201-1	Transmisor de presión del domo de vapor	En campo	Eléctrica
	PIC-R201-1	Controlador Indicador de presión	Sala de control	Eléctrica
	PY-R201-1	Transductor de señal (I/P) de venteo	En campo	Electroneumática
	PCV-R201-1	Válvula de control de presión de nitrógeno	En campo	Neumática
	PCV-R201-2	Válvula de control de presión de nitrógeno	En campo	Neumática
	PSH-R201-1	Interruptor de presión alta	En campo	Eléctrica
	PSL-R201-1	Interruptor de presión baja	En campo	Eléctrica
	PAH-R201-1	Alarma de presión alta	Sala de control	Eléctrica
	PAL-R201-1	Alarma de presión baja	Sala de control	Eléctrica
	TE-R201-1	Sensor de temperatura	En campo	Eléctrica
	TT-R201-1	Transmisor de temperatura de lecho	En campo	Eléctrica
	TIC-R201-1	Controlador de temperatura	Sala de control	Eléctrica
	TSH-R201-1	Interruptor de temperatura alta	En campo	Eléctrica
	TSL-R201-1	Interruptor de temperatura baja	En campo	Eléctrica
	TAH-R201-1	Alarma de temperatura alta	Sala de control	Eléctrica
	TAL-R201-1	Alarma de temperatura baja	Sala de control	Eléctrica
	DPE-R201-1	Sensor de presión diferencial	En campo	Eléctrica
	DPT-R201-1	Transmisor de presión diferencial	En campo	Eléctrica
	DPIC-R201-1	Controlador Indicador de presión diferencial	Sala de control	Eléctrica

FORMICS	Hoja 2 de 7	LISTADO DE INSTRUMENTACIÓN		
	Área planta	A-200	**Fecha**	21/05/2026
			Revisión	30/05/2026

R-201	DPCV-R201-1	Válvula de control de diferencial de presión	Sala de control	Neumática
	DPSH-R201-1	Interruptor de temperatura alta	En campo	Eléctrica
	DPSL-R201-1	Interruptor de temperatura baja	En campo	Eléctrica
	DPAH-R201-1	Alarma de temperatura alta	Sala de control	Eléctrica
	DPAL-R201-1	Alarma de temperatura baja	Sala de control	Eléctrica

FORMICS	Hoja 3 de 7	LISTADO DE INSTRUMENTACIÓN		
	Área planta	A-200	Fecha	21/05/2026
			Revisión	30/05/2026

Nomenclatura equipo	ID	Descripción	Ubicación	Actuación
R-202	FE-R202-1	Elemento primario de caudal	En campo	Eléctrica
	FT-R202-1	Transmisor de caudal de reactivos	En campo	Eléctrica
	FIC-R202-1	Controlador Indicador de caudal	Sala de control	Eléctrica
	FY-R202-1	Transductor de señal (I/P)	En campo	Electroneumática
	FCV-R202-1	Válvula de control de caudal principal	En campo	Neumática
	PE-R202-1	Sensor de presión del domo de vapor	En campo	Eléctrica
	PT-R202-1	Transmisor de presión del domo de vapor	En campo	Eléctrica
	PIC-R202-1	Controlador Indicador de presión	Sala de control	Eléctrica
	PY-R202-1	Transductor de señal (I/P) de venteo	En campo	Electroneumática
	PCV-R202-1	Válvula de control de presión de nitrógeno	En campo	Neumática
	PCV-R202-2	Válvula de control de presión de nitrógeno	En campo	Neumática
	PSH-R202-1	Interruptor de presión alta	En campo	Eléctrica
	PSL-R202-1	Interruptor de presión baja	En campo	Eléctrica
	PAH-R202-1	Alarma de presión alta	Sala de control	Eléctrica
	PAL-R202-1	Alarma de presión baja	Sala de control	Eléctrica
	TE-R202-1	Sensor de temperatura	En campo	Eléctrica
	TT-R202-1	Transmisor de temperatura de lecho	En campo	Eléctrica
	TIC-R202-1	Controlador de temperatura	Sala de control	Eléctrica
	TSH-R202-1	Interruptor de temperatura alta	En campo	Eléctrica
	TSL-R202-1	Interruptor de temperatura baja	En campo	Eléctrica
	TAH-R202-1	Alarma de temperatura alta	Sala de control	Eléctrica
	TAL-R202-1	Alarma de temperatura baja	Sala de control	Eléctrica
	DPE-R202-1	Sensor de presión diferencial	En campo	Eléctrica
	DPT-R202-1	Transmisor de presión diferencial	En campo	Eléctrica
	DPIC-R202-1	Controlador Indicador de presión diferencial	Sala de control	Eléctrica

	Hoja 4 de 7	LISTADO DE INSTRUMENTACIÓN		
	Área planta	A-200	**Fecha**	21/05/2026
			Revisión	30/05/2026

R-202	DPCV-R202-1	Válvula de control de diferencial de presión	Sala de control	Neumática
	DPSH-R202-1	Interruptor de temperatura alta	En campo	Eléctrica
	DPSL-R202-1	Interruptor de temperatura baja	En campo	Eléctrica
	DPAH-R202-1	Alarma de temperatura alta	Sala de control	Eléctrica
	DPAL-R202-1	Alarma de temperatura baja	Sala de control	Eléctrica

	Hoja 5 de 7	LISTADO DE INSTRUMENTACIÓN		
FORMICS	Área planta	A-200	Fecha	21/05/2026
			Revisión	30/05/2026

Nomenclatura equipo	ID	Descripción	Ubicación	Actuación
E-201	TE-E201-1	Sensor de temperatura (Salida gas)	En campo	Eléctrica
	TT-E201-1	Transmisor de temperatura	En campo	Eléctrica
	TIC-E201-1	Controlador de temperatura de salida	Sala de control	Eléctrica
	TY-E201-1	Transductor de señal (I/P) para vapor	En campo	Neumática
	TCV-E201-1	Válvula de control de vapor de servicio	En campo	Neumática
	TSH-E201-1	Interruptor de temperatura alta	En campo	Eléctrica
	TSL-E201-1	Interruptor de temperatura baja	En campo	Eléctrica
	TAH-E201-1	Alarma de temperatura alta	Sala de control	Eléctrica
	TAL-E201-1	Alarma de temperatura baja	Sala de control	Eléctrica
	FE-E201-1	Elemento primario de caudal (metanol)	En campo	Eléctrica
	FT-E201-1	Transmisor de caudal de metanol líquido	En campo	Eléctrica
	FIC-E201-1	Controlador de caudal de alimentación	Sala de control	Eléctrica
	FY-E201-1	Transductor de señal (I/P) de metanol	En campo	Neumática
	FCV-E201-1	Válvula de control de entrada de metanol	En campo	Neumática
	PE-E201-1	Sensor de presión interna del evaporador	En campo	Eléctrica
	PT-E201-1	Transmisor de presión de carcasa	En campo	Eléctrica
	PIC-E201-1	Controlador Indicador de presión interna	Sala de control	Eléctrica
	PY-E201-1	Transductor de señal (I/P)	En campo	Neumática
	PCV-E201-1	Válvula de control de presión de carcasa	En campo	Neumática
	DPE-E201-1	Sensor de presión diferencial	En campo	Eléctrica
	DPT-E201-1	Transmisor de presión diferencial	En campo	Eléctrica
	DPI-E201-1	Indicador de caída de presión por ensuciamiento	Sala de control	Eléctrica
	DPCV-E201-1	Válvula de control de diferencial de presión	Sala de control	Neumática

FORMICS	Hoja 6 de 7	LISTADO DE INSTRUMENTACIÓN		
	Área planta	A-200	**Fecha**	21/05/2026
			Revisión	30/05/2026

E-201	DPSH-E201-1	Interruptor de temperatura alta	En campo	Eléctrica
	DPSL-E201-1	Interruptor de temperatura baja	En campo	Eléctrica
	DPAH-E201-1	Alarma de temperatura alta	Sala de control	Eléctrica
	DPAL-E201-1	Alarma de temperatura baja	Sala de control	Eléctrica

FORMICS	Hoja 7 de 7	LISTADO DE INSTRUMENTACIÓN		
	Área planta	A-200	**Fecha**	21/05/2026
			Revisión	30/05/2026

Nomenclatura equipo	ID	Descripción	Ubicación	Actuación
E-202	TE-E202-1	Sensor de temperatura	En campo	Eléctrica
	TT-E202-1	Transmisor de temperatura	En campo	Eléctrica
	TIC-E202-1	Controlador de temperatura	Sala de control	Eléctrica
	TY-E202-1	Transductor de señal (I/P)	En campo	Neumática
	TCV-E202-1	Válvula de control de bypass fluido térmico	En campo	Neumática
	FE-E202-1	Elemento primario de caudal	En campo	Eléctrica
	FT-E202-1	Transmisor de caudal de gas	En campo	Eléctrica
	FIC-E202-1	Controlador Indicador de caudal	Sala de control	Eléctrica
	FCV-E202-1	Válvula de control / regulación de flujo	En campo	Neumática
	DPE-E202-1	Sensor de presión diferencial del equipo	En campo	Eléctrica
	DPT-E202-1	Transmisor de presión diferencial	En campo	Eléctrica
	DPI-E202-1	Indicador de caída de presión en DCS	Sala de control	Eléctrica
	DPCV-E-202-1	Válvula de control de diferencial de presión	Sala de control	Neumática
	DPSH-E202-1	Interruptor de temperatura alta	En campo	Eléctrica
	DPSL-E202-1	Interruptor de temperatura baja	En campo	Eléctrica
	DPAH-E202-1	Alarma de temperatura alta	Sala de control	Eléctrica
	DPAL-E202-1	Alarma de temperatura baja	Sala de control	Eléctrica
	TSH-E202-1	Interruptor de temperatura alta	En campo	Eléctrica
	TSL-E202-1	Interruptor de temperatura baja	En campo	Eléctrica
	TAH-E202-1	Alarma de temperatura alta	Sala de control	Eléctrica
	TAL-E202-1	Alarma de temperatura baja	Sala de control	Eléctrica

3.5.3 Absorbedores

	Hoja 1 de 6	LISTADO DE INSTRUMENTACIÓN		
FORMICS	Área planta	A-300	Fecha	21/05/2026
			Revisión	30/05/2026

Nomenclatura equipo	ID	Descripción	Ubicación	Actuación
CA-301	PE-CA301	Sensor / Elemento de presión de cabeza de columna	En campo	Eléctrica
	PT-CA301	Transmisor de presión de cabeza de columna	En campo	Eléctrica
	PIC-CA301	Controlador Indicador de presión (Gases de cola)	Sala de control	Eléctrica
	PY-CA301	Transductor de señal (I/P)	En campo	Electroneumática
	PCV-CA301	Válvula de control de presión de cabeza	En campo	Neumática
	PSH-CA301	Interruptor de presión alta	En campo	Eléctrica
	PSL-CA301	Interruptor de presión baja	En campo	Eléctrica
	PAH-CA301	Alarma de presión alta	Sala de control	Eléctrica
	PAL-CA301	Alarma de presión baja	Sala de control	Eléctrica
	FE-CA301	Elemento primario de caudal (Alimentación de gas rico)	En campo	Eléctrica
	FT-CA301	Transmisor de caudal de gas rico de entrada	En campo	Eléctrica
	FIC-CA301	Controlador Indicador de caudal de gas rico	Sala de control	Eléctrica
	FY-CA301	Transductor de señal (I/P)	En campo	Electroneumática
	FCV-CA301	Válvula de control de admisión de gas rico	En campo	Neumática
	DPE-CA301	Sensor de presión diferencial de la columna	En campo	Eléctrica
	DPT-CA301	Transmisor de presión diferencial de la columna	En campo	Eléctrica
	DPIC-CA301	Controlador Indicador de presión diferencial	Sala de control	Eléctrica
	DPY-CA301	Transductor de señal (I/P)	En campo	Electroneumática
	DPCV-CA301-1	Válvula de control de presión diferencial	En campo	Neumática
	DPCV-CA302-2	Válvula de control de presión diferencial	En campo	Neumática
	DPSH-CA301	Interruptor de temperatura alta	En campo	Eléctrica
	DPSL-CA301	Interruptor de temperatura baja	En campo	Eléctrica
	DPAH-CA301	Alarma de temperatura alta	Sala de control	Eléctrica
	DPAL-CA301	Alarma de temperatura baja	Sala de control	Eléctrica

	Hoja 2 de 6	LISTADO DE INSTRUMENTACIÓN		
FORMICS	Área planta	A-300	Fecha	21/05/2026
			Revisión	30/05/2026

Nomenclatura equipo	ID	Descripción	Ubicación	Actuación
AC-301	DPE-AC301	Sensor de presión diferencial	En campo	Eléctrica
	DPT-AC301	Transmisor de presión diferencial	En campo	Eléctrica
	DPIC-AC301	Controlador de presión diferencial	Sala de control	Eléctrica
	DPY-AC301	Transductor de señal (I/P)	En campo	Electroneumática
	DPCV-AC301	Válvula de control de presión diferencial de muestra	En campo	Neumática
	FE-AC301	Elemento primario de caudal de muestreo continuo	En campo	Eléctrica
	FT-AC301	Transmisor de caudal de muestra de gas	En campo	Eléctrica
	FIC-AC301	Controlador de flujo de gas de muestra	Sala de control	Eléctrica
	FY-AC301	Transductor de señal (I/P)	En campo	Electroneumática
	FCV-AC-301	Válvula de control de caudal de muestra	En campo	Neumática
	TE-AC301	Sensor de temperatura de cámara analítica	En campo	Eléctrica
	TT-AC301	Transmisor de temperatura de muestra acondicionada	En campo	Eléctrica
	TIC-AC301	Controlador térmico de acondicionamiento de muestra	Sala de control	Eléctrica
	TSH-AC301	Interruptor de temperatura alta	En campo	Eléctrica
	TSL-AC301	Interruptor de temperatura baja	En campo	Eléctrica
	TAH-AC301	Alarma de temperatura alta	Sala de control	Eléctrica
	TAL-AC301	Alarma de temperatura baja	Sala de control	Eléctrica
	DPSH-AC301	Interruptor de temperatura alta	En campo	Eléctrica
	DPSL-AC301	Interruptor de temperatura baja	En campo	Eléctrica
	DPAH-AC301	Alarma de temperatura alta	Sala de control	Eléctrica
	DPAL-AC301	Alarma de temperatura baja	Sala de control	Eléctrica

	Hoja 3 de 6	LISTADO DE INSTRUMENTACIÓN		
FORMICS	Área planta	A-300	Fecha	21/05/2026
			Revisión	30/05/2026

Nomenclatura equipo	ID	Descripción	Ubicación	Actuación
E-301	DPE-E301	Sensor de presión diferencial	En campo	Eléctrica
	DPT-E301	Transmisor de presión diferencial	En campo	Eléctrica
	DPI-E301	Indicador de presión diferencial	Sala de control	Eléctrica
	FE-E301	Elemento primario de caudal	En campo	Eléctrica
	FT-E301	Transmisor de caudal de solvente pobre	En campo	Eléctrica
	FIC-E301	Controlador Indicador de flujo de solvente	Sala de control	Eléctrica
	TE-E301	Sensor de temperatura de salida del solvente enfriado	En campo	Eléctrica
	TT-E301	Transmisor de temperatura de solvente enfriado	En campo	Eléctrica
	TIC-E301	Controlador de temperatura de solvente	Sala de control	Eléctrica
	TY-E301	Transductor de señal (I/P)	En campo	Electroneumática
	TCV-E301	Válvula de control de agua de refrigeración	En campo	Neumática
	DPSH-E301	Interruptor de temperatura alta	En campo	Eléctrica
	DPSL-E301	Interruptor de temperatura baja	En campo	Eléctrica
	DPAH-E301	Alarma de temperatura alta	Sala de control	Eléctrica
	DPAL-E301	Alarma de temperatura baja	Sala de control	Eléctrica

FORMICS	Hoja 4 de 6	LISTADO DE INSTRUMENTACIÓN		
	Área planta	A-300	Fecha	21/05/2026
			Revisión	30/05/2026

Nomenclatura equipo	ID	Descripción	Ubicación	Actuación
LG-301	FE-LG301	Elemento primario de caudal de circuito auxiliar	En campo	Eléctrica
	FT-LG301	Transmisor de caudal del circuito de recirculación	En campo	Eléctrica
	FIC-LG301	Controlador de caudal de recirculación de tanque	Sala de control	Eléctrica
	PCV-LG301-1	Válvula de control de nivel / Retorno auxiliar	En campo	Neumática
	PE-LG301	Sensor de presión en el domo del tanque	En campo	Eléctrica
	PT-LG301	Transmisor de presión manométrica	En campo	Eléctrica
	PIC-LG301	Controlador de presión del tanque de recepción	Sala de control	Eléctrica
	PY-LG-301	Transductor de señal (I/P)	En campo	Electroneumática
	PCV-LG301-2	Válvula de control de presión	En campo	Neumática
	PSH-LG301	Interruptor de presión alta	En campo	Eléctrica
	PSL-LG301	Interruptor de presión baja	En campo	Eléctrica
	PAH-LG301	Alarma de presión alta	Sala de control	Eléctrica
	PAL-LG301	Alarma de presión baja	Sala de control	Eléctrica

FORMICS	Hoja 5 de 6	LISTADO DE INSTRUMENTACIÓN		
	Área planta	A-300	Fecha	21/05/2026
			Revisión	30/05/2026

Nomenclatura equipo	ID	Descripción	Ubicación	Actuación
LG-302	FE-LG302	Elemento primario de caudal de circuito auxiliar	En campo	Eléctrica
	FT-LG302	Transmisor de caudal del circuito de recirculación	En campo	Eléctrica
	FIC-LG302	Controlador de caudal de recirculación de tanque	Sala de control	Eléctrica
	PCV-LG302-1	Válvula de control de nivel / Retorno auxiliar	En campo	Neumática
	PE-LG302	Sensor de presión	En campo	Eléctrica
	PT-LG302	Transmisor de presión manométrica	En campo	Eléctrica
	PIC-LG302	Controlador de presión	Sala de control	Eléctrica
	PY-LG-302	Transductor de señal (I/P)	En campo	Electroneumática
	PCV-LG302-2	Válvula de control de presión	En campo	Neumática
	PSH-LG301	Interruptor de presión alta	En campo	Eléctrica
	PSL-LG301	Interruptor de presión baja	En campo	Eléctrica
	PAH-LG301	Alarma de presión alta	Sala de control	Eléctrica
	PAL-LG301	Alarma de presión baja	Sala de control	Eléctrica

FORMICS	Hoja 6 de 6	LISTADO DE INSTRUMENTACIÓN		
	Área planta	A-300	**Fecha**	21/05/2026
			Revisión	30/05/2026

Nomenclatura equipo	ID	Descripción	Ubicación	Actuación
RB-301	PE-RB301	Sensor de presión de línea de vapor de servicio	En campo	Eléctrica
	PT-RB301	Transmisor de presión de vapor de calentamiento	En campo	Eléctrica
	PIC-RB301	Controlador Indicador de presión de vapor	Sala de control	Eléctrica
	PY-RB301	Transductor de señal (I/P) para línea de vapor	En campo	Neumática
	PCV-RB301-1	Válvula de control de presión de vapor de servicio	En campo	Neumática
	PCV-RB301-2	Válvula de control de presión de vapor de servicio	En campo	Neumática
	PSH-RB301	Interruptor de presión alta	En campo	Eléctrica
	PSL-RB301	Interruptor de presión baja	En campo	Eléctrica
	PAH-RB301	Alarma de presión alta	Sala de control	Eléctrica
	PAL-RB301	Alarma de presión baja	Sala de control	Eléctrica
	CE-RB301	Elemento sensor / Sonda analítica de composición	En campo	Eléctrica
	CT-RB301	Transmisor electrónico del analizador de fondo	En campo	Eléctrica
	CIC-RB301	Controlador Indicador de concentración del rehervidor	Sala de control	Eléctrica

3.5.3 Almacenamiento de producto acabado (A-400)

	Hoja 1 de 4	LISTADO DE INSTRUMENTACIÓN		
FORMICS	Área planta	A-400	Fecha	21/05/2026
			Revisión	30/05/2026

Nomenclatura equipo	ID	Descripción	Ubicación	Actuación
T-401	LT-T401-1	Transmisor de nivel continuo	En campo	Eléctrica
	LIC-T401-1	Controlador Indicador de nivel	Sala de control	Eléctrica
	LSH-T401-1	Interruptor de nivel alto	En campo	Eléctrica
	LAH-T401-1	Alarma de nivel alto	Sala de control	Eléctrica
	LSL-T401-1	Interruptor de nivel bajo	En campo	Eléctrica
	LAL-T401-1	Alarma de nivel bajo	Sala de control	Eléctrica
	LY-T401-1	Transductor de señal I/P	En campo	Electroneumática
	LCV-T401-1	Válvula de control de nivel	En campo	Neumática
	LCV-T401-2	Válvula de control de nivel	En campo	Neumática
	PT-T401-1	Transmisor de presión de colchón inerte	En campo	Eléctrica
	PIC-T401-1	Controlador Indicador de presión	Sala de control	Eléctrica
	PSH-T401-1	Interruptor de presión alta	En campo	Eléctrica
	PAH-T401-1	Alarma de presión alta	Sala de control	Eléctrica
	PSL-T401-1	Interruptor de presión baja	En campo	Eléctrica
	PAL-T401-1	Alarma de presión baja	Sala de control	Eléctrica
	PCV-T401-1	Válvula reguladora de presión	En campo	Neumática
	PCV-T401-2	Válvula reguladora de presión	En campo	Neumática
	TE-T401-1	Elemento primario de temperatura	En campo	Eléctrica
	TT-T401-1	Transmisor de temperatura	En campo	Eléctrica
	TIC-T401-1	Controlador Indicador de temperatura	Sala de control	Eléctrica

FORMICS	Hoja 2 de 4	LISTADO DE INSTRUMENTACIÓN		
	Área planta	A-400	Fecha	21/05/2026
			Revisión	30/05/2026

Nomenclatura equip	ID	Descripción	Ubicación	Actuación
T-402	LT-T402-1	Transmisor de nivel continuo	En campo	Eléctrica
	LIC-T402-1	Controlador Indicador de nivel	Sala de control	Eléctrica
	LSH-T402-1	Interruptor de nivel alto	En campo	Eléctrica
	LAH-T402-1	Alarma de nivel alto	Sala de control	Eléctrica
	LSL-T402-1	Interruptor de nivel bajo	En campo	Eléctrica
	LAL-T402-1	Alarma de nivel bajo	Sala de control	Eléctrica
	LY-T402-1	Transductor de señal I/P	En campo	Electroneumática
	LCV-T402-1	Válvula de control de nivel	En campo	Neumática
	LCV-T402-2	Válvula de control de nivel	En campo	Neumática
	PT-T402-1	Transmisor de presión de colchón inerte	En campo	Eléctrica
	PIC-T402-1	Controlador Indicador de presión	Sala de control	Eléctrica
	PSH-T402-1	Interruptor de presión alta	En campo	Eléctrica
	PAH-T402-1	Alarma de presión alta	Sala de control	Eléctrica
	PSL-T402-1	Interruptor de presión baja	En campo	Eléctrica
	PAL-T402-1	Alarma de presión baja	Sala de control	Eléctrica
	PCV-T402-1	Válvula reguladora de presión	En campo	Neumática
	PCV-T402-2	Válvula reguladora de presión	En campo	Neumática
	TE-T402-1	Elemento primario de temperatura	En campo	Eléctrica
	TT-T402-1	Transmisor de temperatura	En campo	Eléctrica
	TIC-T402-1	Controlador Indicador de temperatura	Sala de control	Eléctrica

	Hoja 3 de 4	LISTADO DE INSTRUMENTACIÓN		
FORMICS	Área planta	A-400	Fecha	21/05/2026
			Revisión	30/05/2026

Nomenclatura equip	ID	Descripción	Ubicación	Actuación
T-403	LT-T403-1	Transmisor de nivel continuo	En campo	Eléctrica
	LIC-T403-1	Controlador Indicador de nivel	Sala de control	Eléctrica
	LSH-T403-1	Interruptor de nivel alto	En campo	Eléctrica
	LAH-T403-1	Alarma de nivel alto	Sala de control	Eléctrica
	LSL-T403-1	Interruptor de nivel bajo	En campo	Eléctrica
	LAL-T403-1	Alarma de nivel bajo	Sala de control	Eléctrica
	LY-T403-1	Transductor de señal I/P	En campo	Electroneumática
	LCV-T403-1	Válvula de control de nivel	En campo	Neumática
	LCV-T403-2	Válvula de control de nivel	En campo	Neumática
	PT-T403-1	Transmisor de presión de colchón inerte	En campo	Eléctrica
	PIC-T403-1	Controlador Indicador de presión	Sala de control	Eléctrica
	PSH-T403-1	Interruptor de presión alta	En campo	Eléctrica
	PAH-T403-1	Alarma de presión alta	Sala de control	Eléctrica
	PSL-T403-1	Interruptor de presión baja	En campo	Eléctrica
	PAL-T403-1	Alarma de presión baja	Sala de control	Eléctrica
	PCV-T403-1	Válvula reguladora de presión	En campo	Neumática
	PCV-T403-2	Válvula reguladora de presión	En campo	Neumática
	TE-T403-1	Elemento primario de temperatura	En campo	Eléctrica
	TT-T403-1	Transmisor de temperatura	En campo	Eléctrica
	TIC-T403-1	Controlador Indicador de temperatura	Sala de control	Eléctrica

	Hoja 4 de 4	LISTADO DE INSTRUMENTACIÓN		
FORMICS	Área planta	A-400 (Productos)	Fecha	21/05/2026
			Revisión	30/05/2026

Nomenclatura equip	ID	Descripción	Ubicación	Actuación
T-404	LT-T404-1	Transmisor de nivel continuo	En campo	Eléctrica
	LIC-T404-1	Controlador Indicador de nivel	Sala de control	Eléctrica
	LSH-T404-1	Interruptor de nivel alto	En campo	Eléctrica
	LAH-T404-1	Alarma de nivel alto	Sala de control	Eléctrica
	LSL-T404-1	Interruptor de nivel bajo	En campo	Eléctrica
	LAL-T404-1	Alarma de nivel bajo	Sala de control	Eléctrica
	LY-T404-1	Transductor de señal I/P	En campo	Electroneumática
	LCV-T404-1	Válvula de control de nivel	En campo	Neumática
	LCV-T404-2	Válvula de control de nivel	En campo	Neumática
	PT-T404-1	Transmisor de presión de colchón inerte	En campo	Eléctrica
	PIC-T404-1	Controlador Indicador de presión	Sala de control	Eléctrica
	PSH-T404-1	Interruptor de presión alta	En campo	Eléctrica
	PAH-T404-1	Alarma de presión alta	Sala de control	Eléctrica
	PSL-T404-1	Interruptor de presión baja	En campo	Eléctrica
	PAL-T404-1	Alarma de presión baja	Sala de control	Eléctrica
	PCV-T404-1	Válvula reguladora de presión	En campo	Neumática
	PCV-T404-2	Válvula reguladora de presión	En campo	Neumática
	TE-T404-1	Elemento primario de temperatura	En campo	Eléctrica
	TT-T404-1	Transmisor de temperatura	En campo	Eléctrica
	TIC-T404-1	Controlador Indicador de temperatura	Sala de control	Eléctrica

3.6 Descripción y diagrama de los lazos de control

Una vez que se han detallado todos los lazos de control presentes en la planta y se han identificado los instrumentos específicos que integran cada uno de ellos, se procede a realizar una descripción de su funcionamiento y lógica operativa. Esta explicación técnica se complementará de manera directa con la presentación de su correspondiente diagrama de tuberías e instrumentación (P&ID), permitiendo así asociar de forma clara la teoría de control con su representación gráfica dentro del proceso.

3.6.1 Tanques de almacenaje de reactivos y productos

3.6.1.1 Lazo de control de presión

Los tanques de almacenamiento utilizados en el proceso Formox se encuentran inertizados con nitrógeno con el objetivo de eliminar el riesgo de inflamabilidad y evitar la degradación del producto. Además de proporcionar una atmósfera completamente segura, el nitrógeno juega un papel fundamental en el control de la presión interna del tanque durante las operaciones de carga y descarga. La gestión adecuada de esta presión es esencial para evitar situaciones de vacío o sobrepresión que podrían comprometer tanto la seguridad del personal como la integridad estructural de los equipos.

Para garantizar el mantenimiento de la presión dentro de los límites operativos establecidos, se implementa un lazo de control automático de tipo *feedback* que combina la medición continua de un transmisor de presión con la seguridad de interruptores de nivel, actuando de forma coordinada sobre las válvulas de inyección de nitrógeno y de venteo. Este sistema permite una compensación dinámica y automática de las variaciones de presión asociadas a la entrada o salida de líquido del tanque. Los lazos encargados de este control corresponden a los códigos PCV-T102-2, PCV-T102-1, PY-T102, PSL-T102-1, PAL-T102-1, PE-T102-1, PT-T102-1, PSH-T102-1, PAH-T102-1, PIC-T102-1.

El lazo de control funciona de tal manera que un transmisor de presión (PT), instalado en la parte superior del tanque, mide en tiempo real la presión del gas interno y envía esta señal de forma continua al autómata programable (PLC).

Cuando se realiza la extracción de metanol del tanque, el descenso del volumen de líquido comporta una disminución de la presión interna. Al variar la lectura del transmisor por debajo del punto de consigna (*setpoint*), el controlador ordena la apertura de la válvula de regulación de nitrógeno, inyectando gas para compensar la pérdida de presión y evitando así la formación de vacío estructural. Por el contrario, durante el proceso de llenado o adición de metanol, el aumento del nivel de líquido reduce el volumen disponible para la fase gaseosa, provocando un incremento de la presión. Cuando esta variación es lo suficientemente significativa, el

controlador favorece la apertura de la válvula de venteo para liberar el exceso de gas hacia el sistema de tratamiento correspondiente, manteniendo la presión constante.

Como estrategia de seguridad y protección adicional ante situaciones críticas de llenado o vaciado extremo, el sistema incorpora interruptores de nivel de líquido. Ante un escenario de presión muy alto (PSH) o presión muy bajo (PSL) en el tanque, el sistema activa de forma automática una alarma de alta presión o baja presión, respectivamente, anticipando la respuesta de las válvulas de control e interrumpiendo o forzando la inyección de nitrógeno o el venteo según la necesidad del momento.

En la Tabla 3.6.1 se puede observar un resumen detallado sobre el funcionamiento de este tipo de lazo de control y las diferentes áreas y equipos donde se encuentra presente. Asimismo, la hoja de especificaciones del lazo de presión de los tanques de almacenamiento se muestra en la Figura 3.6.1 y en la Figura 3.6.2, tomando como referencia el equipo T-102.

Tabla 3.6.1. Características del lazo de control de presión de los tanques de almacenamiento

FORMICS	Caracteristicas del lazo de control	
	Area	100 y 400
Nomenclatura de los lazos	PCV-102-2, PCV-T102-1, PY-T102, PSL-T102-1, PAL-T102-1, PE-T102-1, PT-T102-1, PSH-T102-1, PAH-T102-1, PIC-T102-1	
Equipos	T-101, T-102, T-103, T-104, T-401, T-402, T-403, T-404	
Tipos de lazo	Feedback	
Variable controlada	Presión al interior del tanque	
Variable manipulada	Entrada de nitrogeno y salida de gas	
Set Point	T-101 a T-104 y T-401 a T-404: 1 bar	
Indicador	Si	
Alarma	Si	

3.6.1.2 Lazo de control de nivel

En la planta de producción del proceso existen diferentes tanques de almacenamiento destinados a gestionar las materias primas y los productos. Concretamente, se dispone de forma que se van consumiendo de forma continua durante el proceso y que requieren un rellenado periódico para garantizar la continuidad de la producción.

Para asegurar una operación segura y eficiente, se implementa una estrategia de control de nivel de tipo feedback que combina la monitorización en tiempo real con una lógica de protección y enclavamiento mediante señales digitales. El objetivo principal de este sistema es permitir un conocimiento exacto de las existencias de metanol, evitar el vaciado completo que comprometa las bombas aguas abajo, y disponer de un sistema de seguridad redundante que impida sobrellenados o desbordamientos del tanque. Estos lazos de control se corresponden con los códigos T-101, T-102, T-103 y T-104 como también el almacenamiento de productos T-401, T-402, T-403 y T-404 pero principalmente se comenta del T-102 de metanol.

El funcionamiento del lazo se basa en el registro continuo de un transmisor de nivel (LT) instalado en el tanque, el cual permite conocer en todo momento el volumen exacto de metanol disponible desde la sala de control. De forma complementaria, el sistema incorpora dos interruptores de nivel independientes (alto LSH y bajo LSL) que actúan directamente sobre la lógica del autómata programable (PLC) gestionando las válvulas automáticas de entrada (línea de carga) y de salida (línea de descarga).

El comportamiento del sistema de control se divide según las operaciones del proceso:

- **Proceso de vaciado / extracción:** Durante la operación normal, el metanol es enviado hacia el reactor del proceso Formox. El transmisor de nivel registra continuamente el descenso del líquido. En caso de que se alcance el límite inferior crítico definido en el diseño, el interruptor de nivel bajo (LSL) se activa. En ese instante, el PLC genera y visualiza automáticamente una alarma (LAL) de nivel muy bajo en la sala de control y, de manera simultánea, ordena el cierre completo de la válvula de salida inferior del tanque, interrumpiendo el flujo para evitar que entre aire en las líneas o se dañen los equipos de bombeo.

- **Proceso de llenado / adición:** Cuando se realiza la recepción de metanol (por ejemplo, desde camiones cisterna), las válvulas superiores de entrada se abren para permitir el llenado. A medida que el volumen aumenta, el transmisor de nivel monitoriza la evolución de la carga. Si el líquido alcanza el límite superior de seguridad configurado, el interruptor de nivel alto (LSH) se activa de inmediato. El sistema genera una alarma (LAH) de nivel alto en la sala de control para alertar a los operadores y el PLC ejecuta un enclavamiento que cierra por completo la válvula de entrada superior, deteniendo el aporte de fluido antes de que puedan ocurrir desbordamientos o situaciones de riesgo ambiental y de seguridad.

En la Tabla 3.6.2 se puede observar un resumen detallado sobre el funcionamiento de este tipo de lazo de control de nivel y las diferentes áreas y equipos donde se encuentra implementado. Asimismo, la hoja de especificaciones del lazo de control del nivel de líquidos de los tanques de almacenamiento de metanol corresponde a la Figura 3.6.1 y a la Figura 3.6.2, donde se toma como referencia el equipo T-102.

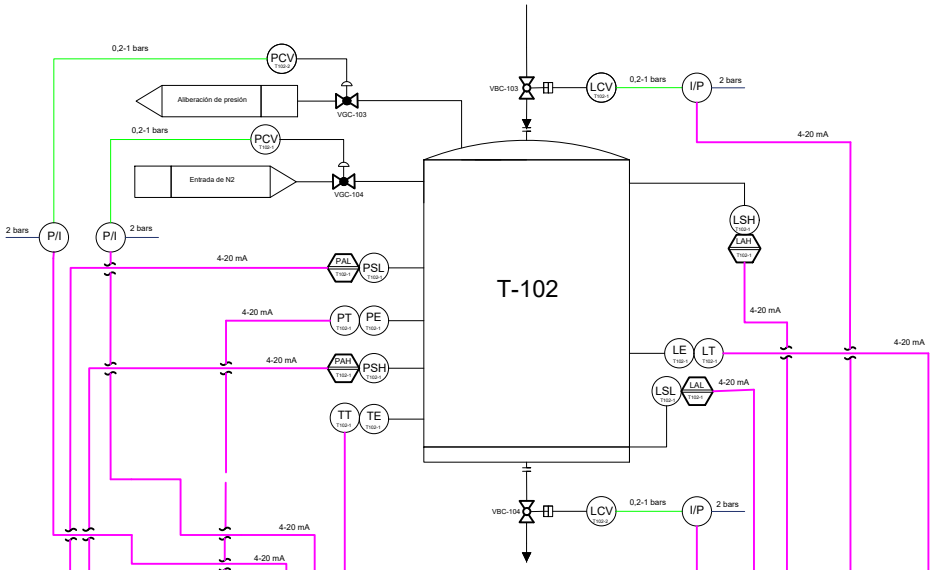
Tabla 3.6.2. Características del lazo de control de nivel de los tanques de almacenamiento

FORMICS	Caracteristicas del lazo de control	
	Area	100 y 400
Nomenclatura de los lazos	LCV-T102, LY-T102, LSL-T102, LAL-T102, LE-T102, LT-T102, LSH-T102, LAH-T102, LIC-T102	
Equipos	T-101, T-102, T-103, T-104, T-401, T-402, T-403, T-404	
Tipos de lazo	Feedback	
Variable controlada	Nivel del tanque	
Variable manipulada	Caudal de entrada y salida del tanque	
Set Point	T-101 a T-104: 353 m^3 ; T-401 a T-404: 496 m^3	
Indicador	Si	
Alarma	Si	

Especificación enlace de control	Fecha	13/06/2026	1/1
	Área	100	

Enlaces analogos	Componentes del lazo	
L-T101-1, L-T103-1, L-T104-1	LSL-102: interruptor de nivel bajo	LCV-102-1: válvula de control de nivel
	LSH-102: interruptor de nivel alto	LCV-102-2: válvula de control de nivel
	LAL-102: alarma de nivel bajo	LY-102-1: Transductor I/P
	LAH-102: alarma de nivel alto	LY-102-2: Transductor I/P
	PE-102: sensor de presión	LE-102: sensor de nivel
	PCV-102: válvula de control de presión	LT-102: transmisor de nivel
	PT-102: transmisor de presión	TE-102: sensor de temperatura
	PAL-102: alarma de presión baja	TL-102: transmisor de temperatura
	PAH-102: alarma de presión alta	PSL-102: interruptor de presión baja
	PY-102-1: Transductor I/P	PSH-102: interruptor de presión alta
	PY-102-2: Transductor I/P	

Campo



Panel

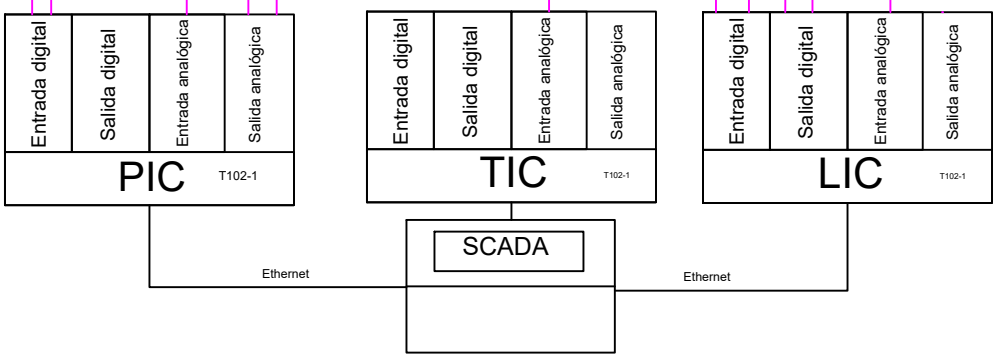
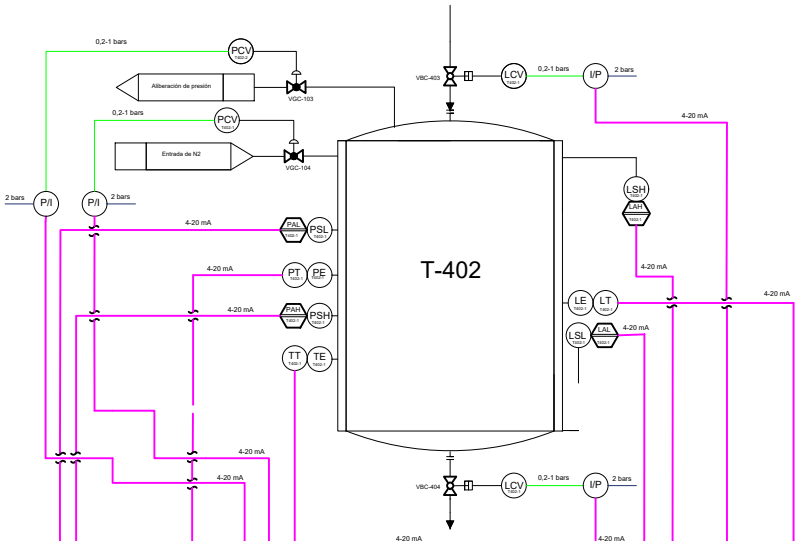


Figura 3.6.1. Hoja de especificaciones de los lazos de control de los tanques de almacenamiento de metanol

Especificaciones de enlace de control	Fecha	13/06/2026	1/1
	Área	400	

Enlaces analogos	Componentes del lazo	
L-T401-1, L-T403-1, L-T404-1	LSL-402: interruptor de nivel bajo	LCV-402-1: válvula de control de nivel
	LSH-402: interruptor de nivel alto	LCV-402-2: válvula de control de nivel
	LAL-402: alarma de nivel bajo	LY-402-1: Transductor I/P
	LAH-402: alarma de nivel alto	LY-402-2: Transductor I/P
	PE-402: sensor de presión	LE-402: sensor de nivel
	PCV-402: válvula de control de presión	LT-402: transmisor de nivel
	PT-402: transmisor de presión	TE-402: sensor de temperatura
	PAL-402: alarma de presión baja	TL-402: transmisor de temperatura
	PAH-402: alarma de presión alta	PSL-402: interruptor de presión baja
	PY-402-1: Transductor I/P	PSH-402: interruptor de presión alta
	PY-402-2: Transductor I/P	

Campo



Panel

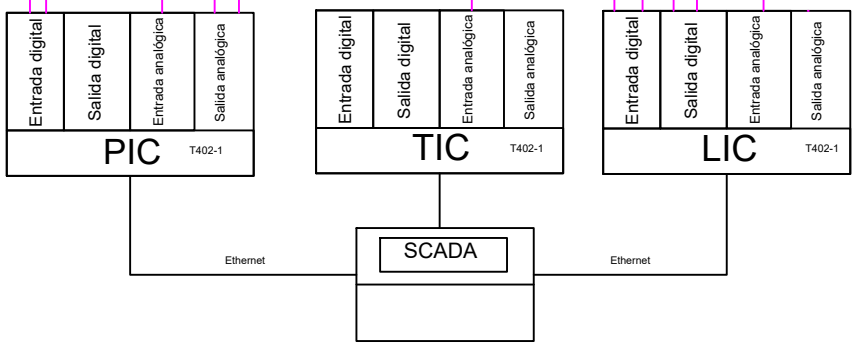


Figura 3.6.2. Hoja de especificaciones de los lazos de control de los tanques de almacenamiento de formol

3.6.2 Bombas y compresores

3.6.2.1 Lazo de control de caudal

En la planta de producción del proceso Formox, el transporte de fluidos y gases es un factor crítico que requiere una alta disponibilidad y continuidad operativa. Por este motivo, por criterios de seguridad de procesos y redundancia, todos los puntos de bombeo y compresión críticos se diseñan disponiendo dos equipos en paralelo (uno en operación y otro en reserva o standby), garantizando así que, ante el fallo mecánico o eléctrico de una de las unidades, la otra entre en servicio de inmediato sin interrumpir la producción.

Para asegurar que las variables de proceso se mantengan en sus puntos de consigna, se implementa una estrategia de control de caudal automática de tipo feedback basada en la regulación de la velocidad de los motores mediante variadores de frecuencia (VFD). Esta configuración permite optimizar el consumo energético y suavizar las transiciones operativas del proceso. Los lazos encargados de este control corresponden a las diferentes etapas de la planta: la regulación del caudal de salida de los tanques de almacenamiento de reactivos (bombas), la dosificación de la cantidad de aire de proceso (compresor), el control de la salida de líquido del primer scrubber o torre de lavado (bomba), el suministro de aire que entra al reactor biológico (compresor) y la transferencia en la salida de los tanques de almacenamiento de productos (bomba). Estos lazos se identifican bajo las codificaciones F-P101, F-P102, F-P103 y F-P104 (dentro del área 100), tomando como referencia específica el lazo de la bomba P-101.

El funcionamiento del lazo de control opera de la siguiente manera: un elemento primario de caudal (FE), intercalado en la tubería de descarga del equipo, genera una señal física proporcional al paso del fluido. Esta señal es captada por un transmisor de caudal (FT), el cual la acondiciona y la envía en tiempo real al controlador indicador de caudal (FIC) integrado en el autómata programable (PLC).

El comportamiento del sistema de control se divide según las necesidades dinámicas de la planta:

- Regulación ante variaciones de demanda: Si el proceso experimenta una desviación y el caudal medido por el transmisor (FT) varía respecto al punto de consigna (setpoint) establecido por el operador, el controlador (FIC) calcula el error y envía una señal correctiva al variador de frecuencia (VFD) asociado al motor de la bomba o del compresor en servicio.

- Acción del variador de frecuencia: En el caso de la bomba P-101 (al igual que en el resto de equipos del lazo), si el caudal medido se encuentra por debajo del valor requerido, el controlador ordena al VFD aumentar la frecuencia eléctrica para acelerar el motor y elevar el caudal. Por el contrario, si se detecta un exceso de caudal, el VFD reduce la velocidad de giro del equipo. De esta manera, ya sea controlando el metanol saliente de los tanques, el aire hacia el reactor o el fluido del scrubber, se consigue mantener el caudal constante y adaptado a las necesidades de la planta.

- Lógica de seguridad por fallo: En caso de que el equipo en funcionamiento sufra una parada inesperada o no consiga alcanzar el caudal mínimo requerido tras la apertura máxima por parte del variador, el sistema de control (PLC) activa una alarma visual y acústica en la sala de control y ejecuta un enclavamiento automático que arranca de inmediato la bomba o compresor gemelo que se encuentra en paralelo, asegurando la continuidad segura de la operación.

En la Tabla 3.6.3 se puede observar un resumen detallado sobre el funcionamiento de este tipo de lazo de control de caudal y las diferentes áreas y equipos donde se encuentra implementado. Asimismo, la hoja de especificaciones del lazo de control de caudal de las bombas y compresores corresponde a la Figura 3.6.3, donde se toma como referencia el equipo P-101.

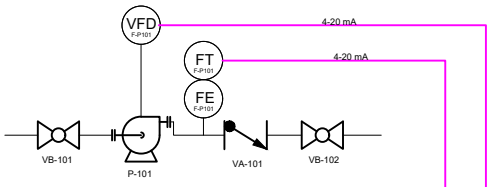
Tabla 3.6.3. Características del lazo de control de caudal de las bombas y compresores

FORMICS	Caracteristicas del lazo de control	
	Area	100, 200, 300 y 400
Nomenclatura de los lazos	FE-P101, FT-P101, VFD-P101	
Equipos	P-101, P-102, P-103, P-104, P-301, P-302, P-401, P-402, CO-201, CO-202, CO-301, CO-302, CO-303, CO-304	
Tipos de lazo	Feedback	
Variable controlada	Caudal en el interior de las tuberias	
Variable manipulada	Caudal en el interior de las tuberias o Poténcia	
Set Point	P-101 y P-102: 0,34 L/s ; P-103 y P-104: 1,79 L/s ; P-301 y P-302: 1,2 L/s ; P-401 y P-402: 3,25 L/s ; CO-201: 2155kW ; CO-202: 3776 Kw	
Indicador	Si	
Alarma	No	

Especificación de enlaces de control	Fecha	13/06/2026	1/1
	Área	100, 200, 300, 400	

Enlaces analogos	Componentes del lazo	
L-P102, L-P301, L-P302, L-P401, L-P402, L-CO201, L-CO202, L-CO301, L-CO302	VFD-F-P101: variador de frecuencia	FT-F-P101: válvula de control de nivel
	FE-F-P101: sensor de cabal	

Campo



Panel

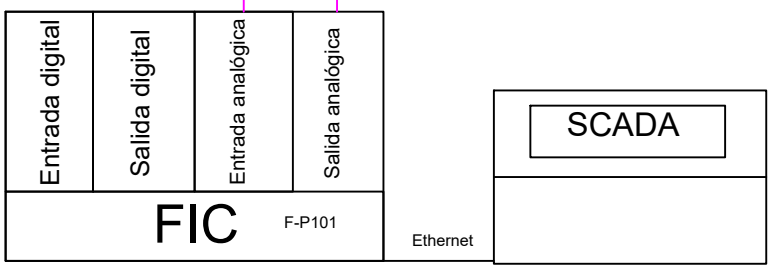


Figura 3.6.3. Hoja de especificaciones de los lazos de control de caudal de las bombas y los compresores

3.6.3 Intercambiadores

Los intercambiadores de calor, los condensadores y los evaporadores son equipos presentes en numerosos puntos del proceso. Aunque los intercambiadores de calor engloban a los evaporadores y a los condensadores, según lo indicado en el proyecto, en los intercambiadores de calor se produce únicamente una variación de la temperatura sin cambio de fase, a diferencia de los condensadores y de los *reboilers* (hervidores), en los cuales también se incluye el cambio de fase. A pesar de que existen diferencias operativas entre los intercambiadores, los condensadores y los evaporadores, los tres tipos de equipos han sido diseñados de la misma manera; todos presentan un diseño de carcasa y tubos y, por lo tanto, disposarán de los mismos lazos de control.

Debido a esta similitud estructural y funcional, los lazos de control implementados en estos equipos comparten características comunes y se integran en una misma sección de análisis. En este apartado se describen los principales lazos de control asociados a estos equipos para mantener las condiciones de operación óptimas y garantizar la seguridad mecánica a través de la presión diferencial.

3.6.3.1 Lazo de control del diferencial de presión

En los equipos de carcasa y tubos (intercambiadores de calor, condensadores y evaporadores), la diferencia de presión entre el lado de los tubos y el lado de la carcasa es una variable crítica que se debe mantener dentro de valores específicos por motivos de seguridad. De este modo, se garantiza la integridad mecánica del equipo y se evitan fenómenos críticos como la deformación de los tubos, infiltraciones cruzadas por fugas o incluso roturas por sobrepresión interna.

Para mantener esta diferencia de presión dentro de los límites permitidos, se ha implementado un lazo de control automático de tipo *feedback* basado en la medición directa de la diferencia de presión. Los lazos que forman parte de este sistema son E-201, E-302 y AC-302.

Este sistema funciona mediante un elemento de detección primaria conectado a un transmisor de presión diferencial (DPT), el cual toma lecturas continuas tanto en el lado de los tubos como en el de la carcasa. Esta información se envía en tiempo real al controlador indicador de presión diferencial (DPIC) integrado en el PLC. La acción correctora se realiza directamente sobre una válvula de control regulable situada en la línea de salida del propio fluido de proceso del intercambiador. Como medida de seguridad crítica para evitar el bloqueo total del flujo del proceso y asegurar una línea de alivio continuo, se ha implementado un pequeño bypass mecánico en paralelo a esta válvula de control.

El comportamiento dinámico del lazo se activa cuando la variable del proceso fluctúa:

- **Regulación automática:** Cuando el diferencial de presión varía y se desvía del punto de consigna (*setpoint*), el controlador (DPIC) actúa sobre la válvula de salida del proceso. Si la presión en la carcasa disminuye demasiado respecto al otro lado, la válvula principal se cierra parcialmente para incrementar la contrapresión interna y equilibrar las fuerzas mecánicas. Por el contrario, si la presión en la carcasa aumenta en exceso, el controlador ordena la apertura de la válvula de salida para aliviar la contrapresión, restableciendo el equilibrio seguro entre ambas zonas. El bypass garantiza que, incluso en las posiciones de cierre máximo de la válvula de control, exista siempre un tránsito mínimo de fluido que disipe las presiones acumuladas de forma brusca.

- **Sistema de alarmas e interruptores de seguridad:** Como estrategia de protección adicional ante fallos o variaciones repentinas, el lazo incorpora una lógica de control para alarmas de presión diferencial alta (DPAH) y baja (DPAL). Si el diferencial de presión supera un límite crítico superior o cae por debajo del límite inferior de diseño, el sistema activa de inmediato las respectivas alarmas visuales y acústicas en la sala de control para alertar a los operadores, forzando de forma automática el posicionamiento seguro de la válvula de salida mientras el bypass actúa como salvaguarda física del caudal.

El control activo sobre la propia salida de la línea de proceso, respaldado por la línea de bypass de seguridad, permite una respuesta sumamente rápida, robusta y precisa frente a las fluctuaciones operativas de la planta. En resumen, se trata de un lazo diseñado para proteger la integridad estructural del intercambiador, prolongar su vida útil y eliminar riesgos catastróficos en los equipos de transferencia.

En la Tabla 3.6.4 se puede observar un resumen sobre el funcionamiento de este tipo de lazo de control y las diferentes áreas y equipos donde se encuentra presente. La hoja de especificaciones del lazo de control del diferencial de presión de los intercambiadores de calor, condensadores y evaporadores corresponde a la Figura 3.6.4, donde también se toma como referencia el equipo E-201.

Tabla 3.6.4. Características del lazo de control del diferencial de presión de los intercambiadores, condensadores y evaporadores

FORMICS	Caracteristicas del lazo de control	
	Area	200 y 300
Nomenclatura de los lazos	DPE-E201, DPT-E201, DPAH-E201, DPSH-E201, DPAL-E201, DPSL-E201, DPCV-E201, DPIC-E201	
Equipos	E-201, E-202, AC-301, E-301	
Tipos de lazo	Feefback	
Variable controlada	Diferencial de presión de los intercambiadores, condensadores y evaporadores	
Variable manipulada	Diferencial de presión	
Set Point	E-201: 0,167 bares ; E-202: 0,149 bares ; AC-301: 0,107 bares ; E-301: 0,15 bares	
Indicador	Si	
Alarma	Si	

3.6.3.2 Lazo de control de temperatura en cascada

En los equipos de carcasa y tubos (intercambiadores de calor, condensadores y evaporadores como también Air coolers), además de asegurar la integridad estructural mediante el diferencial de presión, es fundamental regular de forma rigurosa la temperatura del fluido de proceso a la salida del equipo. Mantener esta temperatura dentro de las especificaciones operativas del proceso Formox es crucial para garantizar la eficiencia de las reacciones químicas posteriores, evitar la degradación térmica del producto y optimizar la transferencia de calor global del sistema.

Para lograr una regulación térmica precisa y atenuar las perturbaciones térmicas o de presión provenientes de la red de servicios, se ha implementado una estrategia de control automático avanzado de tipo cascada (temperatura-caudal). Los lazos que forman parte de este sistema son E-201, AC-301 y E-301, actuando en los mismos intercambiadores analizados en los apartados anteriores.

Esta configuración avanzada consta de dos bucles de control interconectados que operan de la siguiente manera:

- **Bucle Externo o Maestro (Temperatura):** Un elemento primario de temperatura instalado en la tubería de salida del fluido de proceso mide continuamente el valor térmico real y envía la señal a un transmisor de temperatura (TT). Este transmite el dato en tiempo real al controlador indicador de temperatura (TIC) del PLC. En lugar de actuar directamente sobre una válvula, la salida de este controlador (TIC) modifica dinámicamente el punto de consigna (*setpoint*) del controlador de caudal de refrigerante.

- **Bucle Interno o Esclavo (Caudal):** En la línea de suministro del fluido refrigerante, se dispone de un elemento de caudal (FE) acoplado a su respectivo transmisor de caudal (FT) que mide el paso del servicio técnico en tiempo real. Esta señal de caudal se envía a un controlador indicador de caudal (FIC), el cual recibe simultáneamente el *setpoint* variable calculado por el TIC. Finalmente, este controlador (FIC) manipula la posición de la válvula de control de caudal (FCV) situada en la entrada del refrigerante.

El comportamiento dinámico del sistema ante las variaciones del proceso se divide según las necesidades térmicas:

- **Regulación ante un descenso de temperatura:** Si el fluido de la línea principal sale del intercambiador por debajo de la temperatura de consigna, el controlador maestro (TIC) detecta la desviación y ordena un aumento en el *setpoint* de demanda de servicio hacia el controlador esclavo (FIC). Al recibir esta nueva consigna, el controlador FIC abre la válvula de control de caudal (FCV) para introducir un mayor volumen de fluido calefactor, aportando la energía necesaria para elevar la temperatura de forma inmediata.

- **Regulación ante un incremento de temperatura:** Por el contrario, si la temperatura de la línea principal supera el valor requerido de diseño, el TIC disminuye el punto de consigna de caudal del FIC, provocando el cierre parcial de la válvula (FCV) para reducir el aporte de fluido calefactor y estabilizar la temperatura de salida en su valor correcto.

La principal ventaja de implementar este control en cascada radica en que el bucle interno (FIC) es capaz de detectar y corregir cualquier fluctuación de presión o caudal en la línea de servicio de calefacción antes de que llegue a afectar a la temperatura de la línea principal de proceso. Esto proporciona una respuesta mucho más rápida, estable y libre de oscilaciones que un lazo de control simple.

En la Tabla 3.6.5 se puede observar un resumen sobre el funcionamiento de este tipo de lazo de control en cascada y las diferentes áreas y equipos donde se encuentra presente. La hoja de especificaciones del lazo de control de temperatura de los intercambiadores de calor, condensadores y evaporadores corresponde a la Figura 3.6.4, tomando también como referencia el equipo E-201.

Tabla 3.6.5. Características del lazo de control de temperatura en cascada de los intercambiadores, condensadores y evaporadores

FORMICS	Caracteristicas del lazo de control	
	Area	200 y 300
Nomenclatura de los lazos	TE-E201, TT-E201, TSH-E201, TAH-E201, TSL-E201, TAL-E201, FE-E201, FT-E201, TIC-E201, FIC-E201, FCV-E201	
Equipos	E-201, E-202, AC-301, E-301	
Tipos de lazo	Cascada	
Variable controlada	Temperatura en cascada de los intercambiadores, condensadores y evaporadores	
Variable manipulada	Caudal	
Set Point	E-201: 156,3 ºC ; E-202: 248,1 ºC ; AC-301: 66 ºC ; E-301: 9,76 ºC	
Indicador	Si	
Alarma	Si	

3.6.3.3 Lazo de control de presión del refrigerante

En la configuración operativa de la planta, el intercambiador de calor catalogado como E-201 presenta una particularidad crítica de diseño que lo diferencia del resto de los equipos térmicos. Este intercambiador utiliza directamente la corriente de salida del reactor químico (la cual arrastra una gran cantidad de energía térmica debido al carácter fuertemente exotérmico de la reacción del proceso Formox) como fluido de servicio para elevar la temperatura de la línea principal. Al estar estrechamente vinculado a las variaciones del lazo de control de temperatura en cascada descrito en el apartado anterior (el cual estrangula el caudal de este fluido mediante su válvula FCV), se genera un riesgo mecánico severo de sobrepresión aguas arriba que podría comprometer la integridad del reactor o de las líneas de conducción, llegando a provocar fallos catastróficos o roturas por acumulación de presión.

Para mitigar este riesgo y garantizar un camino de alivio continuo sin alterar drásticamente el balance térmico, se ha implementado un lazo de control automático de presión de tipo *feedback* que actúa exclusivamente sobre una línea de bypass dispuesta alrededor del intercambiador E-201. Este lazo específico se identifica bajo el código P-E201-1.

El funcionamiento de este sistema de protección opera de la siguiente manera: un transmisor de presión (PT), instalado en la línea de entrada del fluido proveniente del reactor, mide en tiempo real la presión estática de la corriente y envía de forma continua esta señal al controlador indicador de presión (PIC) integrado en el autómata programable (PLC). La acción correctora se ejecuta sobre una válvula de control de presión (PCV) situada en la línea de bypass del propio intercambiador.

El comportamiento dinámico de este lazo de seguridad se divide según las fluctuaciones de presión del sistema:

- **Regulación ante un aumento de presión (Cierre de la FCV de temperatura):** Si el lazo de temperatura del apartado anterior ordena el cierre parcial de la válvula de caudal (FCV) para reducir el aporte térmico, el fluido procedente del reactor encuentra una gran restricción al paso, provocando un aumento inmediato de presión aguas arriba. Al detectar este incremento respecto al punto de consigna (*setpoint*), el controlador (PIC) ordena la apertura de la válvula del bypass (PCV). Esto permite que el excedente de fluido se desvíe externamente por el bypass, aliviando la acumulación de energía mecánica y manteniendo la presión constante y segura en todo el tramo.

- **Regulación ante una disminución de presión (Apertura de la FCV de temperatura):** Por el contrario, si la válvula de control de caudal (FCV) se abre por demanda térmica, la resistencia al flujo disminuye y la presión en la línea decae. Ante esta variación, el controlador (PIC) actúa cerrando proporcionalmente la válvula del bypass (PCV) para forzar a que una mayor cantidad de fluido ingrese al intercambiador, estabilizando de nuevo la presión operativa de la línea principal.

A diferencia del resto de intercambiadores de la planta, este lazo de control no se replica de forma generalizada, sino que es exclusivo del equipo E-201 debido a la peligrosidad y criticidad que supone manejar directamente la corriente de salida del reactor como fluido de intercambio. En resumen, se trata de una salvaguarda física y lógica automatizada indispensable para aprovechar el calor de reacción de forma eficiente sin poner en riesgo la seguridad de la sección de reacción.

En la Tabla 3.6.6 se puede observar un resumen sobre el funcionamiento de este lazo de control de presión por bypass y su aplicación exclusiva en el equipo correspondiente. Asimismo, la hoja de especificaciones de este lazo de presión se muestra en la Figura 3.6.4, tomando como referencia única el equipo E-201.

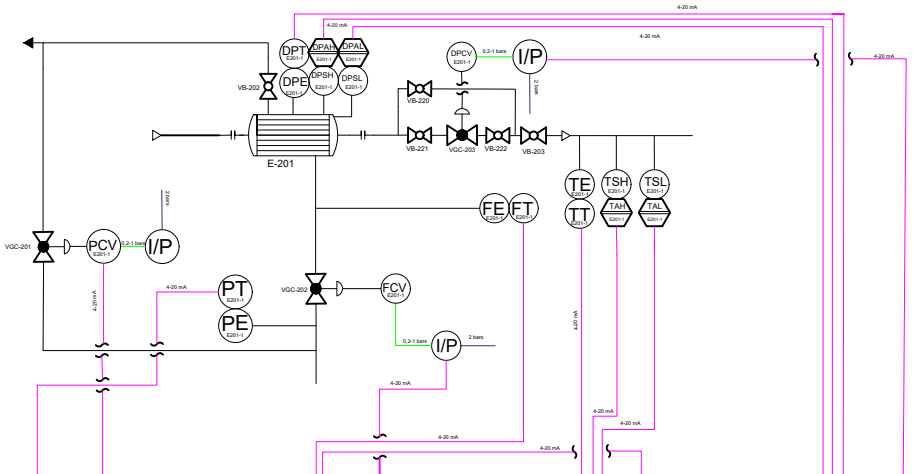
Tabla 3.6.6. Características del lazo de control de presión del refrigerante de los intercambiadores, condensadores y evaporadores

FORMICS	Caracteristicas del lazo de control	
	Area	200
Nomenclatura de los lazos	PE-E201, PT-E201, PIC-E201, PCV-E201	
Equipos	E-201	
Tipos de lazo	Feedback	
Variable controlada	Presión del refrigerante de los intercambiadores, condensadores y evaporadores	
Variable manipulada	Presión	
Set Point	2,175 bares	
Indicador	Si	
Alarma	No	

Especificaciones de los enlaces de control	Fecha	13/06/2026	1/1
	Área	200, 300	

Enlaces analogos	Componentes del lazo	
L-E202-1, L-AC301-1, L-E301-1	DPAL-201: interruptor de diferencial de presión bajo	DPE-201: elemento de diferencial de presión
	DPAH-201: interruptor de diferencial de presión alto	DPT-201: transmisór de diferencial de presión
	DPSH-201: alarma de diferencial de presión alto	DPY-201-1: Transductor I/P
	DPSL-201: alarma de diferencial de presión bajo	FY-201-1: Transductor I/P
	TAL-201: alarma de temperatura baja	TT-201: Transmisor de temperatura
	TAH-201: alarma de temperatura alta	TSH-201: interruptor de temperatura alta
	TE-201: elemento de temperatura	TSL-201: interruptor de temperatura baja
	FE-201: elemento de cabal	FT-201: transmisor de cabal
	FCV-201: válvula de control de cabal	PE-201: elemento de presión
	PT-201: transmisor de presión	PCV-201: válvula de control de presión

Campo



Panel

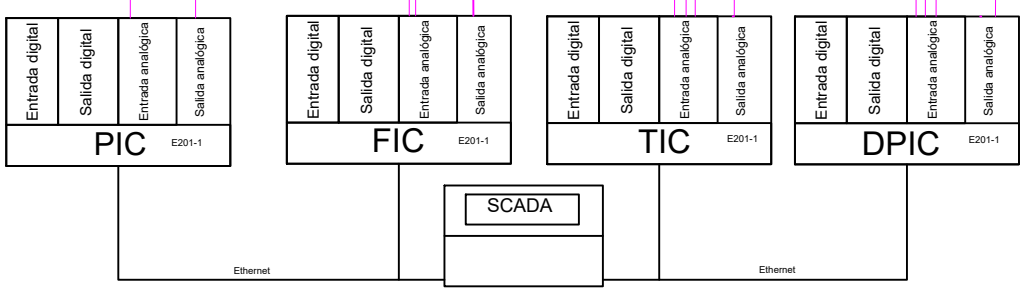


Figura 3.6.4. Hoja de especificaciones de los lazos de control de los intercambiadores, condensadores y evaporadores

3.6.4 Reactor

El reactor principal, catalogado como R-201, constituye el núcleo operativo de la planta de producción del proceso Formox. Este equipo está diseñado bajo la configuración de un reactor de lecho fijo de flujo pistón (RCFP) que opera, simultáneamente, como un intercambiador de calor multitubular de alta eficiencia. Esta dualidad es estrictamente necesaria debido a la naturaleza fuertemente exotérmica de la reacción química de oxidación catalítica del metanol para la obtención de formaldehído. Con el fin de evitar puntos calientes que degraden el catalizador, asegurar el rendimiento selectivo de la reacción y garantizar la seguridad de toda la planta, es un requisito indispensable mantener una operación estrictamente isotérmica en su interior mediante la retirada continua del calor generado.

Debido a su alta criticidad y a la complejidad de las variables termodinámicas que interactúan en su interior, el reactor R-201 no depende de un único bucle aislado, sino que integra un conjunto de lazos de control avanzados y coordinados entre sí a través del autómata programable (PLC). Estos sistemas abarcan desde la regulación del perfil térmico interno y el control del refrigerante, hasta la estabilización de las presiones de la fase gaseosa y los caudales de alimentación de los reactivos.

En esta parte se describen y analizan detalladamente los principales lazos de control implementados en el reactor R-201, orientados a mantener el sistema en condiciones óptimas de operación, maximizar la vida útil del equipo y actuar como salvaguarda automática ante cualquier desviación transitoria del proceso.

3.6.4.1 Lazo de control de presión

El reactor principal del proceso Formox está diseñado como un reactor de lecho fijo pseudofluidizado o de flujo pistón multitubular (RCFP) que opera, de manera simultánea, como un intercambiador de calor de gran capacidad. Debido al carácter fuertemente exotérmico de la reacción de oxidación del metanol, es estrictamente necesario retirar el calor generado de forma continua para mantener una operación isotérmica dentro del equipo. La estabilidad térmica y la cinética química están directamente ligadas al estado termodinámico del reactor, por lo que el control preciso de la presión interna de la fase gaseosa es una variable crítica de seguridad. Una gestión inadecuada de esta presión podría comprometer la integridad mecánica del reactor, alterar el tiempo de residencia de los reactivos o generar un escenario de riesgo mayor en la sección de reacción.

Para garantizar que la presión interna se mantenga estrictamente dentro de los límites operativos estipulados, se implementa un sistema de control automático de tipo *feedback* que gestiona de manera coordinada una doble válvula de acción contrapuesta. Este lazo de control se identifica bajo el código P-R201-1, asociado específicamente al reactor principal R-201.

El funcionamiento del lazo se basa en un elemento primario de detección conectado a un transmisor de presión (PT) instalado en la cúpula superior del reactor, el cual mide en tiempo real la presión estática de la fase gaseosa y envía de forma continua esta señal al controlador indicador de presión (PIC) integrado en el autómata programable (PLC).

El comportamiento dinámico del lazo de control se activa ante las fluctuaciones del proceso de la siguiente manera:

- **Regulación ante sobrepresión (Liberación de gases):** Si debido a un aumento en la carga de reactivos, una desviación térmica o una acumulación de gases la presión del reactor aumenta por encima del punto de consigna (*setpoint*), el controlador (PIC) ordena la apertura proporcional de la válvula de alivio o venteo de proceso. Esto permite la salida controlada del exceso de gas hacia la etapa posterior de absorción o tratamiento, reduciendo la presión interna hasta restablecer el equilibrio.

- **Regulación ante baja presión (Inyección de nitrógeno):** Por el contrario, si durante las fases de puesta en marcha, paradas transitorias o caídas en la alimentación la presión interna disminuye en exceso por debajo del *setpoint*, el controlador (PIC) cierra la válvula de venteo y abre de forma automática la válvula de aporte de nitrógeno. La introducción de este gas inerte compensa de inmediato la pérdida de presión, manteniendo el reactor presurizado y evitando condiciones de vacío relativo o entrada de oxígeno atmosférico.

- **Sistema de alarmas e interruptores de seguridad:** Como estrategia de protección y redundancia ante variaciones bruscas o fallos en las válvulas de regulación, el lazo incorpora interruptores de presión alta (PSH) y presión baja (PSL) independientes. Si la variable cruza los umbrales críticos de seguridad, el sistema activa de inmediato las respectivas alarmas de alta o baja presión en la sala de control para alertar a los operadores, forzando de manera automática el enclavamiento de emergencia de las válvulas para proteger mecánicamente el reactor.

En la Tabla 3.6.7 se puede observar un resumen detallado sobre el funcionamiento de este lazo de control de presión y sus rangos operativos en el reactor R-201. Asimismo, la hoja de especificaciones de este lazo de control se muestra en la Figura 3.6.5, tomando como referencia el equipo R-201.

Tabla 3.6.7. Características del lazo de control de presión de los reactores

	Caracteristicas del lazo de control	
	Area	200
Nomenclatura de los lazos	PE-R201, PT-R201, PCV-R201	
Equipos	R-201, R-202	
Tipos de lazo	Feedback	
Variable controlada	Presión de los reactores	
Variable manipulada	Presión	
Set Point	R-201 y R-202: 2,026 bares	
Indicador	Si	
Alarma	No	

3.6.4.2 Lazo de control de diferencial de presión

Debido a que el reactor R-201 (RCFP) opera simultáneamente como un intercambiador de calor multitubular para disipar la fuerte exotermicidad de la reacción, la diferencia de presión entre el lado de los tubos (donde circula el gas de proceso y se encuentra el lecho catalítico) y el lado de la carcasa (donde circula el fluido refrigerante) constituye una variable mecánica sumamente crítica. El mantenimiento de este diferencial dentro de los límites estrictos de diseño es indispensable para garantizar la estabilidad estructural del equipo, evitar la deformación o rotura de los tubos internos y prevenir cualquier tipo de infiltración cruzada o fuga interna que pondría en contacto directo los reactivos químicos con el servicio térmico.

Para asegurar que esta diferencia de presión permanezca en rangos completamente seguros, se ha implementado un lazo de control automático de tipo *feedback* basado en la medición directa del diferencial de presión. Este sistema se identifica bajo el código P-R201-1, operando de forma continua en el cuerpo del reactor principal.

Este lazo funciona mediante un elemento de detección primaria conectado a un transmisor de presión diferencial (DPT), cuyas tomas de alta y baja presión están instaladas estratégicamente tanto en el lado de los tubos como en el de la carcasa del reactor. Esta señal es enviada en tiempo real al controlador indicador de presión diferencial (DPIC) configurado en el autómata programable (PLC). La acción correctora se ejecuta sobre una válvula de control regulable situada en la línea de salida del propio fluido de proceso, la cual cuenta además con un pequeño bypass mecánico en paralelo como medida de seguridad física para garantizar un tránsito mínimo y evitar sobrepresiones drásticas por bloqueo total.

El comportamiento dinámico del lazo de control se activa ante las fluctuaciones operativas de la siguiente manera:

- **Regulación automática ante desviaciones:** Si el diferencial de presión varía respecto al punto de consigna (*setpoint*) debido a fluctuaciones en la carga de gases o en el circuito de refrigeración, el controlador (DPIC) actúa sobre la válvula de salida de proceso. Si la presión en el lado de la carcasa disminuye peligrosamente respecto a los tubos, la válvula se cierra parcialmente para incrementar la contrapresión interna y equilibrar los esfuerzos mecánicos sobre los tubos. Por el contrario, si la presión en la carcasa aumenta en exceso, el controlador ordena la apertura de la válvula de salida para aliviar la contrapresión, restableciendo el equilibrio seguro entre ambas zonas mientras el bypass asegura la continuidad del flujo.

- **Sistema de alarmas e interruptores de seguridad:** Como estrategia de protección adicional y salvaguarda ante anomalías severas (como el ensuciamiento del catalizador o un fallo en las líneas de servicio), el lazo incorpora interruptores para alarmas de presión diferencial alta (DPAH) y baja (DPAL). Si el diferencial de presión cruza los umbrales críticos de seguridad, el sistema activa de inmediato las respectivas alarmas visuales y acústicas en la sala de control para alertar a los operadores, ejecutando de forma automática enclavamientos de seguridad en la valvulería para proteger la integridad estructural del reactor.

En la Tabla 3.6.8 se puede observar un resumen detallado sobre el funcionamiento de este lazo de control de presión diferencial y sus parámetros operativos en el reactor R-201. Asimismo, la hoja de especificaciones de este lazo de control se muestra en la Figura 3.6.5, tomando como referencia el equipo R-201.

Tabla 3.6.8. Características del lazo de control del diferencial de presión de los reactores

FORMICS	Caracteristicas del lazo de control	
	Area	200
Nomenclatura de los lazos	DPAL-R201, DPE-R201, DPAH-R201, DPT-R201, DPSH-R201, DPSL-R201	
Equipos	R-201, R-202	
Tipos de lazo	Feedback	
Variable controlada	Diferencial de presión de los reactores	
Variable manipulada	Diferencial de presión	
Set Point	R-201 y R-202: 0,205 bares	
Indicador	Si	
Alarma	Si	

3.6.4.3 Lazo de control de temperatura

Debido a que el reactor R-201 funciona como un intercambiador de calor multitubular para disipar la gran cantidad de energía liberada por la reacción exotérmica del proceso Formox, la regulación de la temperatura es la variable más crítica de todo el sistema de reacción. Es de vital importancia mantener una operación estrictamente isotérmica en el equipo; un incremento descontrolado de la energía térmica podría provocar la desactivación o sinterización del catalizador, disminuir drásticamente la selectividad hacia el formaldehído (generando subproductos no deseados) o, en un escenario extremo, desencadenar una reacción en cadena térmicamente incontrolable (*runaway*).

Para lograr una estabilidad térmica rigurosa y amortiguar de forma inmediata cualquier fluctuación de presión o caudal en la red de servicios técnicos, se ha implementado una estrategia de control automático avanzado de tipo cascada (temperatura-caudal). Este sistema se identifica bajo el código T-R201-1, operando directamente sobre la sección de transferencia térmica del reactor principal.

Esta configuración avanzada consta de dos bucles de control interconectados que actúan de la siguiente manera:

- **Bucle Externo o Maestro (Temperatura):** Un elemento primario de temperatura instalado en la tubería de salida del reactor mide continuamente el valor térmico real del fluido de proceso una vez efectuada la reacción y envía la señal a un transmisor de temperatura (TT). Este transmite el dato en tiempo real al controlador indicador de temperatura (TIC) del PLC. La salida de este controlador maestro no actúa sobre un elemento físico, sino que modifica dinámicamente el punto de consigna (*setpoint*) del controlador de caudal del fluido refrigerante.

- **Bucle Interno o Esclavo (Caudal):** En la línea de suministro del fluido refrigerante que alimenta la carcasa del reactor, se dispone de un elemento de caudal (FE) acoplado a su respectivo transmisor de caudal (FT) que mide el paso del refrigerante en tiempo real. Esta señal se envía a un controlador indicador de caudal (FIC), el cual recibe simultáneamente el *setpoint* variable calculado por el TIC. Finalmente, este controlador esclavo (FIC) manipula la posición de la válvula de control de caudal (FCV) situada en la entrada del refrigerante.

El comportamiento dinámico del sistema ante las variaciones térmicas de la reacción se divide de la siguiente manera:

- **Regulación ante un incremento de temperatura:** Si la reacción química se acelera y la temperatura a la salida del reactor aumenta por encima del punto de consigna de diseño, el controlador maestro (TIC) detecta la desviación y ordena un aumento en el *setpoint* de demanda de refrigerante hacia el controlador esclavo (FIC). Al recibir esta nueva consigna, el controlador FIC abre proporcionalmente la válvula de control de

caudal (FCV) para introducir un mayor volumen de fluido frío, aumentando la tasa de transferencia de calor y retirando el exceso térmico de forma inmediata.

- **Regulación ante un descenso de temperatura:** Por el contrario, si la temperatura de salida del proceso cae por debajo del valor óptimo de operación, el TIC disminuye el punto de consigna de caudal del FIC, provocando el cierre parcial de la válvula (FCV) para reducir el aporte de refrigerante, estabilizando así la temperatura del sistema en su valor correcto.

La principal ventaja de implementar este control en cascada en el reactor R-201 radica en que el bucle interno (FIC) es capaz de detectar y corregir cualquier fluctuación en la presión de la red de refrigeración antes de que esta altere el caudal real de servicio y termine afectando a la temperatura de salida del reactor. Esto proporciona una respuesta sumamente rápida, precisa y libre de oscilaciones, garantizando la estabilidad operativa del proceso.

En la Tabla 3.6.9 se puede observar un resumen detallado sobre el funcionamiento de este lazo de control en cascada y sus rangos operativos en el reactor R-201. Asimismo, la hoja de especificaciones de este lazo de control se muestra en la Figura 3.6.5, tomando como referencia el equipo R-201.

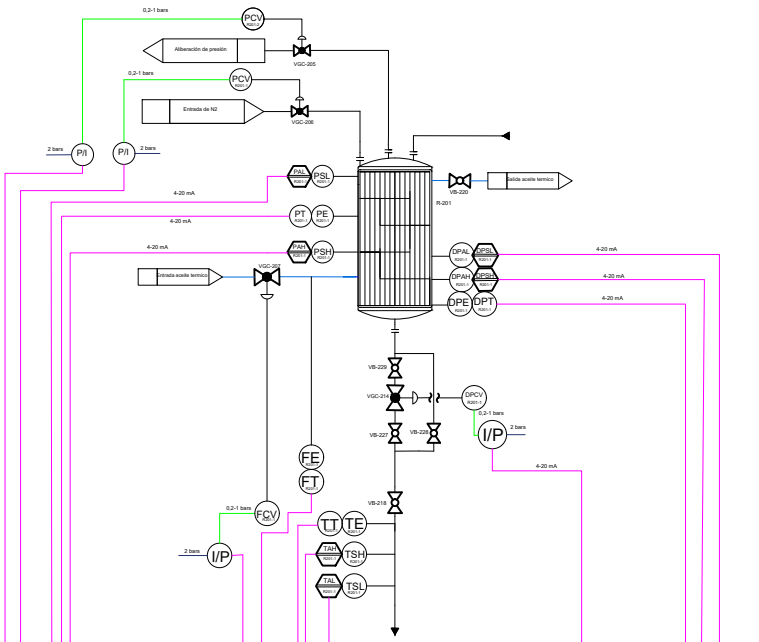
Tabla 3.6.9. Características del lazo de control de temperatura de los reactores

FORMICS	Caracteristicas del lazo de control	
	Area	200
Nomenclatura de los lazos	TAL-R201, TT-R201, TAH-R201, TSH-R201, TE-R201, TSL-R201	
Equipos	R-201, R-202	
Tipos de lazo	Cascada	
Variable controlada	Temperatura de los reactores	
Variable manipulada	Temperatura	
Set Point	R-201 y R-202: 247,4 °C	
Indicador	Si	
Alarma	Si	

Especificaciones de enlaces de control	Fecha	13/06/2026	1/1
	Área	200	

Enlaces analogos	Componentes del lazo	
L-R202-1	DPAL-201: interruptor de diferencial de presión bajo	DPE-201: elemento de diferencial de presión
	DPAH-201: interruptor de diferencial de presión alto	DPT-201: transmisór de diferencial de presión
	DPSH-201: alarma de diferencial de presión alto	DPY-201-1: Transductor I/P
	DPSL-201: alarma de diferencial de presión bajo	FY-201-1: Transductor I/P
	TAL-201: alarma de temperatura baja	TT-201: Transmisor de temperatura
	TAH-201: alarma de temperatura alta	TSH-201: interruptor de temperatura alta
	TE-201: elemento de temperatura	TSL-201: interruptor de temperatura baja
	FE-201: elemento de cabal	FT-201: transmisor de cabal
	FCV-201: válvula de control de cabal	PE-201: elemento de presión
	PT-201: transmisor de presión	PCV-201: válvula de control de presión

Campo



Panel

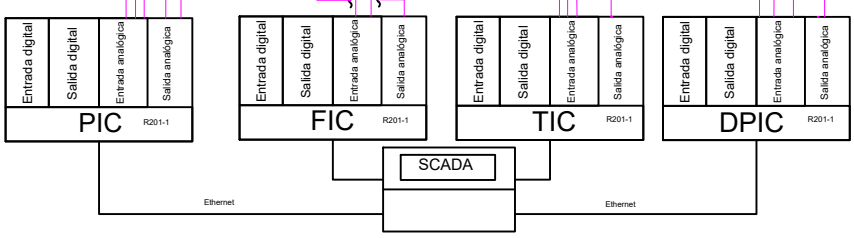


Figura 3.6.5. Hoja de especificaciones de los lazos de control de los reactores

3.6.5 Torre de absorción

La torre de absorción, catalogada en el proceso como CA-301, es una columna empacada cuya función principal es llevar a cabo la separación y purificación final del formaldehído generado en la etapa de reacción. El gas de proceso proveniente del reactor, rico en formaldehído gaseoso, se alimenta por la parte inferior de la columna, mientras que por la parte superior se introduce un flujo de agua como líquido absorbente en contracorriente. El empaque interno de la torre proporciona el área de contacto interfacial necesaria para que el agua absorba de manera eficiente el formaldehído, permitiendo que por el fondo de la columna se extraiga el formaldehído en solución acuosa (formol) con la concentración comercial requerida, mientras que por la cúpula superior se evacúan los gases residuales e inertes que no son de interés para el proceso.

Debido a que la eficiencia de la absorción y la concentración final del producto dependen estrictamente de la interacción físico-química entre ambas fases, la columna CA-301 requiere una estrategia de control rigurosa. El autómata programable (PLC) gestiona de forma coordinada los caudales de alimentación y las variables hidrodinámicas internas para evitar fenómenos de inundación o caídas drásticas en el rendimiento de la separación.

En esta sección de la memoria se describen y analizan detalladamente los lazos de control implementados en la torre de absorción CA-301, diseñados para mantener la operación en condiciones óptimas y asegurar la calidad continua del producto final.

3.6.5.1 Lazo de control de caudal

Para garantizar que la solución acuosa de formaldehído obtenida por el fondo de la torre cumpla con la composición estequiométrica y comercial concreta, es imprescindible regular el caudal de agua de aportación en función de la cantidad de gas que ingresa a la columna. Una cantidad insuficiente de agua provocaría una absorción incompleta y pérdidas de producto por la corriente de gases superior, mientras que un exceso de agua diluiría el formaldehído por debajo de las especificaciones de calidad. Para solucionar esto, se implementa una estrategia de control de relación de caudal (*ratio control*). Este sistema se identifica bajo el código F-CA301-1.

Esta configuración de control automático mide de forma simultánea ambas corrientes y opera de la siguiente manera:

- **Medición de la Corriente de Carga (Línea Maestra):** Un elemento primario de caudal (FE) acoplado a su respectivo transmisor de caudal (FT) se instala en la tubería de gas rica en formaldehído que sale del reactor y se dirige a la zona inferior de la torre.

Esta medición actúa como la variable maestra o independiente del lazo, enviando la lectura del caudal real de gas al controlador en tiempo real.

- **Medición y Regulación de la Corriente de Agua (Línea Esclava):** En la tubería de agua de proceso que entra por la parte superior de la torre, se dispone de otro elemento de caudal (FE) y su correspondiente transmisor (FT). Esta señal se envía al controlador indicador de caudal (FIC) del PLC, el cual actúa como el bucle esclavo o dependiente. El controlador calcula de forma continua el caudal de agua requerido aplicando un factor de relación matemático preestablecido sobre el caudal de formaldehído gaseoso medido en la línea maestra.

El comportamiento dinámico del sistema ante las variaciones de la planta se ejecuta de la siguiente manera:

- **Regulación ante un incremento de carga:** Si la producción en el reactor aumenta y el transmisor de la línea maestra (FT) registra un mayor caudal de gases de formaldehído hacia la torre, el controlador (FIC) recalcula instantáneamente la demanda de agua necesaria para mantener la proporción. De forma automática, ordena la apertura proporcional de la válvula de control de caudal (FCV) situada en la línea de agua de entrada, asegurando que haya suficiente líquido para absorber todo el gas circulante.

- **Regulación ante un descenso de carga:** Por el contrario, si el caudal de gas proveniente del reactor disminuye, el sistema reduce dinámicamente el punto de consigna de agua. El controlador (FIC) restringe la posición de la válvula (FCV) para evitar una dilución excesiva del formaldehído en el fondo y mantener la composición del producto estrictamente constante.

La gran ventaja de este lazo de control de relación radica en su capacidad para anticiparse a los cambios de concentración. Al ligar el agua de absorción directamente al caudal de entrada de los reactivos, se absorbe el formaldehído de manera óptima independientemente de las fluctuaciones de carga que sufra el reactor, estabilizando la operación de la columna empacada.

En la Tabla 3.6.10 se puede observar un resumen detallado sobre el funcionamiento de este lazo de control de relación y sus parámetros de diseño en la torre CA-301. Asimismo, la hoja de especificaciones de este lazo de control se muestra en la Figura 3.6.6, tomando como referencia el equipo CA-301.

Tabla 3.6.10. Características del lazo de control de caudal de la torre de absorción

FORMICS	Caracteristicas del lazo de control	
	Area	300
Nomenclatura de los lazos	FE-CA301, FT-CA301, FCV-CA301	
Equipos	CA-301	
Tipos de lazo	Feedback	
Variable controlada	Caudal de la torre de absorción	
Variable manipulada	Caudal	
Set Point	3000 kg/h	
Indicador	Si	
Alarma	No	

3.6.5.2 Lazo de control de presión

En la columna empacada CA-301, el mantenimiento de la presión operativa interna es una variable de control fundamental para asegurar el correcto equilibrio líquido-vapor durante el proceso de transferencia de materia. Una presión estable garantiza que la velocidad del gas ascendente sea la adecuada para interactuar con el agua de absorción sin provocar caídas de presión excesivas ni fenómenos hidrodinámicos desfavorables, como el arrastre de líquido por la cúpula o la inundación del empaque. Asimismo, debido a que se manejan compuestos orgánicos volátiles, el control estricto de la presión actúa como una barrera de seguridad mecánica e higiénica esencial para evitar la deformación estructural de la torre o fugas hacia el exterior.

Para mantener la presión interna estrictamente dentro de los límites operativos estipulados, se implementa un sistema de control automático de tipo *feedback* que gestiona de manera coordinada una doble valvulería de acción contrapuesta, siguiendo la misma lógica de seguridad que la aplicada en los reactores y tanques de la planta. Este lazo de control se identifica bajo el código P-CA301-1, asociado específicamente a la torre de absorción CA-301.

El funcionamiento del lazo se basa en un elemento primario de detección conectado a un transmisor de presión (PT) instalado en la zona superior (cúpula) de la torre, el cual mide en tiempo real la presión de la fase gaseosa residual antes de su salida y envía de forma continua esta señal al controlador indicador de presión (PIC) integrado en el autómata programable (PLC).

El comportamiento dinámico del lazo de control se activa ante las fluctuaciones del proceso de la siguiente manera:

- **Regulación ante sobrepresión (Liberación de gases):** Si debido a un incremento térmico, un aumento repentino en la carga de gases del reactor o una restricción en la

línea de salida el transmisor (PT) registra que la presión interna supera el punto de consigna (*setpoint*), el controlador (PIC) ordena la apertura proporcional de la válvula de venteo de la torre. Esto permite la evacuación controlada del exceso de gases no condensables hacia el sistema de tratamiento de efluentes gaseosos de emergencia de la planta, reduciendo la presión interna hasta restablecer el valor de diseño.

- **Regulación ante baja presión (Inyección de nitrógeno):** Por el contrario, si durante las fases de puesta en marcha, paradas de emergencia o descensos bruscos en la alimentación del reactor la presión interna disminuye en exceso por debajo del *setpoint*, el controlador (PIC) cierra la línea de venteo y abre de forma automática la válvula de aporte de nitrógeno. La introducción de este gas inerte compensa de inmediato la pérdida de presión, manteniendo la torre presurizada y evitando condiciones de vacío relativo que pudieran colapsar mecánicamente las paredes del equipo o permitir la entrada de aire atmosférico.

- **Sistema de alarmas e interruptores de seguridad:** Como estrategia de protección y redundancia ante variaciones críticas, el lazo incorpora interruptores para alarmas de presión alta (PSH) y presión baja (PSL) independientes. Si la presión cruza los umbrales de seguridad establecidos, el sistema activa de inmediato las respectivas alarmas visuales y acústicas en la sala de control para alertar a los operadores, ejecutando de manera automática enclavamientos lógicos en la valvulería para proteger la integridad física de la columna.

En la Tabla 3.6.11 se puede observar un resumen detallado sobre el funcionamiento de este lazo de control de presión y sus parámetros operativos en la torre de absorción CA-301. Asimismo, la hoja de especificaciones de este lazo de control se muestra en la Figura 3.6.6, tomando como referencia el equipo CA-301.

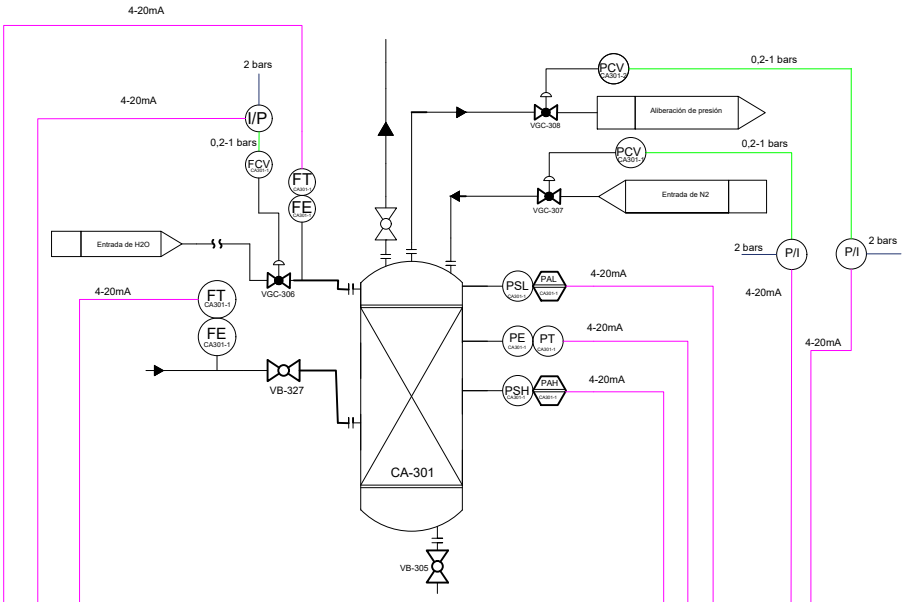
Tabla 3.6.11. Características del lazo de control de presión de la torre de absorción

FORMICS	Caracteristicas del lazo de control	
	Area	300
Nomenclatura de los lazos	PE-CA301, PT-CA301, PCV-CA301, PSL-CA301, PAL-CA301, PSH-CA301, PAH-CA301	
Equipos	CA-301	
Tipos de lazo	Feedback	
Variable controlada	Presión de la torre de absorción	
Variable manipulada	Presión	
Set Point	1,5 bares	
Indicador	Si	
Alarma	Si	

Especificaciones de enlaces de control	Fecha	13/06/2026	1/1
	Área	300	

Enlaces analogos	Componentes del lazo	
L-CA301-1	FE-301: elemento de cabal	FT-301: transmisor de cabal
	FCV-301: válvula de control de cabal	PE-301: elemento de presión
	PT-301: transmisor de presión	PCV-301: válvula de control de presión
	PY-301-1: Transductor I/P	FY-301-1: Transductor I/P

Campo



Panel

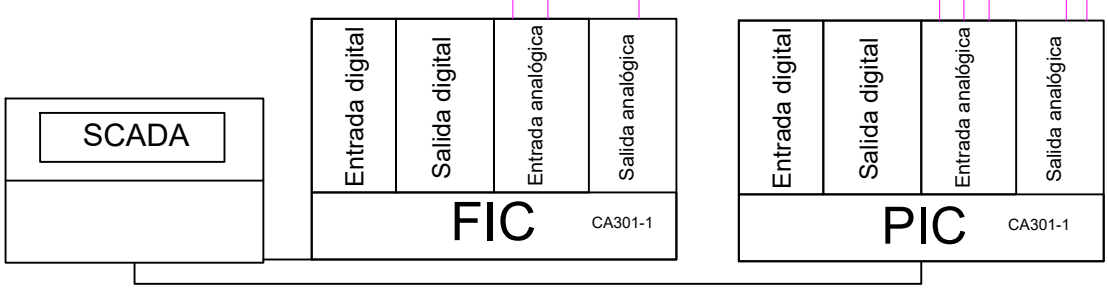


Figura 3.6.6. Hoja de especificaciones de los lazos de control de la torre de absorción

3.6.6 Scrubber

El *scrubber* o torre de lavado de gases, catalogado en el proceso como LG-301, es un equipo de transferencia de materia diseñado con el objetivo de depurar las corrientes gaseosas residuales antes de su emisión o tratamiento posterior. En este equipo, los gases que contienen trazas de compuestos orgánicos o contaminantes se alimentan por la parte inferior, mientras que un flujo de agua de lavado se introduce por la parte superior en contracorriente. El contacto íntimo entre ambas fases permite que el agua absorba y arrastre los componentes solubles, descargándose una solución acuosa por el fondo del equipo, mientras que la corriente gaseosa limpia e inertizada se evacúa por la cúpula superior.

Al igual que en la torre de absorción, la eficiencia de la purificación y la estabilidad operativa del LG-301 dependen estrictamente del balance hidráulico entre el gas ascendente y el líquido lavador. Por ello, el autómata programable (PLC) gestiona de forma automatizada tanto el aporte de agua como las condiciones termodinámicas internas para evitar arrastres excesivos o pérdidas de eficiencia en la retención de contaminantes.

En esta sección de la memoria se describen y analizan detalladamente los lazos de control implementados en el *scrubber* LG-301, orientados a asegurar una operación ambientalmente segura y técnicamente óptima.

3.6.6.1 Lazo de control de caudal

Para garantizar que el lavado de los gases residuales sea completo y cumpla con las normativas de emisión, es imprescindible regular el caudal de agua de aportación en función de la cantidad de gas que ingresa al equipo. Una dosificación insuficiente de agua disminuiría la eficiencia de remoción de trazas contaminantes, mientras que un exceso saturaría el equipo de forma innecesaria. Para solucionar esto, se implementa una estrategia de control de relación de caudal (*ratio control*). Este sistema se identifica bajo el código F-LG301-1.

Esta configuración de control automático mide de forma simultánea ambas corrientes y opera de la siguiente manera:

- **Medición de la Corriente de Gas (Línea Maestra):** Un elemento primario de caudal (FE) acoplado a su respectivo transmisor de caudal (FT) se instala en la tubería de gas residual que se dirige a la zona inferior del *scrubber*. Esta medición actúa como la variable maestra o independiente del lazo, enviando la lectura del caudal real de gas al controlador en tiempo real.

- **Medición y Regulación de la Corriente de Agua (Línea Esclava):** En la tubería de agua de lavado que entra por la parte superior del LG-301, se dispone de otro elemento de caudal (FE) y su correspondiente transmisor (FT). Esta señal se envía al controlador indicador de caudal (FIC) del PLC, el cual actúa como el bucle esclavo o dependiente. El controlador calcula de forma continua el caudal de agua requerido aplicando un factor de relación matemático preestablecido sobre el caudal de gas medido en la línea maestra.

El comportamiento dinámico del sistema ante las variaciones de la planta se ejecuta de la siguiente manera:

- **Regulación ante un incremento de carga:** Si el caudal de gas residual hacia el *scrubber* aumenta, el transmisor de la línea maestra (FT) registra esta variación y el controlador (FIC) recalcula instantáneamente la demanda de agua de lavado necesaria. De forma automática, ordena la apertura proporcional de la válvula de control de caudal (FCV) situada en la línea de agua de entrada, asegurando una correcta amortiguación y lavado del gas.

- **Regulación ante un descenso de carga:** Por el contrario, si el caudal de gas disminuye, el sistema reduce dinámicamente el punto de consigna de agua. El controlador (FIC) restringe la posición de la válvula (FCV) para optimizar el consumo de agua de proceso sin comprometer la calidad de la depuración.

En la Tabla 3.6.12 se puede observar un resumen detallado sobre el funcionamiento de este lazo de control de relación y sus parámetros de diseño en el scrubber LG-301. Asimismo, la hoja de especificaciones de este lazo de control se muestra en la Figura 3.6.7, tomando como referencia el equipo LG-301.

Tabla 3.6.12. Características del lazo de control de caudal del scrubber

FORMICS	Caracteristicas del lazo de control	
	Area	300
Nomenclatura de los lazos	FE-LG301, FT-LG301, FCV-LG301	
Equipos	LG-301, LG-302	
Tipos de lazo	Feedback	
Variable controlada	Caudal del scrubber	
Variable manipulada	Caudal	
Set Point	LG-301 y LG-302: 1900 kg/h	
Indicador	Si	
Alarma	No	

3.6.6.2 Lazo de control de presión

El mantenimiento de la presión operativa interna en el *scrubber* LG-301 es una variable de control fundamental para asegurar el correcto flujo de los gases a través del equipo y evitar contrapresiones que afecten a las unidades de proceso ubicadas aguas arriba. Asimismo, al manejar gases residuales del proceso Formox, el control estricto de la presión actúa como una barrera de seguridad mecánica esencial para evitar la deformación estructural de la torre o fugas hacia la atmósfera.

Para mantener la presión interna estrictamente dentro de los límites operativos estipulados, se implementa un sistema de control automático de tipo *feedback* que gestiona de manera coordinada una doble valvulería de acción contrapuesta, siguiendo la misma lógica de seguridad que la aplicada en el resto de equipos de la planta. Este lazo de control se identifica bajo el código P-LG301-1, asociado específicamente al *scrubber* LG-301.

El funcionamiento del lazo se basa en un elemento primario de detección conectado a un transmisor de presión (PT) instalado en la cúpula superior del equipo, el cual mide en tiempo real la presión de la fase gaseosa limpia y envía de forma continua esta señal al controlador indicador de presión (PIC) integrado en el autómata programable (PLC).

El comportamiento dinámico del lazo de control se activa ante las fluctuaciones del proceso de la siguiente manera:

- **Regulación ante sobrepresión (Liberación de gases):** Si debido a una acumulación transitoria de gases o a una restricción en la línea de salida el transmisor (PT) registra que la presión interna supera el punto de consigna (*setpoint*), el controlador (PIC) ordena la apertura proporcional de la válvula de venteo o salida de gases. Esto permite la evacuación controlada del exceso de gas hacia la chimenea o sistema de antorcha de la planta, reduciendo la presión interna hasta restablecer el valor de diseño.

- **Regulación ante baja presión (Inyección de nitrógeno):** Por el contrario, si durante las fases de parada, fluctuaciones térmicas o descensos bruscos en la alimentación de gas la presión interna disminuye en exceso por debajo del *setpoint*, el controlador (PIC) cierra la línea de salida y abre de forma automática la válvula de aporte de nitrógeno. La introducción de este gas inerte compensa de inmediato la pérdida de presión, manteniendo el equipo presurizado y evitando condiciones de vacío relativo que pudieran colapsar mecánicamente las paredes del equipo o permitir la entrada no deseada de aire atmosférico.

- **Sistema de alarmas e interruptores de seguridad:** Como estrategia de protección y redundancia ante variaciones críticas, el lazo incorpora interruptores para alarmas de presión alta (PSH) y presión baja (PSL) independientes. Si la presión cruza los umbrales de seguridad establecidos, el sistema activa de inmediato las respectivas alarmas visuales y acústicas en la sala de control para alertar a los operadores, ejecutando de

manera automática enclavamientos lógicos en la valvulería para proteger la integridad física de la columna de lavado.

En la Tabla 3.6.13 se puede observar un resumen detallado sobre el funcionamiento de este lazo de control de presión y sus parámetros operativos en el scrubber LG-301. Asimismo, la hoja de especificaciones de este lazo de control se muestra en la Figura 3.6.7, tomando como referencia el equipo LG-301.

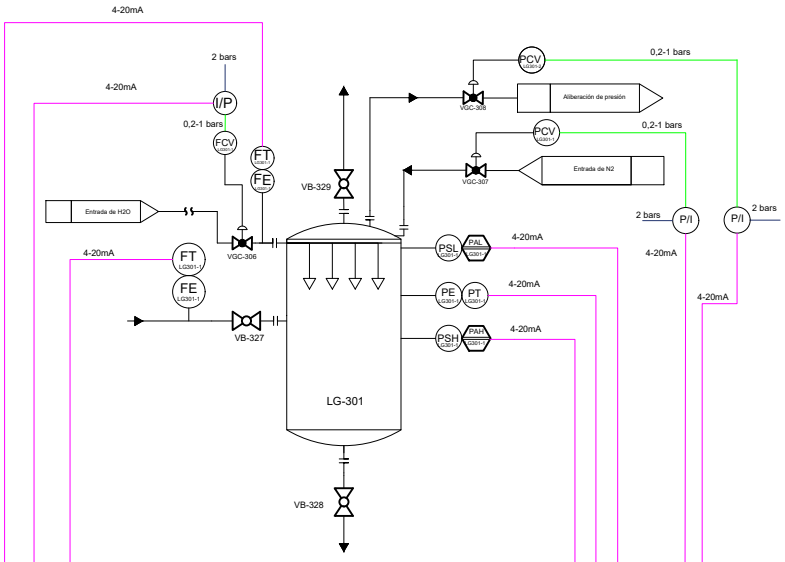
Tabla 3.6.13. Características del lazo de control de presión del scrubber

	Caracteristicas del lazo de control	
	Area	300
Nomenclatura de los lazos	PE-LG301, PT-LG301, PCV-LG301, PSL-LG301, PAL-LG301, PSH-LG301, PAH-LG301	
Equipos	LG-301, LG-302	
Tipos de lazo	Feedback	
Variable controlada	Presión del scrubber	
Variable manipulada	Presión	
Set Point	LG-301 y LG-302: 1,1 bares	
Indicador	Si	
Alarma	Si	

Especificaciones de los enlaces de control	Fecha	13/06/2026	1/1
	Área	300	

Enlaces analogos	Componentes del lazo	
L-LG302-1	FE-301: elemento de cabal	FT-301: transmisor de cabal
	FCV-301: válvula de control de cabal	PE-301: elemento de presión
	PT-301: transmisor de presión	PCV-301: válvula de control de presión
	PY-301-1: Transductor I/P	FY-301-1: Transductor I/P

Campo



Panel

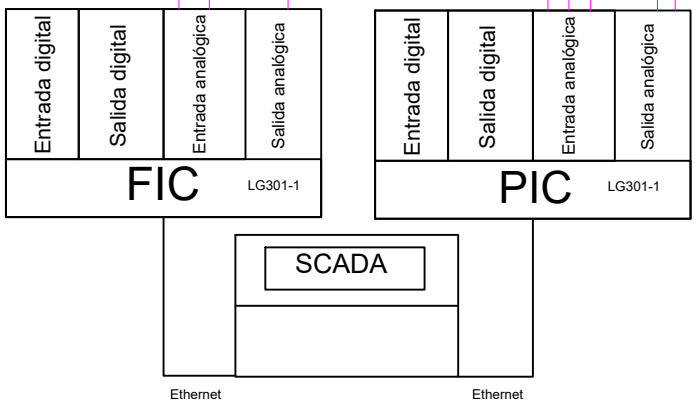


Figura 3.6.7. Hoja de especificaciones de los lazos de control del scrubber

3.6.7 Reactor biológico

Las corrientes de fondo y de cúpula provenientes del segundo *scrubber* de la planta se unifican y se dirigen de forma conjunta hacia el reactor biológico, catalogado en el proceso como RB-301. Este equipo consiste en un biorreactor de lodos activos diseñado para llevar a cabo el tratamiento secundario aerobio de los efluentes remanentes del proceso Formox. En su interior, una población específica de microorganismos (biomasa) degrada los compuestos orgánicos traza y los subproductos solubles mediante procesos de oxidación biológica, transformándolos en sustancias inertes y agua. Para que esta digestión biológica ocurra de manera eficiente, es estrictamente necesario mantener unas condiciones ambientales óptimas dentro del tanque que favorezcan el metabolismo y el crecimiento de la biomasa.

Debido a que los procesos biológicos presentan una alta sensibilidad frente a variaciones de carga orgánica, niveles de oxígeno y agitación, el reactor RB-301 cuenta con una instrumentación avanzada conectada al autómata programable (PLC). Este sistema coordina la aireación y la transferencia de materia para evitar la mortandad de los microorganismos y asegurar que el efluente final cumpla rigurosamente con los límites de vertido y especificaciones ambientales.

En esta sección de la memoria se describen y analizan detalladamente los lazos de control implementados en el reactor biológico RB-301, orientados a maximizar el rendimiento de la biodegradación.

3.6.7.1 Lazo de control de la conductividad

El rendimiento metabólico de los microorganismos aerobios dentro del reactor RB-301 está directamente correlacionado con la concentración de iones disueltos, variable que se monitorizan de forma indirecta mediante la conductividad eléctrica (CE) a la salida del equipo. Una variación en la conductividad del efluente purificado es un indicador directo de una degradación incompleta o de una alteración en la actividad biológica. Para contrarrestar estas desviaciones y optimizar las condiciones de respiración y mezcla del sistema, se implementa una estrategia de control automático multivariable basada en la medición de la conductividad a la salida, la cual actúa de forma coordinada sobre el caudal del compresor de aire y la velocidad del agitador mecánico. Este lazo se identifica bajo el código Q-RB301-1.

Este sistema de control avanzado opera a través de los siguientes elementos de instrumentación:

- **Medición de la Variable Maestra (Conductividad):** Un elemento primario de conductividad (CE) instalado en la tubería de salida del efluente del reactor biológico

mide continuamente la conductividad eléctrica real de la solución y envía la señal a un transmisor de conductividad (CT), el cual transmite el dato en tiempo real al controlador indicador de conductividad (CIC) del PLC.

- **Medición y Acción sobre el Circuito de Aireación:** En la línea de inyección de aire del compresor (sistema aerobio), se dispone de un elemento de caudal (FE) acoplado a su transmisor de caudal (FT) para registrar el volumen de aire introducido. El controlador del PLC procesa la lectura de conductividad y envía una señal correctiva que modifica simultáneamente el punto de consigna del variador de frecuencia (VFD) del compresor de aire y la velocidad del motor del agitador del reactor.

El comportamiento dinámico del lazo de control ante las variaciones biológicas se ejecuta de la siguiente manera:

- **Regulación ante un incremento de la conductividad (Bajo rendimiento):** Si la conductividad eléctrica a la salida del reactor aumenta respecto al punto de consigna (*setpoint*), el sistema interpreta que existe una acumulación de materia orgánica no degradada o subproductos iónicos debido a una ralentización del metabolismo de la biomasa. De forma automática, el controlador (CIC) ordena un aumento en el caudal del compresor de aire para incrementar la concentración de oxígeno disuelto disponible y, de manera simultánea, eleva las revoluciones del agitador mecánico. Esta acción combinada acelera la transferencia de oxígeno hacia los flóculos bacterianos y mejora la homogeneización del sustrato, estimulando el rendimiento de los microorganismos para reducir la conductividad a valores seguros.

- **Regulación ante una disminución de la conductividad (Operación óptima):** Por el contrario, si la conductividad a la salida disminuye y se mantiene en niveles bajos estables, indicando una correcta y completa biodegradación, el controlador (CIC) reduce de forma proporcional la velocidad del agitador y restringe el caudal de aire del compresor a través de sus variadores. De este modo, se evita la sobreoxigenación del medio (que podría romper los flóculos de biomasa) y se optimiza drásticamente el consumo energético de la planta.

La implementación de este lazo de control basado en la conductividad eléctrica garantiza una respuesta dinámica y automatizada frente a las fluctuaciones de carga del proceso, asegurando que el ecosistema bacteriano del reactor RB-301 cuente siempre con los niveles de oxígeno y mezcla mecánicamente adecuados para mantener la máxima eficiencia de depuración.

En la Tabla 3.6.14 se puede observar un resumen detallado sobre el funcionamiento de este lazo de control de conductividad y sus parámetros de operación en el reactor biológico RB-301. Asimismo, la hoja de especificaciones de este lazo de control se muestra en la Figura 3.6.8, tomando como referencia el equipo RB-301.

Tabla 3.6.14. Características del lazo de control de conductividad del reactor biológico

	Caracteristicas del lazo de control	
	Area	300
Nomenclatura de los lazos	CE-RB301, CT-RB301	
Equipos	RB-301	
Tipos de lazo	Cascada	
Variable controlada	Conductividad del reactor biológico	
Variable manipulada	Conductividad	
Set Point	1,5 mS/cm	
Indicador	Si	
Alarma	No	

3.6.7.2 Enlace de control de presión

En el reactor biológico RB-301, el mantenimiento de la presión interna en la zona de la cúpula gaseosa es una variable operativa y de seguridad sumamente crítica. A diferencia de las columnas o tanques químicos, un biorreactor de lodos activos genera biogás y otros subproductos volátiles debido a la actividad metabólica de la biomasa, además de recibir la inyección continua de aire del compresor para el proceso aerobio. Un control riguroso de la presión interna es indispensable para evitar fenómenos hidrodinámicos desfavorables que alteren la solubilidad del oxígeno disuelto en el líquido, prevenir la fuga de olores o gases nocivos hacia la atmósfera y proteger la integridad física del tanque frente a esfuerzos mecánicos imprevistos.

Para garantizar que la presión interna se mantenga estrictamente dentro de los límites operativos estipulados, se implementa un sistema de control automático de tipo *feedback* que gestiona de manera coordinada una doble valvulería de acción contrapuesta, siguiendo la misma lógica de seguridad que la aplicada en el resto de los equipos de la planta. Este lazo de control se identifica bajo el código P-RB301-1, operando de forma continua en el reactor biológico.

El funcionamiento del lazo se basa en un elemento primario de detección conectado a un transmisor de presión (PT) instalado en la parte superior del reactor, el cual mide en tiempo real la presión de la fase gaseosa interna y envía de forma continua esta señal al controlador indicador de presión (PIC) integrado en el autómata programable (PLC).

El comportamiento dinámico del lazo de control se activa ante las fluctuaciones del proceso de la siguiente manera:

- **Regulación ante sobrepresión (Liberación de gases):** Si debido a un aumento repentino en la inyección de aire del compresor, un incremento en la actividad biológica

con generación de gases o una restricción en la salida el transmisor (PT) registra que la presión interna supera el punto de consigna (*setpoint*), el controlador (PIC) ordena la apertura proporcional de la válvula de venteo o salida de gases. Esto permite la evacuación controlada del exceso de gas hacia el sistema de desodorización o tratamiento de gases de la planta, reduciendo la presión interna hasta restablecer el valor de diseño.

- **Regulación ante baja presión (Inyección de nitrógeno):** Por el contrario, si durante las fases de parada del compresor de aire, operaciones de vaciado transitorio o descensos bruscos de temperatura la presión interna disminuye en exceso por debajo del *setpoint*, el controlador (PIC) cierra la línea de salida y abre de forma automática la válvula de aporte de nitrógeno. La introducción de este gas inerte compensa de inmediato la pérdida de presión, manteniendo el reactor presurizado y evitando condiciones de vacío relativo que pudieran colapsar mecánicamente las paredes del equipo o permitir la entrada de aire atmosférico no controlado.

- **Sistema de alarmas e interruptores de seguridad:** Como estrategia de protección y redundancia ante variaciones críticas, el lazo incorpora interruptores para alarmas de presión alta (PSH) y presión baja (PSL) independientes. Si la presión cruza los umbrales de seguridad establecidos, el sistema activa de inmediato las respectivas alarmas visuales y acústicas en la sala de control para alertar a los operadores, ejecutando de manera automática enclavamientos lógicos en la valvulería para proteger la integridad física del reactor biológico.

En la Tabla 3.6.15 se puede observar un resumen detallado sobre el funcionamiento de este lazo de control de presión y sus parámetros operativos en el reactor biológico RB-301. Asimismo, la hoja de especificaciones de este lazo de control se muestra en la Figura 3.6.8, tomando como referencia el equipo RB-301.

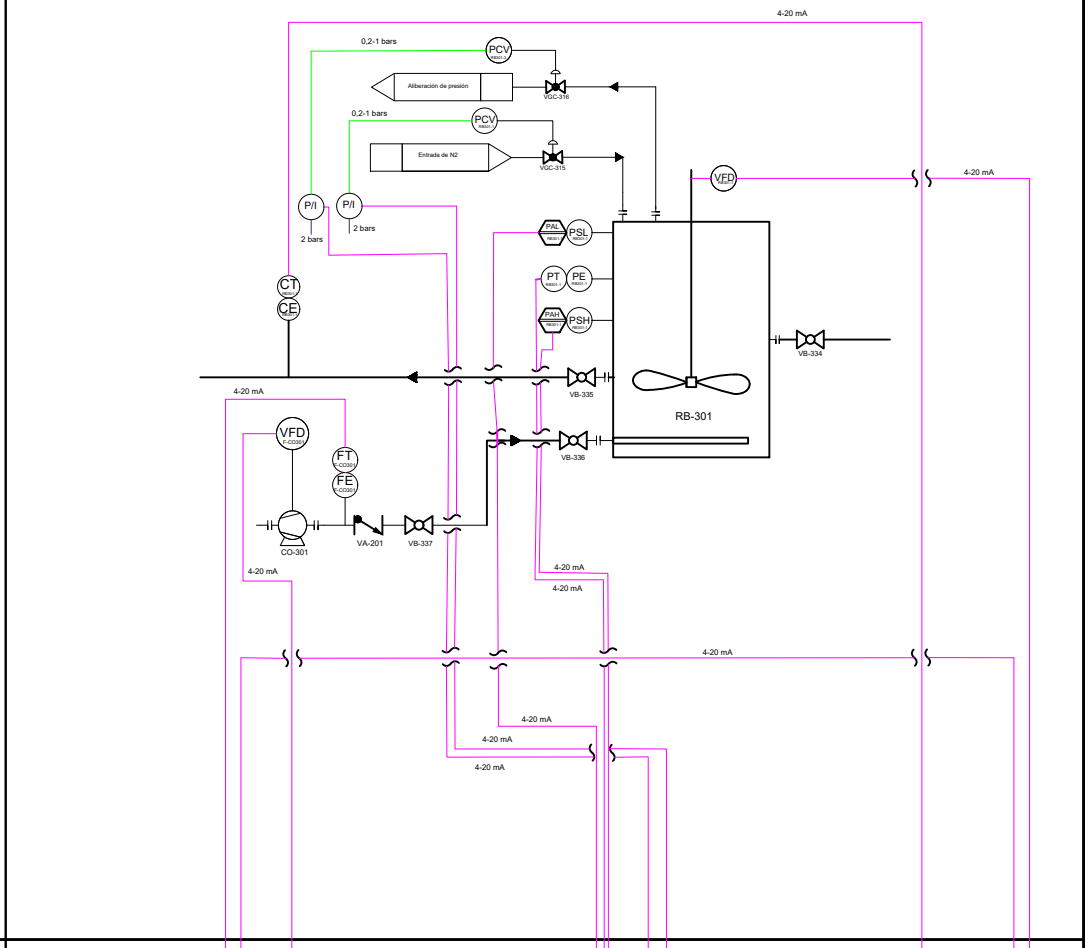
Tabla 3.6.15. Características del lazo de control de presión del reactor biológico

FORMICS	Caracteristicas del lazo de control	
	Area	300
Nomenclatura de los lazos	PE-RB301, PT-RB301, PCV-RB301, PSL-RB301, PAL-RB301, PSH-RB301, PAH-RB301	
Equipos	RB-301	
Tipos de lazo	Feedback	
Variable controlada	Presión del reactor biológico	
Variable manipulada	Presión	
Set Point	1,03 bares	
Indicador	Si	
Alarma	Si	

Especificaciones de enlaces de control	Fecha	13/06/2026	1/1
	Área	300	

Enlaces analogos	Componentes del lazo	
L-RB301-1	TE-201: elemento de temperatura	PE-201: elemento de presión
	FE-201: elemento de cabal	PCV-201: válvula de control de presión
	FCV-201: válvula de control de cabal	PY-201-1: Transductor I/P
	PT-201: transmisor de presión	FY-201-1: Transductor I/P
	TAL-201: alarma de temperatura baja	TT-201: Transmisor de temperatura
	TAH-201: alarma de temperatura alta	TSH-201: interruptor de temperatura alta
	CE-301: elemnto de conductividad	TSL-201: interruptor de temperatura baja
	CT-301: transmisor de conductividad	FT-201: transmisor de cabal
	VFD-301: variador de frecuencia	

Campo



Panel

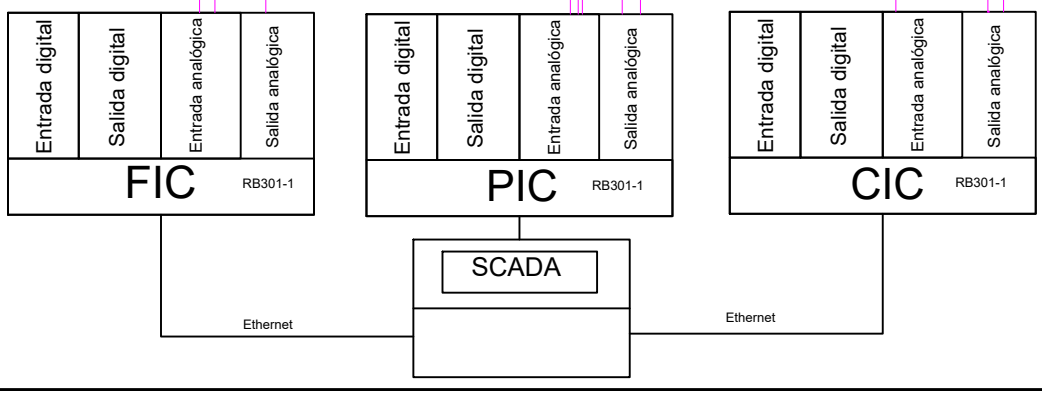


Figura 3.6.8. Hoja de especificaciones de los lazos de control del reactor biológico

3.7 Bibliografía

[1] Endress+Hauser. (2011). *Technical Information*. https://portal.endress.com/wa001/dla/5000499/1557/000/03/TI00256ten_0111.pdf

[2] Endress+Hauser. (2011). *Technical Information*. https://portal.endress.com/wa001/dla/5000000/5738/000/01/TI274ten_0111.pdf

[3] Endress+Hauser. (s.f.). *Medición por radar guiado Time-of-Flight Levelflex FMP51*. https://www.es.endress.com/es/instrumentacion-campo/medicion-nivel/radar-guiado-medicion-nivel-fmp51?t.tabId=product-overview

[4] Endress+Hauser. (s.f.). *Absolute and gauge pressure Cerabar PMP71: Product specification*. https://www.endress.com/en/field-instruments-overview/pressure/Absolute-Gauge-Cerabar-PMP71?t.tabId=product-specification

[5] Endress+Hauser. (s.f.). *Manual de instrucciones BA00270P* [Archivo PDF]. https://bdih-download.endress.com/files/DLA/02000100000071EE59FAF854FAED285E7/BA00270Pes_v19.15_FENT-SE.pdf

[6] Meditecna. (s.f.). *Presostato mecánico 120 Series*. https://meditecna.com/producto/presostato-mecanico-120-series

[7] Endress+Hauser. (s.f.). *Sensor de conductividad digital*. https://www.es.endress.com/es/instrumentacion-campo/analisis-liquidos-industria/sensor-conductividad-digital

[8] Endress+Hauser. (s.f.). *Proline Promass F 300 Caudalímetro Coriolis*. https://www.es.endress.com/es/instrumentacion-campo/medicion-caudal/caudalimetro-coriolis-robusto?t.tabId=product-overview

[9] Samson. (s.f.). *Hoja técnica* (T 8039 ES). https://www.samson.de/document/t80390es.pdf

[10] SAMSON. (s.f.). *Hoja técnica T 58740 ES* [Archivo PDF]. https://www.samson.de/document/t58740es.pdf

[11] Siemens. (2026). *SINAMICS G120*. https://www.siemens.com/es-es/products/sinamics/g120/