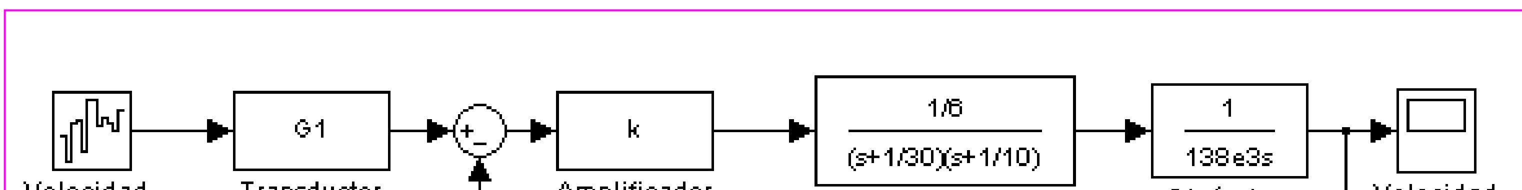
Capítulo 3: Descripción y representación de los sistemas continuos

carlos.platero@upm.es (C-305)

Descripción y representación de los sistemas continuos

- Sistema: división en subsistemas o bloques
  - FDT & diagrama a bloques
- Objetivos del capítulo
  - Linealización del sistema
  - FDT
  - Diagramas a bloques
  - Sistemas realimentados
  - Álgebra de bloques



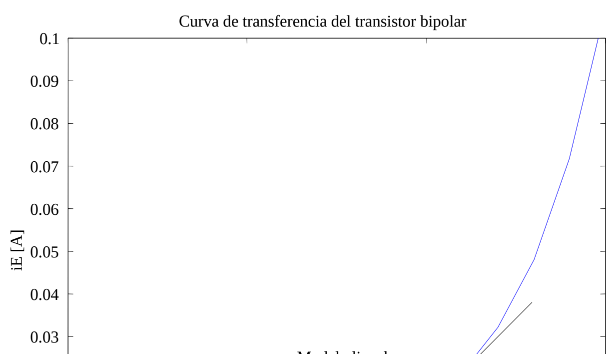
Linealización

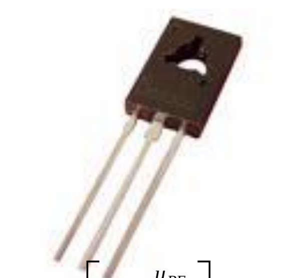
- Monovariable

$$f(x)=[f(x)]_0+\left[\frac{df(x)}{dx}\right]_0(x-x_0)+\frac{1}{2!}\left[\frac{df^2(x)}{dx^2}\right]_0(x-x_0)^2+\ldots+\frac{1}{n!}\left[\frac{df^n(x)}{dx^n}\right]_0(x-x_0)^n+\ldots$$

$$f(x)\cong[f(x)]_0+\left[\frac{df(x)}{dx}\right]_0(x-x_0) \qquad \Delta y=\left[\frac{df(x)}{dx}\right]_0\Delta x$$

- Ejemplo





$$i_E=i_E(u_{BE}) \Rightarrow i_E=I_S e^{\frac{u_{BE}}{V_T}}$$

$$i_E=\left[I_S e^{\frac{u_{BE}}{V_T}}\right]_{u_{BE}=V_{BE}}+\left[\frac{I_S e^{\frac{u_{BE}}{V_T}}}{V_T}\right]_{u_{BE}=V_{BE}}(u_{BE}-V_{BE}) \qquad i_E=I_E+\frac{I_E}{V_T}(u_{BE}-V_{BE})$$

Linealización de sistemas dinámicos

- Modelo basado en ecuaciones diferenciales:

$$F\left(y, \dot{y}, \ddot{y}, \ldots, x_1, \dot{x}_1, \ddot{x}_1, \ldots, x_n, \dot{x}_n, \ddot{x}_n, \ldots\right) = 0$$

$$\left[\frac{\partial F}{\partial y}\right]_0 \Delta y + \left[\frac{\partial F}{\partial \dot{y}}\right]_0 \Delta \dot{y} + \left[\frac{\partial F}{\partial \ddot{y}}\right]_0 \Delta \ddot{y} + \ldots + \left[\frac{\partial F}{\partial x_1}\right]_0 \Delta x_1 + \left[\frac{\partial F}{\partial \dot{x}_1}\right]_0 \Delta \dot{x}_1 + \left[\frac{\partial F}{\partial \ddot{x}_1}\right]_0 \Delta \ddot{x}_1 + \ldots +$$
$$+ \left[\frac{\partial F}{\partial x_n}\right]_0 \Delta x_n + \left[\frac{\partial F}{\partial \dot{x}_n}\right]_0 \Delta \dot{x}_n + \left[\frac{\partial F}{\partial \ddot{x}_n}\right]_0 \Delta \ddot{x}_n + \ldots = 0$$

Ejemplo 3.2

Linealizar la expresión: $y = 3x^2 + 4x\dot{x} + sen(x) + 2$

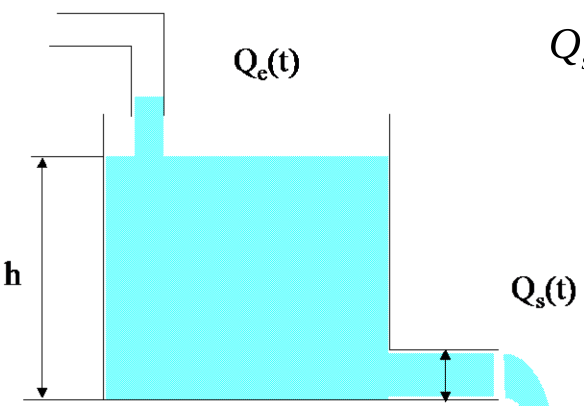
entorno al punto de reposo $x_0 = \frac{\pi}{2}$.

$$\boxed{\Delta y = 3\pi \cdot \Delta x + 2\pi \cdot \Delta \dot{x}}$$

Ejercicio 3.3

Obtener el modelo dinámico del nivel del agua y linealizarlo en torno a un punto de reposo. Considere que el caudal de entrada, Qe, en equilibrio es de 1 m^3/s y la sección de salida, A, es de 1 m^2, mientras la base de depósito, B, es de 1 m^2. Analizar las discrepancias entre el modelo no lineal y lineal en el régimen permanente, si el caudal de entrada, en primer lugar, evoluciona a 1.1 m^3/s y luego pasa a 2 m^3/s.

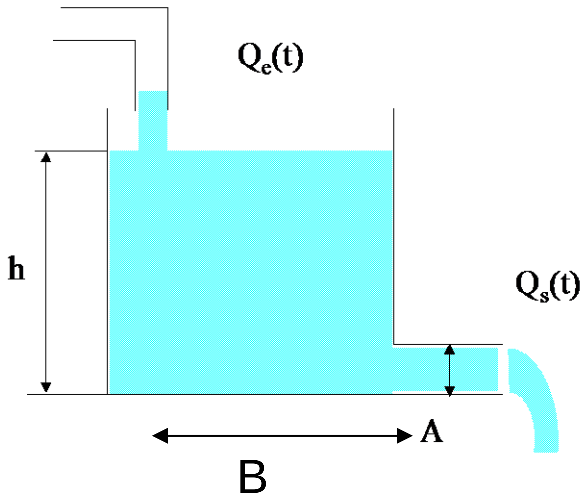
$$\left.\begin{array}{l} Q_e(t) - Q_s(t) = B\dfrac{dh}{dt} \\ Q_s(t) = c\cdot v_s \cdot A = c\cdot\sqrt{2gh}\cdot A \end{array}\right\} \Rightarrow Q_e(t) - c\cdot\sqrt{2gh}\cdot A - B\dot{h} = 0$$



$$\Delta Q_e(t) - \left[c\cdot\sqrt{2g}\,\frac{1}{2\sqrt{h}}\cdot A\right]_0 \Delta h - B\Delta\dot{h} = 0$$

Ejercicio 3.3

- La validez depende del tamaño del incremento alrededor del punto de reposo



Modelo no lineal estacionario:

$$Q_{e,0} = 1\frac{m^3}{s} \rightarrow h_0 = \frac{Q^2{}_{e,0}}{A^2 \cdot 2g} = 0.05m$$

$$Q_{e,1} = 1.1\frac{m^3}{s} \rightarrow h_1 = \frac{Q^2{}_{e,1}}{A^2 \cdot 2g} = 0.0605m$$

$$Q_{e,2} = 2\frac{m^3}{s} \rightarrow h_2 = \frac{Q^2{}_{e,2}}{A^2 \cdot 2g} = 0.2m$$

Si el incremento es de 0.1 ó 1 m^3/s, los resultados del modelos incremental son:

$$\Delta h_1 = \frac{\Delta Q_{e,1}}{10} = 0.01 \Rightarrow h_1 \cong h_0 + \Delta h_1$$

$$\Delta h_2 = \frac{\Delta Q_{e,2}}{10} = 0.1 \Rightarrow h_2 \cong h_0 + \Delta h_2$$

Final de enero 2017

Sea la dinámica del sistema:

$$\dot{y}(t) + x(t)y(t) + y(t) = x^2(t) + 2$$

1. Obtener el punto de equilibrio sabiendo que $x_0=3$.
2. Calcular el modelo lineal incremental $\frac{\Delta y(s)}{\Delta x(s)}$ para el punto de reposo calculado en el anterior apartado.
3. Si la entrada x(t) pasa bruscamente de 3 a 3.2, determinar la evolución temporal de la salida analíticamente y gráficamente utilizando el modelo lineal.
4. Comparar la salida del régimen permanente entre el resultado del modelo lineal y del modelo no lineal.
5. Hacer lo mismo que en el apartado 3 y 4, si la entrada x(t) pasa bruscamente de 3 a 5. Comparar estos resultados con los del apartado 3 y 4. Obtener conclusiones.

Final de enero 2017

Obtener el punto de equilibrio sabiendo que x_0=3.

$$y_0 = \frac{x_0^2 + 2}{1 + x_0} = 2.75$$

Calcular el modelo lineal incremental $\frac{\Delta y(s)}{\Delta x(s)}$ para el punto de reposo calculado en el anterior apartado.

$$\frac{\Delta y(s)}{\Delta x(s)} = \frac{13/4}{s + 4}$$

Si la entrada x(t) pasa bruscamente de 3 a 3.2, determinar la evolución temporal de la salida analíticamente y gráficamente utilizando el modelo lineal.

$$\Delta y(t) = 0.16(1 - e^{-4t})$$

Comparar la salida del régimen permanente entre el resultado del modelo lineal y del modelo no lineal.

Lineal: $y(\infty) = 2.75 + 0.16 = 2.91$

No lineal: $y(\infty) = \frac{3.2^2+2}{1+3.2} = 2.91$

Hacer lo mismo que en el apartado 3 y 4, si la entrada x(t) pasa bruscamente de 3 a 5. Comparar

Función de transferencia (LTI-SISO)

- Lineal & No Lineal (proceso de linealización)

$$\text{Modelo lineal}: \sum_{i=0}^{n} a_i \frac{d^i}{dt^i} y(t) = \sum_{j=0}^{m} b_j \frac{d^j}{dt^j} x(t)$$

$$\text{Modelo incremental}: \sum_{i=0}^{n} a_i \frac{d^i}{dt^i} \Delta y(t) = \sum_{j=0}^{m} b_j \frac{d^j}{dt^j} \Delta x(t)$$

- Aplicando transformadas de Laplace

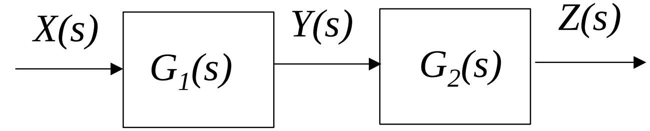
$$\text{Modelo lineal}: \frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{\sum_{j=0}^{m} b_j s^j}{\sum_{i=0}^{n} a_i s^i}$$

$$\text{Modelo lineal}: \sum_{i=0}^{n} a_i s^i Y(s) = \sum_{j=0}^{m} b_j s^j X(s)$$

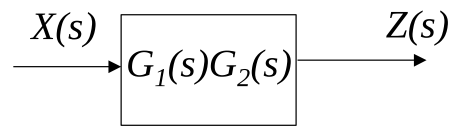
$$\text{Modelo incremental}: \sum_{i=0}^{n} a_i s^i \Delta Y(s) = \sum_{j=0}^{m} b_j s^j \Delta X(s)$$

Diagramas de bloques

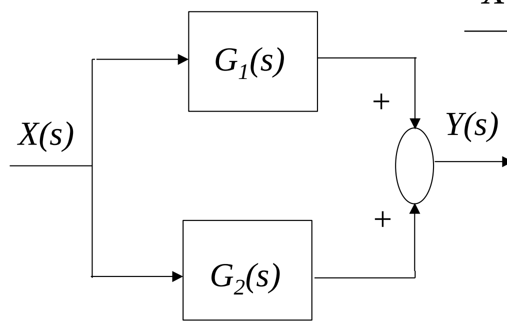
- Serie



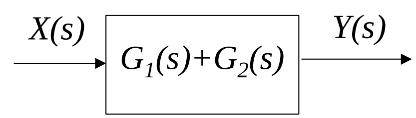
$$Y(s)=G_1(s)X(s) \quad Z(s)=G_2(s)Y(s) \quad \Rightarrow \quad Z(s)=G_1(s)G_2(s)X(s)$$



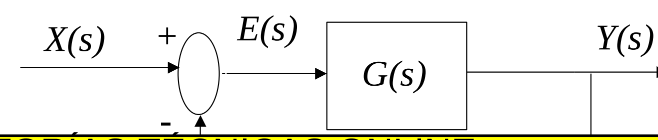
- Paralelo



$$Y(s)=G_1(s)X(s)+G_2(s)X(s)$$
$$Y(s)=(G_1(s)+G_2(s))X(s)$$



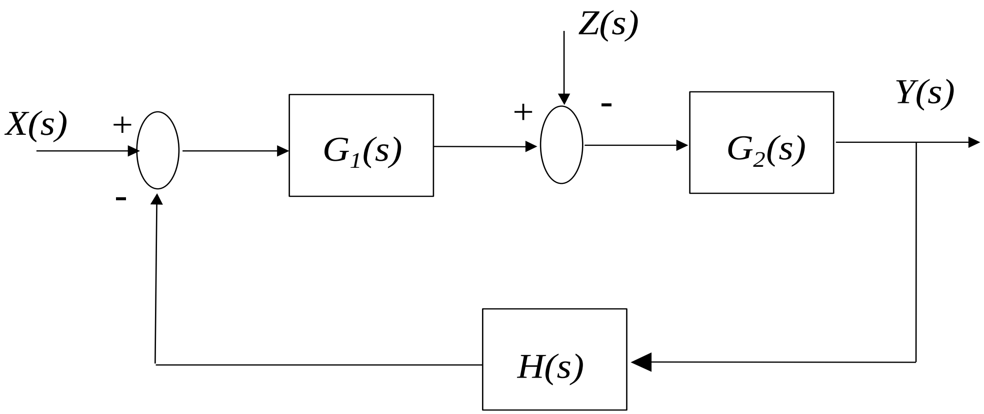
- Realimentado



$$Y(s)=E(s)G(s)$$

$\rightarrow M(s)=\ Y(s)\ =\ G(s)$

Sistemas realimentados lineales



$$Y(s) = M_1(s)X(s) + M_2(s)Z(s)$$

(por teorema de superposición)

$$M_1(s) = \frac{G_1(s)\cdot G_2(s)}{1+G_1(s)\cdot G_2(s)\cdot H(s)} \qquad M_2(s) = \frac{-G_2(s)}{1+G_1(s)\cdot G_2(s)\cdot H(s)}$$

- Condición de diseño: $|G_1(s)\cdot G_2(s)\cdot H(s)| >> 1$

$$M_1(s) \cong \frac{1}{H(s)} \qquad M_2(s) \cong \frac{-1}{G_1(s)\cdot H(s)}$$

Problema 2

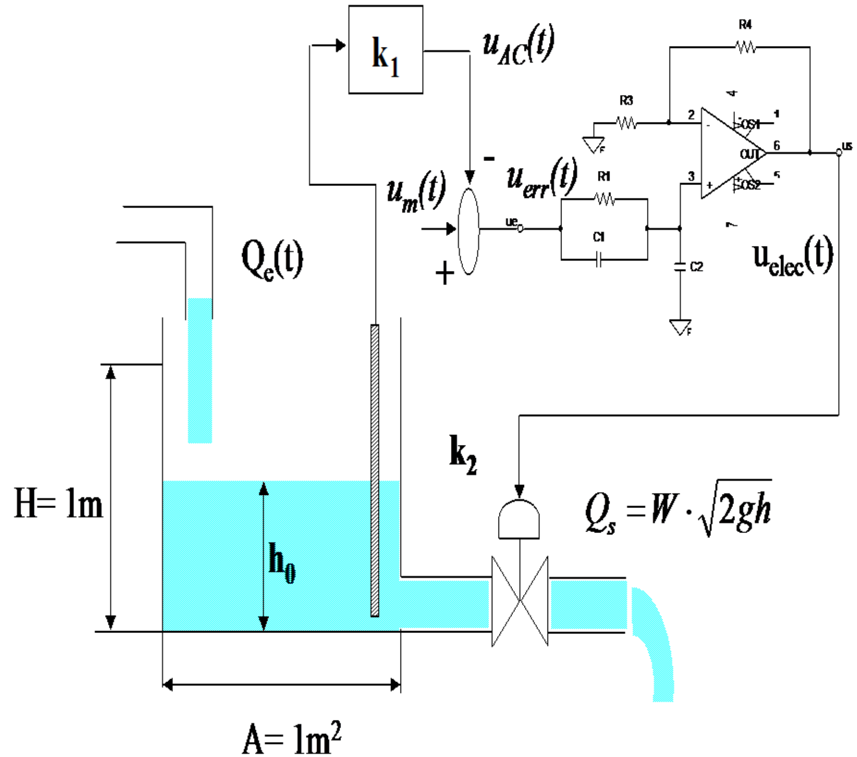
El esquema de la figura representa un sistema de control continuo sobre un depósito de agua. La altura es medida por un transductor resistivo, de forma que la tarjeta de acondicionamiento de la señal, da una tensión proporcional a la altura:

$$u_{AC}(t) = k_1 h(t)$$

siendo k_1 la ganancia, de valor 10 [V/m]. Esta señal es comparada con la señal de mando, $u_m(t)$, generando la señal de error, la cual ataca al regulador PI analógico, cuya ganancia de tensión está dada por la siguiente ecuación diferencial:

$$u_{elec}(t) + 3\frac{du_{elec}(t)}{dt} = 2\left(u_{err}(t) + \frac{du_{err}(t)}{dt}\right)$$

El compensador ataca a la electroválvula de sección variable. La sección de paso, W, es proporcional a la tensión de salida del regulador con una ganancia k2, de valor 0.01 [m2/V]. Se pide:



1. Conjunto de ecuaciones algebro-diferenciales que determinen la dinámica del sistema.
2. Linealizar el modelo respecto al punto de equilibrio, um0 = 6V y h0= 0.5m. ¿Cuánto vale

Problema depósito

El conjunto de ecuaciones algebro-diferenciales que definen la dinámica del sistemas:

$$u_{AC}(t) = k_1 h(t) = 10h(t)$$

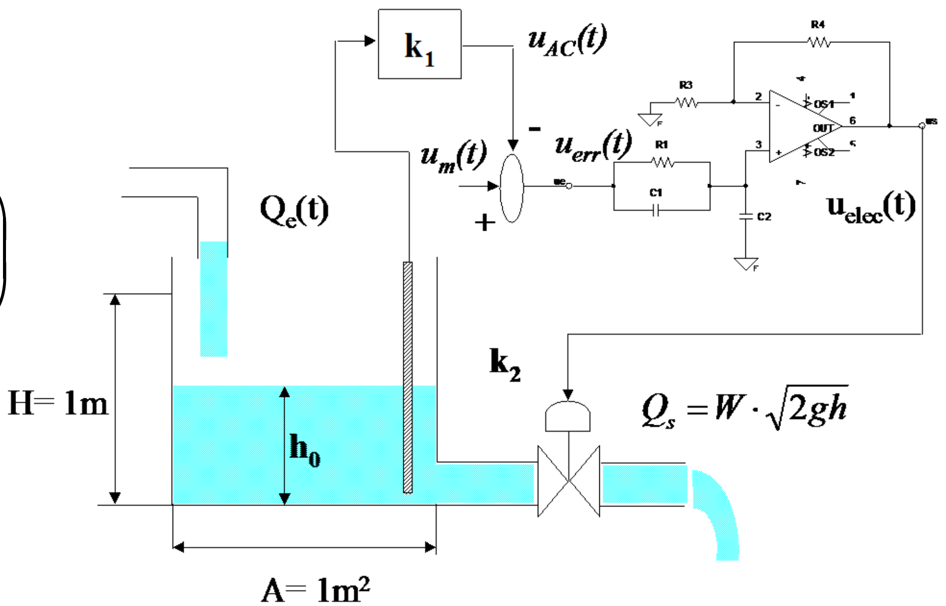
$$u_{err}(t) = u_m(t) - u_{AC}(t)$$

$$u_{elec}(t) + 3\dot{u}_{elec}(t) = 2\left(u_{err}(t) + \dot{u}_{err}(t)\right)$$

$$W = k_2 . u_{elec}(t) = 0.01 u_{elec}(t)$$

$$Q_e - Q_s = A \cdot \dot{h}$$

$$Q_s = W \cdot \sqrt{2gh}$$



Problema depósito

El modelo es no lineal; linealizando a partir de la señal de mando y el nivel del depósito se tendrá un modelo en incrementos alrededor del punto de equilibrio:

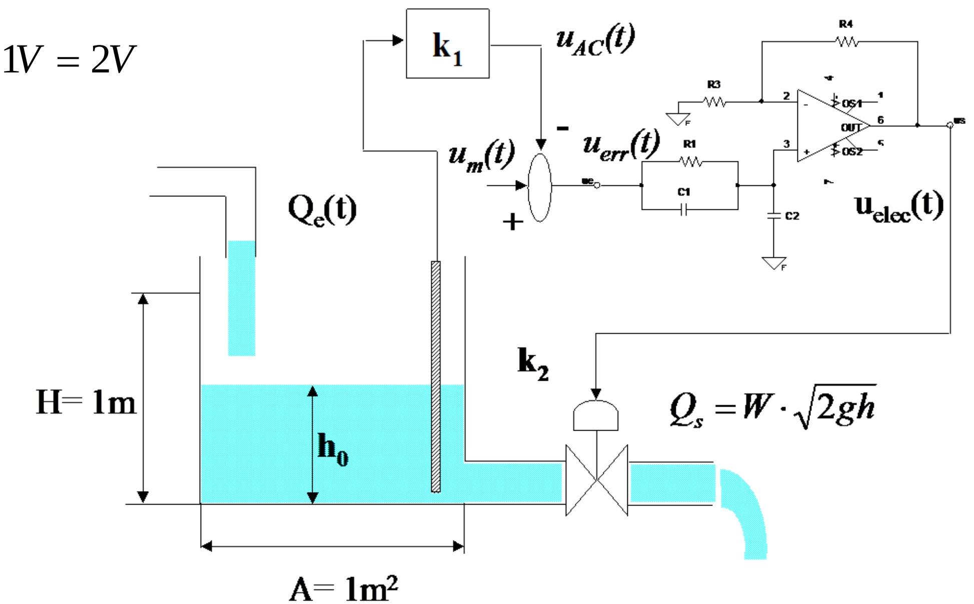
$$u_{m0} = 6V$$

$$h_0 = 0.5m$$

$$u_{AC0} = 10.0.5 = 5V \rightarrow u_{err_0} = 6 - 5 = 1V \rightarrow u_{elec_0} = 2.1V = 2V$$

$$W_0 = 0.02m^2$$

$$Q_{e0} = Q_{s0} = 0.02.\sqrt{2.9.8.0.5} = 0.062\left[\frac{m^3}{s}\right]$$



$$\Delta u_{AC}(t) = 10\Delta h(t)$$

$$\Delta u_{err} = \Delta u_m - \Delta u_{AC}$$

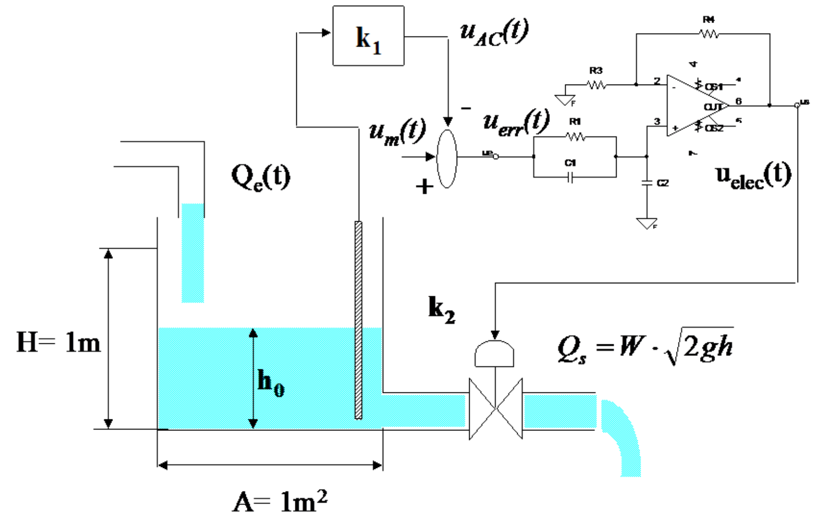
$$\Delta u_{elec}(t) + 3\Delta \dot{u}_{ele}(t) = 2\left(\Delta u_{err}(t) + \Delta \dot{u}_{err}(t)\right)$$

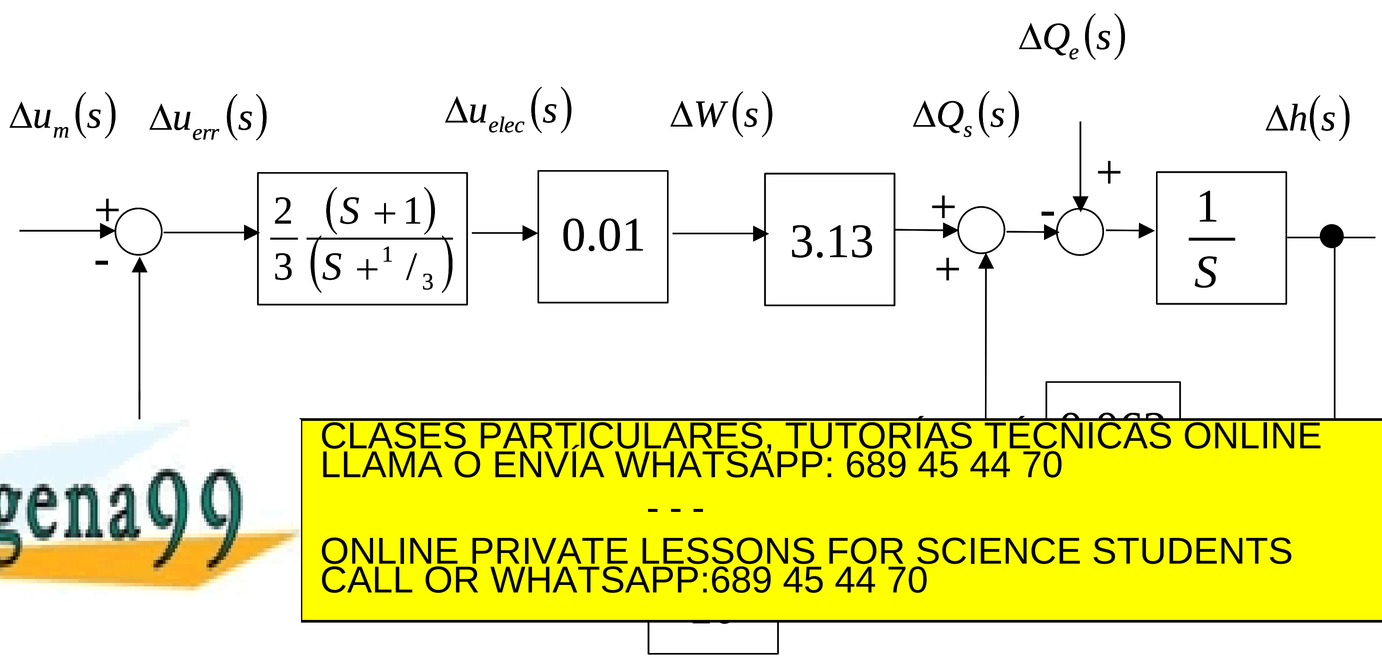
$$\Delta W = 0.01\Delta u_{elec}(t)$$

$$\Delta Q_E - \Delta Q_S = A\Delta \dot{h}$$

Problema depósito

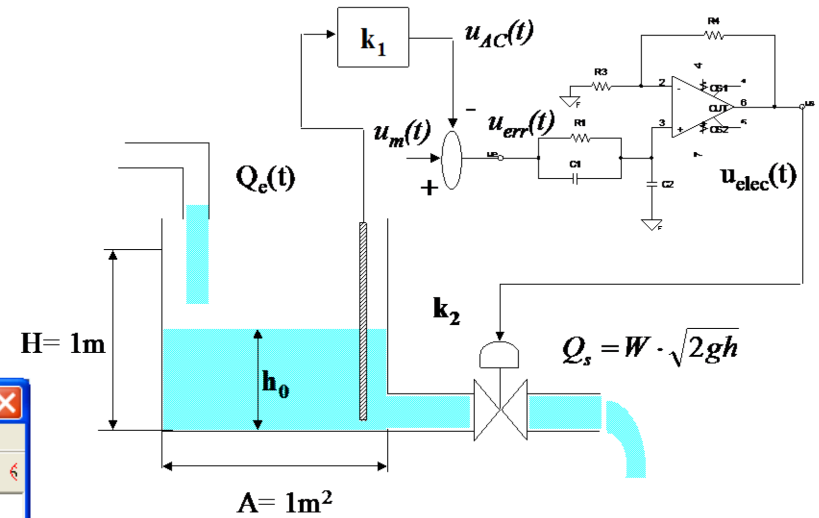
- El diagrama a bloques quedará como:

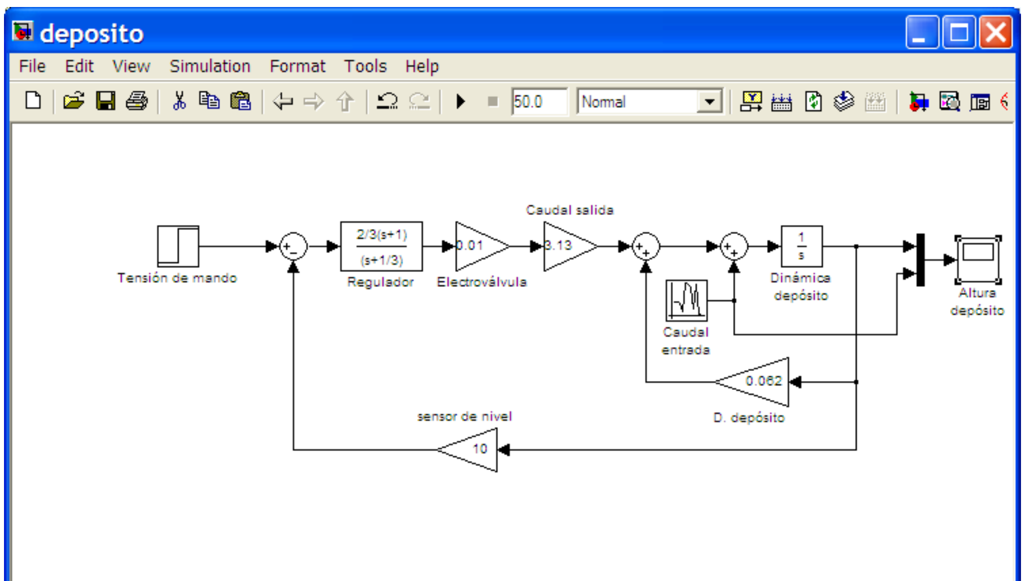


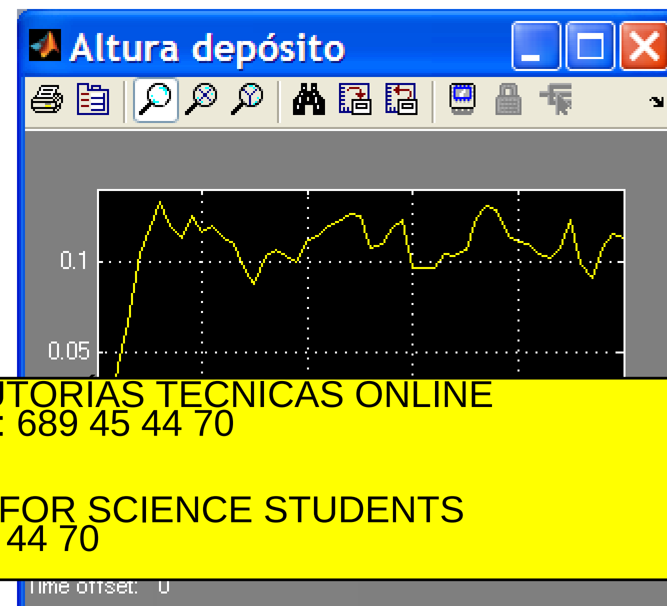


Problema depósito

- La simulación:

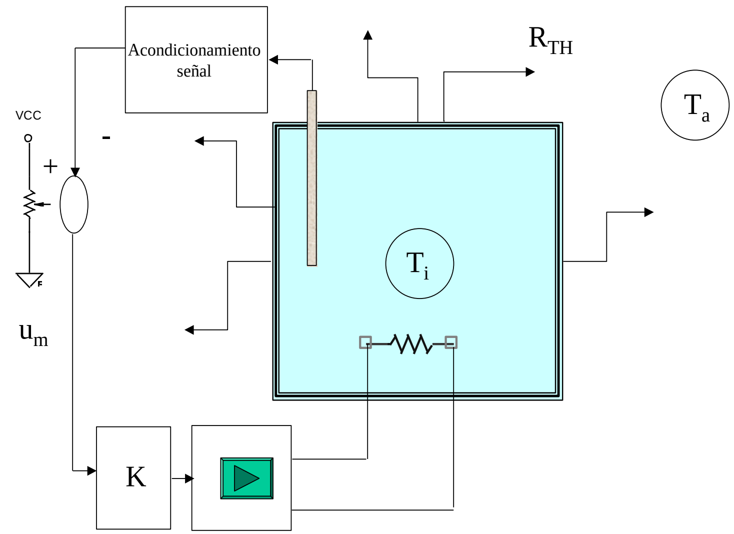






Ejemplo 3.5

Para calentar el agua de un termo eléctrico se emplea el efecto Joule. Para su regulación se emplea una estructura de realimentación negativa. La temperatura interior del termo, Ti, es adquirida por un transductor de tipo termopar. La salida del sensor es acondicionada y es convertida en una señal de tensión analógica, u_{Ti}:



$$T_i = \frac{1}{A}\left(\dot{u}_{Ti} + a u_{Ti}\right)$$

La temperatura deseada en el termo o señal de mando, es convertida a través de un potenciómetro en una señal de referencia, u_m. Ésta es comparada con la salida de la tarjeta de acondicionamiento y amplificada por un valor *k*. Esta señal ataca a la etapa de potencia. Por otro lado, hay

Ejemplo 3.5

- Conjunto de ecuaciones algebro-diferenciales:

$$(1)\quad u_m - u_{Ti} = u_{err} \qquad \text{(Comparador)}$$

$$(2)\quad u_{FT} = Ku_{err} \qquad \text{(Amplificación señal error)}$$

$$(3)\quad p = u_{FT}^2 / R \qquad \text{(Etapa de potencia)}$$

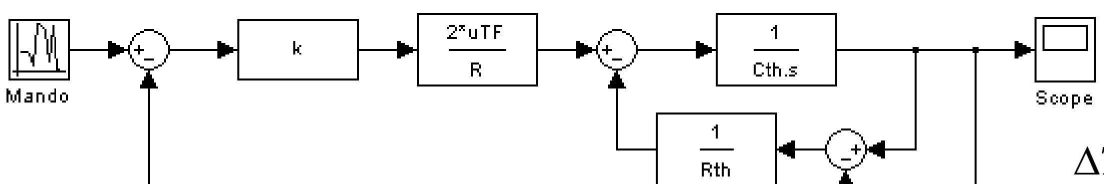
$$(4)\quad q_{Ti} = mc\dot{T}_i \qquad \text{(Almacenamiento de energía calorífica)}$$

$$(5)\quad T_i - T_a = q_P \mathrm{R}_{\mathrm{TH}} \qquad \text{(Pérdidas por transmisión del calor)}$$

$$(6)\quad p = q_{Ti} + q_p \qquad \text{(Balance energético)}$$

$$(7)\quad T_i = 1/A(\dot{u}_{Ti} + au_{Ti}) \qquad \text{(Etapa de acondicionamiento transductor)}$$

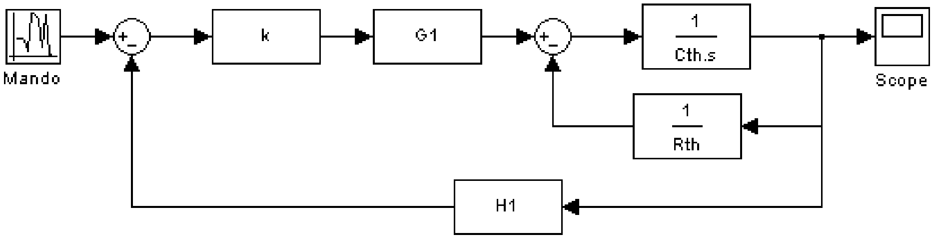
- Diagrama a bloques



$$\Delta T_i(s) = M_1(s)\Delta u_m(s) + M_2(s)\Delta T_a(s)$$

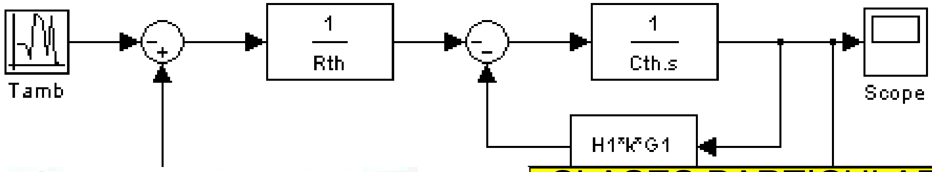
Ejemplo 3.4

- FDT respecto a la señal de mando



$$M_1(s)=\frac{\Delta T_i(s)}{\Delta u_m(s)}=\frac{KG_1R_{TH}}{1+H_1KG_1R_{TH}+sR_{TH}C_{TH}}$$

- FDT respecto a la perturbación



$$M_2(s)=\frac{\Delta T_i(s)}{\Delta T_a(s)}=\frac{1}{1+H_1KG_1R_{TH}+sR_{TH}C_{TH}}$$

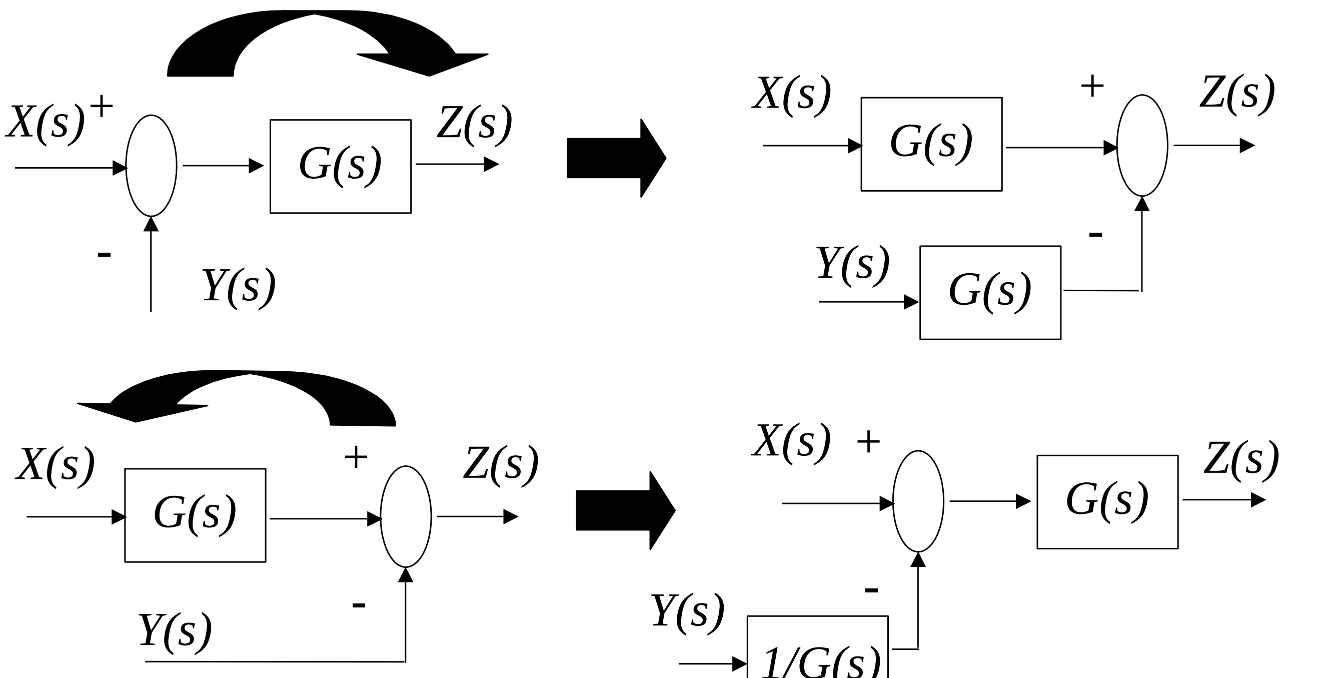
Ejemplo 3.4

Salida de agua caliente en acero inoxidable optimizada
Cuba vitrificada
Ánodo de magnesio
Aislamiento de alta densidad
Resistencia blindada
Amortiguador de agua fría optimizado
Termostato
Piloto luminoso

Reducción de bloques(1/2)

- Transposición del sumador

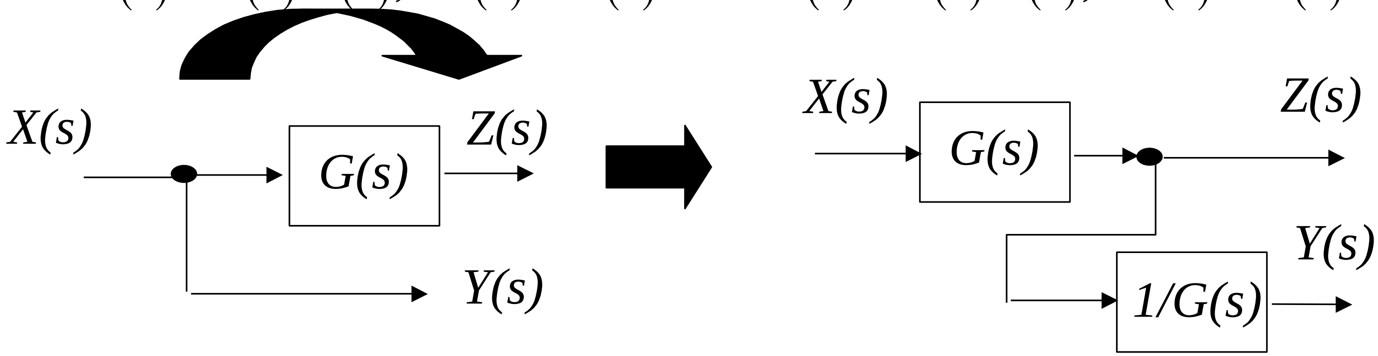
$$Z(s)=G(s)\big(X(s)-Y(s)\big) \Rightarrow Z(s)=G(s)X(s)-G(s)Y(s)$$

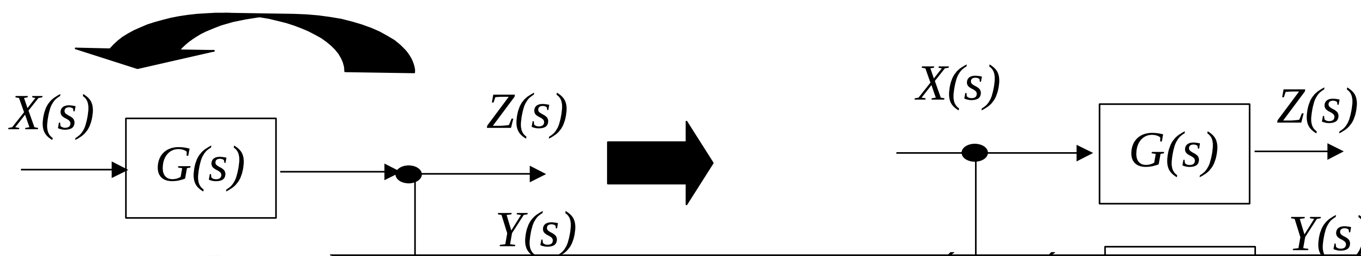


Reducción de bloques(2/2)

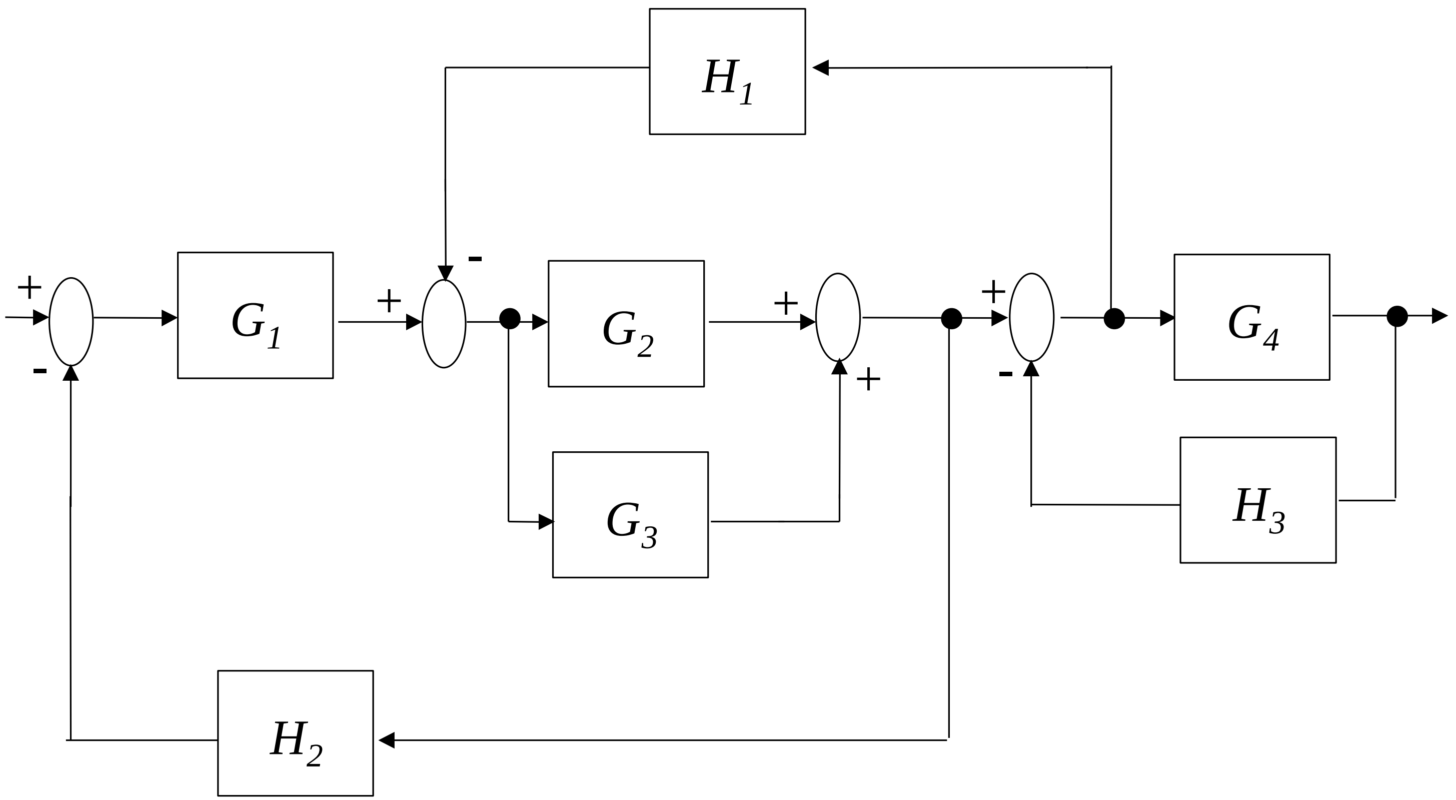
- Movimiento de los puntos de bifurcación de las señales

$$Z(s)=G(s)X(s);\quad Y(s)=X(s) \quad\Rightarrow\quad Z(s)=G(s)X(s);\quad Y(s)=X(s)G(s)\,{}^{1}\!/_{G(s)}$$

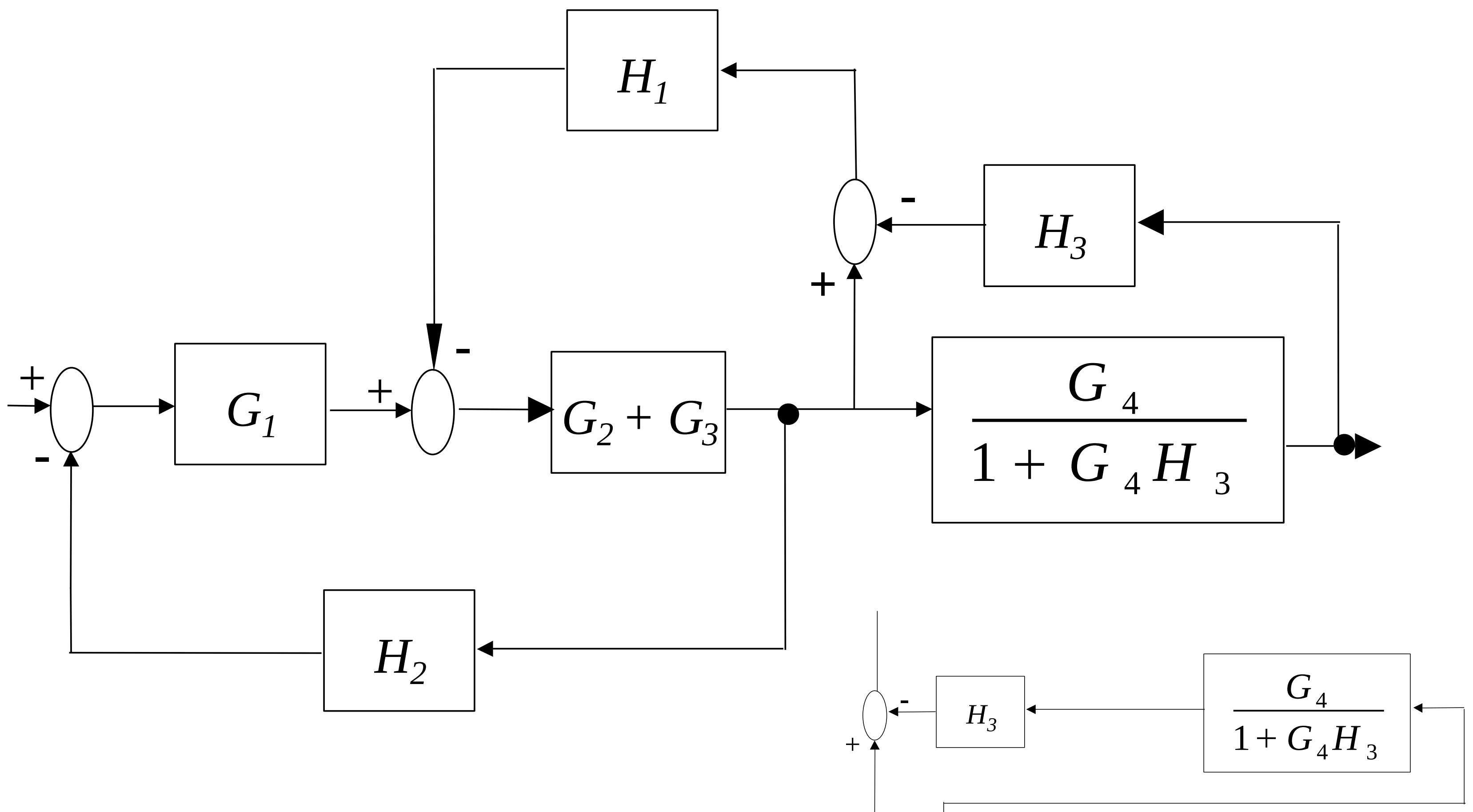




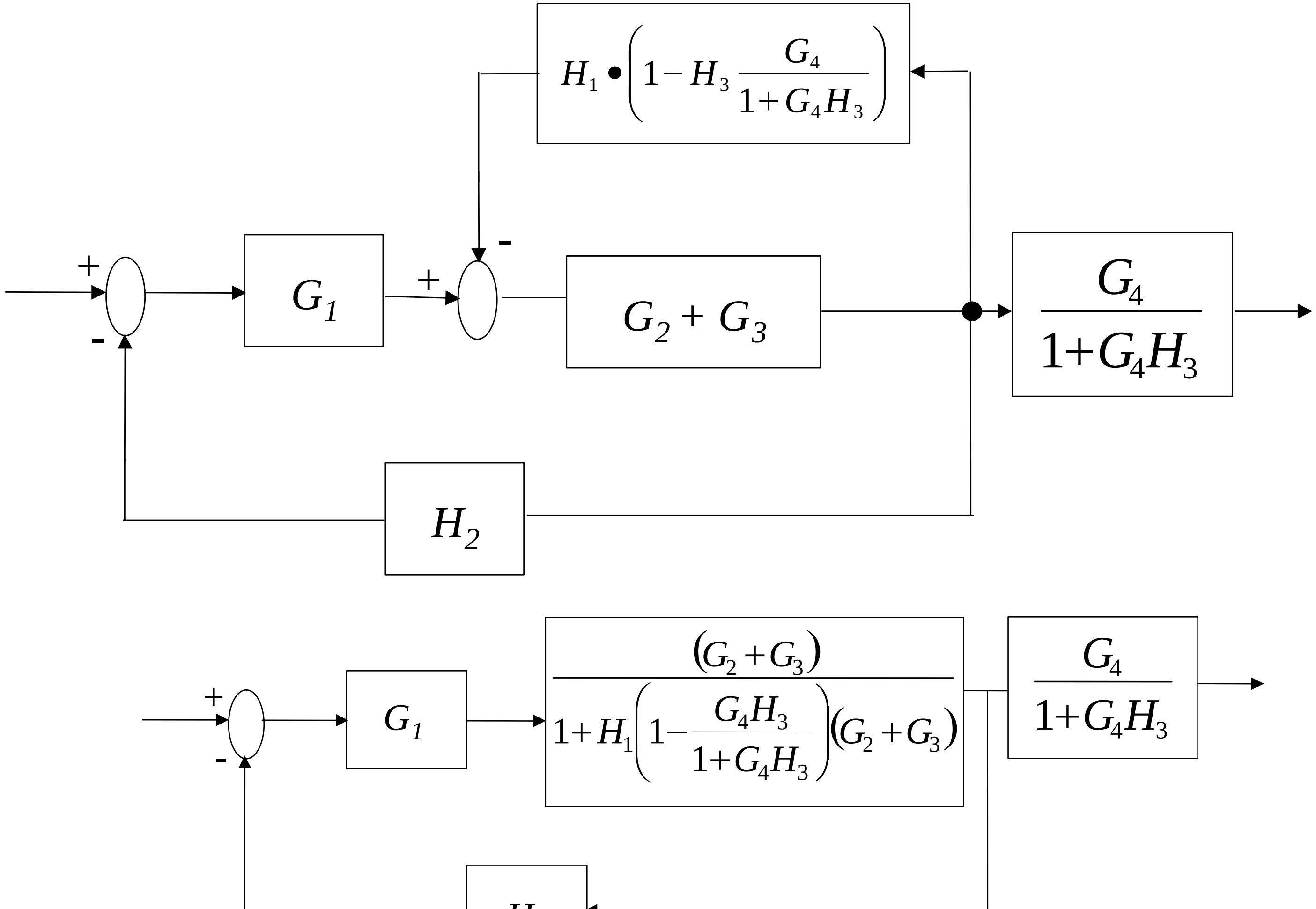
Ejemplo 3.6



Ejemplo 3.6



Ejemplo 3.6



$H_1 \bullet \left(1 - H_3 \frac{G_4}{1+G_4H_3}\right)$
+
-
G_1
+
-
$G_2 + G_3$
$\frac{G_4}{1+G_4H_3}$
H_2
+
-
G_1
$\frac{(G_2+G_3)}{1+H_1\left(1-\frac{G_4H_3}{1+G_4H_3}\right)(G_2+G_3)}$
$\frac{G_4}{1+G_4H_3}$

Ejemplo 3.6

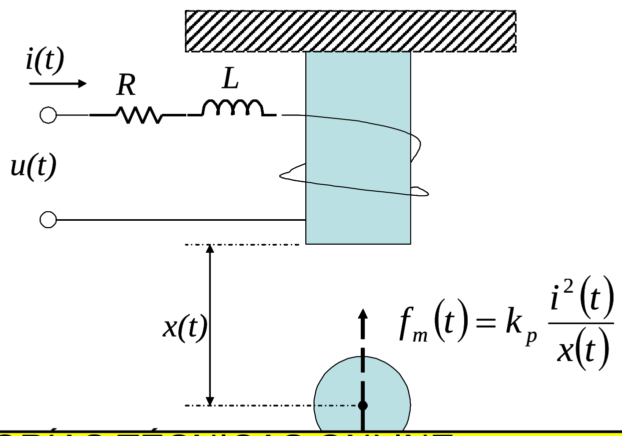
$$\longrightarrow \boxed{\frac{G_1\left(G_2+G_3\right)\left(1+G_4H_3\right)}{1+G_4H_3+H_1\left(G_2+G_3\right)+H_2\cdot\left[G_1\left(G_2+G_3\right)\left(1+G_4H_3\right)\right]}} \longrightarrow \boxed{\frac{G_4}{1+G_4H_3}} \longrightarrow$$

$$M(s)=\frac{G_1\left(G_2+G_3\right)G_4}{1+G_4H_3+H_1\left(G_2+G_3\right)+H_2\cdot\left[G_1\left(G_2+G_3\right)\left(1+G_4H_3\right)\right]}$$

Problema 5

El diagrama de la figura representa un esquema simplificado de levitación magnética. La fuerza magnética producida por el electroimán intenta compensar la fuerza de gravitación sobre el cuerpo que levita. Sabiendo que la fuerza magnética es proporcional al cuadrado de la corriente de la bobina e inversamente a la posición del cuerpo, determinar:

1. Conjunto de ecuaciones algebro-diferenciales que describe la dinámica del levitador.
2. Linealización de la planta alrededor del punto de reposo.
3. Diagrama de bloques del sistema.
4. ¿Es estable?



Datos:

M = 0.1 kg *kp*= 25·10-3 [N·m/A2] R = 0.1 Ω

L = 5.4 mH

Problema 5

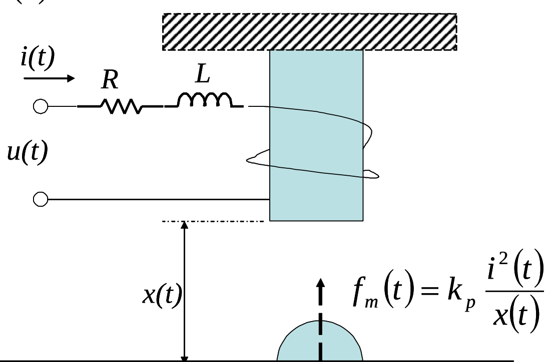
1. Conjunto de ecuaciones algebro-diferenciales que describe la dinámica del levitador:

$$u(t) = R\cdot i(t) + L\frac{di(t)}{dt}$$

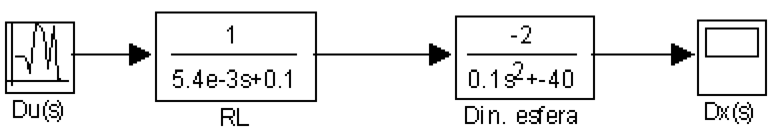
$$M\cdot\ddot{x} = M\cdot g - k_p\frac{i^2(t)}{x(t)}$$

2. Linealización de la planta alrededor del punto de reposo.

$$i_0^2 = \frac{M\cdot g\cdot x_0}{k_p} \rightarrow i_0 \cong 1A \qquad \begin{cases} \Delta u(t) = R\cdot\Delta i(t) + L\Delta\dot{i}(t) \\ M\cdot\Delta\ddot{x} = -\left[k_p\dfrac{2\cdot i_0}{x_0}\right]\cdot\Delta i(t) + \left[k_p\dfrac{i^2{}_0}{x^2{}_0}\right]\cdot\Delta x(t) \end{cases}$$



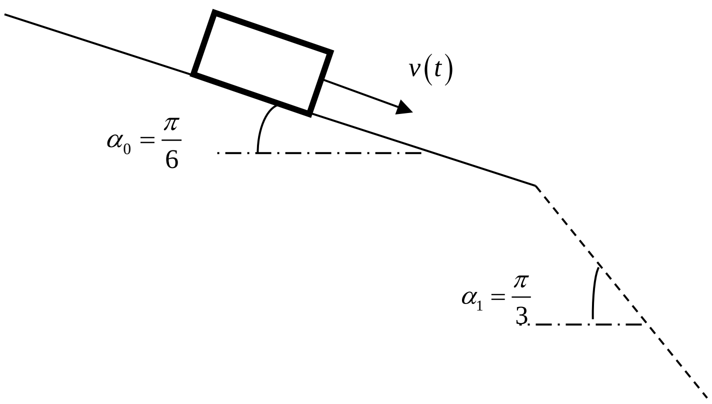
3. Diagrama de bloques del sistema.



Problema 6

Una masa se desliza por un plano inclinado a una determinada velocidad, se pide:

1. Conjunto de ecuaciones algebro-diferenciales que modele la dinámica y velocidad del régimen permanente de la masa cuando la pendiente es $\pi/6$.
2. Determinar el modelo incremental entre el ángulo del plano inclinado y su velocidad, con las condiciones iniciales dadas.
3. Variación temporal de la velocidad del objeto si hay un cambio de pendiente de $\pi/6$ a $\pi/3$. Utilícese el modelo lineal del apartado anterior.
4. Determinar la velocidad en el régimen permanente, cuando la masa se desliza sobre el plano de $\pi/3$. ¿Existe discrepancia con el resultado del apartado anterior? ¿Por qué?.



Datos: M = 10 kg, B = 5 Ns/m, g ~ 10 m/s^2.

Problema 6

1. Modelo dinámico:

$$M\ddot{x}(t) = Mgsen\alpha - f_r(t) \quad f_r(t) = B\dot{x}(t)$$

2. Modelo de incrementos alrededor de una velocidad nominal:

$$v_{rp} = \frac{Mg \cdot sen(\alpha)}{B} = 10m/s \quad G(s) = \frac{\Delta v(s)}{\Delta \alpha(s)} = \frac{[Mg\cos\alpha]_0}{Ms+B} = \frac{10\sqrt{3}}{1+2s}$$

3. Velocidad en el cambio de pendiente:

$$\Delta v(s) = \frac{\pi}{6}\frac{1}{s}\frac{10\sqrt{3}}{1+2s}$$

4. Existe discrepancia por la aproximación del sistema no

Examen julio 2014

La figura muestra un accionamiento hidráulico utilizado para el **control del ángulo** del alerón de una aeronave. El accionamiento consiste básicamente en un amplificador y un acondicionador de potencia hidráulico controlado por una válvula piloto sobra la que **se actúa exteriormente modificando su desplazamiento *x*(t)**. La válvula piloto es una válvula equilibrada, en el sentido de que la presión de todas las fuerzas que actúan sobre ella está equilibrada. Se consideran condiciones de funcionamiento ideales. Se define:

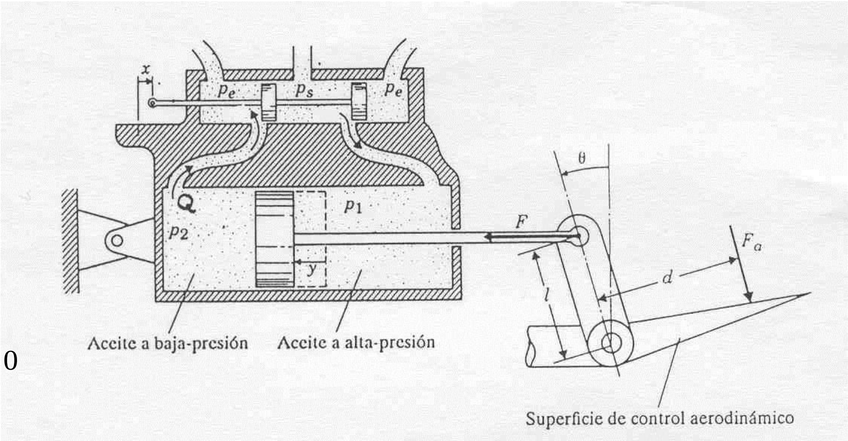
Q(t) = caudal de aceite al cilindro de potencia

ΔP(t) = diferencia de presiones en el cilindro ($P_1 - P_2$)

x (t) = desplazamiento de la válvula piloto

La diferencia de presiones ΔP(t) es una función del desplazamiento x(t) y del caudal Q(t).

La relación entre las variables ΔP(t), Q(t) y está dada por la ecuación **no lineal**: ΔP(t) = ***f*** (x(t), Q(t)). $K_1 = \left.\frac{\partial f}{\partial x}\right|_0 > 0 \quad K_2 = -\left.\frac{\partial f}{\partial Q}\right|_0 > 0$



La variación del caudal depende de la aceleración del vástago a(t):

$$\mathrm{A}\,\rho\, a(\mathrm{t}) = \dot{Q}(\mathrm{t})$$

donde A es el área del pistón y ρ es la densidad del aceite

El balance de fuerzas en el pistón da:

$$\mathrm{A}\,\Delta P(\mathrm{t}) - F(\mathrm{t}) = \mathrm{m}\, a(\mathrm{t})$$

donde m es la masa del pistón y del vástago y F(t) es la fuerza aplicada por el vástago del pistón al punto de fijación de la superficie de control. El balance de momento de la superficie de control da:

... de deducirse que: $a(t) = l\,\alpha(t)$

Se define un punto de funcionamiento en equilibrio (nada se mueve) con $F_0 = 0$, $Q=0$.

Examen julio 2014

1. Expresión en laplace de las ecuaciones linealizadas del sistema físico.

Datos: En el punto de equilibrio: $K_1 = \left.\dfrac{\partial f}{\partial x}\right|_0 > 0 \quad K_2 = -\left.\dfrac{\partial f}{\partial Q}\right|_0 > 0$

Solo hay una ecuación no lineal, en un punto de equilibrio con todas las variables a cero:

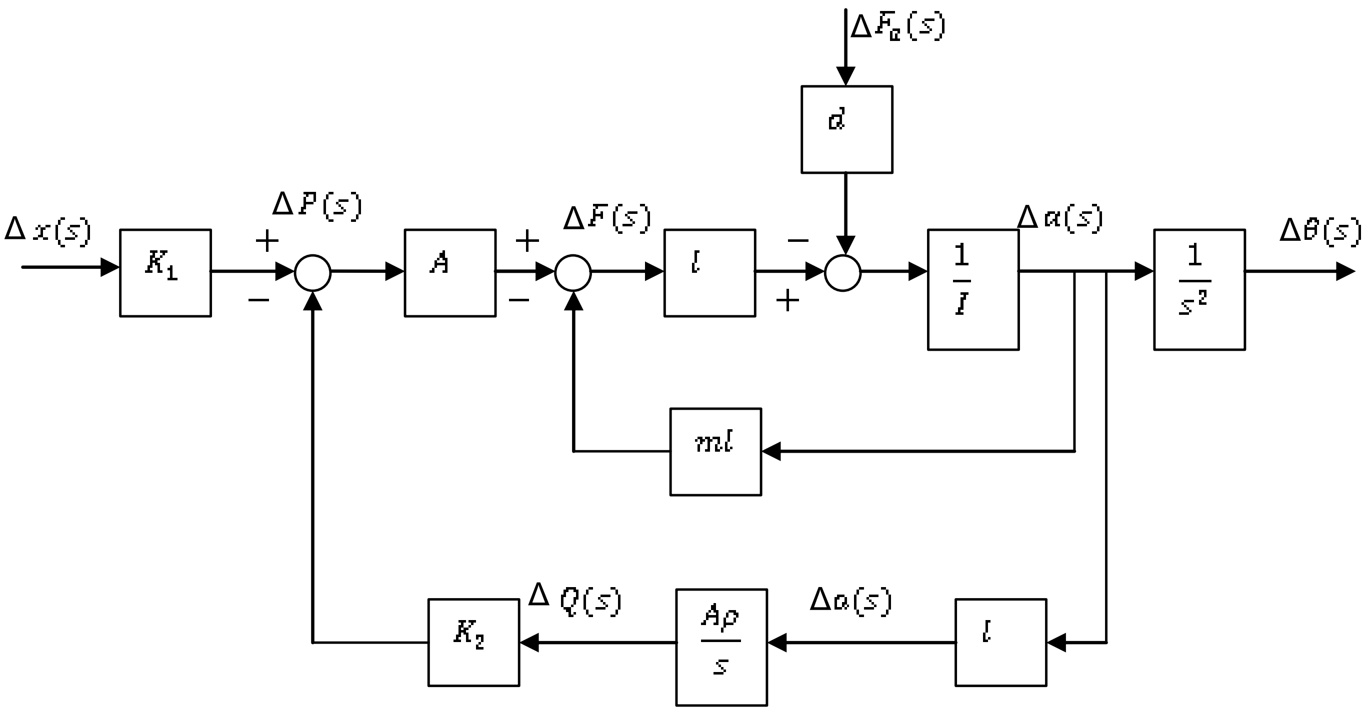
$$\Delta P(t) = f\big(x(t), Q(t)\big) \xrightarrow{linelizacion} \Delta P(t) = \left.\frac{\partial f}{\partial x}\right|_o \Delta x(t) + \left.\frac{\partial f}{\partial Q}\right|_o \Delta Q(t) = K_1 \Delta x(t) - K_2 \Delta Q(t)$$

El resto son lineales y por tanto el paso a laplace es inmediato:

$$\Delta P(t) = K_1 \Delta x(t) - K_2 \Delta Q(t) \xrightarrow{laplace} P(s) = K_1 x(s) - K_2 Q(s)$$
$$Apa(t) = \dot{Q}(t) \xrightarrow{laplace} Apa(s) = sQ(s)$$
$$A\Delta P(t) - F(t) = ma(t) \xrightarrow{laplace} AP(s) - F(s) = ma(s)$$
$$I\alpha(t) = lF(t) - dF_a(t) \xrightarrow{laplace} I\alpha(s) = lF(s) - dF_a(s)$$
$$a(t) = l\alpha(t) \xrightarrow{laplace} a(s) = l\alpha(s)$$
$$\ddot{\theta}(t) = \alpha(t) \xrightarrow{laplace} s^2\theta(s) = \alpha(s)$$

Examen julio 2014

Diagrama de bloques y FDT



$$\frac{\theta(s)}{x(s)} = K_1 \frac{Al}{s((I + l^2 m)s + Al^2 \rho K_2)}$$

Problema 4

- La figura representa el esquema simplificado de la calefacción de una habitación por medio de un radiador eléctrico. El radiador consiste en una resistencia R alimentada a V voltios y situada en un baño de aceite de masa calorífica Mc y temperatura Tc. Posee una superficie Sc de coeficiente global de transmisión Uc hacia el aire.
- El aire de la habitación se encuentra a una temperatura Th y tiene una masa calorífica Mh. La temperatura exterior es Te. Las paredes tienen una superficie SP y un coeficiente global de transmisión UP.
- La temperatura de la habitación se mide con un termómetro situado cerca del radiador, por lo que su indicación Tm viene afectada ligeramente por él. Dicha medida se compara con una referencia Tr y la diferencia, amplificada con un ganancia K se lleva a la resistencia del radiador.

$$1)\ T_m = 0.95T_h + 0.05T_c$$

$$2)\ V = k\left(T_r - T_m\right) \qquad 3)\ q = 0.24V^2 / R$$

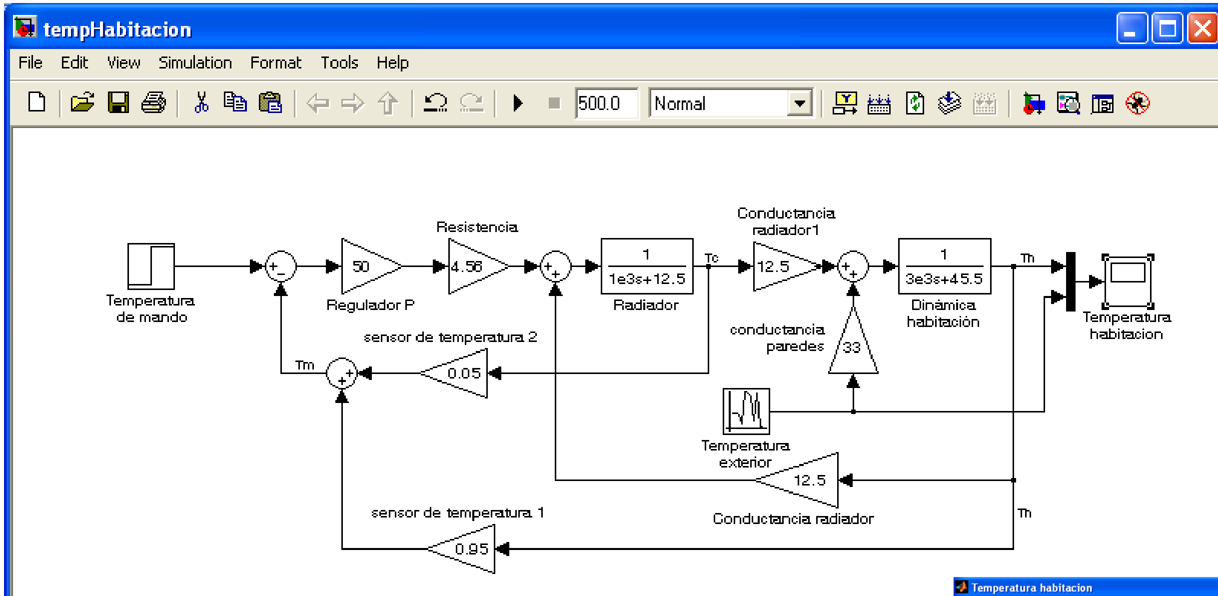
$$4)\ M_c \frac{dT_c}{dt} = q - U_c S_c \left(T_c - T_h\right)$$

$$\frac{dT}{}$$

$R = 20\Omega \quad k = 50V/^{\circ}C \quad U_c S_c = 12.5cal/s^{\circ}C \quad U_p S_p = 33cal/s^{\circ}C$

$M_c = 1000cal/^{\circ}C \quad M_h = 3000cal/^{\circ}C$

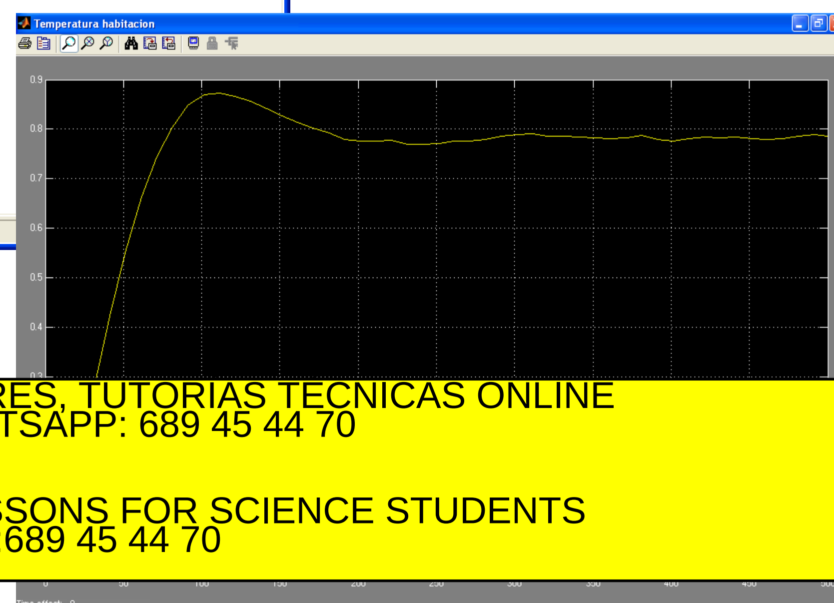
Control de temperatura de la habitación



1) $T_m = 0.95 T_h + 0.05 T_c$

2) $V = k\left(T_r - T_m\right)$ 3) $q = 0.24 V^2 / R$

4) $M_c \dfrac{dT_c}{dt} = q - U_c S_c \left(T_c - T_h\right)$



Descartes: “El discurso del método” (1637)

Dudar de forma metódica y provisional de todo lo que le rodea:

1. «El primero, no admitir jamás cosa alguna como verdadera sin haber conocido con evidencia que así era».
2. «El segundo, en dividir cada una de las dificultades que examinare, en tantas partes fuere posible y en cuantas requiriese su mejor solución».
3. «El tercero, en conducir con orden mis pensamientos, empezando por los objetos más simples y más fáciles de conocer, para ascender poco a poco, gradualmente, hasta el conocimiento de los más compuestos, e incluso suponiendo

no omitir nada».