

---

# Plataforma para la generación de ejercicios prácticos de diseño de controladores PID



Carlos Sánchez Cazorla, Fabio Gómez-Estern

Universidad Loyola Andalucía

David Muñoz de la Peña

Universidad de Sevilla

# Evaluación automática

---

Fomentar el trabajo práctico del alumno / comunicación con el profesor

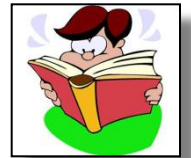


# Evaluación automática

---

## Ventajas de la evaluación automática

- Gestionar grupos de muchos alumnos
- Precisión a la hora de evaluar
- Reutilizar ejercicios



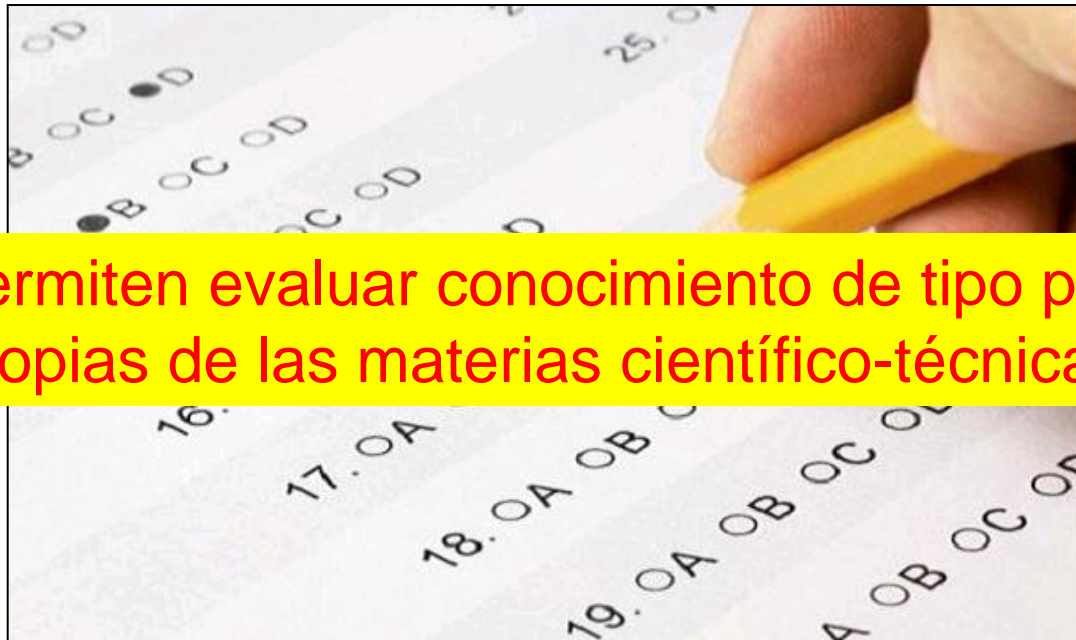
## Desventajas de la evaluación automática

- Trabajo de diseño
- Evaluación cuantitativa, no cualitativa

# Evaluación automática

---

- **Herramientas de evaluación disponibles**
  - Exámenes de respuesta múltiple (diferentes variantes)
  - Moodle, Blackboard, páginas web dedicadas
  - Respuesta única, campo de texto, algebra simple...



**¡No permiten evaluar conocimiento de tipo práctico propias de las materias científico-técnicas!**

# Doctus

---



Doctus

Profesor

Alumno

# Doctus

---

- Herramienta de recogida, almacenamiento y evaluación de ejercicios
  - La primera versión fue desarrollada en 2007
- Evaluación automática basada en un modelo de caja negra en la que la respuesta del alumno se interpreta como código
  - Ejercicios personalizados para cada alumno con soluciones basadas en complejos cálculos matemáticos
    - Simulaciones usando Matlab, Simulink y EJS
  - Ejercicios de programación en varios lenguajes
    - Matlab, C, Java, Excel

# Doctus

- Alojamiento en una nueva máquina virtual

- Windows 2012 Server 64 bits

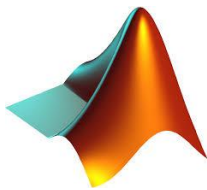
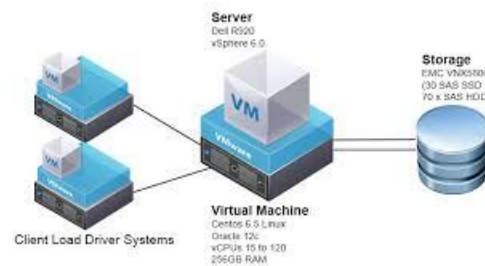
- XAMP

- PHP

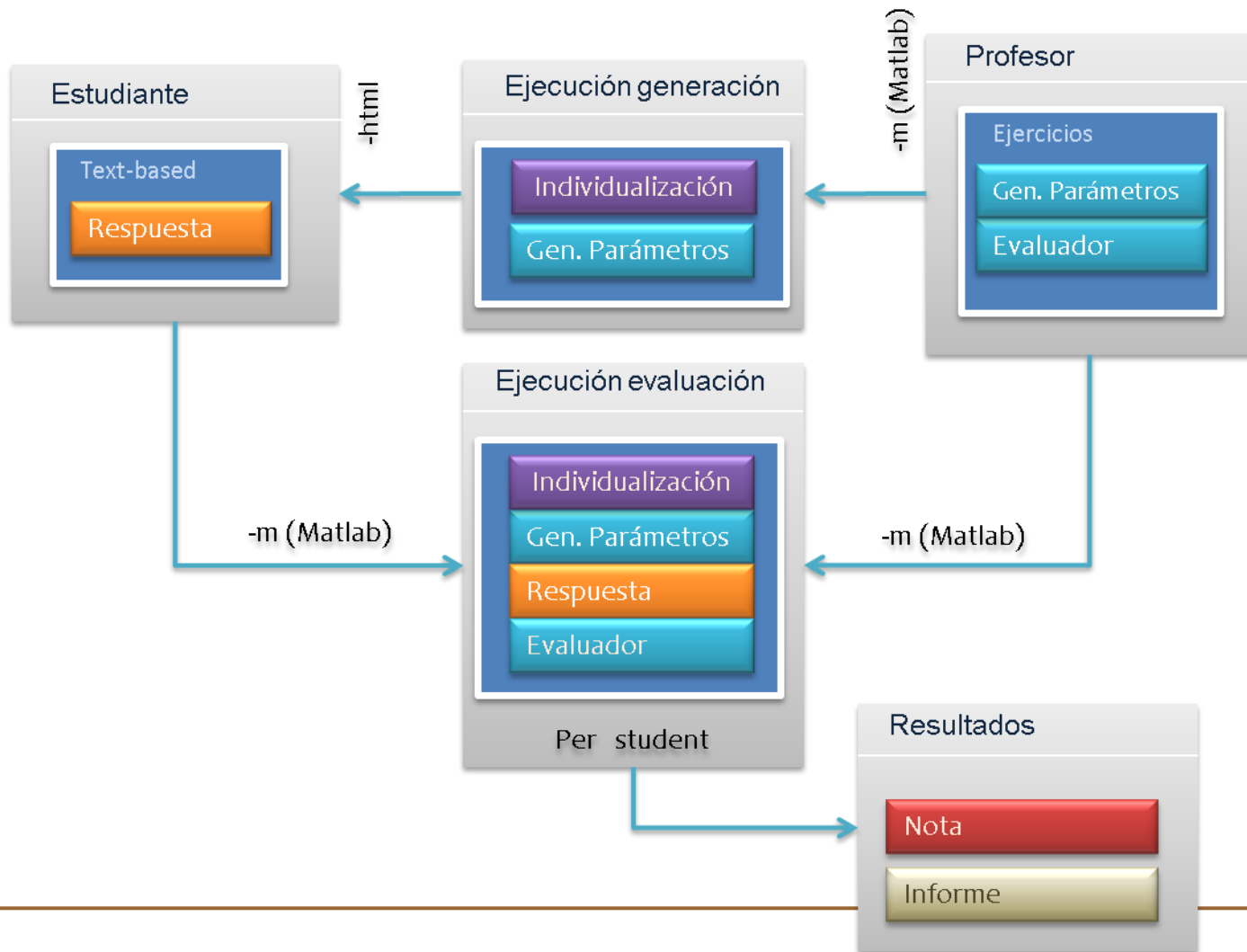
- Apache

- SQL

- Laravel



# Doctus





# Ejemplo de ejercicio

---

Calcule las raíces de la ecuación  $a*x^2 + b*x + c = 0$ .

```
r1= 0+0*j;  
r2= 0+0*j;
```

} Entrega del alumno

```
s1 = (-b-sqrt(b^2-4*a*c))/(2*a);  
s2 = (-b+sqrt(b^2-4*a*c))/(2*a);
```

} Solución correcta

```
if abs(r1-s1)<0.0001&&abs(r2-s2)<0.0001  
    nota=10;  
elseif abs(r1-s2)<0.0001&&abs(r2-s1)<0.0001  
    nota=10;  
else  
    nota=0;  
end
```

} Comparación

} Cálculo de la nota

# Ejemplo de ejercicio

---

Generar un enunciado personalizado que tenga como raíces los dos primeros dígitos del DNI más uno

```
s1 = 1+str2num(dni(1));  
s2 = 1+str2num(dni(2));
```

} Solución correcta

```
a = 1;  
b = -s1-s2;  
c = s1*s2;
```

} Parámetros correspondientes

# Ejemplo de ejercicio

---

## Enunciado

Calcule las raíces de la ecuación  $a \cdot x^2 + b \cdot x + c = 0$  donde  $a$ ,  $b$  y  $c$  son:

Parámetros personalizados

$a=1$

$b=-10$

$c=9$

Generar un enunciado personalizado que tenga como raíces los dos primeros dígitos del DNI más uno

Dni

80071067

## Enunciado

Calcule las raíces de la ecuación  $a \cdot x^2 + b \cdot x + c = 0$  donde  $a$ ,  $b$  y  $c$  son:

Parámetros personalizados

$a=1$

$b=-5$

$c=6$

Dni

1234

# Ejemplo de ejercicio

Editar: Solución de una ecuación de segundo grado Matlab

General

Evaluador

Opciones

Variables iniciales

Plantilla

```
r1= 0+0*i;  
r2= 0+0*i;
```

Evaluador

```
s1 = 1+str2num(dni(1));  
s2 = 1+str2num(dni(2));  
  
if abs(r1-s1)<0.0001 && abs(r2-s2)<0.0001  
    nota=10;  
elseif abs(r1-s2)<0.0001 && abs(r2-s1)<0.0001  
    nota=10;  
else  
    nota=0;  
end
```

Fichero de utilidades (ZIP)

Examinar...

No se ha seleccionado ningún archivo.

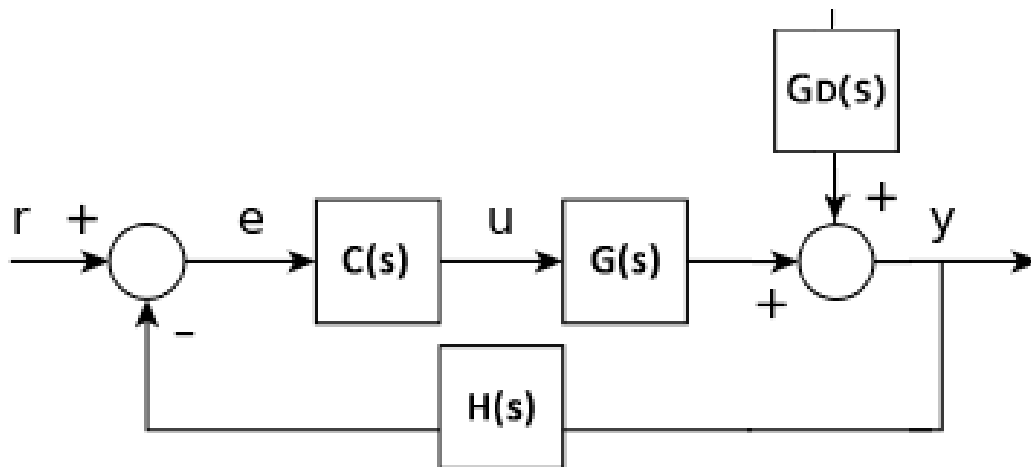
Generador de enunciado

```
s1 = 1+str2num(dni(1));  
s2 = 1+str2num(dni(2));  
  
a = 1;  
b = -s1-s2;  
c = s1*s2;  
  
htmlautowording = 'Parámetros personalizados <br>';  
htmlautowording= strcat(htmlautowording,sprintf('a=%d<br>  
<br>r>',a));  
htmlautowording= strcat(htmlautowording,sprintf('b=%d<br>  
<br>r>',b));
```

# Problema básico de control

---

- **Diseño de controladores para sistemas lineales**
  - PID, redes de compensación, controladores genéricos
  - Evaluación basada en especificaciones
    - Simulación del sistema con la respuesta del alumno
    - Especificaciones de control



---

## Especificación

Sobreoscilación  
Tiempo de subida  
Tiempo de establecimiento  
Frecuencia de corte  
Margen de fase  
Margen de ganancia  
Error en posición  
Error en velocidad  
Error en posición

---

# Ejercicios individualizados

---

- **Cálculo de los parámetros de un problema a partir del DNI**
  - Garantizar que todos los problemas tienen solución
  - Garantizar que todos los problemas tienen una dificultad similar
- **Parámetros que definen el problema**
  - $G(s)$ ,  $G_d(s)$ , especificaciones
- **Escalado temporal y de la ganancia de un problema**
  - Problema base definido por  $G_b(s)$ ,  $G_{db}(s)$  y un conjunto de especificaciones
  - Solución conocida  $C_b(s)$

# Ejercicios individualizados

---

- Escalado temporal y de la ganancia de un problema

$$G(s) = A \cdot G_b(\tau s)$$

- Solución del problema

$$C(s) = C_b(\tau s)/A$$

- Parámetros nuevos manteniendo la naturaleza del problema

# Ejercicios individualizados

---

<b>Especificación</b>	<b>Base</b>	<b>Escalada</b>
Sobreoscilación	So	So
Tiempo de subida	Ts	$ts*\tau$
Tiempo de establecimiento	Te	$te*\tau$
Frecuencia de corte	Wc	$wc/\tau$
Margen de fase	Mf	Mf
Margen de ganancia	Mg	Mg
Error en posición	Erp	Erp
Error en velocidad	Erv	$erv*\tau$
Error en aceleración	Erv	$erv*\tau^2$



# Ejercicios individualizados

---

- **Ejemplo**

- Función de transferencia base

- Especificaciones

- Sobreoscilación menor del 30%
- Tiempo de subida menor de 0.3s

- Controlador solución PD

- $T_d = 0.3$
- $K_p = 60$

Zero/pole/gain:

2

-----  
(s+0.1) (s+1) (s+10)

Transfer function:

18 s + 60

# Ejercicios individualizados

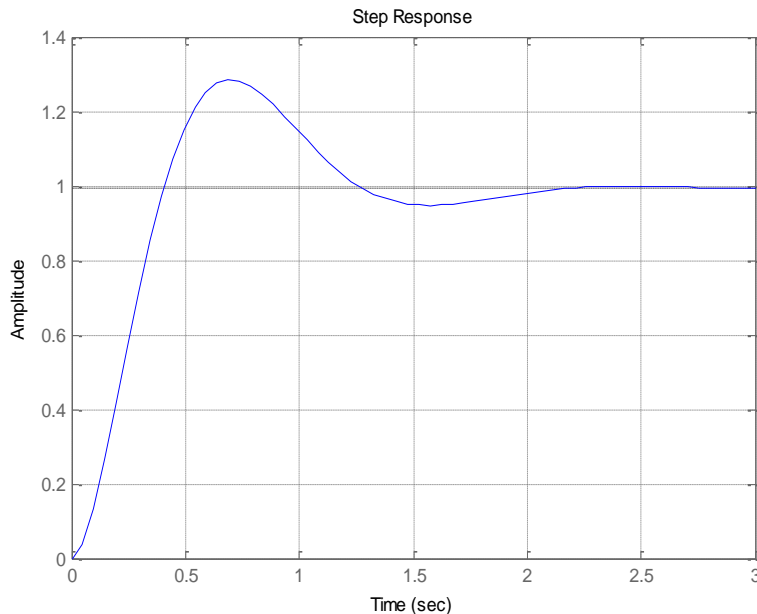
- **Ejemplo**

– Sistema en bucle cerrado Zero/pole/gain:

$$36 (s+3.333)$$

---

$$(s+6.787) (s^2 + 4.313s + 17.83)$$



Parámetro	Valor
Sobreoscilación	28.87
T. Subida	0.2948
T. Establecimiento	1.1302
Frecuencia de corte	4.1466
Margen de fase	43.6235

# Ejercicios individualizados

---

- **Ejemplo**

- $A = 0.5$ ,  $\tau = 2$      $G(s) = A \cdot G_b(\tau s)$

- Especificaciones

- Sobreoscilación menor del 30%
    - Tiempo de subida menor de **0.6s**

- Controlador solución PD

$$C(s) = C_b(\tau s)/A$$

Controlador solución PD

$$T_d = \mathbf{0.6}$$

$$K_p = \mathbf{120}$$

Zero/pole/gain:

0.125

-----  
(s+0.05) (s+0.5) (s+5)

Transfer function:

72 s + 120

# Ejercicios individualizados

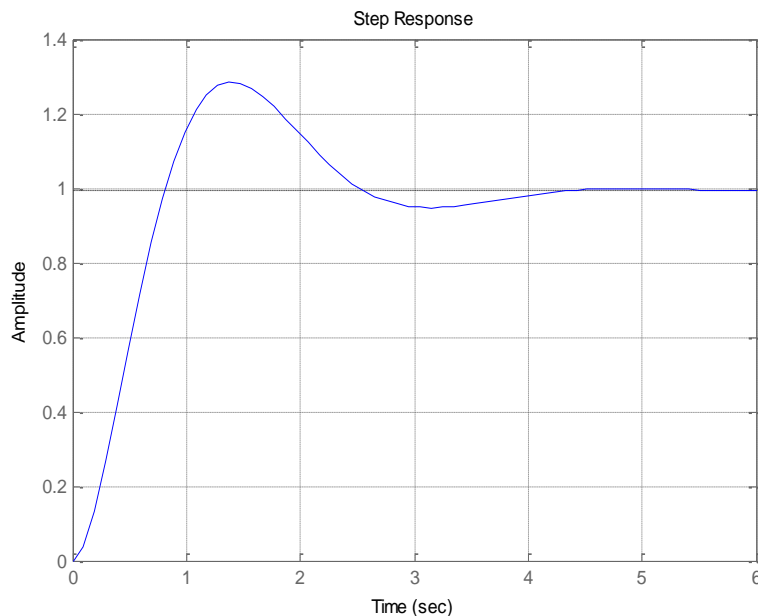
- **Ejemplo**

– Sistema en bucle cerrado Zero/pole/gain:

$$9 (s+1.667)$$

---

$$(s+3.394) (s^2 + 2.156s + 4.457)$$

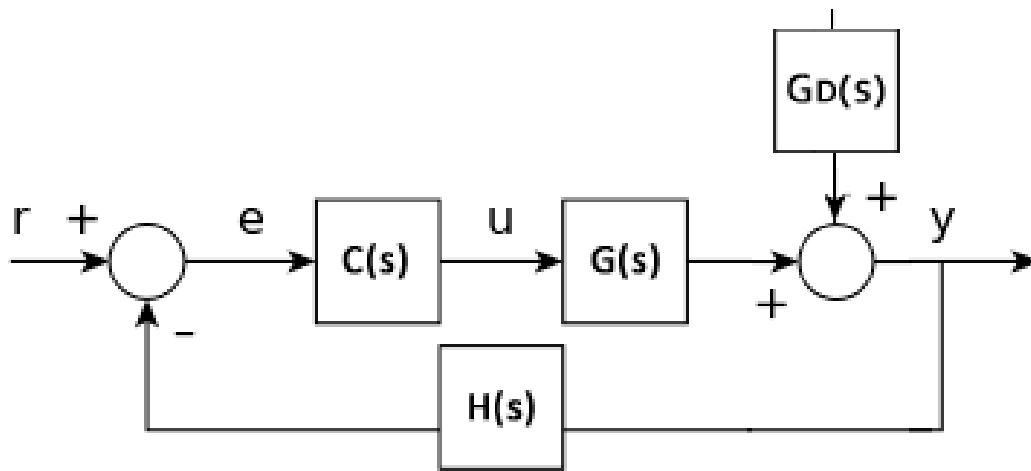


Parámetro	Valor
Sobreoscilación	28.87
T. Subida	0.5897
T. Establecimiento	2.2604
Frecuencia de corte	2.0733
Margen de fase	43.6235

# Generación automática

- Interfaz de ayuda al profesor

- Genera de forma automática el código Matlab para
  - Crear enunciados individualizados a partir del DNI
  - Evaluar de forma automática los resultados del alumno
- No es necesario ningún conocimiento de Matlab
  - Definir el problema de control base



## Especificación

Sobreoscilación  
Tiempo de subida  
Tiempo de establecimiento  
Frecuencia de corte  
Margen de fase  
Margen de ganancia  
Error en posición  
Error en velocidad  
Error en posición

# Sistema nominal

Sistema nominal

Generación de plantas

Especificaciones

Exportar

Planta G(s)

Numerador

1

Denominador

1 2

Retraso e<sup>-Ts</sup>

2

Perturbación Gd(s)

Numerador

1

Denominador

1 3

Controlador diseñado por el alumno

P

Kp

Ti

Td

num/den

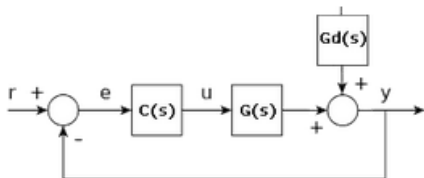
tau1

tau2

alpha1

alpha2

Sistema nominal



$$G(s) = \frac{1}{s+2} e^{-2s}$$

$$C(s) = Kp(1+1/Ti \cdot s)$$

$$Gd(s) = \frac{1}{s+3}$$

Carlos Sánchez Cazorla, 2015  
<http://cscazorla.es/tesis/>

# Generación de plantas

- Rango de los valores de escalado

■ Sistema nominal   ■ Generación de plantas   ■ Especificaciones   ■ Exportar

Ganancia A	
Mínimo	<input type="text" value="1"/>
Máximo	<input type="text" value="3"/>

Escalado temporal G(ts)	
Mínimo	<input type="text" value="1"/>
Máximo	<input type="text" value="2"/>

$$G(s) = A \cdot G_b(\tau s)$$

```
% Inicialización de la semilla para la generación aleatoria
DNI = str2num(dni);
rand('seed', DNI);
A = Amin + (Amax-Amin)*rand(1);
Tau = Taumin + (Taumax-Taumin)*rand(1);
```

# Especificaciones

- Límites superior e inferior y nota correspondiente

 Sistema nominal

 Generación de plantas

 Especificaciones

 Exportar

Nombre	Valor mínimo	Valor máximo	Nota
<input checked="" type="checkbox"/> Sobreoscilación (%)	1 	2 	1 
<input checked="" type="checkbox"/> Tiempo de subida (segundos)	1 	2 	1 
<input checked="" type="checkbox"/> Tiempo de establecimiento (segundos)	1 	2 	1 
<input checked="" type="checkbox"/> Frecuencia de corte (radianes)	1 	2 	1 
<input checked="" type="checkbox"/> Margen de fase (grados)	1 	2 	1 
<input checked="" type="checkbox"/> Margen de ganancia (dB)	1 	2 	1 
<input checked="" type="checkbox"/> Error en estado estacionario en posición (u.d.s. de la salida)	1 	2 	1 
<input checked="" type="checkbox"/> Error en estado estacionario en velocidad (u.d.s. de la salida)	1 	2 	1 
<input checked="" type="checkbox"/> Error en estado estacionario en aceleración (u.d.s. de la salida)	1 	2 	1 



# Integración con Doctus

- **Códigos Matlab**

- Generación del enunciado en formato texto

- Evaluador automático

## Plantilla de entrega

```
% Plantilla del controlador
Kp=-1;
Td=-1;
```

## Variables iniciales

```
% Valores definidos en la interfaz
Amin=1;
Amax=3;
Taumin=1;
Taumax=2;
num_pro=[2];
den_pro=[1 11 11 1];
num_pro_gd=[1];
den_pro_gd=[1 1];

% Inicialización de variables
nota = 0;
comentarios = "";
```

## Evaluador

```
% Planta personalizada del alumno
g = tf(num,den)
g.OutputDelay = 0

% Controlador diseñado por el alumno
c = tf([Kp*Ti Kp],[1]);

% Sistema en bucle cerrado
gbc = feedback(g*c,1);

% Parámetros característicos de la respuesta de un sistema subamortiguado:
% - yrp: valor de la respuesta en régimen permanente
% - te: tiempo de establecimiento 5%
% - ts: tiempo de subida
% - so: sobreoscilación

% Especificaciones de respuesta a un escalón de amplitud unidad
[y,tout] = step(gbc);

% Punto de operación y tiempo en el que se aplica el escalón
w0 = 0;
```

# Ejemplo de uso

Sistema nominal

Generación de plantas

Especificaciones

Exportar

Planta G(s)

Numerador

2

Denominador

1 11 11 1

Retraso e<sup>-Ts</sup>

0

Perturbación Gd(s)

Numerador

1

Denominador

1 3

Controlador diseñado por el alumno

PD

Kp

Ti

Td

num/den

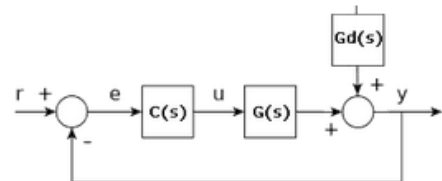
tau1

tau2

alpha1

alpha2

Sistema nominal



$$G(s) = \frac{2}{s^3 + 11s^2 + 11s + 1}$$

$$C(s) = Kp(1+Td \cdot s)$$

$$Gd(s) = \frac{1}{s + 3}$$

Nombre

Valor mínimo

Valor máximo

Nota

Sobreoscilación (%)

▢

30

▢

1

Tiempo de subida (segundos)

▢

0,3

▢

1

# Ejemplo de uso

- <http://doctus.us.es/tutorial/public/index.php>
  - DNI inv25 clave 1234

## Simular entrega de alumno: Problema de control básico

### Enunciado

Su DNI es "2222".

Indique los valores del controlador propuesto para que la planta definida a continuación cumpla con las especificaciones:

### Planta G(s)

- Numerador: [ 2.3673 ]
- Denominador: [ 1.706 15.7055 13.1438 1 ]

### Controlador diseñado por el alumno

- Tipo de controlador: PD
- Estructura: Kp(1+Td·s)
- Valores pedidos: **Kp, Td**

### Especificaciones

Nombre	Valor mínimo	Valor máximo
Sobreoscilación (%)		30.000000
Tiempo de subida (segundos)		0.358468

# Ejemplo de uso

---

Dni

11223344

Solución del alumno

Texto

Fichero

Reestablecer plantilla

% Plantilla del controlador

Kp=-1;  
Td=-1;

Enviar

Cancelar

## Resultado

**Nota:** 0

**Comentarios:**

Sobreoscilación: 1.789716e+02 (%).  
El controlador no cumple la especificación.

Tiempo de subida: Inf (segundos).  
El controlador no cumple la especificación.

# Fundamentos de Control

---

- **2º GITI**
  - 453 alumnos matriculados
  - Evaluación automática de 5 ejercicios de diseño de controladores
    - Nota cuantitativa (100% automática)
    - Enunciados disponibles con una semana de antelación
    - Ejercicios personalizados por el DNI
      - Repetir los mismos módulos cada año

# Fundamentos de Control

---

- Para el DNI 28847022

Problema 1

Para la planta G1 definida por los siguientes polinomios:

Numerador = [ 0 0 0 332.8 ];

Denominador = [ 0.1461 2.774 8.427 0 ];

diseñe un controlador PD que cumpla las siguientes especificaciones:

$$SO < 20$$

$$Ts (10-90\%) < 0.1622$$

Problema 2

Para la planta G2 definida por los siguientes polinomios:

Numerador = [ 0 0 0 332.8 ];

Denominador = [ 0.1461 2.774 8.427 0 ];

diseñe un controlador PID que cumpla las siguientes especificaciones:

$$SO < 20$$

$$Ts (10-90\%) < 0.1622$$

---

Muchas gracias