

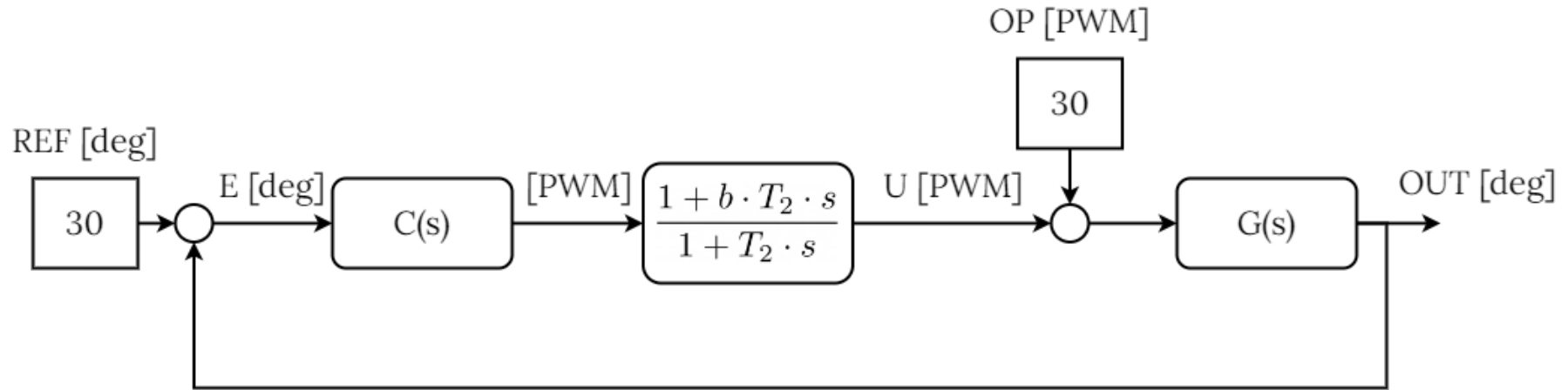
Control Aerobalancín

Daniel Ramírez
Juan Camilo Olaya
Joan Pinilla

IDENTIFICACIÓN

PROBLEMA DE CONTROL

“Hacer un control robusto para estabilizar la planta en valores lejanos del punto de operación”



MODELO DE LA PLANTA


$$I\ddot{\theta} = \beta\dot{\theta} + FL + C \sin \theta$$

Taylor

$$G = \frac{\frac{dm}{I}}{s^2 + s\frac{\beta}{I} + g(-dc \cdot mc + dm \cdot mm + db \cdot mb) \frac{\cos(30)}{I}}$$

IDENTIFICACIÓN

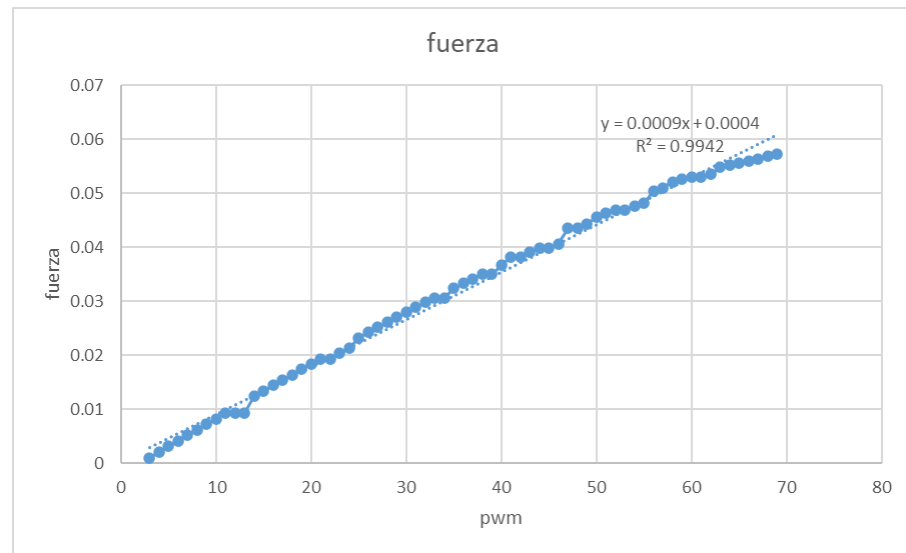
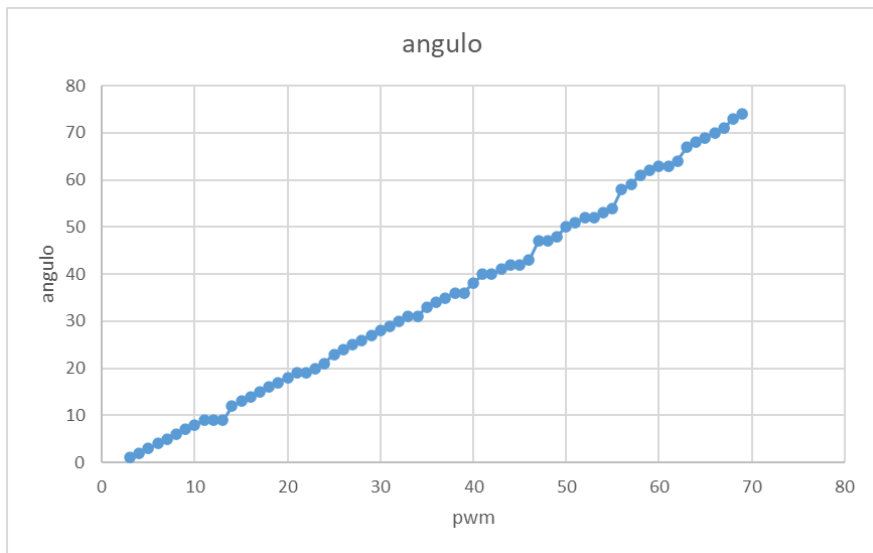
Experimento para calcular K



```
while (PWM<100) {  
    analogWrite(In1, PWM*255/100);  
    Serial.print(PWM);  
    Serial.print(",");  
    sensor = analogRead(sensorPin);  
    sensor = map(sensor, 0, 1023, 0, 360);  
    Serial.println(sensor-130);  
    delay(1000);  
    PWM+=1;  
}
```

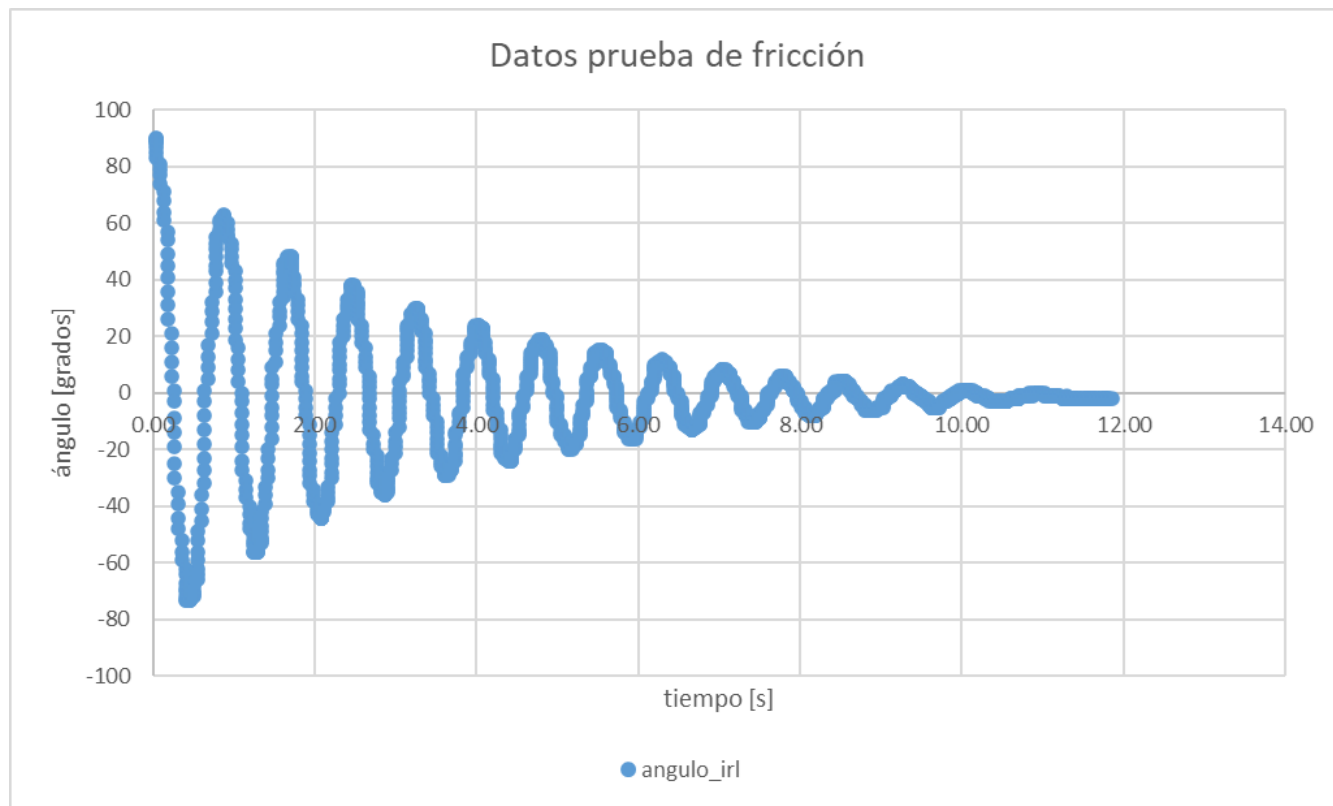
Cálculo de K

$$Fuerza = \frac{-c * \sin(\theta)}{dm}$$



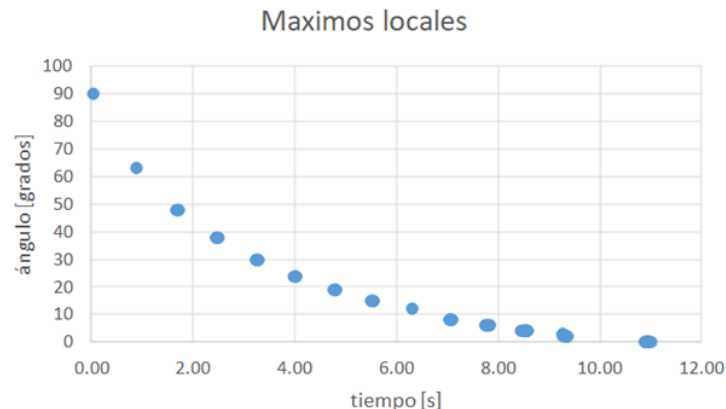
$$K = 0.0008776$$

Prueba de fricción



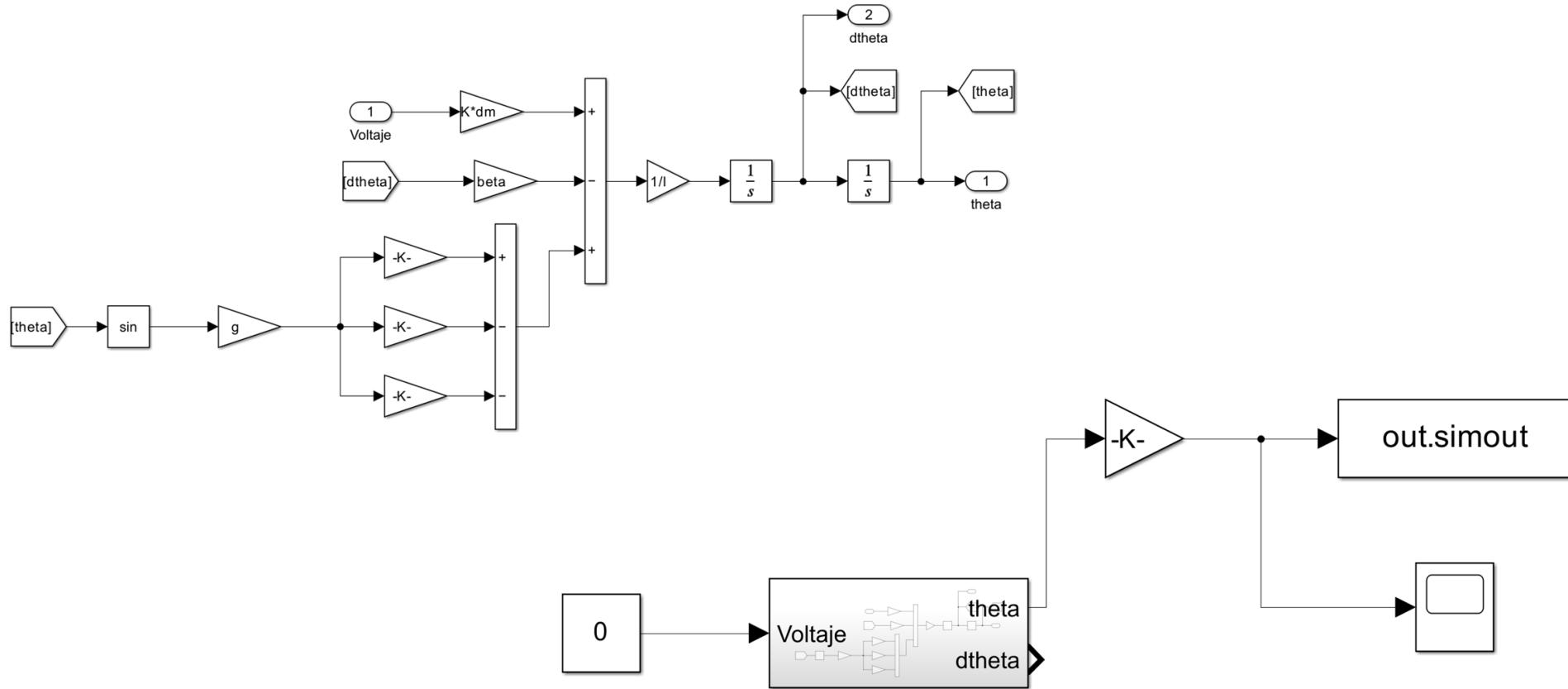
Obtención de la exponencial

| SUMMARY OUTPUT | | | | | | |
|-----------------------|--------------|----------------|--------------|-------------|----------------|--------------|
| Regression Statistics | | | | | | |
| Multiple R | 0.989228008 | | | | | |
| R Square | 0.978572052 | | | | | |
| Adjusted R Square | 0.978351145 | | | | | |
| Standard Error | 0.163408875 | | | | | |
| Observations | 99 | | | | | |
| ANOVA | | | | | | |
| | df | SS | MS | F | Significance F | |
| Regression | 1 | 118.2865165 | 118.2865165 | 4429.798398 | 9.21723E-83 | |
| Residual | 97 | 2.590138664 | 0.02670246 | | | |
| Total | 98 | 120.8766552 | | | | |
| | Coefficients | Standard Error | t Stat | P-value | Lower 95% | Upper 95% |
| Intercept | 4.656104895 | 0.038646323 | 120.4798924 | 1.8979E-107 | 4.579402641 | 4.732807149 |
| tiempo_irl | -0.384540871 | 0.005777641 | -66.55673067 | 9.21723E-83 | -0.396007888 | -0.373073853 |
| | 105.2254188 | | | | | |

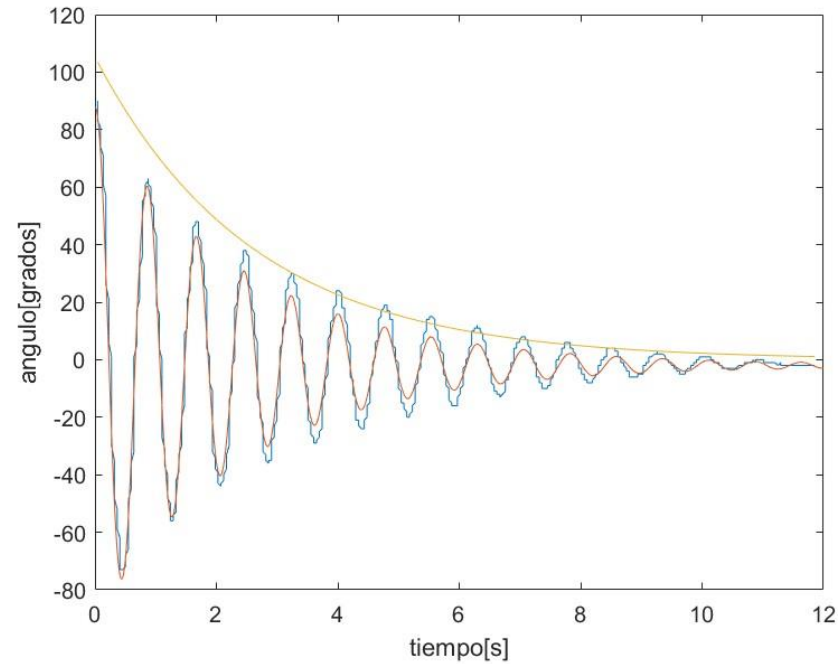


$$y = 105.2254188e^{(-0.384540871 \cdot t)}$$

Modelo de simulación



Iteración de I y validación



$$I = 1.15 \cdot 10^{-4}$$

Función de transferencia para diseño

$$G = \frac{dm/I}{s^2 + s * \frac{beta}{I} + g * (-dc * mc + dm * mm + db * mb) * \cos(30)}$$



System
Identification

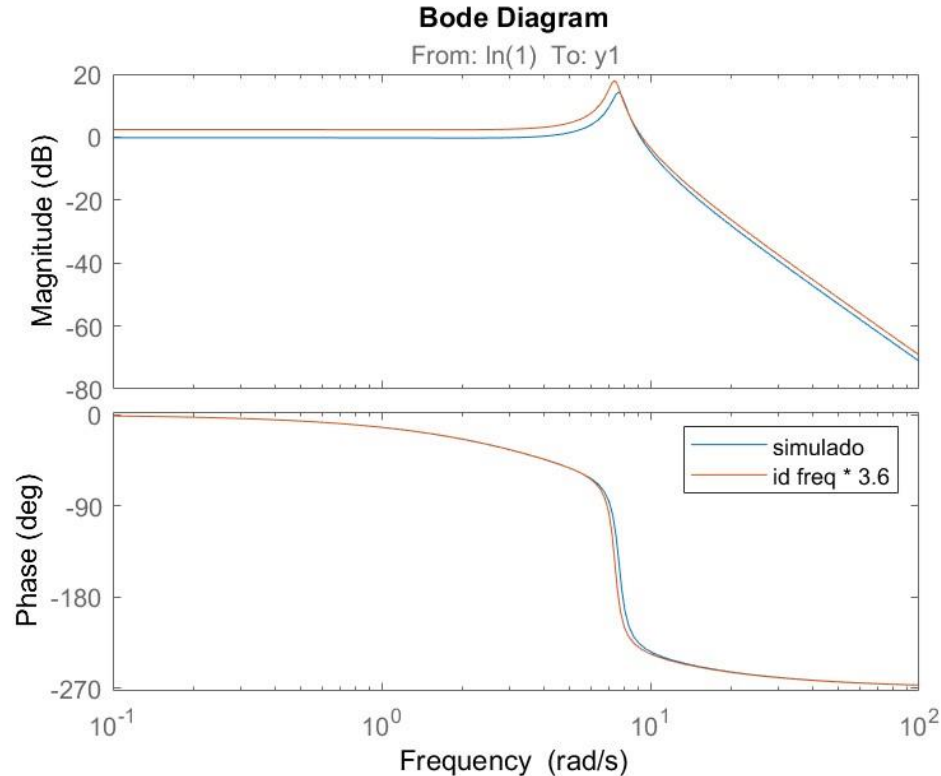
```
>> pole(tf_ident_freq)  
ans =
```

```
-0.3344 + 7.3751i  
-0.3344 - 7.3751i  
-4.8036 + 0.0000i
```

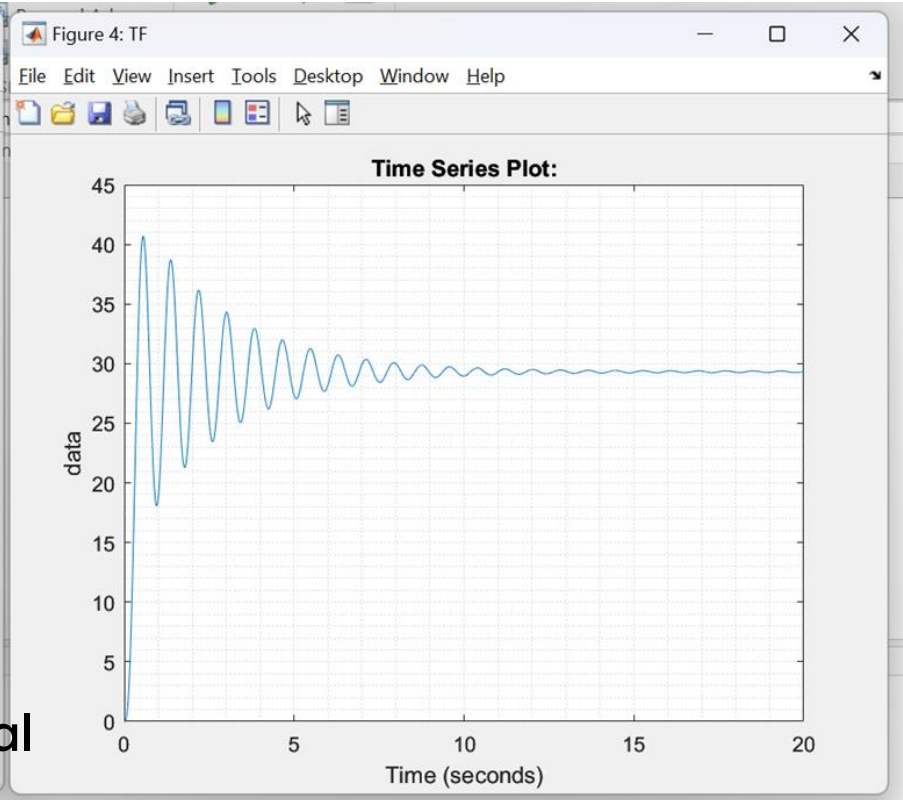
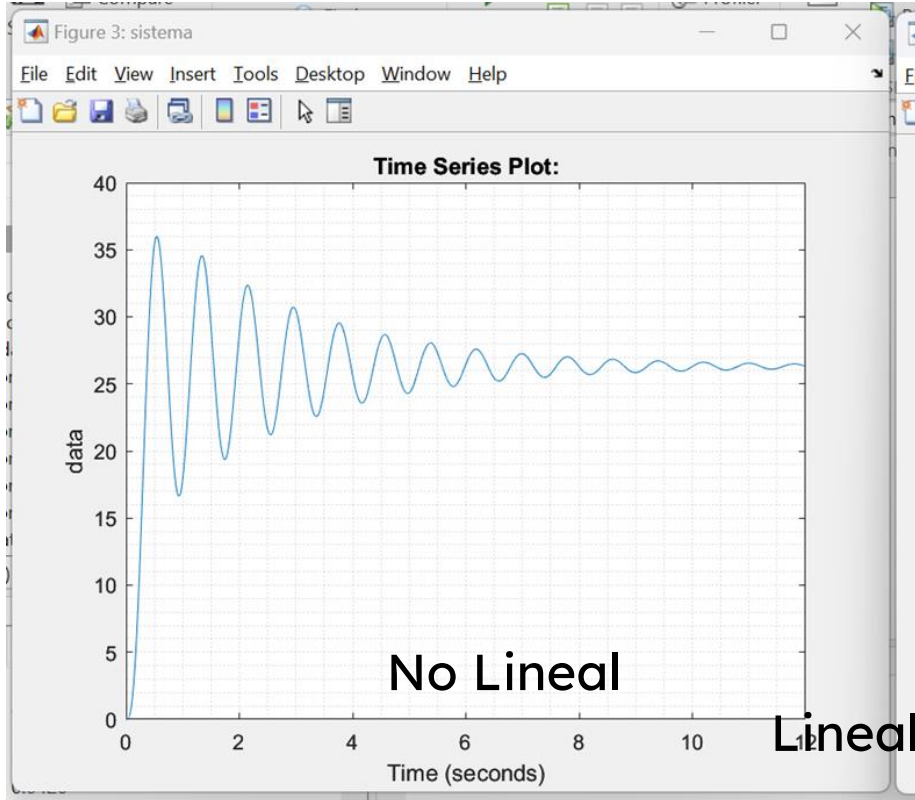
$$tf_polo_real = \frac{K}{(1/polo_real) * s + 1}$$

$$TF = \frac{360}{2 * pi} * G * tf_polo_real$$

Comparación identificación en freq. y simulación



Comparación del sistema no lineal y FT lineal



ANÀLISIS

Incertidumbres

PESOS: Se realizaron los pesajes varias veces para reducir el error aleatorio.

DISTANCIAS: Tienen muy poca incertidumbre porque se hallaron del plano.

FRICCIÓN: Tiene incertidumbre de repetibilidad y de procedimiento.

INERCIA: No se modeló completamente ni exactamente el brazo. Pero se compensa con la validación.

Retos de diseño

Como la inercia se relaciona con la fricción, aumenta la incertidumbre de esta.

De la inercia depende la velocidad del sistema.

Posibles mejoras

Favorecer la repetibilidad de experimentos como el de la fricción y la fuerza.

Tener mejores instrumentos de medida para poder modelar más precisamente y disminuir la incertidumbre de la inercia.

CONTROL

PROBLEMA DE CONTROL

Se requiere que la planta sea lo más rápida y robusta posible.

- Sobrepico $< 15\%$
- Tiempo de establecimiento tan bajo como sea posible.
- Aumentar márgenes de fase lo máximo posible.

DISEÑO CONTROLADOR PID

El controlador PID se diseñó por tanteo y con ayuda de las herramientas PID Tuner de Matlab.

Se obtuvieron los valores de:

$$K_P = 0.5$$

$$K_I = 0.7$$

$$K_D = 0.02$$

$$N = 2$$

$$P + I \cdot T_s \frac{1}{z - 1} + D \frac{N}{1 + N \cdot T_s \frac{1}{z - 1}}$$

DISEÑO RED ADELANTO

Se eligió una red de adelanto debido a que era necesario aumentar el margen de fase.

Mayor velocidad y robustez

$$\phi_m = 74.7$$

$$b = 55.62$$

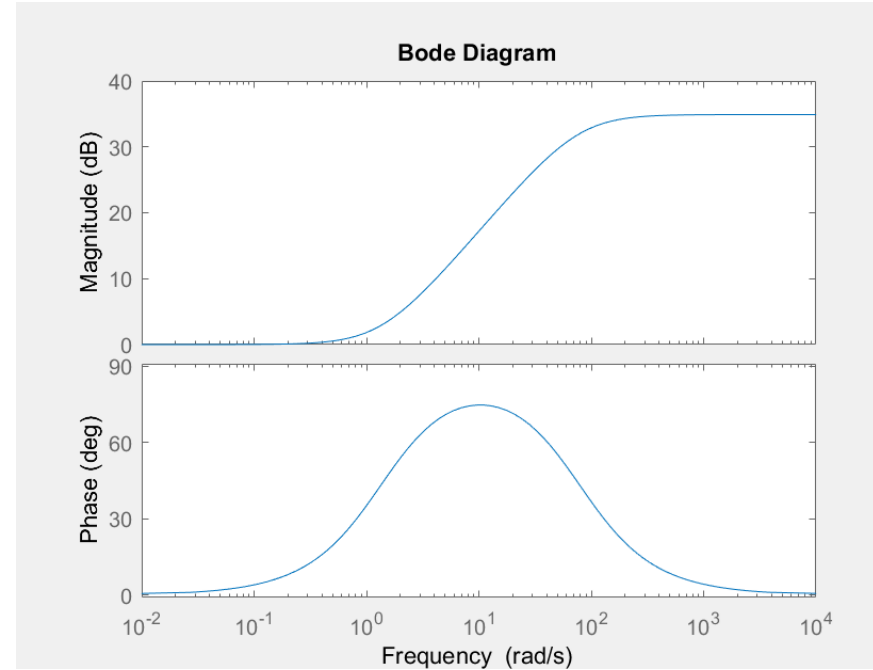
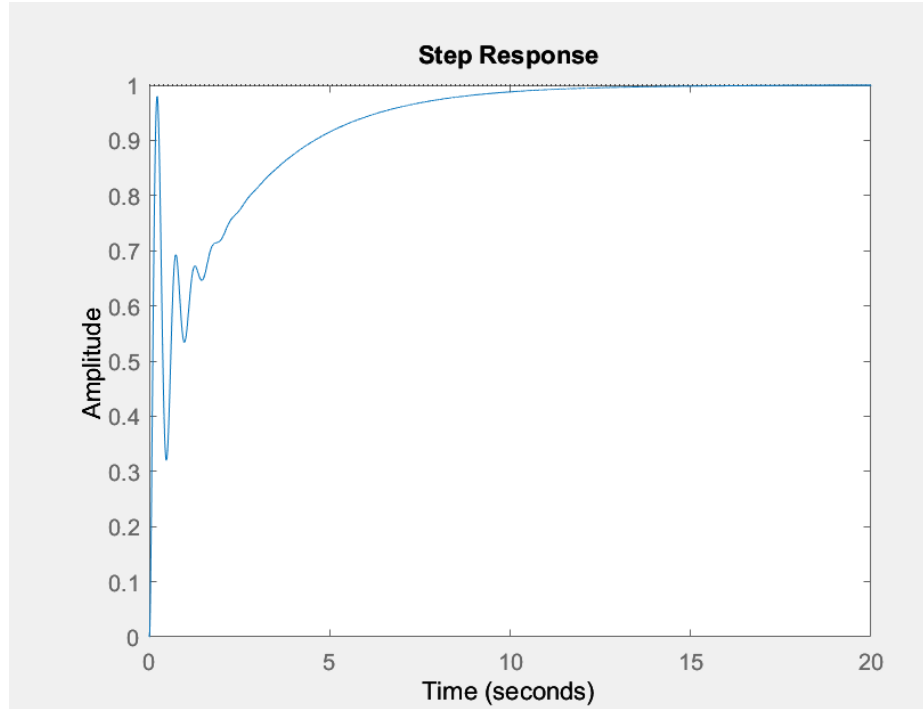
$$T_2 = 0.0130$$

$$\phi_m = 45 - m_{factual} + 5$$

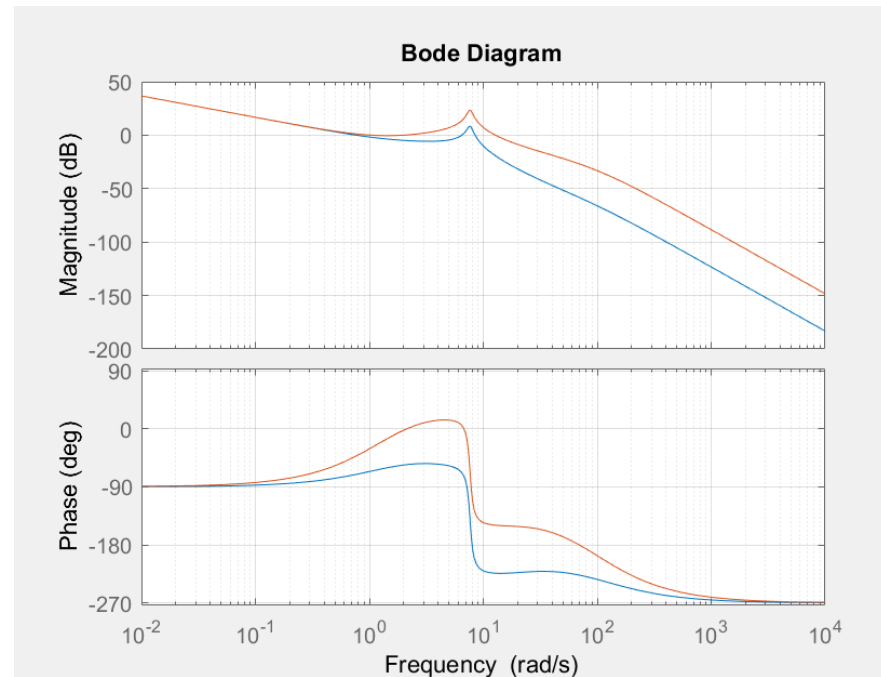
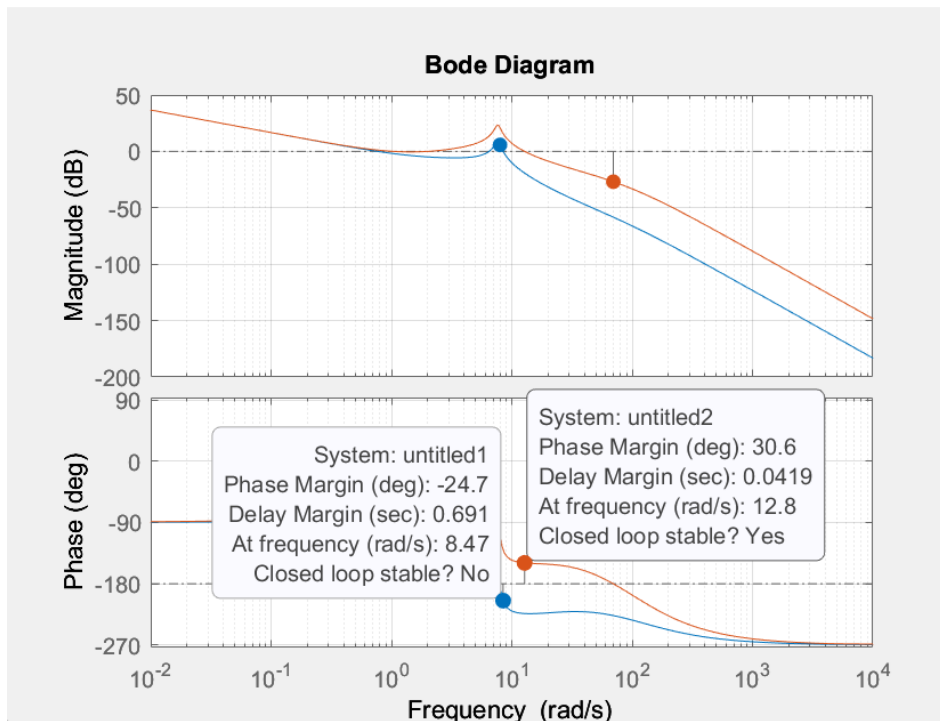
$$b = \frac{1 + \sin \frac{\phi_m \cdot \pi}{180}}{1 - \sin \frac{\phi_m \cdot \pi}{180}}$$

$$T_2 = \frac{1}{\sqrt{(b)} \cdot \omega_{2g}}$$

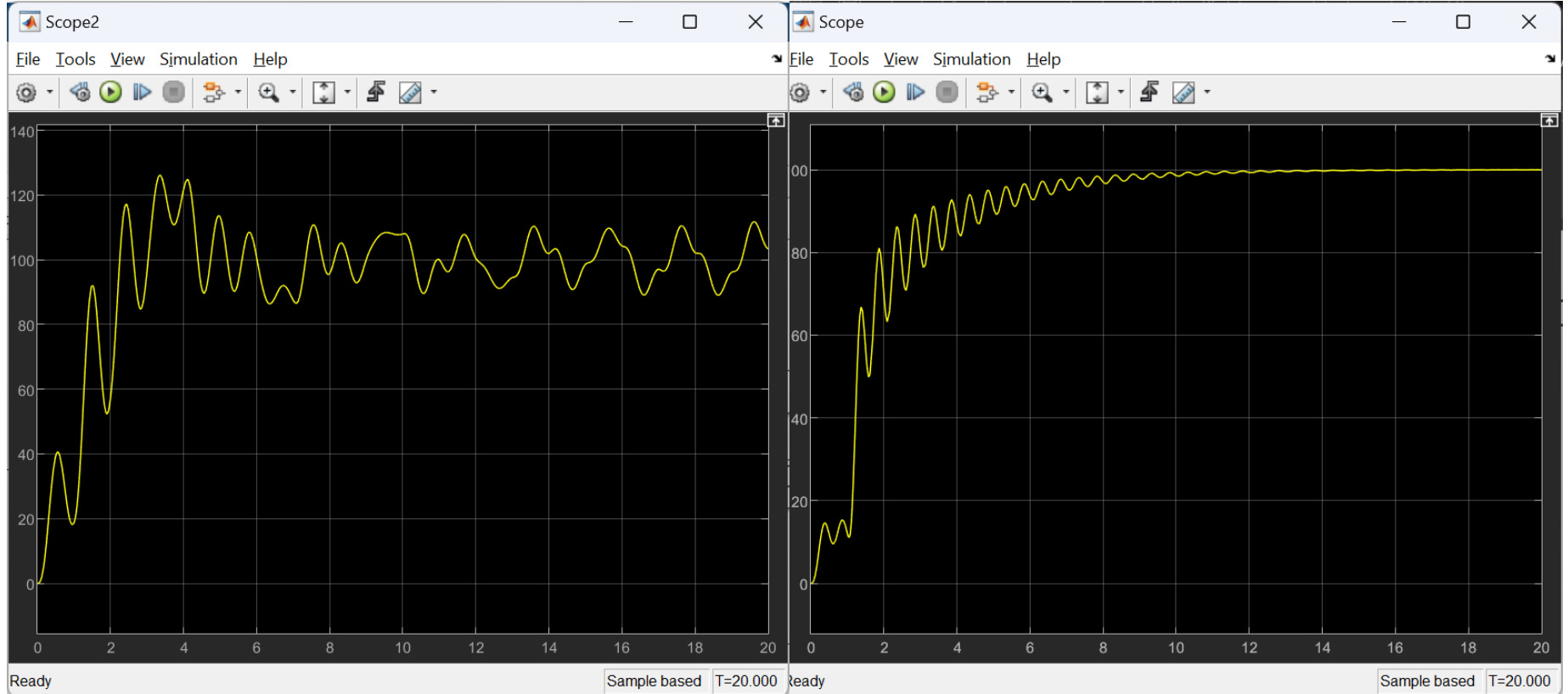
DISEÑO RED ADELANTO



DISEÑO RED ADELANTO



DISEÑO RED ADELANTO



IMPLEMENTACIÓN

Discretización

Por tanto, la función de control será la siguiente

$$C = \frac{(b \cdot T_2) \cdot s + 1}{(T_2) \cdot s + 1} \cdot \text{PID}$$

Para discretizar la función, utilizamos aproximación de Tustin

$$s = \frac{1}{T} \cdot \ln(z) \approx \frac{2z + 1}{Tz + 1}$$

Discretización

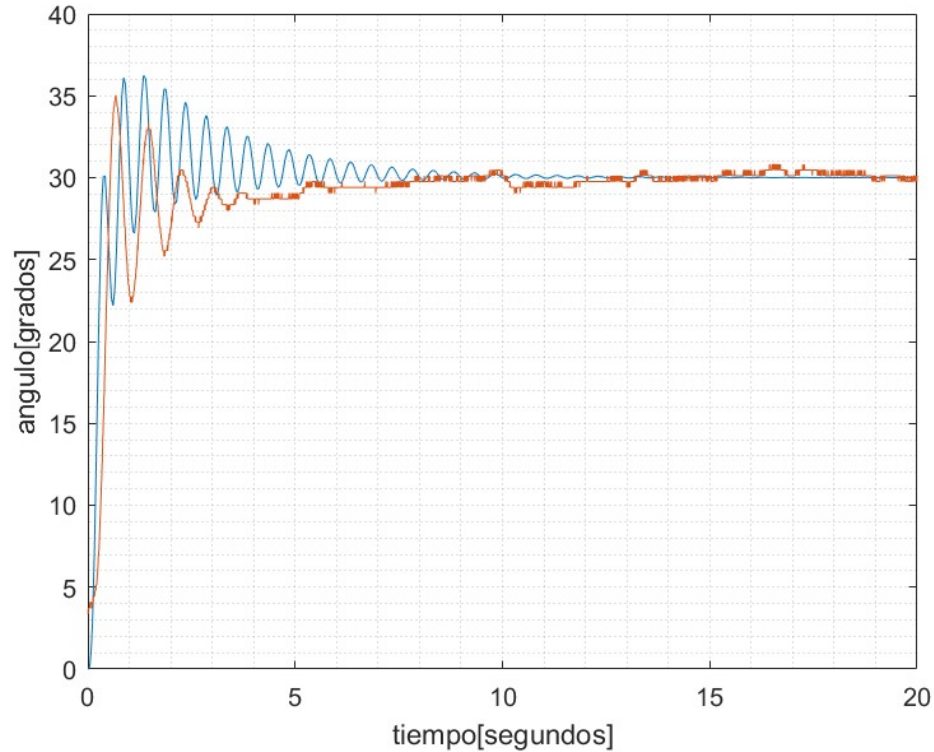
Y por último igualamos en controlador a:

$$C(z) = \frac{U(z)}{E(z)}$$

Lo que nos da como ecuación final para controlar en Arduino

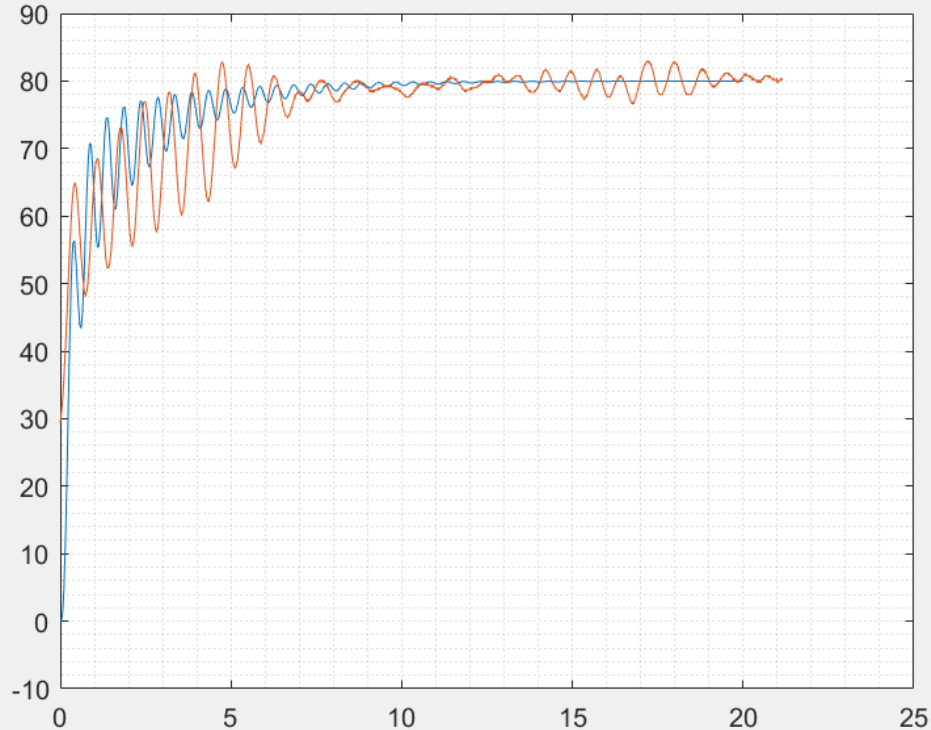
$$U = \frac{(T + 2 \cdot b \cdot T_2)PID + (T - 2 \cdot b \cdot T_2)PIDp - (T - 2 \cdot T_2)U_p}{T + 2T_2}$$

Comparación de resultados (a 30 deg)



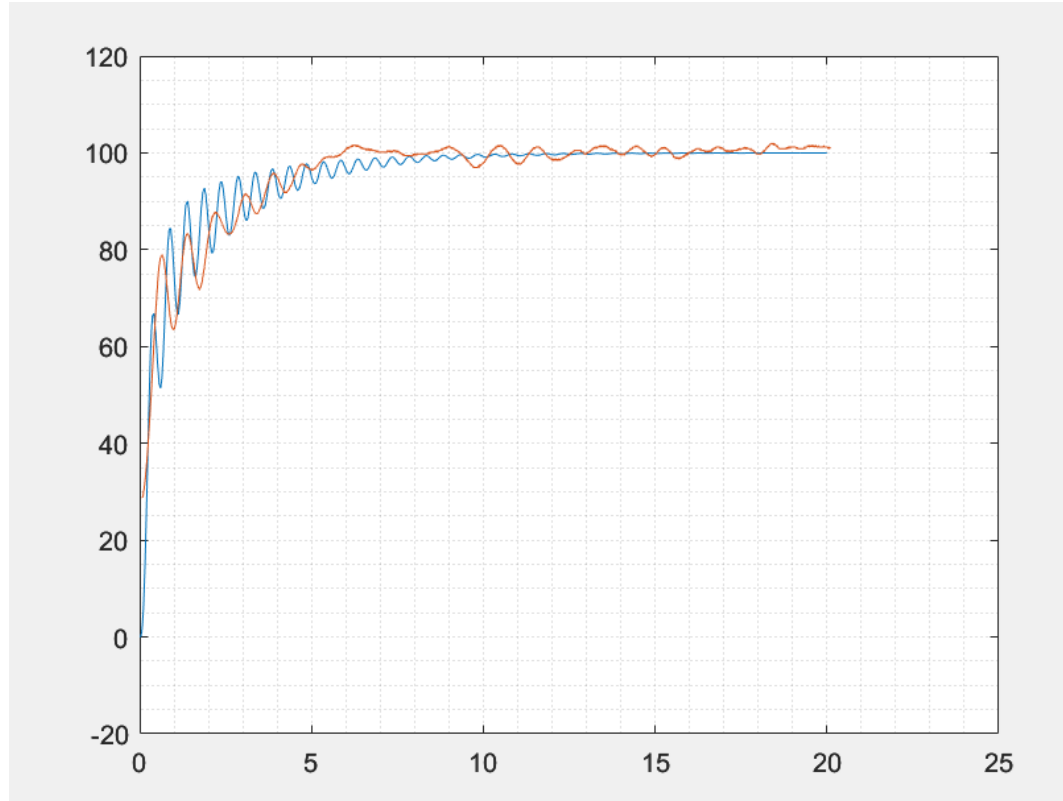
ANÁLISIS

Desempeño en seguimiento (a 80 deg)

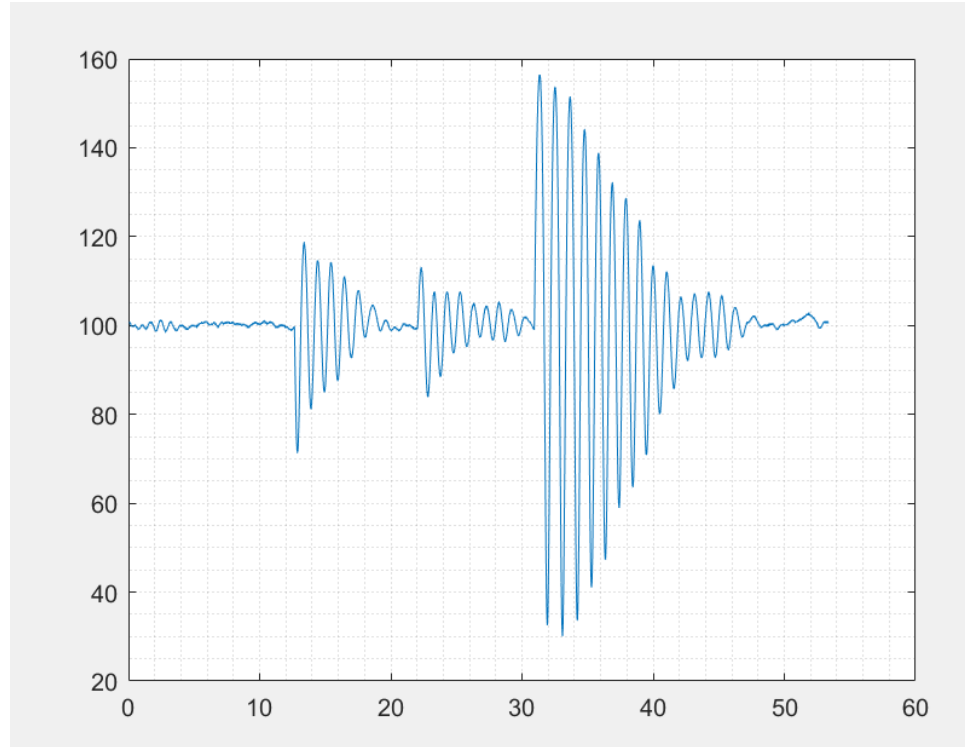


ANÁLISIS

Desempeño en seguimiento (a 100 deg)



Rechazo a perturbaciones (a 100 deg)



Análisis y conclusiones

Pruebas de seguimiento: Oscila menos que la simulación pero tiene error de posición pequeño. Para el ángulo objetivo menos oscilaciones

Rechazo a perturbaciones: Fallos en repetibilidad de las perturbaciones pero buen desempeño.

La planta tiene buen desempeño siguiendo referencias y soporta perturbaciones tipo impulso.