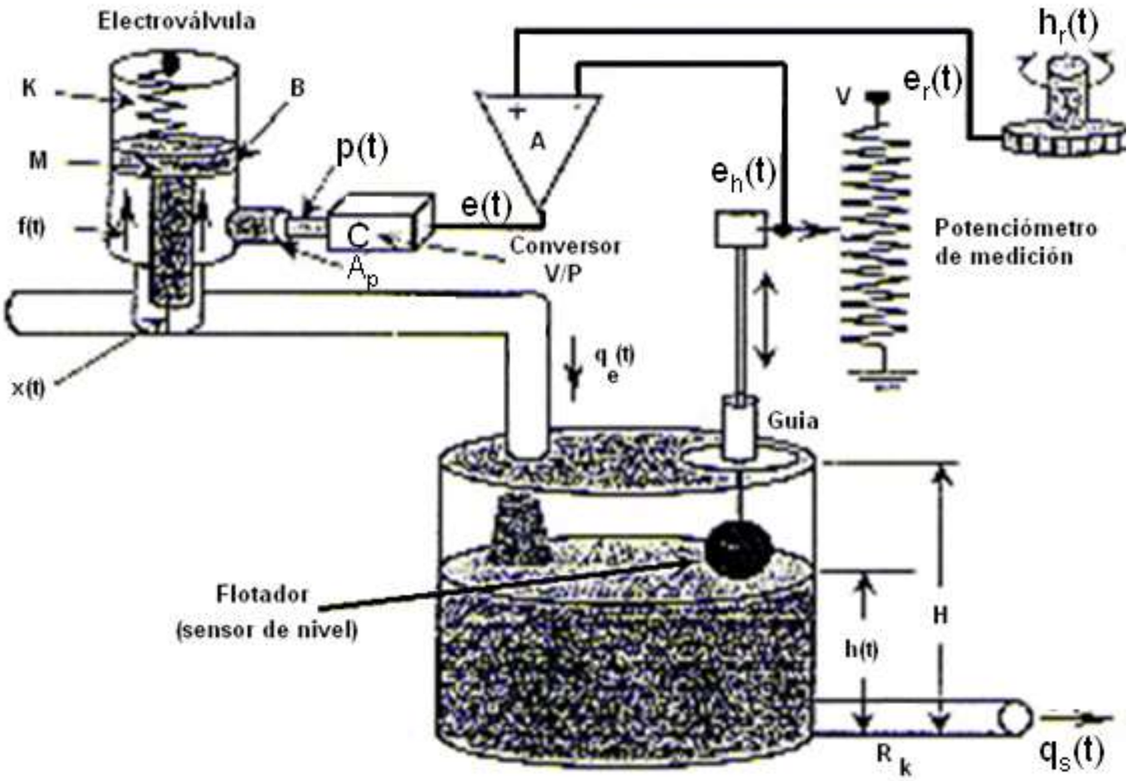
Sistemas de Control

1. Control de Nivel

En la figura se muestra un sistema de control de nivel del líquido **h(t)** de un recipiente cilíndrico de área **A_h**, altura **H** y resistencia hidráulica **R_h** en el caudal de salida. En el sistema, el caudal de entrada **q_e(t)** es gobernado por una electro válvula que consiste de un impulsor hidráulico (de desplazamiento **x(t),** masa **M**, fricción **B**, resorte de constante **K** y sección de presión **A_p**) y un conversor voltaje/presión. El voltaje proviene de un amplificador diferencial de ganancia **A,** que compara la señal de referencia **h_r(t)** (mediante la manipulación de un potenciómetro) y la señal de realimentación **e_h(t)** que proviene de un potenciómetro lineal cuyo cursor varía con la barra vertical de carrera libre vertical que provoca el flotador (sensor de nivel)



Las ecuaciones físicas del sistema son:

Ecuación de la electroválvula:

$$M\frac{d^2x(t)}{dt^2}+B\frac{dx(t)}{dt}+Kx(t)=f(t) \qquad (1)$$

Ecuación del tanque:

$$C_t\frac{dh(t)}{dt}+\frac{h(t)}{R_t}=q_e(t) \qquad (2)$$

Ecuaciones del controlador:

$$e(t)=[e_r(t)-e_h(t)]A \qquad (3)$$

$$p(t)=Ce(t) \qquad (4)$$

$$f(t)=A_p p(t) \qquad (5)$$

$$q_e(t)=K_q x(t) \qquad (6)$$

Ecuación del transductor de nivel:

$$e_h(t)=\frac{V}{H}h(t) \qquad (7)$$

Datos de los parámetros:

H = 0.5m A_h= 0.25m^2 R_h=100seg /m^2 V = 6 Voltios A_p= 0.0025m^2 M = 0.2Kg B = 0.06Nseg/m	K = 0.2N/m K_q= 0.04m^2/seg C_t = 0.2m^2/seg R_t = 200seg/m^2 C = 8V/m^2

a. Dibujar el diagrama de bloques del sistema con entrada $e_r(t)$ y salida $h(t)$en donde se muestren todas las variables involucradas en el sistema.
b. Encontrar el rango de valores de **A** donde el sistema es estable.

A: es el valor de la ganancia de un controlador de ganancia pura, entendiendo que una ganancia ya es un controlador simple.

Solución

Ordenando las ecuaciones físicas del sistema tenemos:

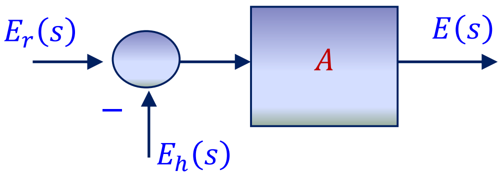
Ecuación del controlador:

$$\boxed{e(t) = [e_r(t) - e_h(t)]A}$$

Aplicando transformada de Laplace:

$$E(s) = [E_r(s) - E_h(s)]A$$

$$\frac{E(s)}{E_r(s) - E_h(s)} = A$$



Ecuación de los preaccionadores

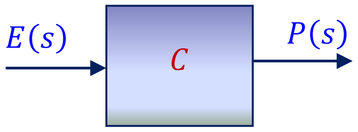
Preaccionador 1:

$$\boxed{p(t) = Ce(t)}$$

Aplicando transformada de Laplace:

$$P(s) = CE(s)$$

$$\frac{P(s)}{E(s)} = C$$



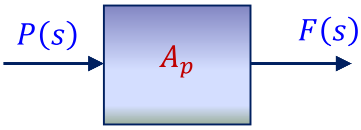
Preaccionador 2:

$$\boxed{f(t) = A_p p(t)}$$

Aplicando transformada de Laplace:

$$F(s) = A_p P(s)$$

$$\frac{F(s)}{P(s)} = A_p$$



Ecuación de la electroválvula

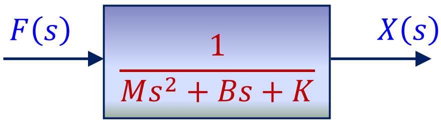
$$\boxed{\frac{Md^2x(t)}{dt^2} + \frac{Bdx(t)}{dt} + Kx(t) = f(t)}$$

Aplicando transformada de Laplace:

$$Ms^2X(s) + BsX(s) + KX(s) = F(s)$$

$$X(s)[Ms^2 + Bs + K] = F(s)$$

$$\frac{X(s)}{F(s)} = \frac{1}{Ms^2 + Bs + K}$$

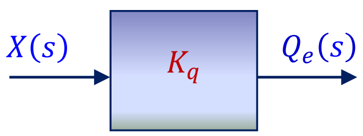


Ecuación del caudal

$$\boxed{q_e(t) = K_q x(t)}$$

Aplicando transformada de Laplace:

$$Q_e(s) = K_q X(s)$$
$$\frac{Q_e(s)}{X(s)} = K_q$$



Ecuación del tanque:

$$\boxed{\frac{C_t dh(t)}{dt} + \frac{h(t)}{R_t} = q_e(t)}$$

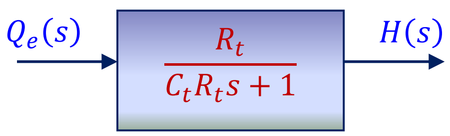
Aplicando transformada de Laplace:

$$C_t sH(s) + \frac{H(s)}{R_t} = Q_e(s)$$

$$\frac{C_t R_t sH(s) + H(s)}{R_t} = Q_e(s)$$

$$\frac{H(s)[C_t R_t s + 1]}{R_t} = Q_e(s)$$

$$\frac{H(s)}{Q_e(s)} = \frac{R_t}{C_t R_t s + 1}$$



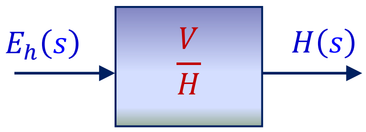
Ecuación transductor de nivel:

$$\boxed{e_h(t) = \frac{V}{H} h(t)}$$

Aplicando transformada de Laplace:

$$E_h(s) = \frac{V}{H} H(s)$$

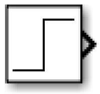
$$\frac{E_h(s)}{H(s)} = \frac{V}{H}$$



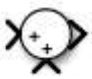
Simulación

Los bloques que vamos a usar son:

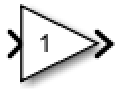
STEP



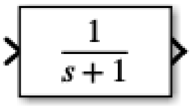
SUM



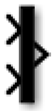
GAIN



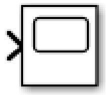
TRANSFER FCN



MUX

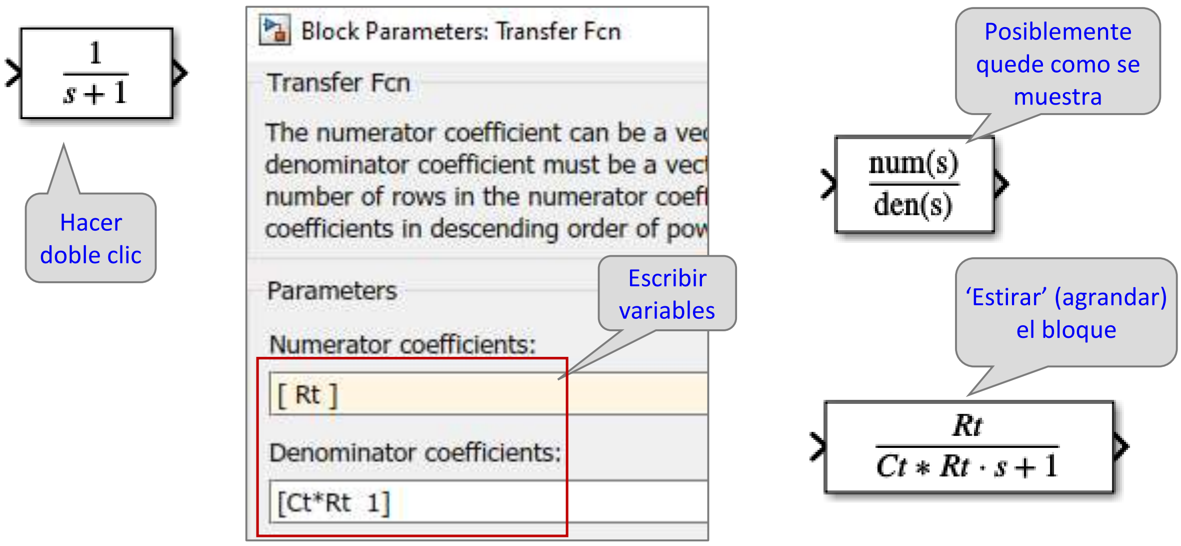


SCOPE

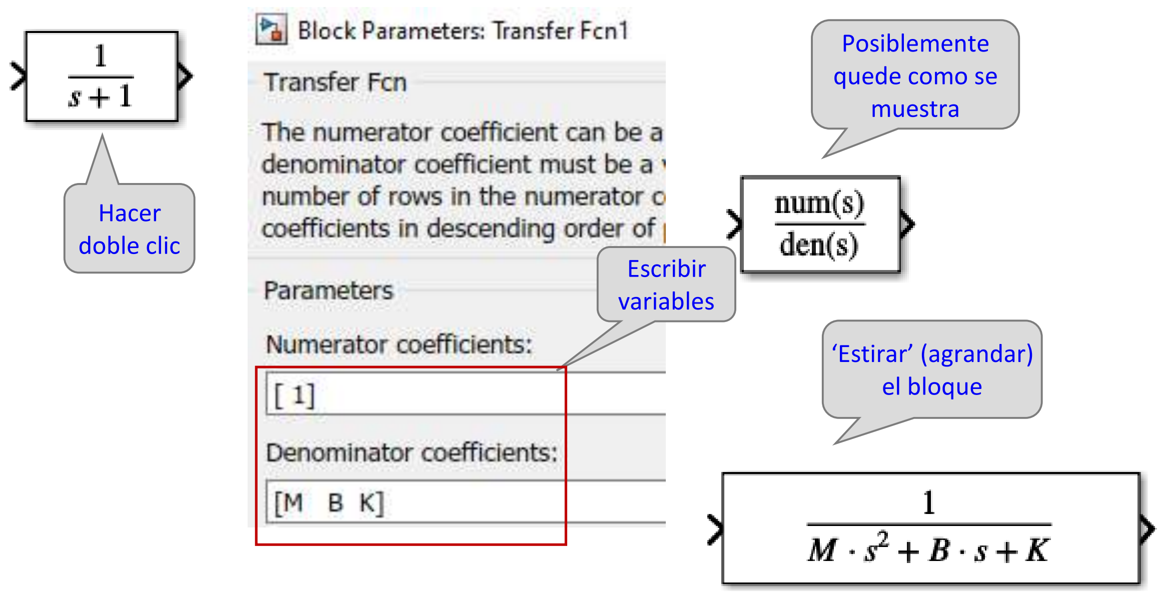


Colocamos todos los bloques mencionados y como sugerencia escribiremos el nombre de variables dentro de cada bloque, para que se entienda mejor, luego podremos asignar los valores a las variables dentro de un archivo script de matlab.

Entonces en cada bloque de transferencia colocamos las variables como se indica:

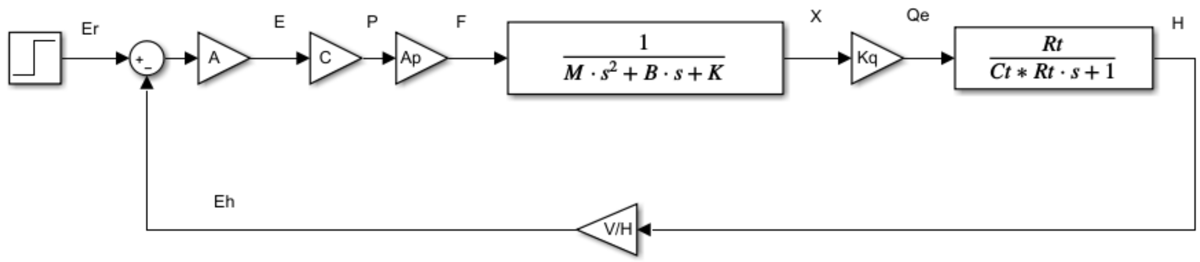


De la misma manera se hace para el otro bloque de transferencia:

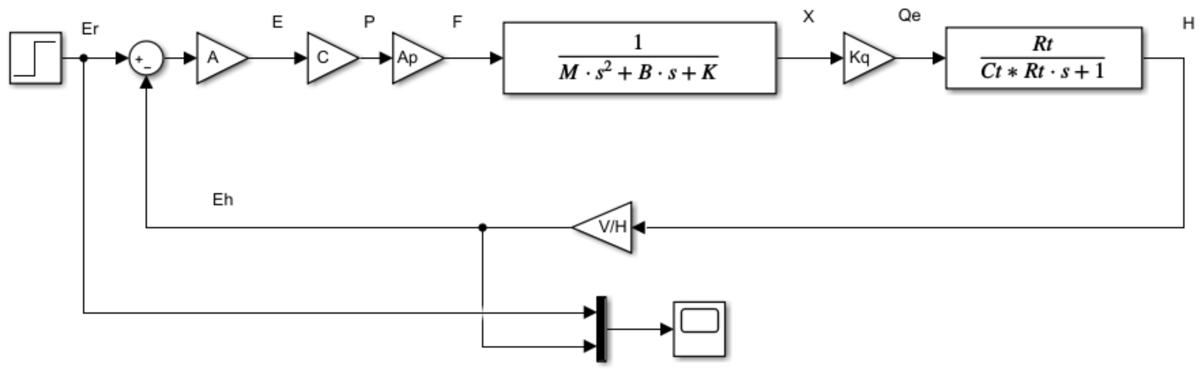


En los bloques de ganancia hacer el mismo procedimiento de colocar variables.

Implementar todo el programa en bloques como se muestra:



Se le puede agregar finalmente las conexiones al bloque SCOPE para ver la señal de referencia $e_r(t)$ y el valor de nivel $h(t)$ cuantificado por el sensor de nivel $e_h(t)$

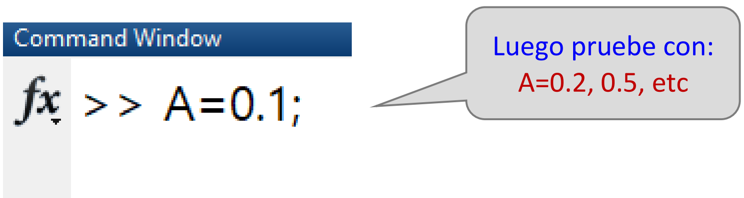


Consideraciones antes de la ejecución:

- Antes de ejecutar el programa de bloques desarrollado en Simulink, deberá ejecutar el programa script en Matlab, el cual contiene las variables a emplear. Al ejecutar el script las variables se almacenarán en el workspace, de manera que el programa de simulink 'captura' dichos valores de las variables almacenadas ya en el workspace

```
%Datos de los parámetros:
H = 0.5;
Ah= 0.25;
Rh=100;
V = 6 ;
Ap= 0.0025;
M = 0.2;
B = 0.06;
K =  0.2;
Kq= 0.04;
Ct = 0.2;
Rt = 200;
C = 8;
```

- También deberá asignar un valor inicial del controlador de ganancia **A** desde la línea de comandos:



Este valor deberá estar cambiándolo, verificando como afecta en la respuesta en el tiempo de la variable nivel, quizá con algún valor de A, el sistema se hará inestable. Verifique esto

- Finalmente, si es necesario deberá estar cambiando apropiadamente el tiempo de simulación indicado en la barra para poder observar mejor la respuesta en el tiempo

Por ejemplo, la simulación se hizo en 10 segundos, con A=0.1 pero no se concluye si la respuesta del nivel (color celeste) seguirá aumentando o no, por ello podría intentar con un tiempo de simulación mayor