FACULTAD DE INGENIERÍA

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA

# Simulación de un controlador PID

Ingeniería en Computación

Instrumentación y Control (E0304)

Agustín E. Sánchez (939/2)

# Ejercicio 1

***"Determine la respuesta al escalón de la planta a lazo abierto."***

La función de transferencia otorgada por la cátedra es la presentada en la figura 1, donde los coeficientes A, B y C corresponden a los 3 últimos dígitos del DNI del autor de este informe. Siendo estos valores A = 7, B = 9 y C = 8 y realizando distribución en el denominador, se obtiene la función de transferencia final con la que se realizan las simulaciones.

$$G(s) = \frac{100}{(s+A+1)\,(s+B+1)\,(s+C+1)}$$

$$G(s) = \frac{100}{(s+8)\,(s+10)\,(s+9)}$$

$$G(s) = \frac{100}{s^3 + 27s^2 + 242s + 720}$$

**Figura 1.** Cálculo de la función de transferencia.

Luego para determinar la respuesta al escalón a lazo abierto, se realizó el diagrama en bloques en Simulink presentado en la figura 2, el cual se compone de una señal de entrada de tipo escalón unitario, la función de transferencia y el bloque *Scope* para poder representar gráficamente la respuesta, que se puede ver en la figura 3. Además en la figura 4 se muestra, a forma de comparación, tanto la señal de salida como la de entrada a la función de transferencia.

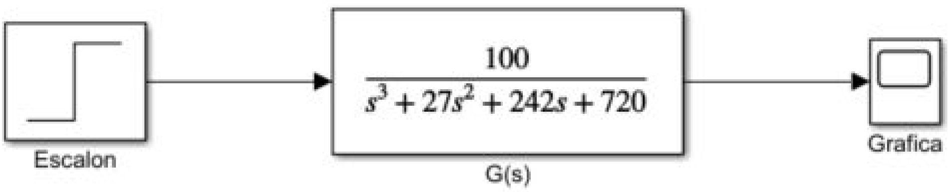


**Figura 2**. Diagrama de Simulink para Lazo Abierto.

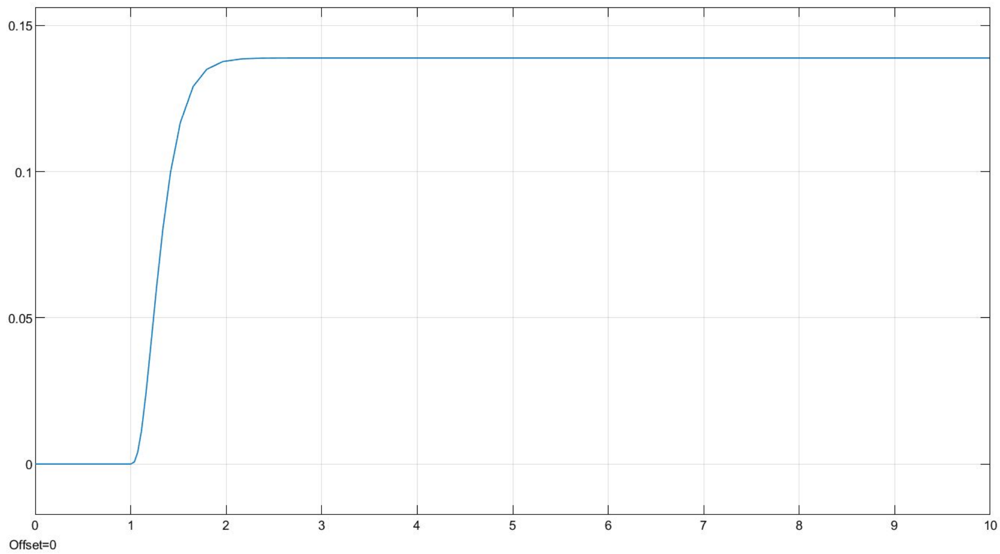


**Figura 3**. Respuesta de la planta al escalón.

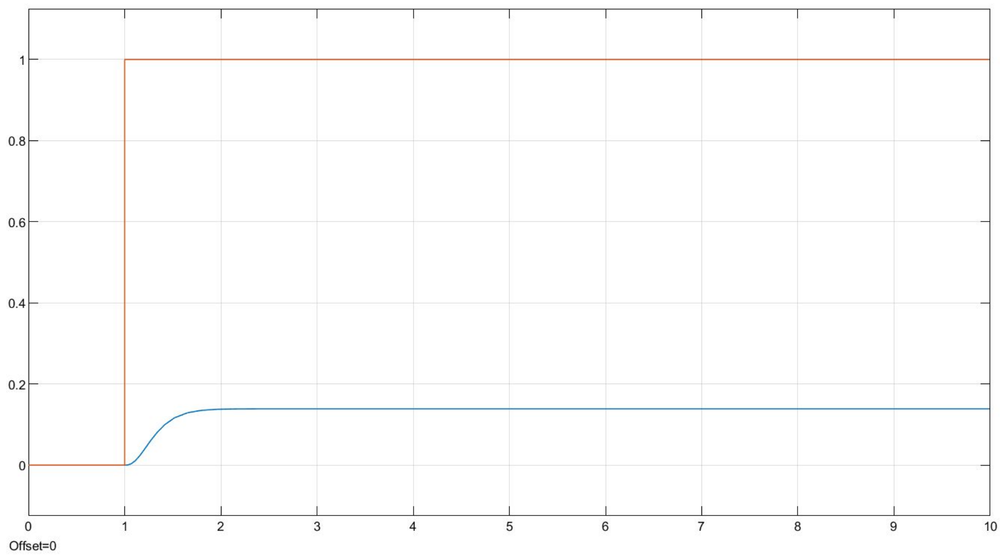


**Figura 4**. Comparación entre señal de entrada (naranja) y salida (azul).

# Ejercicio 2

***"A partir de lo obtenido en el punto anterior, determine los parámetros del PID de acuerdo a la regla de Ziegler-Nichols."***

Para obtener los parámetros del PID se utilizó el *método de la curva de reacción de Ziegler-Nichols*, el cual se adapta bien a este sistema por ser estable en lazo abierto. Las ganancias proporcional, integral y derivativa se obtienen analizando la respuesta del sistema en lazo abierto de una señal escalón. A partir de la respuesta se buscan los parámetros T y L, los cuales son la constante de tiempo y el tiempo de retardo respectivamente.

Estos parámetros se calculan dibujando una recta tangente a la curva de la respuesta al escalón, como se puede ver en un ejemplo genérico presentado por la figura 5.

El tiempo de retardo L es el tiempo que tarda el sistema en comenzar a responder y se calcula como la distancia entre el tiempo de excitación y el punto de corte de la recta tangente con el valor inicial del sistema.

La constante de tiempo T es el tiempo de subida y se calcula como la distancia entre el tiempo final de L y el punto de corte de la recta tangente con el valor final de la salida, osea al que converge.

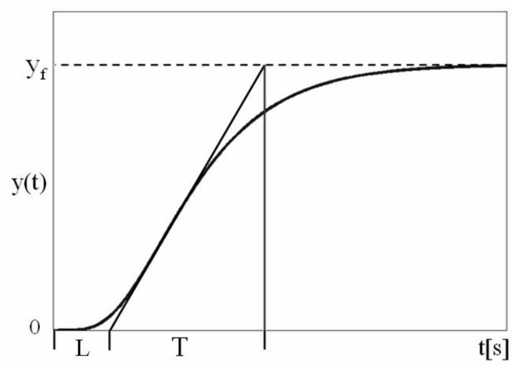


**Figura 5.** Línea tangente en el punto de inflexión.

Para obtener los parámetros L y T del caso estudiado en este informe, se realizó un script de Matlab que realiza el cálculo de la derivada de la respuesta al escalón para calcular la recta tangente correspondiente. El código se puede ver en la figura 6 y los resultados de forma gráfica en la figura 7.

```
%% Calcular respuesta del escalon %%
s = tf('s');
G = 100 / ((s+8)*(s+9)*(s+10));
[Y, t] = step(G);
%% Calcular derivada %%
dy = diff(Y)./diff(t);
%% Calcular tangente maxima %%
[pendiente, index] = max(dy);
tang = (t-t(index))*pendiente+Y(index);
%% Calcular a donde converge Y %%
limit = max(Y);
%% Graficar resultados %%
hold on
grid on
plot([0, t(end)], [limit, limit], '-.k');
plot(t(2:end),dy,'r',t,Y,'b',t,tang,'g');
scatter(t(index),Y(index));
hold off
```

**Figura 6**. Script para calcular la recta tangente.

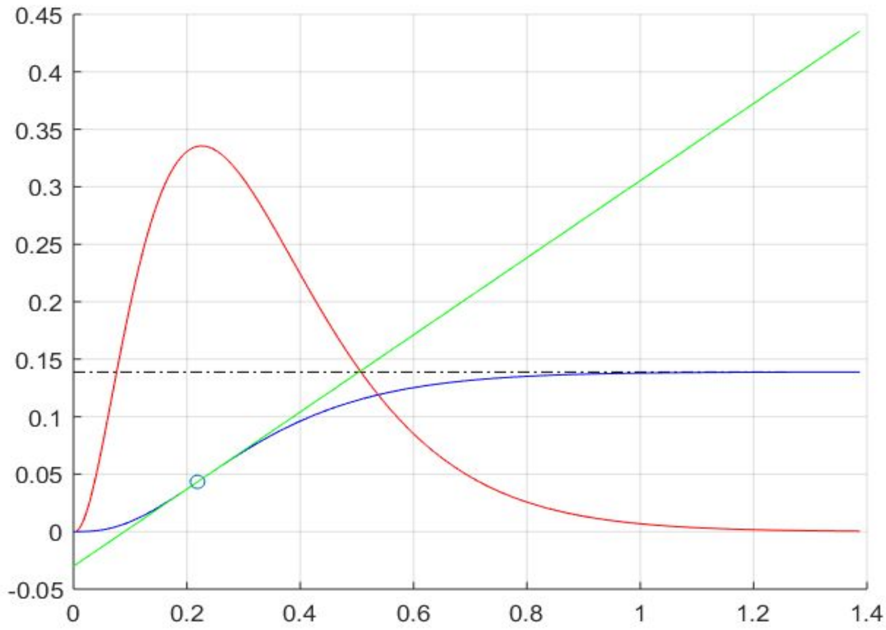


**Figura 7**. Resultados gráficos del script. Respuesta al escalón (azul), su derivada (rojo) y su tangente (verde).

Analizando la gráfica se obtiene que los resultados de los parámetros buscados son:

- **L = 0.09**
- **T = 0.41**

Luego se procede calculando las ganancias Kp, Ki y Kd con las fórmulas que se muestran a continuación, donde Ti es la constante de tiempo integral, Td es la constante de tiempo derivativa y R la pendiente de la recta tangente. Este último tiene el valor de **0.3355**, obtenido por el script anterior.

$$K_p = 1.2 * \frac{1}{R*L} \qquad T_i = 2 * L \qquad T_d = 0.5 * L$$

$$K_i = \frac{K_p}{T_i} \qquad K_d = K_p * T_d$$

Realizando los cálculos se obtiene:

- $K_p = 39.7$
- $K_i = 220.6$
- $K_d = 1.79$

# Ejercicio 3

***"Obtenga la respuesta del sistema de lazo cerrado al escalón."***

Se realizó un nuevo diagrama en bloques en Simulink que se puede ver en la figura 8, en donde se utilizaron las ganancias Kp, Ki y Kd calculadas previamente, para construir un controlador PID para el sistema. En la figura 9 se muestra la respuesta del sistema y la señal escalón de entrada.

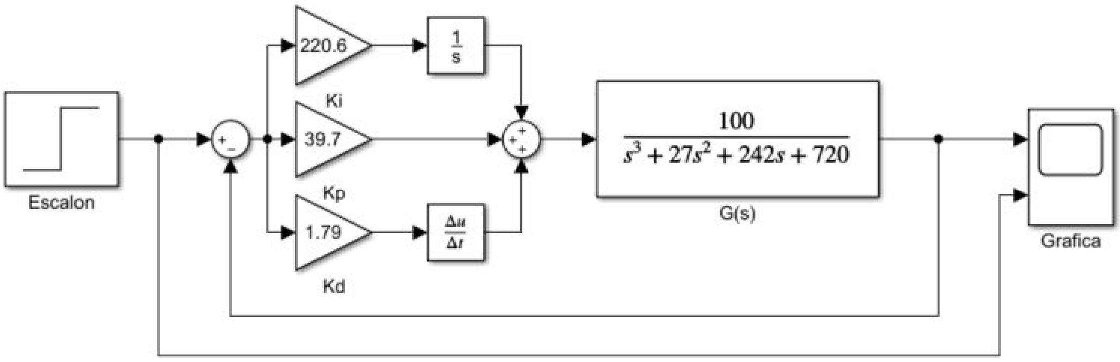


**Figura 8.** Diagrama de controlador PID.

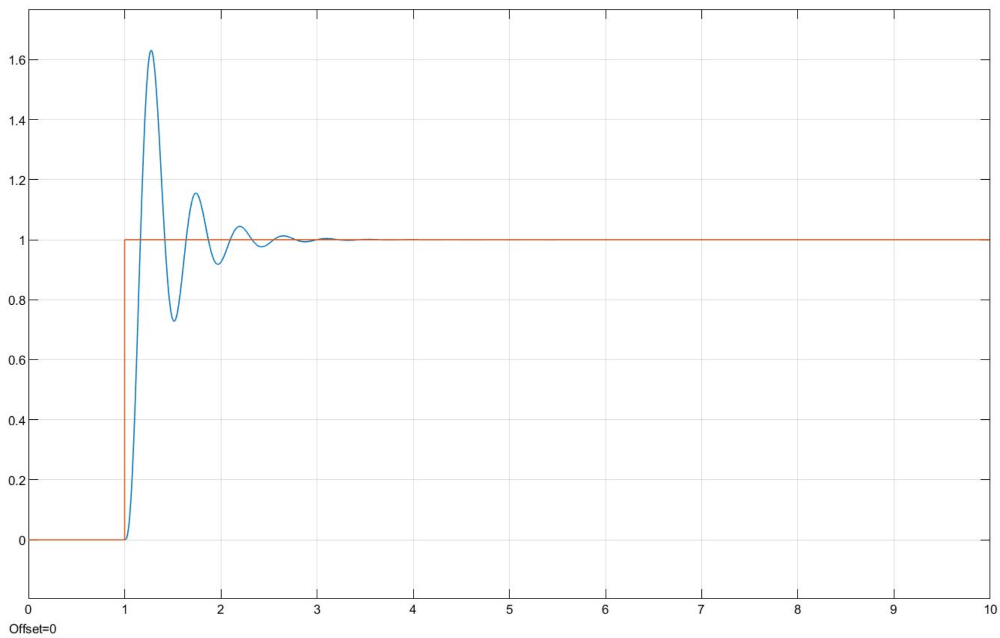


**Figura 9.** Escalón unitario (naranja) y la respuesta del sistema de lazo cerrado (azul).

De la figura 9, se puede apreciar las siguientes características del controlador PID y la planta:

- El tiempo de estabilización del sistema, luego de la excitación del escalón, es de aproximadamente 2.5 segundos.
- Se obtiene un sobrepico del 65% del valor final.

# Ejercicio 4

***"Experimente apartando los parámetros KP, KI y KD de aquellos utilizados en el punto 3."***

La forma de proceder en este inciso fue mantener los valores originales de Kp, Ki y Kd, modificando únicamente uno a la vez. Los resultados se ven en las siguientes secciones y se sacan conclusiones comparando con la gráfica obtenida en el inciso anterior.

## Modificando Kp

Al aumentar el valor original de Kp a **80**, se obtiene lo que se muestra en la figura 10. Vemos que incrementa los picos de la oscilación con respecto al caso original y que aun después de 10 segundos no logra estabilizarse.

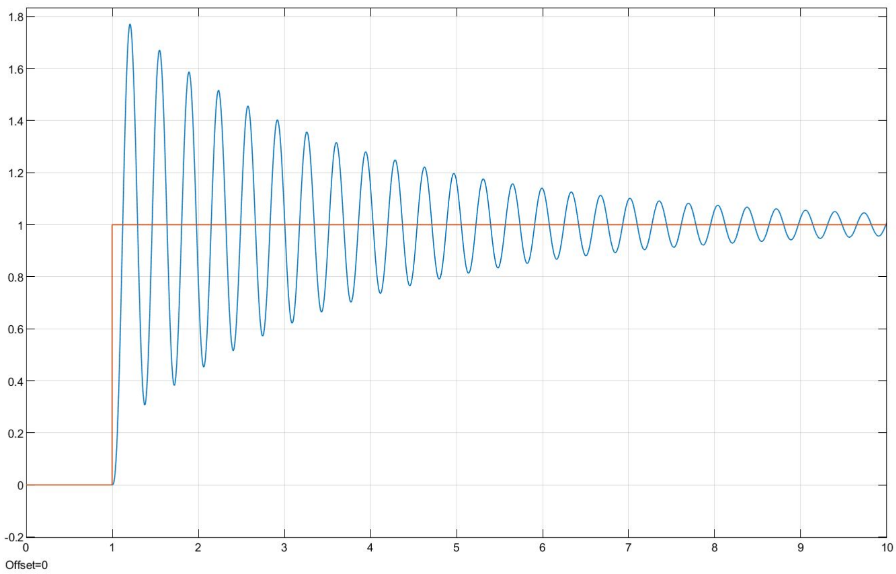


**Figura 10**. Respuesta al escalón con Kp = 80, Ki = 220.6 y Kd = 1.79.

Por otro lado, al disminuir el valor original de Kp a **10** se obtiene lo que se muestra en la figura 11. Vemos efectos similares al caso anterior pero con valores de sobrepico mayores y con menor frecuencia de oscilación.

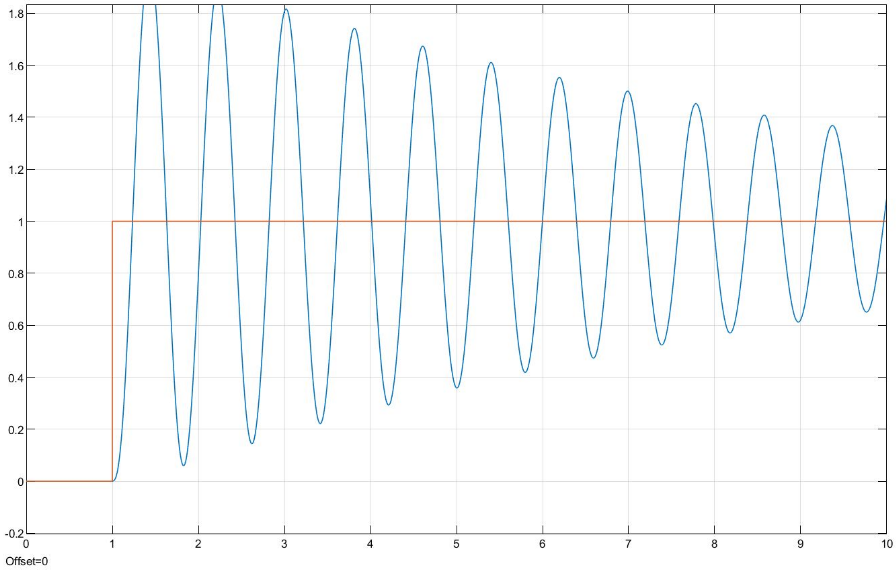


**Figura 11**. Respuesta al escalón con Kp = 10, Ki = 220.6 y Kd = 1.79.

## Modificando Kd

Al aumentar el valor original de Kd a **4** se obtiene lo que se muestra en la figura 12. Vemos que disminuye considerablemente el sobrepico con respecto al caso original y que prácticamente no presenta oscilación alguna, estabilizandose más rápido que el caso original.

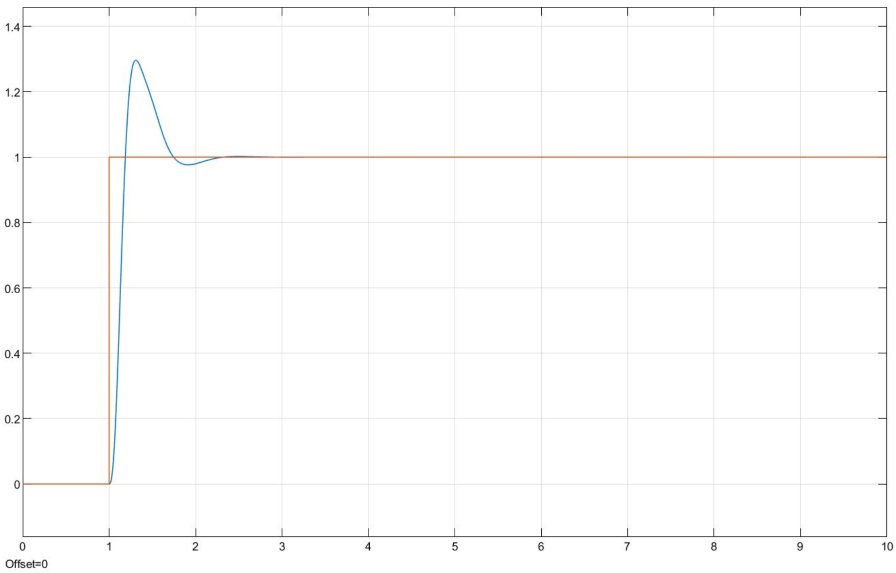


**Figura 12**. Respuesta al escalón con Kp = 39.7, Ki = 220.6 y Kd = 4.

Por otro lado, al disminuir el valor original de Kd a **1** se obtiene lo que se muestra en la figura 13. Aumentan los picos de la oscilación como también el tiempo que toma en estabilizarse.

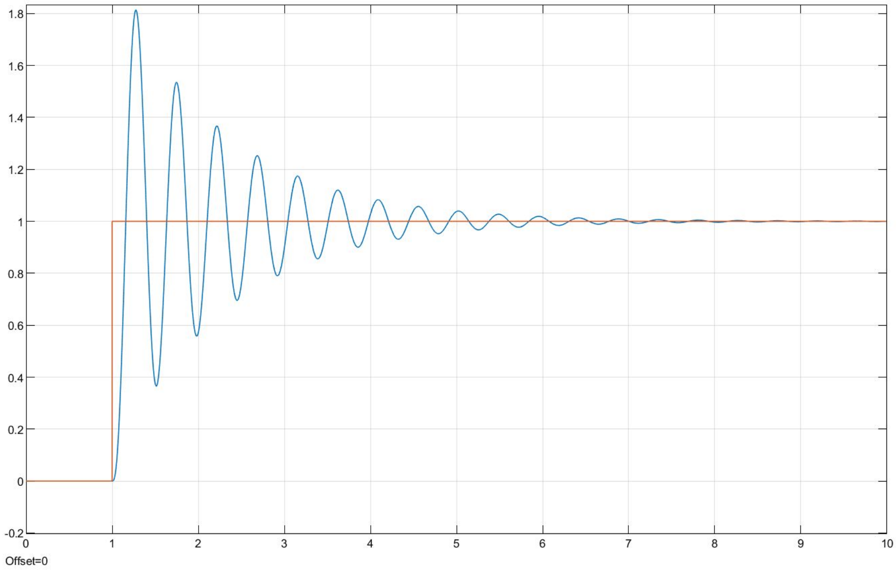


**Figura 13**. Respuesta al escalón con Kp = 39.7, Ki = 220.6 y Kd = 1.

## Modificando Ki

Al aumentar el valor original de Ki a **300**, se obtiene lo que se muestra en la figura 14. Vemos que incrementa los picos de la oscilación con respecto al caso original como también el tiempo que toma estabilizarse.

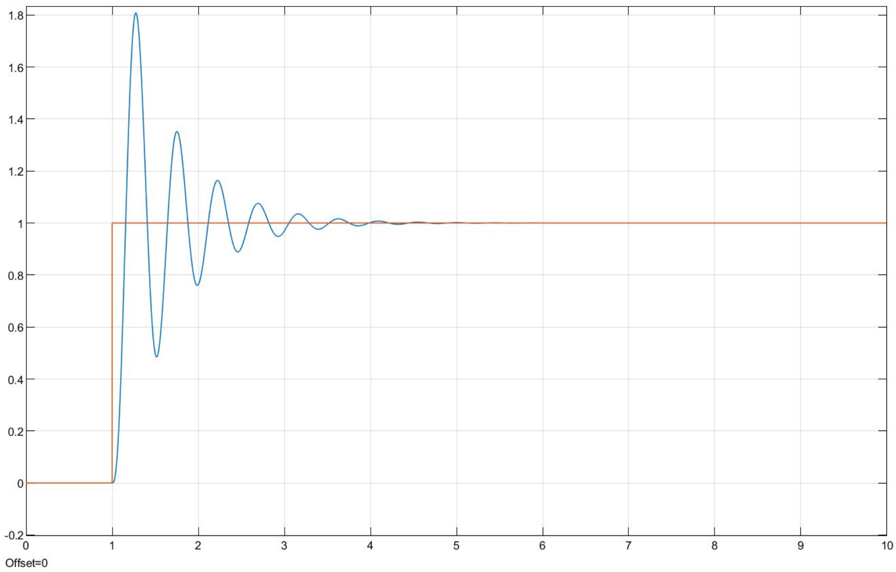


**Figura 14**. Respuesta al escalón con Kp = 39.7, Ki = 300 y Kd = 1.79.

Por otro lado, al disminuir el valor original de Ki a **100** se obtiene lo que se muestra en la figura 15. Vemos efectos opuestos al caso anterior, mejorando tanto el sobrepico como el tiempo para estabilizarse.

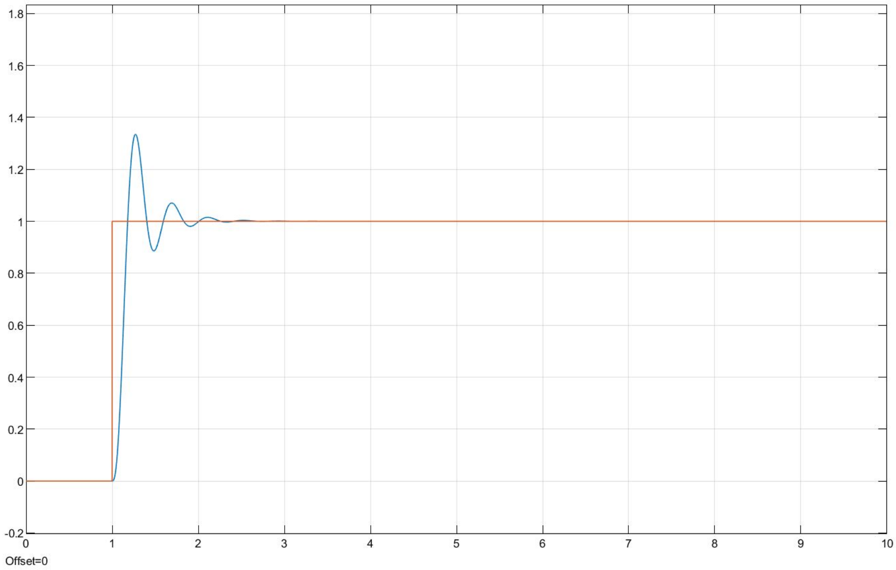


**Figura 15**. Respuesta al escalón con Kp = 39.7, Ki = 100 y Kd = 1.79.

# Ejercicio 5

***"Encuentre un juego de ganancias KP, KI y KD que permitan conseguir un sobrepico menor del 10% y un tiempo de establecimiento al 90% del valor final menor a 0.5 segundos."***

Por las conclusiones obtenidas en el inciso anterior y realizando reiteradas simulaciones con diferentes combinaciones de los valores de Kp, Ki y Kd, se logró llegar a lo que se muestra en la figura 16. Dichos resultados se lograron con los siguientes valores:

- **Kp = 37**
- **Ki = 95**
- **Kd = 4**

Se aprecia que que se obtiene un **sobrepico de 9.85%** del valor final, un **tiempo de establecimiento al 90% de 0.21 segundos** y que se **estabiliza en 1.7 segundos** después de la excitación a la entrada.

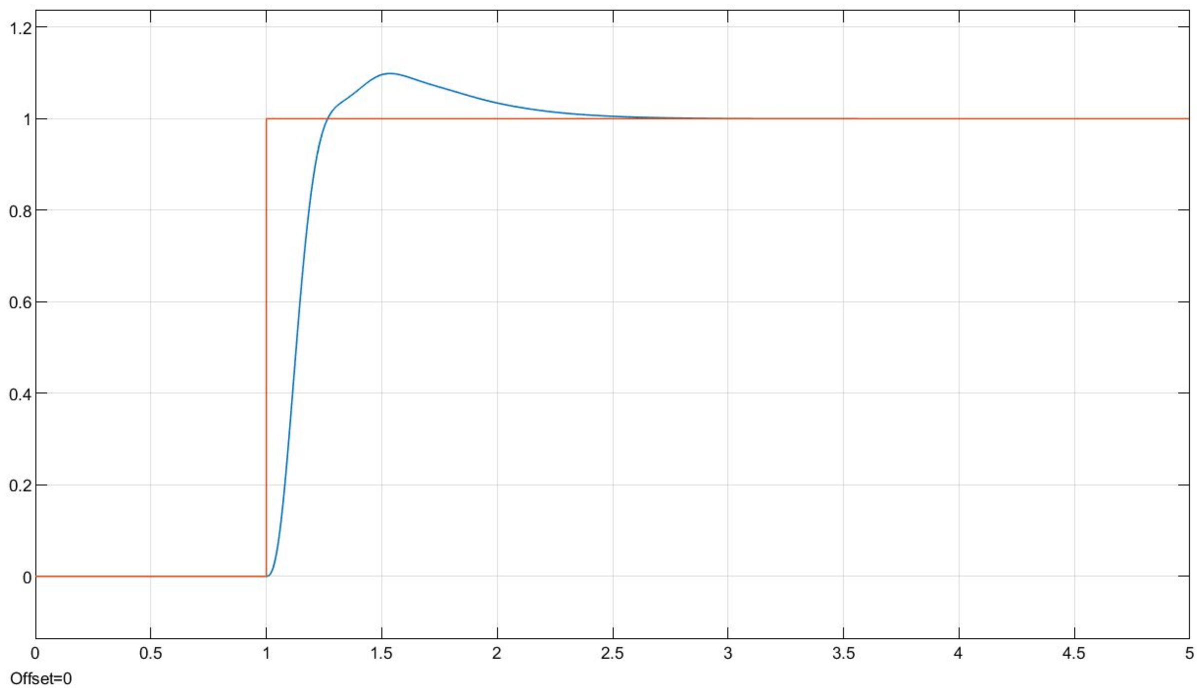


**Figura 16.** Respuesta al escalón con Kp = 37, Ki = 95 y Kd = 4.