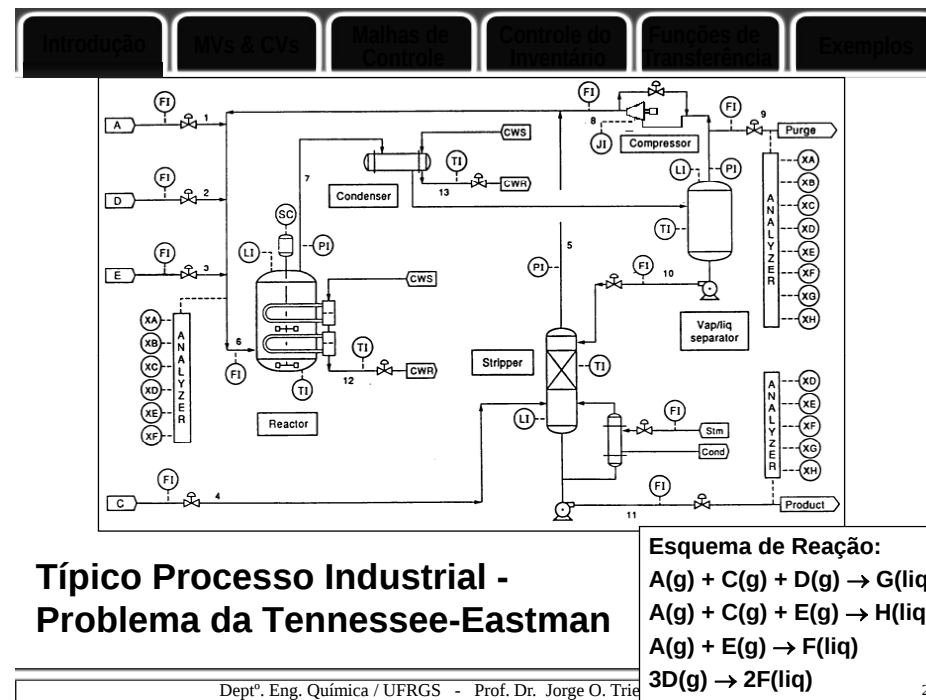


Introdução e Conceitos Básicos de Malhas de Controle



Prof. Dr. Jorge Otávio Trierweiler
Departamento de Eng. Química
Universidade Federal do Rio Grande do Sul



Deptº. Eng. Química / UFRGS - Prof. Dr. Jorge O. Trierweiler

2

- Segurança e proteção
- Qualidade dos produtos
- Operação suave

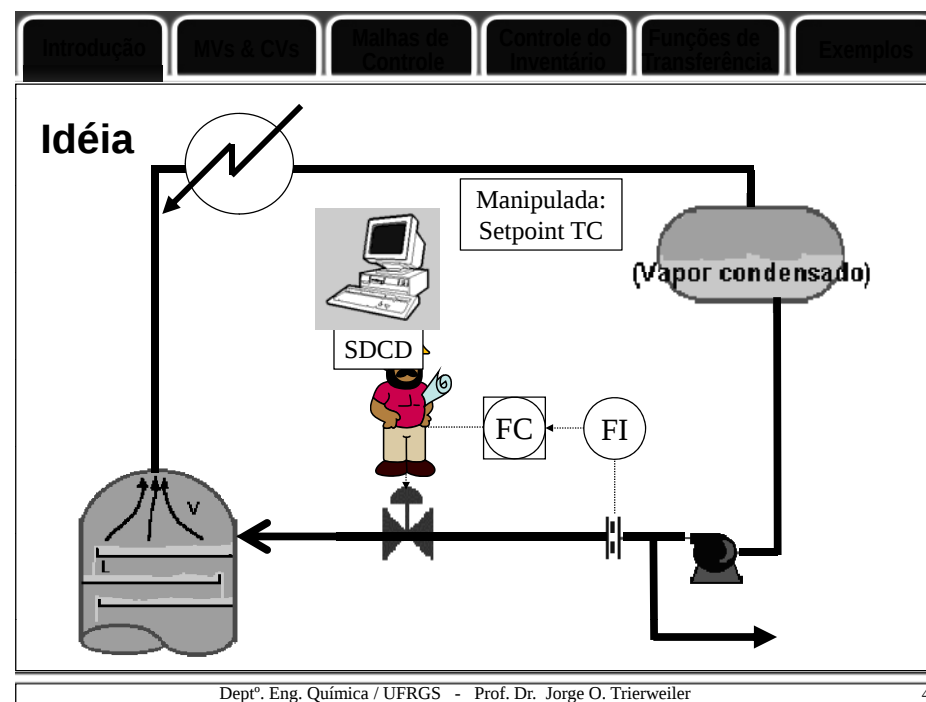
Importância do Controle de Processos

- Monitoração dos processos
- Melhoria dos processos
- Flexibilidade nos projetos
- Limites operacionais
- Aumento da produtividade
- Lucro

Controle

Deptº. Eng. Química / UFRGS - Prof. Dr. Jorge O. Trierweiler

3



Deptº. Eng. Química / UFRGS - Prof. Dr. Jorge O. Trierweiler

4

Caso de estudo - Coluna de destilação

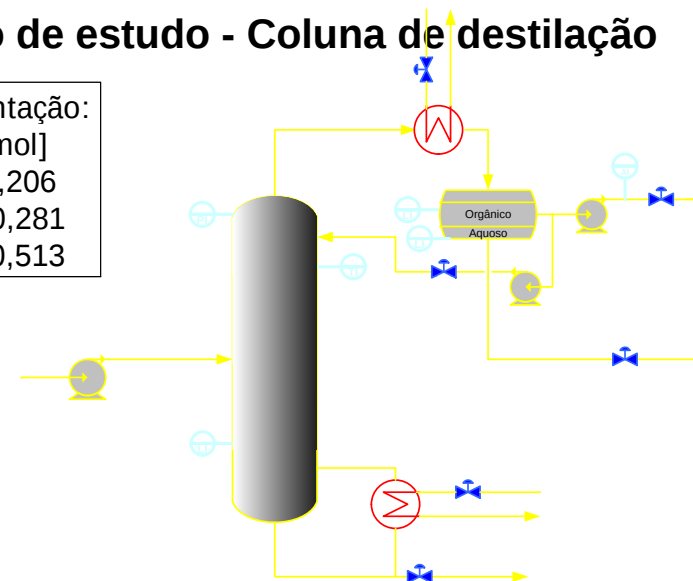
- Coluna de separação do VAC do ácido acético,
- Esta coluna compõe a unidade de produção de vinil acetileno (VAC).
- O VAC é utilizado como matéria prima para produção de acrílico.
- Coluna de destilação azeotrópica.

Destilação azeotrópica

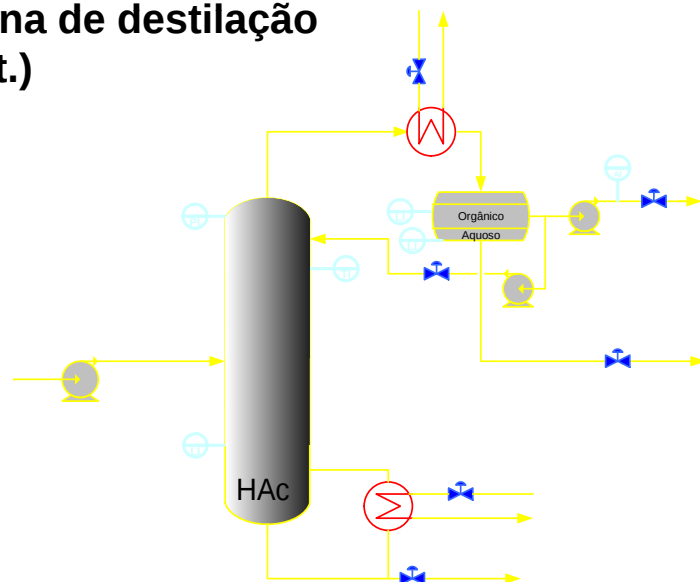
- Denomina-se destilação azeotrópica todo o processo de destilação que utiliza a formação de um azeótropo com um ou mais componentes da mistura para efetuar a separação.
- Quase na totalidade dos casos, o azeótropo é mais volátil sendo removido no topo da primeira coluna.

Caso de estudo - Coluna de destilação

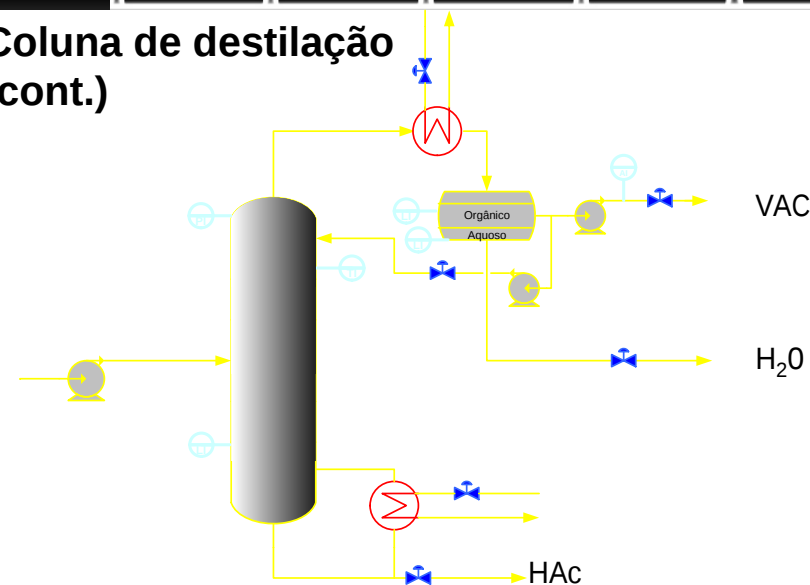
Alimentação:
[mol/mol]
VAC: 0,206
H₂O: 0,281
HAc: 0,513



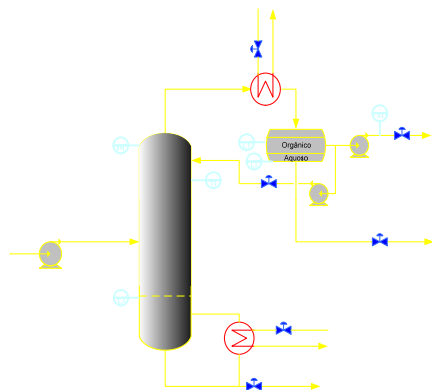
Coluna de destilação (cont.)



Coluna de destilação (cont.)

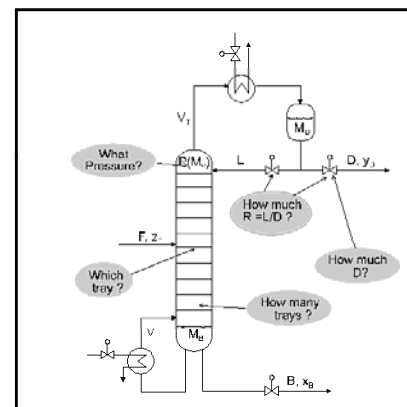


Perguntas:

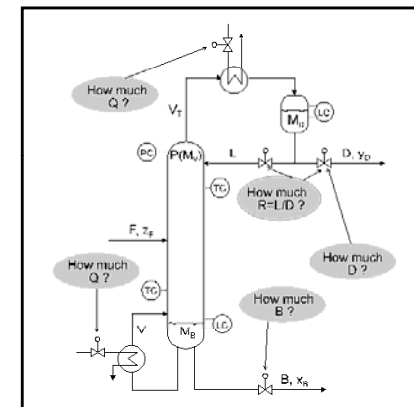


- Quais são os objetivos operacionais da coluna?
 - Composição de topo e fundo
 - Operação sem inundação
 - Operação sem esvaziamento ou transbordo dos vasos de topo e fundo (nível de interface)
 - Pressão
 - Aumento e diminuição da carga da unidade
 - Segurança
 - ...

Tipos de Graus de Liberdade

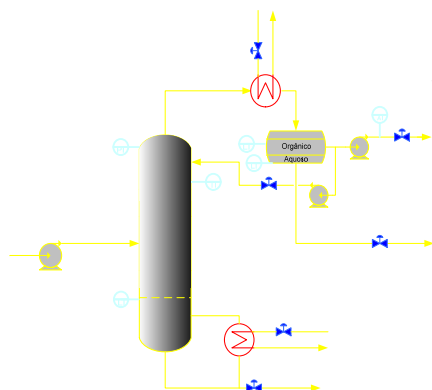


Graus de Liberdade de Projeto



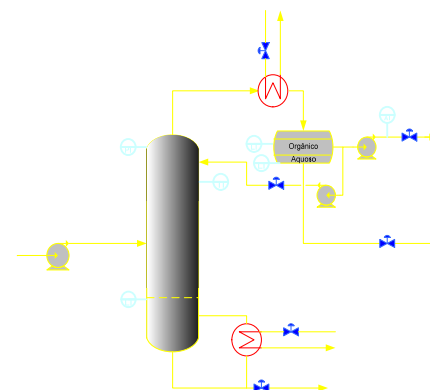
Graus de Liberdade Operacionais

Perguntas:



- Quais são os graus de liberdade operacional? Variáveis manipuladas (manipulated variables, MVs)?
 - Válvula (vazão) da fase orgânica de topo
 - Válvula (vazão) da fase aquosa de topo
 - Válvula (vazão) de fundo
 - Válvula (vazão) do fluido de refrigeração
 - Válvula (vazão) do fluido de aquecimento
 - Válvula (Vazão) de refluxo

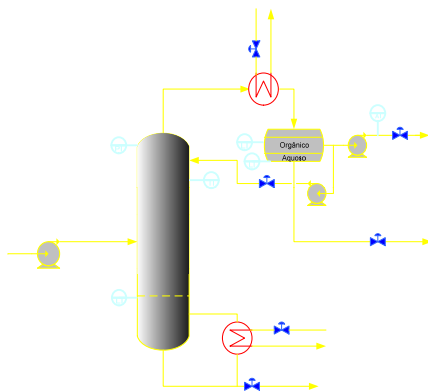
Perguntas:



- Qual é a instrumentação necessária? Quais são os medidores?
 - Nível total e de interface do vaso de topo (LI)
 - Medidor do nível do vaso de fundo (LI)
 - Pressão Total (PI)
 - Diferença de Pressão (PDI)
 - Vazão (FI)
 - Temperaturas (TI)
 - Composição (AI)

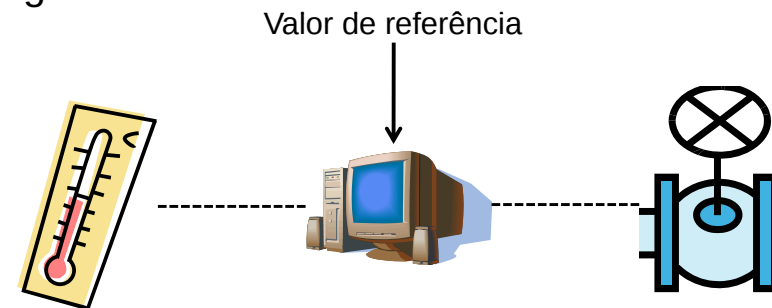
Perguntas:

- Quais são os principais distúrbios ?
 - Vazão de alimentação
 - Temperatura / Entalpia da alimentação
 - Composição da alimentação
 - Características do fluido de aquecimento
 - Características do fluido de refrigeração
 - ...



Malha de controle

- Elemento de medição
- Elemento de atuação
- Algoritmo matemático



SISO

- Single Input – Single Output
- Uma entrada – Uma saída
- Maioria dos controladores industriais
- Exemplo:
 - Chuveiro elétrico (ducha corona)



SISO

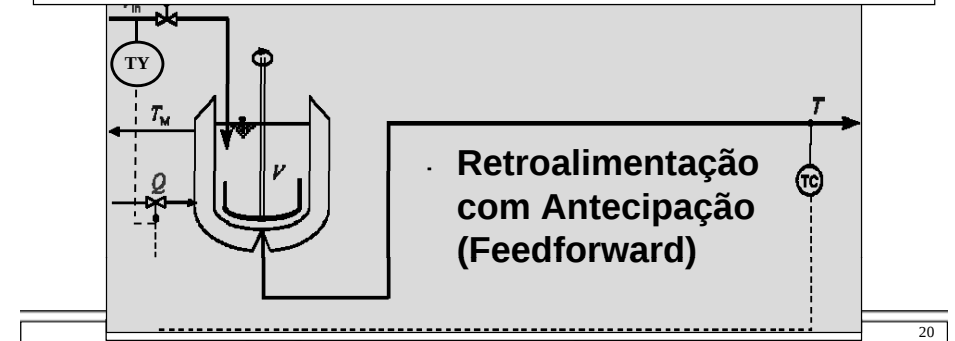
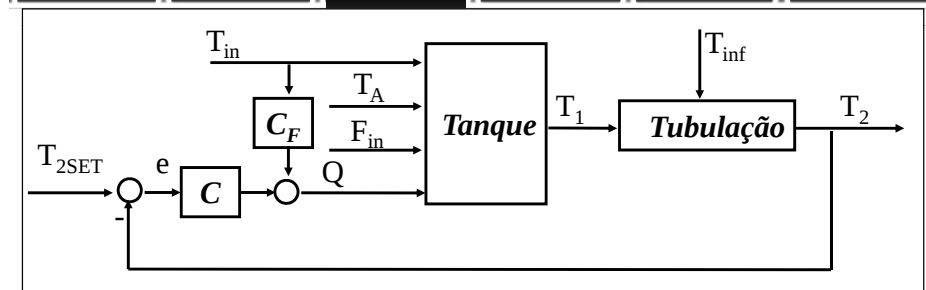
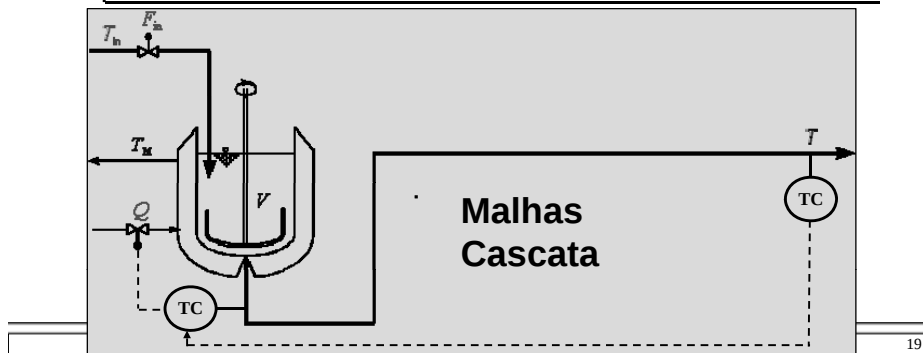
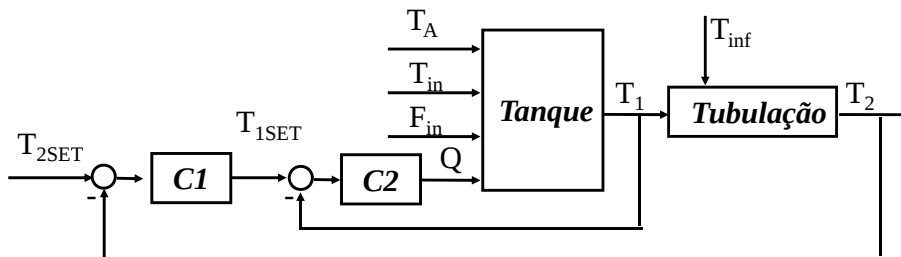
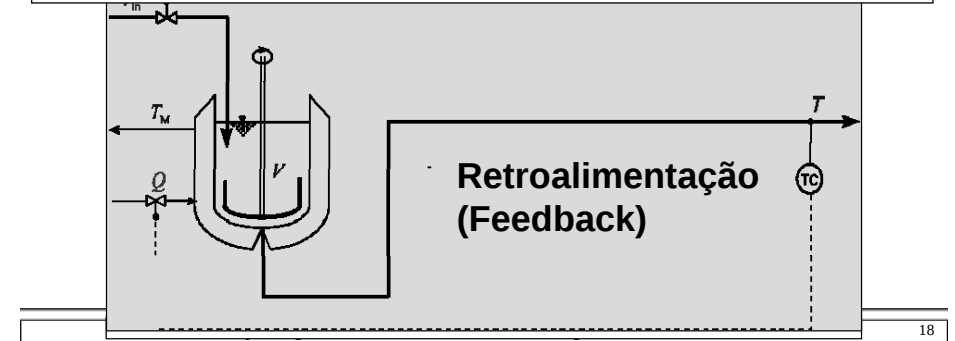
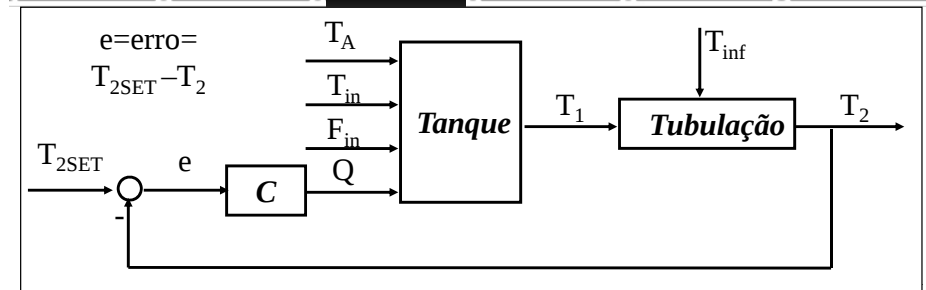
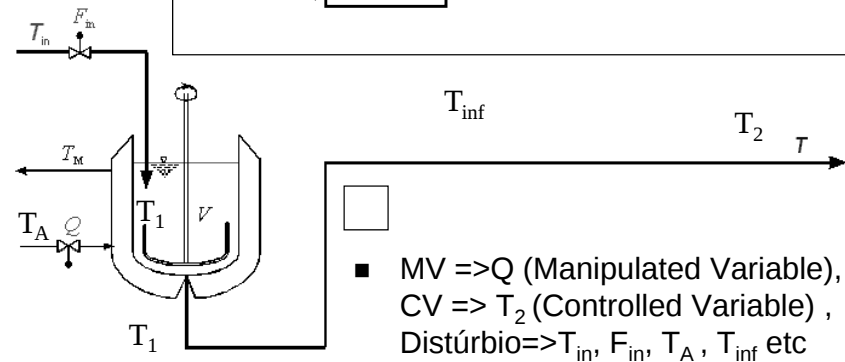
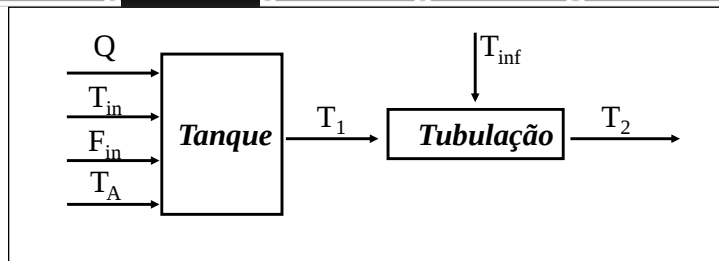


Variável Controlada: vazão



Variável Manipulada: abertura de válvula

Malhas de controle



MIMO

- Multi - Input, Multi - Output
- Múltiplas entradas, múltiplas saídas
- Totalidade dos processos industriais
- Minoria dos controladores
- Exemplo:
 - Chuveiro com junker
- Novo componente → acoplamento



MIMO



→ Temperatura

→ Vazão



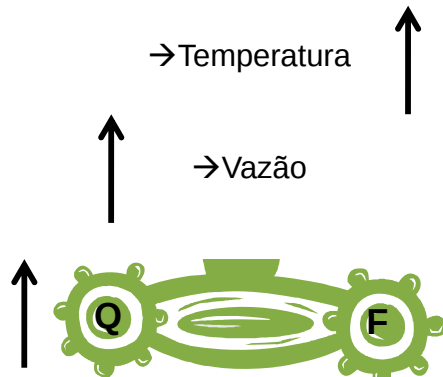
Acoplamento

Quero aumentar a temperatura

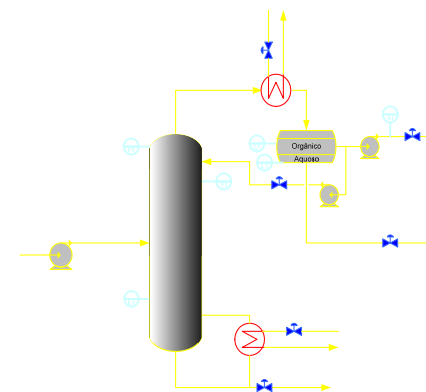


→ Temperatura

→ Vazão

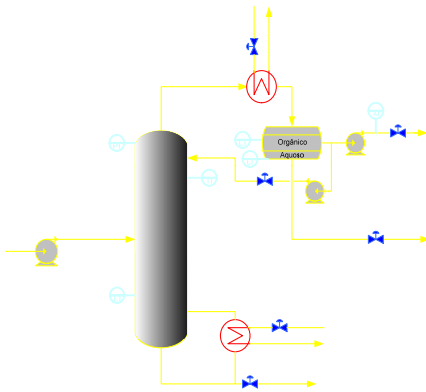


Controle do Inventário



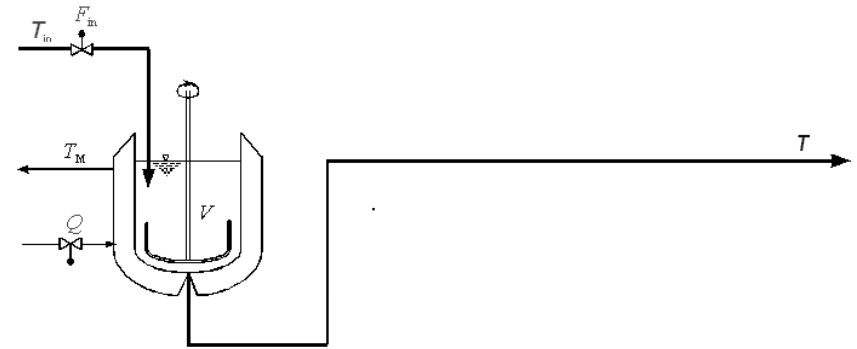
- Consiste no controle dos acúmulos de líquido, gases e sólidos.
- Sem o controle automatizado destes acúmulos o processo não pode operar.
- O controle é feito através de malhas feedback, as quais precisam estar necessariamente fechadas para permitir a operação da unidade.
- O acúmulo de líquido é medido por medidores de nível e o de gases por medidores de pressão.
- Para a coluna temos: controle da pressão, nível do vaso de fundo, nível total do vaso de topo e da interface.

Controle do Inventário



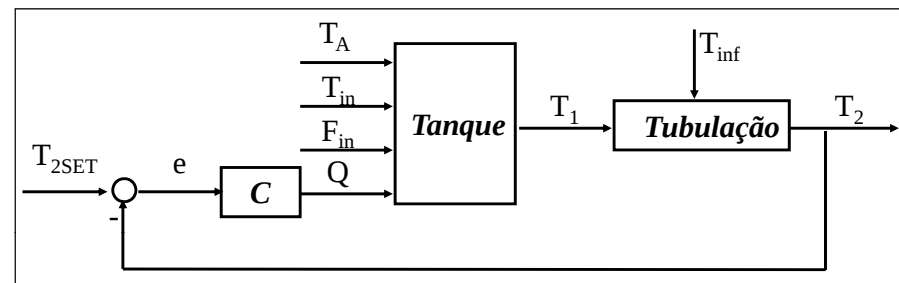
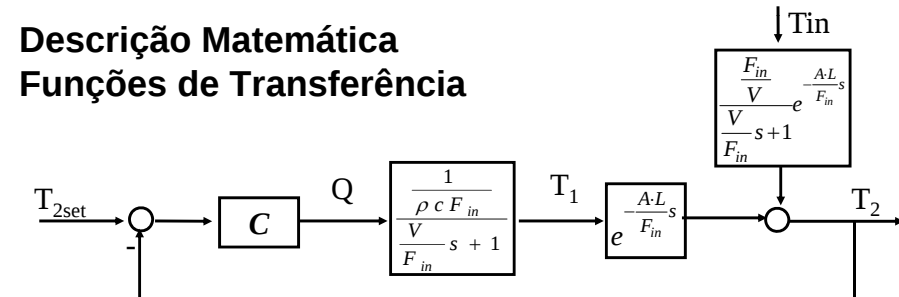
- O primeiro passo consiste na escolha das variáveis manipuladas que serão utilizadas para controlar o inventário.
 - Nível do vaso de fundo pode ser controlado por: (a) vazão de fundo (b) carga térmica da unidade (refervedor)
 - Nível do vaso de topo e de interface podem ser controlados por: (a) refluxo, (b) destilado orgânico e (c) destilado aquoso
 - Pressão pode ser controlada pela (a) taxa de resfriamento (condensador) ou (b) taxa de aquecimento (refervedor)
 - Os graus de liberdade que sobram serão utilizados para controlar as composições.
 - Podem ser utilizadas razões entre vazões, p.ex. (L/D, V/B, L/F etc).
 - As razões são feedforward intrínsecos e são altamente recomendáveis de serem utilizados. Necessitam de medidores de vazão para poderem ser implementados.

Descrição Matemática – Funções de Transferência

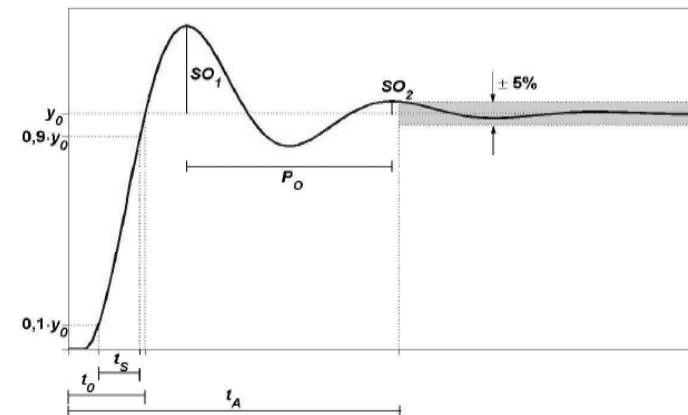


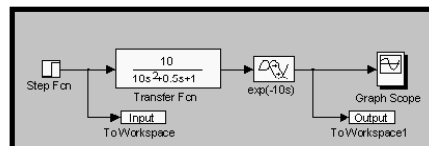
$$\frac{\Delta T(s)}{\Delta Q(s)} = G(s) = \frac{1}{\frac{\rho c F_{in}}{V} s + 1} e^{-\frac{A \cdot L}{F_{in}} s} \quad \text{and} \quad \frac{\Delta T(s)}{\Delta T_{in}(s)} = G_d(s) = \frac{\frac{F_{in}}{V}}{\frac{F_{in}}{V} s + 1} e^{-\frac{A \cdot L}{F_{in}} s}$$

Descrição Matemática Funções de Transferência



Respostas de FT de 2º ordem



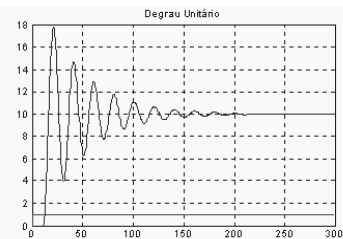


$$P = \frac{2\pi\tau}{\sqrt{1-\zeta^2}}, \quad OS = \exp\left(\frac{-\pi\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}}\right), \quad DR = OS^4$$

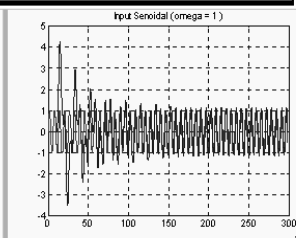
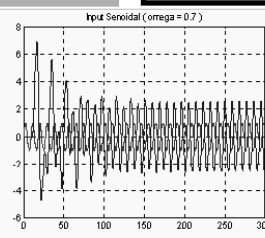
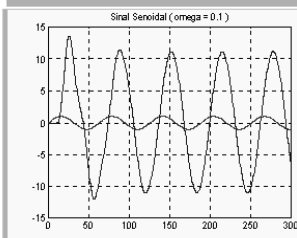
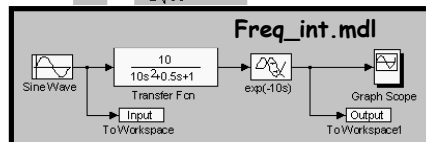
Período Overshoot Razão de Decaimento

$$y_s = \frac{K}{\sqrt{1-(\omega\tau)^2} + (2\zeta\omega\tau)} A \sin(\omega t + \phi)$$

onde $\phi = -\arctan\left[\frac{2\zeta\omega\tau}{1-(\omega\tau)^2}\right]$



$$\tau = \sqrt{10} \text{ s}, \quad \zeta = \frac{0.5}{2\sqrt{10}} = 0,079 \quad P = 19,93 \text{ s}, \quad OS = 0,78$$

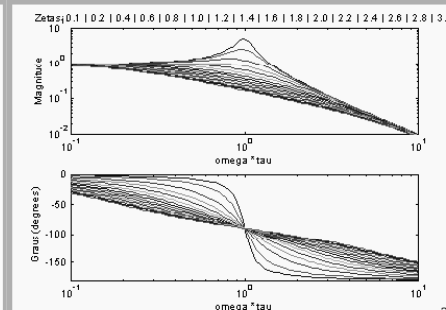
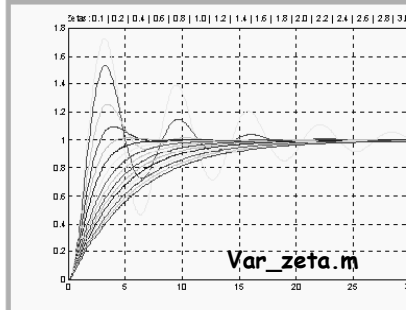
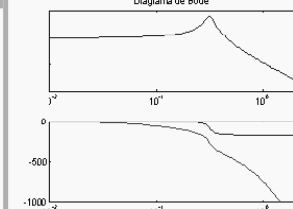
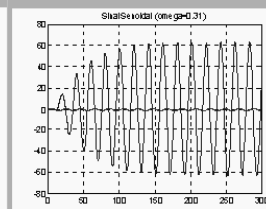
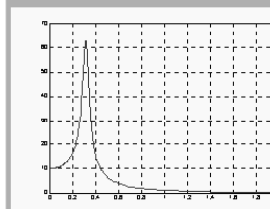


29

$$\frac{dAR}{d\omega} = 0 \Rightarrow \omega_{max} = \frac{\sqrt{1-2\zeta^2}}{\tau}, \quad \text{para } 0 < \zeta < \frac{1}{\sqrt{2}}$$

$$\omega_{max} = 0,314$$

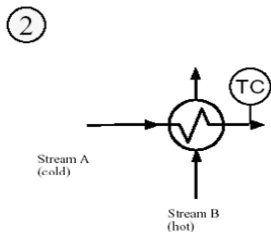
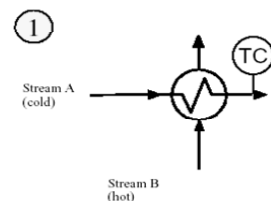
$$y(t) = 63,19 \exp(-0,025[t - 10]) \cos(0,3153[t - 10] + 0,5598^\circ) + 63,44 \cos(0,314[t - 10] - 174,9^\circ)$$



30

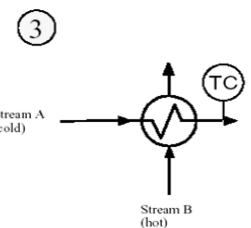


Single-loop Control, Workshop #4



Freedom to adjust flows

Stream A	Stream B
1. Constant	Adjustable
2. Adjustable	Constant
3. Constant	Constant



You can add valve(s) and piping.



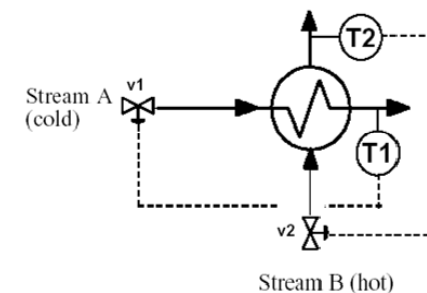
Controllability: Is the desired performance achievable?

Interaction influences Controllability.

Energy balance on each stream

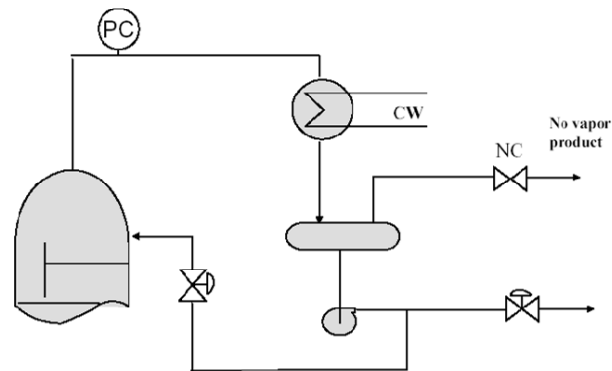
$$Q_{Hot} = F_{Hot} C_{pH} (T_{Hout} - T_{Hin})$$

$$Q_{Cold} = F_{Cold} C_{pC} (T_{Cout} - T_{Cin})$$



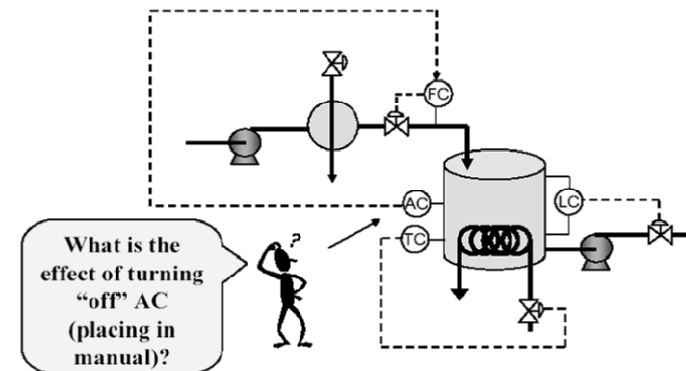
Single-loop Control, Workshop #5

Class exercise: Distillation overhead system. Design a pressure controller. (Think about affecting U, A and ΔT)



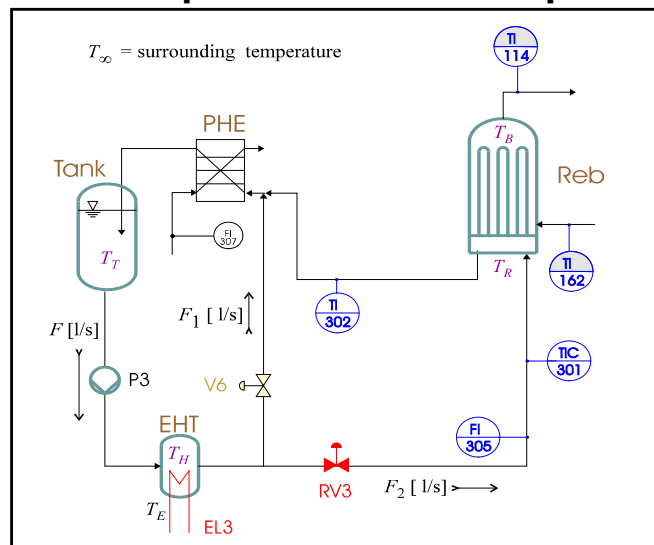
You can add valve(s) and piping.

Integrity: Is the design “robust” to changes in controller status?

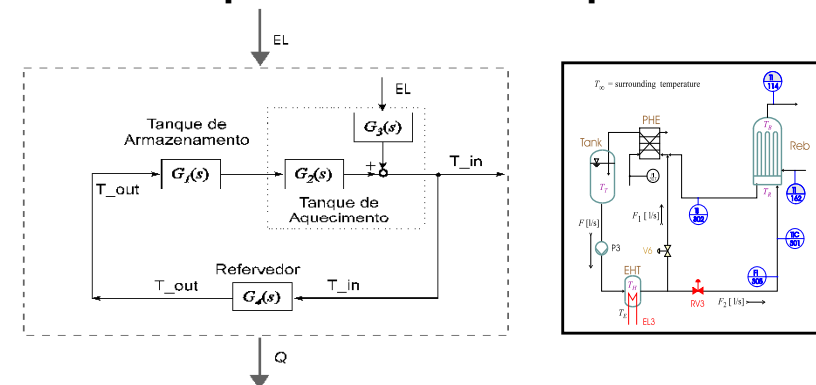


We will first introduce the Relative Gain; then, we will apply it to the Integrity Question

Unidade de Aquecimento - Exemplo



Unidade de Aquecimento - Exemplo

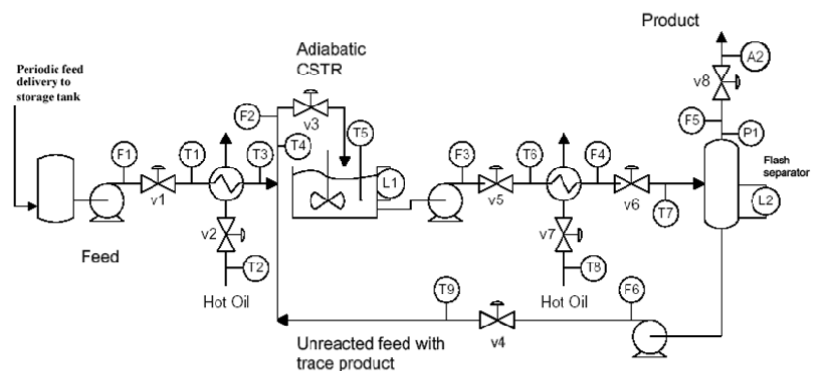


$$G_1(s) = \frac{1}{\tau_1 s + 1}, G_2(s) = \frac{1}{\tau_2 s + 1}, \quad \frac{TI_{301}(s)}{EL3(s)} = \frac{\tau_1 \tau_2 s^2 + (\tau_1 + \tau_2)s + 1}{\tau_1 \tau_2 s^2 + (\tau_1 + \tau_2)s + 1 - k} G_3(s)$$

$$G_3(s) = \frac{K_3}{\tau_3 s + 1} \text{ and } G_4(s) = k = \frac{EL - Q}{EL} = \frac{\text{energia mantida no sistema}}{\text{energia fornecida ao sistema}}, 0 \leq k \leq 1$$

Short-cut Control Design Workshop 6

Class Workshop: Design controls for the CSTR with recycle.



Short-cut Control Design Workshop 8

Class Workshop: Design controls for a decanter.

