

Controle de Processos

Aula 09 - Controle de pressão e controle de temperatura: Forno industrial

Apresentação

Na aula anterior, conhecemos um pouco sobre malhas de controle de nível. O controle de nível (como foi visto) diz respeito ao acúmulo de líquido em um tanque ou vaso de processo. Hoje, aprenderemos sobre o controle de pressão, que está relacionado ao acúmulo de gás em algum equipamento. Esse tipo de controle é muito importante para os processos e visa garantir que a pressão de um determinado equipamento seja a mais constante possível.

Nesta aula, não iremos nos deter em uma única variável de processo, e falaremos também sobre o controle de fornos industriais e sua aplicação na indústria, bem como os principais tipos de controle de temperatura desses equipamentos, pois são muito importantes no controle de processos.

Objetivos

Ao final desta aula, os alunos deverão estar aptos a:

- Compreender e aplicar o controle das variáveis de pressão em processos industriais;
- Compreender o emprego de fornos industriais em aplicações de processos;
- Compreender os tipos de controle mais usuais para fornos industriais.

Controle de Pressão - A Variável Pressão

Inicialmente, vejamos no vídeo uma introdução sobre o controle de pressão.



Vídeo 01 - Controle de Pressão

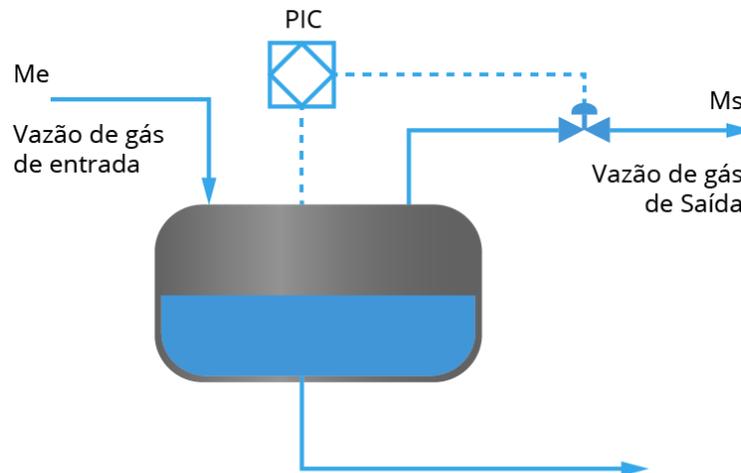
A variável pressão, por definição, é a força exercida sobre uma determinada área. Matematicamente, temos que:

$$P = \frac{F}{A}$$

em que P é a pressão, F é a força e A é a área sobre a qual essa força está sendo exercida. A pressão pode ser expressa em unidades, tais como: kgf/cm^2 , psi, N/m^2 (Pa - Pascal).

Em controle de processos industriais é comum se controlar a pressão exercida sobre um gás em um determinado reservatório. A Figura 1 ilustra um tanque com uma determinada vazão de entrada de gás e com uma vazão de saída controlada de gás.

Figura 01 - Controle de pressão em um vaso.



Fonte: Adaptado de Campos e Teixeira (2010).

A pressão interna do vaso mostrado depende tanto da vazão de gás na entrada como da vazão de gás na saída. Nas seções seguintes, mostraremos como a pressão é medida e as principais estratégias de controle de pressão.

Atividade 01

1. Fazer uma pesquisa sobre plantas industriais que empregam controle de pressão entre as suas variáveis.

Medição de Pressão

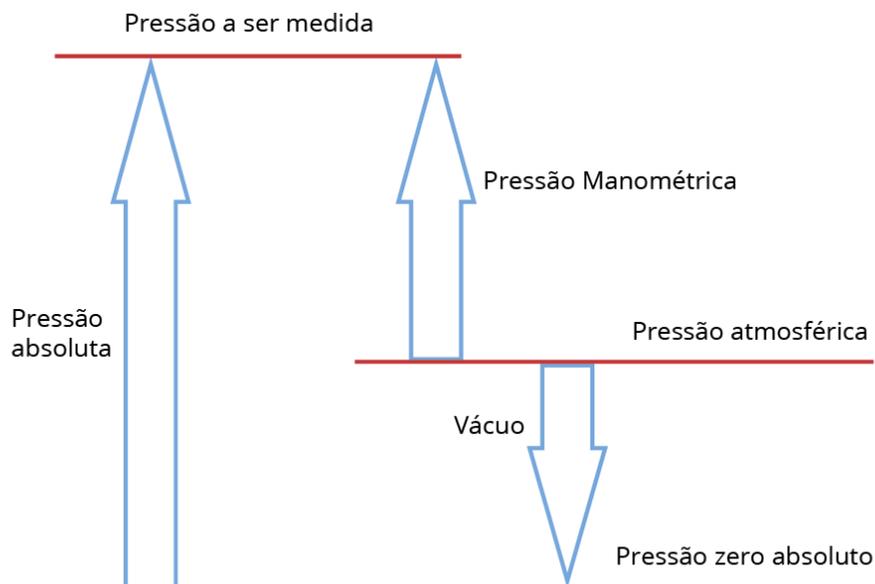
Vejamos agora no vídeo os principais conceitos que norteiam a temática sobre o controle de pressão.



Vídeo 02 - Definindo o Controle de Pressão

Antes de entrarmos no assunto sobre medição de pressão, falaremos sobre os referenciais para as quais as pressões são medidas. A Figura 2 apresenta um esquema mostrando os diferentes referenciais usados para medição de pressão.

Figura 02 - Referenciais para medição de pressão.



Pressão absoluta

É a pressão medida em relação à pressão zero absoluto, por exemplo, psia (libra por polegada quadrada absoluta).

Pressão manométrica

É a pressão medida em relação à pressão atmosférica, por exemplo, psig (libra por polegada quadrada manométrica).

Pressão atmosférica

É a pressão exercida sobre os corpos na superfície da Terra como resultado do peso das camadas do ar da atmosfera. Ao nível do mar, essa pressão é aproximadamente de 760 mmHg (pressão representada por altura de coluna líquida - milímetro de mercúrio) absolutos, 14.7 psia ou 1 bar.

Vácuo

É a pressão absoluta menor do que a pressão atmosférica.

Sensores de pressão

Os sensores de pressão são classificados de acordo com sua técnica de transdução (transformação do sinal de pressão em um sinal elétrico). As técnicas mais comuns são:

- Capacitância variável (capacitivos)
- Piezo-resistivo (*strain gage*)
- Potenciométrico
- Piezoelétrico
- Relutância variável
- Ressonante
- Ótico
- Outros

Na indústria, para fins de controle, utiliza-se sensores de pressão acoplados a transmissores que enviam um sinal analógico (4-20 mA) ou digital (Hart, Fieldbus etc), que equivale à medida de pressão para a planta.

Vamos agora clicar e assistir a uma aula com o objetivo de adicionar algumas informações a respeito do controle de pressão.



Vídeo 03 - Características do Controle de Pressão

Atividade 02

1. Fazer uma pesquisa sobre os sensores de pressão baseados em capacitância.

Controle de Pressão em Equipamentos Industriais

Nesta aula, traremos um exemplo de controle de pressão extraído de Campos e Teixeira (2010). A coluna de destilação é um processo muito comum na indústria. A função da coluna é separar componentes que entram na coluna (chamados componentes da corrente de entrada da coluna) em dois componentes, sendo que um deles sairá pelo topo da coluna e o outro sairá pelo fundo da coluna.

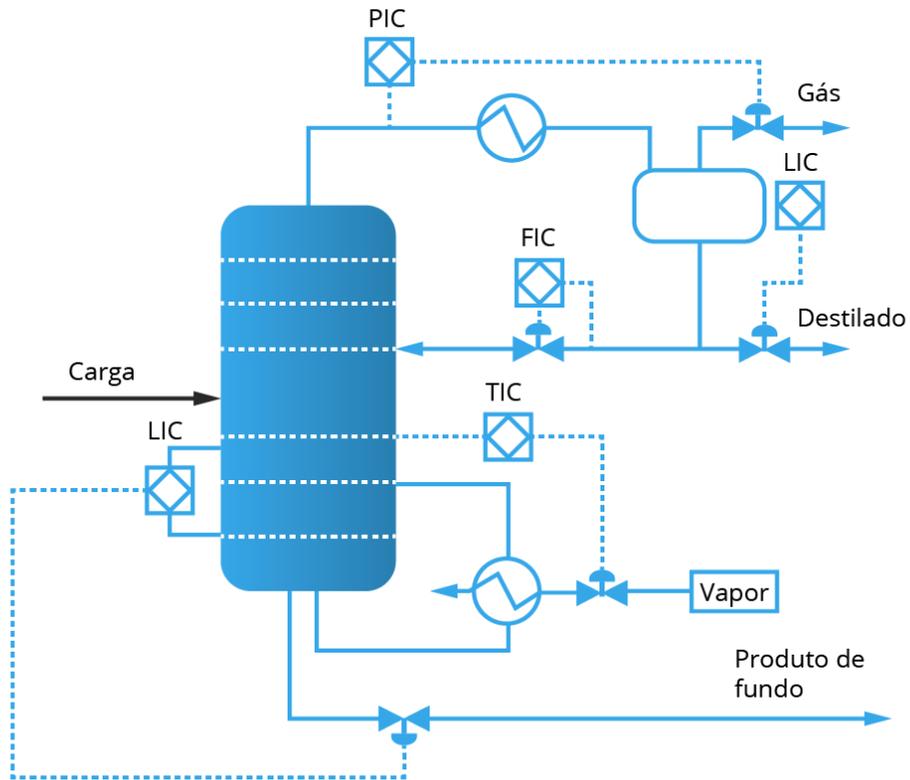
Tomemos como exemplo uma coluna de destilação que receba como entrada uma corrente de hidrocarbonetos que contenham:

- C2 - Etano (pequena quantidade)
- C3 - Propano (pequena quantidade)
- C4 - Butano ou gás liquefeito de petróleo (em grande quantidade)
- C5+ - Pentanos ou gasolina natural (em grande quantidade)

O objetivo dessa coluna, chamada desbutanizadora, é separar esses componentes deixando no topo o máximo possível de C4 e no fundo o máximo possível de C5+. O C4 ou GLP é vendido na forma de botijões de gás para os consumidores. A composição desses componentes é fiscalizada pela Agência Nacional do Petróleo (ANP) e precisa estar dentro de rigorosas especificações.

Para tanto, é preciso medir essas especificações. O equipamento que realiza tal medida é chamado de cromatógrafo. Esses equipamentos costumam ser caros e de difícil manutenção, dificultando seu uso. Entretanto, sabe-se que a composição desses produtos está relacionada com sua temperatura. A pressão está correlacionada com a composição e a temperatura. Assim, se a pressão e a composição forem bem conhecidas, então existe um perfil de temperatura na coluna que garante a composição dos produtos do topo e do fundo. Portanto, é imprescindível controlar a pressão nesses processos.

Figura 03 - Coluna de destilação.



Fonte: Adaptado de Campos e Teixeira (2010).

Você pode observar na Figura 3 que há um controle de pressão do reservatório (denominado de PIC). Esse esquema de controle é chamado de controle de pressão com condensação parcial. Nesse caso, apenas uma parte dos vapores no topo da coluna é condensada e continua a existir uma corrente de gases no vaso de topo da coluna. A válvula de controle (comandada pelo controlador de pressão) atua na retirada do gás no topo da coluna.

Clique a seguir e veja algumas aplicações que envolvem o controle de pressão.



Vídeo 04 - Conhecendo as Aplicações

Controle de Temperatura: Fornos Industriais (descrição e aplicações)

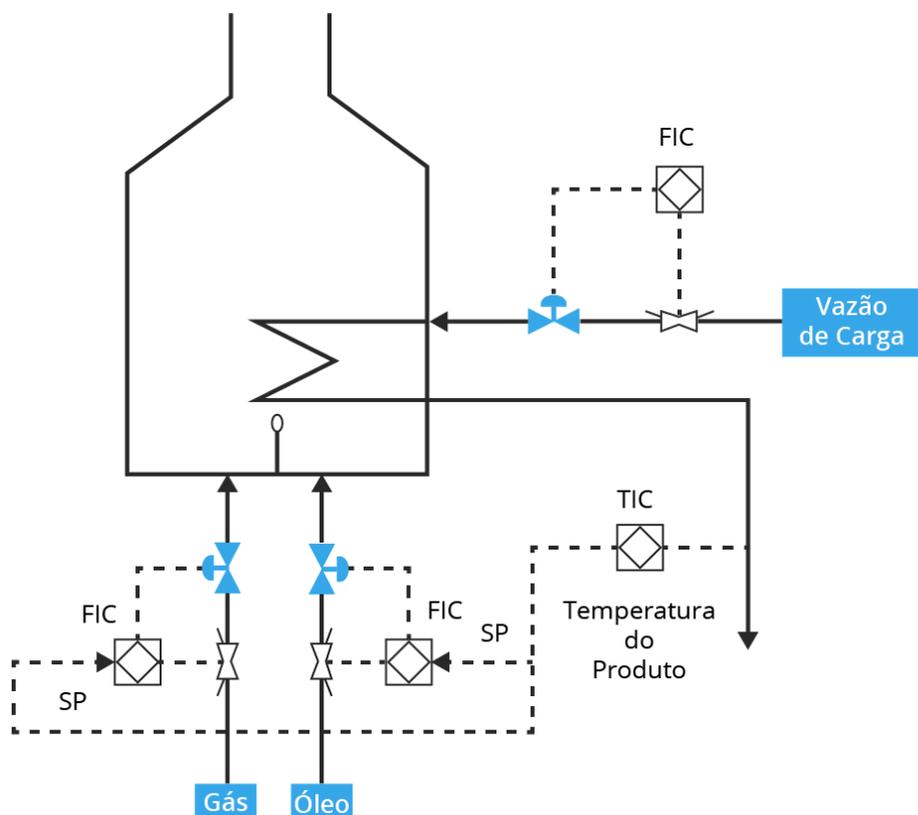
Primeiramente, clique e assista uma introdução a respeito da abordagem sobre fornos industriais.



Vídeo 05 - Fornos Industriais

Usualmente os fornos industriais são empregados no condicionamento da temperatura de carga (alimentação) de unidades industriais, como reatores. A composição de um forno industrial é mostrada esquematicamente na Figura 4.

Figura 04 - Forno Industrial.



Fonte: Adaptado de Campos e Teixeira (2010).

Assista a seguir como funciona um forno industrial.



Vídeo 06 - Tipos de Fornos Industriais

Os fornos industriais são assim compostos:

- **Câmara inferior (ou de radiação):** é onde parte do calor absorvido pela tubulação de processo é proveniente da liberação térmica da chama dos queimadores.
- **Câmara superior (ou de convecção):** é onde a transferência de calor é proporcionada predominantemente pelos gases gerados na combustão nos queimadores.

As principais variáveis operacionais de um forno industrial são a temperatura de saída do fluido de processo do forno, a vazão através de um ou mais passes e a carga térmica. Os passes são as divisões da tubulação interna do forno. A carga térmica é a que deve ser colocada no forno. O controle da temperatura de saída é feito pela manipulação das válvulas que limitam a entrada de combustível nos queimadores. Em alguns casos, o controle de vazão (FIC) que limita a entrada de gás e óleo é substituído por um controle de pressão para evitar pressão muito baixa (apagamento da chama) ou muito alta (deslocamento da chama). Usualmente o controle de temperatura de saída do produto é feito levando em conta a temperatura média do produto aquecido na saída do forno. Em outros casos, controles mais complexos podem ser necessários para controlar a dispersão da temperatura dos diversos passes (e não apenas a média).

Atividade 03

1. O que significa troca de calor por radiação e por convecção? Qual a diferença entre esses tipos de troca?

Veja a seguir as maneiras que ocorrem a transmissão do calor.



Vídeo 07 - Transmissão de Calor em Fornos Industriais

Estratégias Típicas de Controle de Fornos

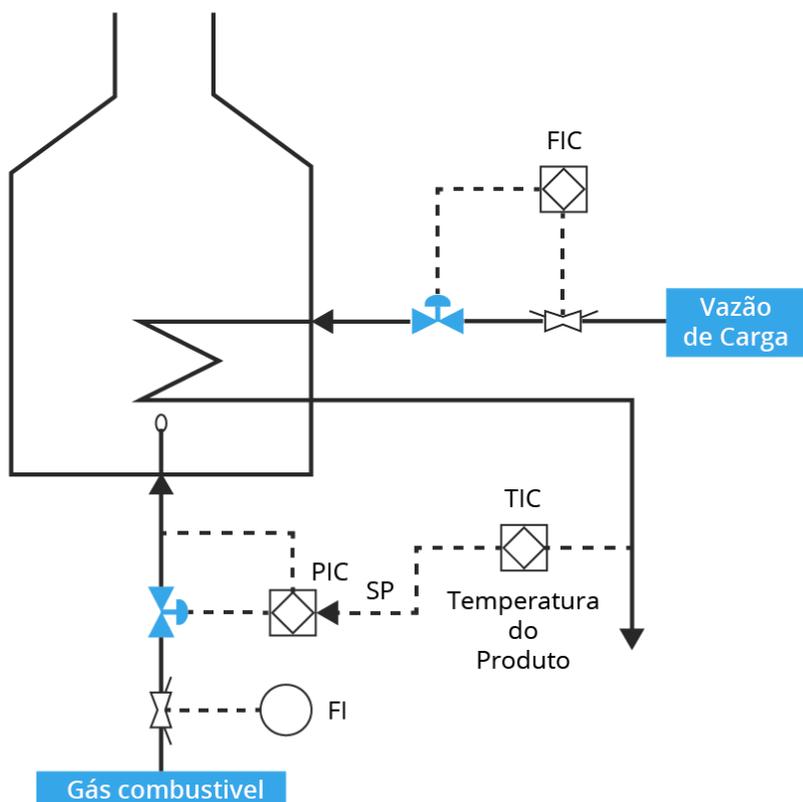
Conforme mencionado anteriormente, a manipulação do produto de saída é feita através das vazões de entrada de combustível. Uma das estratégias mais empregadas consiste em manter fixa a vazão (FIC com SP constante) de um dos combustíveis; o controlador de temperatura envia o *set point* para o outro controlador de vazão, como pode ser visto na Figura 4, lembrando que a Figura 4 não leva em conta a aspiração e/ou injeção de ar no forno. Como o ar é necessário para a queima, na prática, controladores devem existir para controlar a vazão de ar do forno.

Em outros casos, pode ser necessário controlar a temperatura em cada um dos passes e não apenas a temperatura média. Em linhas gerais, de acordo com Campos e Teixeira (2010), os principais objetivos de controle de um forno industrial são:

- Manter constante e estável a temperatura de saída do produto.
- Manter constantes as vazões de cada passe do forno.
- Manter constante e em um valor seguro a pressão interna na fornalha.
- Manter o excesso de oxigênio nos gases de combustão em um valor ótimo.
- Manter constante a pressão, dentro dos limites de segurança operacional, dos queimadores.
- Manter a vazão do gás combustível em um valor requerido para fornecer a carga térmica desejada naquele instante.
- Manter a vazão de ar para os queimadores no valor desejado.

Conforme já proferido, a pressão para operação dos queimadores precisa ser controlada. A estratégia mostrada na Figura 4 não contempla isso, visto que apenas a vazão é controlada. A Figura 5 apresenta uma alternativa para solucionar esse problema, que consiste em substituir o controle de vazão da Figura 4 (FIC) por um controlador de pressão.

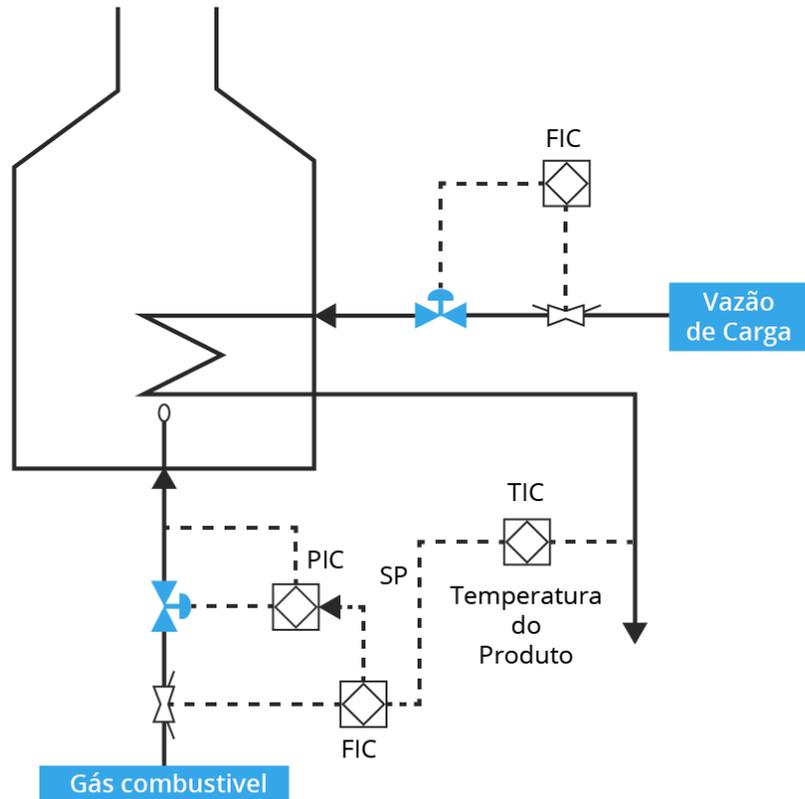
Figura 05 - Forno com controle de pressão.



Fonte: Adaptado de Campos e Teixeira (2010).

No controle mostrado na Figura 5, caso seja necessária uma temperatura maior, o TIC envia um *set point* maior, fazendo com que a pressão no queimador aumente, significando mais combustível para o mesmo. O TIC deve ser projetado de forma a garantir as pressões máximas e mínimas para os queimadores. No entanto, se o operador do processo colocar ou retirar queimadores, como a pressão é constante, a vazão de cada queimador será constante. Assim, a vazão total de combustível se modifica. Isso pode acarretar na mudança da carga térmica do forno. Para resolver esse problema, uma solução comum é mostrada na Figura 6.

Figura 06 - Forno com controle de pressão em cascata com o de vazão.



Fonte: Adaptado de Campos e Teixeira (2010).

No caso da Figura 6, o controlador de temperatura envia o *set point* de vazão ao controlador de vazão (FIC). Qualquer perturbação que ocorra na vazão é compensada automaticamente pela manipulação da pressão do combustível. Assim, podem-se garantir tanto os limites de segurança de pressão quanto a compensação de perturbações na vazão.

Vejamos a seguir a aplicação de controle PID em fornos industriais.



Vídeo 08 - PID para Fornos Industriais

Atividade 04

1. Quais as vantagens/desvantagens de se utilizar os controles de temperatura de forno:
 - a. Temperatura em cascata com pressão.
 - b. Temperatura em cascata com vazão.

Resumo

Nesta aula, foram apresentados os controles de pressão e de temperatura, esse último aplicado em fornos industriais. Foram mostradas as principais referências de medida de pressão, bem como os principais tipos de sensores empregados nesse tipo de medida. Um exemplo de aplicação (coluna de destilação) foi exposto, destacando a importância do controle de pressão nos processos que utilizam essas variáveis. Estudamos também sobre a utilidade dos fornos em aplicações industriais bem como uma visão geral da sua estrutura interna. Os principais tipos de controle de temperatura de fornos foram analisados, bem como as vantagens/desvantagens de cada um deles.

Autoavaliação

1. Defina fisicamente o que é pressão.
2. Qual a diferença entre pressão relativa e pressão absoluta?
3. Quais as principais partes componentes de um forno industrial?
4. Qual a melhor solução de controle de temperatura apresentada nesta aula? Justifique sua resposta.

Referências

CAMPOS, Mario Cesar M. Massa de; TEIXEIRA, Herbert C. G. **Controles típicos de equipamentos e processos industriais**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2010.