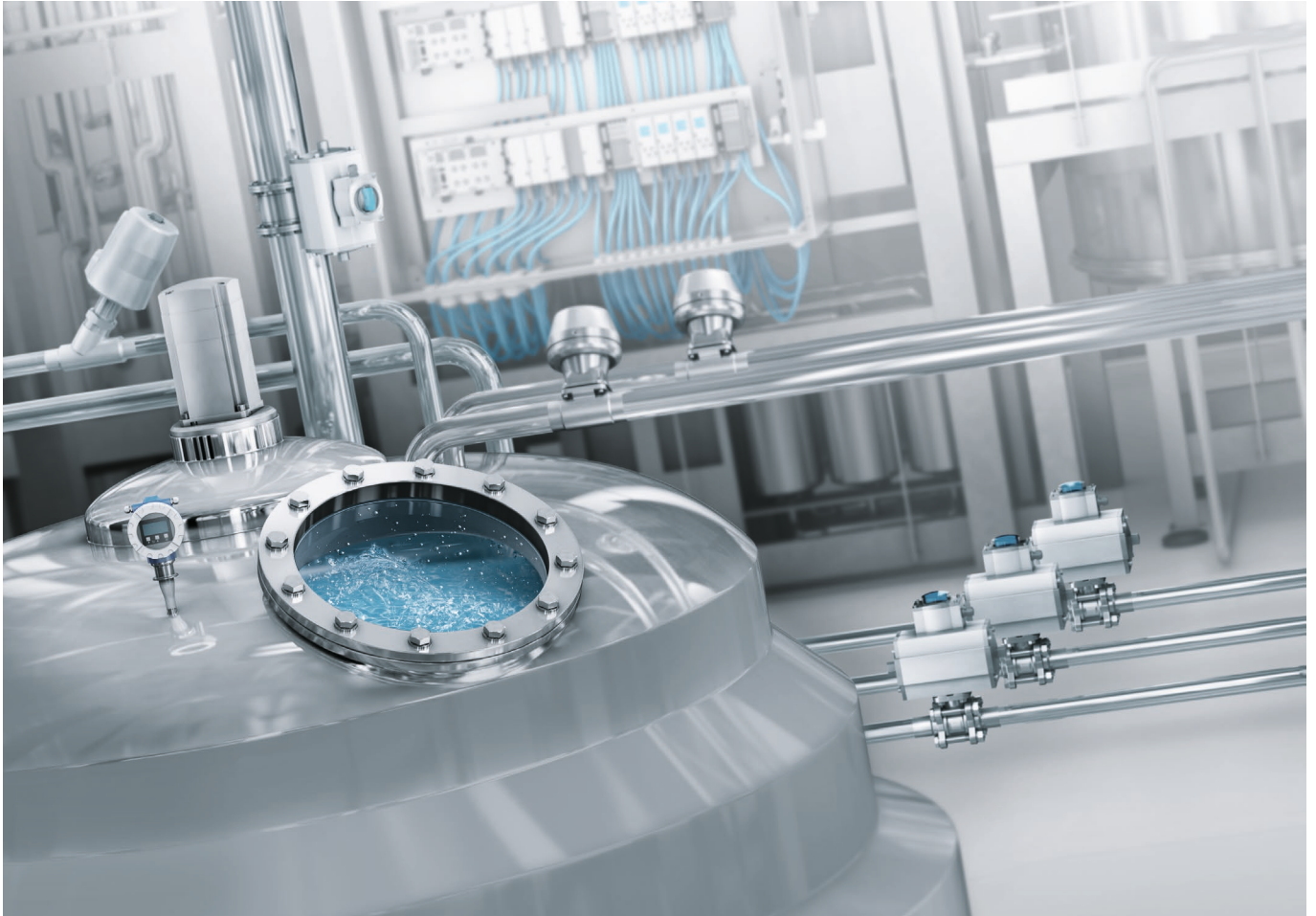


# White Paper

## Válvulas proporcionales para regular gases inertes en la automatización de procesos



En la automatización de procesos se regulan los gases en función de la presión o el caudal. Los requisitos para la prevención y protección contra explosiones hacen que se cree y se mantenga una atmósfera inerte en tanques, reactores y aparatos de proceso de una planta. Lo habitual es realizarlo con nitrógeno y, en parte, también con argón. Existen otras aplicaciones en la transferencia de material entre depósitos de proceso y en el llenado. En ellas se aplican gases inertes, aire, aire estéril y dióxido de carbono. Otra aplicación es la admisión presurizada de gases en juntas rotativas. Principalmente se cubren las siguientes funciones:

- Inertización, es decir, sustitución total del volumen de gas contenido (no regulado, caudal elevado)
- Superposición de presión (regulación de presión)
- Inyección en recipientes y equipos de proceso (regulación de caudal)
- Transferencia de material (regulación de presión)
- Admisión presurizada y vigilancia de juntas rotativas

En la actualidad, estas funciones se cubren en muchas aplicaciones con circuitos de tuberías específicos de cada margen de presión y cada gas, con sus válvulas reguladoras y medidores de caudal. Según los requisitos del proceso y del sector, una regulación de este tipo comporta unos costes iniciales de entre 3000 y 10 000 € por circuito de regulación.

La tecnología de válvulas proporcionales es una alternativa interesante para la regulación de gases inertes en la automatización de procesos. Con ella se obtiene la precisión de la tecnología existente con un trabajo de instalación y una inversión menores. El montaje de la estación de regulación en un armario de maniobra compacto también supone un ahorro de espacio y facilita el acceso a todos los componentes del proceso. La posible integración de las válvulas proporcionales y los terminales de válvulas reduce la necesidad de espacio, hace más fácil la automatización y aumenta las posibilidades de diagnóstico. También pueden automatizarse determinados procesos que hasta ahora se realizaban manualmente, y todo de forma sencilla y económica.

### 1. Tecnología de válvulas proporcionales

Una válvula proporcional es un regulador de presión proporcional que no solo permite aplicar las posiciones discretas abierto/cerrado, también regula la presión de salida de forma continua mediante un electroimán proporcional o dos válvulas de conexión como válvula servopilotada. El caudal se regula sin problemas con los correspondientes sensores aguas abajo.

La figura 1 muestra un circuito de regulación cerrado con un regulador simple. Este notifica el valor real de la magnitud regulada  $x$  a la unidad de regulación de forma continua. Ahí se produce una comparación con el valor nominal  $w$ , el cálculo de la desviación  $e$  y la derivación de la nueva magnitud de ajuste, que se transmite al posicionador. Este vuelve a ajustar la válvula y reduce la desviación de regulación. Normalmente, estos circuitos de regulación trabajan de forma permanente a través de diferentes magnitudes perturbadoras  $z$ , como p. ej., la caída de presión en la red de conducciones antes y después de la válvula. La velocidad y la precisión de regulación dependen de la configuración general del tramo de regulación, el tipo de regulador y los componentes empleados.

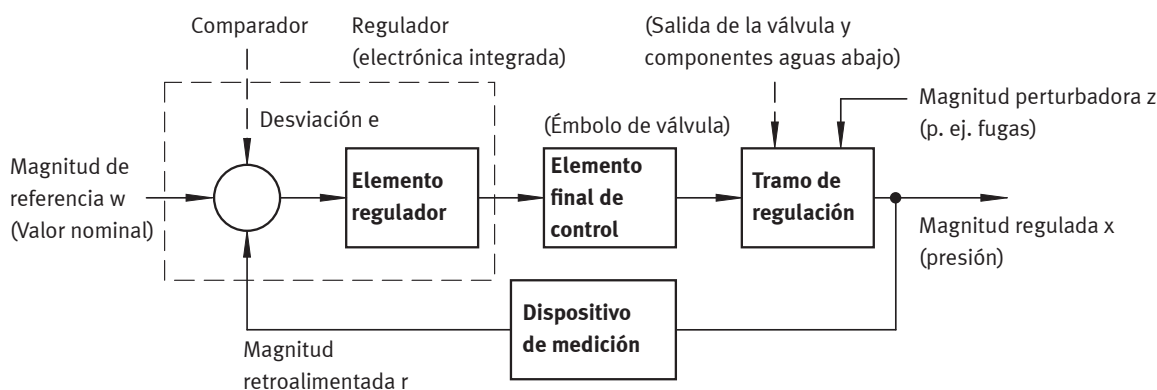


Fig. 1. Circuito de regulación en bucle cerrado convencional

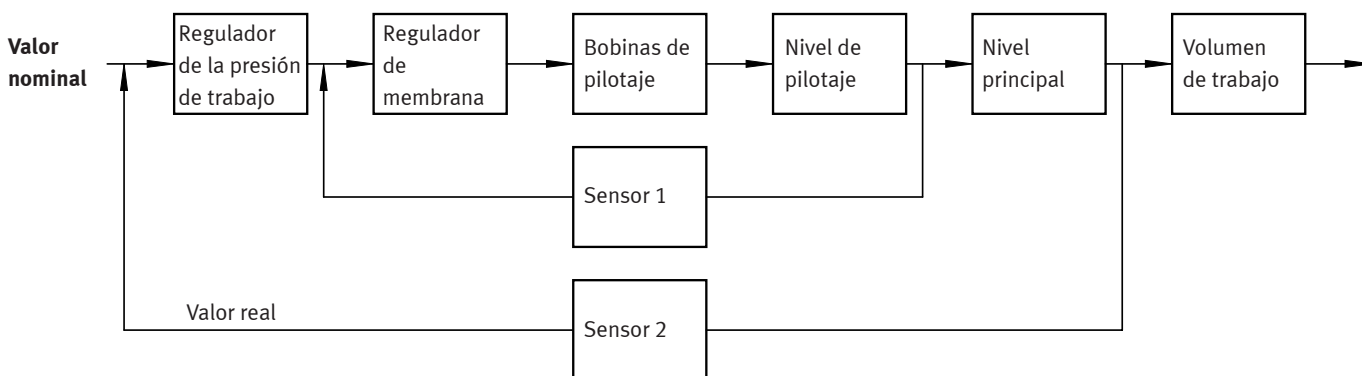


Fig. 2. Control multisensor (regulación en cascada) del regulador de presión proporcional Festo VPPM con dos sensores de presión integrados

Una regulación en cascada mejora la precisión y la estabilidad de un tramo de regulación. En una regulación en cascada se imbrican varios lazos de regulación entre sí. El tramo completo de regulación se divide en tramos parciales más pequeños y más fáciles de regular. De esta manera se consigue una mayor precisión y estabilidad de la regulación si lo comparamos con el regulador de efecto directo. Los reguladores de presión proporcionales Festo disponen de un control multisensor integrado (fig. 2) en el cual se integran dos sensores de presión y circuitos de realimentación. Junto con el regulador PID integrado, esto aporta un comportamiento de regulación extremadamente estable y preciso incluso en las aplicaciones más difíciles (fig. 3).

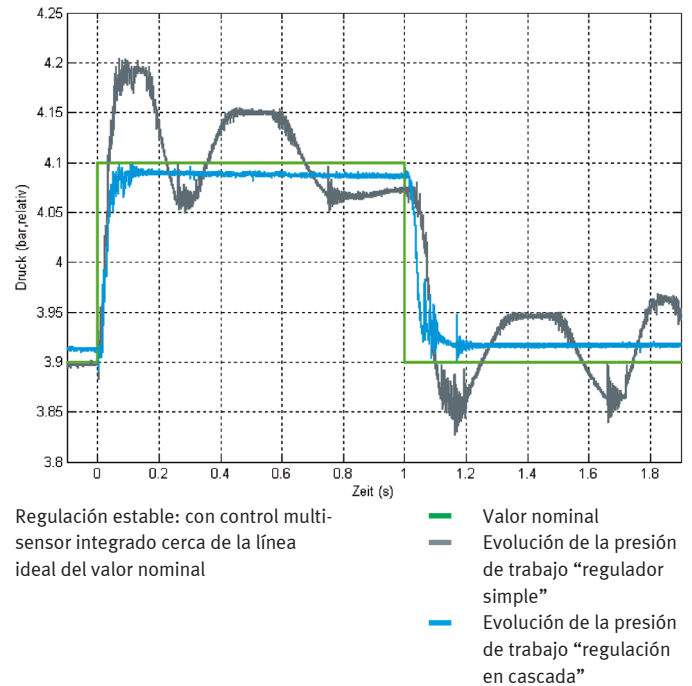


Fig. 3. Comparación de la evolución de la presión de trabajo de un regulador simple y la de un regulador en cascada de un regulador de presión proporcional

## 2. Tecnología de válvulas proporcionales en la automatización de procesos

En la automatización de procesos se regulan gases inertes y aire en tanques, reactores, fermentadores, mezcladoras y otros aparatos de proceso. Queremos mostrarle de cerca la tecnología y su aplicación práctica con el ejemplo de una planta piloto para la producción de sustancias activas de la industria farmacéutica.

### 2.1. Tareas

Debido a los requisitos de prevención y protección contra explosión debe poderse crear y mantener una atmósfera inerte en los depósitos de proceso (reactores) de la instalación. Esto se realiza con nitrógeno y argón, que se regulan por presión o caudal dependiendo del paso de proceso.

Principalmente se cubren las siguientes funciones:

- Inertización, es decir, sustitución total del volumen de gas contenido (no regulado, caudal elevado)
- Superposición de presión (regulación de presión)
- Inyección en recipientes y equipos de proceso durante el proceso de síntesis (regulación de caudal)
- Transferencia de material a la centrifugadora (regulación de presión)

Para poder cubrir estos pasos y la alimentación de las juntas rotativas de los cuerpos motores agitadores y las centrifugadoras, en las instalaciones precedentes se necesitaron tres niveles de presión (40 mbar, 2,5 bar y 9 bar) con redes de tuberías propias. Estas tuberías de acero inoxidable estaban equipadas con válvulas reguladoras (válvulas de asiento) y medidores de caudal.

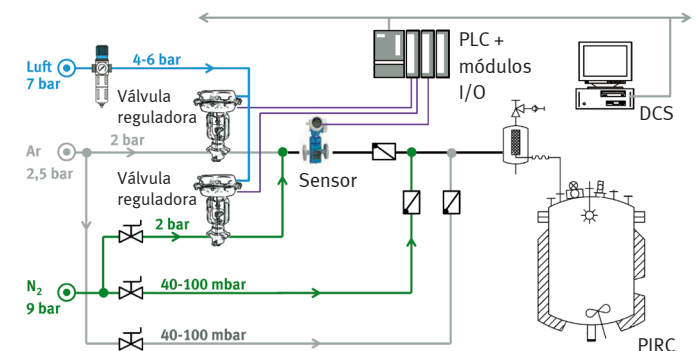


Fig. 4. Control de gases inertes en un reactor químico para la fabricación de principios activos

Una parte de estas funciones suele cubrirse mediante manorreductores de ajuste manual o válvulas de sobrecarga de presión. Las regulaciones dinámicas se realizan normalmente mediante válvulas reguladoras (válvulas de asiento). Dependiendo de la función se emplean medidores de caudal en la tubería al tanque o un sensor de presión en el tanque o el aparato de proceso para que transmitan los valores de presión y de caudal al sistema de mando. El control y la especificación del valor de consigna tienen lugar a través del control de la instalación y el módulo de regulación que lleva integrado. La siguiente representación (fig. 5) es una instalación simplificada en un reactor para la fabricación de sustancias activas.

El reactor de la representación se encuentra en una típica planta multifuncional en la cual deben adaptarse a menudo los parámetros de proceso de forma muy flexible. Dependiendo del producto y el proceso, en el reactor puede inyectarse nitrógeno o argón. En función del paso de proceso se regula la presión requerida o el caudal de los gases inertes.

Para la planificación de la planta se buscaron alternativas y conceptos más flexibles para el control de gases inertes. De ahí que se tomara una decisión a favor del control por reguladores de presión proporcional, en los cuales se automatizaron las funciones anteriores y los parámetros de proceso.

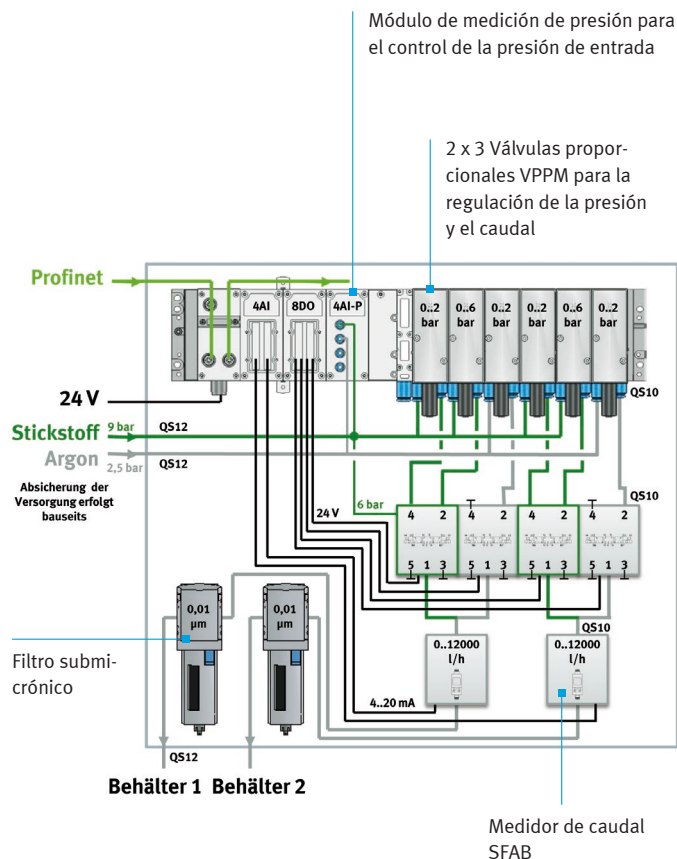


Fig. 5. Diseño de la solución de Festo ("estación de gas inerte")

## 2.2. El sistema "estación de gas inerte"

Tras decidirse por la nueva tecnología se planificó la implementación concreta. En la nueva planta piloto, en vez de las válvulas reguladoras empleadas hasta entonces, se emplean válvulas proporcionales de Festo. Como hay dos reactores por sala, se dimensionó una estación de gas inerte para dos reactores debido a la cercanía. Cada depósito se equipó con una válvula para argón y dos para nitrógeno. La primera válvula posee un margen de presión de 0 – 2 bar, la segunda un margen de presión de 0 – 6 bar. La variante de 0 – 2 bar regula con mayor precisión las presiones y los valores de caudal pequeños y la variante de 0 – 6 bar regula sin problemas los valores de caudal mayores. Según la función también pueden conectarse las dos válvulas una después de la otra: primero llenado rápido y luego regulación con precisión. De esta manera, por un lado se garantiza la precisión deseada en la superposición de presión y, por otro, se logran caudales lo suficientemente grandes para la inertización, para los cuales se necesitan presiones de salida mayores.

Los reguladores de presión proporcional se integran en un terminal de válvulas MPA que está conectado en una plataforma de automatización CPX. Los sensores de caudal también se extrajeron de la tubería del reactor y se colocaron en el armario de maniobra. Están conectados con el módulo de entrada analógica de 15 bits de CPX. Un módulo de medición de presión CPX se encarga de medir las presiones de entrada en la parte de la instalación afectada. Esta monitorización de amplia cobertura supone una mejora considerable en cuanto a

posibilidades de diagnóstico en comparación con el enfoque anterior, que tenía instalado en el manorreductor central un presostato para toda la instalación. Además, la agrupación de las funciones para dos reactores en un mismo terminal de válvulas reduce los costes de adquisición y de instalación.

A pesar de que el riesgo de contaminación por la lubricación de por vida de las válvulas es mínimo, el cliente decidió instalar filtros submicrónicos aguas abajo con un cartucho filtrante de 0,01 µm por motivos de seguridad. Al fin y al cabo, los gases de proceso entran en contacto directo con las sustancias activas médicas. Después del filtro, los conductos van directos al reactor.

### 2.3. Alimentación de las juntas rotativas

Al diferencia de la planificación inicial, en la versión definitiva también se emplearon válvulas proporcionales para alimentar las juntas rotativas de los cuerpos motores agitadores de la estación. En las instalaciones existentes, las juntas rotativas se alimentan a través del conducto de nitrógeno de 9 bar. Antes de las juntas solo hay instalado un regulador de presión de ajuste manual. Las desventajas de esta solución son:

- 1 Ninguna o poca flexibilidad en plantas multifuncionales. La presión de alimentación debe ajustarse manualmente para cada lote o se ajusta con la máxima presión requerida desde el principio.
  - 2 Mayores costes operativos y una fuente de error potencial si la presión de alimentación debe controlarse y ajustarse manualmente para cada lote.
  - 3 Las juntas deben desmontarse de vez en cuando para realizar un control visual del desgaste. Esto solo puede realizarse si se desconecta el equipo para realizar el mantenimiento.
  - 4 Mayor consumo de nitrógeno y, dado el caso, mayor desgaste si la junta siempre se carga con la máxima presión permitida.
- 1 La presión en la junta rotativa se ajusta en función de la presión de funcionamiento del reactor. La diferencia de presión entre la presión de funcionamiento del reactor y la junta rotativa siempre es constante.
  - 2 Un medidor de caudal simple adicional mide el consumo de gas de la junta. De esta manera pueden detectarse desviaciones a tiempo a través del sistema de mando. En el mantenimiento el control visual de la junta es opcional o bien los ciclos pueden alargarse.
  - 3 Un sensor de presión en la plataforma de automatización CPX supervisa la presión de entrada.
  - 4 El terminal de válvulas MPA está conectado al sistema de control de proceso a través del módulo de automatización CPX y el nodo de bus de campo integrado. De esta manera se supervisan y evalúan todas las funciones y valores de forma centralizada.

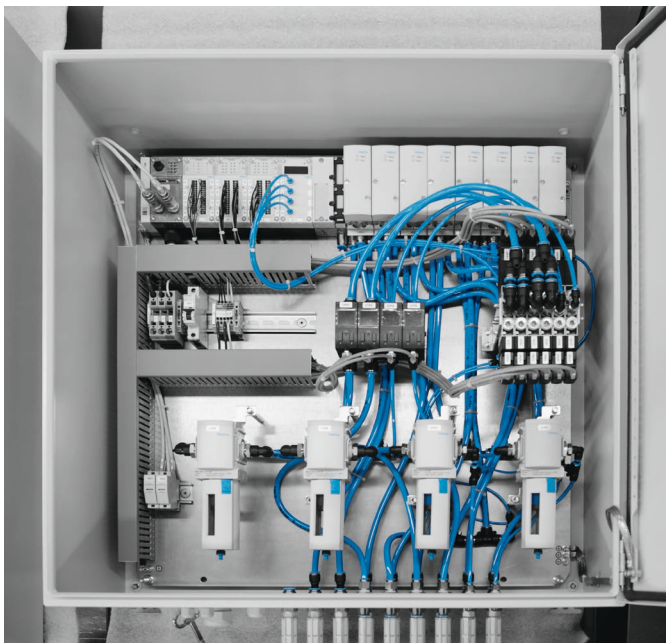


Fig. 6. Estación de gas inerte en el armario de maniobra de un reactor para la regulación de presión y de caudal de gases inertes.

En la nueva planta piloto, en este caso también se emplean válvulas proporcionales de Festo. Además, en la estación de gas inerte también se integran una válvula proporcional, un medidor de caudal y un filtro submicrónico. Si lo comparamos con la solución convencional de reguladores de presión con ajuste manual, los costes adicionales son bastante bajos gracias a la integración en el terminal de válvulas. Desde el punto de vista del operador de instalaciones, la nueva solución posee las siguientes ventajas:



Gracias a la integración de la alimentación de la junta rotativa en la estación de gas inerte, al final, en el armario de maniobra se instalaron ocho válvulas proporcionales para dos reactores

Los armarios de maniobra se instalaron en el pasillo (fuera de la zona Ex) delante de las salas de los reactores. La conexión con el proceso se realiza mediante tubos flexibles, que salvan la corta distancia entre el armario de maniobra y la tubería.

En comparación con las instalaciones antiguas, las válvulas de regulación, los posicionadores y los medidores de caudal ya no se instalan dentro de la zona Ex. Esto supone una reducción de los costes iniciales de inversión y facilita la planificación y la evaluación de riesgos.

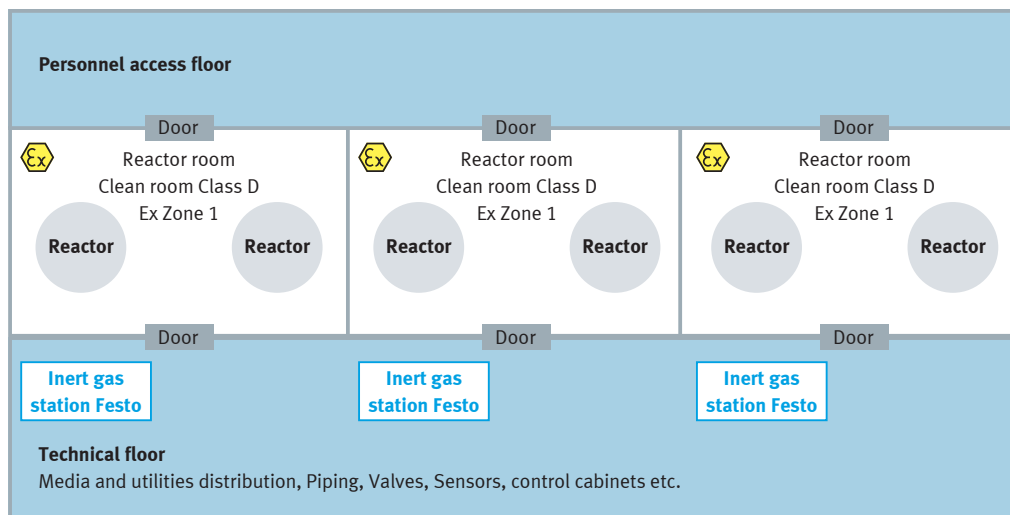


Fig. 7. Producción de sustancias activas, esquema básico de la distribución del espacio y la instalación de la estación de gas inerte en la planta del cliente

Durante la configuración de la planta, el propietario decidió emplear también la misma tecnología en las centrifugadoras para la separación sólida/líquida de la sustancia activa y en los armarios secos. De esta manera se unificó el suministro de nitrógeno de todos los equipos de proceso de la planta piloto.

#### 2.4. Integración en el sistema de mando

En este proyecto, las estaciones de gas inerte se conectaron a un sistema Siemens PCS7. La estación de operador se dimensionó como unidad móvil, desde la cual pueden manejarse los dos reactores de una sala.

Se encuentra disponible una extensa librería de drivers para integrar las válvulas proporcionales y los módulos I/O en el sistema de mando. De esta manera, al generar drivers de módulos, se generan automáticamente bloques de módulos y de bastidores para la plataforma de automatización CPX. Esto facilita enormemente la programación (fig. 8), ya que en esta posición no se requiere la intervención manual de programadores.

En este tipo de regulación también se necesita un sensor de presión en el depósito que se desee regular y un bloque de regulación PID en el sistema de mando. Como en otras soluciones técnicas, en la tecnología de válvulas proporcionales también es importante dimensionar correctamente el circuito de regulación para garantizar un funcionamiento reproducible sin interferencias.

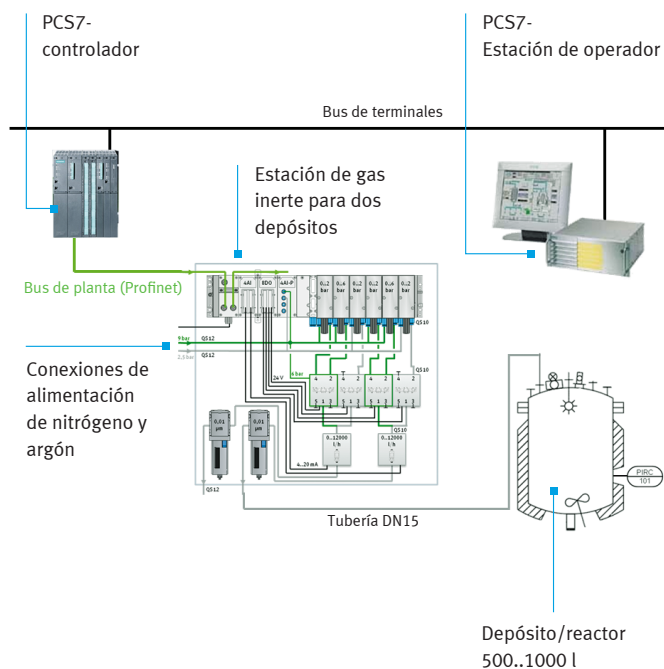


Fig. 8. Estación de gas inerte en la red de sistemas, solo se representa un depósito de proceso para facilitar la visualización

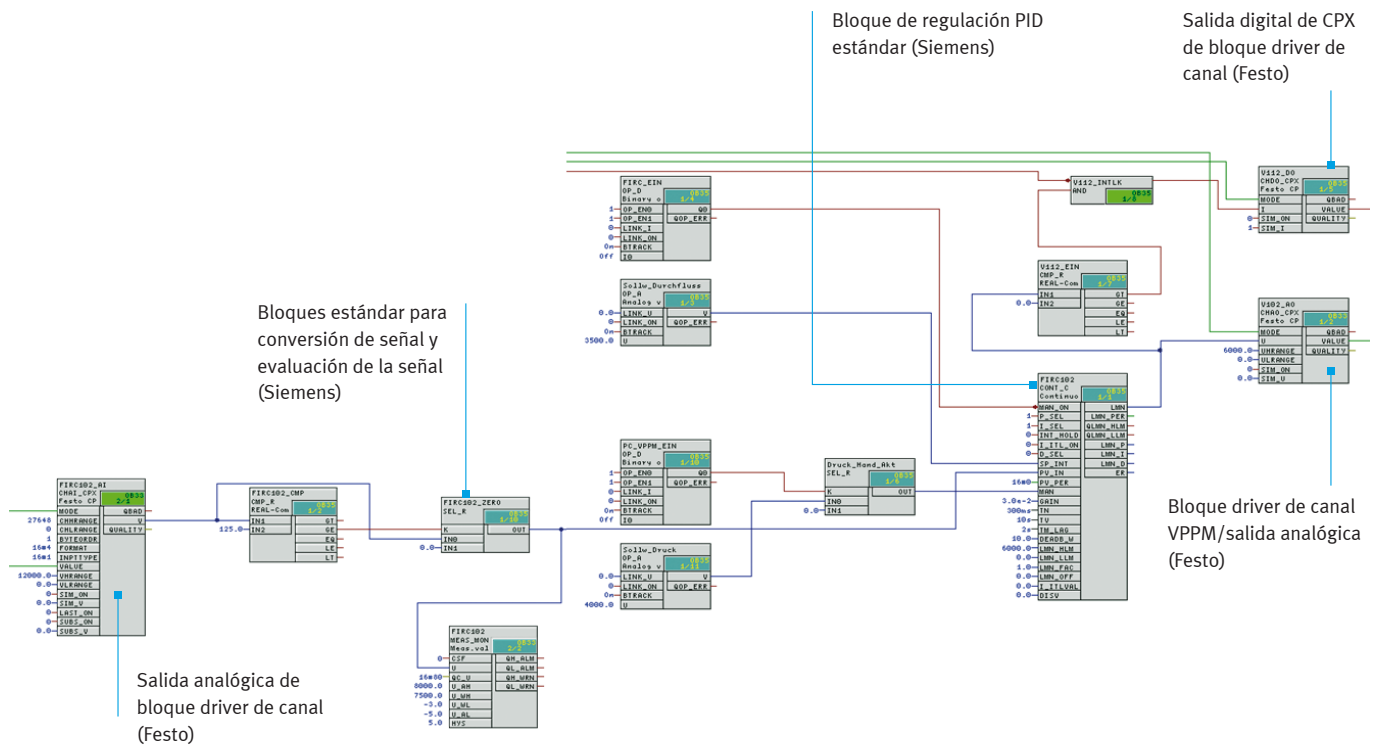


Fig. 9. Programación del regulador de caudal en SIMATIC PCS 7

Durante los análisis para el proyecto, en la planta piloto se realizaron pruebas con la nueva tecnología. Estos ensayos demostraron el excelente y rápido comportamiento de regulación de la instalación (fig. 10). Después de modificar el valor nominal del caudal requerido, la regulación PID en cascada regula rápidamente el valor real y no sobreoscila hasta el nuevo valor nominal.

El valor nominal ajustado se alcanzó con mayor rapidez y se mantuvo más estable que en la solución anterior con regulador simple. Con un valor de 7000 l/h, la desviación del valor nominal asciende aproximadamente a un 0,5 – 1% del valor nominal.

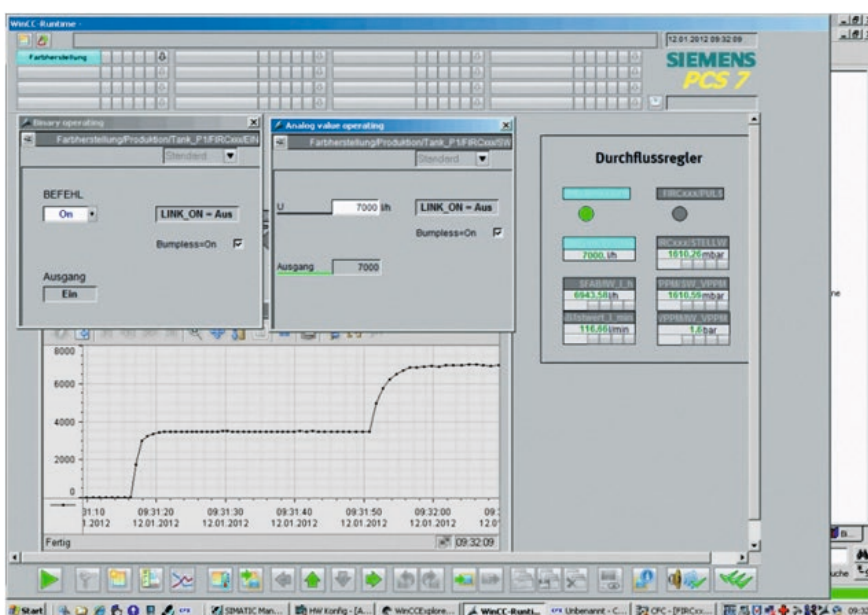


Fig. 10. Curvas de caudal de la regulación de gas inerte en el equipo durante la prueba de sistema

### **3. Programación de controladores para tecnología de válvulas proporcionales en la automatización de procesos**

El control mediante la tecnología de válvulas proporcionales difiere un poco de la tecnología convencional en el momento de programar un proceso en algunas posiciones. Los reguladores de presión proporcional poseen sensores de presión integrados, que miden la presión directamente en la salida de la válvula. En un regulador de presión proporcional, el regulador de presión siempre está activo. Por eso, al introducir un valor nominal para el regulador de presión proporcional mediante el sistema de mando, debe tenerse en cuenta que la válvula proporcional interpreta y regula los valores nominales que recibe como la presión de salida de la válvula.

#### **3.1. Inertización**

Un proceso de inertización suele constar de tres ciclos consecutivos, según los cuales primero se evacúa el depósito y luego vuelve a llevarse al nivel de presión atmosférica (aliviado) con nitrógeno mediante la válvula proporcional. Para inyectar el volumen de gas requerido en el depósito se recomienda ajustar una presión de salida elevada en la válvula proporcional o accionar el regulador de caudal con un valor nominal elevado. De esta manera, la válvula proporcional se abre por completo. Ambos procesos finalizan cuando la presión interna del depósito alcanza el valor nominal deseado. Si se conecta la válvula proporcional con un valor nominal muy bajo (p. ej., 50 mbar sobrepresión) se inyecta poco caudal y la presión interna del depósito aumenta muy lentamente. Un ciclo de inertización sería también demasiado lento.

Regulando la presión puede realizarse una superposición de presión del depósito cerrado estando conectada a la inertización. De forma similar a la inertización, la formación de la presión se realiza hasta alcanzar el valor nominal indicando una presión de salida elevada. Esta se reduce al valor nominal en sí poco antes de alcanzarse. En cuanto a la duración de un proceso de inertización, con este procedimiento se obtuvieron los mismos resultados que con los métodos sencillos de regulación convencionales.

#### **3.2. Transferencia de material**

En el caso de la producción biotecnológica, p. ej., con células o proteínas sensibles al cizallamiento, la transferencia de material entre dos recipientes no se realiza con bombas, sino con una bolsa de presión acumulada ubicada en el depósito de origen. Primero se carga el depósito de origen con la presión de transferencia necesaria, p. ej., 1,5 bar. Lo ideal es realizarlo regulando el caudal con un volumen elevado o predefiniendo una presión de salida superior a la presión de transferencia en sí. De esta manera se abre por completo la válvula proporcional y la presión de transferencia requerida se alcanza en poco tiempo. Una vez se ha alcanzado la presión de transferencia requerida puede conmutarse a regulación de la presión. Esta compensa la caída de presión debida a la apertura de la válvula del fondo del depósito de origen y mantiene la presión de transferencia constante.

#### **3.3. Llenado**

De la misma manera se emplea en la producción o en el llenado, por ejemplo, de la industria alimentaria. Las máquinas de llenado suelen tener un tanque de reserva desde el cual se alimenta el producto a la boquilla de llenado. El nivel variable del tanque de reserva hace que las condiciones de presión de los conductos de llenado varíen. Dependiendo del tipo de fluido, esto perturba más o menos el proceso de

llenado afectando al peso del producto de llenado. Como normalmente no está permitido llenar los recipientes por debajo del nivel especificado, los clientes llenan los recipientes de más y aumentan así los costes. Con un regulador de presión proporcional, el depósito de almacenamiento no se llena solo con aire, sino que se le inyecta un gas adecuado. De esta manera se garantiza una presión de entrada constante durante todo el proceso de llenado sin importar las variaciones de nivel. De esta manera se reduce la perturbación del peso de llenado y el cliente reduce costes.

#### **3.4. Inyección de depósitos**

La inyección de nitrógeno en un depósito para desplazar gases explosivos por el conducto de gas de escape de forma continua durante todo el proceso puede realizarse, en función de los requisitos del proceso, regulando la presión o el caudal. Con caudales pequeños es preferible realizar una regulación de la presión, mientras que con caudales elevados conviene la regulación por caudal.

#### **4. Evaluación y ventajas de la tecnología de válvulas proporcionales en la automatización de procesos**

Como cualquier solución técnica, las aplicaciones descritas tienen límites de utilización que deben tenerse en cuenta en el dimensionado. La tecnología de válvulas proporcionales mediante accionamientos electromagnéticos está disponible de momento para tamaños de conexión G 1/4 hasta G 1. El regulador de presión proporcional VPPM, con un diámetro nominal DN 1/2", tiene un caudal máximo de 12.000 l/min. aprox. Los componentes y materiales empleados son adecuados solo para el control directo de fluidos inertes o neutros. Debido a la resistencia de los materiales o la falta de certificaciones, todavía no es posible regular vapor, hidrógeno (H<sub>2</sub>), oxígeno (O<sub>2</sub>) o gases agresivos como el amoníaco (NH<sub>3</sub>). En este caso pueden emplearse reguladores de presión proporcional para controlar, p. ej., válvulas de asiento. Esta aplicación indirecta se corresponde a las aplicaciones de automatización de la producción descritas en el punto 2.

Desde el punto de vista del propietario, la implementación descrita antes sobre el control de gas inerte utilizando tecnología de válvulas proporcionales en el reactor posee claras ventajas:

- Control más flexible y sencillo de la planta
- Costes de instalación menores
- Menos requerimiento de espacio en la planta
- Con tamaños nominales de hasta 1/2", los tubos de acero inoxidable son sustituibles por tubos flexibles de fácil instalación y coste bastante inferior
- Menos requisitos de protección Ex al instalar el armario de manobra fuera de la zona Ex
- Mayores posibilidades de diagnóstico por la integración de las válvulas proporcionales en el terminal de válvulas

Por estos motivos, la tecnología de válvulas proporcionales es una alternativa interesante para la regulación de gases inertes en la automatización de procesos.

#### **Autor:**

Thomas Schulz  
Director de la Gestión del sector  
industrial y cuentas clave  
Sector biotecnológico,  
farmacéutico y cosmético

Festo AG & Co. KG  
Rechbergstrasse 19  
73770 Denkendorf  
Tel.: +49 711 347 52192  
Correo electrónico:  
thss@de.festo.com