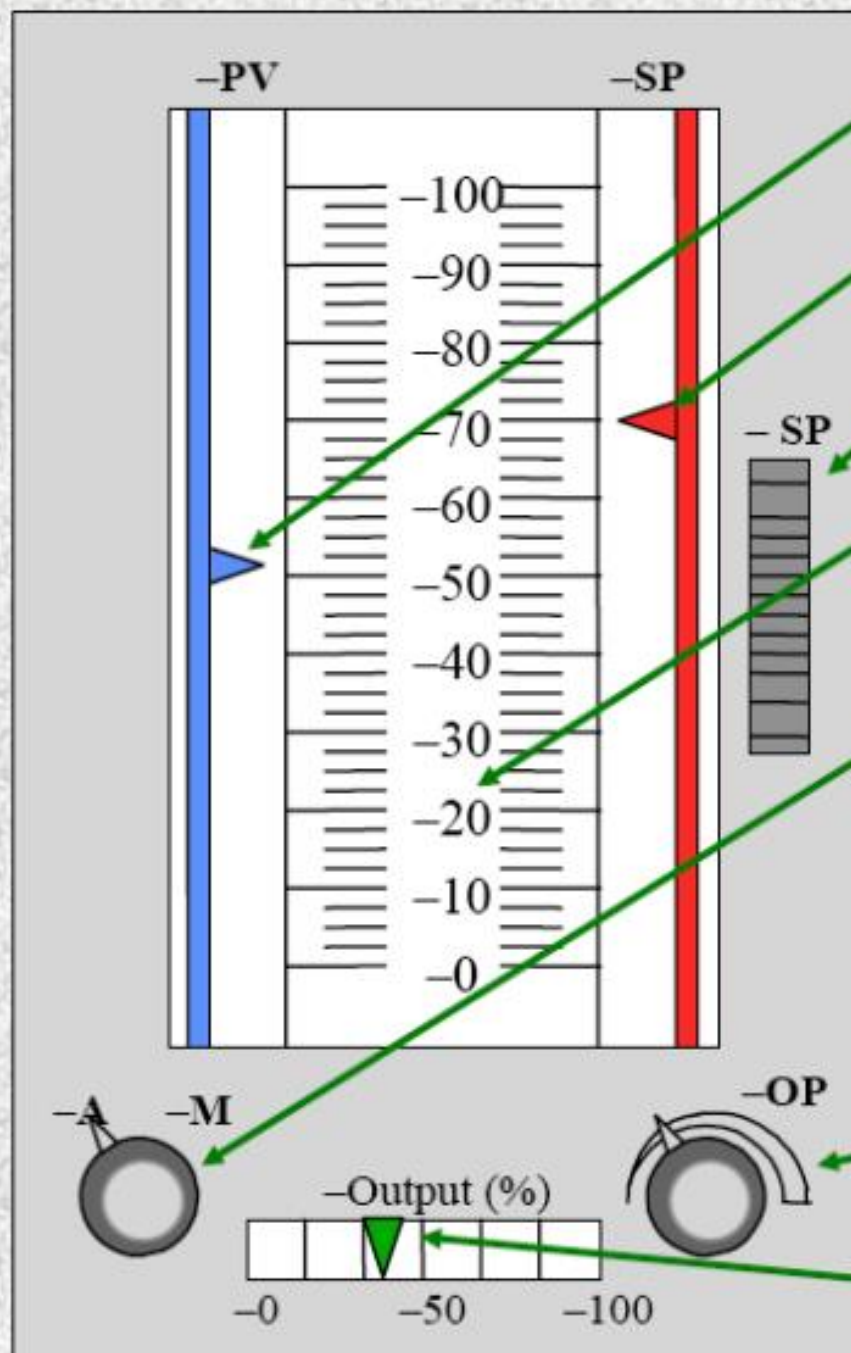


Fundamentos Parte V

Enrique E. Tarifa, Facultad de Ingeniería, UNJu

Relaciones funcionales



Indicador valor de la variable controlada

Indicador del valor del Set Point

Modificador del Set Point

Escala porcentual para Set point y variable controlada

Conmutador AUTOMÁTICO/MANUAL
– **AUTOMÁTICO**: el controlador decide el valor de la variable manipulada
– **MANUAL**: el valor de la variable manipulada se fija de forma manual

Modificador de la variable manipulada

Indicador de la variable manipulada

Controlador de temperatura



Controlador PID

- Controlador PID: $A_c = A_b + K_p \left(e + \frac{1}{\tau_i} \int e \, dt + \tau_d \frac{de}{dt} \right)$
- A_c : Salida del controlador.
- A_b : *Bias* del controlador.
- K_p : Ganancia proporcional o ganancia del controlador.
- e : Error.
- τ_i : Tiempo integral.
- τ_d : Tiempo derivativo.

Controlador PID

- Controlador PID: $Ac = Ab + Kp \left(e + \frac{1}{\tau_i} \int e dt + \tau_d \frac{de}{dt} \right)$
- Tipo de acción ($Kp > 0$):
 - Directa: $e = y - ys$
 - Inversa: $e = ys - y$
- y : Variable de proceso.
- ys : Setpoint.

$e(-) \rightarrow Ac(-)$

$ys(+) \rightarrow e(-)$

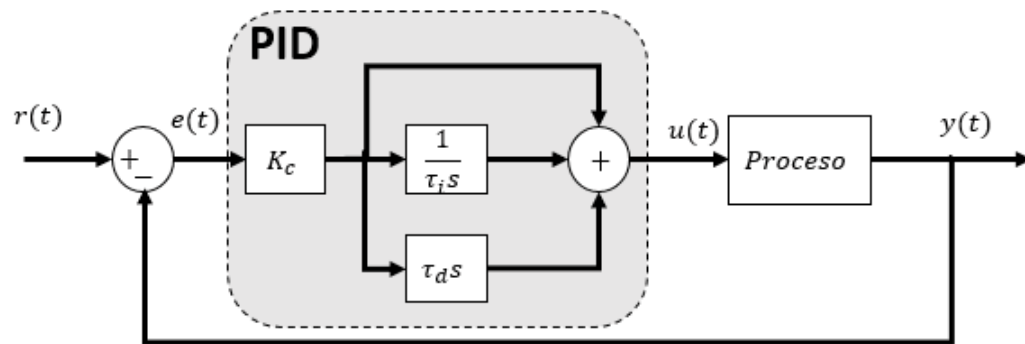
Controlador proporcional

Ac	%	mA	psi
0.00	0%	4.00	3.00
0.10	10%	5.60	4.20
0.20	20%	7.20	5.40
0.30	30%	8.80	6.60
0.40	40%	10.40	7.80
0.50	50%	12.00	9.00
0.60	60%	13.60	10.20
0.70	70%	15.20	11.40
0.80	80%	16.80	12.60
0.90	90%	18.40	13.80
1.00	100%	20.00	15.00

Saturación

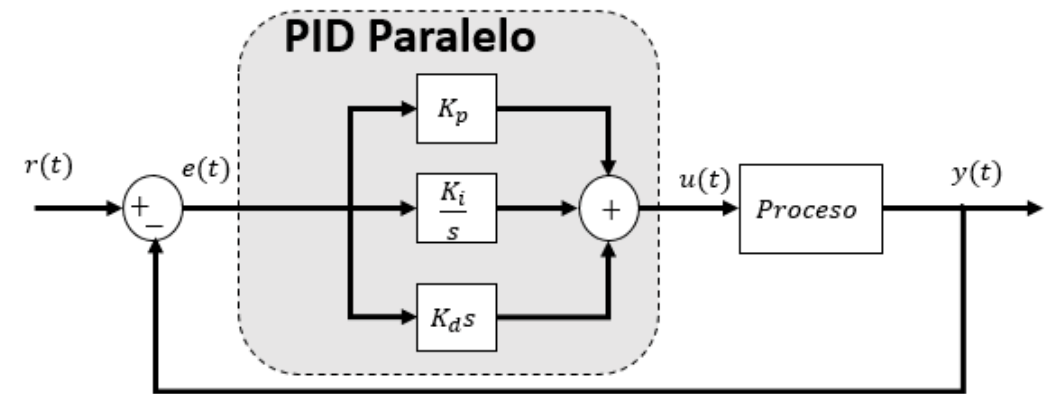
Tipos de controlador PID

En serie

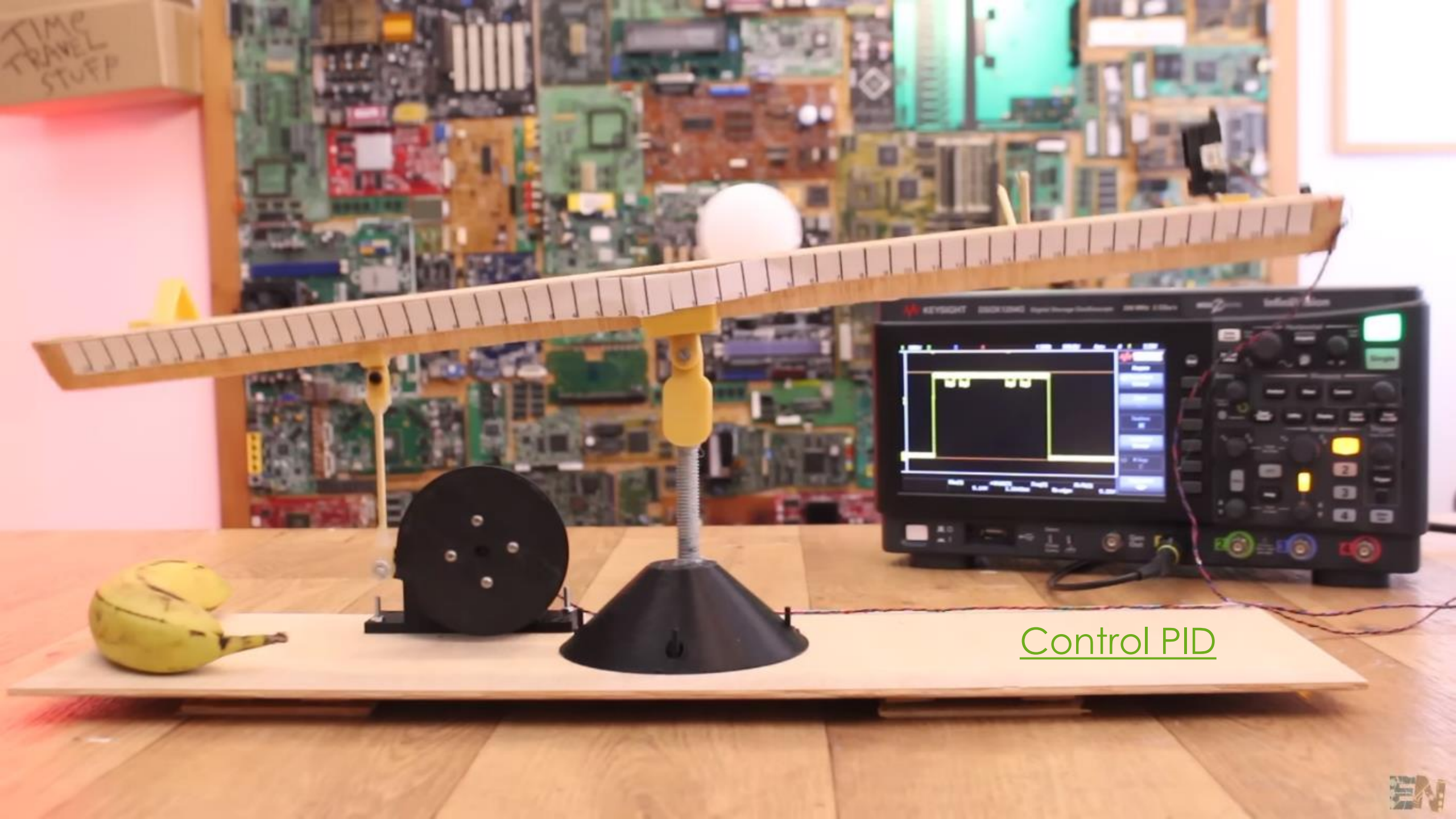


$$Ac = Ab + Kp \left(e + \frac{1}{\tau_i} \int e dt + \tau_d \frac{de}{dt} \right)$$

En paralelo

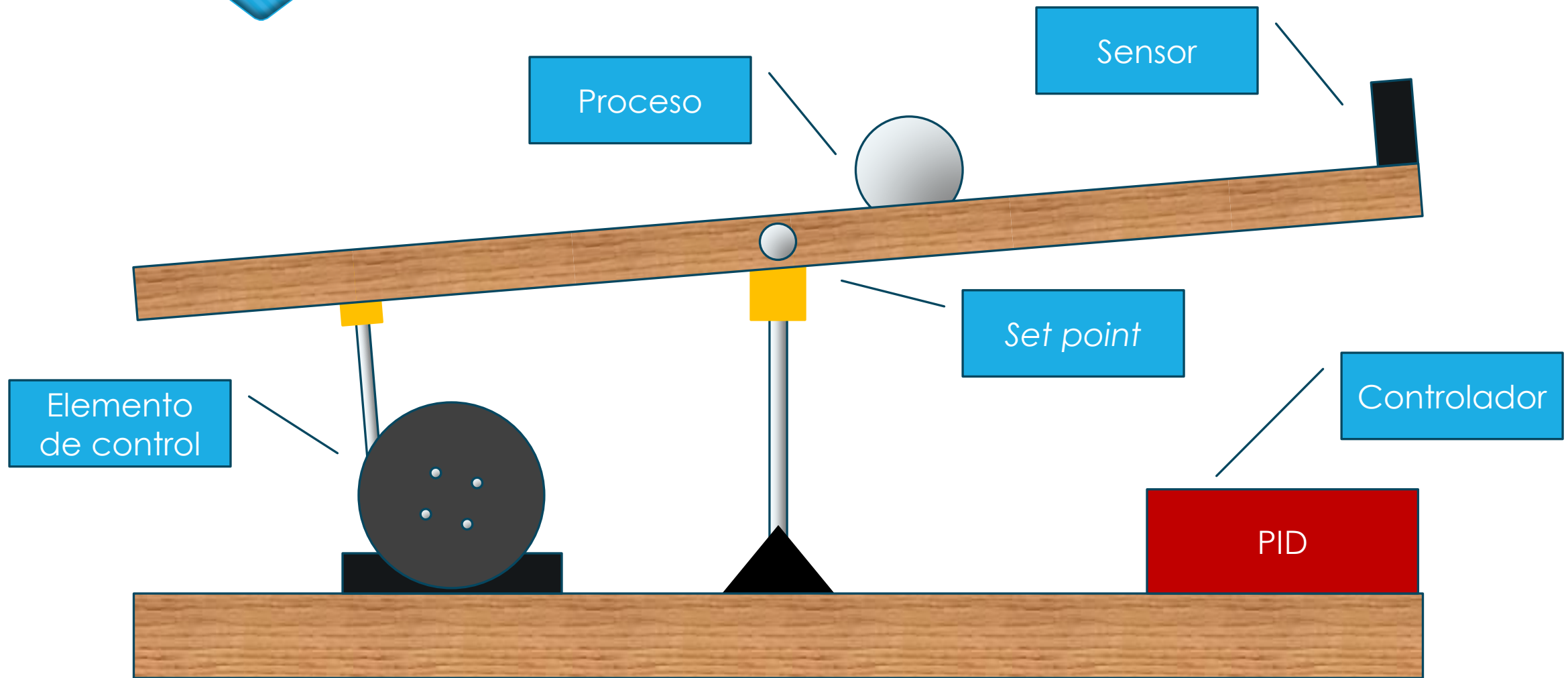


$$Ac = Ab + Kp e + Ki \int e dt + Kd \frac{de}{dt}$$



Control PID

Control *feedback*



Control *feedback*

- Variable controlada: distancia de la pelota al sensor.
- *Setpoint*: distancia del centro de la barra al sensor.
- Variable manipulada: posición de la barra.

$$\text{PID}_p = K_p \times \text{error}$$

$K_p = 20$

$K_i = 0$

$K_d = 0$

No se estabiliza.



$K_p = 0$

$K_i = 0$

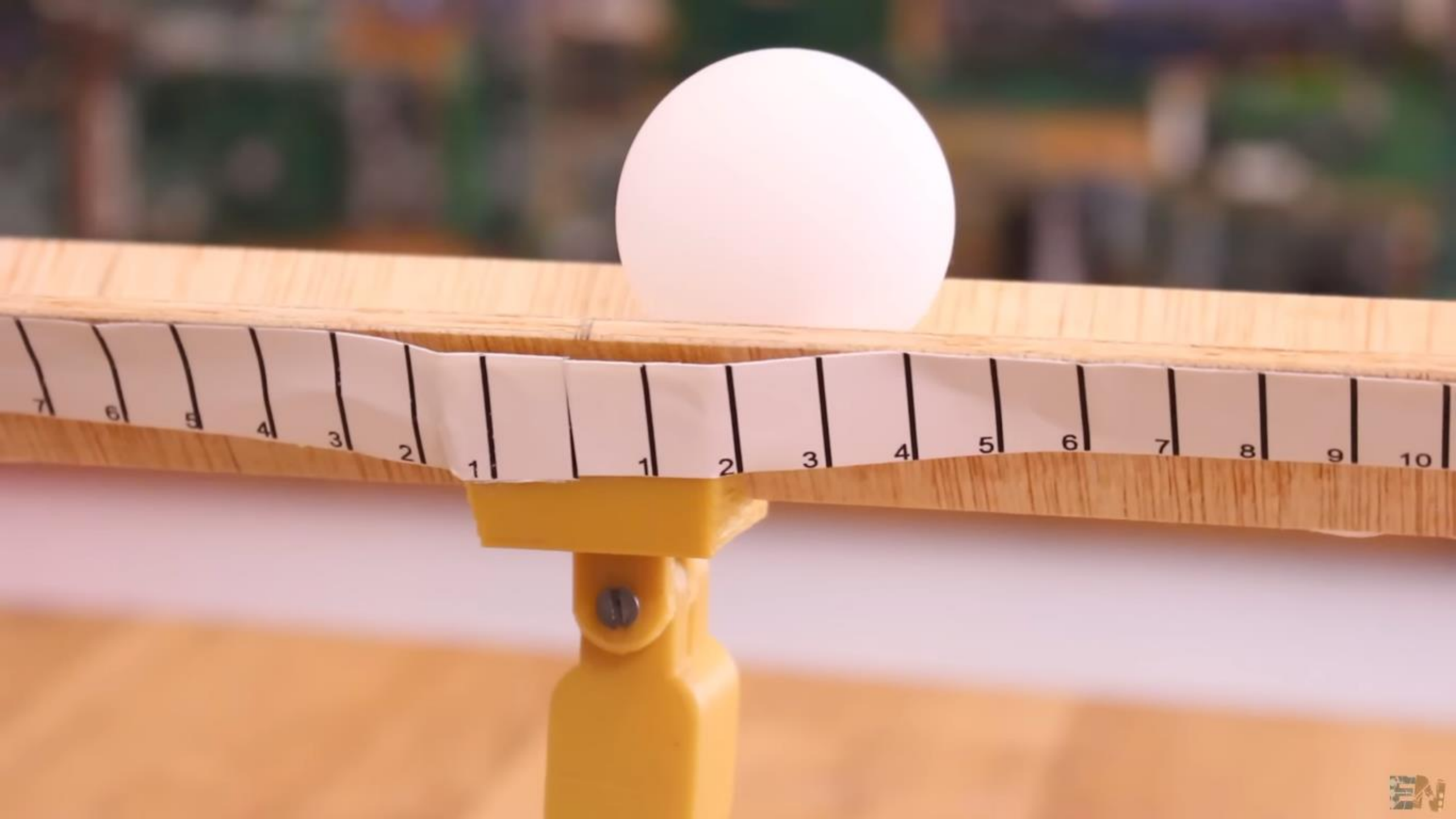
$K_d = 3500$

Se estabiliza lejos del *setpoint*.

$$\text{PID}_{\text{pd}} = K_p \times \text{error} + K_d \times (\text{error} - \text{previous_error}) / \text{time}$$



Se estabiliza con un *offset*.

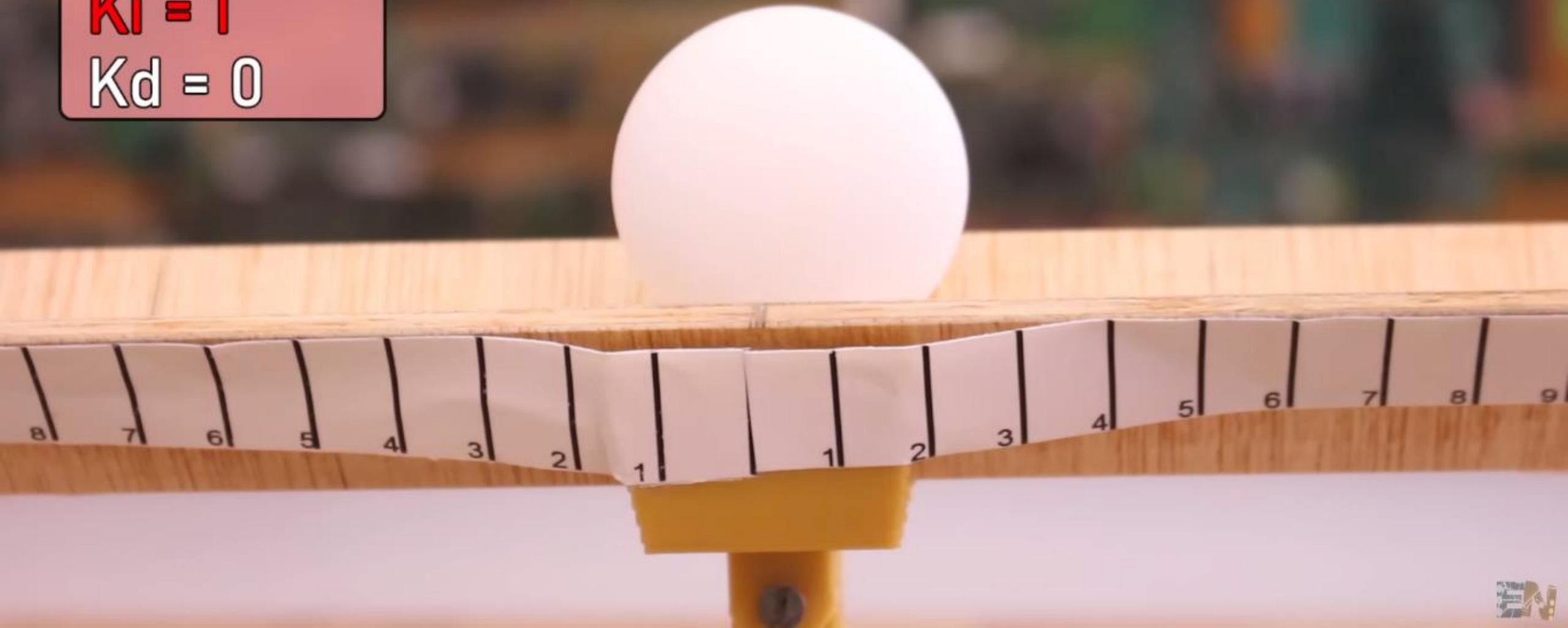


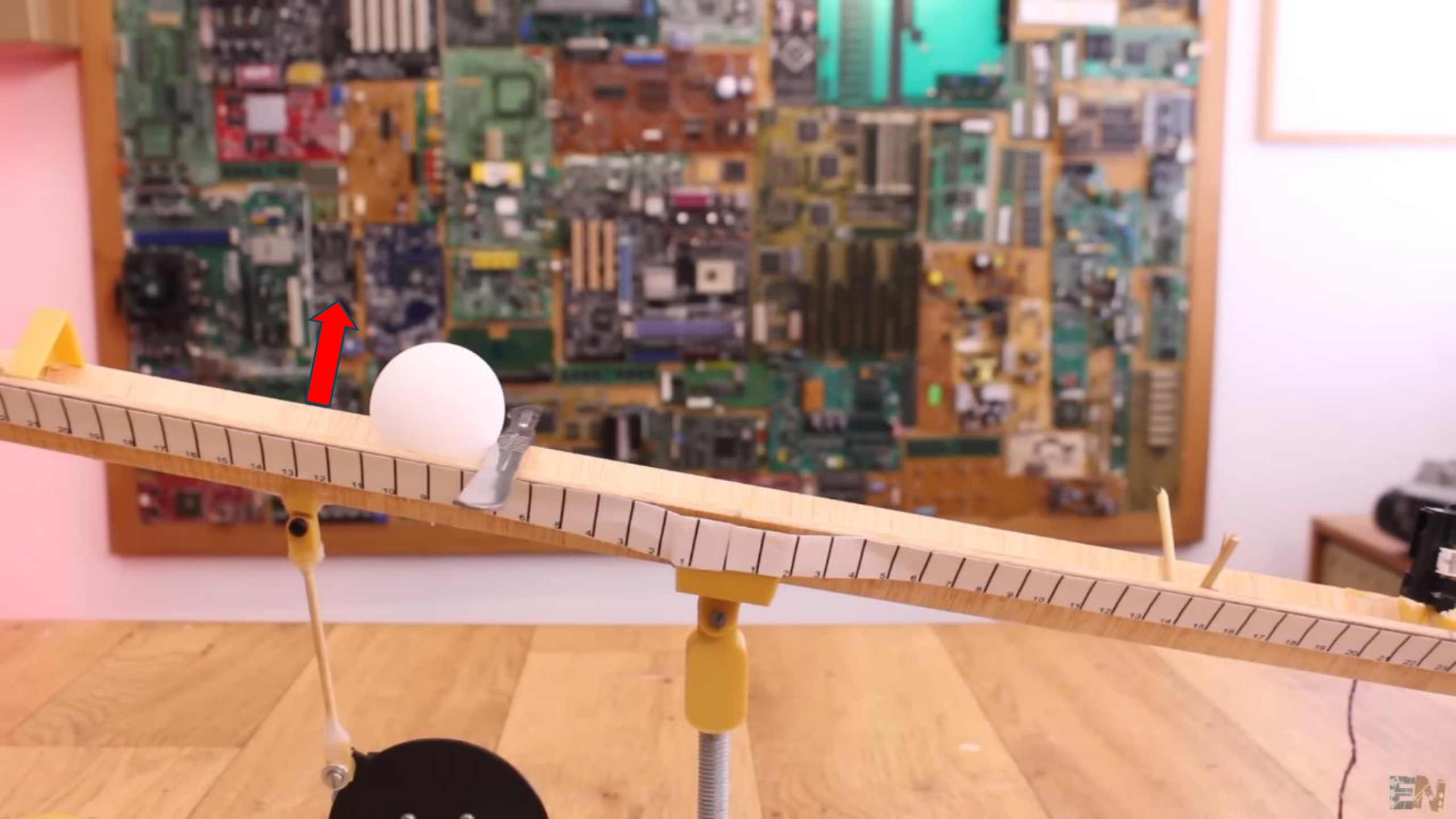
$$\text{PID}_i = \text{PID}_i + K_i * \text{error}$$

$K_p = 0$

$K_i = 1$

$K_d = 0$

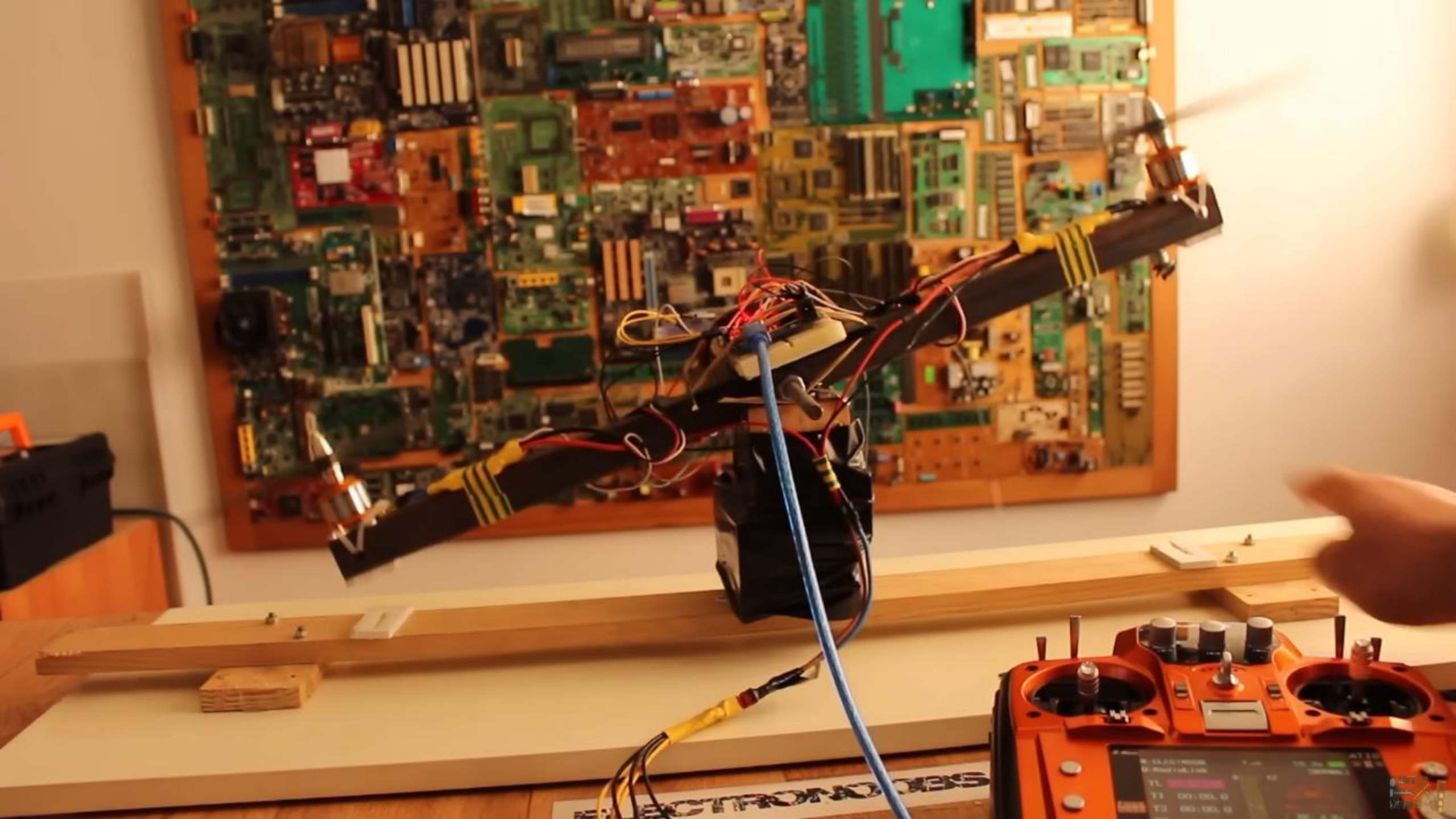




$$\text{PID}_i = \text{PID}_i + K_i * \text{error}$$

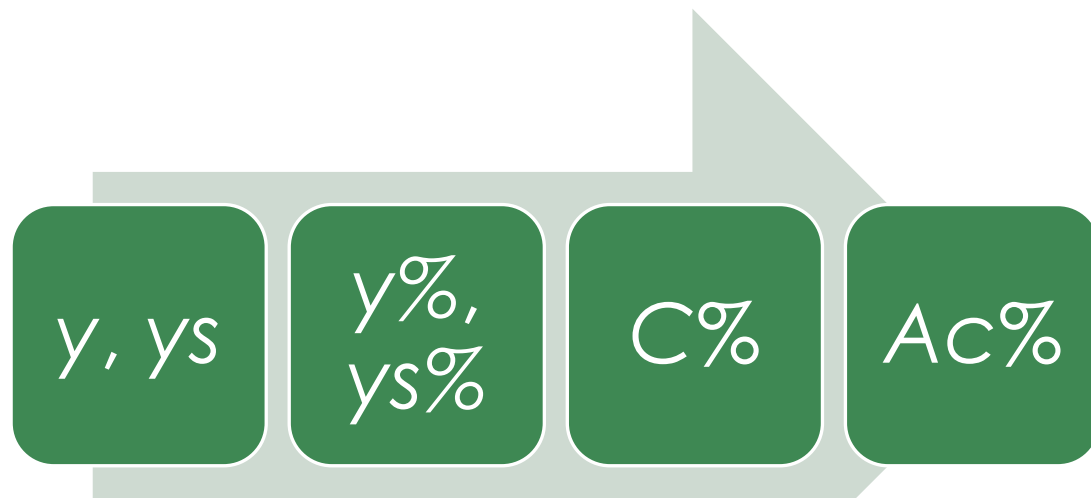


Se estabiliza sin un *offset*.



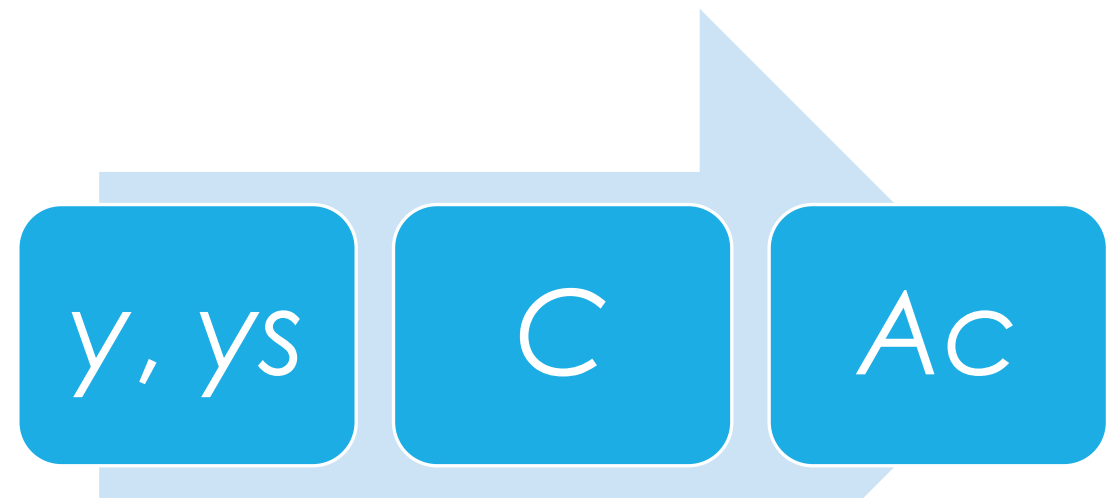
Modelos de controladores

Modelo riguroso



$y\%, y_s\%, Ac\% \in [0, 100]$

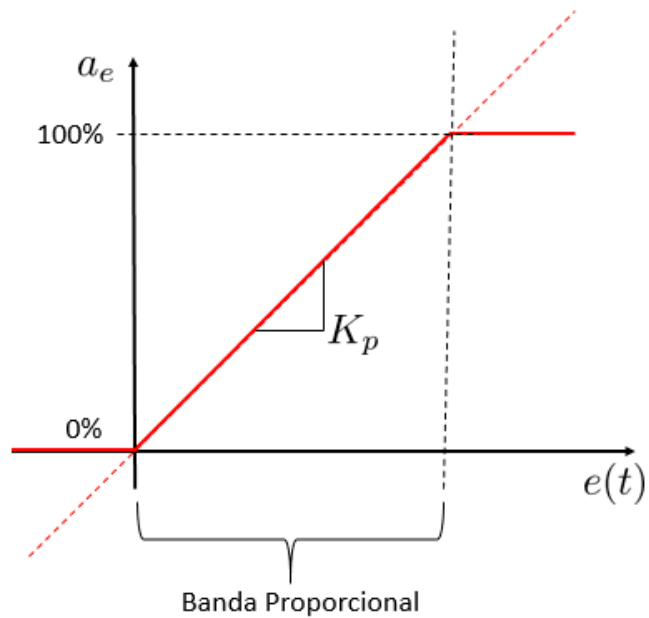
Modelo simplificado



Sin acotamiento

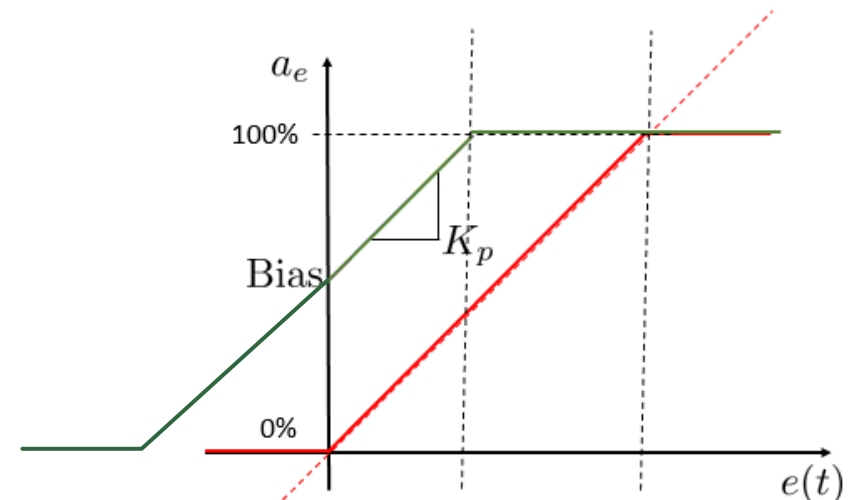
Banda proporcional

Sin *bias*



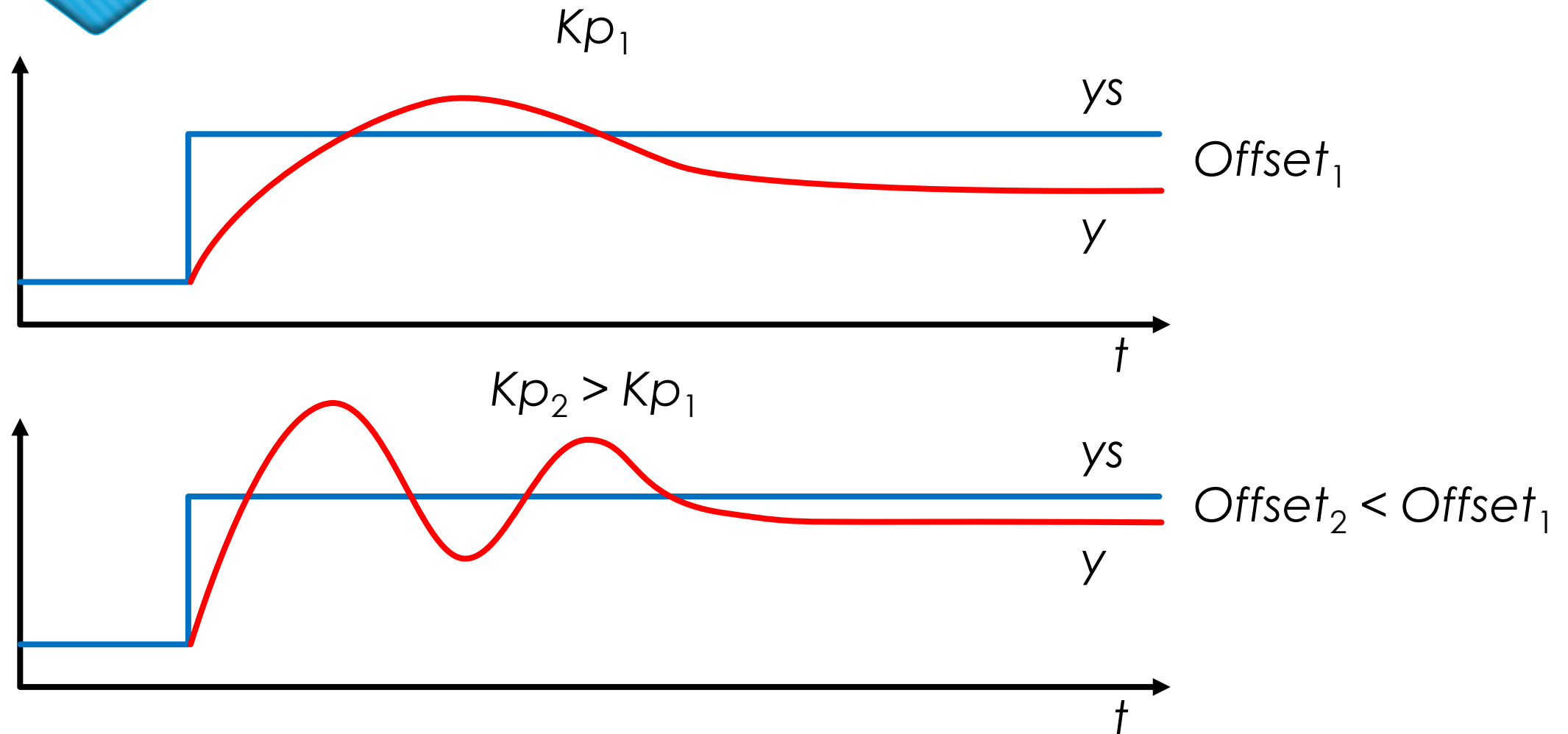
$$A_c = K_p e$$

Con *bias*



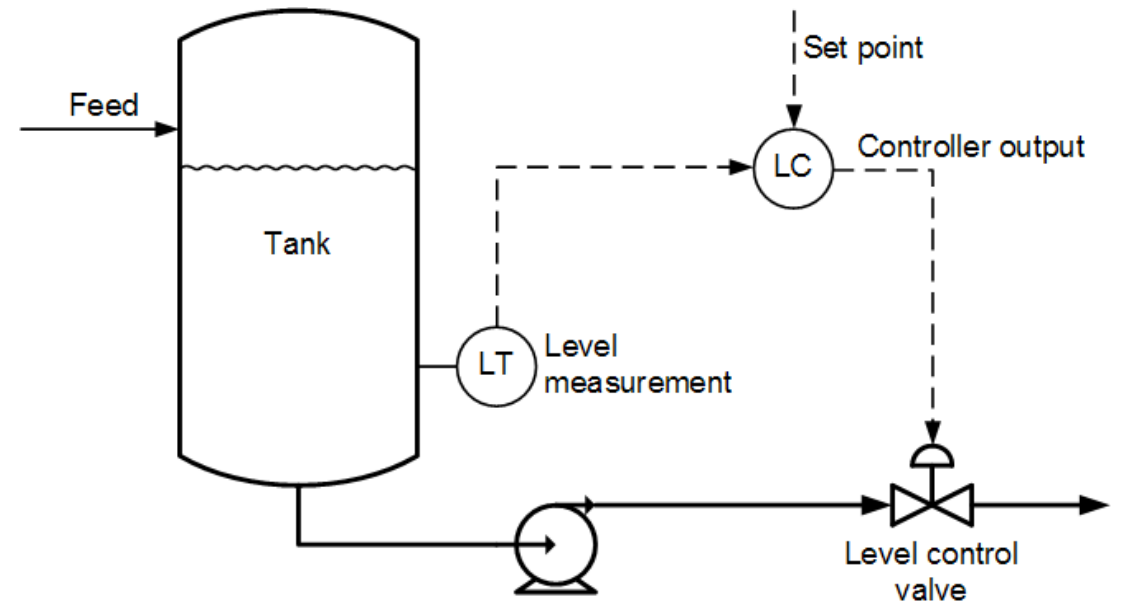
$$A_c = A_b + K_p e$$

El *offset* de la acción proporcional



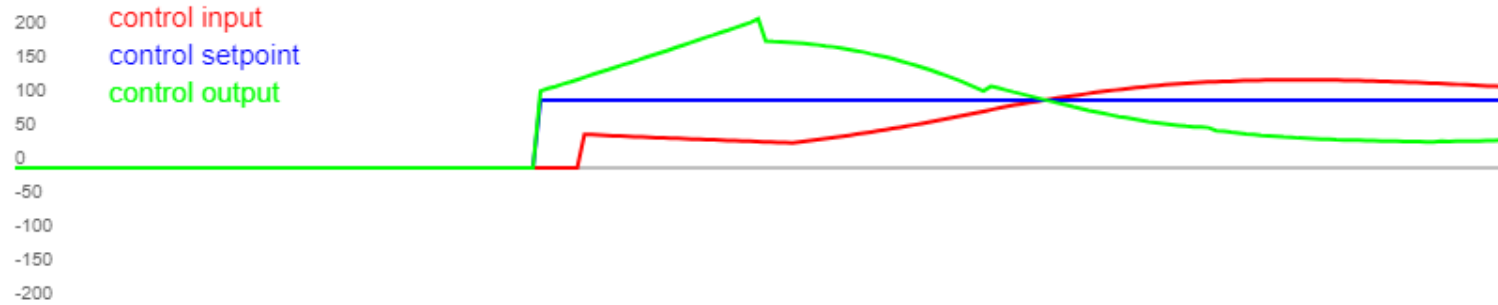
Reset manual

1. Colocar el controlador en manual.
2. Elegir un punto de operación y_s .
3. Variar A_c manualmente para lograr que $y = y_s$.
4. Hacer $A_b \leftarrow A_c$.



El punto de operación elegido será el único libre de *offset*.

This PID control simulator allows you to try out a PID controller interactively by adjusting the tuning parameters in realtime. Also, you can adjust the process model by Javascript code below. This simulator was developed by porting the [Arduino PID library](#) and the [Arduino-PID-AutoTune-Library](#) to Javascript.



time:1715521344285 tune step tune noise tune start tune loopback (sec)

Process example: model Sample time (ms): 100

Setpoint: 100

Noise: 0

Kp (proportional gain): 2

Ki (integral gain): 0.5

Kd (derivative gain): 2

Process function (model): control input = function(time, input, noise, output, user):

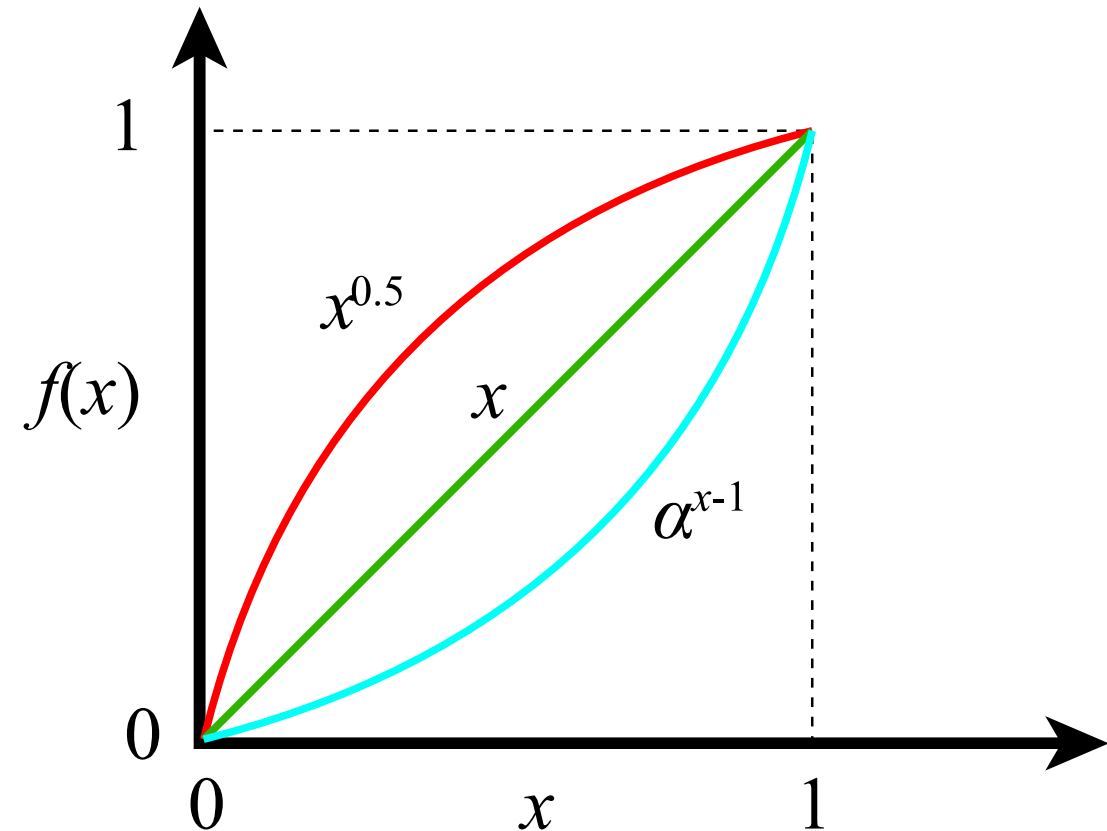
```
if (typeof user.kpmodel === 'undefined'){
  user.kpmodel=1.5, user.taup=100, user.theta = []; user.outputStart = 5;
  for(var i=0;i<50;i++){ user.theta[i]=user.outputStart }
}
user.theta[30]=output;
for(var i=0;i<49;i++){ user.theta[i] = user.theta[i+1] };
return (user.kpmodel / user.taup) *(user.theta[0]-user.outputStart) + input*(1-1/user.taup) +
(Math.random()-0.5)*0.02
```

Simulador de un control PID

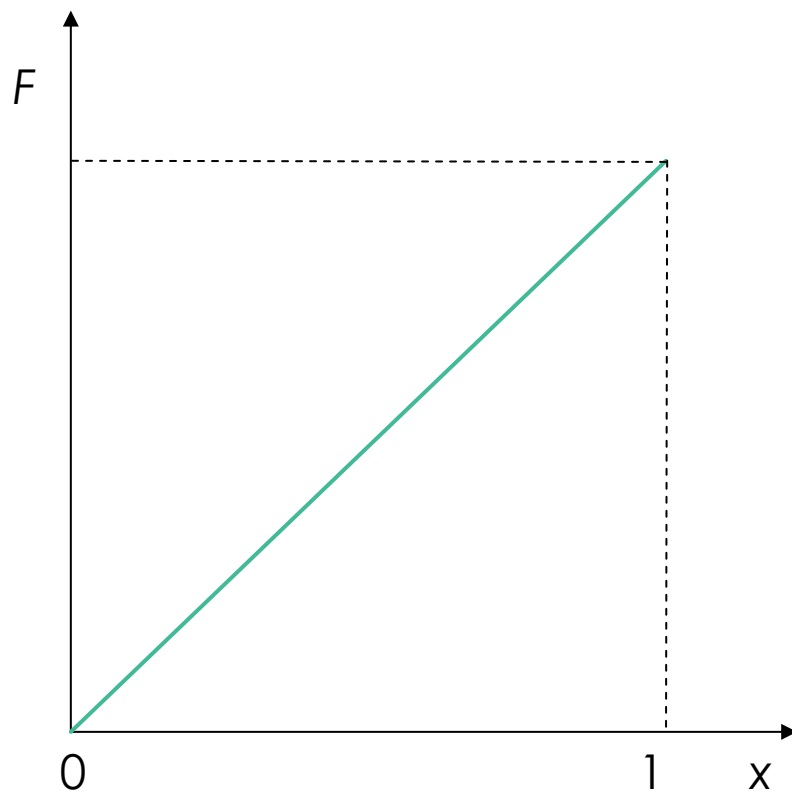
Válvulas de control

- Válvula: $F = C_v f(x) \sqrt{\frac{\Delta P_v}{\rho / \rho_w}}$
- Curva característica:
 - Lineal: $f(x) = x$
 - De apertura rápida: $f(x) = \sqrt{x}$
 - De igual porcentaje: $f(x) = \alpha^{x-1}$

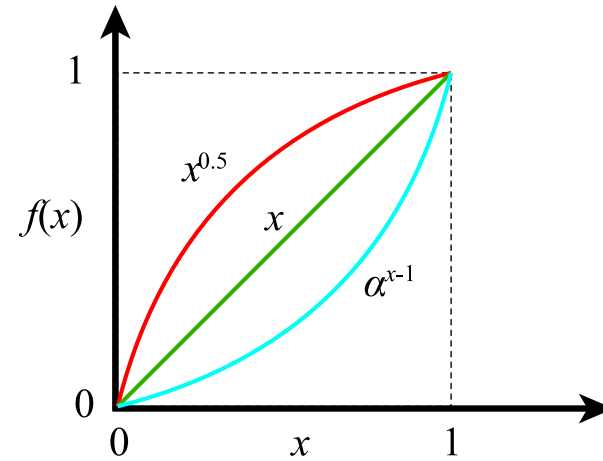
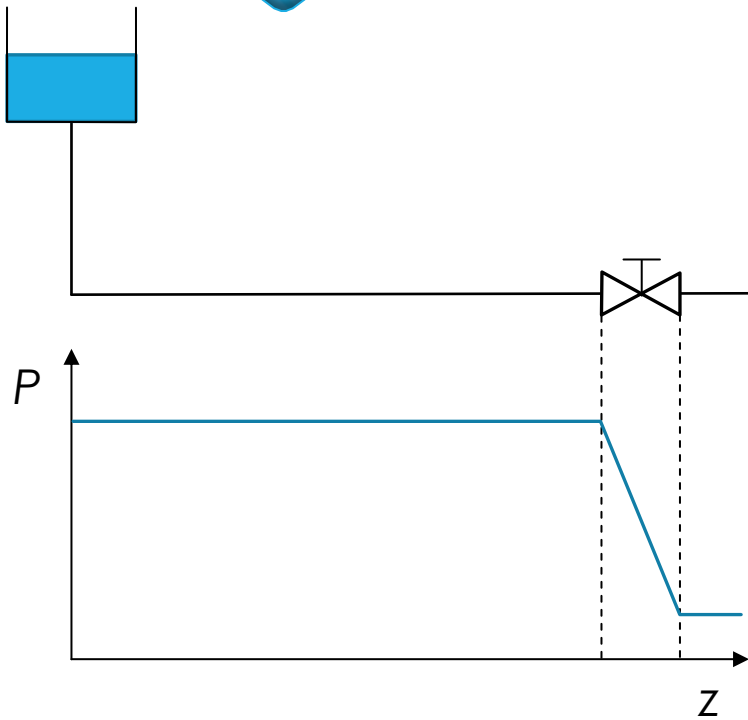
$x(+) \rightarrow F(+)$



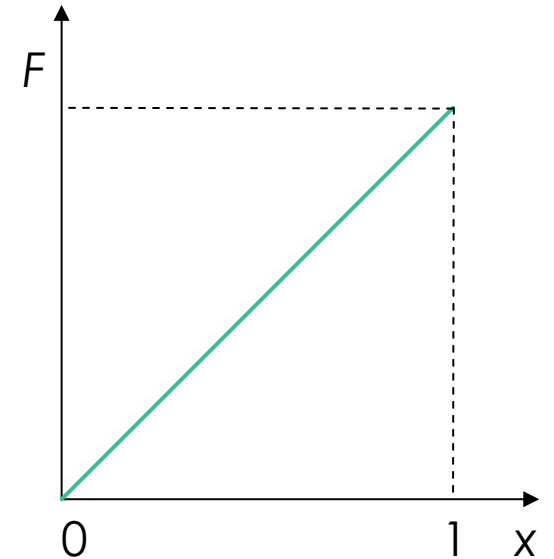
Curva real deseada



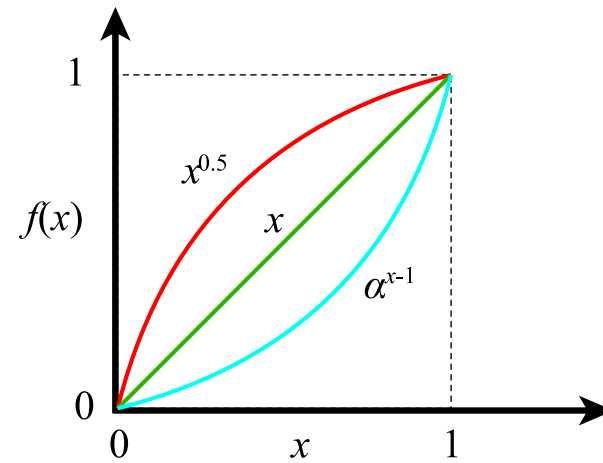
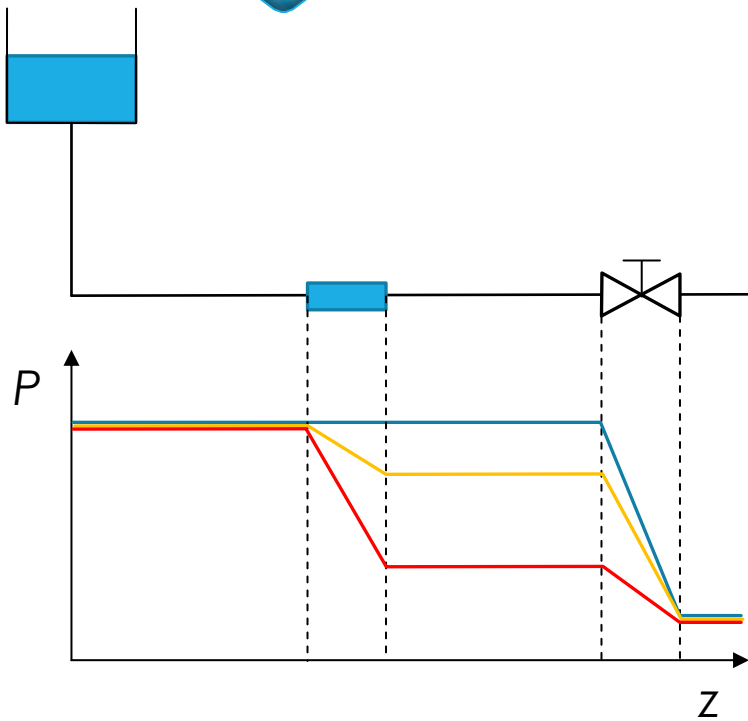
Caída de presión constante



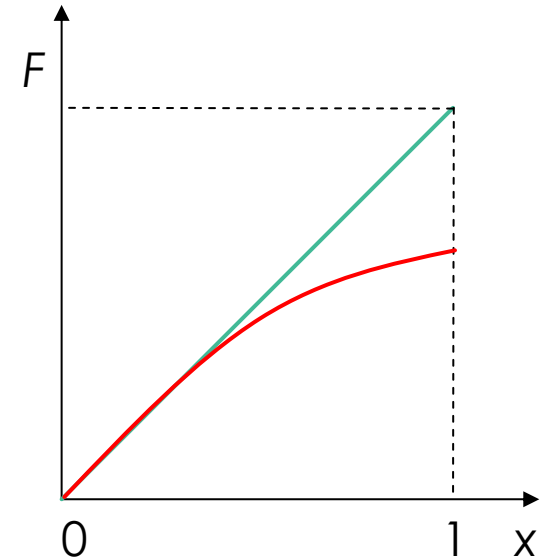
$$F = C_v x \sqrt{\frac{\Delta P_v}{\rho / \rho_w}}$$



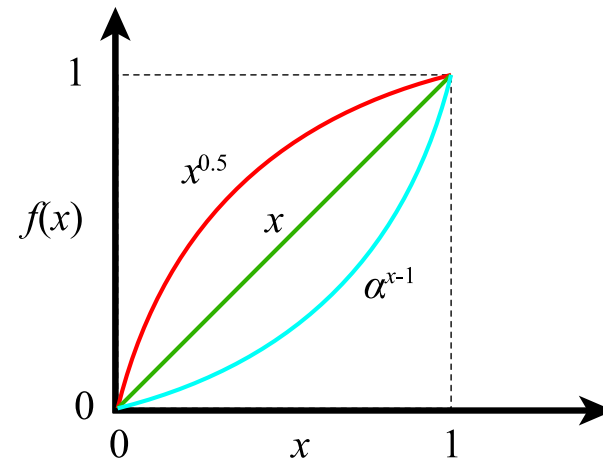
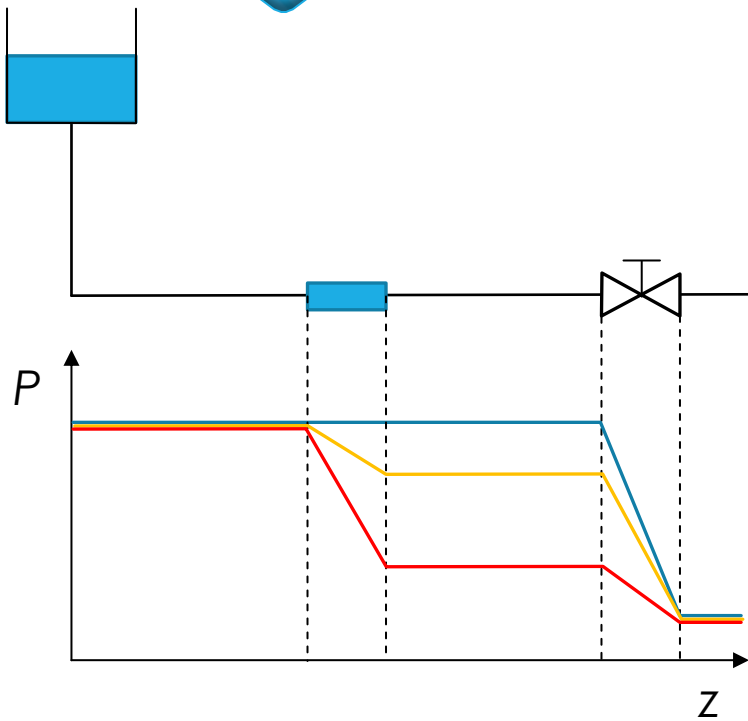
Caída de presión variable



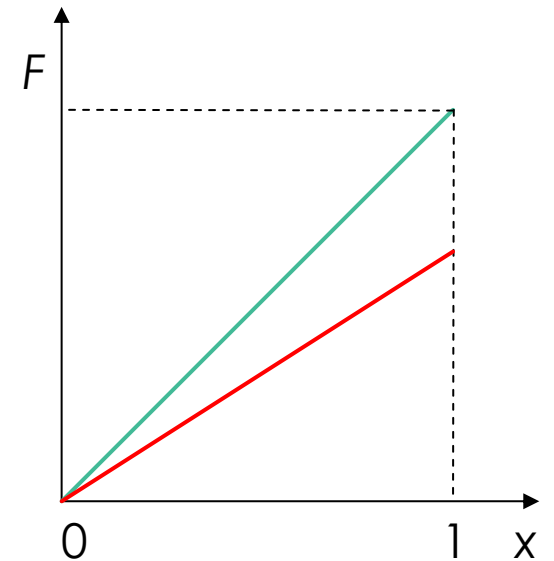
$$F = C_v x \sqrt{\frac{\Delta P_v}{\rho / \rho_w}}$$



Caída de presión variable



$$F = C_v \alpha^{x-1} \sqrt{\frac{\Delta P_v}{\rho / \rho_w}}$$



Modos de fallas de válvulas de control

- Modo de falla de una válvula:

- Falla cerrada, NC, abre con señal:

- Falla abierta, NA, cierra con señal:

$$Ac(+) \rightarrow x(+)$$

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

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

Selección de acción en modo servo

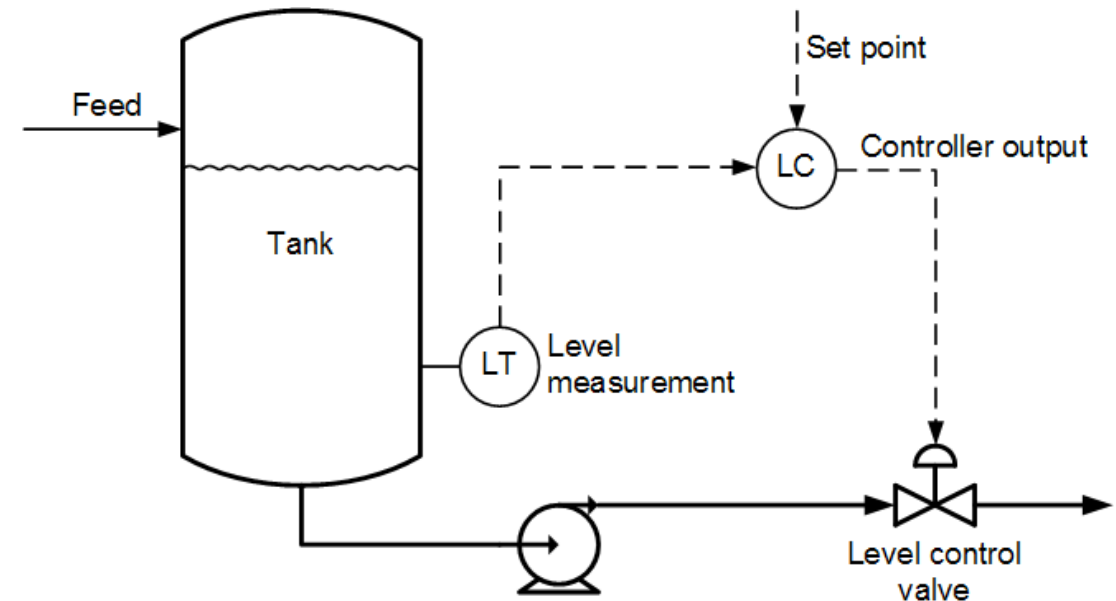
1. Proponer acción inversa y tipo de válvula.
2. Suponer un aumento del *setpoint* $y_s(+)$.
3. Propagar cualitativamente ese aumento a través de e , A_c , x e y .
4. Si $y(+)$, aceptar la acción.

Selección de acción en modo regulador

1. Proponer tipo de acción inversa y tipo de válvula.
2. Suponer un aumento $y(+)$.
3. Propagar cualitativamente ese aumento a través de e , Ac , x e y .
4. Si $y(-)$, aceptar la acción.

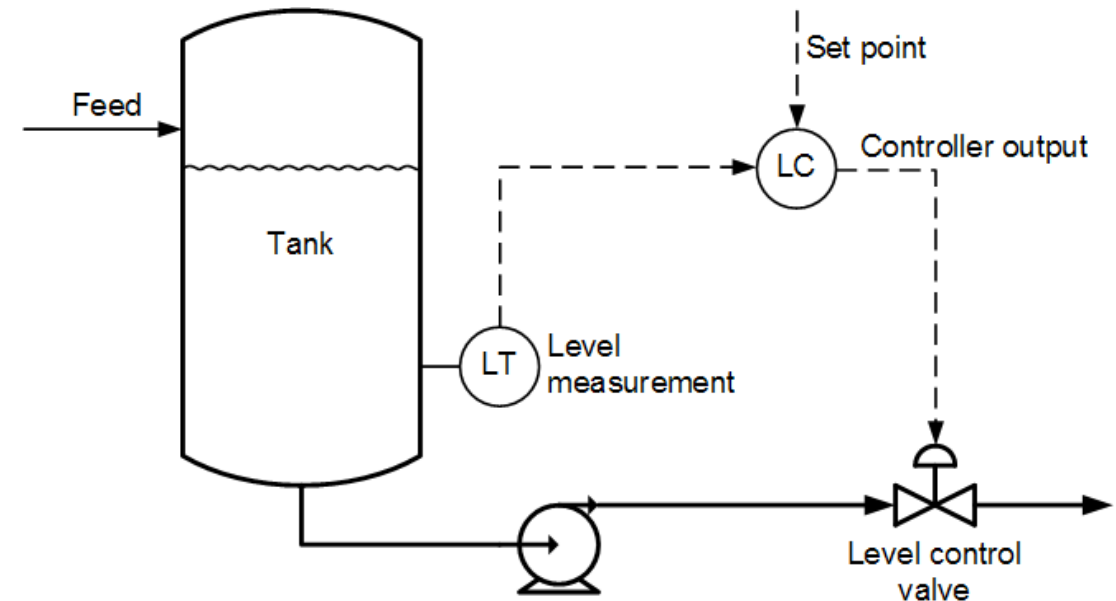
Selección de acción en modo servo

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



Selección de acción en modo regulador

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

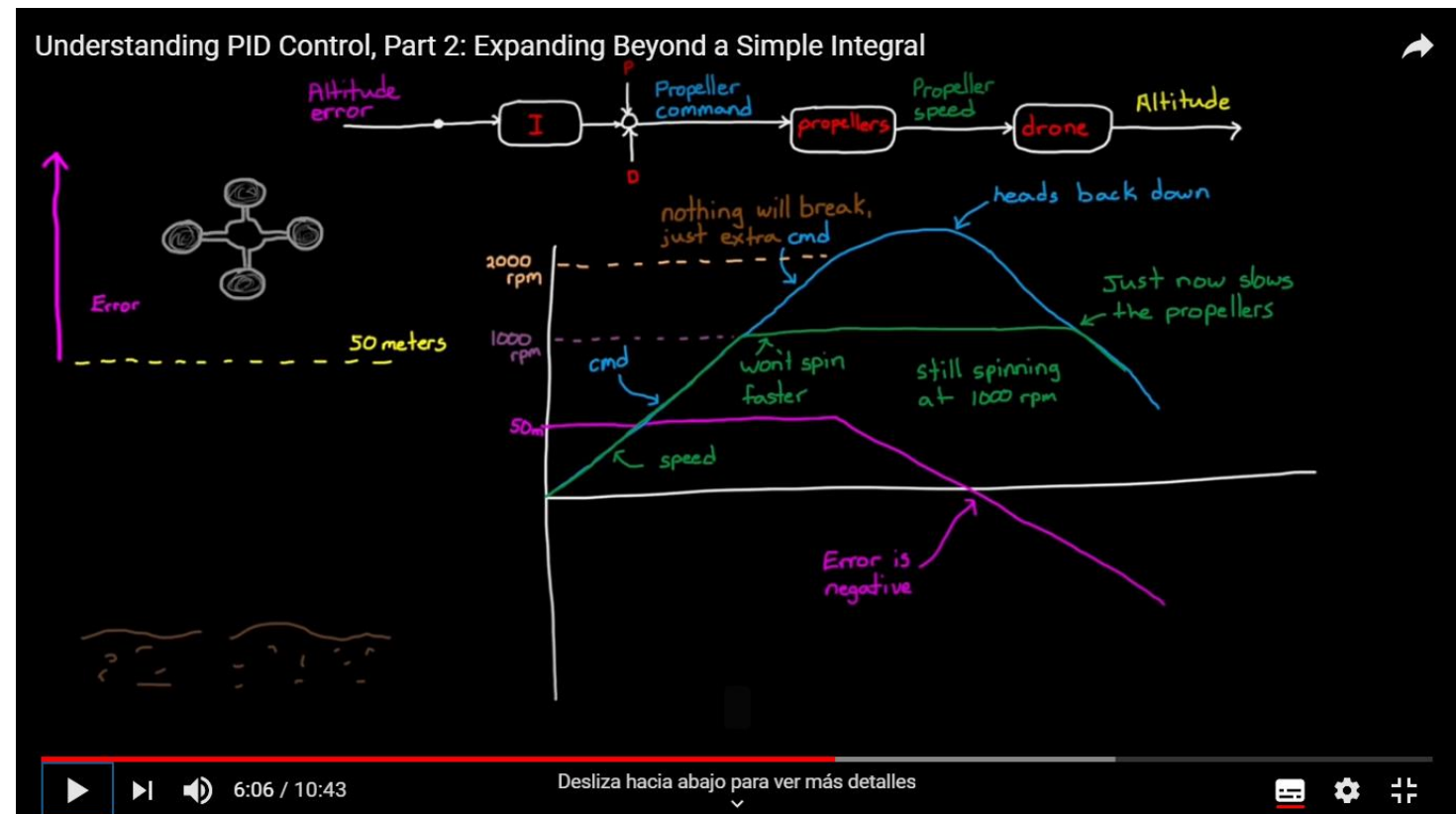


Prompt para determinar el tipo de acción

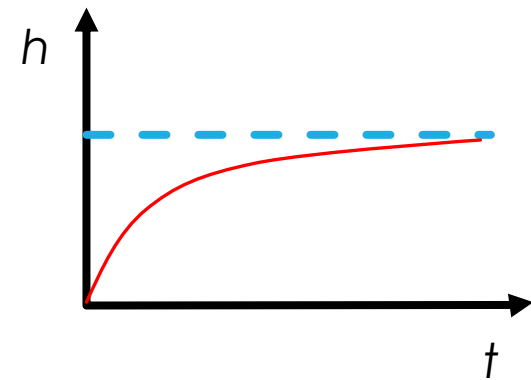
Actúa como ingeniero químico. Si se tiene que instalar un controlador para controlar el nivel de un tanque manipulando la apertura de la válvula instalada en la descarga de ese tanque, y si la válvula de control tiene un modo de falla en cerrada, ¿qué tipo de acción debe tener el controlador?, ¿directa o inversa?

Control PID

- Acción de cada efecto
- Windup



Windup



Windup

