

## ***Práctica 3. Simulación de sistemas***

### ***OBJETIVOS DE LA PRÁCTICA***

1. Conocer la herramienta Simulink y sus posibilidades para realizar simulaciones de sistemas.
2. Realizar la simulación de un sistema dinámico utilizando Simulink.

### ***FORMA DE REALIZAR LA PRÁCTICA:***

Se trabajará en el entorno Simulink, desarrollando diferentes diagramas de bloques y simulando la respuesta del sistema para cada uno de ellos.

### ***TRABAJO A PRESENTAR:***

Se debe entregar un fichero comprimido que contenga

- Los archivos mdl de las diferentes partes de la práctica 1
- Una memoria en MS-WORD con el contenido siguiente:
  - o Soluciones y resultados de cada simulación

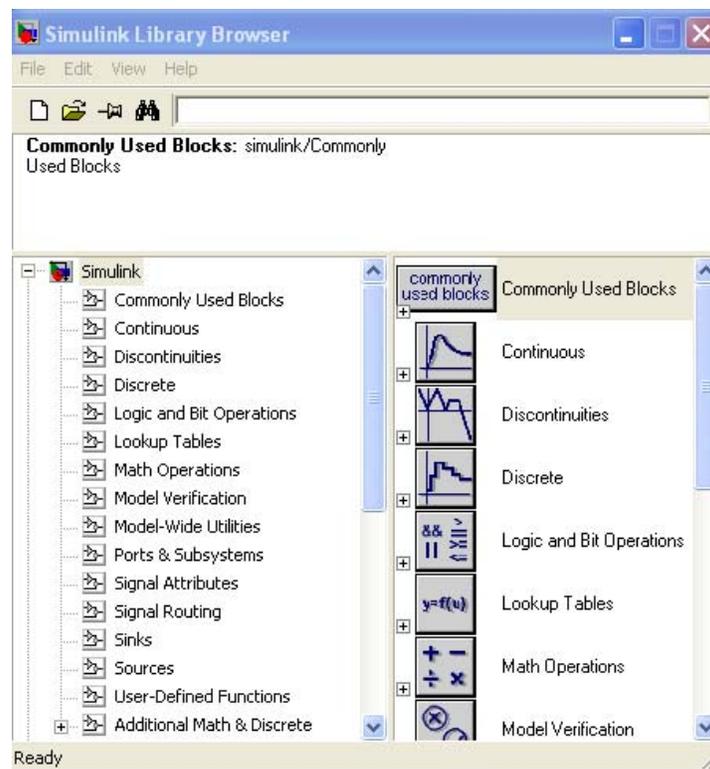
## Ejercicio 3.1

*Introducción a SIMULINK. Para conocer las posibilidades básicas de Simulink sigue el siguiente breve tutorial pasando por todos los puntos.*

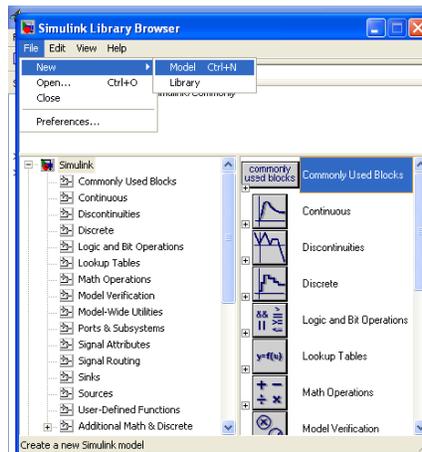
1. Simulink es un programa de simulación tanto continua como discreta que se encuentra en el entorno MATLAB. Por tanto para acceder a él basta con invocarlo desde la ventana de comandos de MATLAB, por supuesto asegurándose antes de encontrarse en el directorio de trabajo.



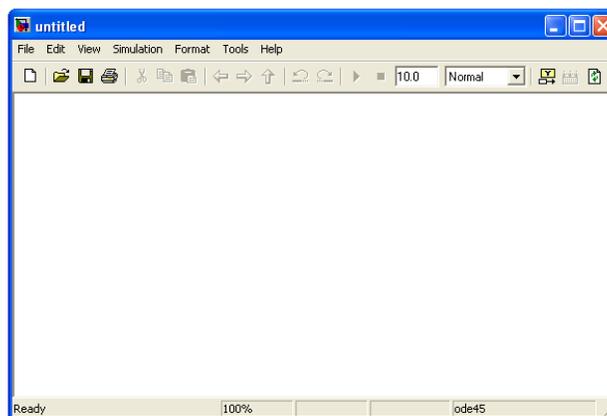
2. Una vez hecho esto aparece la ventana de SIMULINK que tiene el siguiente aspecto:



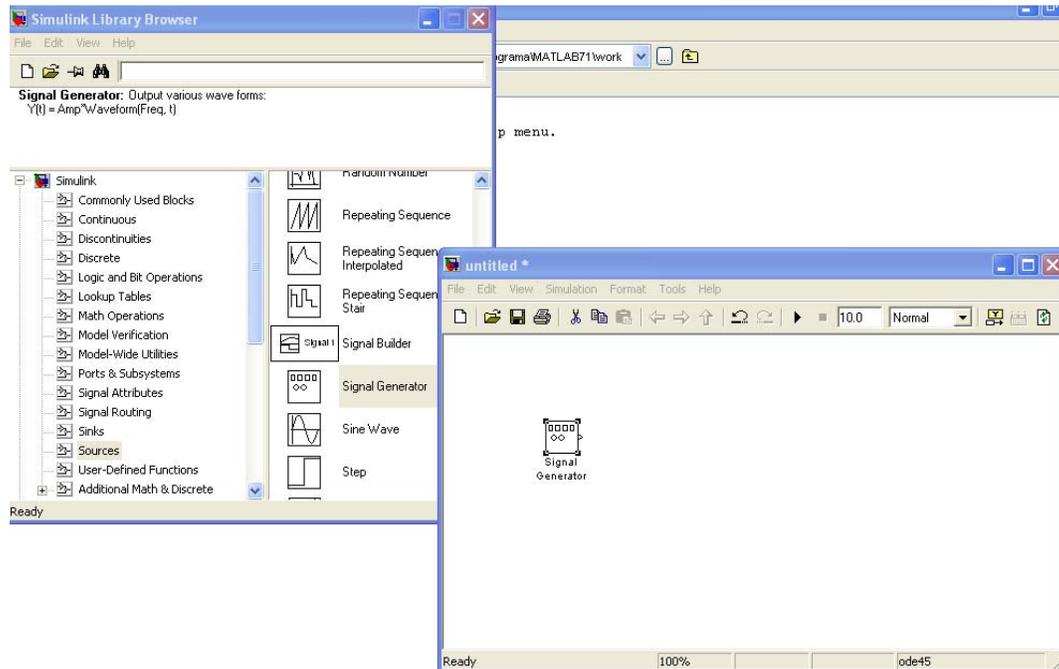
- Lo primero que se debe hacer es abrirse una ventana de trabajo que puede ser nueva o existir previamente. Para el caso de que se desee crear un nuevo trabajo se procede como se indica en la figura.



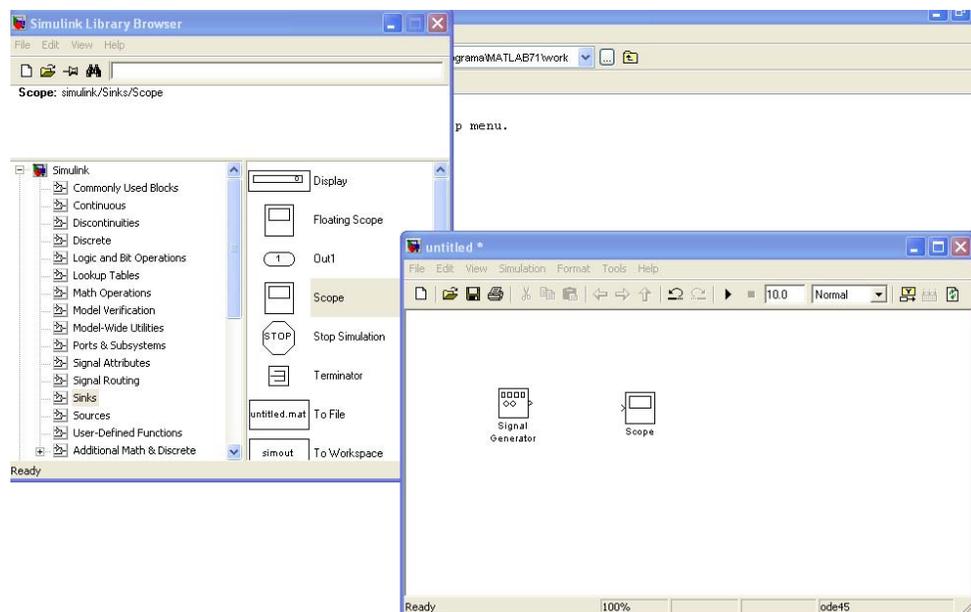
- Con lo que obtendremos una ventana vacía como la siguiente:



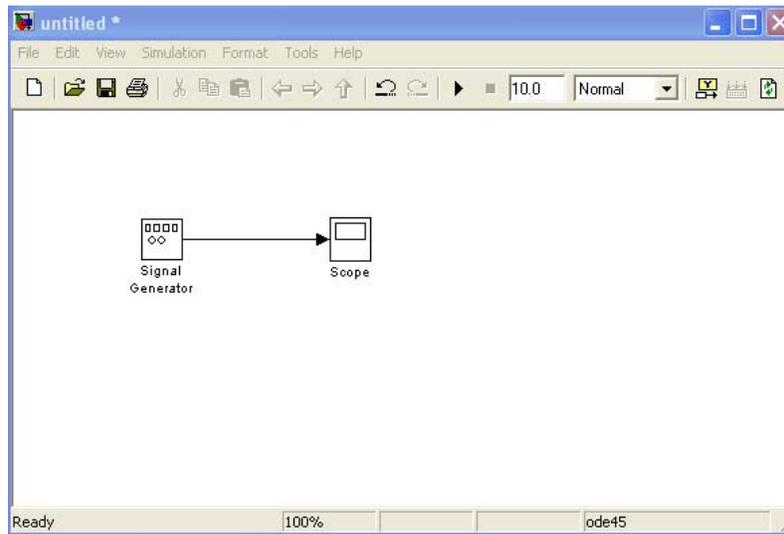
- Lo primero que podemos necesitar es una fuente de señal, luego seleccionamos las fuentes (*Sources*) en la ventana de SIMULINK.
- Con esto aparecerán otra ventana con todas las fuentes de señal disponibles. En este ejemplo se selecciona con el ratón el generador de señales genérico (*signal generator*) y se arrastra hasta situarlo sobre la ventana de trabajo.



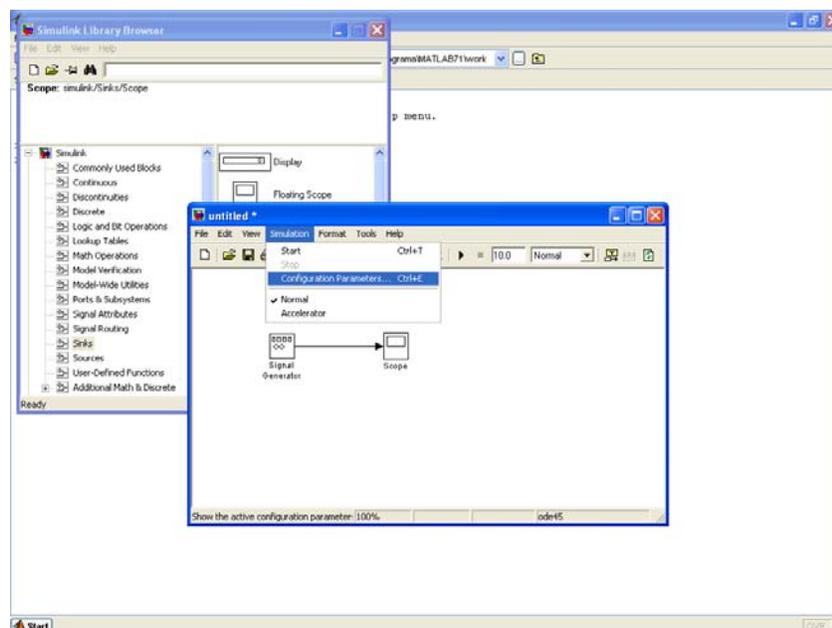
7. Para poder ver la señal recurriremos a un sumidero de señal (*Sinks*) que seleccionaremos en la ventana de SIMULINK.
8. Igual que antes aparecerá una ventana con todos los sumideros disponibles, de la que seleccionaremos el visor (*Scope*) y lo arrastraremos con el ratón hasta la ventana de trabajo.



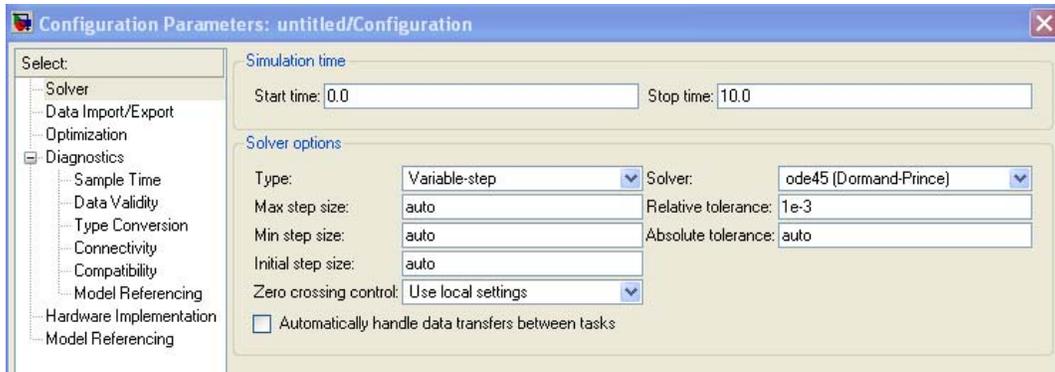
9. Ya únicamente falta unir la fuente con el sumidero, lo que se hace pulsando con el ratón sobre la pequeña flecha de salida del bloque inicial y arrastrando hasta la flecha de llegada del bloque destino.



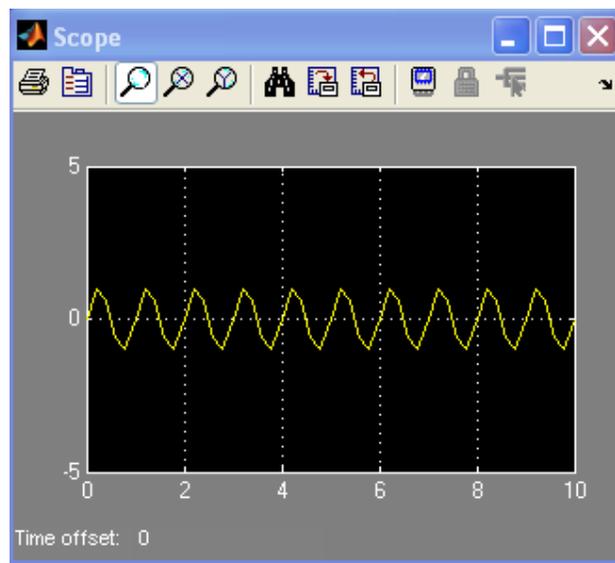
10. Para realizar la simulación es necesario definir unos parámetros mínimos como son el intervalo de tiempo y el error admisible.



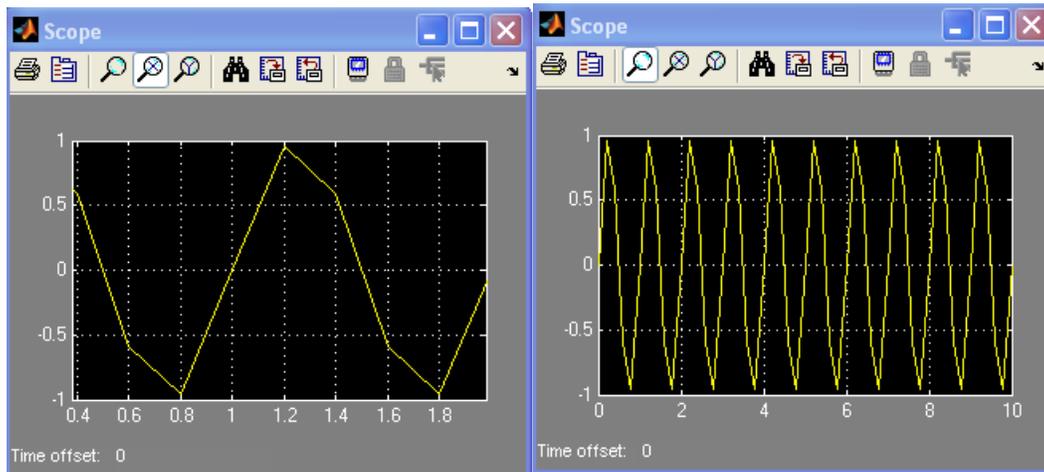
11. Además existen otros parámetros como el método de integración a utilizar y los pasos de integración. Parámetros que se pueden definir cómodamente en la ventana correspondiente.



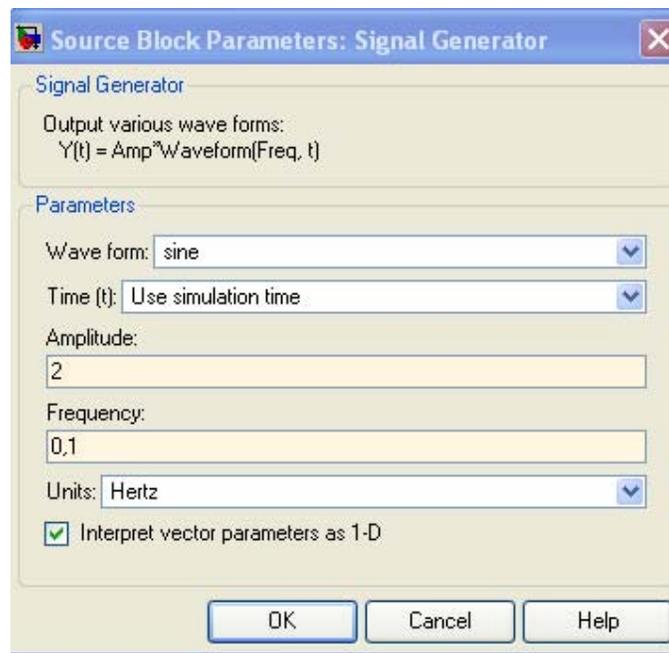
12. Para ejecutar la simulación desplegar **Simulation** y **Start**. Ver el resultado de la simulación en el *scope*.



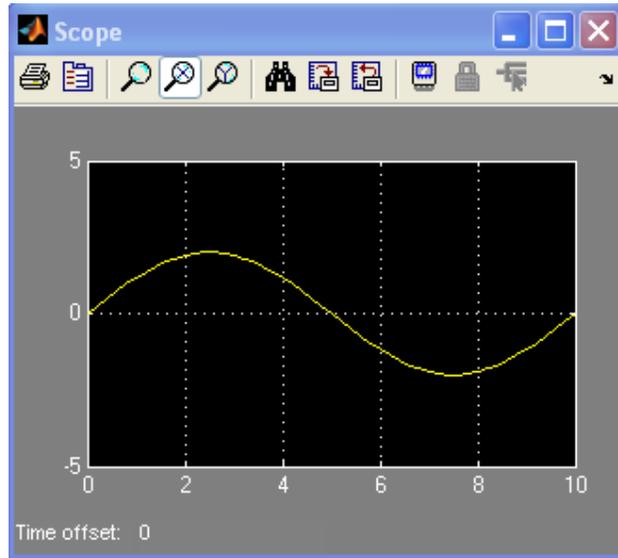
13. Notar que existe una barra de opciones para realizar *zoom* en ambos ejes o hacer un autoajuste de escala (seleccionar el botón de prismáticos).



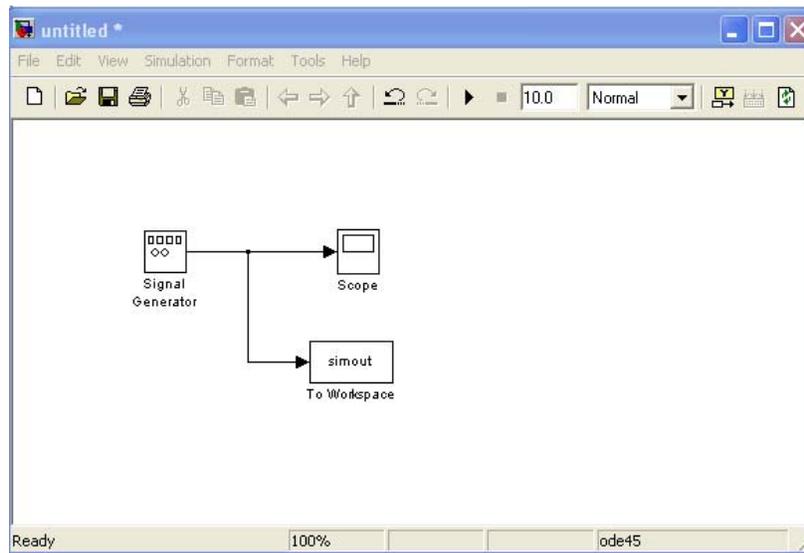
14. El visor está mostrando la onda de señal producida por el generador de señales. Pero es posible cambiar la señal. Basta con seleccionar con el ratón el bloque del generador de señales. Al hacer esto aparece la pantalla del generador en la que se puede especificar el tipo de señal que se desea generar.



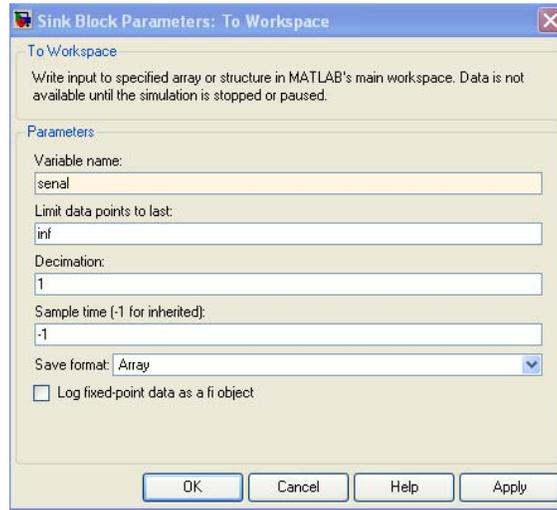
15. De forma que si se modifica la frecuencia de la onda senoidal a 0.1 Hz y su amplitud a 2, por ejemplo, y se vuelve a lanzar la simulación se obtendrá la siguiente salida:



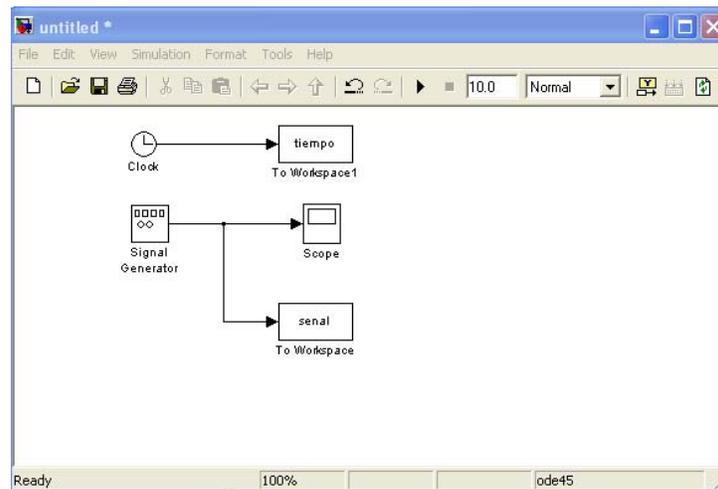
16. Pero SIMULINK ofrece además otras posibilidades, una de ellas es la de interactuar con MATLAB. Por ejemplo, para pasar los resultados de la simulación a MATLAB basta con seleccionar otro sumidero (*Sinks*) del tipo correspondiente tal como se muestra en la figura (*To Workspace*). Para realizar una bifurcación situarse en la línea y pulsar <ctrl> junto con el botón izquierdo de ratón.



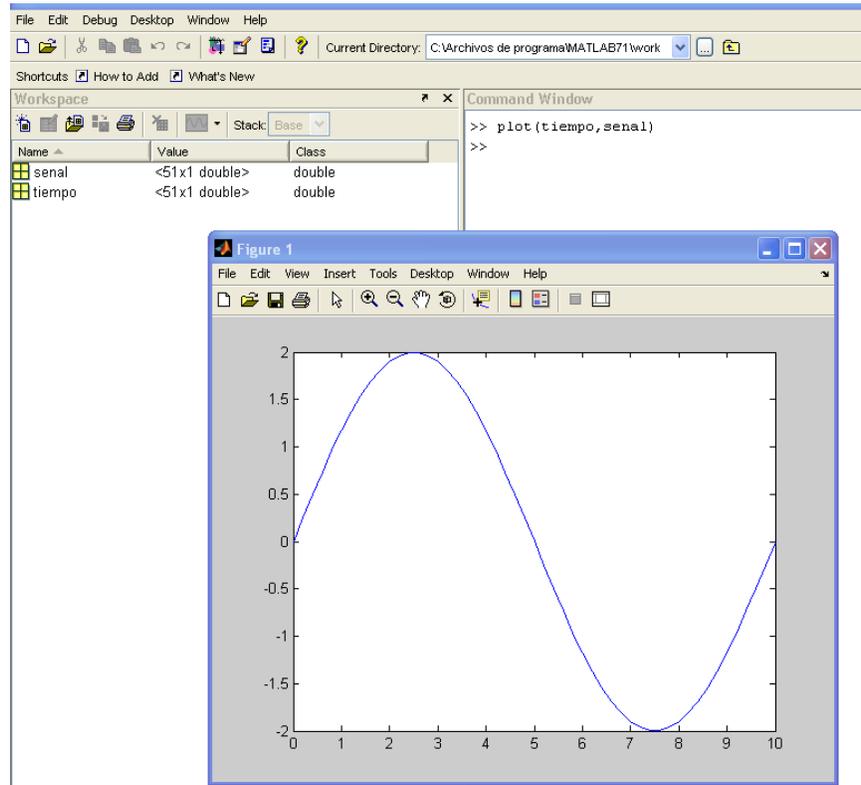
17. Especificar el nombre del vector en el que se quieren almacenar los resultados (*senal*), su dimensión máxima (*inf*) y el formato (*Array*). Al lanzar la simulación



18. Para poder representar los datos en MATLAB también será necesario otro vector con los tiempos en los que se ha tomado cada dato (*Clock* en *Sources*). Lo que se puede hacer en la forma que muestra la siguiente figura.



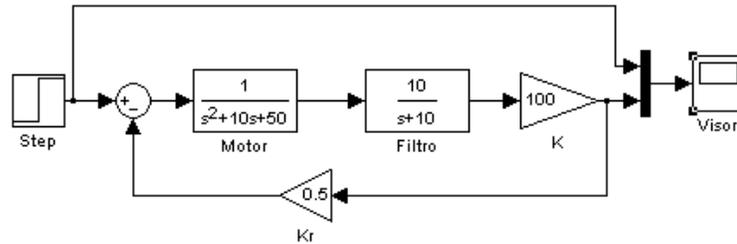
19. Una vez finalizada la simulación se podrán representar los datos utilizando comandos de MATLAB. Con lo que se obtendrán gráficas de MATLAB.



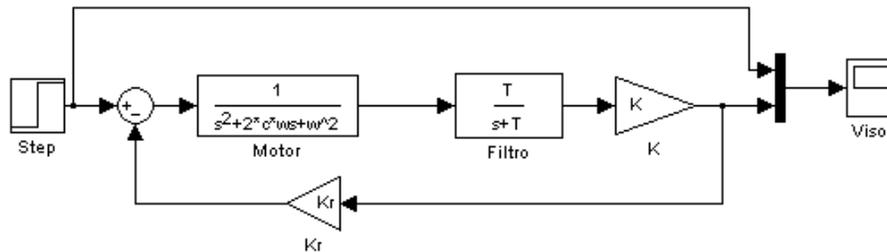
20. En SIMULINK se pueden realizar simulaciones más complejas. Por ejemplo la de un sistema mecánico representado por su función de transferencia continua. En este caso existen varios bloques nuevos:
- a. Entradas escalón, rampa, generador de pulsos, senoidales (en *Sources*)
  - b. Sumadores (*Sum* en *Commonly used blocks*): que suman o restan varias señales
  - c. Constantes (*Constant* o *Gain* en *Commonly used blocs*): multiplican la señal por una constante.
  - d. Funciones de transferencia (*Transfer Fcn* en *Continuous*): definen la señal de salida en función de la señal de entrada. Están expresadas como el cociente de la transformada de Laplace de la salida y la entrada, en la variable compleja  $s$ . Entre corchetes se introducen los coeficientes de numerador y del denominador.
  - e. Multiplexor (*Mux* en *Signal Routing*): acepta varias señales de entrada y selecciona un salida multiplexada. Se suele utilizar para superponer en el visor varias señales a la vez.

Seleccionando el bloque y con el botón derecho del ratón se puede acceder a un menú con diversas opciones, entre ellas propiedades *format*, *foreground color* y *background color* para cambiar la orientación (*Flip Block*, *Rotate Block*,...) y edición del bloque.

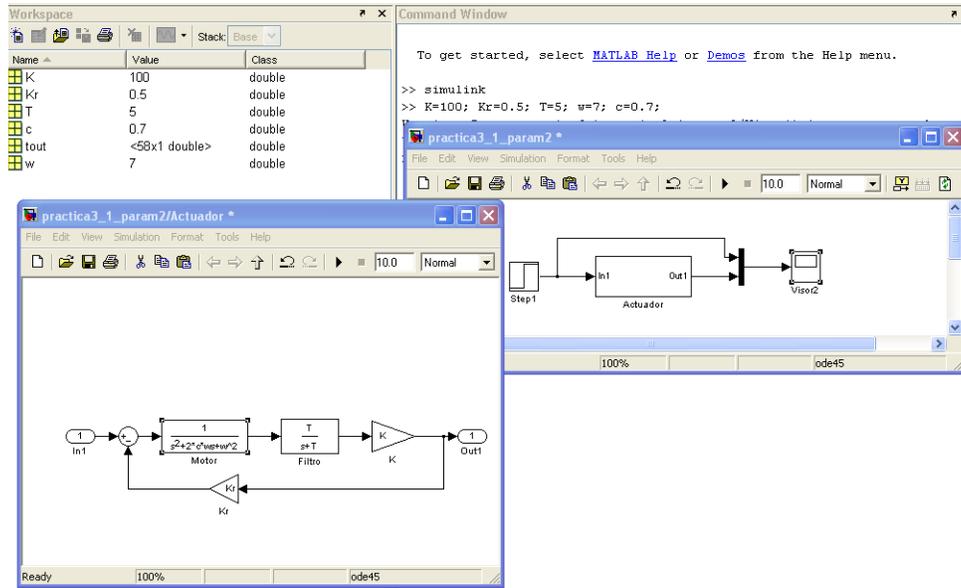
Realiza el siguiente esquema de bloques y guarda como *version1.mdl*



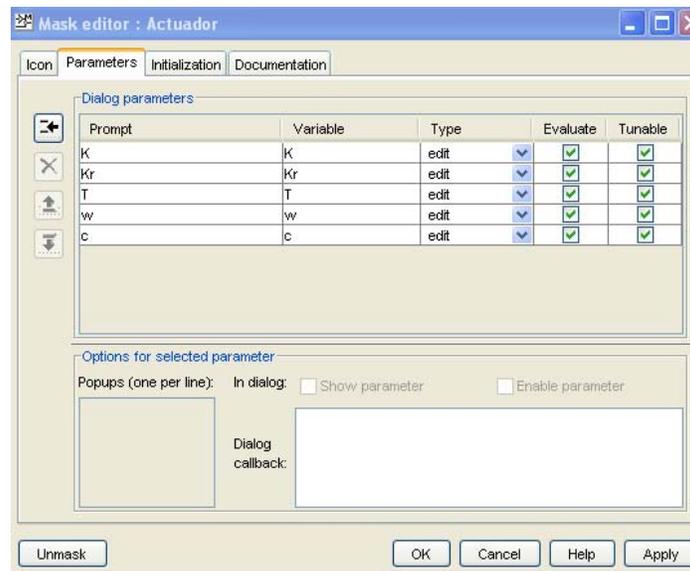
21. Puesto que los esquemas que pueden llegar a obtenerse pueden ser muy complejos es posible parametrizarlos. En este ejemplo se han parametrizado  $K$ ,  $K_r$ ,  $T$ ,  $w$  y  $c$ . Para ello basta introducir en los parámetros  $K=100$ ;  $K_r=0.5$ ;  $T=5$ ;  $w=7$ ;  $c=0.7$  en el espacio de trabajo de Matlab a través de la línea de comandos. Guarda como *version2.mdl* y arranca la simulación de nuevo.



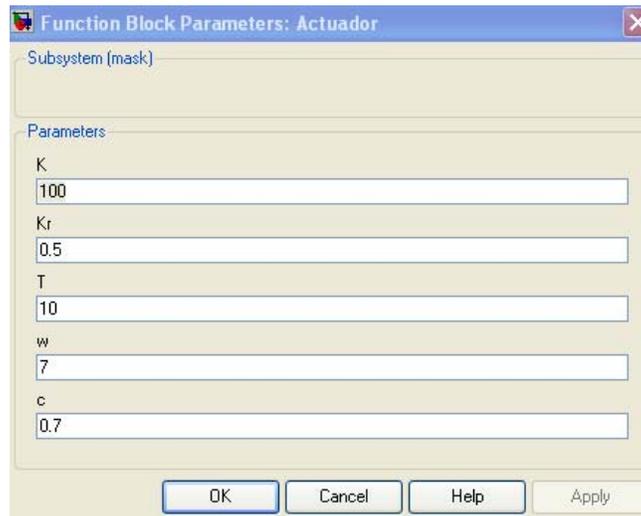
22. Y agruparlos utilizando la opción *Subsystem* en *Commonly used blocs* . En el ejemplo se han creado un subsistema Actuador introduciendo todo el sistema realimentado. Si haces doble Click sobre el bloque actuador se visualiza el subsistema creado. Guarda como *version3.mdl* y prueba la simulación.



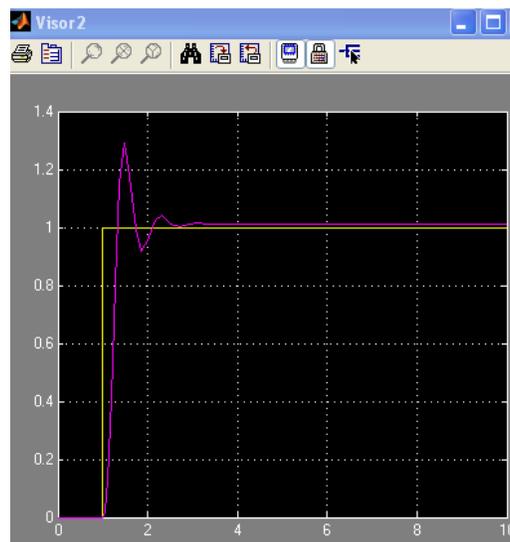
23. El propio subsistema se puede enmascarar. Pulsa botón derecho de ratón sobre el bloque Actuador y elige *Mask subsystem*. Sobre el editor de máscara (*Edit mask*) y *Parameters* introduce los parámetros K, Kr, T, w y c. Pulsa OK.



24. Sobre el bloque del Actuador (haciendo doble clic) o seleccionando *Maks Parameters* (botón derecho de ratón) puedes introducir los valores iniciales de los parámetros. Con la opción *Look Under Mask* se puede ver el diagrama de bloques que se ha encriptado.



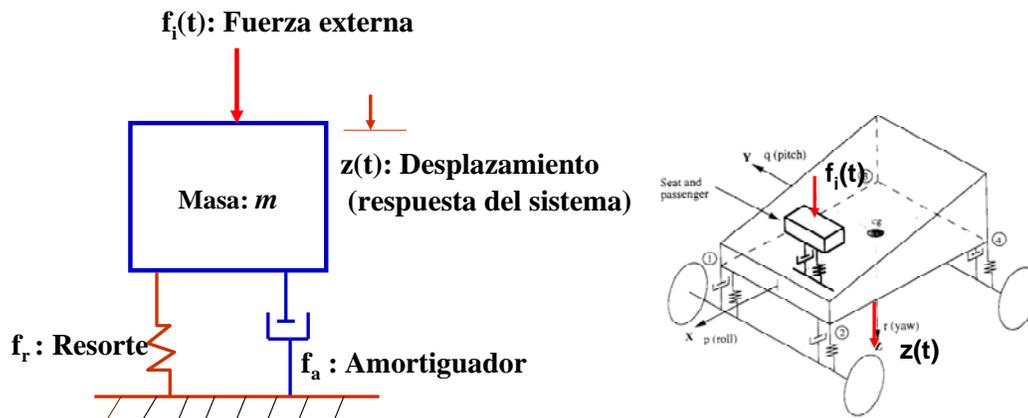
25. Una vez montado el sistema y establecidos los parámetros de simulación se puede lanzar la simulación. Tal como se ha definido el sistema se obtiene la siguiente salida por el visor.



26. SIMULINK permite también la realización de simulaciones en sistemas discretos. Estas simulaciones se hacen de forma muy similar a lo visto anteriormente. En el caso de simulaciones discretas habrá que poner especial atención en la especificación de los tiempos de muestreo y en su consistencia con los pasos de integración definidos.

### Ejercicio 3.2

Se quiere realizar la simulación de la calidad de respuesta de un sistema de amortiguamiento de un automóvil en una carretera con firme en mal estado. Para simplificar el problema se estudia el sistema básico de amortiguamiento sobre una sola rueda suponiendo que el sistema soporta una cierta masa de coche  $m$ . El sistema básico es el expuesto en la figura adjunta.



La descripción dinámica en el dominio temporal de este sistema es:

$$\begin{aligned} \Sigma \text{ fuerzas} &= ma = m \frac{d^2 z(t)}{dt^2} \\ \Sigma \text{ fuerzas} &= f_i(t) - f(t)_{\text{resorte}} - f(t)_{\text{amortiguador}} = m\ddot{z}(t) \\ f(t)_{\text{resorte}} &= K z(t) \\ f(t)_{\text{amortiguador}} &= B \frac{dz(t)}{dt} \end{aligned}$$

El parámetro  $B$  corresponde a un coeficiente de rozamiento viscoso de un amortiguador, mientras que el parámetro  $K$  es la constante rígida del muelle. La fuerza  $F_i$  se refiere a una fuerza externa que actúa sobre el sistema completo. En nuestro caso admitiremos que cuando existe una bajada en la carretera se produce una fuerza externa en el sentido positivo (OZ). Por el contrario si hay una escalón en la carretera entonces se produce una fuerza externa en sentido contrario (-OZ). En la práctica se debería imponer una conversión de altura del salto  $h(t)$  con la fuerza  $f_i(t)$  a través de un elemento transductor  $K_d$ , de modo que  $f_i(t) = K_d h(t)$  donde  $h(t)$  es la altura del desnivel en la carretera.

Tomando transformada de Laplace se obtienen las expresiones del modelo en la variable compleja s:

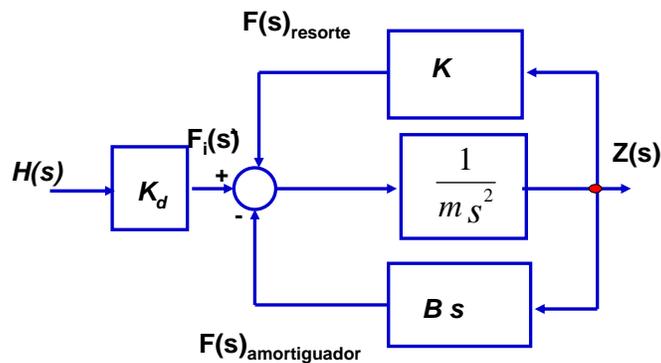
$$F(s)_{\text{resorte}} = K Z(s)$$

$$F(s)_{\text{amortiguador}} = B s Z(s)$$

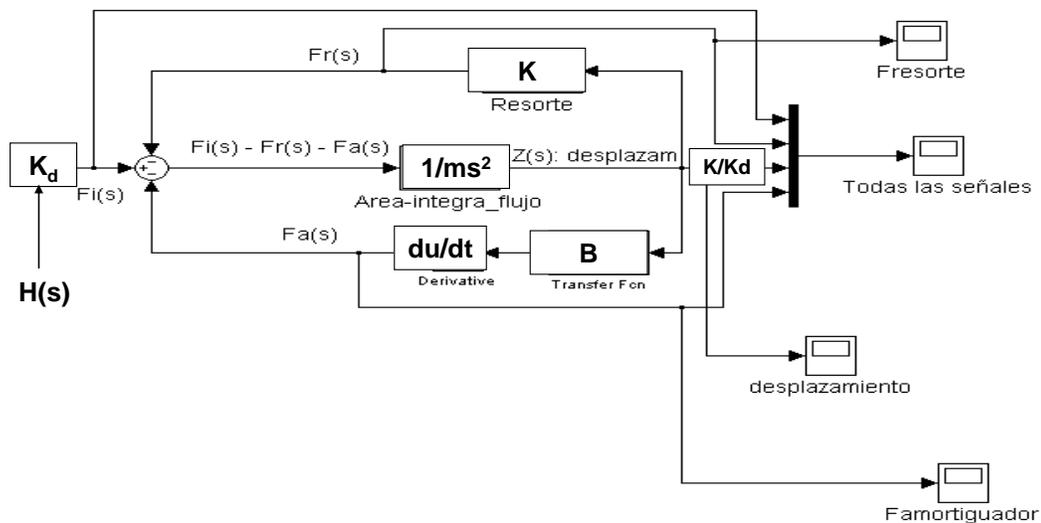
$$F_i(s) = K_d H(s)$$

$$F_i(s) - F(s)_{\text{resorte}} - F(s)_{\text{amortiguador}} = m s^2 Z(s)$$

Finalmente el esquema de bloques del sistema es el de la figura adjunta



Notar que la entrada al sistema es el perfil de la carretera  $h(t)$  mientras que la salida corresponde al desplazamiento vertical del coche respecto de su posición de equilibrio  $z(t)$ . Los valores de los parámetros son  $K_d=0.2\text{N/cm}$ ,  $K=200\text{N/m}$ ,  $m=400\text{Kg}$ ,  $B=100\text{N.s/m}$ . El esquema de simulación a diseñar en Simulink es el siguiente:



a) Realizar una simulación de la respuesta del sistema para un cambio de nivel de bache de 10cm. Es decir la entrada al sistema se interpreta como una entrada escalón ('step') de magnitud 10. Presentar los resultados que se visualizan en los osciloscopios.



- b) A través de modificaciones de los parámetros  $K$  y  $B$  intenta mejorar la respuesta del sistema y presenta los resultados.*
- c) Realizar una simulación de la respuesta del sistema ante perfiles de carretera más complejos. Por ejemplo ante una zona de baches o un camino de tierra.*