



ZTF-FCT

Zientzia eta Teknologia Fakultatea  
Facultad de Ciencia y Tecnología

eman ta zabal zazu

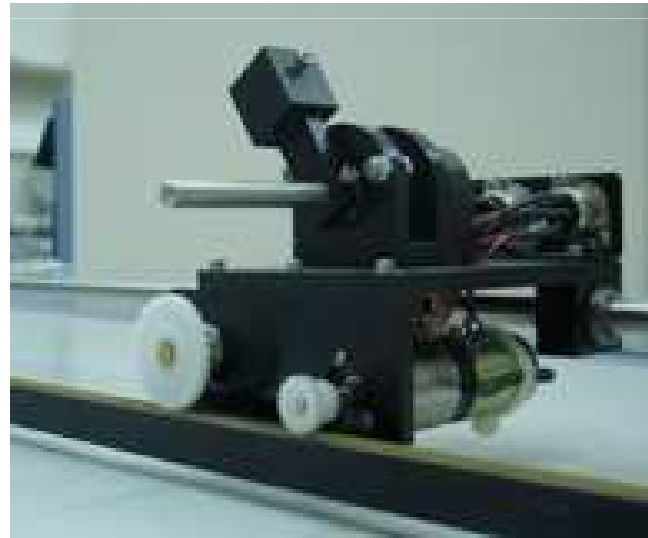


Universidad  
del País Vasco

Euskal Herriko  
Unibertsitatea

# CONTROL DIGITAL DE POSICIÓN DE UN VEHÍCULO

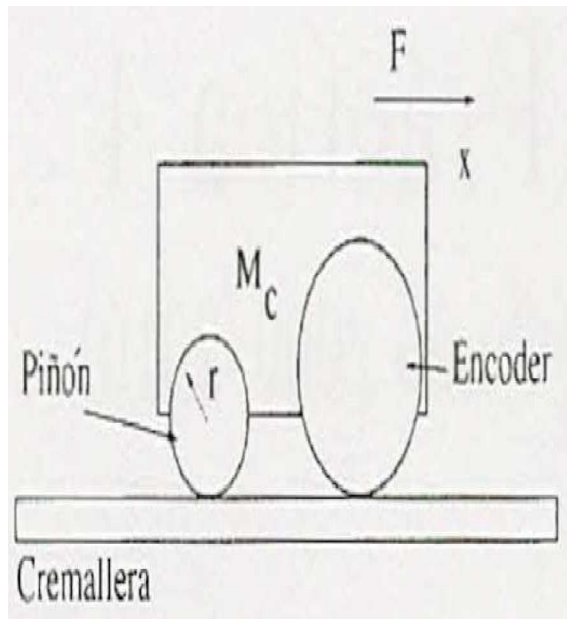
---





# MODELADO

## “Linear Motion Servo Plant IP-02” QUANSER



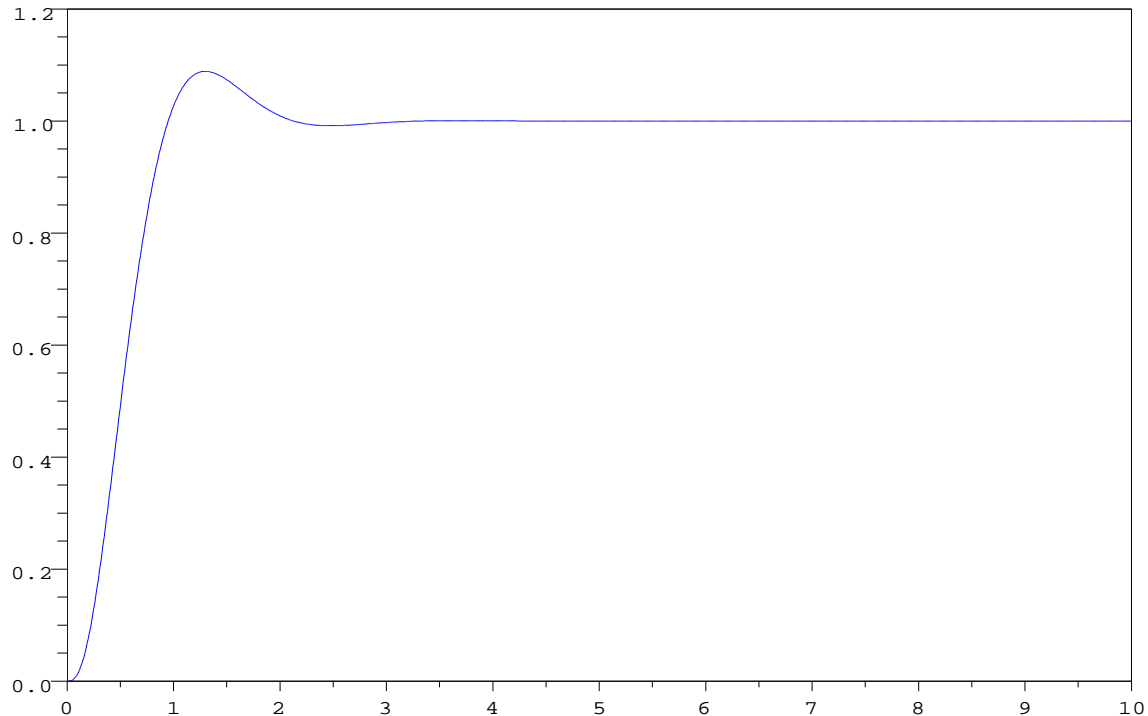
- $K_b = 1.905 \text{mV/rpm} = 0.01819 \text{V}/(\text{rad}/\text{sg})$
- $R = 5\Omega, L = 0.18 \text{mH}, M_c = 0.822 \text{kg}, r = 0.00635 \text{m}$
- $B = 0 \text{ oz.in.sg}$
- $K_m = 2.57 \text{ oz.in/A} = 0.018147 \text{ N/A}$   
(ya que la relación de fuerza es 1 onza = 0.278N)
- $J_m = 0.552 \cdot 10^{-4} \text{ oz.in.s}^2 + M_c \cdot (r/3.71)^2 = 28 \cdot 10^{-7} \text{ N.m.s}^2$   
(Ya que el piñón está colocado en un eje secundario y la relación de engranajes es 1:3.71)



# ESPECIFICACIONES

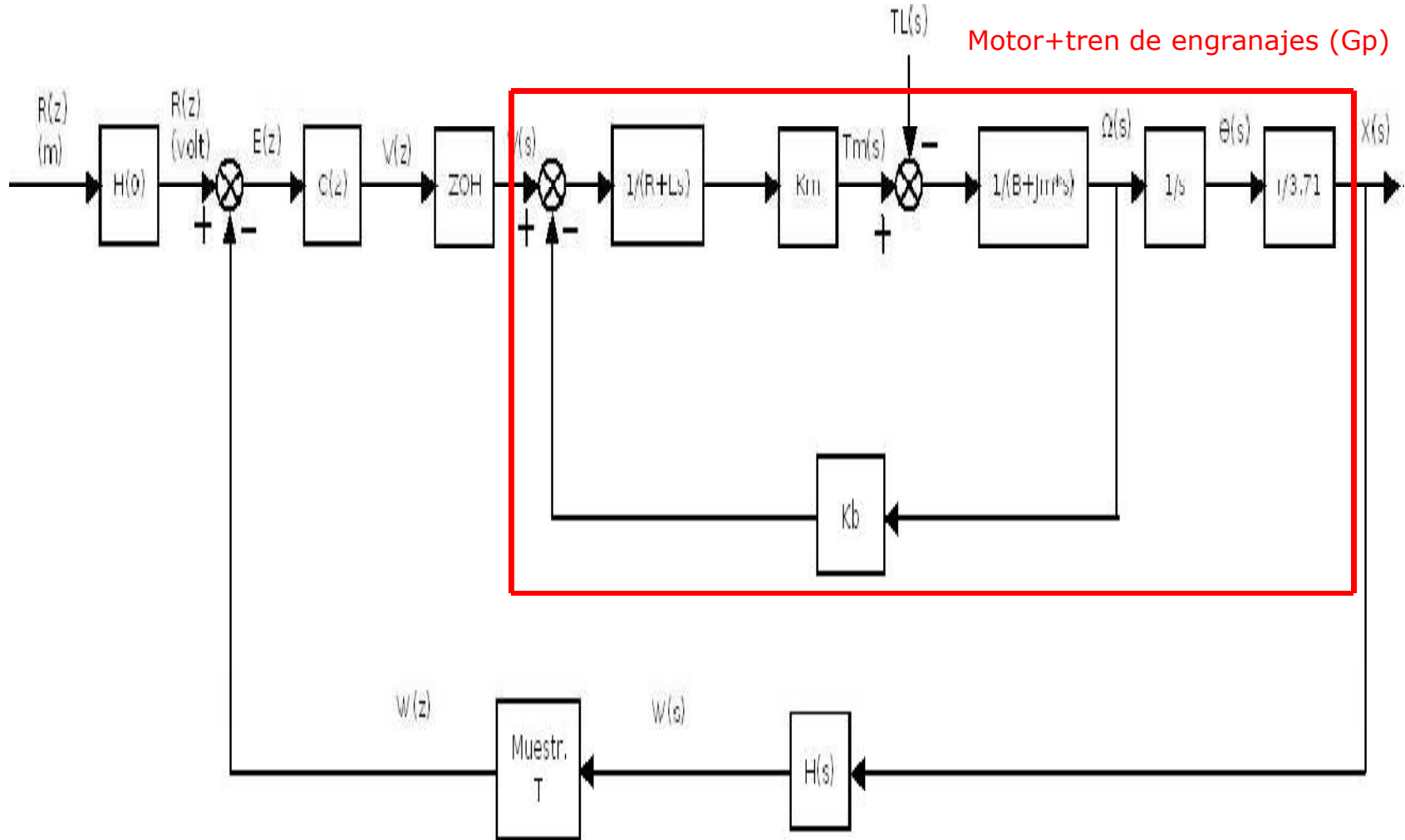
## Entrada escalón unitario

- 1. Tiempo de pico :  $T_1 = 0.25\text{sg}$
- 2. Rebose :  $\%R = 5\%$





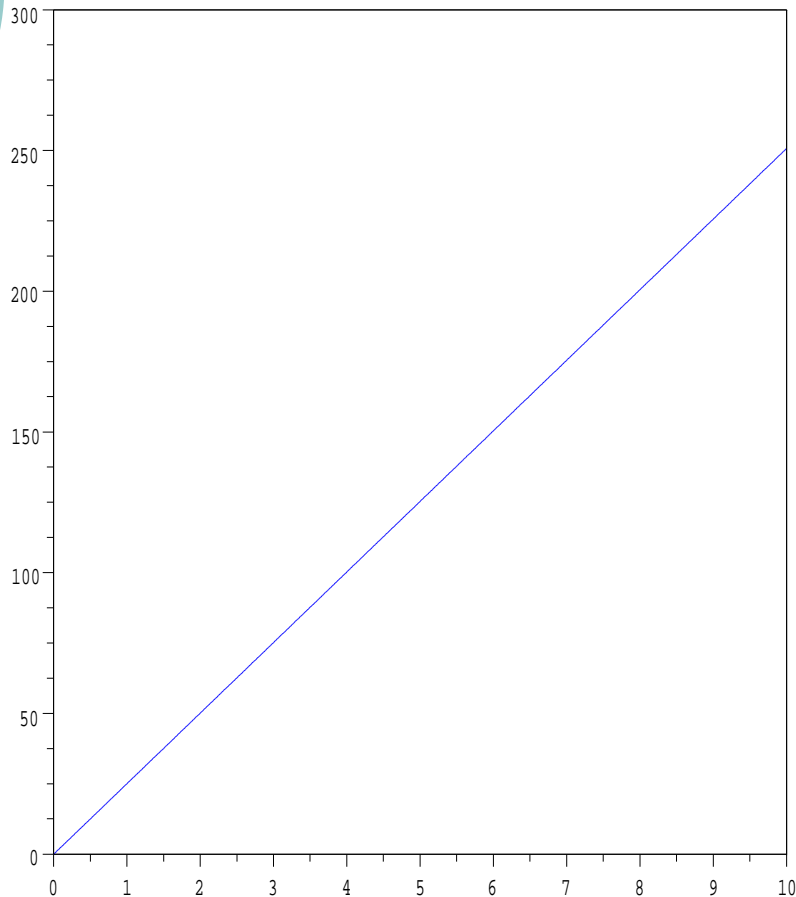
# ANÁLISIS – Diagrama de bloques



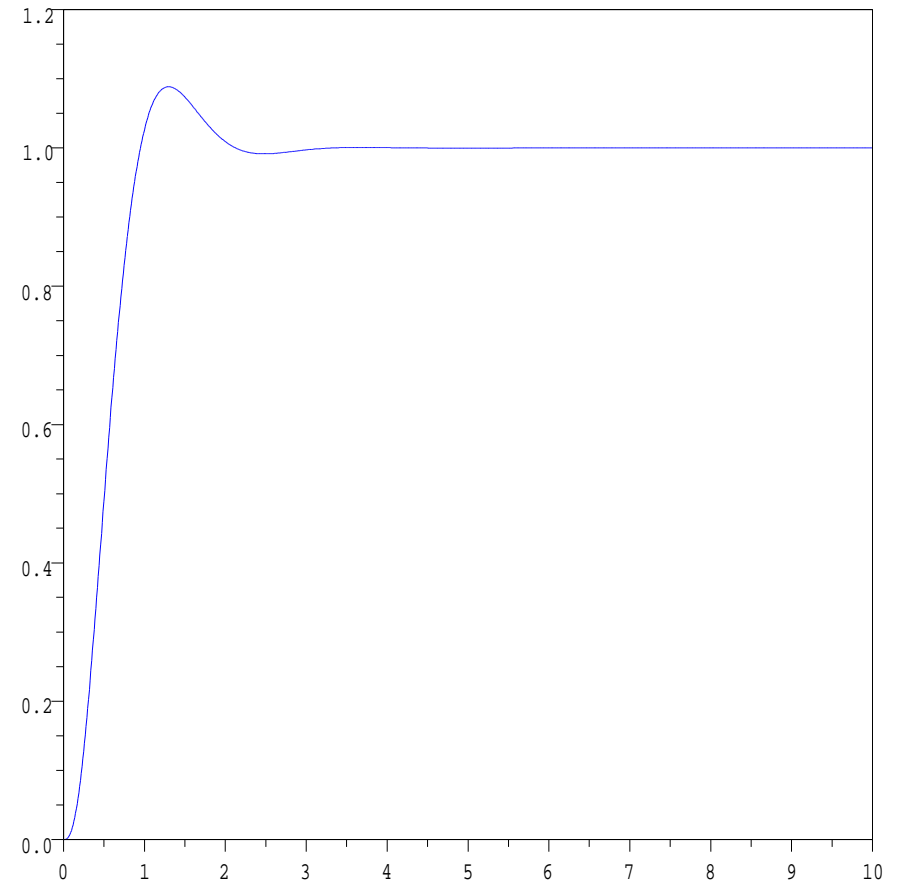


# EJEMPLO - Realimentación

## Lazo Abierto



## Lazo cerrado





# ANÁLISIS – Función de transferencia

---

## ○ FT de la planta :

- No perturbaciones  $\rightarrow T_L = 0$
- Modelo matemático lineal  $\rightarrow L = B = 0$

$$G_p(s) = X(s)/V(s) = G_m(s) * G_t(s)$$

Donde

$$G_m(s) = \theta(s)/V(s) = \\ = 0.018147/s(0.000014s + 0.0003301)$$

$$G_t(s) = r/3.71$$

$$\mathbf{G_p(s) = 2.22 / (s^2 + 23.58s)}$$



# ANÁLISIS – Función de transferencia

---

- FT del sistema completo:

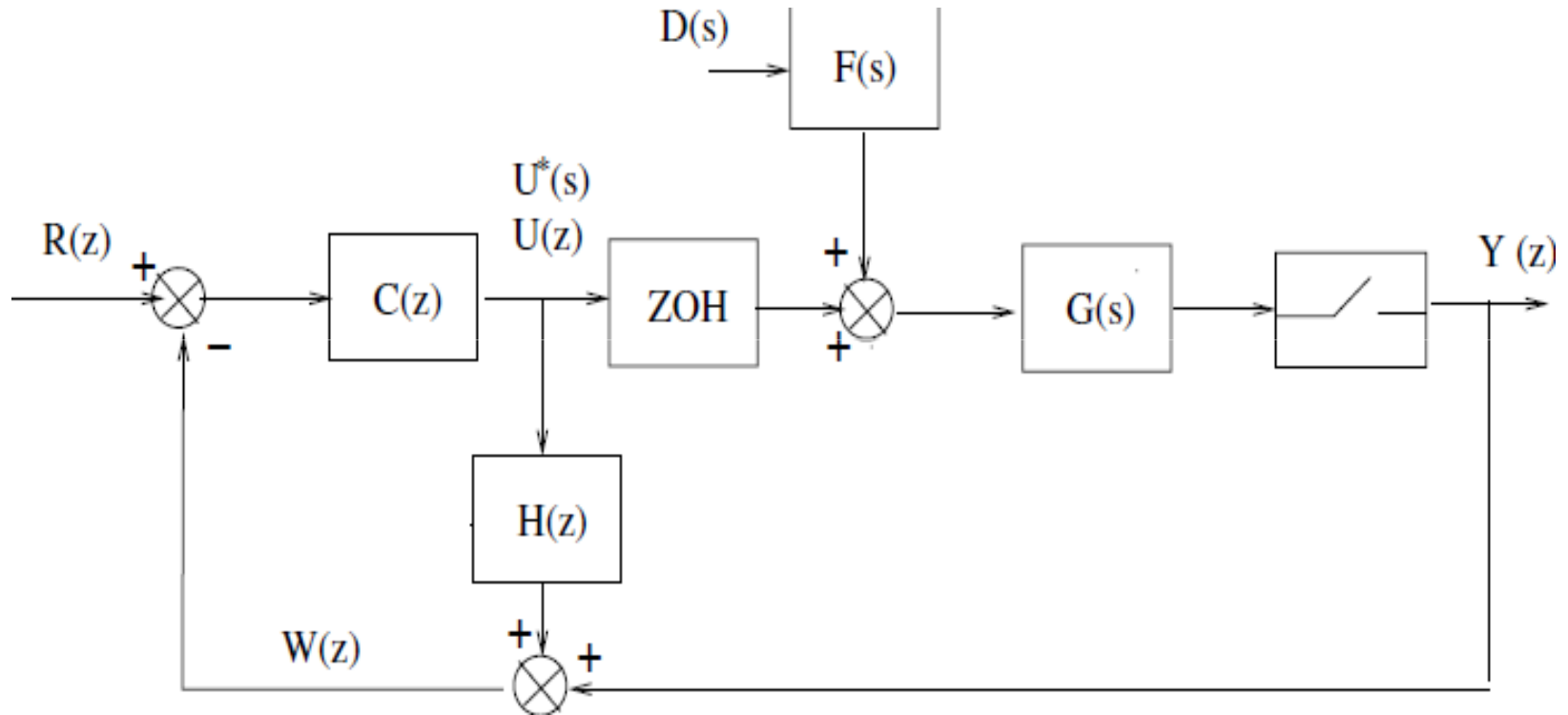
$$\begin{aligned}\mathbf{G}_{LC}(\mathbf{z}) &= X(z)/R(z) = \\ &= \mathbf{C}(z) * G_p(z) / (1 + \mathbf{C}(z) * HG_p(z))\end{aligned}$$

- Métodos:

- $G_p(z) = (1 - z^{-1}) * Z[G_p(s)/s]$
- $HG_p(z) = (1 - z^{-1}) * Z[G_p(s) * H(s)/s]$



# EJEMPLO – Función de transferencia



$$Y(z) = \frac{C(z) * G(z)}{1 + (H(z) + G(z)) * C(z)} * R(z) + \frac{1 + H(z) * C(z)}{1 + (H(z) + G(z)) * C(z)} * GFD(z)$$





# ANÁLISIS – Periodo de muestreo

---

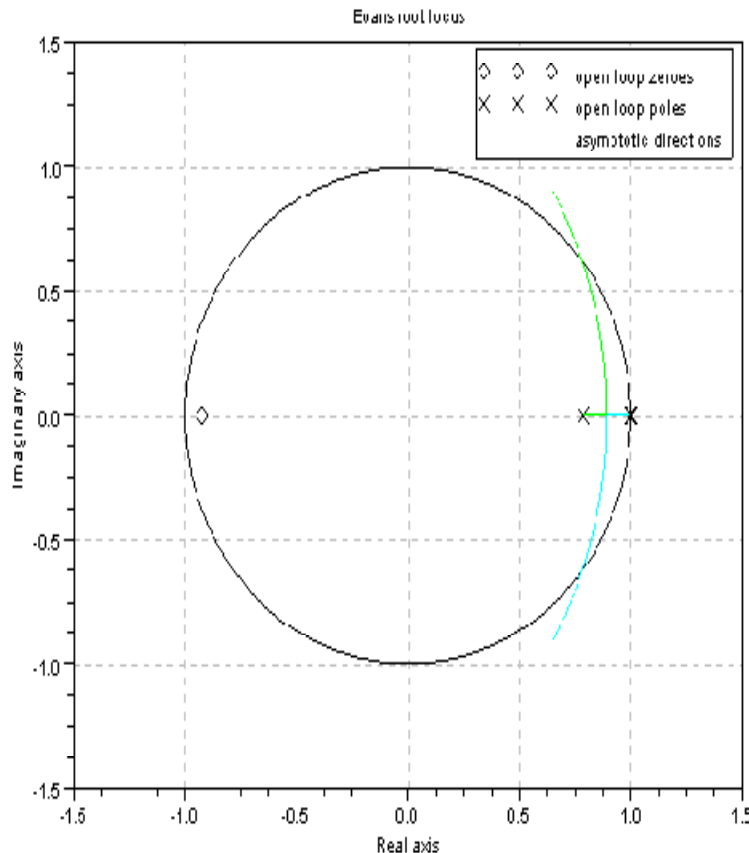
- $T = T_1 / 14 = 0.0178\text{sg}$ 
  - $T > 0.0178\text{sg} \rightarrow$  Perdemos información
  - Elección:  **$T = 0.01\text{sg}$**



# ANÁLISIS – Rango de estabilidad

Lugar de las Raíces

$$1 + k * G_p(z) = 0$$



- $K > 22.43$   
INESTABLE
- $K \leq 22.43$   
ESTABLE
- $K$  muy pequeña  
ZONA MUERTA

**$K = 10$**



# ANÁLISIS

---

## ○ VALIDACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO:

Respuesta  $\sim$  Respuesta  
Modelo simulado  $\sim$  Modelo real





# DISEÑO

---

## ○ Especificaciones:

- $\%R = 100 * \exp(-\delta\pi / \sqrt{1-\delta^2})$
- $T_1 = \pi / (\omega_n * \sqrt{1-\delta^2})$

## ○ Ecuación 2º orden:

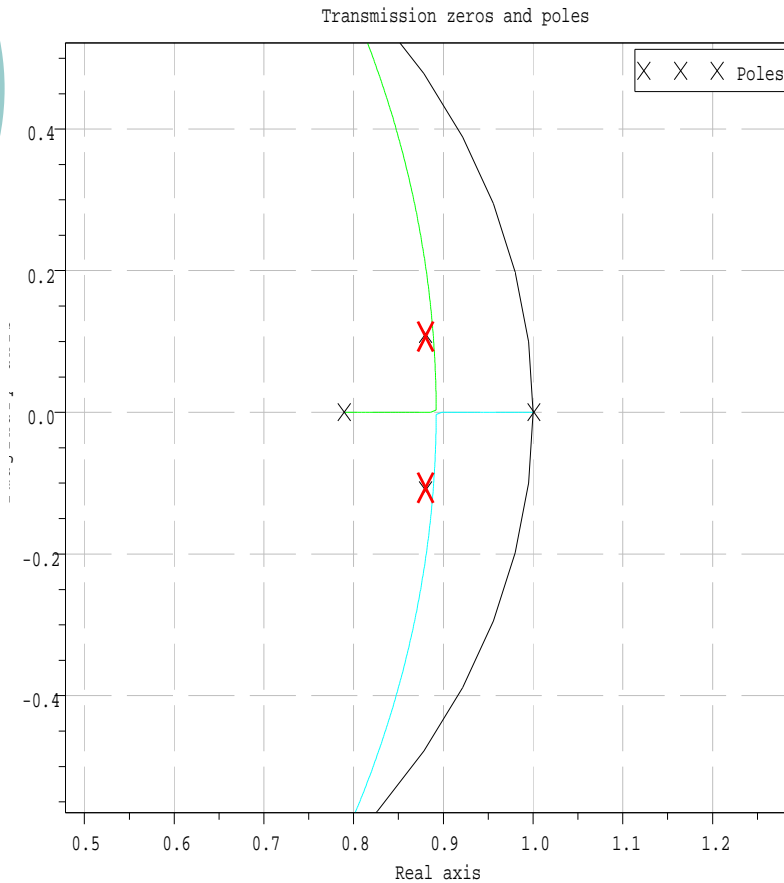
- $G(s) = \omega_n / (s^2 + 2\delta\omega_n s + \omega_n^2)$

## ○ Polos deseados:

- $P_{s_{1,2}} = -11.9829 \pm j12.5663$
- $P_{z_{1,2}} = \exp(T * P_{s_{1,2}}) = 0.8801 \pm j0.1112$



# DISEÑO-Lugar de las Raíces



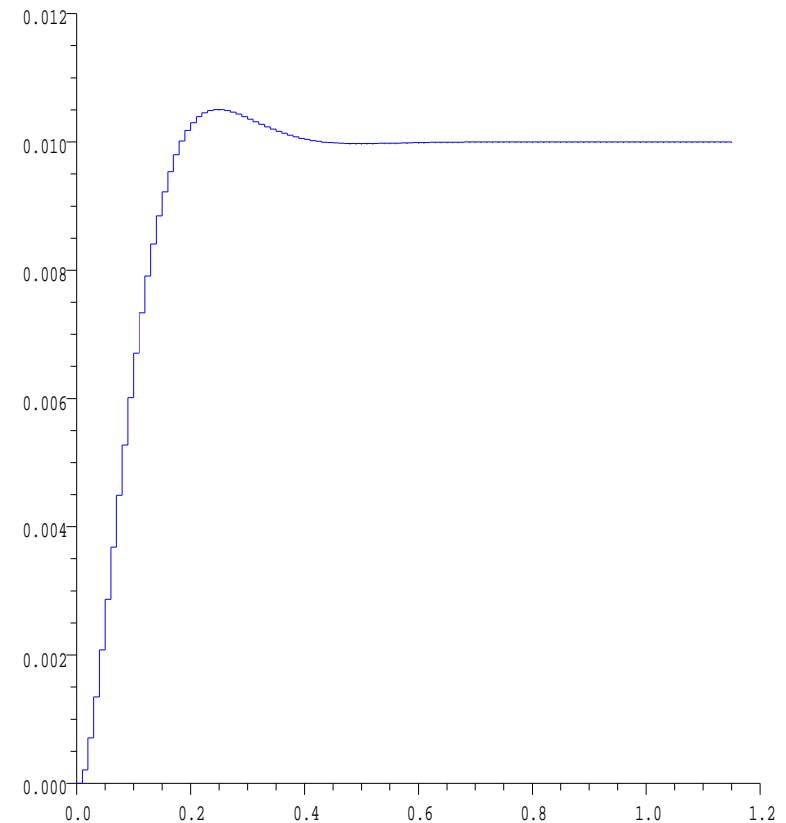
- ✗ **Control proporcional:**  
 $C(z)=k$
- ✓ **Control derivativo:**  
 $C(z)=k*(z+a)$
- ✗ **Control filtro pasa-bajo:**  
 $C(z)=k/(z+\beta)$
- ✓ **Red de compensación:**  
 $C(z)=k*(z+a)/(z+\beta)$



# Control derivativo - PD

- $C(z) = k * (z + a) / z$
- Condición del módulo:  
 $K = 1 / |C(z) * G(z)|_{z=pz}$
- Condición del argumento:  
 $\text{Arg} |(C(z) * G(z))|_{z=pz} = -\pi$

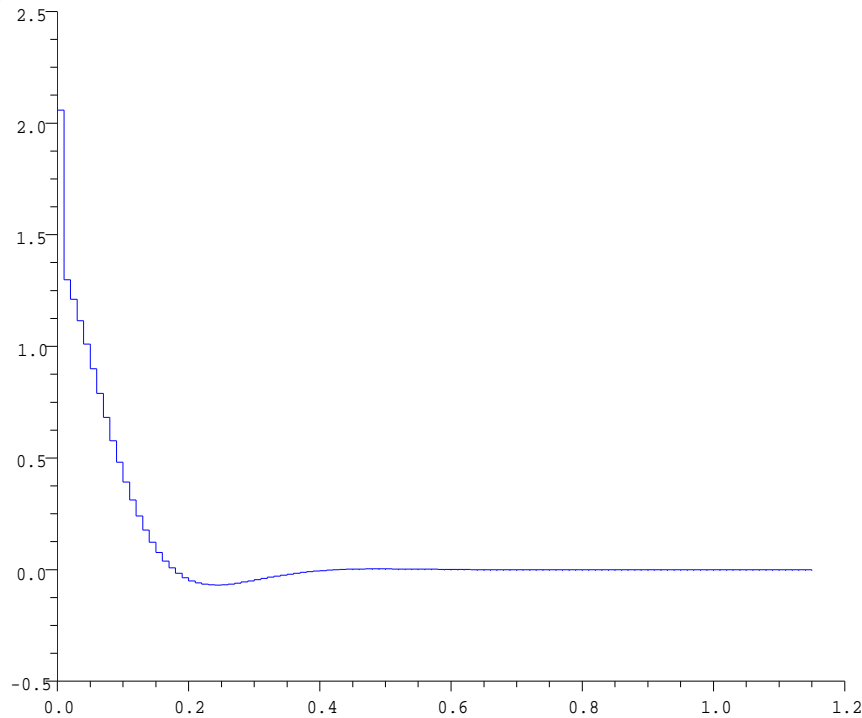
$$C(z) = 2.060 * (z - 0.348) / z$$



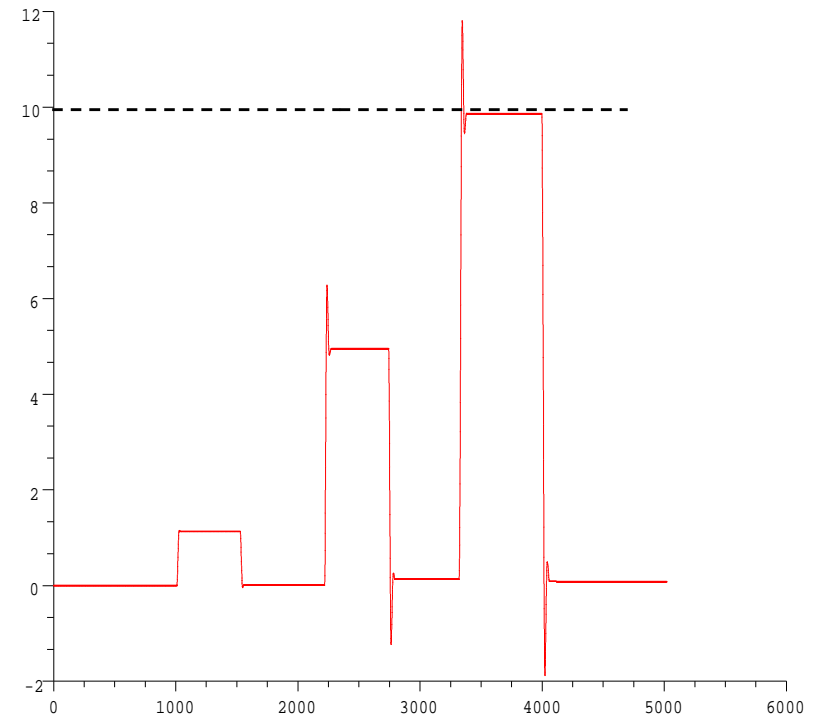


# Control derivativo - PD

- Señal de control:  
 $G(z) = U(z)/R(z)$



- Respuesta del sistema real:





# DISEÑO - Frecuencial

---

## ○ Especificaciones:

### ● Error en permanente:

○  $Ess = 0.01 \rightarrow k_v = \lim_{s \rightarrow 0} s * G(s) * H(s) = 1/Ess$

**$K \sim 10$**

### ● Margen de fase:

○ MF↑↑ : Estabilidad✓ + Velocidad✗

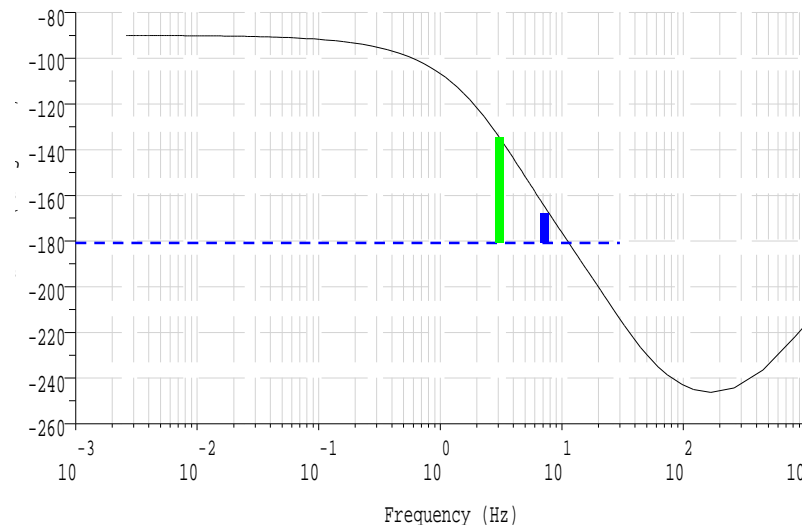
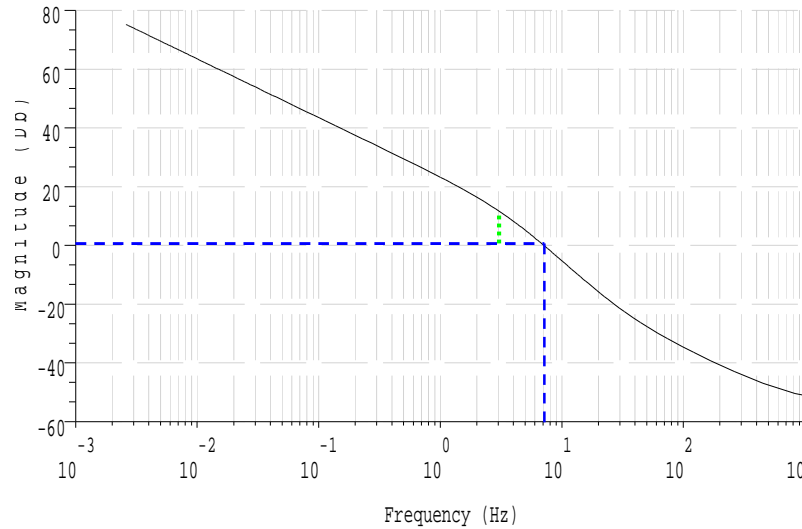
○ MF↓↓ : Estabilidad✗ + Velocidad✓

**$MF = 45^\circ$**





# DISEÑO – Diagrama de Bode



$$f_{GC} = 7\text{Hz}$$

$$MF = 15^\circ$$

$$X = 14^\circ$$

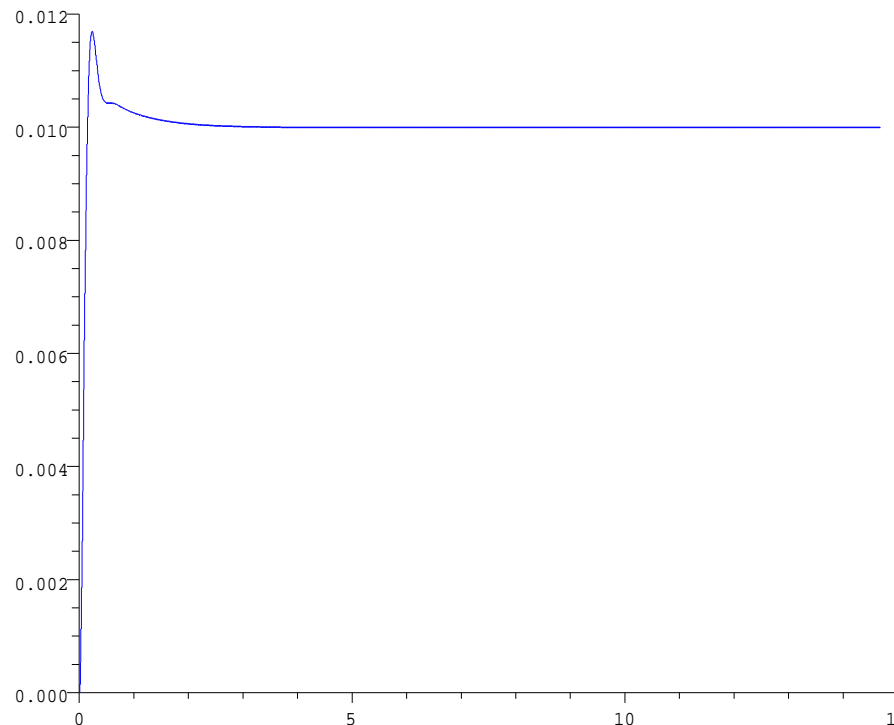
$$f_{GC}' = 2\text{Hz}$$





# DISEÑO – Red de Atraso

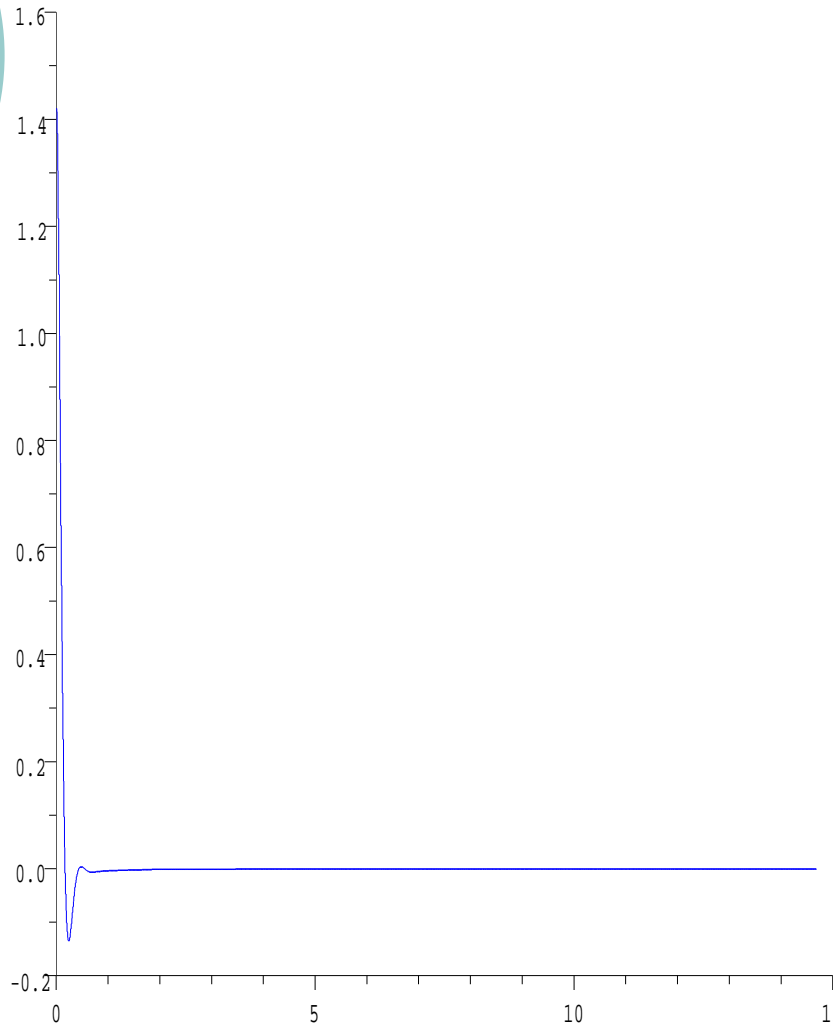
- $C(w) = (1 + a * T_a * w) / (1 + T_a * w)$ 
  - $a = 10^{(x/20)}$
  - $T_a = 10 / (a * f_{gc}')$
- $C(z) = 1.42 * (z - 0.9875) / (z - 0.9982)$



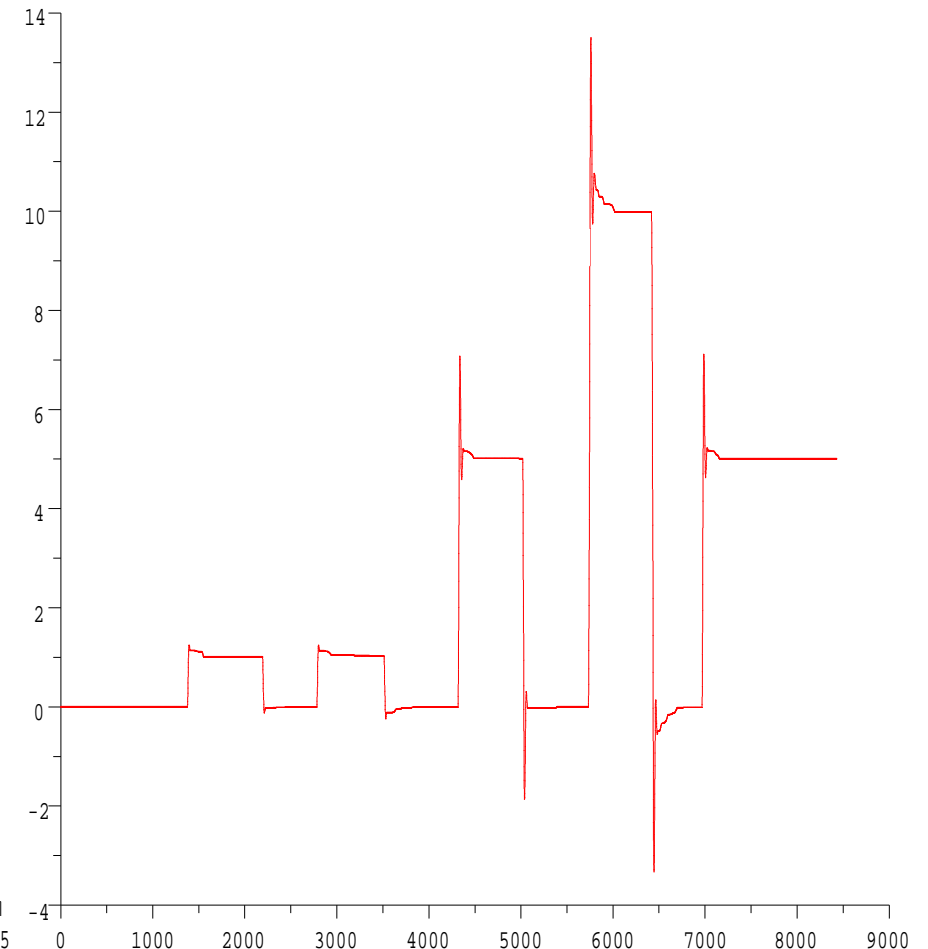


# DISEÑO – Red de Atraso

## Señal de control



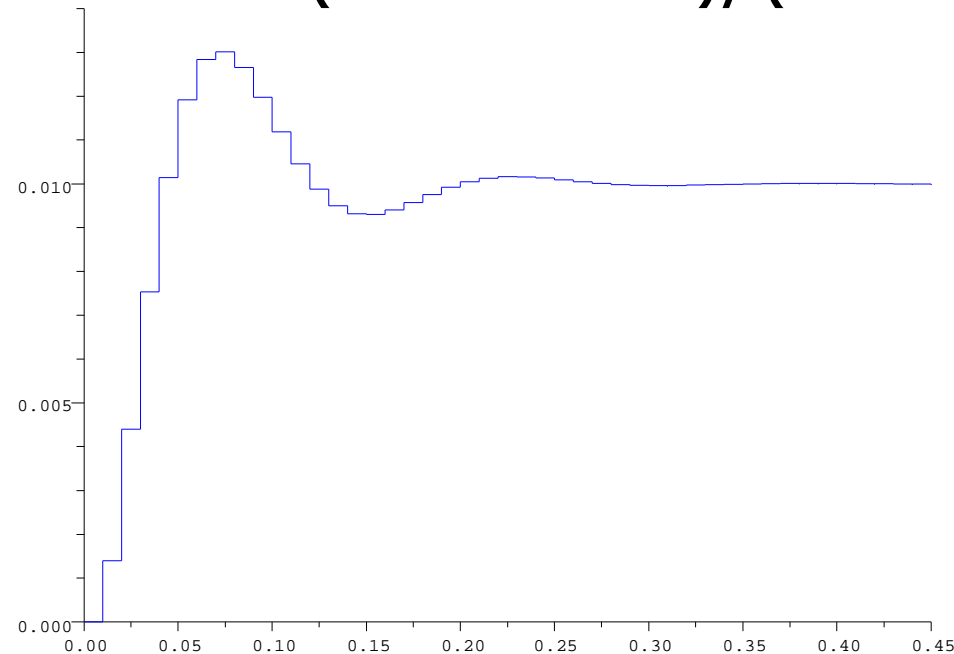
## Respuesta del sistema real





## Red de Adelanto “Modificada”

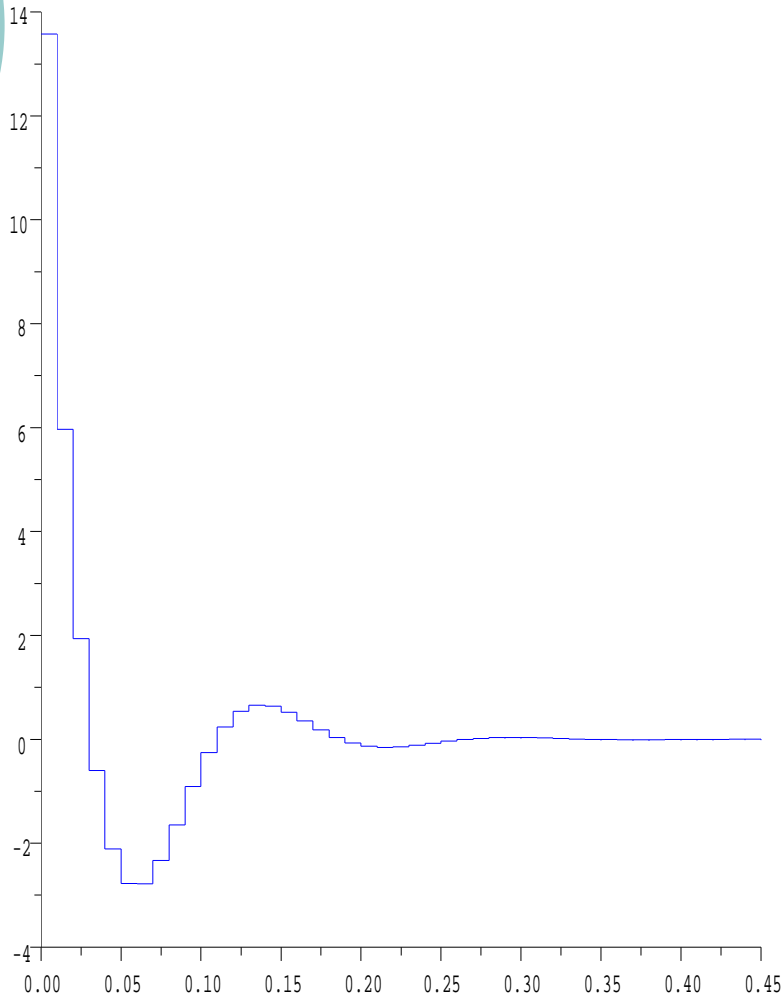
- $C(w) = (1 + b * T_b * w) / (1 + T_b * w)$ 
  - $\varphi_m = 45^\circ - 15^\circ = 30^\circ$
  - $b = (1 + \sin \varphi_m) / (1 - \sin \varphi_m)$
  - $T_b = 1 / (\sqrt{b} * \omega_{GC}')$
- $C(z) = 13.58 * (z - 0.5518) / (z - 0.13058)$



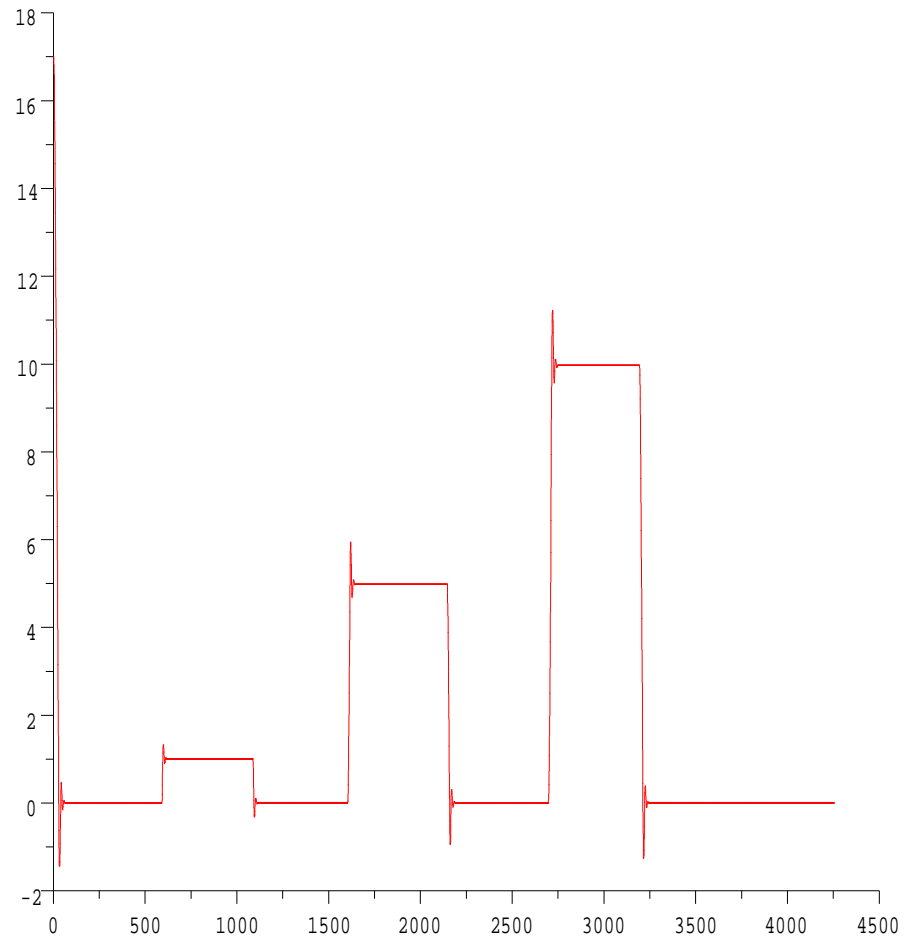


# DISEÑO – Red de Adelanto

## Señal de control



## Respuesta del sistema real





# CONCLUSIONES

---

- No linealidades -> **K** predeterminada
- Lugar de las Raíces
  - ✓ Especificaciones deseadas
  - × Zona muerta
- Métodos frecuenciales
  - ✓ Zona muerta
  - ✓ Especificaciones deseadas
  - RED de ATRASO
    - × Velocidad ↓
    - ✓ Oscilaciones ↓
  - RED de ADELANTO "Modificada"
    - ✓ Velocidad ↑
    - × Oscilaciones ↑
    - × Señal de control ↑



ZTF-FCT  
Zientzia eta Teknologia Fakultatea  
Facultad de Ciencia y Tecnología

eman ta zabal zazu



Universidad del País Vasco  
Euskal Herriko Unibertsitatea

# Ruegos y Preguntas

---

