



## TAREA 2

**Objetivo: Implementar un sistema de control en Matlab para analizar la característica estática y dinámica de un proceso hidráulico.**

En la Figura 1 se muestra un estanque que se utiliza para monitoreo de especies marinas endémicas de la Isla del Coco, donde se tiene un tanque cilíndrico vertical abierto en su parte superior a la atmósfera, del cual se desea controlar **el nivel del tanque manipulando el caudal de entrada  $Q_e$**  ante posibles perturbaciones en el caudal de salida  $Q_s$ :

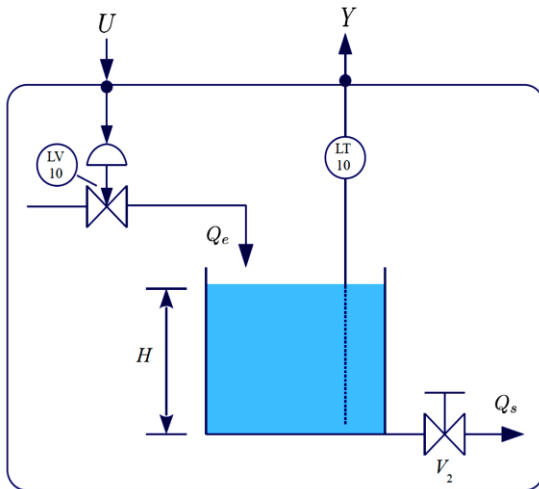


Figura 1: Proceso Control de Nivel

El **modelo dinámico** del proceso es:

$$A \frac{dH(t)}{dt} = Q_e(t) - Q_s(t) = Q_e(t) - X_{vs}(t) K_{vs} \sqrt{\rho g H(t)}$$

La característica estática es:

$$H(t) = f(Q_e, X_{vs}) = \frac{1}{\rho g} \left( \frac{Q_e(t)}{X_{vs}(t) K_{vs}} \right)^2$$


El modelo linealizado es:

$$h(s) = \frac{K_1}{T_s + 1} q_e(s) + \frac{K_2}{T_s + 1} x_{vs}(s)$$

$$K_1 = \frac{2}{X_{vs0} K_{vs}} \sqrt{\frac{H_0}{\rho g}}, \quad K_2 = -\frac{2H_0}{X_{vs0}}, \quad T = \frac{2A}{X_{vs0} K_{vs}} \sqrt{\frac{H_0}{\rho g}}$$

En donde:

Variable o Parámetro	Descripción	Valor nominal
$A$	área transversal del tanque	5 m <sup>2</sup>
$g$	aceleración de la gravedad	9,81 m/s <sup>2</sup>
$H$	nivel del líquido en el tanque	[2,24 <b>2,5</b> 2,95] m
	Altura máxima del tanque	3,6 m
	Ámbito de medición del sensor	0 a 3,25 m
$Q_e$	caudal de líquido de entrada	-
$Q_s$	caudal de líquido de salida	-
$K_{vs}$	constante de la válvula de salida del tanque	0,001
$X_{vs}$	apertura de la válvula de salida del tanque	{0,4 <b>0,5</b> 0,6}
$\rho$	densidad del líquido ( <b>agua de mar</b> )	1027 kg/m <sup>3</sup>
$t$	tiempo	s
<b>En negrita se marcan los valores deseados.</b>		

	<p>Universidad de Costa Rica Escuela de Ingeniería Eléctrica</p>	<p><b>EIE</b> Escuela de Ingeniería Eléctrica</p>
<p align="center"><b>IE0431: Sistemas de Control I-2024</b></p>		

Para este sistema:

- a) (5 puntos) Demuestre la obtención de la ecuación en el tiempo del modelo linealizado a partir del modelo dinámico del sistema, utilizando el procedimiento algebraico de linealización visto en clase, y a partir del mismo demuestre la obtención de las respectivas funciones de transferencia.

Utilizando la plantilla Tarea\_1.m de Matlab disponible en mediación virtual, calcule:

- b) (5 puntos) La ganancia del transmisor de nivel  $K_t$  (%/m) de forma que la señal realimentada esté normalizada de 0 a 100%.
- c) (5 puntos) La constante de la válvula de control  $K_{VC}$  ( $\frac{m^3 s^{-1}}{\%}$ ) de forma que la acción de control esté normalizada de 0 a 100%.
- d) (20 puntos) Implemente el sistema real en Simulink utilizando la ecuación del modelo dinámico del proceso tal como se observa en la Figura 2. **Debe indicar la condición inicial ( $H_0$ ) en los parámetros del bloque Integrador.**

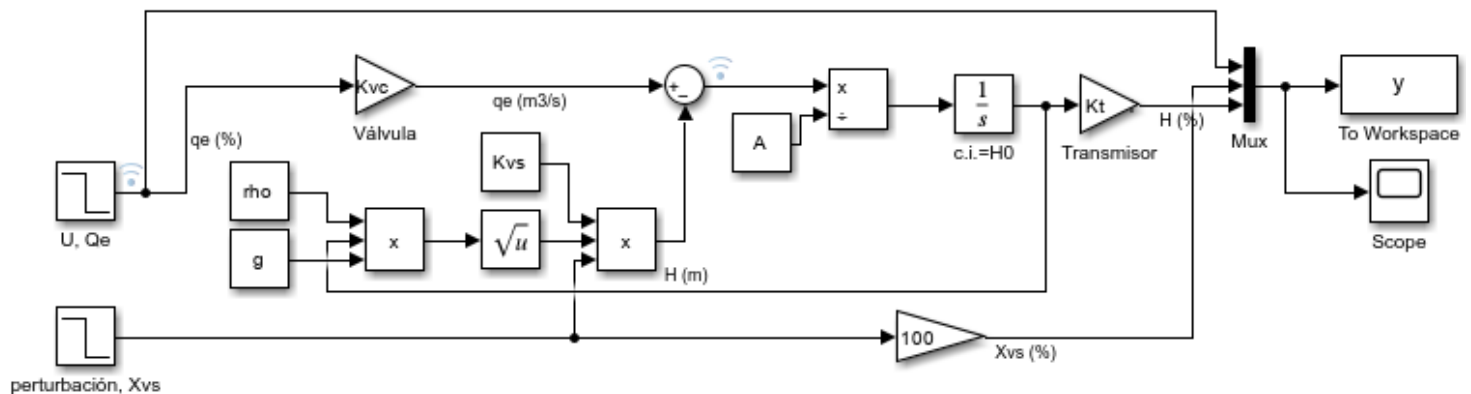

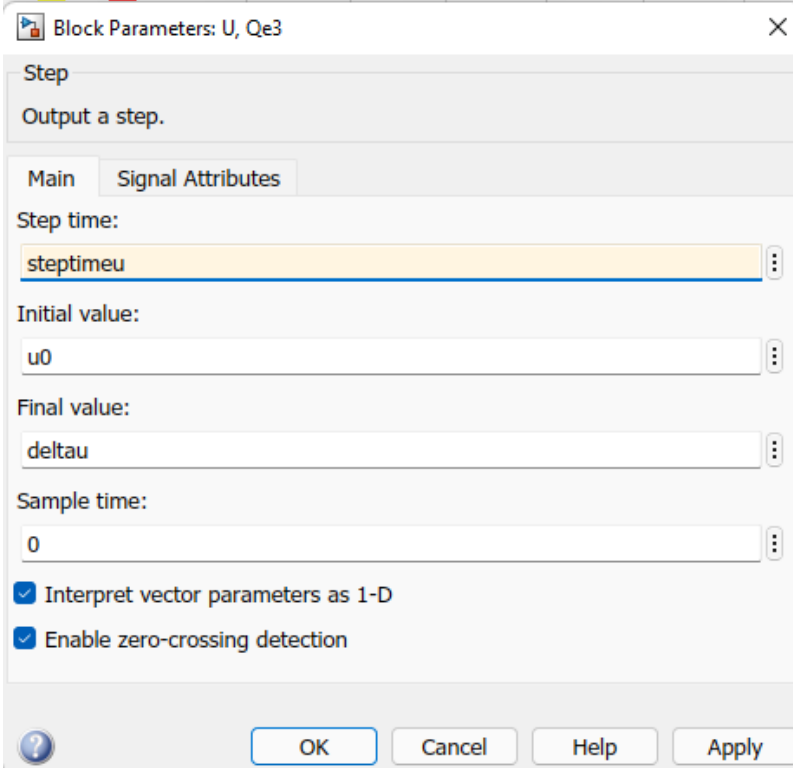


Figura 2: Diagrama de bloques del sistema real

	<p>Universidad de Costa Rica Escuela de Ingeniería Eléctrica</p>	<p><b>EIE</b> Escuela de Ingeniería Eléctrica</p>
<p align="center"><b>IE0431: Sistemas de Control I-2024</b></p>		

En el bloque del step de la entrada **U** debe configurarlo según se indica:



Block Parameters: U, Qe3

Step

Output a step.

Main Signal Attributes

Step time:

stepimeu

Initial value:

u0

Final value:

deltau

Sample time:

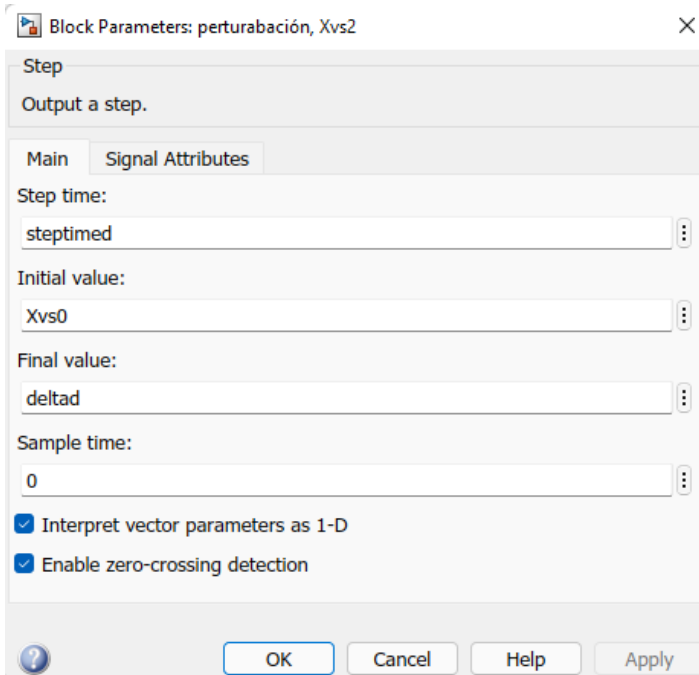
0

☒ Interpret vector parameters as 1-D

☒ Enable zero-crossing detection

OK Cancel Help Apply

En el bloque del step de la entrada de la perturbación debe configurarlo según se indica:



Block Parameters: perturbación, Xvs2

Step

Output a step.

Main Signal Attributes

Step time:

steptimed

Initial value:

Xvs0

Final value:

deltad

Sample time:

0

☒ Interpret vector parameters as 1-D

☒ Enable zero-crossing detection

OK Cancel Help Apply



**IE0431: Sistemas de Control  
I-2024**

Los valores de las variables se explican más adelante y también se encuentran en el archivo Tarea\_1.m.

- e) (15 puntos) Calcule el valor de  $T$ ,  $K_1$  y  $K_2$  del modelo linealizado. Implemente el diagrama de bloques en Simulink del sistema tal como se observa en la Figura 3.

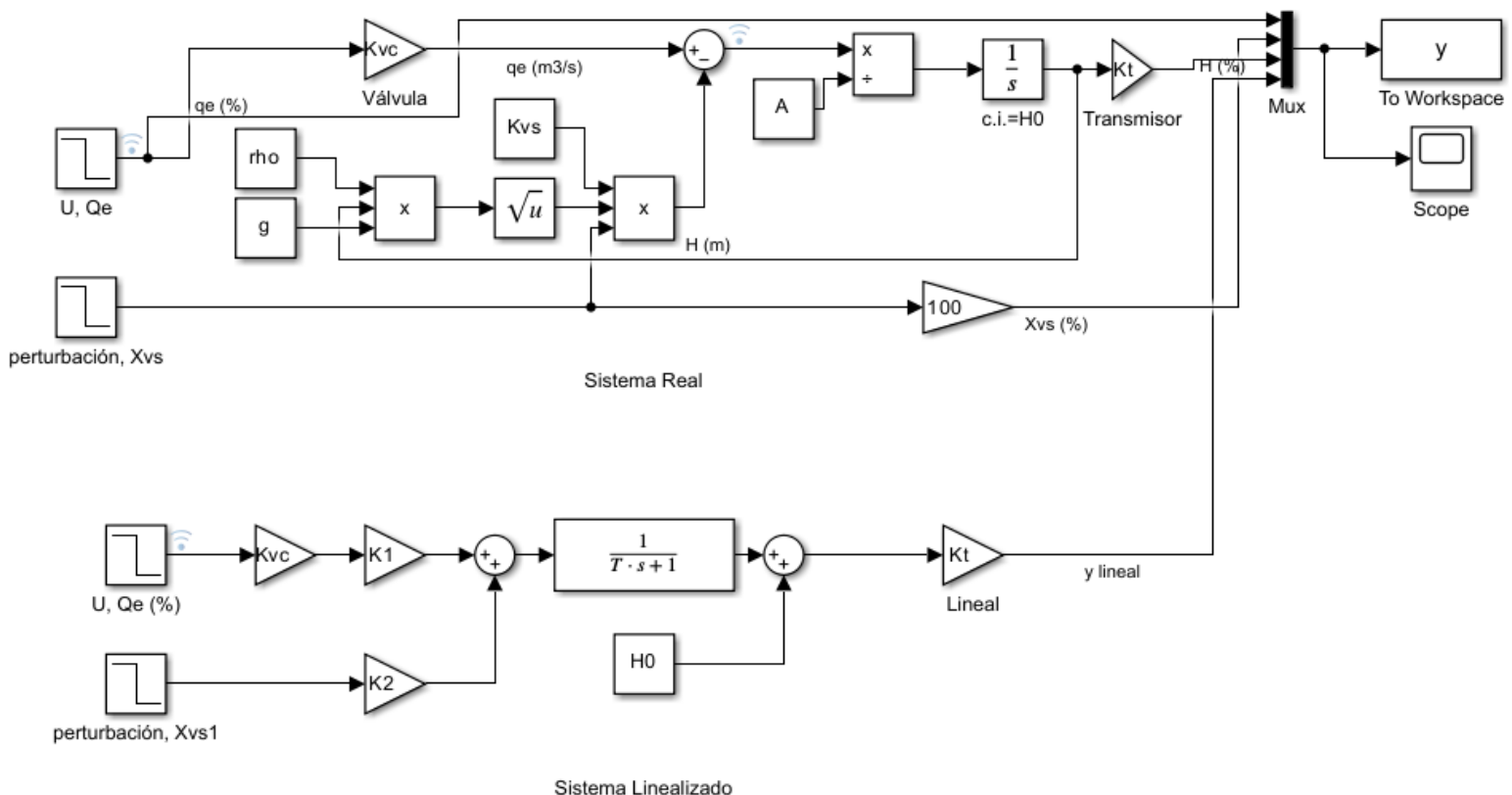



Figura 2: Diagrama de bloques del sistema real y linealizado

- f) (20 puntos) Obtenga la respuesta del sistema real (obtenida en el punto c) y compárela con la del sistema linealizado (obtenida en el punto d) **en una misma gráfica** utilizando Simulink/Matlab, cuando ambos se encuentran en el punto de operación más probable y se producen los siguientes cambios:

- Un cambio escalón en la señal de control de  $\Delta U = -2\%$ , seguido de un cambio escalón en la perturbación de  $\Delta D = -0.02$ . Considere que el sistema debe estabilizarse antes de aplicar el segundo cambio escalón.
- Un cambio escalón en la señal de control de  $\Delta U = -10\%$ , seguido de un cambio escalón en la perturbación de  $\Delta D = -0.1$ . Considere que el sistema debe estabilizarse antes de aplicar el segundo cambio escalón.

Indique las gráficas en su solución y adjunte el archivo .slx.

	<p>Universidad de Costa Rica Escuela de Ingeniería Eléctrica</p>	<p><b>EIE</b> Escuela de Ingeniería Eléctrica</p>
<p align="center"><b>IE0431: Sistemas de Control I-2024</b></p>		

- g) (20 puntos) A partir de la ecuación de la característica estática obtenga utilizando Matlab y en una misma figura, la curva estática del proceso para los tres posibles valores de la apertura de la válvula de salida. Muestra la relación entre  $m(t)$  y  $c(t)$ . **Indique en la figura el punto de operación más probable del sistema.** Presente la gráfica en su solución y comente sobre la forma de las curvas.
- h) (10 puntos) A partir de los resultados anteriores, observe la respuesta del nivel ante los cambios en el caudal de entrada y la apertura de la válvula de salida, ¿son razonables? Comente sobre la validez del modelo lineal cuando se producen cambios en el punto de operación del sistema.

#### Instrucciones finales:

Todas las figuras anteriores deben incluir las entradas de referencia y perturbación, y presentarse con una descripción de los ejes usando el comando *xlabel*, *ylabel* y una leyenda (*legend*). El fondo de las figuras debe ser blanco, y el grosor de las líneas mostradas en cada figura debe ser el adecuado tal que permita fácilmente identificar cada señal.

- 🏠 Recuerde hacer el ajuste del “solver” en *simulink* (*fixed step*, *ode4*, *step size*  $1e-3$  o  $1e-4$ ).
- 🏠 Entregar en Mediación Virtual una memoria pdf indicando las soluciones obtenidas para cada punto, además de los archivos Matlab y Simulink los cuales deben generar todos los resultados presentados en la memoria, para considerar las soluciones como válidas. Subir a la plataforma virtual los archivos por separado (no se aceptan archivos comprimidos).
- 🏠 Indicar carné, nombre y grupo matriculado en cada archivo entregado, en el nombre de los archivos (ej: *C01234\_NombreApellido\_G0#.pdf*) y en el contenido de estos (portada para el pdf, comentario en los archivos Matlab/Simulink).
- 🏠 Las tareas son de realización y entrega individual. Tome en cuenta que Mediación genera un reporte de originalidad con la herramienta *Turnitin* para cada entrega.
- 🏠 Se recomienda repasar el tema de Proceso controlado en el libro Sistemas de control de Alfaro disponible en Mediación Virtual.
- 🏠 Fecha de entrega: domingo 21 de abril a las 11:55 pm, no se aceptan tareas después de esta fecha y hora, ni entregadas por otros medios distintos a Mediación Virtual.