

3.



UNIVERSIDAD SIMÓN BOLÍVAR
DEPARTAMENTO DE PROCESOS Y SISTEMAS
LABORATORIO DE CONTROL
SEP – DIC 2018



Profesor: Alexander Hoyo

Grupo: 3

Fecha: _____

Integrantes: Daniela Rivas 14-10914

Adrián González 14-10433

Pre-Laboratorio Práctica 1

Diseño de controladores PID utilizando reglas empíricas de sintonización

Actividad 1- Diseño de controladores por método de Ziegler-Nichols. Sistema de tanques

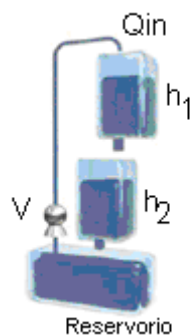


Figura 1. Sistema de tanques en cascada

El sistema representado en la figura 1, consta de dos tanques de sección uniforme y una bomba. Ambos tanques poseen un orificio en el fondo, por lo que el líquido circula del tanque superior al inferior con un caudal Q_{out1} , y de éste al reservorio con Q_{out2} . El caudal de entrada al sistema (Q_{in}), se regula variando el voltaje de entrada de la bomba (V). En este sistema se presentan perturbaciones originadas por el caudal de purga (Q_p) que se presenta eventualmente en el primer tanque.

El objetivo de control es mantener el nivel del segundo tanque lo más cercano posible al valor de referencia h_2 . Cualquier perturbación que afecte al sistema se refleja en el nivel de ambos tanques (h_1 y h_2), por esto, interesa monitorear estas variables. Se dispone de dos modelos matemáticos del sistema que deben ser validados, para determinar cuál ofrece una mejor representación de la respuesta temporal del sistema. Las unidades son cm, g, seg.

Es importante que recuerde que la señal de control no debe exceder los 10v.

a) Abra el simulador tanksSIM.mdl en SIMULINK. Modifique la entrada escalón de voltaje como muestra la Tabla 1 y observe las respuestas de h_1 y h_2 .

Tabla 1. Parámetros de entrada

Grupo	V inicial	V final	Step time
1	4.80	5.80	120
2	5.00	6.00	
3	5.20	6.20	
4	5.50	6.50	
5	5.80	6.80	
6	6.00	7.00	
7	6.30	7.30	
8	6.50	7.50	

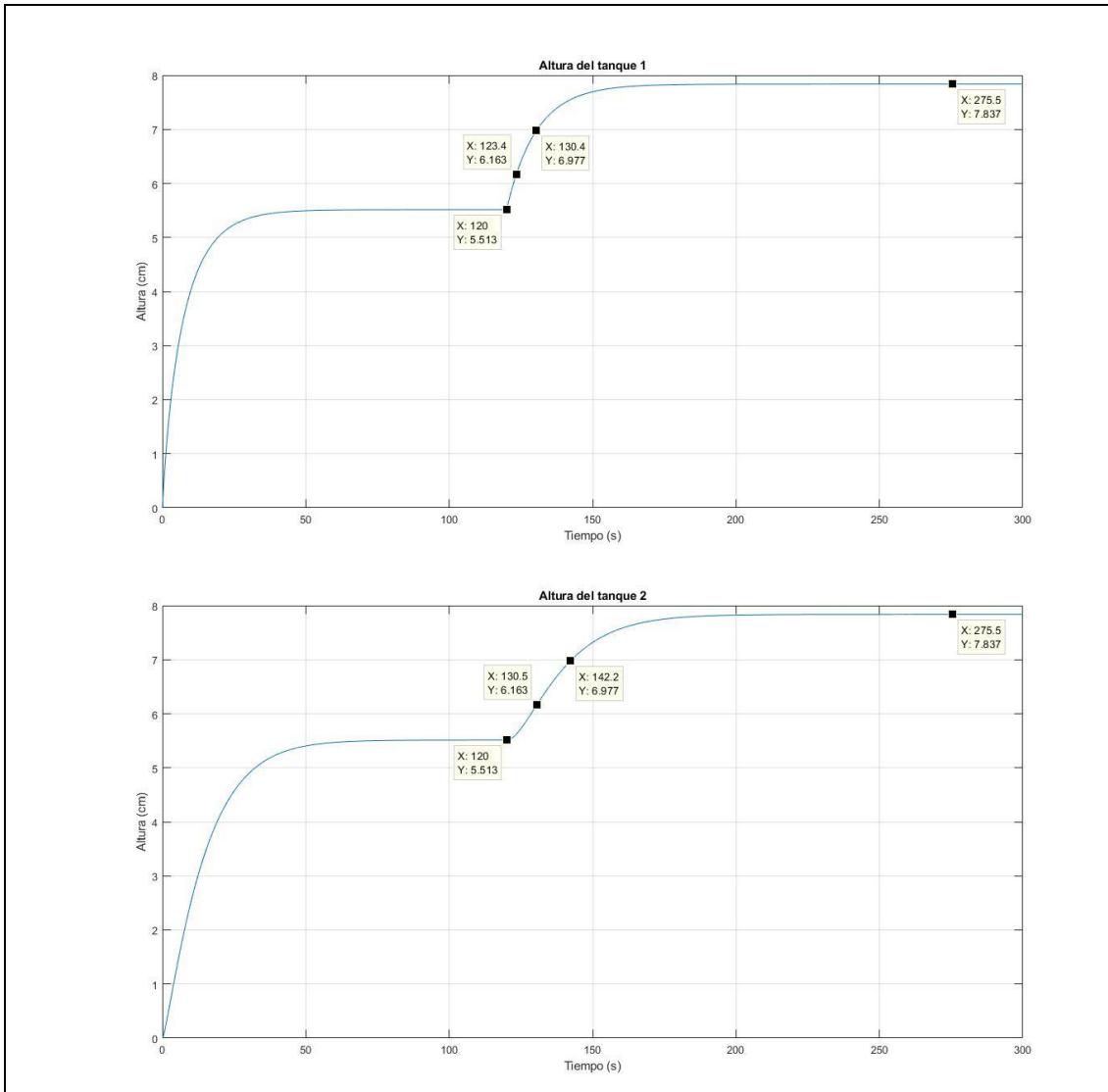


Figura 2. Respuesta del sistema de tanques

b) Utilizando el método adecuado, diseñe controladores P, PI y PID y llene la tabla 2. Recuerde tomar los parámetros de diseño directamente de la respuesta del simulador de la planta. Describa el procedimiento.

Empleando el método de Cohen-Coon, tomando los valores de $t_{0,63}$ y $t_{0,28}$ de la gráfica de la altura H_2 del segundo tanque:

Tabla 1: Valores

Parámetros	Fórmula	H2
τ	$1,5 \times (t_{0,63} - t_{0,28})$	17,55
θ	$1,5 \times (t_{0,28} - 1/3 \times t_{0,63})$	4,65

Con estos valores, se sustituyen en las ecuaciones pertenecientes a la siguiente tabla para obtener los valores deseados de los tres distintos tipos de controladores a implementar:

Tabla 2: Método Cohen-Coon			
Controlador	K_p	τ_i	τ_d
P	$\frac{\tau}{K\theta} \left(1 + \frac{\theta}{3\tau}\right)$	∞	0
PI	$\frac{\tau}{K\theta} \left(0.9 + \frac{\theta}{12\tau}\right)$	$\theta \left(\frac{30 + 3\theta/\tau}{9 + 20\theta/\tau}\right)$	0
PID	$\frac{\tau}{K\theta} \left(\frac{4}{3} + \frac{\theta}{4\tau}\right)$	$\theta \left(\frac{32 + 6\theta/\tau}{13 + 8\theta/\tau}\right)$	$\theta \left(\frac{4}{11 + 2\theta/\tau}\right)$

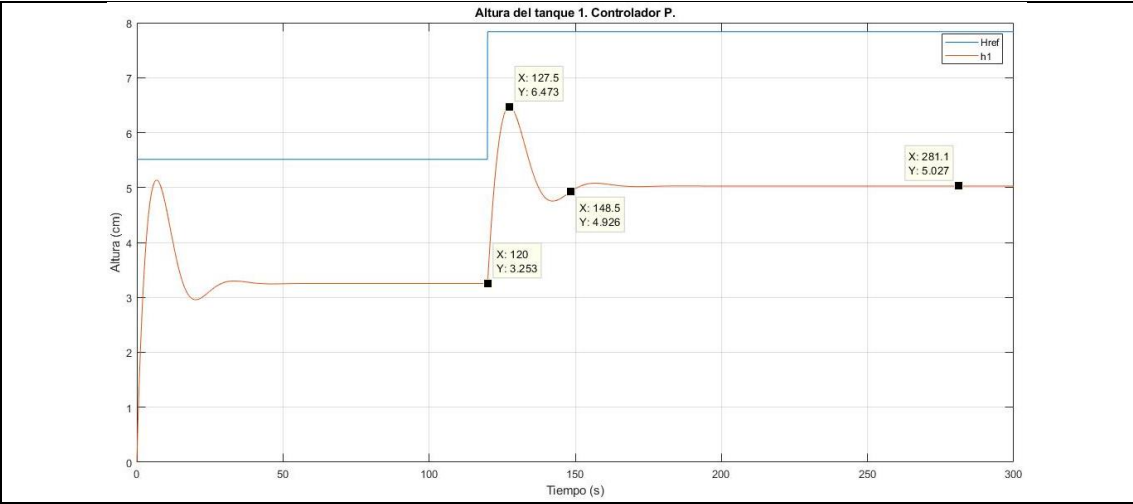
Tabla 2. Parámetros de los controladores

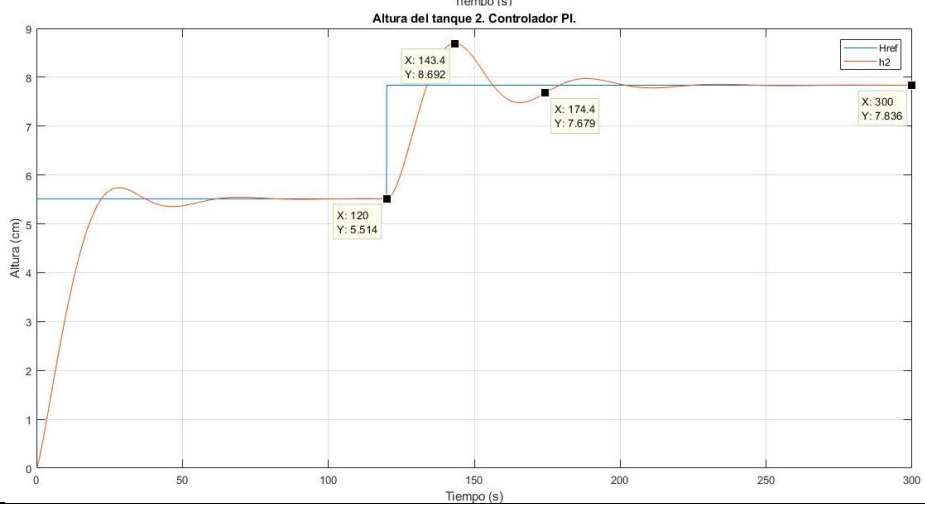
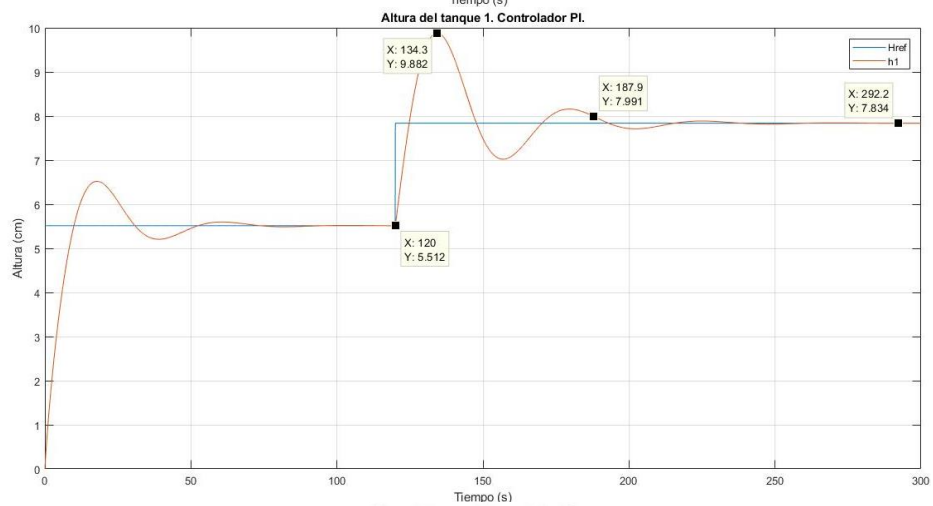
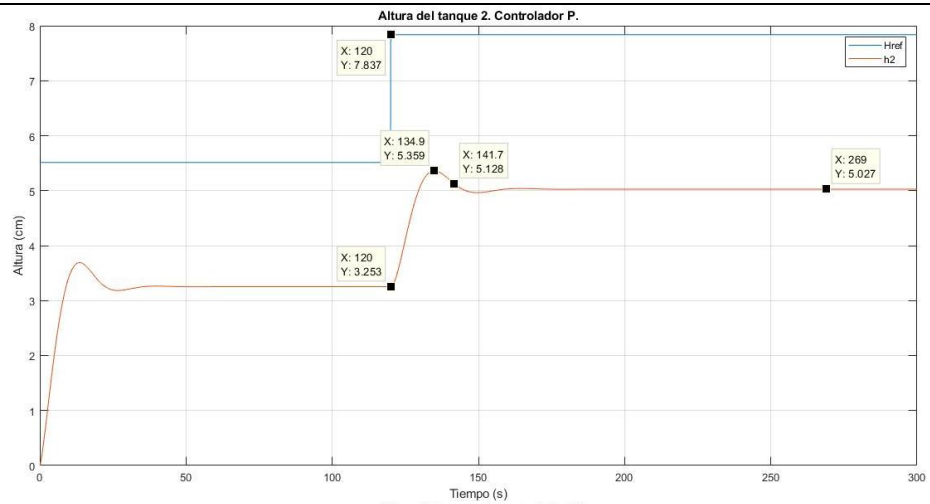
Controlador	P	PI	PID
K_p	1,767	1,497	2,273
T_i	-	10,014	10,331
T_d	-	-	1,613

c) Abra el simulador tanksPID.mdl en SIMULINK para implementar sus controladores. Recuerde que los términos a introducir en el controlador son: K_p , K_i y K_d , así como son observados en la ecuación:

$$G_c = K_p + \frac{K_p}{T_i} S + K_p T_d S$$

A continuación, obtenga la respuesta temporal del sistema para cada controlador y haga uso de los valores de referencia adecuados en [cm].





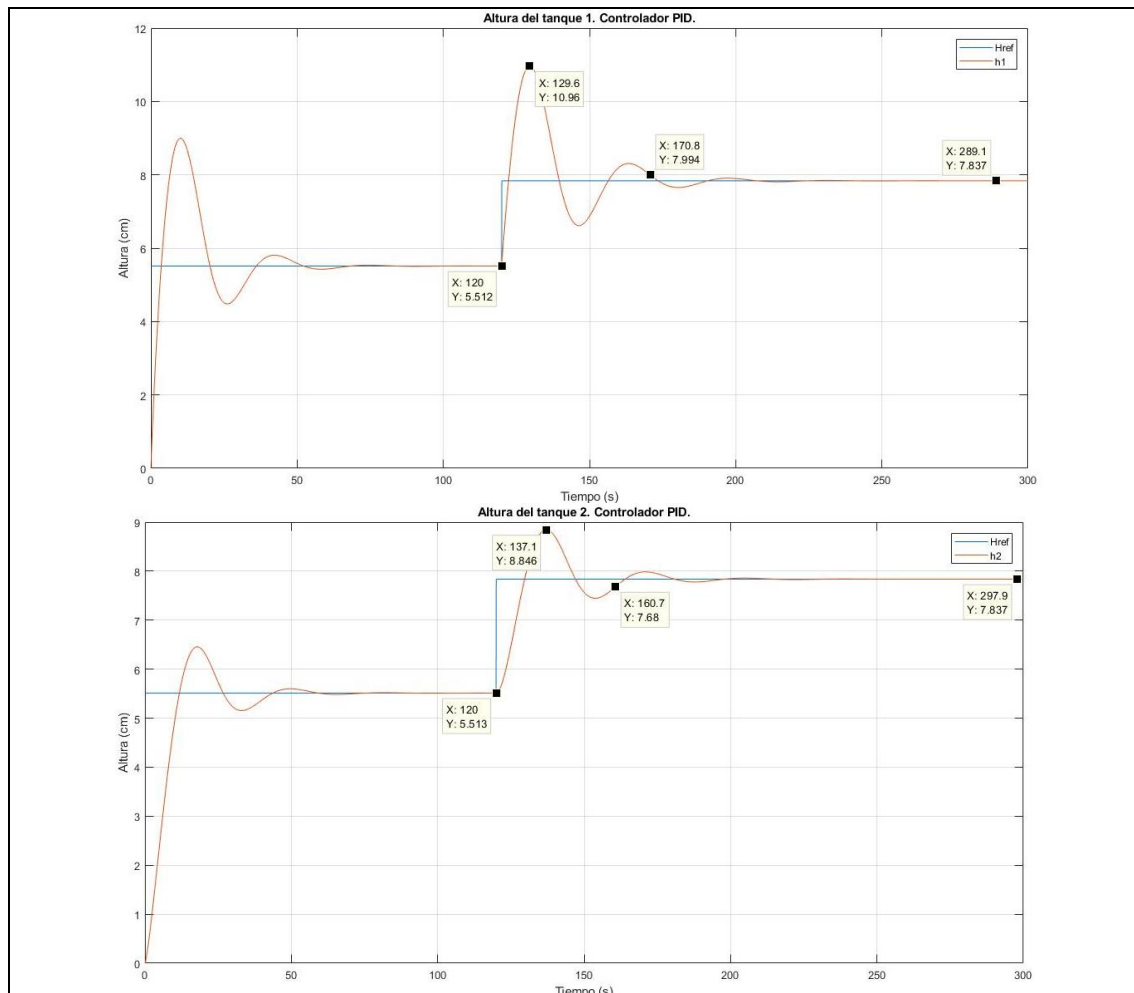


Figura 3. Respuesta del sistema controlado para cada controlador

d) Obtenga para cada caso los siguientes parámetros: M_p , $t_{ss}(2\%)$ y e_{ss}

Tabla 3. Características del sistema controlado

Característica	M_p (cm)	$t_{ss}(2\%)$ (s)	e_{ss}
P	5.359	141.7	2.81
PI	8.692	174.4	0.001
PID	8.846	160.7	0

e) Compare la respuesta obtenida de los controladores P-PI-PID:

Al comparar las gráficas resultantes de la aplicación de los controladores, se puede concluir que el controlador más apropiado para el sistema de tanques es el PID. Teóricamente hablando, si se desean controlar tanto la parte estacionaria como la transitoria de un sistema, este es la mejor alternativa de los que se pueden obtener a través de este método.

En el caso del controlador proporcional, a pesar de que tenga el menor tiempo de establecimiento, el error en estado estacionario es considerablemente alto, tomando en cuenta la escala de valores con las que se trabaja en el sistema.

Por otra parte, en el caso del controlador PI, este cumple con su principal objetivo de reducir el error en estado estacionario en gran medida, e incluso tiene un efecto de reducción sobre el máximo pico (siendo este menor incluso que el del controlador PID). No obstante, estos beneficios tienen como peso sobre el sistema que este se ralentiza, como se evidencia en el valor del tiempo de establecimiento.

Finalmente, en el caso del controlador PID, este no ralentiza considerablemente el sistema, reduce el máximo pico, y hace el error en estado estacionario igual a cero.

Actividad 2- Diseño de controladores por método de Ziegler-Nichols. Motores DC

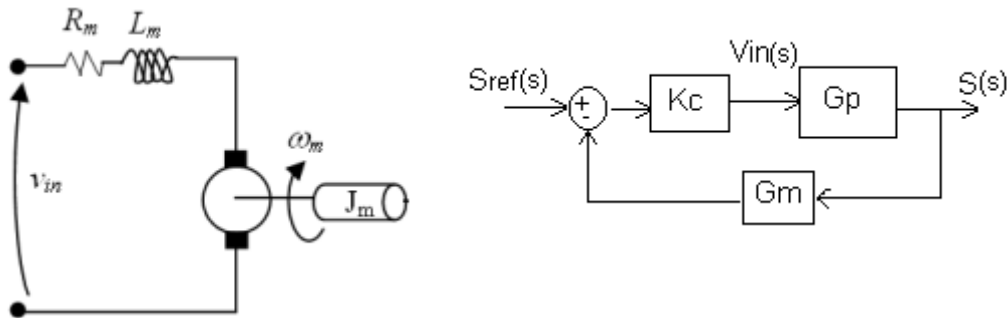


Figura 4. Esquema electro-mecánico del motor DC.

Se desea controlar la velocidad de giro $\omega(s)$ [rpm], de un motor DC, manipulando el voltaje de alimentación $V_{in}(s)$. Para ello se implementará un sistema de control como el que se muestra en la figura 4, donde $G_m(s) = 1$, la variable controlada $S(s)$ es la velocidad angular del motor y la referencia $S_{ref}(s)$ es la velocidad deseada en rpm (valores a lazo cerrado). La función de transferencia $G_p(s)$ representa la función de transferencia de la planta.

Tabla 4. Parámetros de entrada del motor

Grupo	V inicial	V final	Step time
1	4.7	5.2	30
2	4.9	5.4	
3	5.1	5.6	
4	5.3	5.8	
5	5.5	6	
6	5.7	6.2	
7	5.9	6.4	
8	6.1	6.6	

a) Abra el simulador motor.mdl e introduzca el voltaje establecido en la tabla 4. A continuación coloque la respuesta temporal del sistema al escalón.

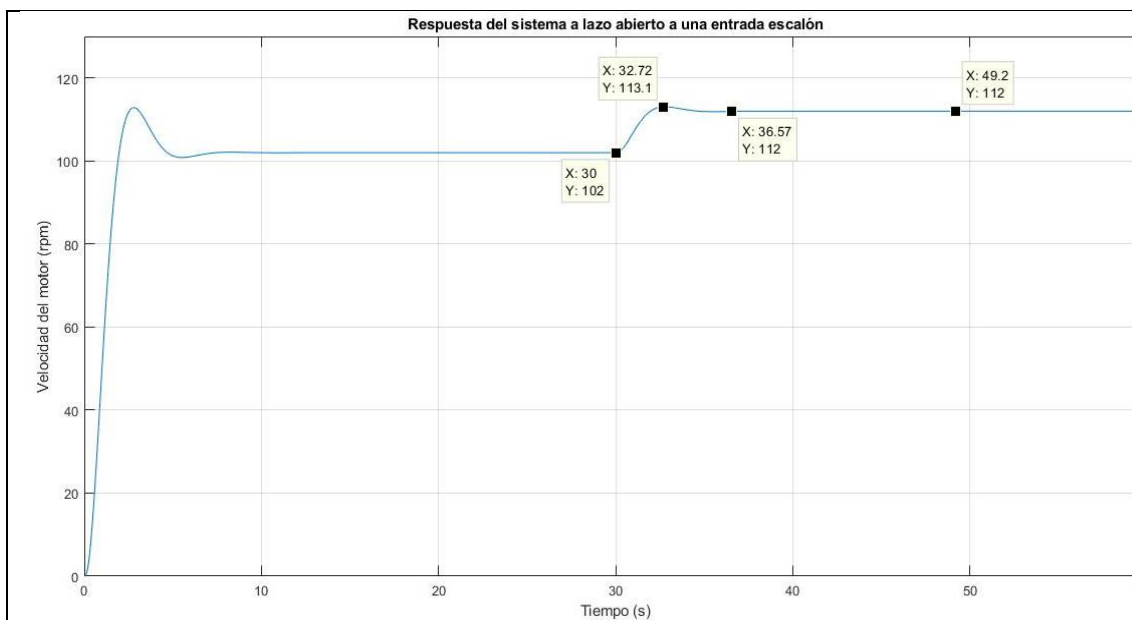


Figura 5. Respuesta del sistema ante el escalón

b) Una vez tomadas las referencias en rpm, proceda a abrir motorPID.mdl, cambie los valores de Wref a los seleccionados y proceda a variar el valor del término proporcional del controlador hasta logra oscilaciones constantes. Determine los parámetros siguientes:

Tabla 5. Parámetros del sistema.

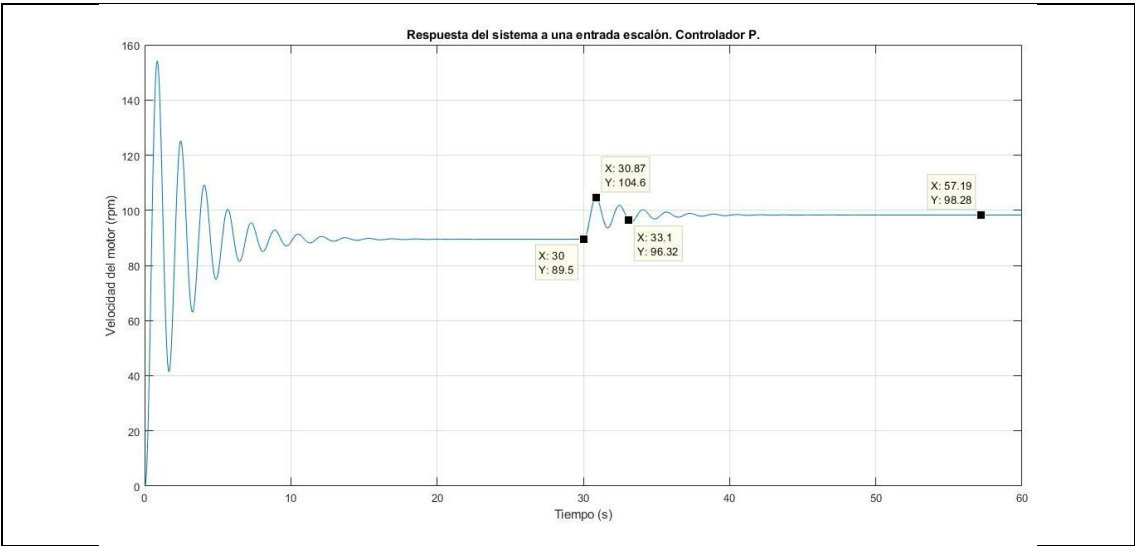
Parámetro	Valor
K_{cr}	0.7161
P_{cr}	1.2 s
ω_{cr}	5.263 rad/s

c) Ahora proceda a diseñar sus controladores como estipula el método. Llene la tabla a continuación.

Tabla 6. Parámetros del controlador

Controlador	P	PI	PID
K_p	0.3581	0.3222	0.4297
T_i	-	1	0.6
T_d	-	-	0.15

d) Implemente sus controladores, recuerde que los parámetros deben ser introducidos de la misma manera como se hizo en la actividad anterior. Obtenga la respuesta temporal para cada controlador.



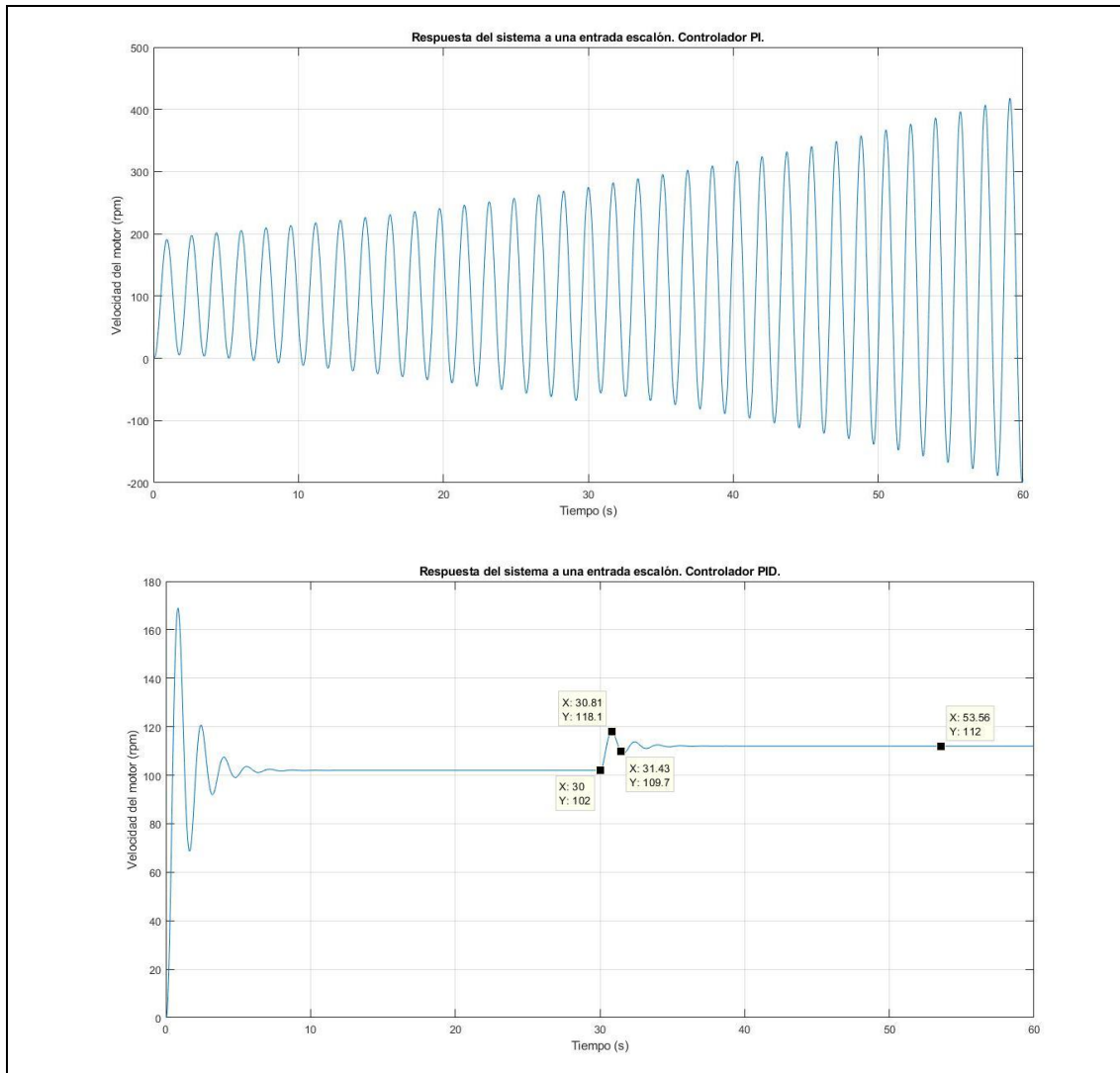


Figura 6. Respuesta del sistema controlado para cada controlador

e) Obtenga para cada caso los siguientes parámetros: M_p , $t_{ss}(2\%)$ y e_{ss}

Tabla 7. Características el sistema controlado

Característica	M_p (rpm)	$t_{ss}(2\%)$ (s)	e_{ss} (rpm)
P	104.6	33.1	13.72
PI	El sistema se vuelve inestable		
PID	118.1	31.43	0

f) Compare los resultados obtenidos con los controladores P-PI-PID:

En el caso del controlador P, aunque se obtiene un máximo pico menor que en el caso del controlador PID, el tiempo de establecimiento resulta ser mayor y el error en el estado estacionario es considerablemente alto. El controlador PI vuelve al sistema inestable, por lo cual no es viable su implementación.

Con esto se verifica que el controlador PID es la mejor opción, en general, ya que ofrece mayores ventajas que desventajas.

Anexos

- **Actividad 1- Diseño de controladores por método de Ziegler-Nichols. Sistema de tanques**

```

1      %Preliminares
2      clear;clc
3      fs = 1000;
4
5      %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
6      %          SIMULACION ARCHIVO tanksSIMa.mdl          %
7      %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
8
9      sim('tanksSIMa');
10
11     figure(1)
12     plot(t,h1);
13     title('Altura del tanque 1');
14     xlabel('Tiempo (s)');
15     ylabel('Altura (cm)');
16     grid on
17
18     figure(2)
19     plot(t,h2);
20     title('Altura del tanque 2');
21     xlabel('Tiempo (s)');
22     ylabel('Altura (cm)');
23     grid on
24
25     %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
26     %          SIMULACION ARCHIVO tanksPIDa.mdl          %
27     %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
28
29     %Controlador P
30     Kp = 1.767;
31     Ti = inf;
32     Td = 0;
33     Ki = Kp/Ti;
34     Kd = Kp*Td;
35
36
37     sim('tanksPIDa');
38
39     figure(1)
40     plot(t,Href,t,h1);
41     title('Altura del tanque 1. Controlador P.')
42     xlabel('Tiempo (s)');
43     ylabel('Altura (cm)');
44     legend('Href','h1');
45     grid on
46
47     figure(2)
48     plot(t,Href,t,h2);
49     title('Altura del tanque 2. Controlador P.')
50     xlabel('Tiempo (s)');
51     ylabel('Altura (cm)');
52     legend('Href','h2');
53     grid on
54
55     %Controlador PI
56     Kp = 1.497;
57     Ti = 10.014;
58     Td = 0;
59     Ki = Kp/Ti;
60     Kd = Kp*Td;
61
62
63     sim('tanksPIDa');
64
65     figure(1)
66     plot(t,Href,t,h1);
67     title('Altura del tanque 1. Controlador PI.')
68     xlabel('Tiempo (s)');
69     ylabel('Altura (cm)');
70     legend('Href','h1');

```

Figura 1. Script utilizado para la simulación.

```

71 - grid on
72 -
73 - figure(2)
74 - plot(t,Href,t,h2);
75 - title('Altura del tanque 2. Controlador PI.')
76 - xlabel('Tiempo (s)');
77 - ylabel('Altura (cm)');
78 - legend('Href','h2');
79 - grid on
80 -
81 - %Controlador PID
82 - Kp = 2,273;
83 - Ti = 10,331;
84 - Td = 1,613;
85 - Ki = Kp/Ti;
86 - Kd = Kp*Td;
87 -
88 -
89 - sim('tanksPIDa');
90 -
91 - figure(1)
92 - plot(t,Href,t,h1);
93 - title('Altura del tanque 1. Controlador PID.')
94 - xlabel('Tiempo (s)');
95 - ylabel('Altura (cm)');
96 - legend('Href','h1');
97 - grid on
98 -
99 - figure(2)
100 - plot(t,Href,t,h2);
101 - title('Altura del tanque 2. Controlador PID.')
102 - xlabel('Tiempo (s)');
103 - ylabel('Altura (cm)');
104 - legend('Href','h2');
105 - grid on

```

Figura 2. Script utilizado para la simulación. (Continuación)

Block Parameters: P-PI-PID

PID Controller (mask) (link)

Enter expressions for proportional, integral, and derivative terms.
P+I/s+Ds

Parameters

Proportional:

Kp

Integral:

Ki

Derivative:

Kd

OK Cancel Help Apply

Figura 3. Configuración del controlador para que obtenga los parámetros del script.

- **Actividad 2- Diseño de controladores por método de Ziegler-Nichols. Motores DC**

```

1      %El script se debe ejecutar por partes
2
3      %Preliminares
4      clear;clc;
5      fs = 10000;
6
7      %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
8      %                               SIMULACION ARCHIVO motor.mdl                               %
9      %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
10
11     sim('motor');
12     figure(1)
13     plot(t,wla)
14     title('Respuesta del sistema a lazo abierto a una entrada escalón')
15     xlabel('Tiempo (s)');
16     ylabel('Velocidad del motor (rpm)');
17     ylim([0 130]);
18     grid on
19
20
21     %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
22     %                               SIMULACION ARCHIVO motorPID.mdl                               %
23     %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
24
25     %Ganacia crítica. Sistema críticamente estable
26     Kp = 0.7161;
27     Ti = inf;
28     Td = 0;
29     I = Kp/Ti;
30     D = Kp*Td;
31
32     sim('motorPID');
33     figure(2)
34     plot(t,wla)
35     title('Respuesta del sistema para la ganancia crítica')
36     xlabel('Tiempo (s)');
37     ylabel('Velocidad del motor (rpm)');
38     grid on
39
40     %Controlador P
41     Kp = 0.3581;
42     Ti = inf;
43     Td = 0;
44     I = Kp/Ti;
45     D = Kp*Td;
46
47     sim('motorPID');
48     figure(3)
49     plot(t,wla)
50     title('Respuesta del sistema a una entrada escalón. Controlador P.')
51     xlabel('Tiempo (s)');
52     ylabel('Velocidad del motor (rpm)');
53     grid on
54
55     %Controlador PI
56     Kp = 0.3222;
57     Ti = 1;
58     Td = 0;
59     I = Kp/Ti;

```

Figura 4. Script utilizado para la simulación.

```

60 - D = Kp*Td;
61
62 - sim('motorPID');
63 - figure(4)
64 - plot(t,wla)
65 - title('Respuesta del sistema a una entrada escalón. Controlador PI.')
66 - xlabel('Tiempo (s)');
67 - ylabel('Velocidad del motor (rpm)');
68 - grid on
69
70 - %Controlador PID
71 - Kp = 0.4297;
72 - Ti = 0.6;
73 - Td = 0.15;
74 - I = Kp/Ti;
75 - D = Kp*Td;
76
77 - sim('motorPID');
78 - figure(5)
79 - plot(t,wla)
80 - title('Respuesta del sistema a una entrada escalón. Controlador PID.')
81 - xlabel('Tiempo (s)');
82 - ylabel('Velocidad del motor (rpm)');
83 - grid on

```

Figura 5. Script utilizado para la simulación. (Continuación)

Block Parameters: PID Controller

PID Controller (mask) (link)

Enter expressions for proportional, integral, and derivative terms.
P+I/s+Ds

Parameters

Proportional:

Kp

Integral:

I

Derivative:

D

OK Cancel Help Apply

Figura 6. Configuración del controlador para que obtenga los parámetros del script.