

# Preinforme - Laboratorio 1

## Control Automático

Juan José Charfuelán, Michael Hernandez, Karen Yissel Marín, Luis Fernando Riveros  
Pontificia Universidad Javeriana - Cali  
2021

Para el desarrollo del pre-informe de laboratorio se emplearon 3 ecuaciones principales, donde tomamos  $K=23.8$  y  $\tau=0.093s$  basándonos en los cálculos realizados en clase por el profesor.

$$\Omega_m(s)/V_m(s) = K/(\tau s + 1)$$

*Ecuación 1. Función de transferencia relacionada con la velocidad angular*

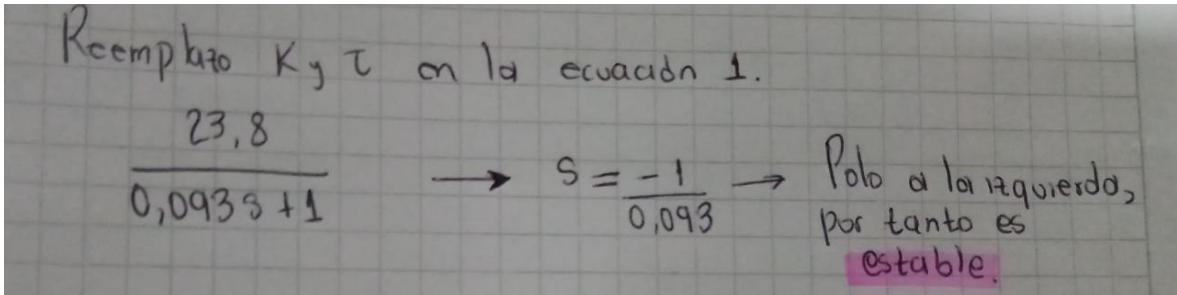
$$\frac{\Theta_m(s)}{V_m(s)} = \frac{K}{s(\tau s + 1)}$$

*Ecuación 2. Función de transferencia relacionada con la posición angular*

$$\text{Filtro} = 100/(s + 100)$$

*Ecuación 3. Función de transferencia del filtro*

1. Como primer paso, se analizó la estabilidad de la planta en su representación velocidad-voltaje

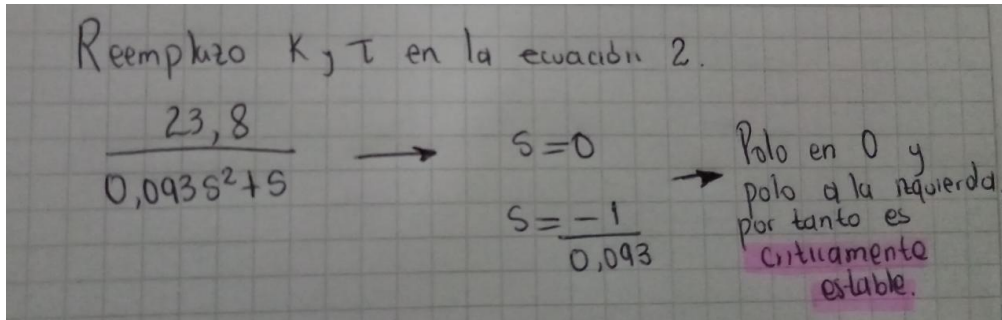


Reemplazo  $K, \tau$  en la ecuación 1.

$$\frac{23,8}{0,093s + 1} \rightarrow s = \frac{-1}{0,093} \rightarrow \text{Polo a la izquierda, por tanto es estable.}$$

**Figura 1.** Análisis de estabilidad planta velocidad-voltaje

2. Luego, se analizó la estabilidad de la planta en su representación posición-voltaje



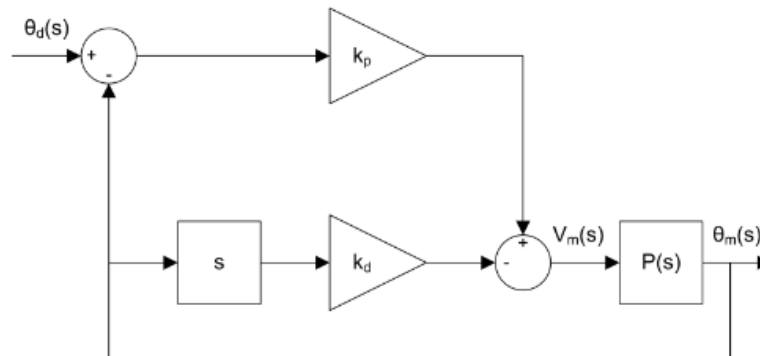
Reemplazo  $K, \tau$  en la ecuación 2.

$$\frac{23,8}{0,093s^2 + s} \rightarrow s = 0 \rightarrow \text{Polo en 0 y polo a la izquierda, por tanto es críticamente estable.}$$

$$s = \frac{-1}{0,093}$$

**Figura 2.** Análisis de estabilidad planta posición-voltaje

Para el desarrollo del siguiente punto se hace necesario traer a colación el siguiente esquema, y es pertinente aclarar que se utilizó la ecuación 3 como  $P(s)$ .

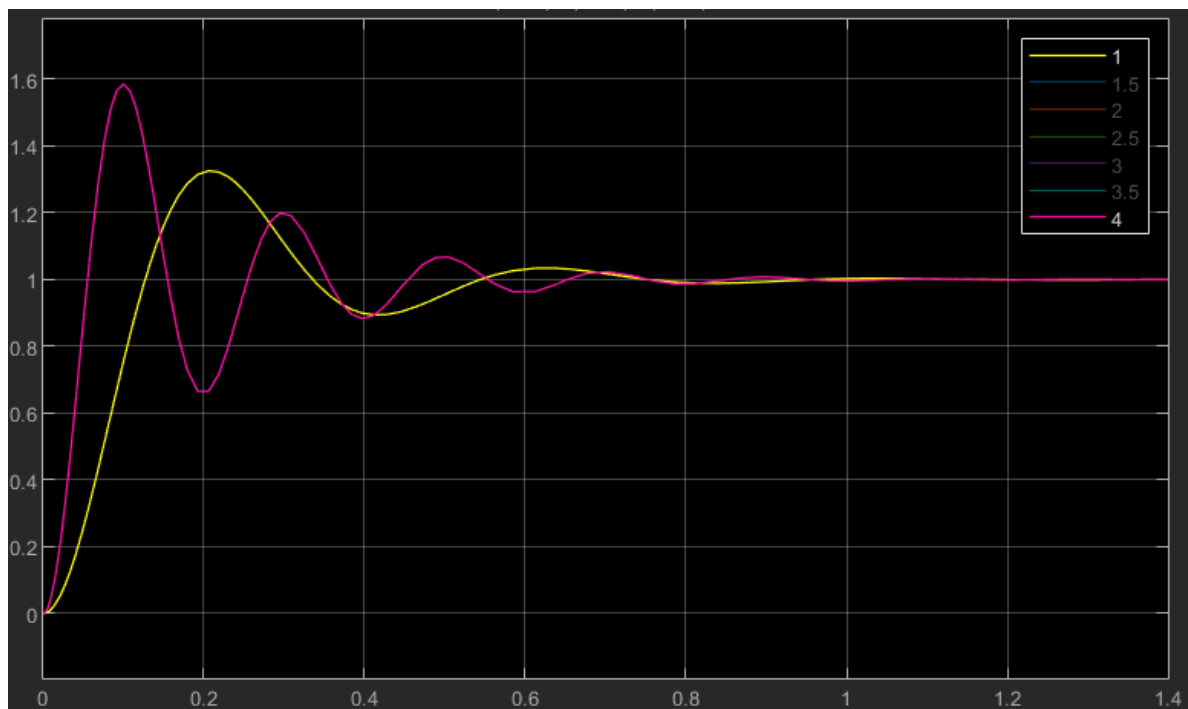


**Figura 3.** Esquema del controlador PV

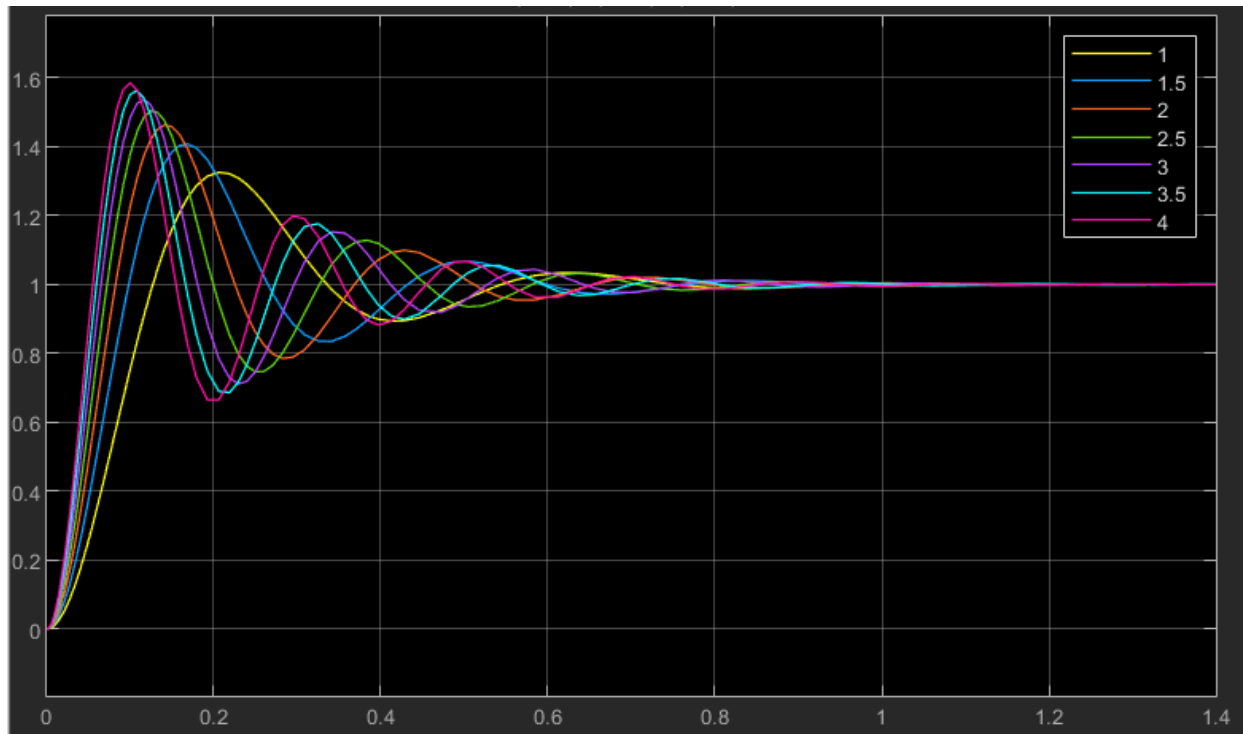
3. Una vez implementado en Simulink el esquema presentado en la figura 1, desarrollamos las variaciones de los parámetros de  $K_p$  y  $K_d$  según las instrucciones dadas en la guía. A continuación los resultados obtenidos y su respectivo análisis:

- a. **Manteniendo la ganancia derivativa  $K_d$  en 0, varíe  $K_p$  entre 1 y 4 en pasos de 0.5. ¿Cómo afecta la ganancia  $K_p$  al control de posición del servo?**

**Aclaración:** hemos decidido incluir (tanto el para el punto a, como para el b y el c) dos capturas de pantalla de resultados obtenidos. La primera, con la respuesta del sistema ante los valores extremos (inferior y superior) de la variación pedida; la segunda, con la respuesta del sistema ante todos los valores de la variación. Esto, dado que al graficar tan solo la respuesta del sistema ante todas las variaciones pedidas, se nos dificultó hacer el análisis de resultados. Una vez explicado esto, veamos los resultados obtenidos:



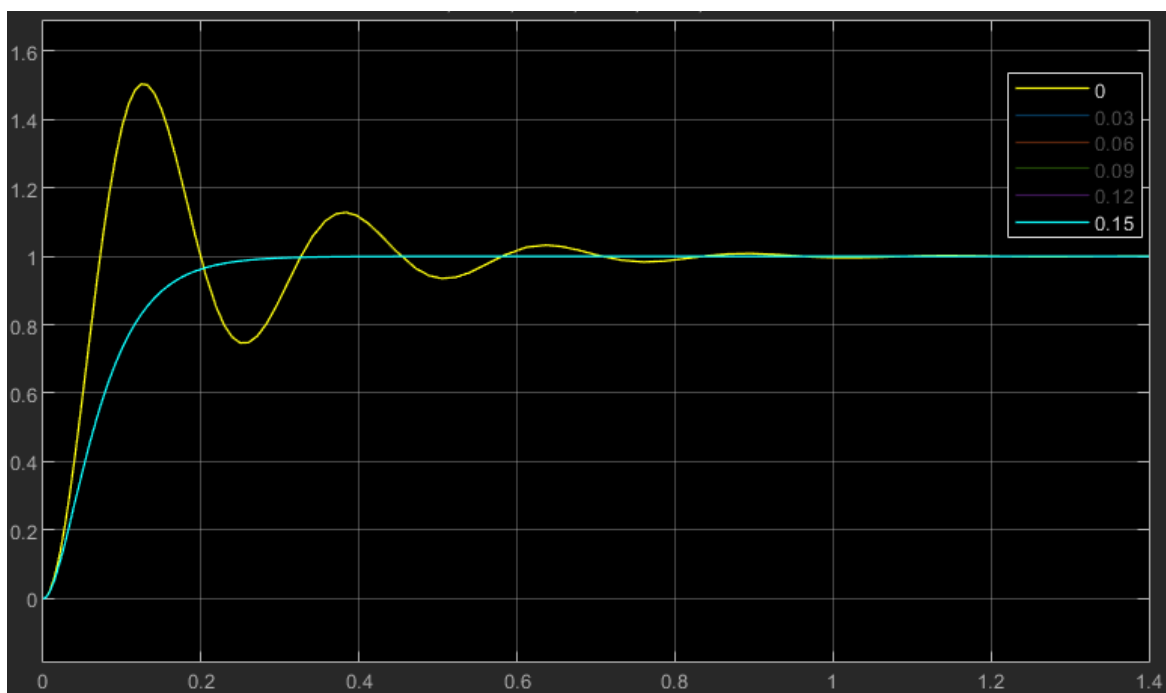
**Figura 4.** Comparación para la variación de los extremos de  $K_p$  ( $K_p=1$  y  $K_p=4$ ) con  $K_d=0$



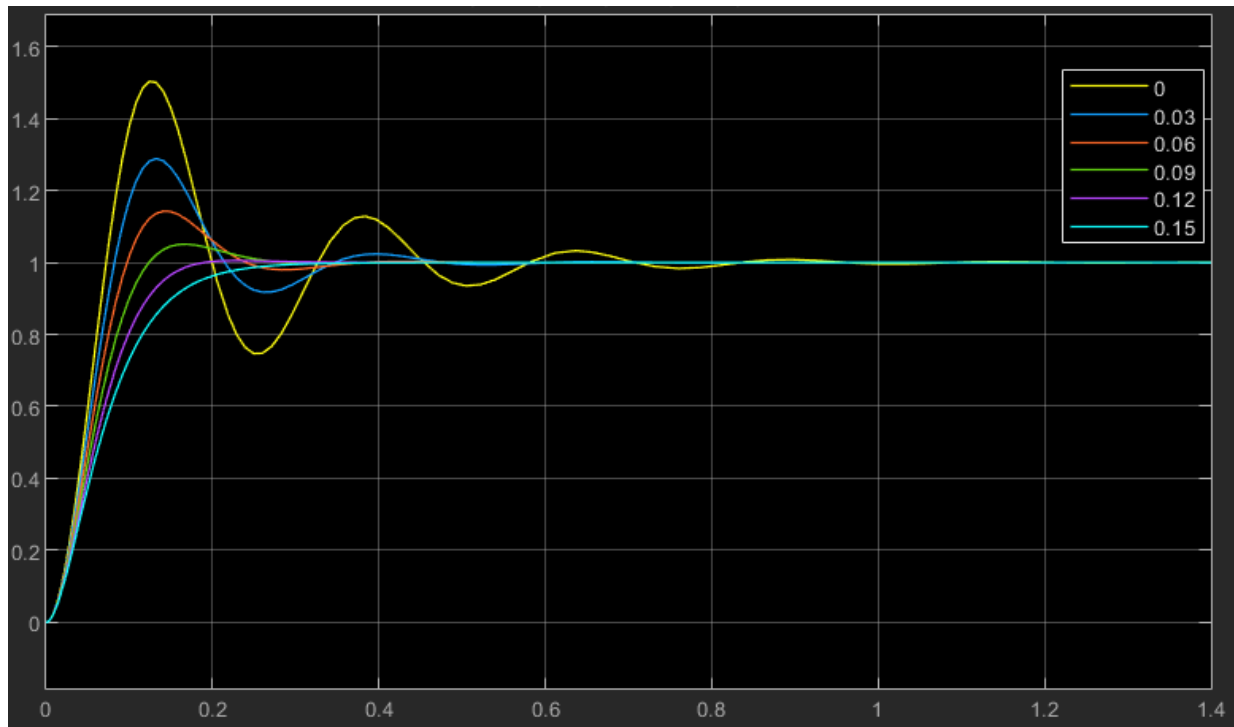
**Figura 5.** Comparación para todos los valores pedidos de  $K_p$  ( $K_p$  entre 1 y 4 en pasos de 0.5) con  $K_d=0$

Del análisis de las figuras 4 y 5 podemos afirmar que la ganancia  $K_p$  influye de manera directamente proporcional en dos de los parámetros más importantes a la hora de diseñar y/o evaluar un controlador: el tiempo de establecimiento y el máximo pico. En la simulación realizada, el aumento de la ganancia  $K_p$  hizo que la respuesta del sistema: oscilara más, que tuviera un máximo pico mayor y que se demorara más tiempo en llegar al punto de establecimiento.

- b. Ajuste  $K_p=2.5$  y varíe  $K_d$  entre 0 y 0.15 en pasos de 0.03. ¿Cómo afecta la ganancia  $K_d$  al control de posición del servo?**



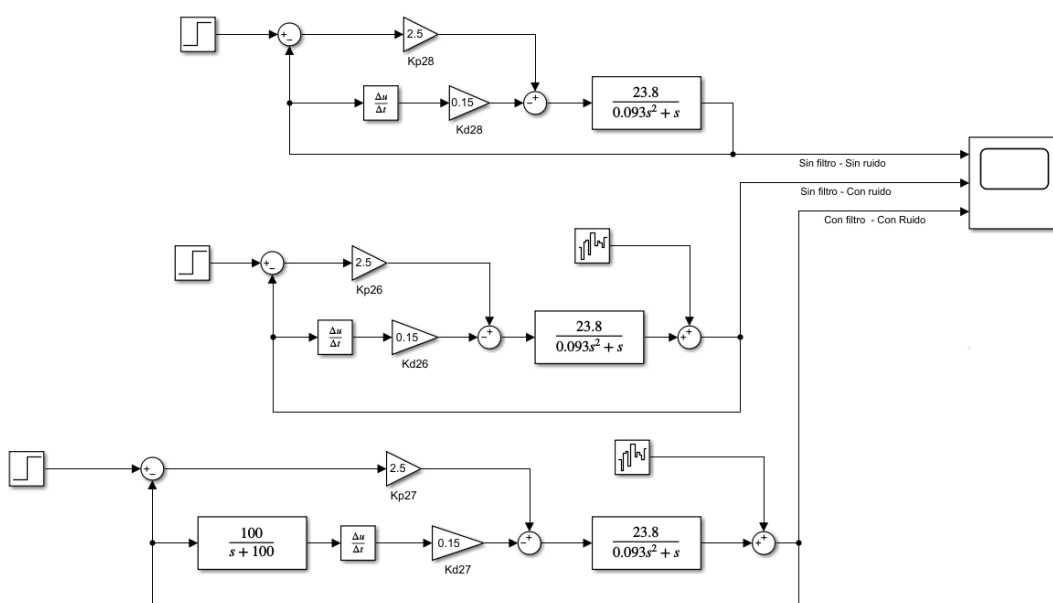
**Figura 6.** Comparación para la variación de los extremos de  $K_d$  ( $K_d=0$  y  $K_d=0.15$ ) con  $K_p=2.5$



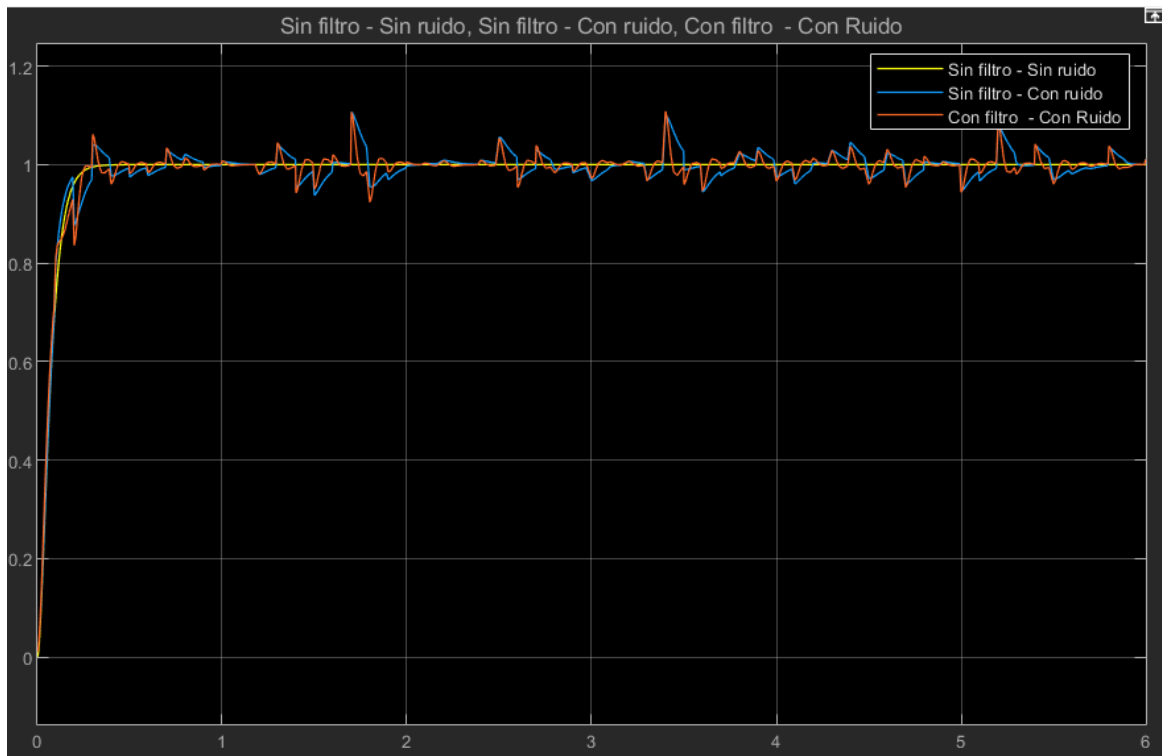
**Figura 7.** Comparación para todos los valores pedidos de  $K_d$  ( $K_d$  entre 0 y 0.15 en pasos de 0.03) con  $K_p=2.5$

Del análisis de las figuras 6 y 7 podemos afirmar que la ganancia  $K_d$  influye de manera inversamente proporcional en dos de los parámetros más importantes a la hora de diseñar y/o evaluar un controlador: el tiempo de establecimiento y el máximo pico. En la simulación realizada, el aumento de la ganancia  $K_d$  hizo que la respuesta del sistema: oscilara menos, que tuviera un máximo pico menor y que se demorara menos tiempo en llegar al punto de establecimiento.

**c. Introduzca el filtro pasa-bajos y verifique el efecto que este tiene en la respuesta del sistema**



**Figura 8.** Esquema utilizado para visualizar el comportamiento del filtro pasa - bajos



**Figura 9.** Resultados de simulación para el comportamiento del filtro pasa - bajos

Para este punto, se fijaron los valores de  $K_p=2.5$  y  $K_d=0.15$ . También, para realizar una comparación, se graficó la respuesta del sistema en tres posibles casos:

1. El primer caso fue la implementación del control PV de la figura 3 (ideal).
2. Para el segundo caso, se añadió una señal de ruido al esquema simulado anteriormente (lo insertamos para hacer un análisis más parecido al sistema real).
3. Y para el último caso, se utilizó el mismo esquema del caso 2 pero con el filtro pasa-bajas indicado (es decir, quedó el esquema de la figura 2 + ruido + filtro)

Al realizar la simulación, esperábamos que la respuesta del sistema para el caso 1 y el caso 3 fuesen bastante similares, dado que lo esperado al insertar el filtro, era que anulara o disminuyera en gran medida el ruido, sin embargo, esto no sucedió. Mediante el análisis del equipo y con ayuda del profesor, se pudo llegar a concluir que el filtro no era el óptimo para el ruido introducido.

5. Luego, se procedió a realizar el diseño del controlador, para ello se establecieron como criterios un  $M_p = 5\%$  y un  $t_s = 0.3s$ . Luego de tener estos parámetros definidos, se calcularon los valores de  $z$  y  $\omega_n$  para obtener la función de transferencia expectativa.

$$FE = \frac{210}{s^2 + 20s + 210}$$

**Ecuación 4.** Función de transferencia expectativa

Una vez tuvimos nuestra función de transferencia expectativa, se hizo el diseño de un controlador tipo PD para el cual encontramos las constantes  $K_p$  y  $K_d$ .

### Funcion real

$$\hookrightarrow \frac{23.8}{s(0.093s+1)} \rightarrow \text{Controlador PD} \rightarrow \frac{23.8(k_p+k_d s)}{s(0.093s+1)}$$

→ Se hace lazo cerrado

$$\hookrightarrow \frac{23.8(k_p+k_d s)}{s(0.093s+1)} \rightarrow \frac{23.8(k_p+k_d s)}{0.093s^2 + s + 23.8k_p + 23.8k_d s}$$

$$1 + \frac{23.8k_p + 23.8k_d s}{0.093s^2 + s}$$

→ solo se tiene en cuenta el denominador, y se divide entre 0.093

$$\hookrightarrow s^2 + \left[ \frac{1+23.8k_d}{0.093} \right] s + \left[ \frac{23.8k_p}{0.093} \right]$$

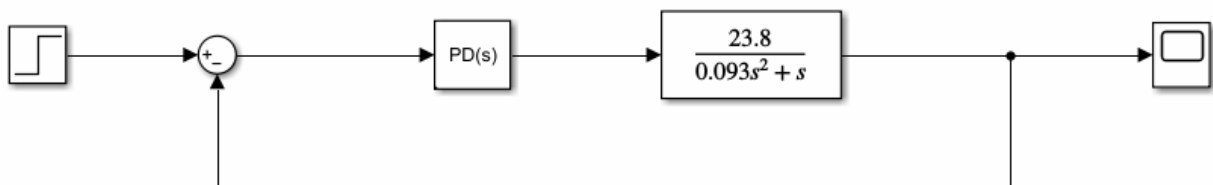
### Funcion expectativa

$$\hookrightarrow \frac{210}{s^2 + 20s + 210} \rightarrow \text{se igualan denominadores}$$

$$\hookrightarrow 1) \frac{1+23.8k_d}{0.093} = 20 \rightarrow k_d = 0.0361$$

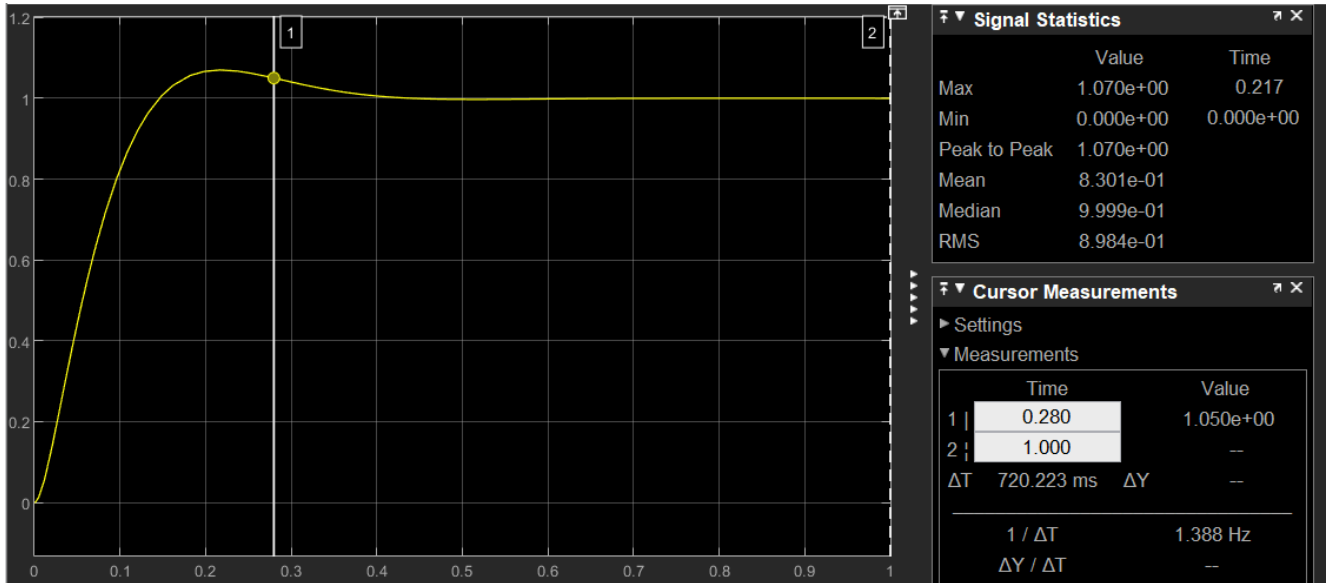
$$2) \frac{23.8k_p}{0.093} = 210 \rightarrow k_p = 0.82$$

**Figura 10.** Diseño del controlador tipo PD



**Figura 11.** Esquema utilizado para la simulación del control tipo PD





**Figura 12.** Resultados simulación de la respuesta del sistema con un controlador tipo PD

Del resultado obtenido por simulación, pudimos observar que no se cumplió específicamente ni con el tiempo de establecimiento ni con el máximo pico deseado, sin embargo, no obtuvimos valores demasiado lejanos (hubo un 2% de diferencia entre el mp expectativa y el mp obtenido en simulación y hubo aproximadamente medio segundo de diferencia entre el tiempo de establecimiento deseado y el tiempo de establecimiento obtenido en simulación).

Luego, teniendo en cuenta que se hará una implementación digital del controlador, determinamos el valor adecuado del tiempo de muestreo que se usará para dicha implementación:

Controlador	Tiempo	Tiempo de Muestreo
PD	0.3 s	0.0075 s

Luego, se discretizó con el método Tustin usando la función de matlab c2d:

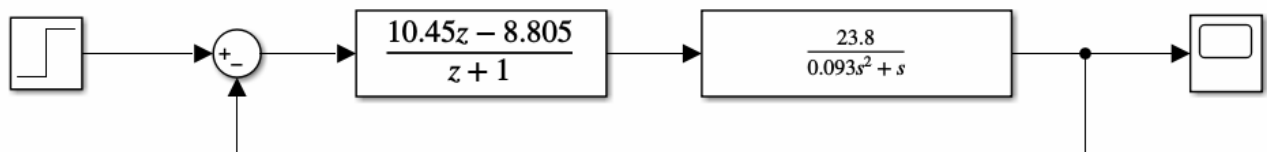
```
>> g= tf([0.0361 0.82],[1]);
T= 0.0075;
gz= c2d(g,T,'tustin')

gz =

    10.45 z - 8.807
    -----
         z + 1

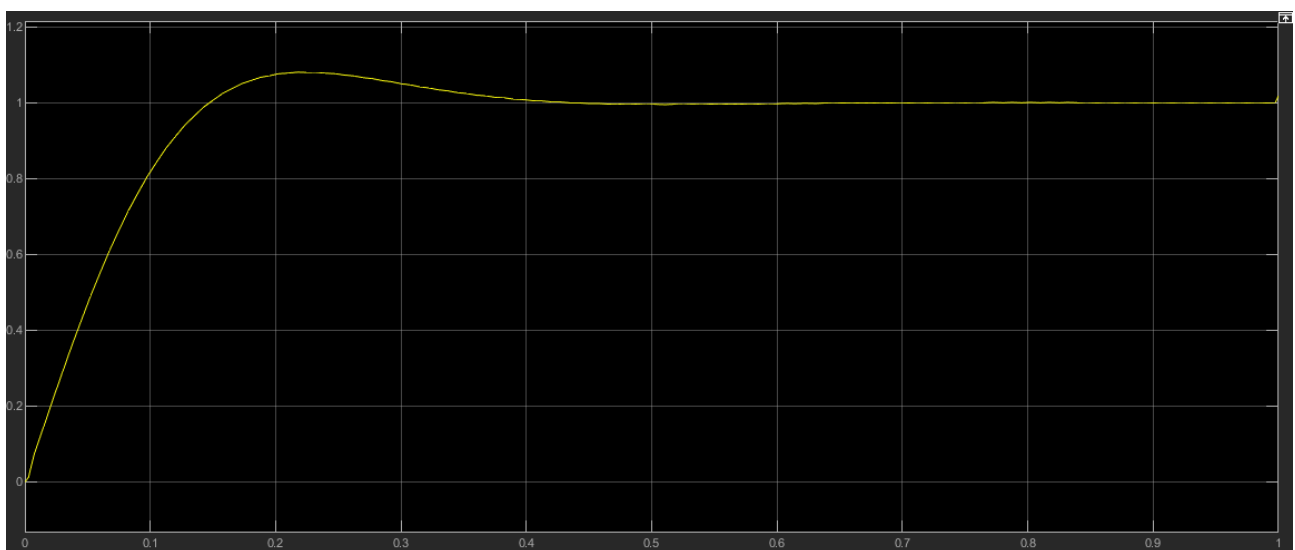
Sample time: 0.0075 seconds
Discrete-time transfer function.
```

Se implementó en simulink:



**Figura 13.** Esquema de control del sistema con un controlador discretizado tipo PD

Resultado simulación:



**Figura 14.** Resultados simulación de la respuesta del sistema con un controlador discretizado tipo PD



Posteriormente se transforma la expresión obtenida en el punto anterior a una ecuación en diferencias.

$$\frac{u(z)}{e(z)} = \frac{10.45z - 8.807}{z+1} = \frac{10.45 - 8.807z^{-1}}{1+z^{-1}}$$

$$u(z)(1 + z^{-1}) = e(z)(10.45 - 8.807z^{-1})$$

$$u(k) + u(k - 1) = 10.45 \cdot e(k) - 8.807 \cdot e(k - 1)$$

$$u(k) = 10.45 \cdot e(k) - 8.807 \cdot e(k - 1) - u(k - 1)$$

### Implementación en el código arduino de ejemplo

Para el código de arduino se crea un array [2], para almacenar el valor anterior de la señal de control, como se puede ver en la imagen se implementa la ecuación de diferencias de acuerdo al punto anterior y las variables existentes dentro del código ejemplo.

```
ErrorOld= Error;
Error = R - theta; // motorVelocity;

// Implementación del controlador

//motorVoltage = Up + Ui + Ud; //Ejemplo
motorV[1] =motorV[2];
motorV[2] = (Error*10.45) - (8.807*ErrorOld) - motorV[1];
motorVoltage=motorV[2];
```

### ANEXOS:

#### -Doc Simulink - Simulaciones punto 3:

<https://drive.google.com/file/d/1RP8qyQ7cAPiFpc1okG8yIUCpckU386Es/view?usp=sharing>

#### Doc Simulink - Controlador PD diseñado:

<https://drive.google.com/file/d/1fjSzZiipTDOePcpETIW3iwNKWcv1PX8d/view?usp=sharing>