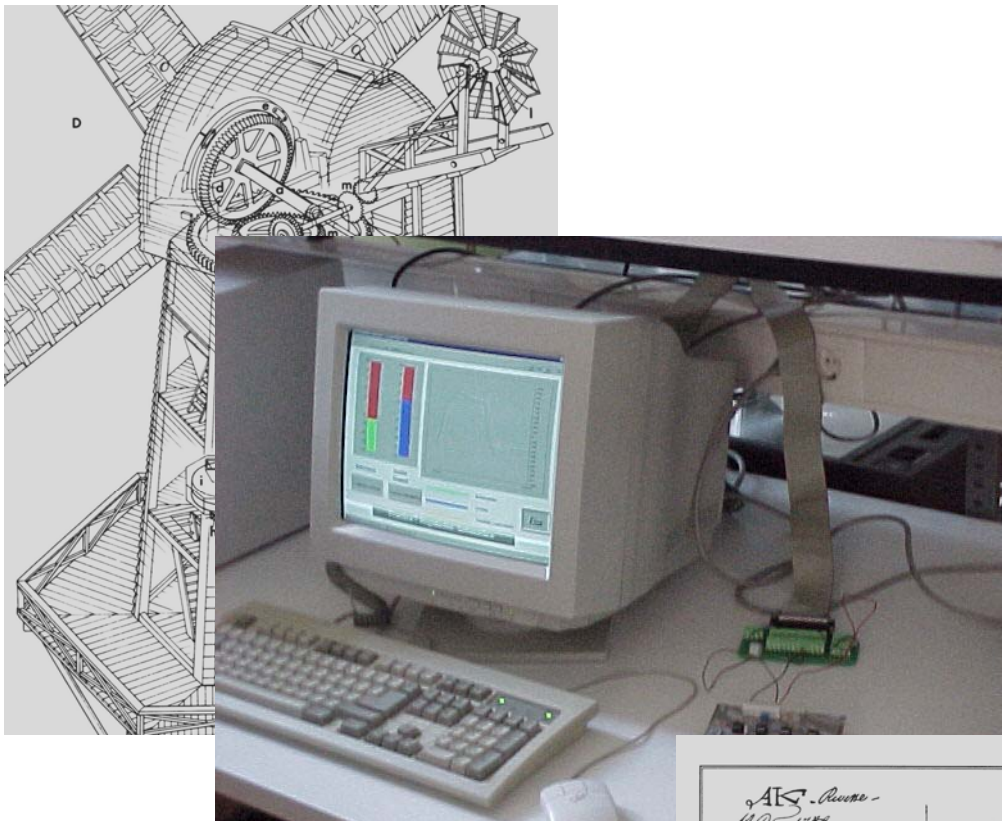
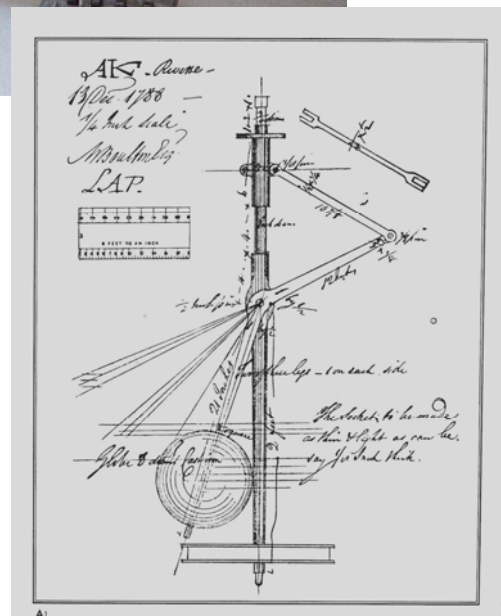


# PRÁCTICAS DE REGULACIÓN AUTOMÁTICA



RAMÓN  
PIEDRAFITA  
MORENO

INGENIERÍA DE SISTEMAS  
Y AUTOMÁTICA



EDITORIAL KRONOS

© Ramón Piedrafita Moreno  
1ª Edición: Septiembre de 1999

ISBN 84-88502-81-8  
Depósito Legal Z-3243-99

Imprime Kronos  
Menendez Pelayo,4  
50009 ZARAGOZA

# ***Regulación Automática***

## ***NORMATIVA DE PRACTICAS***

### ***INGENIERIA TECNICA EN ELECTRONICA INDUSTRIAL***

*Se realizan diez prácticas a lo largo del curso.*

*4 prácticas de simulación de sistemas*

*2 prácticas de control de sistemas mediante reguladores analógicos*

*4 prácticas de control por computador.*

*Las prácticas constan de:*

*Estudio Teórico. (se recomienda su realización previa a la sesión de laboratorio)*

*Realización Práctica.*

*Las prácticas son una parte fundamental de la asignatura por lo que se recomienda se realicen en paralelo con la asistencia a clase.*

*Previa asistencia y realización, la evaluación de las prácticas se hará mediante preguntas integradas en los exámenes de la asignatura, las cuales supondrán el 25% de la calificación*

<i>Transformada de Laplace</i> $E(s)$	<i>Función en el tiempo</i> $e(t)$
$1$	$\delta(t)$
$e^{-Ts}$	$\delta(t-T)$
$\frac{1}{s}$	$u(t)$
$\frac{1}{s^2}$	$t$
$\frac{1}{s+a}$	$e^{-at}$
$\frac{1}{(s+a)^2}$	$t e^{-at}$
$\frac{1}{(s+a)^n}$	$\frac{1}{(n-1)!} t^{n-1} e^{-at}$
$\frac{1}{(s+a)(s+b)}$	$\frac{1}{b-a} (e^{-at} - e^{-bt})$
$\frac{s}{(s+a)(s+b)}$	$\frac{1}{a-b} (ae^{-at} - be^{-bt})$
$\frac{s+z}{(s+a)(s+b)}$	$\frac{1}{b-a} ((z-a)e^{-at} - (z-b)e^{-bt})$
$\frac{a}{s^2(s+a)}$	$t - \frac{1-e^{-at}}{a}$
$\frac{a}{s^2+a^2}$	$\sin(at)$
$\frac{s}{s^2+a^2}$	$\cos(at)$
$\frac{1}{(s+a)^2+b^2}$	$\frac{1}{b} e^{-at} \operatorname{sen}(bt)$
$\frac{s+a}{(s+a)^2+b^2}$	$e^{-at} \cos(bt)$
$\frac{1}{s(s+a)}$	$\frac{1}{a} (1 - e^{-at})$
$\frac{1}{s}$	$u(t)$ ó $1$ escalón unitario
$\frac{1}{s} e^{-Ts}$	$u(t-T)$ escalón unitario retardado $T$ segundos
$\frac{1}{s} (1 - e^{-Ts})$	$u(t) - u(t-T)$ pulso rectangular
$\frac{1}{s^2}$	$t$ rampa unitaria
$\frac{1}{s^n}$	$\frac{t^{n-1}}{(n-1)!}$
$\frac{1}{s^2 + 2\xi\omega_n s + \omega_n^2}$	$\frac{1}{\omega_d} e^{-\xi\omega_n t} \operatorname{sen}(\omega_d t)$ $\omega_d = \omega_n \sqrt{1-\xi^2}$

$\frac{1}{s(s^2 + 2\xi\omega_n s + \omega_n^2)}$	$\frac{1}{\omega_n^2} - \frac{1}{\omega_n \omega_d} e^{-\xi\omega_n t} \text{sen}(\omega_d t + \theta)$ $\omega_d = \omega_n \sqrt{1 - \xi^2} \quad \theta = \arccos \xi$
--------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

*Tabla de Transformadas de Laplace*

Transformada de Laplace E(s)	Función en el tiempo e(t)	Secuencia numérica e(kT) o e(k)	Transformada z E(z)
$\frac{1}{s}$	$u(t)$	$1(k)$	$\frac{z}{z-1}$
$\frac{1}{s^2}$	$t$	$kT$	$\frac{Tz}{(z-1)^2}$
$\frac{1}{s+a}$	$e^{-at}$	$e^{-akT}$	$\frac{z}{z-e^{-aT}}$
$\frac{a}{s(s+a)}$	$1-e^{-at}$	$1-e^{-akT}$	$\frac{z(1-e^{-aT})}{(z-1)(z-e^{-aT})}$
$\frac{1}{(s+a)^2}$	$t e^{-at}$	$kT e^{-akT}$	$\frac{Tz e^{-aT}}{(z-e^{-aT})^2}$
$\frac{a}{s^2(s+a)}$	$t - \frac{1-e^{-at}}{a}$	$kT - \frac{1-e^{-akT}}{a}$	$\frac{Tz}{(z-1)^2} - \frac{z(1-e^{-aT})}{a(z-1)(z-e^{-aT})}$
$\frac{a}{s^2+a^2}$	$\sin(at)$	$\sin(akT)$	$\frac{z \operatorname{sen}(aT)}{z^2 - 2z \cos(aT) + 1}$
$\frac{s}{s^2+a^2}$	$\cos(at)$	$\cos(akT)$	$\frac{z(z - \cos(aT))}{z^2 - 2z \cos(aT) + 1}$
$\frac{1}{(s+a)^2 + b^2}$	$\frac{1}{b} e^{-at} \sin(bt)$	$\frac{1}{b} e^{-akT} \sin(bkT)$	$\frac{1}{b} \left[ \frac{z e^{-aT} \operatorname{sen} bT}{z^2 - 2e^{-aT} z \cos bT + e^{-2aT}} \right]$
$\frac{s+a}{(s+a)^2 + b^2}$	$e^{-at} \cos(bt)$	$e^{-akT} \cos(bkT)$	$\frac{z^2 - e^{-aT} z \cos bT}{z^2 - 2e^{-aT} z \cos bT + e^{-2aT}}$
		$a^k$	$\frac{1}{1 - az^{-1}}$
		$a^{k-1}$	$\frac{z^{-1}}{1 - az^{-1}}$
		$k = 1, 2, 3, \dots$	$\frac{z^{-1}}{1 - az^{-1}}$
		$ka^{k-1}$	$\frac{z^{-1}}{(1 - az^{-1})^2}$
		$k^2 a^{k-1}$	$\frac{z^{-1}(1 + az^{-1})}{(1 - az^{-1})^3}$
		$k^3 a^{k-1}$	$\frac{z^{-1}(1 + 4az^{-1} + a^2 z^{-2})}{(1 - az^{-1})^4}$
		$k^4 a^{k-1}$	$\frac{z^{-1}(1 + 11az^{-1} + 11a^2 z^{-2} + a^3 z^{-3})}{(1 - az^{-1})^5}$
		$a^k \cos k\pi$	$\frac{1}{1 + az^{-1}}$

Transformadas z más comunes.

---

# *Práctica 1*

## *Introducción a la simulación de Sistemas mediante Matlab.*

---

### **OBJETIVO**

En esta práctica se pretende que el alumno tome contacto con una herramienta informática de ayuda a la simulación y análisis de sistemas. Esta herramienta es el programa "MATLAB" que permite simular el comportamiento dinámico de sistemas, sirviendo de base estas simulaciones para el análisis de su comportamiento.

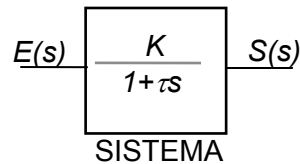
### **PROGRAMA EJEMPLO**

```
PROGRAMA MATLAB
%****Respuesta al impulso de un sistema de primer orden****
%*****
%****Se introduce el tiempo final de simulación*****
%****Se introduce la ganancia y la constante de tiempo****
%*****
tfinal=input ('tiempo final de simulación');
K=input ('Ganancia sistema Primer Orden');
T=input ('constante de tiempo');
num=[K 0];
den=[T 1];
```

```
periodo=ffinal/1000;  
t=0:periodo:ffinal;  
u=ones(length(t),1);  
[yc,xc]=lsim(num,den,u,t);  
plot(t,yc)
```

## Estudio de un sistema de primer orden

Considerese el sistema de la figura expresado mediante su función de transferencia:



Introducir dicho sistema dentro de Matlab definiendo el numerador y el denominador del sistema como variables (por ejemplo num y den).

Obtener las siguientes gráficas y detallar el proceso seguido (comandos ejecutados) para su obtención:

- 1.- Respuesta del sistema ante una entrada en impulso.
- 2.- Respuesta del sistema ante un escalón unitario. Indicar además en esta gráfica la ganancia, cte de tiempo y tiempo de respuesta del sistema.
- 3.- Respuesta ante una entrada en rampa de pendiente 2.

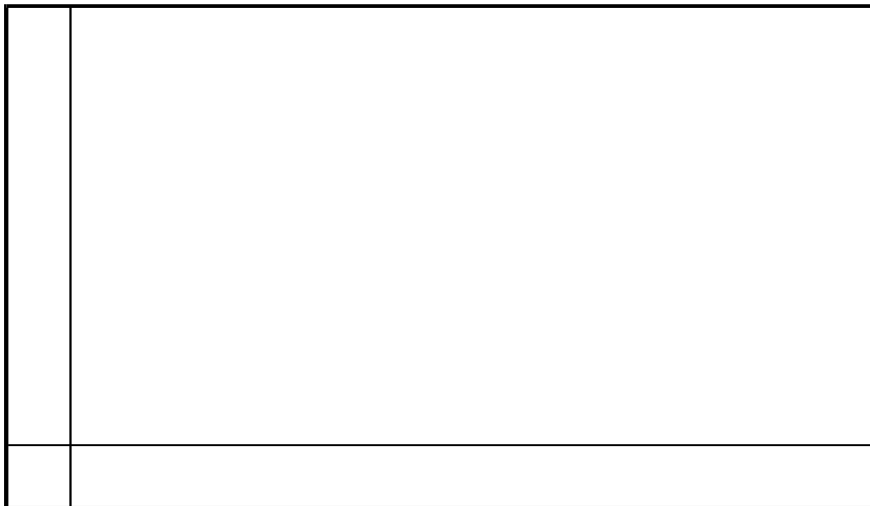
PROGRAMA MATLAB

```
%****Respuesta ante un escalón unitario  
%
```



```
%****Respuesta ante una entrada en impulso
```

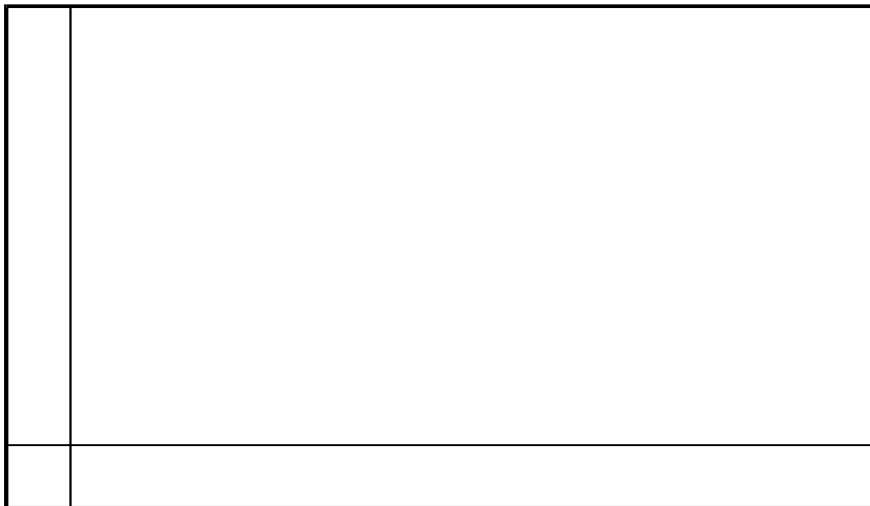
```
%****Respuesta ante una rampa de pendiente 2
```



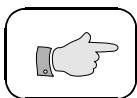
*Gráfica 1. Respuesta del sistema ante una entrada en Impulso.*



*Gráfica 2. Respuesta del sistema ante una entrada en escalón unitario.*

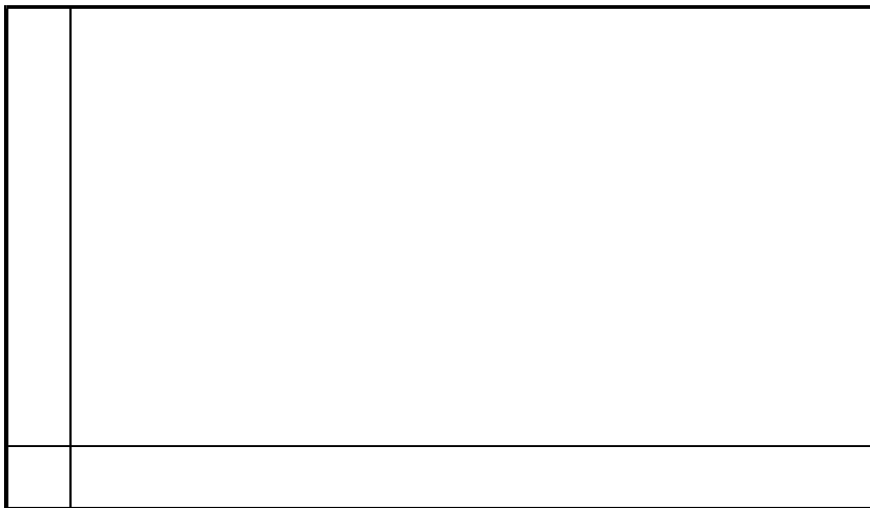


*Gráfica 3. Respuesta del sistema ante una entrada en rampa de pendiente 2.*



Para el mismo ejemplo anterior comentar los resultados obtenidos variando los valores de  $K$  y  $\tau$ .

%\*\*\*\*Resultados obtenidos para diferentes valores de  $K$  y  $\tau$



*Gráfica 4. Gráficas para diferentes valores de K y  $\tau$*

## **ESTUDIO DE UN SISTEMA DE SEGUNDO ORDEN**

Dado el siguiente sistema de segundo orden

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{1}{s^2 + 0.5s + 4}$$

Responder a las siguientes cuestiones:

- 1.- Considerese la respuesta a un escalón unitario y dibujense la gráfica correspondiente
- 2.- Obtengase la respuesta del sistema ante una rampa de pendiente 3.
- 3.- Obtener los diagramas de Bode utilizando la función semilogarítmica.
- 4.- Obtener además el correspondiente diagrama de Nyquist.

PROGRAMA MATLAB

```
%****Respuesta a un escalón unitario de un sistema de segundo orden
```

```
%
```

```
%****Respuesta a una rampa de pendiente 3
```

```
%****Diagrama de Bode para sistema de segundo orden
```

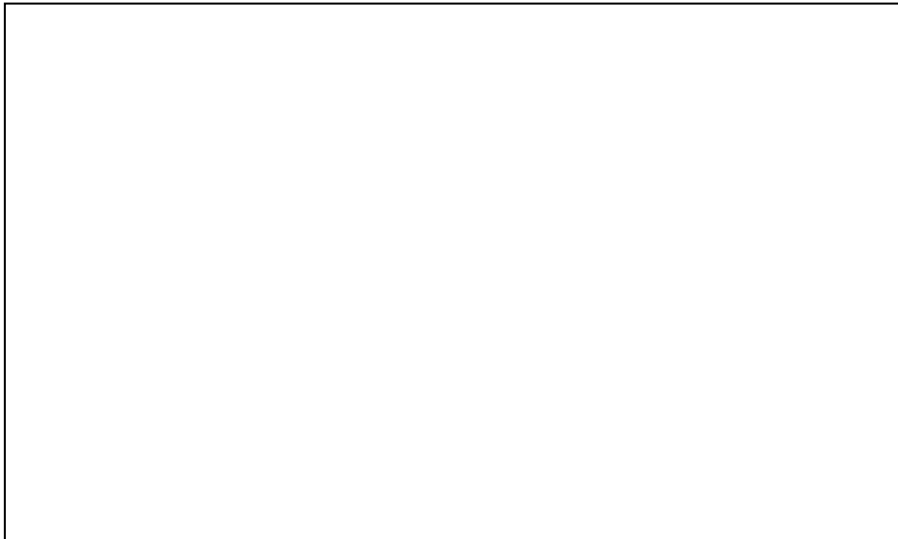
%\*\*\*\*Diagrama de Nyquist para un sistema de segundo orden



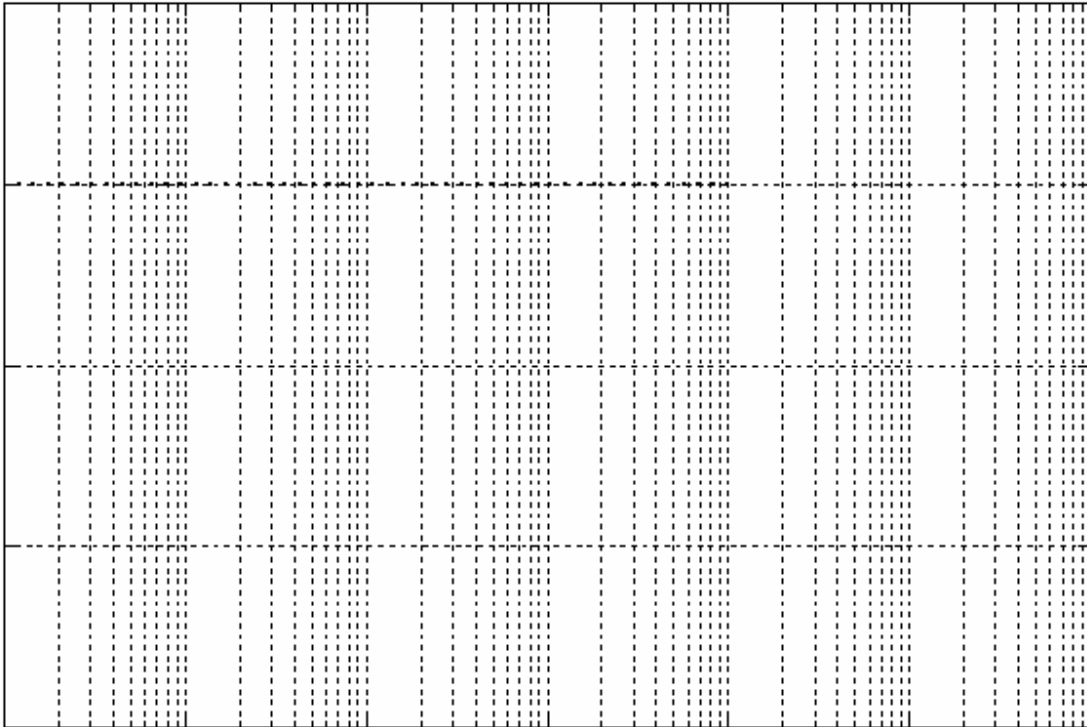
*Gráfica 5. Respuesta a un escalón unitario en segundo orden.*



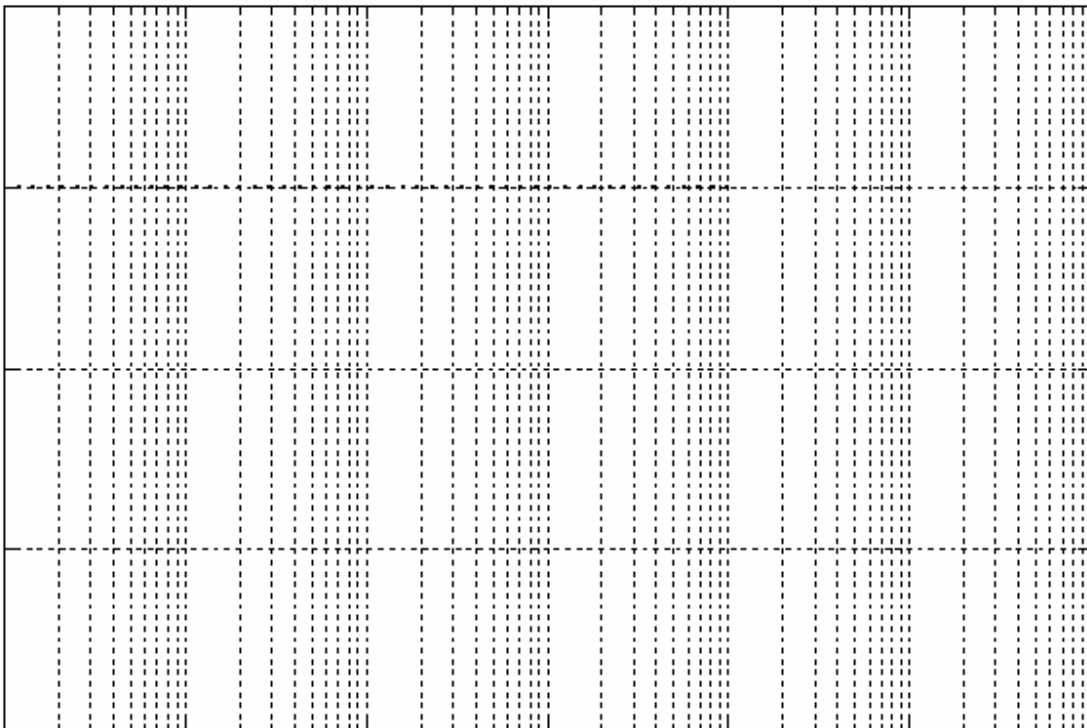
*Gráfica 6. Respuesta a una rampa de pendiente 3*



*Gráfica 7. Diagrama de Nyquist*



*Gráfica 8. Diagrama de Bode. Módulo*



*Gráfica 9. Diagrama de Bode. Fase*

## ***Comandos y Funciones de Matlab***

<b>Comando o Función</b>	<b>Explicación</b>
<b>abs</b>	Valor absoluto, magnitud compleja
<b>angle</b>	Ángulo de fase
<b>ans</b>	Respuesta cuando no se asigna una expresión
<b>atan</b>	Arcotangente
<b>axis</b>	Escalamiento de un eje en forma manual
<b>bode</b>	Diagrama de las trazas de Bode
<b>clear</b>	Borrar el área de trabajo
<b>clg</b>	Borrar las gráficas de la pantalla
<b>computer</b>	Tipo de computadora
<b>conj</b>	Compleja conjugada
<b>conv</b>	Convolución, multiplicación
<b>corrcoef</b>	Coefficientes de correlación
<b>cos</b>	Coseno
<b>cosh</b>	Coseno hiperbólico
<b>cov</b>	Covarianza
<b>deconv</b>	Deconvolución, división
<b>det</b>	Determinante
<b>diag</b>	Matriz diagonal
<b>eig</b>	Valores y vectores característicos
<b>exit</b>	Terminar sesión
<b>exp</b>	Base e exponencial
<b>expm</b>	Exponencial de una matriz
<b>eye</b>	Matriz identidad
<b>filter</b>	Implementación directa de un filtro
<b>format long</b>	Punto fijo en escala de 15 dígitos
<b>format long e</b>	Punto flotante de quince dígitos



<b>Comando o Función</b>	<b>Explicación</b>
<b>format short</b>	<b>Punto fijo en escala de 5 dígitos</b>
<b>format short e</b>	<b>Punto flotante de cinco dígitos</b>
<b>freqs</b>	<b>Respuesta en frecuencia de la transformada de Laplace</b>
<b>freqz</b>	<b>Respuesta en frecuencia de la transformada z</b>
<b>grid</b>	<b>Dibujar líneas de retícula</b>
<b>hold</b>	<b>Mantener la gráfica actual en la pantalla</b>
<b>imag</b>	<b>Parte imaginaria</b>
<b>inf</b>	<b>Infinito (<math>\infty</math>)</b>
<b>inv</b>	<b>Inverso</b>
<b>j</b>	$\sqrt{-1}$
<b>length</b>	<b>Longitud de vector</b>
<b>linspace</b>	<b>Vectores linealmente espaciados</b>
<b>log</b>	<b>Logaritmo natural</b>
<b>loglog</b>	<b>Gráfica logarítmica x-y</b>
<b>logrn</b>	<b>Logaritmo de una matriz</b>
<b>logspace</b>	<b>Vectores logarítmicamente espaciados</b>
<b>log10</b>	<b>Logaritmo en base 10</b>
<b>lqe</b>	<b>Diseño de estimador lineal cuadrático</b>
<b>lqr</b>	<b>Diseño de regulador lineal cuadrático</b>
<b>max</b>	<b>Valor máximo</b>
<b>mean</b>	<b>Valor medio</b>
<b>median</b>	<b>Valor mediano</b>
<b>mm</b>	<b>Valor mínimo</b>
<b>NaN</b>	<b>No es un número</b>
<b>nyquist</b>	<b>Diagrama polar de un sistema.</b>
<b>ones</b>	<b>Constante</b>

<b>Comando o Función</b>	<b>Explicación</b>
<b>pi</b>	$\pi$
<b>plot</b>	Gráfica lineal xy
<b>polar</b>	Gráfica polar
<b>poly</b>	Polinomio característico
<b>polyfit</b>	Ajuste de curva a un polinomio
<b>polyval</b>	Evaluación de un polinomio
<b>polyvalm</b>	Evaluación del polinomio de una matriz
<b>prod</b>	Producto de elementos
<b>quit</b>	Terminar sesión
<b>rand</b>	Generar números y matrices aleatorios
<b>rank</b>	Determinar el rango de una matriz
<b>real</b>	Parte real
<b>rem</b>	Residuo o módulo
<b>residue</b>	Expansión en fracciones parciales
<b>rlocus</b>	Gráfica del lugar geométrico de las raíces
<b>roots</b>	Raíces de un polinomio
<b>semilogx</b>	Gráfica semilogarítmica x-y (logaritmo del eje x)
<b>semilogy</b>	Gráfica semilogarítmica x-y (logaritmo del eje y)
<b>sign</b>	Función signo
<b>sin</b>	Seno
<b>sinh</b>	Seno hiperbólico
<b>size</b>	Dimensiones de renglón y columna
<b>sqrt</b>	Raíz cuadrada
<b>sqrtm</b>	Raíz cuadrada de una matriz
<b>std</b>	Desviación estándar
<b>step</b>	respuesta al escalón unitario
<b>sum</b>	Suma de elementos

<b>Comando o Función</b>	<b>Explicación</b>
<b>tan</b>	<b>Tangente</b>
<b>tanh</b>	<b>Tangente hiperbólica</b>
<b>text</b>	<b>Texto arbitrariamente colocado</b>
<b>title</b>	<b>Título de la gráfica</b>
<b>trace</b>	<b>Traza de una matriz</b>
<b>who</b>	<b>Listado de las variables en memoria</b>
<b>xlabel</b>	<b>Leyenda del eje x</b>
<b>ylabel</b>	<b>Leyenda del eje y</b>
<b>zeros</b>	<b>Cero</b>

