

Modelos de primer orden + retardo: respuesta escalón e identificación experimental (manual)

© 2019, Antonio Sala Piqueras, *Universitat Politècnica de València*. Todos los derechos reservados.

Presentación en vídeo: <http://personales.upv.es/asala/YT/V/fopd.html>

Este código ejecutó sin errores en Matlab R2019b

Motivación: Los modelos de primer orden + retardo $G(s) = \frac{k}{\tau s + 1} e^{-ds}$ son una aproximación de dinámicas no oscilatorias muy usada en procesos químicos (donde existen retardos de transporte, transferencias de calor, reacciones químicas, etc... sin oscilaciones). Existen reglas y tablas para sintonizar controladores (PID) en esos tipos de sistemas.

Objetivos: el objetivo de este material es analizar su respuesta temporal ante escalón y ajustar (manualmente, por "ensayo y error") uno de esos modelos a unos datos experimentales.

Tabla de Contenidos

Características de la respuesta escalón de modelos 1er orden + retardo.....	1
Visualización de datos para identificación experimental.....	2
Identificación manual.....	3
Estimación de la ganancia.....	3
Estimación de retardo y constante de tiempo.....	4
Conclusiones.....	4
Funciones auxiliares.....	5

Características de la respuesta escalón de modelos 1er orden + retardo

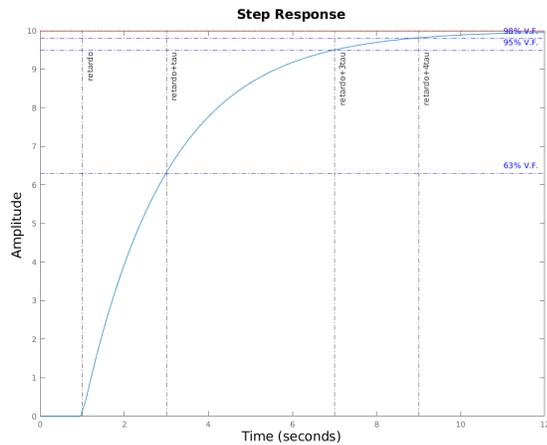
Un sistema $G(s) = \frac{k}{\tau s + 1} e^{-ds}$ tiene una respuesta ante escalon *unitario* dada por la respuesta sin retardo de primer orden estudiada en todos los textos elementales de automática, $y_{sinretardo}(t) = k(1 - e^{-t/\tau})$, pero retrasada d segundos, esto es:

$$y(t) = \begin{cases} 0 & t \leq d \\ y_{sinretardo}(t - d) & t > d \end{cases} = \begin{cases} 0 & t \leq d \\ k(1 - e^{-(t-d)/\tau}) & t > d \end{cases}$$

Veamos una simulación de uno de esos sistemas:

```
retardo=1; tau=2; ganancia=10;
s=tf('s');
G=ganancia/(tau*s+1)*exp(-retardo*s); step(G,12)
xline(retardo,'-.','retardo');xline(retardo+tau,'-.','retardo+tau');
xline(retardo+3*tau,'-.','retardo+3tau');
xline(retardo+4*tau,'-.','retardo+4tau');
yline(0.63*ganancia,'-.b','63% V.F.');
```

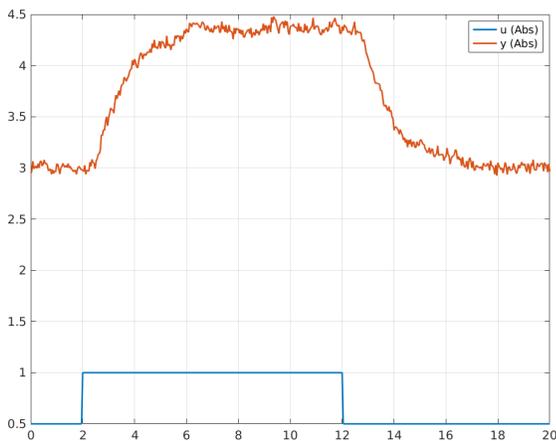
```
ylines(0.98*ganancia, '-.b', '98% V.F. '); ylines(ganancia, '-.r');
```



Visualización de datos para identificación experimental

Comencemos cargando datos:

```
load Experimento.mat
plot(T,[ureal yreal], 'LineWidth',2), grid on, legend('u (Abs)', 'y (Abs)')
```



Variables incrementales: para identificar un modelo lineal alrededor de un punto de funcionamiento, debemos restar el valor anterior al escalón de entrada, y el valor medio de la salida antes de aplicar el escalón.

```
muestras_antes_escalon=1:round(2/Ts);
y_equilibrio_antes_de_escalon=mean(yreal(muestras_antes_escalon))
```

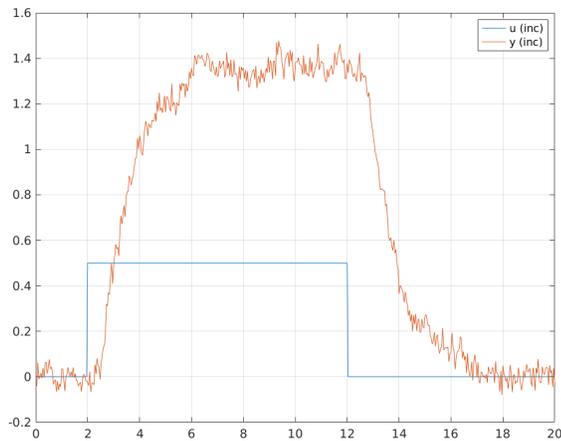
```
y_equilibrio_antes_de_escalon = 3.0027
```

```
u_equilibrio_antes_de_escalon=mean(ureal(muestras_antes_escalon))
```

```
u_equilibrio_antes_de_escalon = 0.5000
```

```
y=yreal-y_equilibrio_antes_de_escalon; %incrementales
u=ureal-u_equilibrio_antes_de_escalon; %incrementales
```

```
plot(T,[u y]), grid on, legend('u (inc)', 'y (inc)')
```



```
tiempo_inicio_escalon=2; %para gráficas posteriores
```

Identificación manual

Estimación de la ganancia

Cociente entre el valor "medio" de salida y entrada cuando llega al "equilibrio":

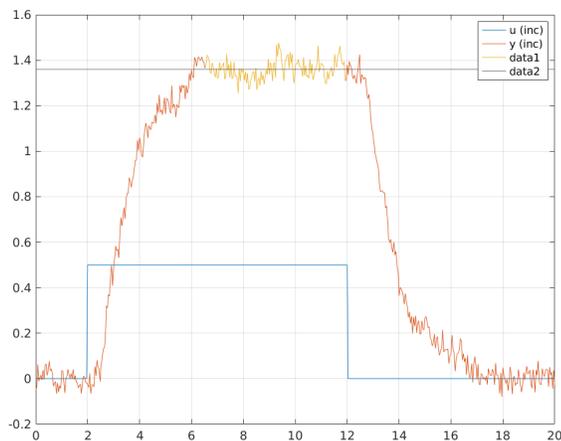
```
muestrasestacionarias=1+round(6.5/Ts):round(12/Ts);  
mediaestacionaria=mean(y(muestrasestacionarias))
```

```
mediaestacionaria = 1.3600
```

```
gananciaestim=mediaestacionaria/max(u) %incremento de u es 0.5
```

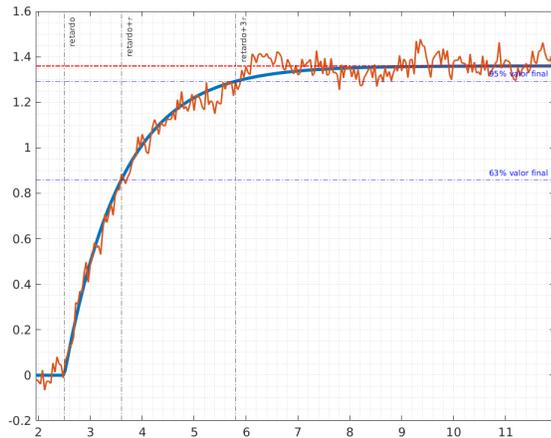
```
gananciaestim = 2.7200
```

```
plot(T,[u y]), grid on, legend('u (inc)', 'y (inc)')  
hold on, plot(T(muestrasestacionarias),y(muestrasestacionarias)), hold off  
yline(gananciaestim*max(u));
```



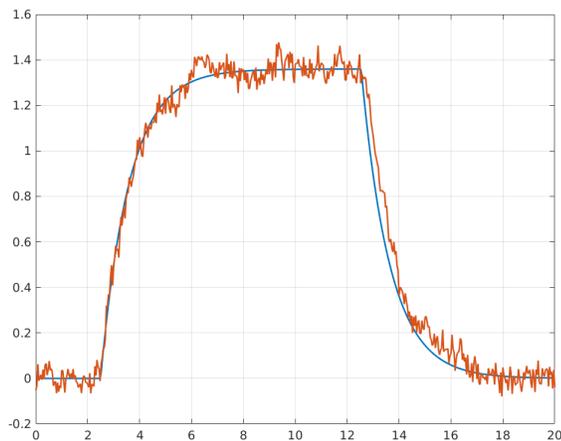
Estimación de retardo y constante de tiempo

```
retardo_prueba=0.5;  
tau_prueba=1.1;  
ysim=dibujacosas(gananciaestim,tau_prueba,retardo_prueba,u,T,tiempo_inicio_escalon);  
hold on  
plot(T,y,'LineWidth',2)  
hold off
```



Comprobemos cómo austa el escalón hacia abajo... ruido? no linealidad? dinámica no modelada?

```
plot(T,[ysim y],'LineWidth',2), grid on,
```



Conclusiones

Los modelos de primer orden + retardo son una simplificación de la dinámica de sistemas muy usual en industria de procesos y en literatura sobre sintonizado de PID's. Su identificación "manual" resulta sencilla basándose en las fórmulas bien conocidas de sistemas de primer orden... aunque ningún dato "real" va a coincidir con la simulación exacta.

Funciones auxiliares

```
function ymodelo=dibujacosas(Ke,tau,d,u,T,tiempo_inicio_escalon)
    s=tf('s');
    G=Ke/(tau*s+1)*exp(-d*s);
    ymodelo=lsim(G,u,T);
    um=max(u); ValorFinal=Ke*um;
    plot(T,ymodelo,'LineWidth',4)
    grid minor, xlim([1.95 11.95])
    xline(tiempo_inicio_escalon+d,'-.','retardo');
    tiempo63porciento=tiempo_inicio_escalon + d + tau;
    tiempo95porciento=tiempo_inicio_escalon + d + 3*tau;
    %tiempo98porciento=tiempo_inicio_escalon + d + 4*tau;
    yline(0.63*ValorFinal,'-.b','63% valor final');
    yline(0.95*ValorFinal,'-.b','95% valor final');
    %yline(0.98*ValorFinal,'-.b','98% valor final');
    yline(ValorFinal,'-.r','LineWidth',2);
    xline(tiempo63porciento,'-.','retardo+\tau');
    xline(tiempo95porciento,'-.','retardo+3\tau');
    %xline(tiempo98porciento,'-.','retardo+4\tau');
end
```