

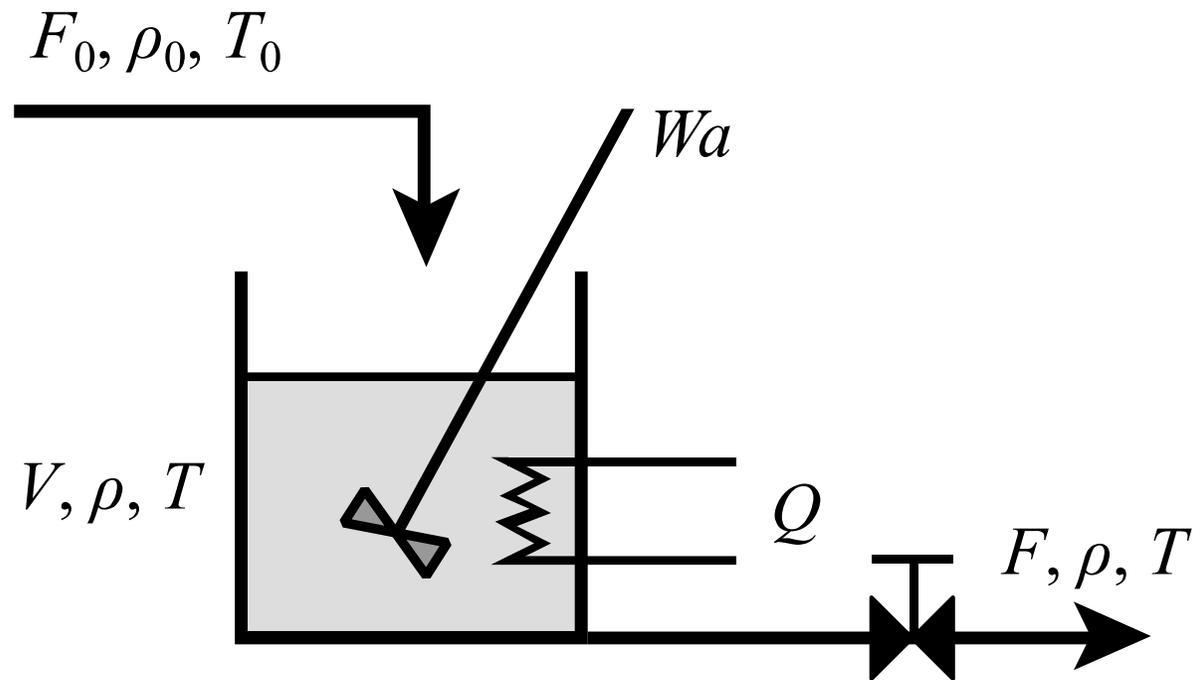
Modelado Parte IV

Enrique E. Tarifa, Facultad de Ingeniería, UNJu

Tanque calefaccionado

Tanque calefaccionado

- Tanque calefaccionado
- Estado estacionario anterior
- Serpentín en la base
- Vapor saturado a 3 kgf/cm²
- $W_a = 500 \text{ W}$, $T_0 = 25 \text{ °C}$, $T_{\text{ini}} = 60 \text{ °C}$
- $x = 0.25$, \dot{T} cuando rebalse?
- Aumento de 65 % en F_0 ($x = 0.5$), \dot{T} cuando rebalse?



Modelo dinámico

Modelo original

$$V \rho C_p \frac{dT}{dt} = F_0 \rho_0 C_{p_0} (T_0 - T) + Q + W_a$$

~~$V = AL$~~

$$Q = UA(T_v - T)$$

Modelo simplificado

$$\frac{dT}{dt} = \frac{F_0 \rho C_p (T_0 - T) + Q + W_a}{AL \rho C_p}$$

$$Q = UA(T_v - T)$$

Si el serpentín quedara expuesto parcialmente, el área de intercambio sería función del nivel.

Parámetros en SI

- $F_0 = 20 \text{ l/s} = 20 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$
- $L_{\text{ini}} = 1 \text{ m}$
- $L_{\text{max}} = 2 \text{ m}$
- $D = 1 \text{ m}$
- $g = 9.81 \text{ m/s}^2$
- $\rho = 1 \text{ kg/l} = 1000 \text{ kg/m}^3$
- $T_0 = 25 \text{ }^\circ\text{C}$
- $T_{\text{ini}} = 60 \text{ }^\circ\text{C}$
- $T_v = 132 \text{ }^\circ\text{C}$
- $C_p = 4.187 \times 10^3 \text{ J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$
- $W_a = 500 \text{ W}$

Determinación UA

Estado estacionario inicial

$$0 = F_0 \rho C_p (T_0 - T_{ini}) + Q_{ini} + Wa$$

$$Q_{ini} = UA(T_v - T_{ini})$$

Estimación de UA

$$Q_{ini} = F_0 \rho C_p (T_{ini} - T_0) - Wa$$

$$UA = \frac{T_v - T_{ini}}{Q_{ini}}$$

$$Q_{ini} = 2.93 \times 10^6 \text{ W}$$

$$UA = 4.07 \times 10^4 \text{ W/K}$$

Simulación dinámica

$$\frac{dL}{dt} = \frac{F_0 - F}{A}$$

$$\frac{dT}{dt} = \frac{F_0 \rho C_p (T_0 - T) + Q + W_a}{A L \rho C_p}$$

$$F = C_v x \sqrt{\rho g L}$$

$$Q = UA(T_v - T)$$

Verificar estado estacionario inicial.

Ver Tanque calefaccionado.mmd

```
{Tanque calefaccionado}
```

```
METHOD RK4
```

```
STARTTIME = 0
```

```
STOPTIME = 110
```

```
DT = 1
```

```
; Inicialización
```

```
INIT L = 1
```

```
INIT Tr = 60
```

```
; Sistema ODEs
```

```
L' = (F0-F)/A
```

```
Tr' = (F0*rho*Cp*(T0-Tr)+Q+Wa)/(A*L*rho*Cp)
```

```
; Sistema AEs
```

```
F = Cv*x*sqrt(rho*g*L)
```

```
Q = UA*(Tv-Tr)
```

```
; Datos
```

```
F0 = 20E-3
```

```
A = 0.785
```

```
Cv = 4.039E-4
```

```
rho = 1000
```

```
g = 9.81
```

```
x = 0.5
```

```
Cp = 4.187E3
```

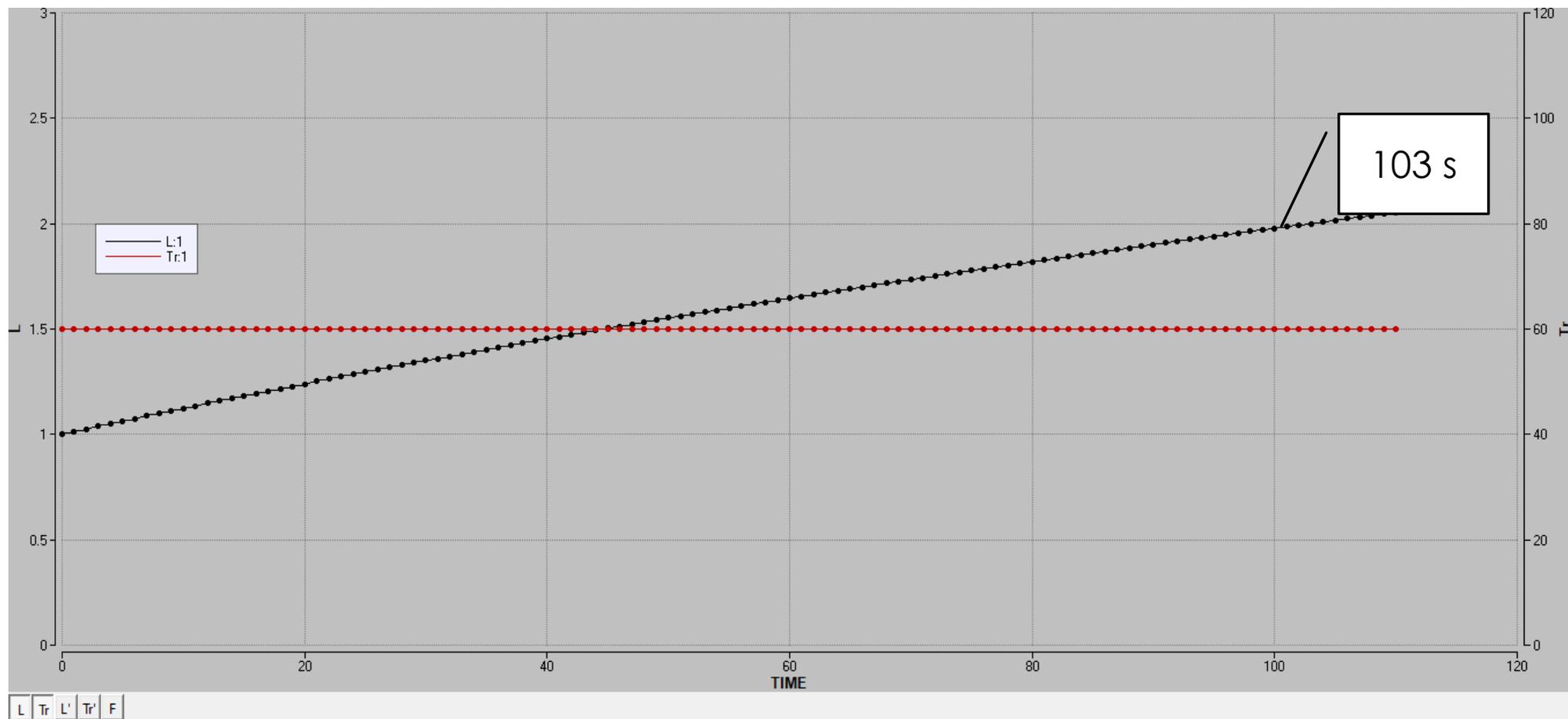
```
UA = 4.07E4
```

```
T0 = 25
```

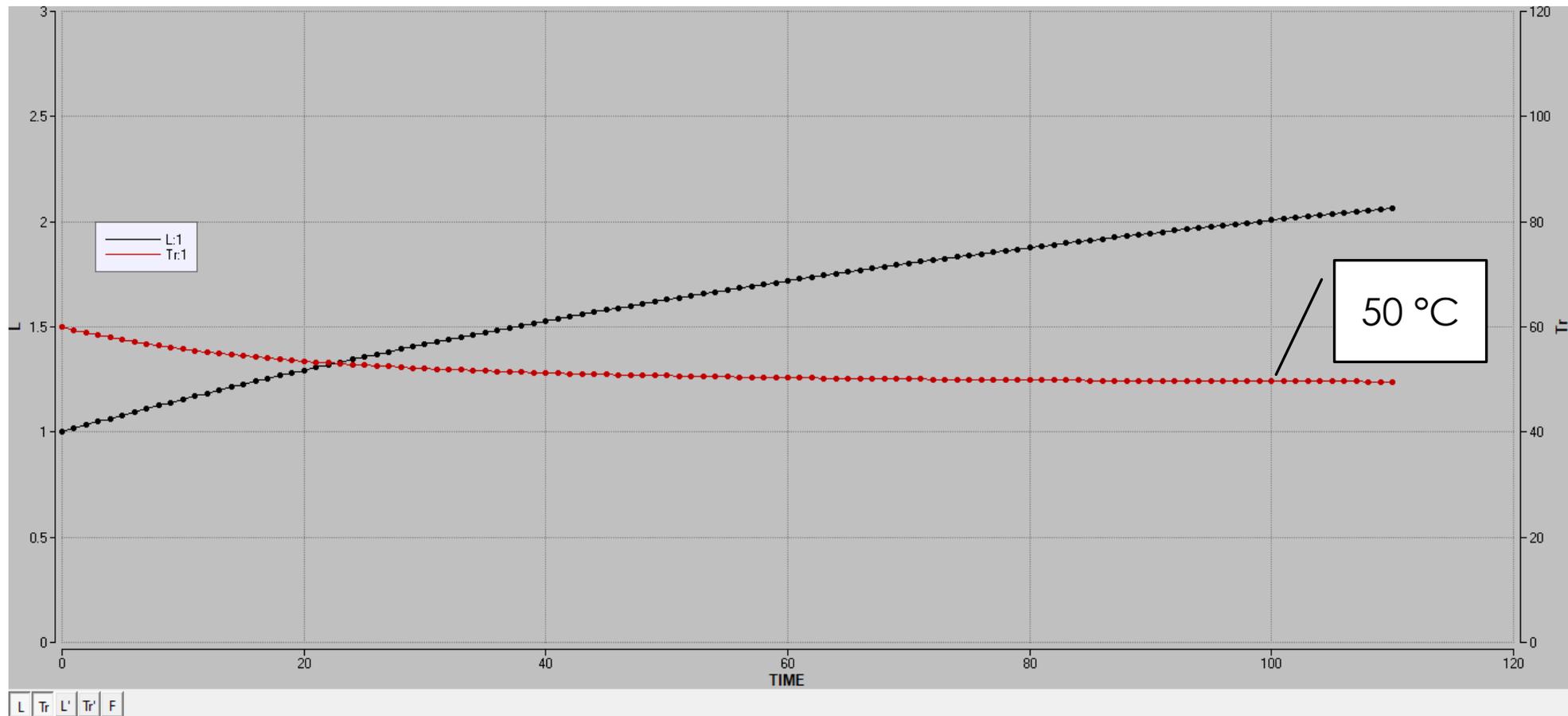
```
Tv = 132
```

```
Wa = 500
```

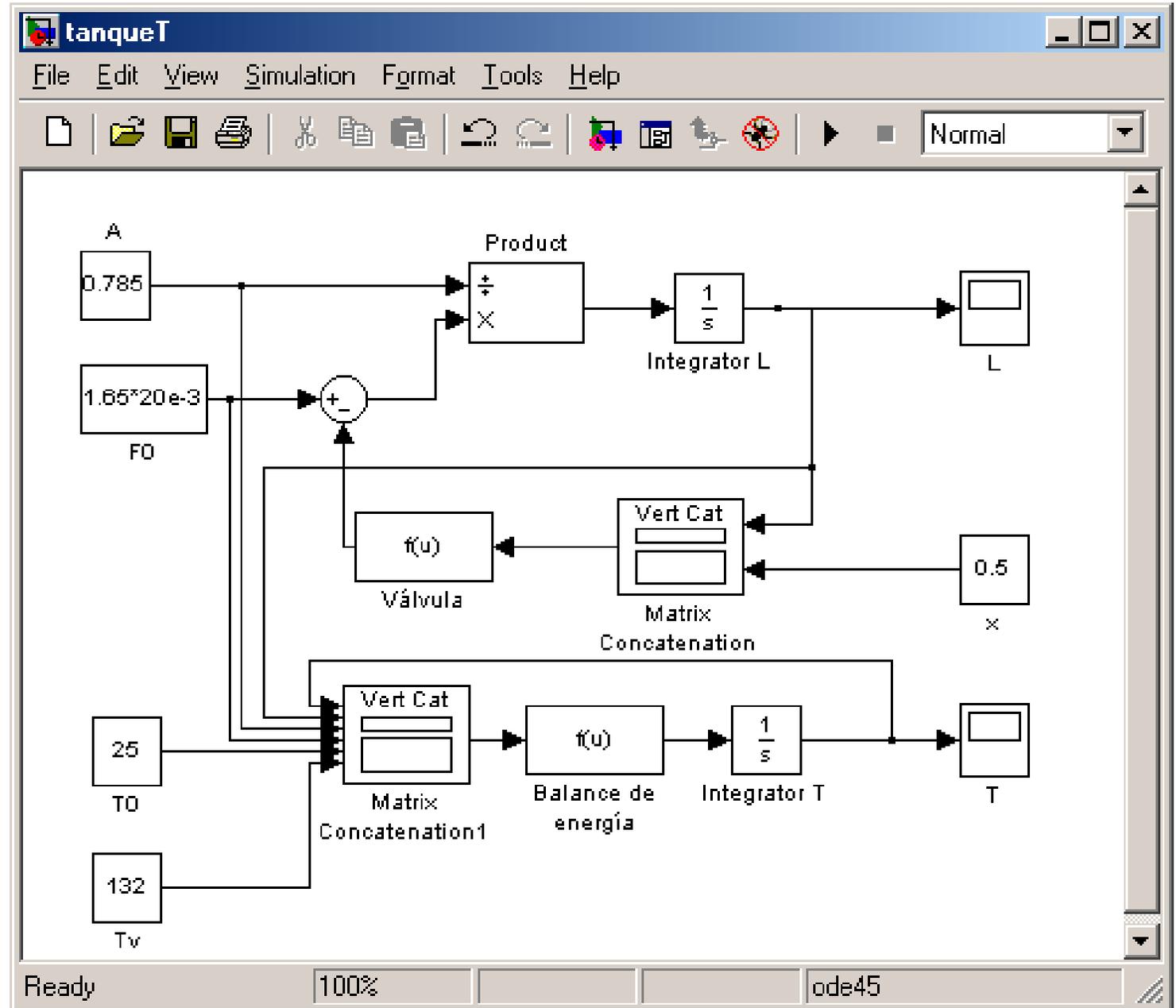
Cierre de válvula, $x = 0.25$



Aumento del 65 % en $F0$



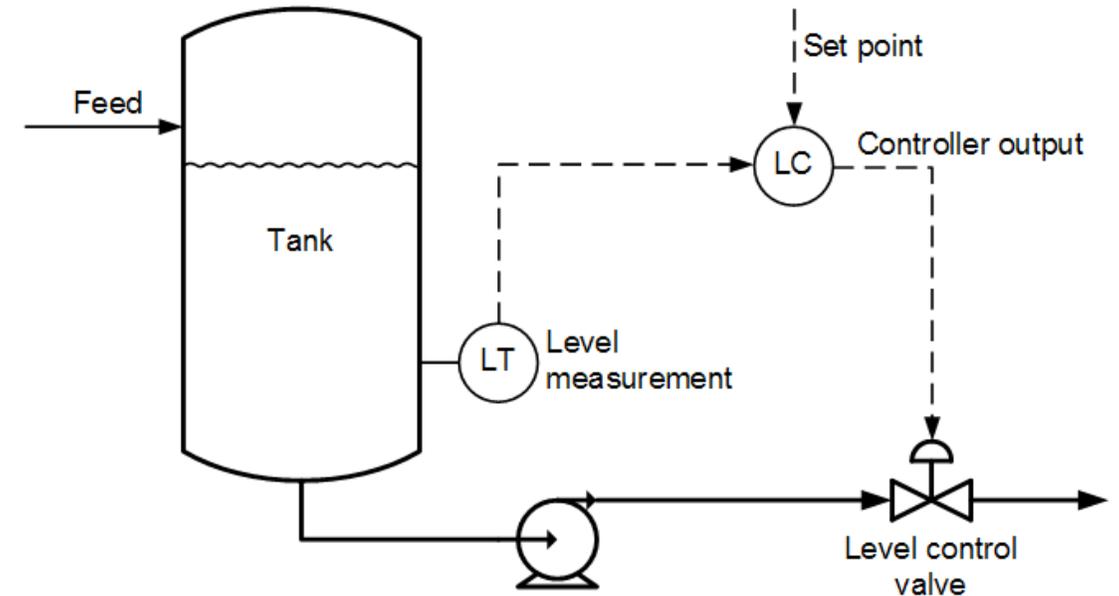
Modelo en Simulink



Controlador de nivel

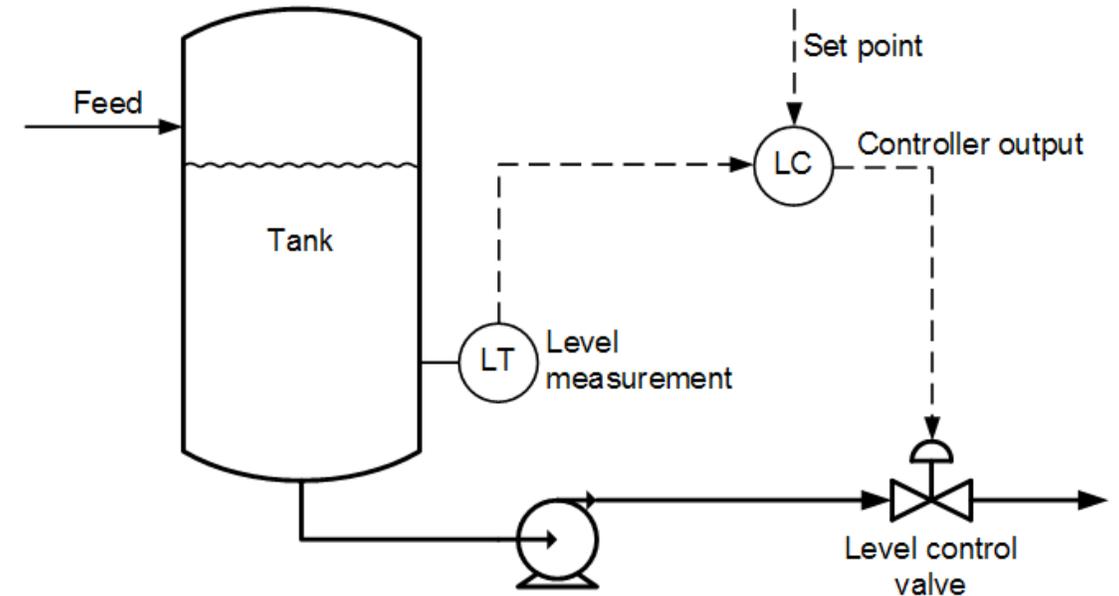
Selección de acción en modo servo

1. Acción inversa y válvula NC
2. Set point $L_{sp}(+)$
3. $L_{sp}(+) \rightarrow e(+) \rightarrow Ac(+) \rightarrow x(+) \rightarrow F(+) \rightarrow L(-)$
4. Si $L(+)$, aceptar la acción.



Selección de acción en modo regulador

1. Acción directa y válvula NC
2. $L(+)$
3. $L(+)$ \rightarrow $e(-)$ \rightarrow $Ac(-)$ \rightarrow $x(-)$ \rightarrow $F(-)$ \rightarrow $L(+)$
4. Si $L(-)$, aceptar la acción.



Instalación de un control PI para el nivel

Modelo original

$$A_c = A_b + K_p \left(e + \frac{1}{\tau_i} A_i \right)$$

$$e = L - L_{sp}$$

$$A_i = \int_0^t e dt$$

$$x = \begin{cases} 0 & A_c < 0 \\ 1 & A_c > 1 \\ A_c & \text{en otro caso} \end{cases}$$

Modelo simplificado

$$\frac{dA_i}{dt} = e$$

$$e = L - L_{sp}$$

$$A_c = A_b + K_p \left(e + \frac{1}{\tau_i} A_i \right)$$

$$x = \begin{cases} 0 & A_c < 0 \\ 1 & A_c > 1 \\ A_c & \text{en otro caso} \end{cases}$$

Simulación dinámica

Sistema ODEs

$$\frac{dL}{dt} = \frac{F_0 - F}{A}$$

$$\frac{dT}{dt} = \frac{F_0 \rho C_p (T_0 - T) + Q + Wa}{AL \rho C_p}$$

$$\frac{dAi}{dt} = e$$

Sistema AEs

$$F = C_v x \sqrt{\rho g L}$$

$$Q = UA(T_v - T)$$

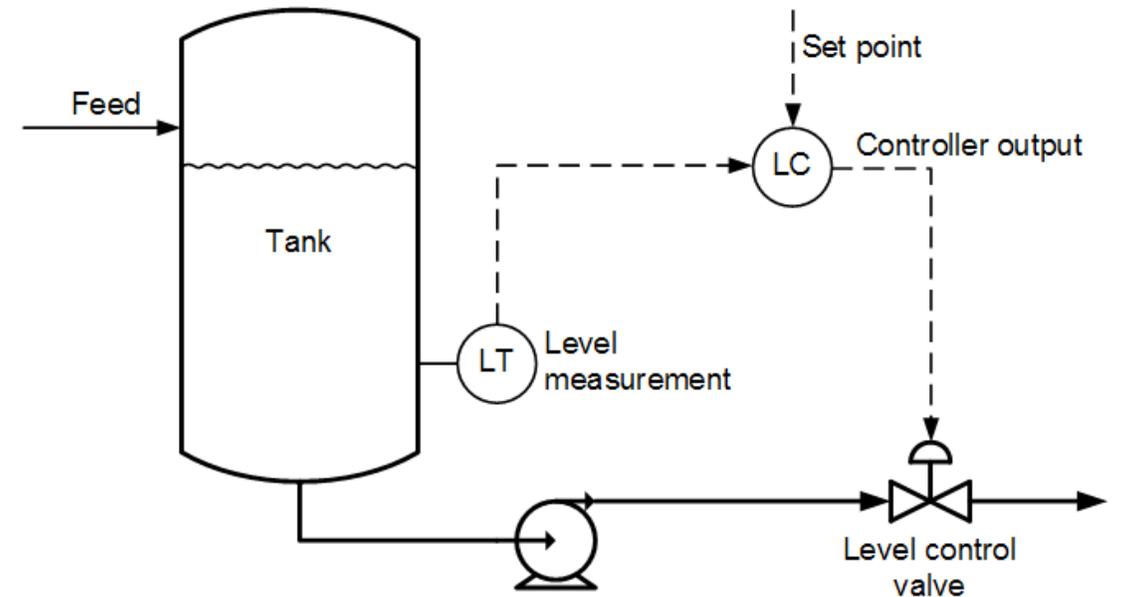
$$e = L - L_{sp}$$

$$Ac = Ab + Kp \left(e + \frac{1}{\tau_i} Ai \right)$$

$$x = \begin{cases} 0 & Ac < 0 \\ 1 & Ac > 1 \\ Ac & \text{en otro caso} \end{cases}$$

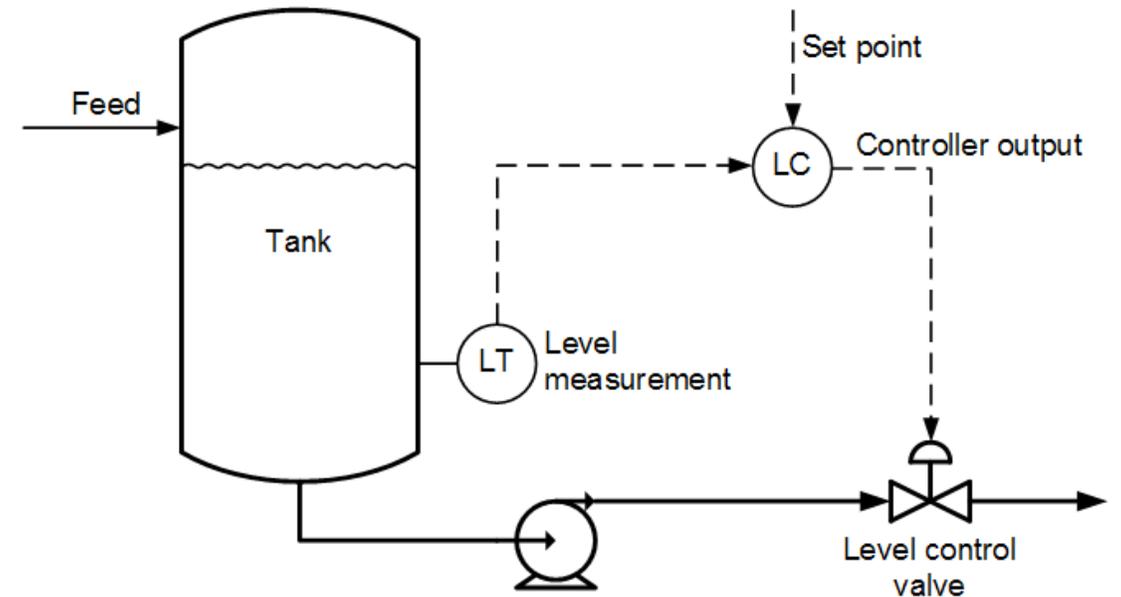
Reset manual en un controlador

1. Colocar el controlador en manual.
2. Elegir un punto de operación L_{sp} .
3. Variar A_c manualmente para lograr que $L = L_{sp}$.
4. Hacer $A_b \leftarrow A_c$.



Reset manual en un controlador P

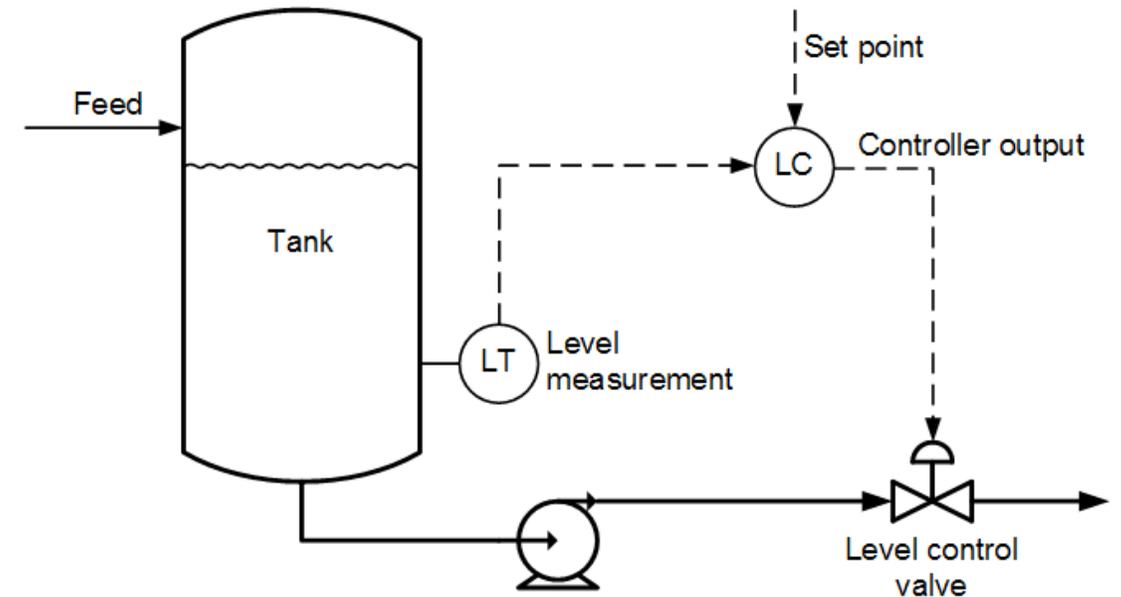
1. Elegir un punto de operación L_{sp} .
2. Variar Ab manualmente para lograr que $L = L_{sp}$.



Ese punto de operación será el único libre de *offset*.

Reset manual en un controlador PI o PID

1. Hacer $Ab = 0$.
2. Elegir un punto de operación L_{sp} .
3. Esperar hasta que $L = L_{sp}$.
4. Hacer $Ab \leftarrow Ac$.



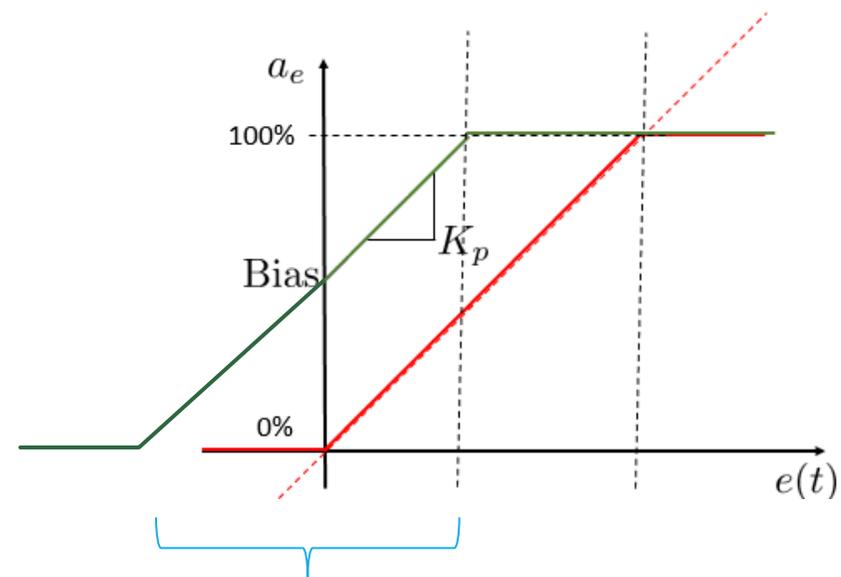
[Simulador online control PID](#)

Reset manual

- $Ab = 0.5$ valor ideal
- Para una válvula NC:
 - Si la válvula es grande, C_v grande, $Ab < 0.5$.
 - Si la válvula es chica, C_v chico, $Ab > 0.5$.
- Para una válvula NA:
 - Si la válvula es grande, C_v grande, $Ab > 0.5$.
 - Si la válvula es chica, C_v chico, $Ab < 0.5$.

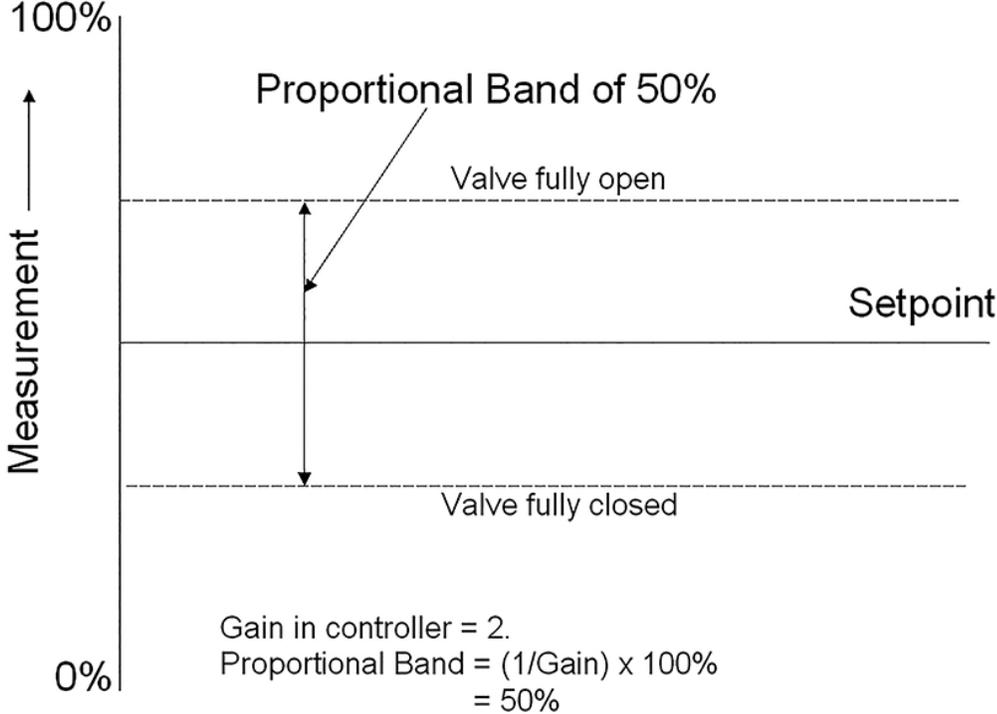
Valores iniciales

- Valores ideales:
 - $Ab = 0.5$
 - $Ai(0) = 0$
- $B = Pb y_{sp}/100$
- $Kp = 1/B$



B: banda proporcional

Banda proporcional



Selección de acciones

○ Flujo: P o PI. No D por el ruido.

○ $Kp = 0.4 - 0.65$

○ $\tau i = 6 \text{ s}$

○ Nivel: P o PI. No D por el ruido.

○ $Kp = 2 - 20$

○ $\tau i = 1 - 5 \text{ min}$

○ Presión:

○ $Kp = 0.5 - 2$ (líq.), $2 - 10$ (gas)

○ $\tau i = 6 - 15 \text{ s}$ (líq.), $2 - 10 \text{ min}$ (gas)

○ Temperatura:

○ $Kp = 2 - 10$

○ $\tau i = 2 - 10 \text{ min}$

○ $\tau d = 0 - 5 \text{ min}$

Sintonía de un controlador PID

Métodos

- Heurísticos
- Basados en reglas:
 - Ziegler-Nichols, Chien, Hrones y Reswick, Cohen-Coon, Kappa-tau y Lambda.
- Basados en modelos:
 - Modelo
 - Especificaciones

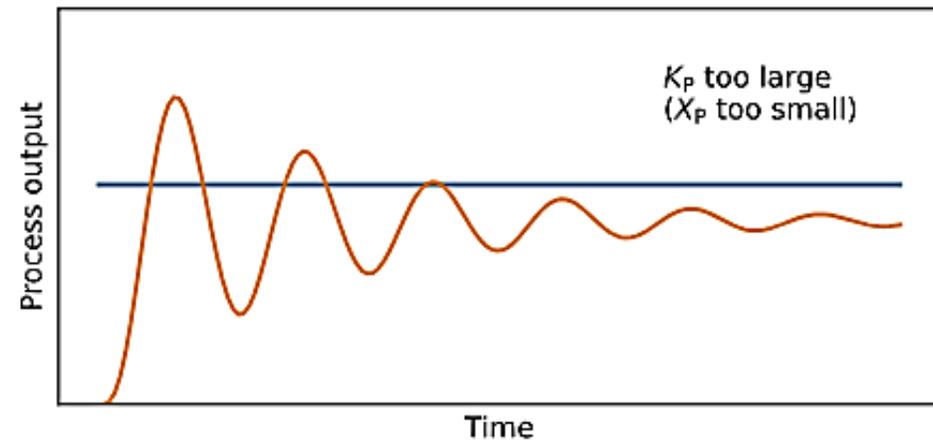
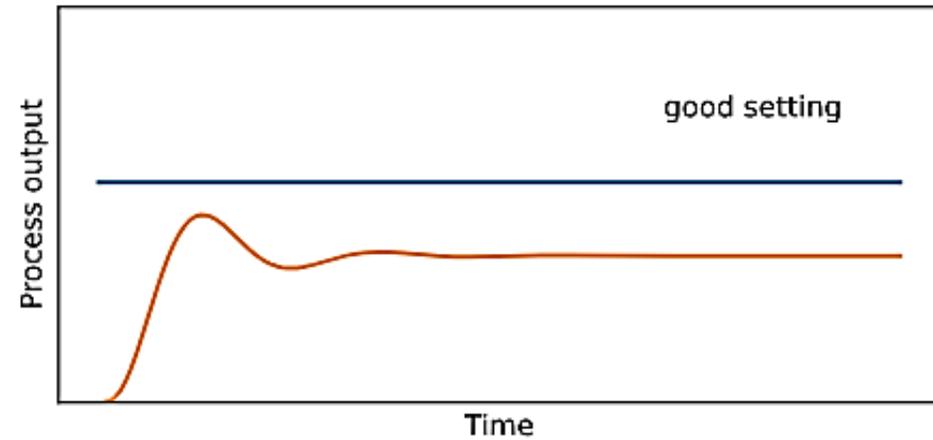
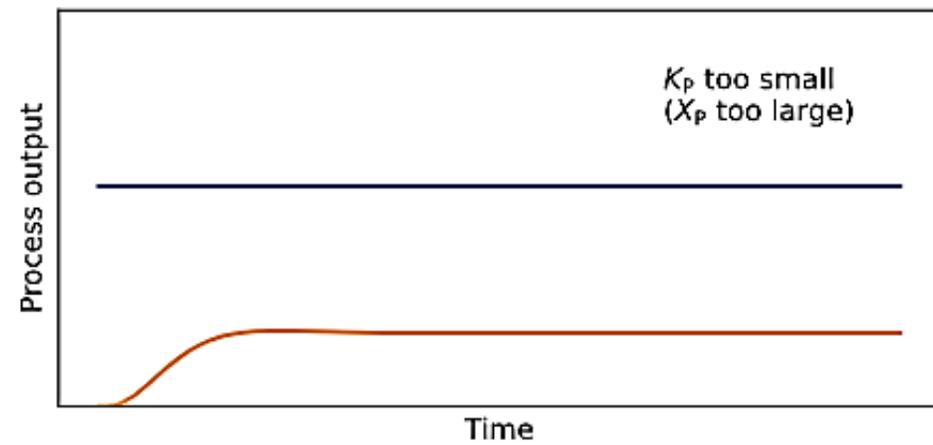
Heurístico

- Seleccionar el tipo de acción.
- Ajustar A_b .
- Anular P, I y D.
- Provocar un escalón en y_{sp} .
- Aumentar P hasta que oscile.
- Aumentar I hasta que oscile.
- Aumentar D hasta que oscile.

[Sintonía de un controlador PID](#)

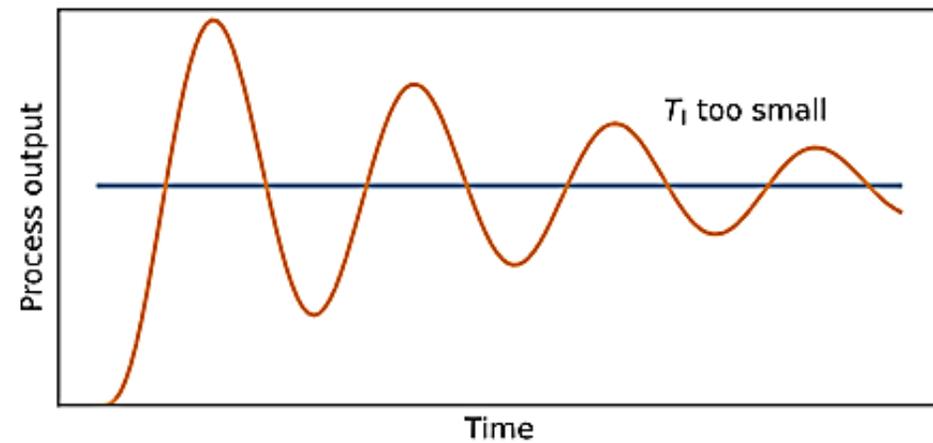
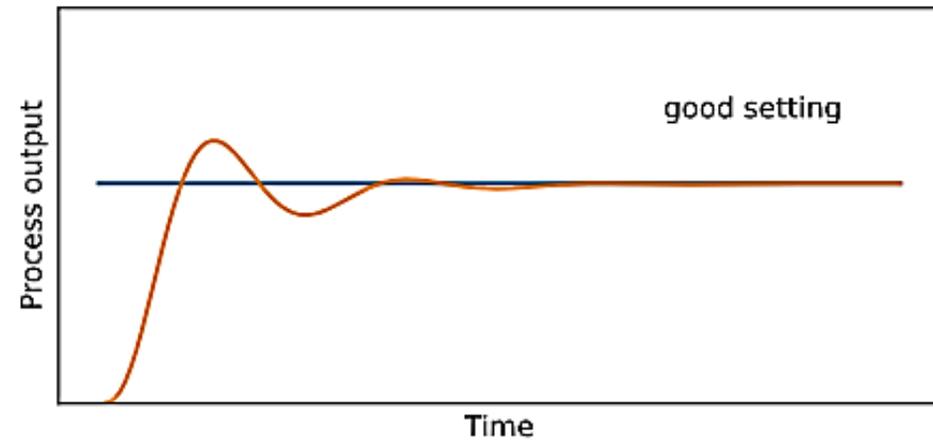
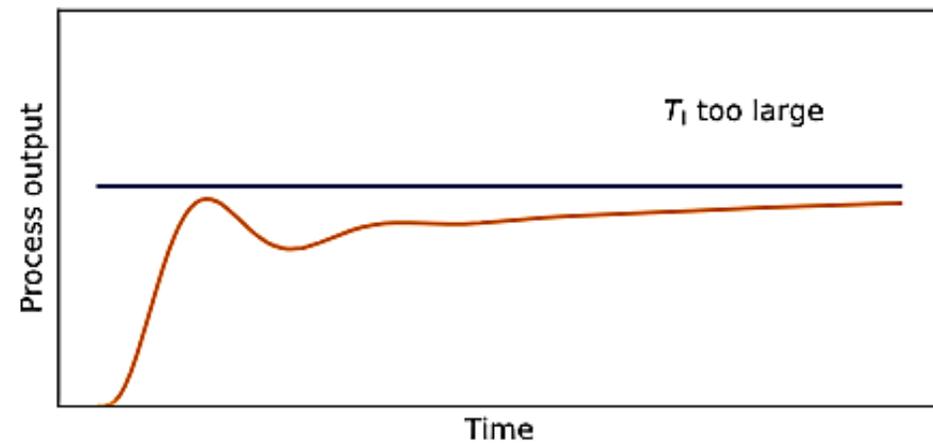
Ajuste de K_p

Sintonía de un controlador PID



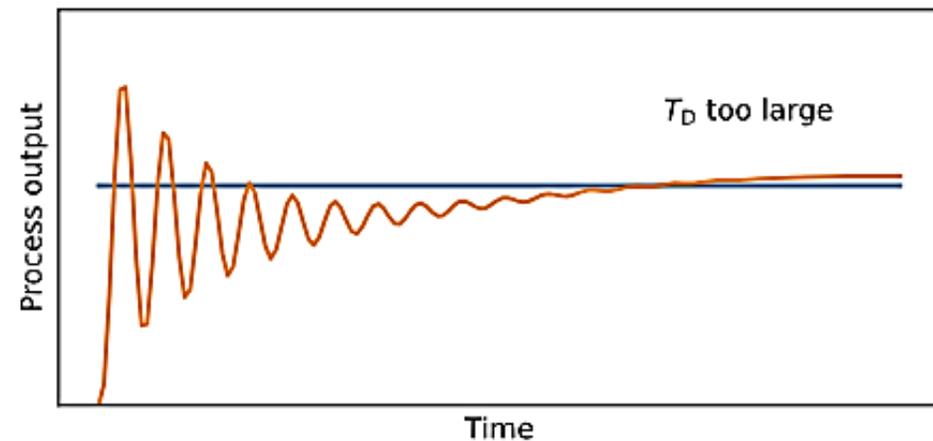
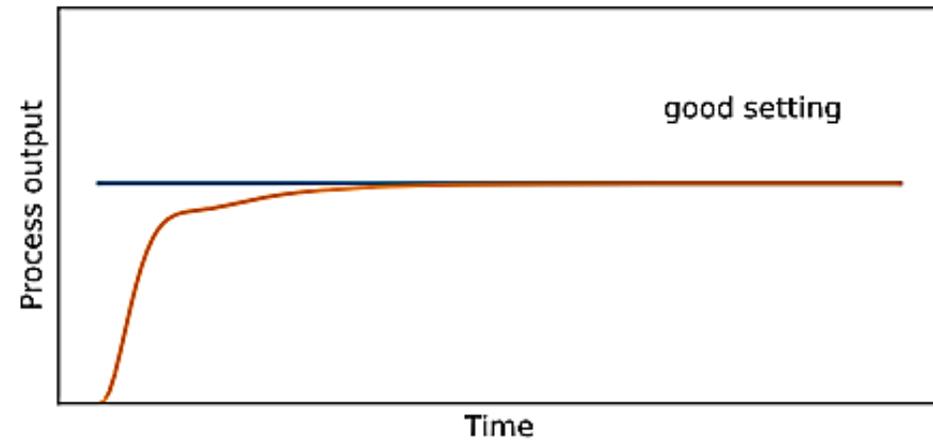
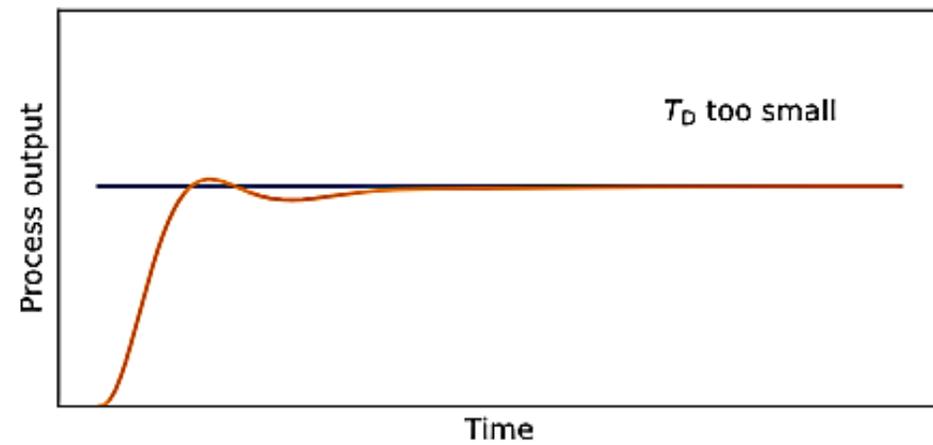
Ajuste de τ_i

Sintonía de un controlador PID



Ajuste de τ_d

Sintonía de un controlador PID



Reset manual en un controlador P

- $K_p = 2 \text{ m}^{-1}$
- $\tau_i = 100000 \text{ s}$
- $A_i(0) = 0$
- $L_{sp} = 1 \text{ m}$
- Probar valores de A_b comenzando con 0.5.

Listado en Berkeley Madonna

```
{Tanque calefaccionado con CL}

METHOD RK4

STARTTIME = 0
STOPTIME = 200
DT = 1

; Inicialización
INIT L = 1
INIT Tr = 60
INIT Ai = 0

; Sistema ODEs
L' = (F0-F)/A
Tr' = (F0*rho*Cp*(T0-Tr)+Q+Wa)/(A*L*rho*Cp)
Ai' = e
```

```
; Sistema AEs
e = L-Lsp
Ac = Ab+Kp*(e+Ai/taui)
x = Ac
LIMIT x >= 0
LIMIT x <= 1

F = Cv*x*sqrt(rho*g*L)
Q = UA*(Tv-Tr)
```

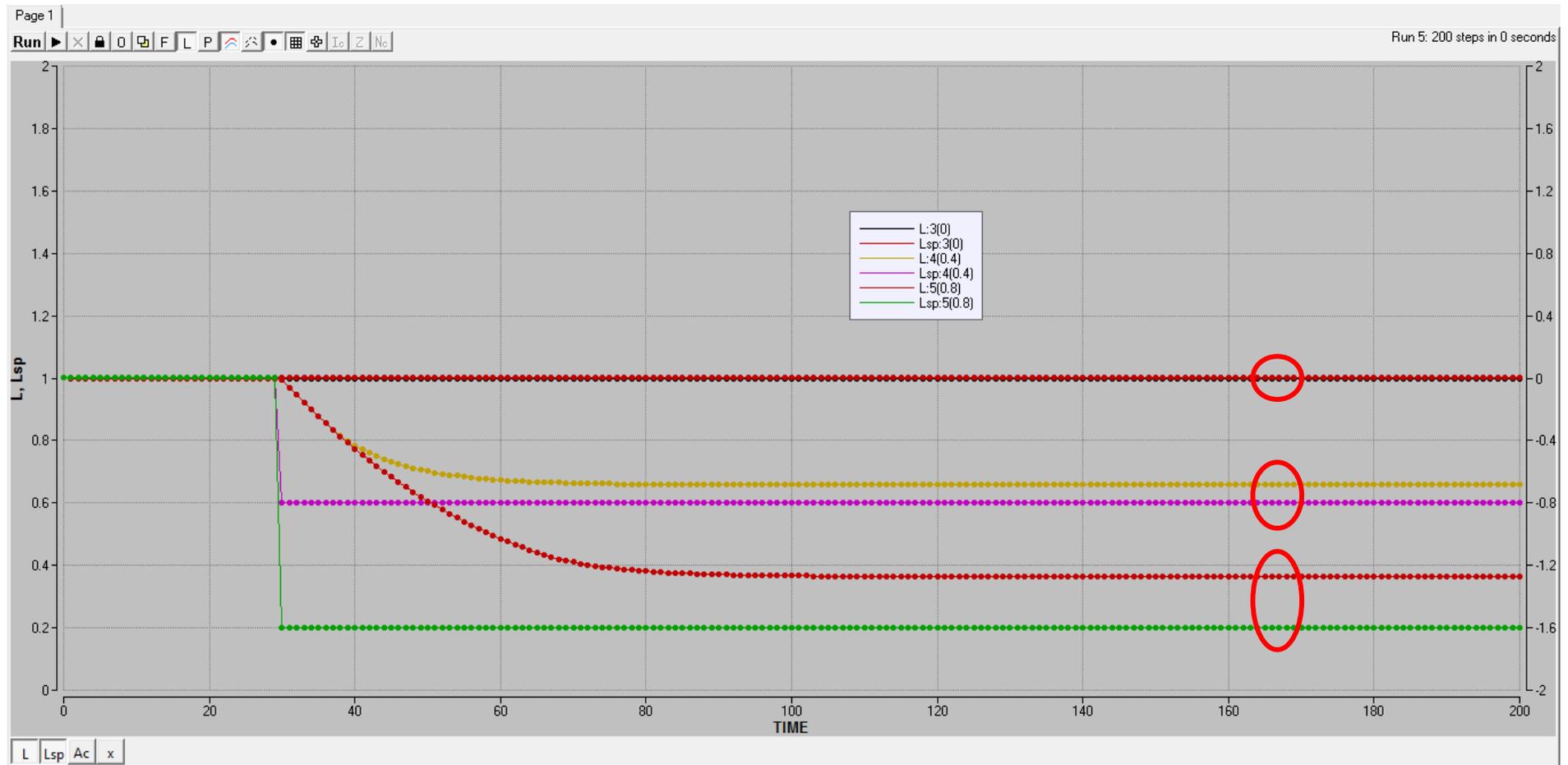
```
; Datos
F0 = 20E-3
A = 0.785
Cv = 4.039E-4
rho = 1000
g = 9.81

Cp = 4.187E3
UA = 4.07E4
T0 = 25
Tv = 132
Wa = 500

Ab = 0.5
Kp = 2
taui = 100000
Lsp = 1
```

Ver Tanque calefaccionado con CL.mmd

Offset variable



Sintonización del controlador

- $K_p = 2 \text{ m}^{-1}$
- $\tau_i = 30 \text{ s}$
- $A_i = 0$
- $L_{sp} = 1 \text{ m}$
- Verificar estado estacionario inicial.
- $\Rightarrow A_i = 0$ valor ideal
- Si el Ab es bajo por error, $A_i > 0$.
- Si el Ab es alto por error, $A_i < 0$.

Saturación del CL

