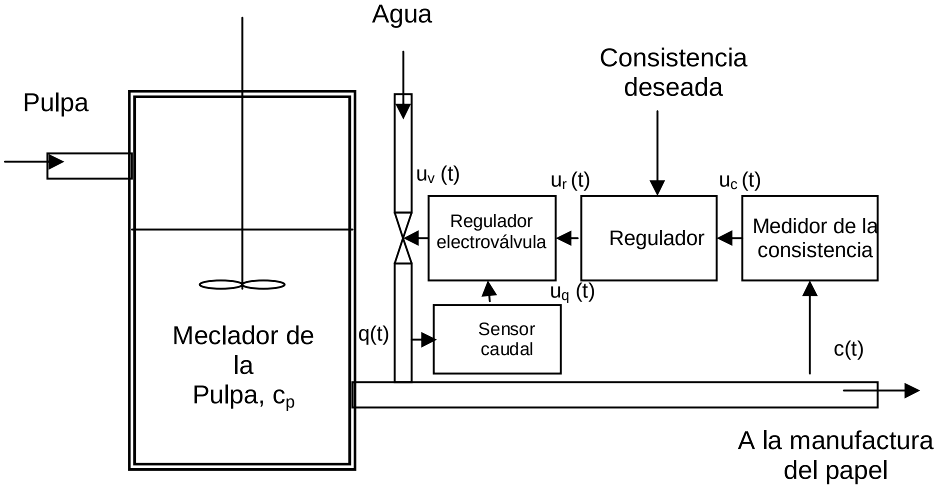
Problema 1



En un proceso de fabricación de papel, se pretende controlar la consistencia, *c(t)*, de la pasta antes de proceder con su secado. Esta consistencia se varía añadiendo mayor o menor cantidad de agua, *q(t)*, a la pasta que sale del mezclador de la pulpa, la cual tiene una consistencia previa, $c_p(t)$, de modo que se cumple:

$$\dot{c} + c - c_p = \dot{q} - q$$

Para asegurarse que la consistencia *c* se ajusta a las especificaciones, se dispone del sistema de control de la figura. La consistencia deseada es comparada con el medidor de la consistencia. El transductor es un captador de tipo óptico capaz de proporcionar una tensión en función de la consistencia:

$$u_c = 3\sqrt{10c} + 4$$

La señal de error generada, u_{err}, es procesada por un compensador que responde a la ecuación diferencial de:

$$10\dot{u}_r + u_r = k \cdot u_{err}$$

La salida del regulador, u_r, ataca al regulador de la electroválvula, consistente en un sensor de caudal y un compensador proporcional de ganancia 0.5. El detector de caudal del agua produce una tensión eléctrica de la forma:

$$u_q = 125q^2$$

La electroválvula deja pasar el caudal del agua en función de la tensión dada:

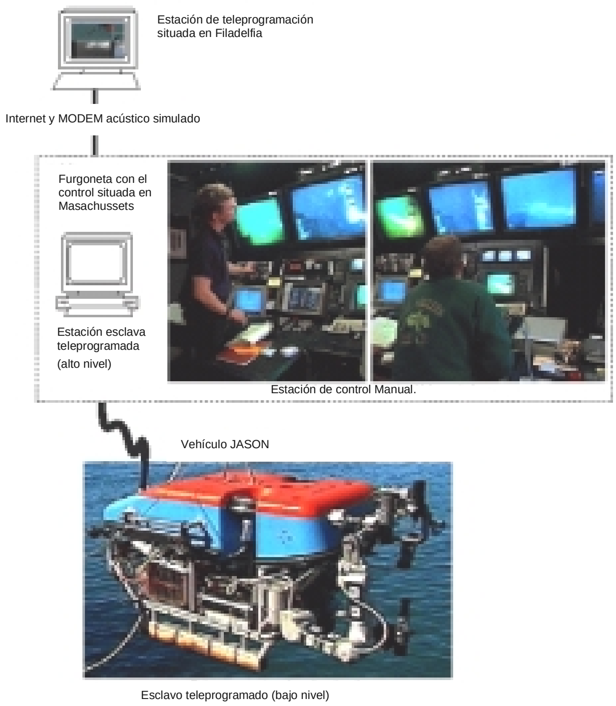
$$\dot{q} + 0.1q = 0.1u_v$$

1. Conjunto de ecuaciones algebro-diferenciales que define el sistema de control.
2. Punto de reposo del sistema, si la consistencia inicial, c_0, es 0.4 y la previa, c_{p0}, es 0.8.
3. Linealización del sistema a partir del punto de reposo.
4. Diagrama a bloques del sistema.
5. Función de transferencia $\dfrac{\Delta c(s)}{\Delta c_{deseada}(s)}$ y $\dfrac{\Delta c(s)}{\Delta c_p(s)}$
6. Estabilidad del sistema en función de la ganancia *k* del regulador.

(60 minutos)

Problema 2

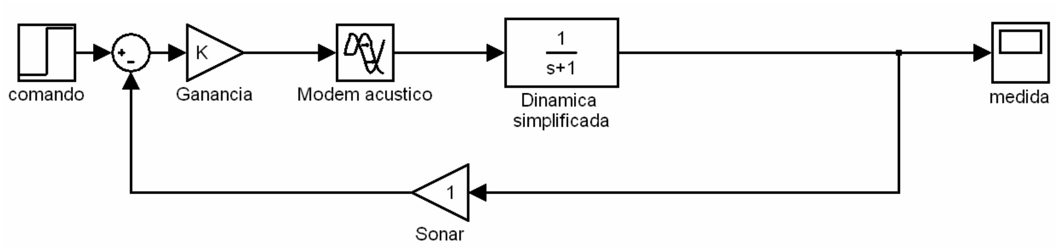
Jason II (sistema representado en la figura) es uno de los sistemas teleoperador submarinos más avanzados del mundo. Esto es debido a que utiliza un control predictivo para poder lograr que un sistema intrínsecamente inestable sea controlable. Debido a las características dieléctricas y ópticas del agua de mar, la comunicación con los dispositivos sumergidos, no es posible realizarla por medio de ondas de radio y hay que utilizar sistemas basados en ondas de presión másicas (sonido). Para este problema suponemos que es posible obtener una medida instantánea de la posición del submarino, la cual es utilizada para controlar la posición de este, pero que las señales de mando si que están afectadas por el retardo en las comunicaciones. Suponiendo por tanto que la dinámica del un grado de libertad del submarino es posible simplificarla por el diagrama de bloques adjunto se pide:



1. Si el Submarino está a una distancia de 500 m. del centro de control, determinar el máximo valor de *K* admisible para que el sistema sea estable. (SOLO para este apartado: aproximar el retardo puro por Pade: $e^{-Ts} = \dfrac{1-\frac{T}{2}s}{1+\frac{T}{2}s}$ y utilizar Routh para el análisis.)
2. Sin aproximar el retardo puro, dibujar el diagrama de Bode y curva polar de la cadena abierta para un valor de k a 2/3 del valor de la ganancia crítica. Calcular el margen de fase. Obtener una expresión general que relacione la frecuencia de cruce de ganancia con la ganancia *K* del regulador.
3. Mediante análisis frecuencial, establecer la relación existente entre la ganancia máxima admisible para que el sistema sea estable y la distancia a la que se encuentra el submarino: $dist = f(K_{\max})$. Esto se logra desarrollando de forma genérica la expresión *margen de fase=0.*

Dato: En el agua de mar a 8°C la velocidad del sonido es de 1435 m/s

(60 minutos)



Resolución
Primer ejercicio

1. Las ecuaciones que modelan el comportamiento de fabricación del papel son:

$$c_{deseada}(t) - u_c(t) = u_{err}(t) \qquad 10\dot{u}_r(t) - u_r(t) = k \cdot u_{err}(t)$$
$$u_r(t) - u_q(t) = u_{err2}(t) \qquad u_v(t) = 0.5 \cdot u_{err2}(t)$$
$$\dot{q}(t) + 0.1 \cdot q(t) = 0.1 \cdot u_v(t) \qquad c + c - c_p = \dot{q} - q$$
$$u_c(t) = 3\sqrt{10 \cdot c} + 4 \qquad u_q = 125 \cdot q^2$$

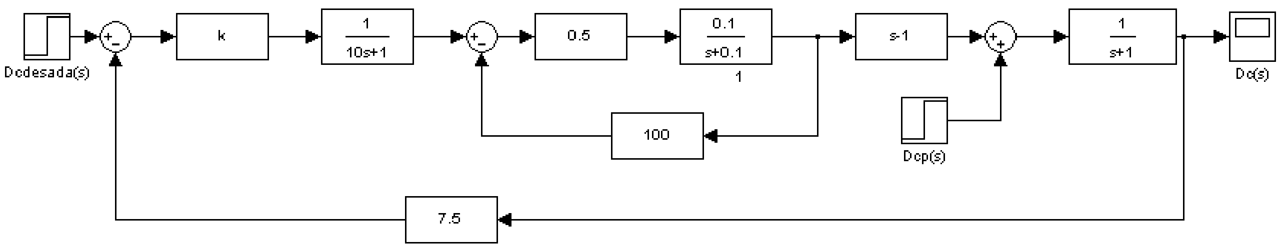
2. El punto de reposo del sistema es:

$$u_{c0} = 10V \qquad u_{q0} = 20V \qquad u_{v0} = 0.4V \qquad u_{err20} = 0.8V$$
$$u_{r0} = 20.8V \quad u_{err0} = 20.8/k\, V \quad c_{deseado0} = 20.8/k + 10V \quad q_0 = 0.4\frac{m^3}{s}$$

3. La linealización del conjunto de ecuaciones respecto del punto de reposo estará definido por:

$$\Delta c_{deseada}(t) - \Delta u_c(t) = \Delta u_{err}(t) \qquad 10\Delta\dot{u}_r(t) - \Delta u_r(t) = k \cdot \Delta u_{err}(t)$$
$$\Delta u_r(t) - \Delta u_q(t) = \Delta u_{err2}(t) \qquad \Delta u_v(t) = 0.5 \cdot \Delta u_{err2}(t)$$
$$\Delta\dot{q}(t) + 0.1 \cdot \Delta q(t) = 0.1 \cdot \Delta u_v(t) \qquad \Delta c + \Delta c - \Delta c_p = \Delta\dot{q} - \Delta q$$
$$\Delta u_c(t) = 7.5\Delta c \qquad \Delta u_q = 100 \cdot \Delta q$$

4.



5.

$$\frac{\Delta c(s)}{\Delta c_{deseada}(s)} = \frac{k \cdot 0.05 \cdot (s-1)}{(10 \cdot s+1)(s+5.1)(s+1) + 7.5 \cdot k \cdot 0.05 \cdot (s-1)}$$
$$\frac{\Delta c(s)}{\Delta c_p(s)} = \frac{(10 \cdot s+1)(s+5.1)}{(10 \cdot s+1)(s+5.1)(s+1) + 7.5 \cdot k \cdot 0.05 \cdot (s-1)}$$

6. Como ambas FDT tienen igual polinomio característico, realizando Routh el valor de ganancia queda establecido en el rango de -129.2 a 13.6