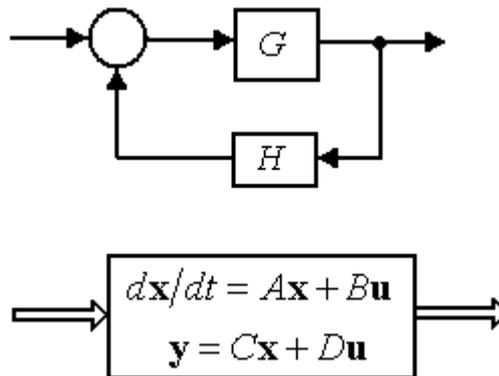


UTN-FRH / FRBA

GUIA DE TRABAJOS PRÁCTICOS



CATEDRA

SISTEMAS DE CONTROL (Electrónica)

Año 2010 (Rev. 1)

PREFACIO

La “Guía de Trabajos Prácticos” en su Revisión1 del año 2010, para las asignatura *Sistemas de Control* (Ingeniería Electrónica) ha sido rediseñada teniendo en cuenta la experiencia realizada en los cursos de grado. La guía se utiliza para los cursos que se dictan en la UTN-FRBA / FRH que tienen una duración de 34/36 semanas, es decir 110 horas (reloj) aproximadamente, lo que permite desarrollar y abarcar todos los temas que se incluyen en la presente Guía, con eficacia y flexibilidad. La Guía se debe utilizar conjuntamente con la Bibliografía recomendada (de la cual se han tomado varios de los problemas) y las notas de las clases teóricas, con el objeto que los estudiantes puedan responder a muchas de las preguntas que puedan plantearse; asimismo puede servir como guía de autoestudio para aquellos estudiantes que han aprobado los Trabajos Prácticos y están preparando el examen final y, para los estudiantes de otras orientaciones de ingeniería como química, mecánica y aeronáutica.

En esta revisión de la Guía se ha incluido el TP N° 8b (desdoblándose el anterior TPN° 8 en el N° 8a y 8b), que contiene problemas de diseño con variables de estado (*esta temática se incluye a partir del ciclo lectivo 2010*).

En todos los TP de la guía, se incluyen muchas aplicaciones del método computacional (MATLAB) y de simulación dinámica (SIMULINK), tanto para el análisis como para el diseño de sistemas de control, ya que los estudiantes disfrutan empleando estos métodos y los profesores pueden desarrollar los conocimientos con mucha mayor flexibilidad y calidad, mejorando el proceso de *enseñanza-aprendizaje*.

Los “Trabajos Prácticos experimentales de Laboratorio”, han sido reversionados para mejorar su presentación, agregar aspectos que faltaban y corregir algunos errores de la revisión uno del año 2007.

El Trabajo Práctico de Simulación Dinámica del servo de posición y velocidad ha sido corregido y ampliado, para agregar, fundamentalmente, los aspectos vinculados con la realimentación del vector de estado, permitiendo que los estudiantes puedan comparar con los métodos clásicos de realimentación.

Al comienzo de cada Trabajo Práctico, se incluyen los “*objetivos*” que la Cátedra pretende alcanzar con los estudiantes en el desarrollo de cada etapa de la asignatura.

Quisiera expresar mi sincero agradecimiento a los Profesores Pablo Dulfano (UTN-FRBA), Pablo Cerallo (UTN-FRBA / FRH), Carlos González (UTN-FRH) y Alberto Araujo (UTN-FRBA / FRH) quienes hicieron sugerencias valiosas en la etapa del proceso de revisión y a los revisores anónimos que aportaron muchos comentarios constructivos. También debo agradecer a los alumnos, quienes aportaron comentarios y sugerencias valiosas.

Prof. Ing. Amadeo M. Mariani
Director de Cátedra

TRABAJO PRÁCTICO Nº 1

Modelización de sistemas físicos y su representación gráfica mediante bloques.

OBJETIVOS: Después de completar este TP, los alumnos estarán en condiciones de:

- Entender la vinculación entre sistemas físicos y modelos matemáticos.
- Utilizar la representación mediante bloques, para caracterizar ecuaciones diferenciales y modelos de sistemas físicos.
- Utilizar los diagramas en bloques para representar sistemas.
- Utilizar los diagramas de flujo de señal para representar sistemas.
- Reducir diagramas en bloques y diagramas de flujo de señal.
- Realizar la Linealización de modelos.
- Utilizar la transformada de Laplace para obtener la respuesta de sistemas dinámicos.
- Adquirir destreza en el uso de MATLAB y Simulink en relación a los Sistemas de Control.
- Comprender el funcionamiento de los sistemas de control realimentados, identificando las señales y su forma de interacción.

Problema 1. Dada la siguiente ecuación diferencial, se pide obtener una representación gráfica mediante bloques, utilizando (a) Integradores y (b) derivadores. ¿Cuál es la diferencia sustancial entre las dos representaciones?, ¿Dónde se introducen las condiciones iniciales?.

$$\frac{dy^4(t)}{dt^4} + a_3 \frac{dy^3(t)}{dt^3} + a_2 \frac{dy^2(t)}{dt^2} + a_1 \frac{dy(t)}{dt} + a_0 y(t) = u(t)$$

Considerar que $u(t)$ es la entrada o excitación e $y(t)$ es la respuesta o salida.

Problema 2. Indicar, para cada una de las siguientes ecuaciones diferenciales ¿Cuál de los siguientes atributos se aplican a las mismas? Atributos: *Lineal, no lineal, coeficientes constantes, coeficientes variables, forzada, no forzada, parámetros concentrados, parámetros distribuidos.*

2.1). $\frac{d}{dt} x(t) = 5x(t)$

2.2). $\frac{d}{dt} x(t) = 5x^2(t)$

2.3). $\frac{d}{dt} x(t) = 5x + 4t$

2.4). $\frac{d}{dt} x(t) = (9t + 1)x^2(t) + 5t$

2.5). $\frac{d}{dt} x(t) = e^{x(t)} + 5x(t) + g(t)$

2.6). $\frac{\partial}{\partial t} x(z, t) = \frac{\partial^2}{\partial z^2} x(z, t) + 2x(z, t)$

2.7). $\frac{d}{dt} x(t) + \frac{d}{dt} y(t) = 8x(t) - 6y(t)$

Problema 3. Dada la ecuación diferencial de cuarto orden:

$$\frac{dy^4(t)}{dt^4} + a_3 \frac{dy^3(t)}{dt^3} + a_2 \frac{dy^2(t)}{dt^2} + a_1 \frac{dy(t)}{dt} + a_0 y(t) = u(t)$$

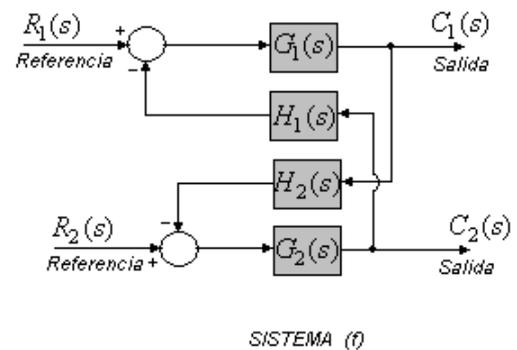
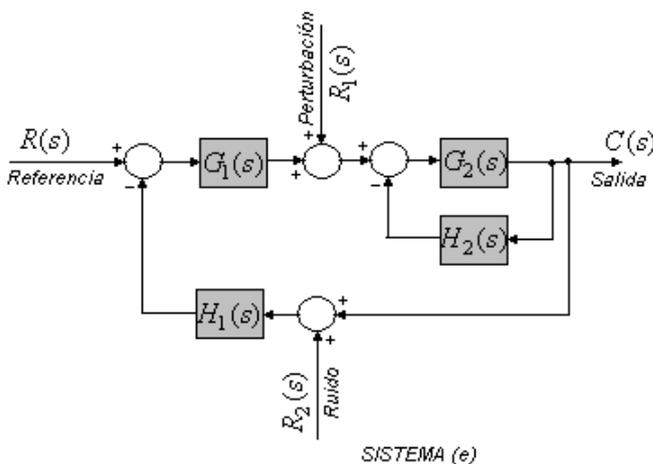
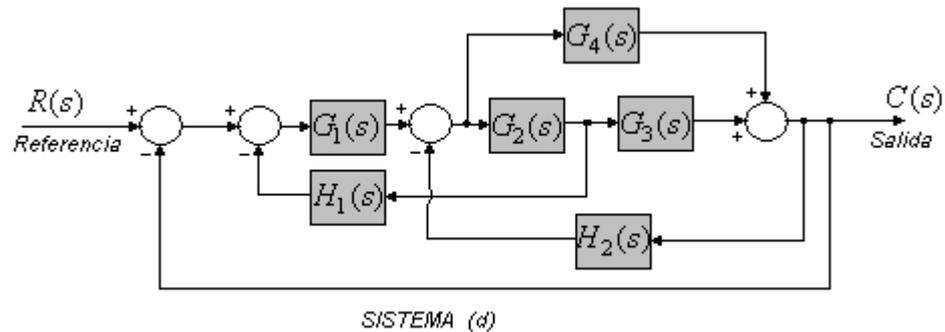
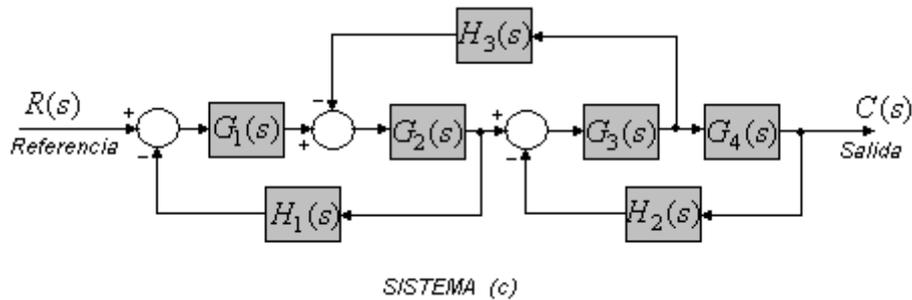
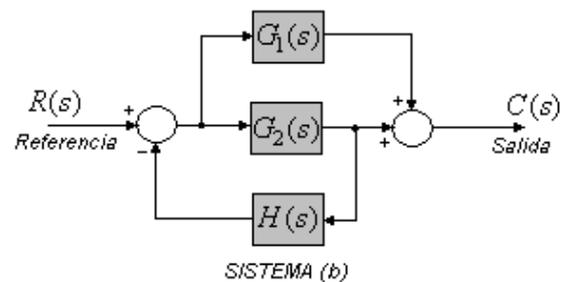
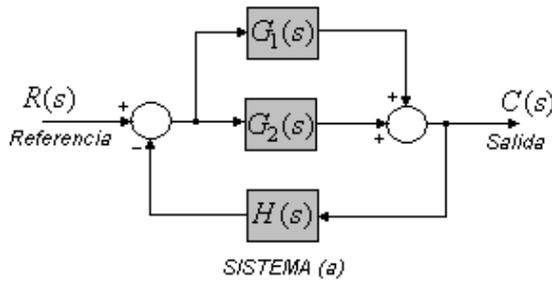
¿Se puede representar la misma a través cuatro ecuaciones diferenciales de primer orden? ,
¿Cómo se representaría analíticamente?, ¿Indicar la notación correspondiente?, ¿Cuál sería
la representación gráfica mediante bloques?

Problema 3. Dada la siguiente relación “entrada – salida”: $f(x) = 12x^3 + 3.6x$, donde $f(x)$ es una fuerza en Newton y x es un desplazamiento en mm. Se pide:(a) linealizar la misma en el entorno del punto de operación estable $x_0 = 2 \text{ mm}$; (b) Indicar ¿cuál es el máximo error que se comete, si la entrada varía con una amplitud de 1.5 mm en torno del punto de operación?

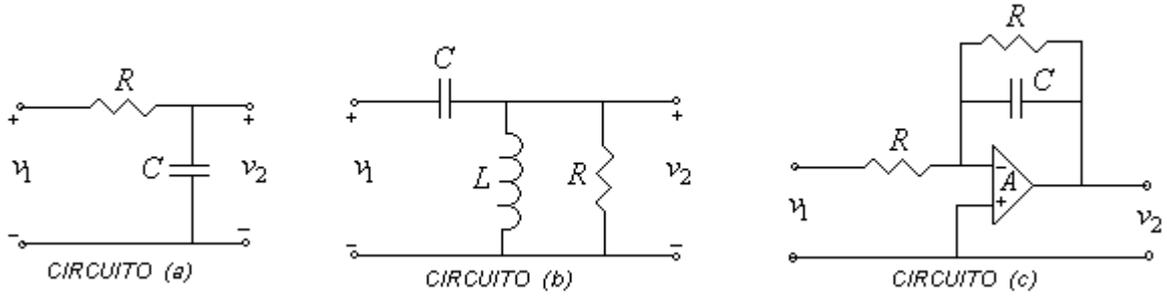
Problema 4. Dada la siguiente relación: “entradas Vs. salida”: $q(x, y) = 0.7y^{3/2}\sqrt{2x}$, que opera en un punto estable $x_0 = 3, y_0 = 2$, se pide (a) Obtener una relación lineal entre las entradas y la salida, (b) Obtener la relación lineal entradas Vs. salida, si el punto de operación cambia a: $x_0 = 5, y_0 = 3$.

Problema 5. El caudal que circula por una “válvula de control”, varía ligeramente a partir del valor nominal $0.03 \text{ m}^3/\text{seg}$. La caída de presión en la válvula a ese caudal es 0.70 MPa . Asumiendo que la relación caudal Vs. caída de presión está dada por: $q = C_v \sqrt{P}$, se pide: (a) ¿Cuál es el caudal a través de la válvula, si la caída de presión fuese de 0.80 MPa ? (b) Determinar una expresión lineal aproximada para la relación “caudal-caída de presión” para la válvula, y luego, utilizando la misma evalúe el caudal cuando la caída de presión en la válvula es de 0.80 MPa ? , ¿Qué error se comete al utilizar la expresión linealizada en lugar de la correcta?.

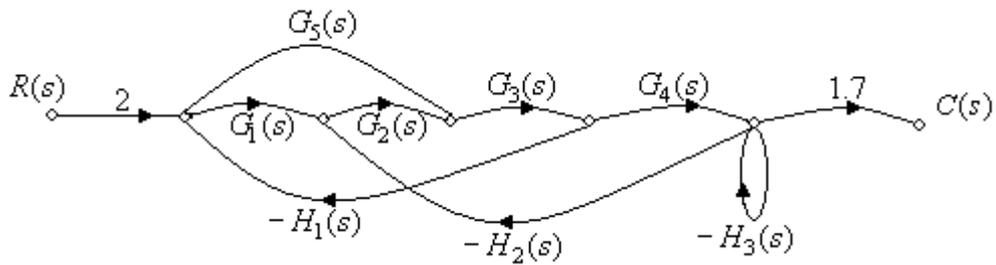
Problema 6. Para los sistemas dados por sus diagramas en bloques, se pide obtener la relación salida-entrada: $\frac{C(s)}{R(s)}$, mediante la “reducción del diagrama”, empleando el álgebra de bloques. Para cada caso analizar la función transferencia obtenida con relación a la arquitectura del sistema (dado pos su diagrama en bloques).



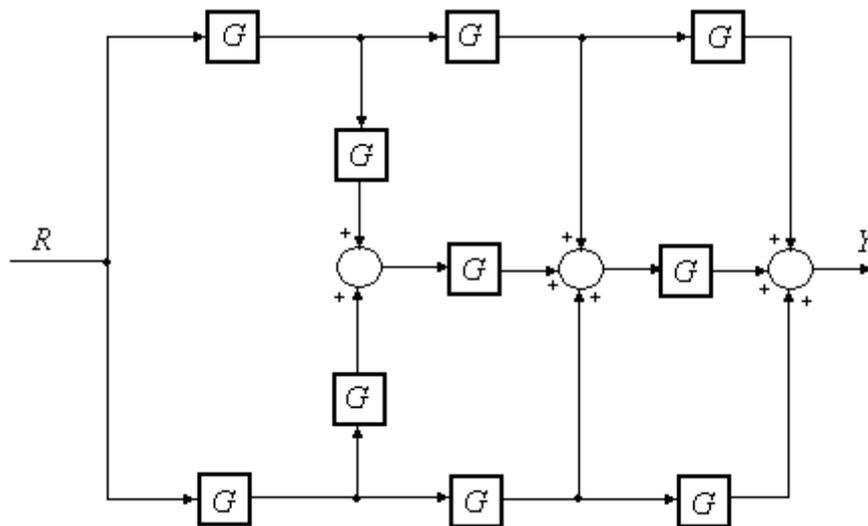
Problema 7. Determinar la función transferencia $V_2(s)/V_1(s)$, para los siguientes circuitos eléctricos. Para cada caso obtener un diagrama en bloques. Para el caso (c), analizar la transferencia con ganancia A finita y para $A \rightarrow \infty$.



Problema 8. Obtener, mediante la aplicación de la fórmula de Mason, la función transferencia $C(s)/R(s)$.



Problema 9. Encuentre la función transferencia $Y(s)/R(s)$ para el siguiente sistema, siendo $G(s) = \frac{1}{s+1}$.



Problema 10. Encuentre la función transferencia, para los procesos que se describen con las siguientes ecuaciones diferenciales.

- a) $dy/dt + 5y = x$
b) $d^2y/dt^2 + 3y = 4x$
c) $d^2y/dt^2 - 5dy/dt + 7y = x$
d) $d^2y/dt^2 - 3dy/dt + 2y = 3dx/dt + x$
e) $d^3y/dt^3 + dy/dt + 3y = 2dx/dt$
f) $y = x + 5 \int x dt + 2 dx/dt$
g) $y(t) = x(t - 5)$
h) $dy/dt + y = 2x(t - 10)$

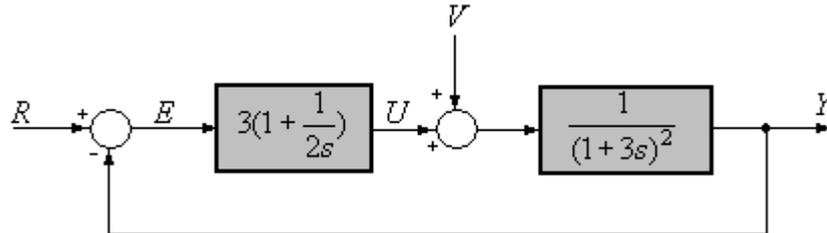
Problema 11. Una serie de procesos tiene sus funciones transferencia $G(s)$, según el listado siguiente. Encuentre sus correspondientes ecuaciones diferenciales.

- a) $G(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{3 + s}{s^2 + 4s + 1}$
b) $G(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{2}{5s + 1} e^{-3s}$
c) $G(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = 3 + 4s$
d) $G(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{s + 4}{2s^2 + 1}$

Problema 12. Encuentre la función temporal (y graficarla) después de un cambio escalón unitario en la entrada de las siguientes funciones de transferencia, empleando: (a) los métodos conocidos de análisis matemático, y (b) mediante el empleo de MATLAB. En todos los casos verificar mediante los teoremas del valor inicial y final de la transformada de Laplace, los valores de inicio ($t \rightarrow 0$) y terminación ($t \rightarrow \infty$) de los gráficos.

- a) $G(s) = \frac{9 - 3s}{(s + 1)(s + 7)}$
b) $G(s) = \frac{4s + 2}{s(s + 1)(s + 2)}$
c) $G(s) = \frac{4s^2 + 7s + 4}{(s + 2)(s^2 + s + 1)}$
d) $G(s) = \frac{3s^2 - 2s + 1}{(s - 3)(s - 2)(s - 1)}$
e) $G(s) = \frac{s^2 + 4s + 5}{s^3 + 2s^2 + 3s + 2}$
f) $G(s) = \frac{5s + 12}{s^2 + 5s + 6}$

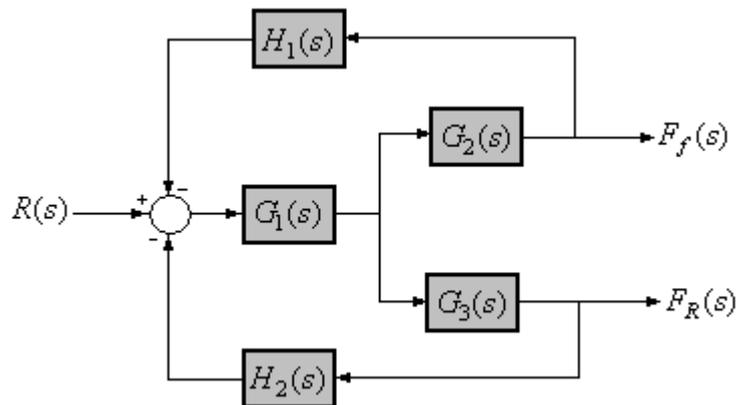
Problema 13. El siguiente diagrama en bloques, muestra el sistema de regulación de temperatura en un intercambiador de calor. Se quiere estudiar qué tan grandes son las señales de regulación $u(t)$ para diferentes tipos de disturbios (perturbaciones) en el sistema. Calcule para ello la función transferencia $G(s)$ de la señal V a la señal U . Considerando (a) $v(t) = \text{escalón unitario}$ y, (b) $v(t) = 0.5 \text{Sen}(0.4t)$ obtener los gráficos temporales de $u(t)$.



Problema 14. Dado el siguiente sistema de ecuaciones algebraicas lineales, obténgase el diagrama de flujo de señal.

$$\begin{aligned} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + a_{13}x_3 + r_1 &= x_1 \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + a_{23}x_3 + r_2 &= x_2 \\ a_{31}x_1 + a_{32}x_2 + a_{33}x_3 + r_3 &= x_3 \end{aligned}$$

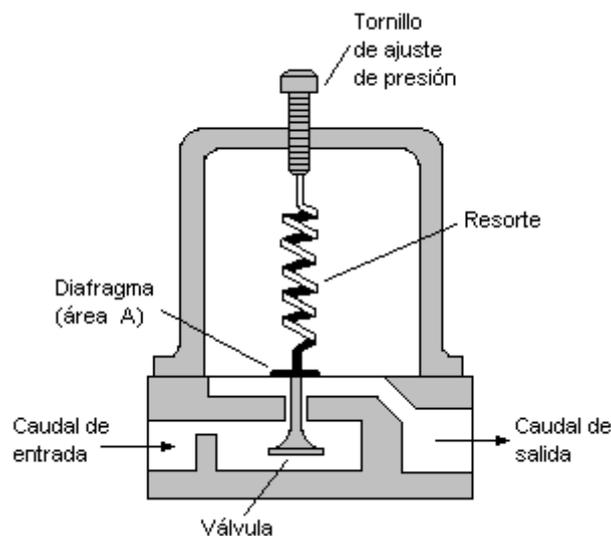
Problema 15. El diagrama en bloques mostrado a continuación, representa el modelo del sistema de control de frenos de un automóvil, donde se emplea realimentación electrónica para controlar automáticamente la fuerza de frenado en cada rueda. $F_f(s)$ y $F_R(s)$, son las fuerzas de frenado de las ruedas delanteras y de las traseras, respectivamente. $R(s)$, es la respuesta deseada del automóvil en una carretera cubierta con una capa de hielo. Determinése las transferencias $F_f(s)/R(s)$ y $F_R(s)/R(s)$.



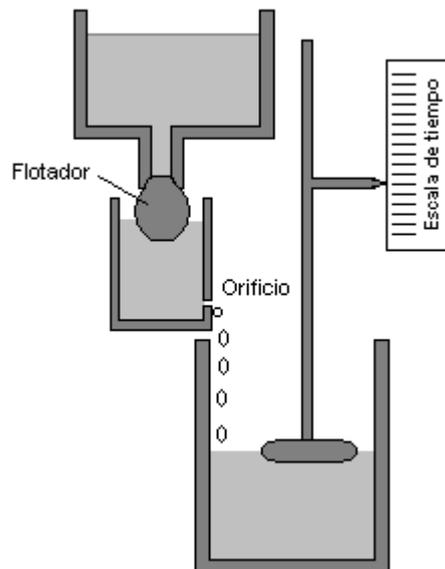
Problema 16. Un proceso tiene la función transferencia: $\frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{3(s+2)(s+6)}{s(s+1)(s^2+4s+8)(s+12)}$

Determinése: (a) la ecuación diferencial del proceso, y (b) el conjunto de ecuaciones diferenciales de primer orden que representan al proceso. Tener en cuenta que no es posible realizar la derivada de la señal de entrada $u(t)$.

Problema 17. En la figura se muestra un corte transversal de un regulador de presión de uso común. La presión deseada se ajusta al girar el tornillo calibrador. Esto comprime el resorte y establece una fuerza que se opone al movimiento ascendente del diafragma. El lado inferior del diafragma está expuesto a la presión de agua que se va a controlar. De esta forma el movimiento del diafragma es una indicación de la diferencia entre la presión deseada y la real, esto es actúa como comparador. La válvula se conecta al diafragma y se mueve de acuerdo con la diferencia de presión, hasta que alcanza una posición en la cual la diferencia es cero. Representétese en un diagrama en bloques todas las acciones que tienen lugar en este sistema de control con la presión de salida como la “variable controlada”.

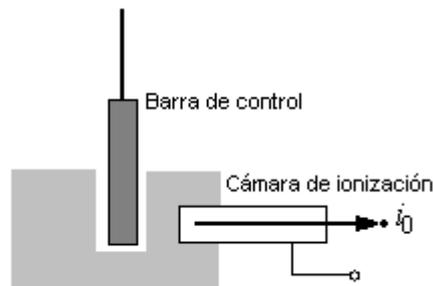


Problema 18. En el esquema adjunto se muestra el control automático del nivel de agua mediante un flotador, que se usó en Oriente Medio para un reloj de agua desde antes de Cristo hasta el siglo XVII. Analícese la operación del reloj de agua y establézcase como el flotador proporciona un control con realimentación que conserva la exactitud del reloj. Dibújese un diagrama en bloques del sistema con realimentación.

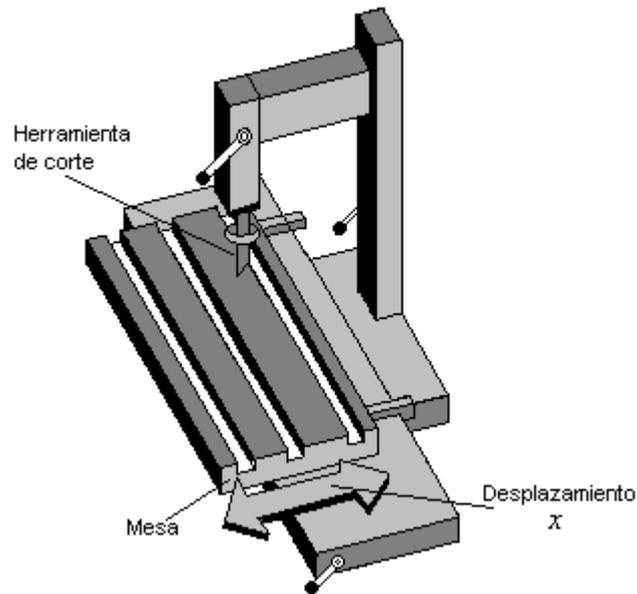


Problema 19. El control preciso de un reactor nuclear, es importante para los sistemas de generación de potencia. Suponiendo que el número de neutrones presentes es proporcional al nivel de potencia, se usa una cámara de ionización para medir dicho nivel. La corriente i_0 es proporcional al nivel de potencia. La posición de las barras de control de grafito modera este nivel.

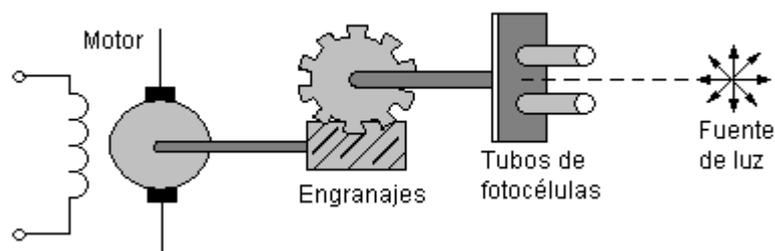
Complétese el sistema de control del reactor nuclear, que se muestra en el esquema adjunto, y dibújese el diagrama en bloques que describe la operación del lazo de control con realimentación, indicando todas las variables físicas significativas.



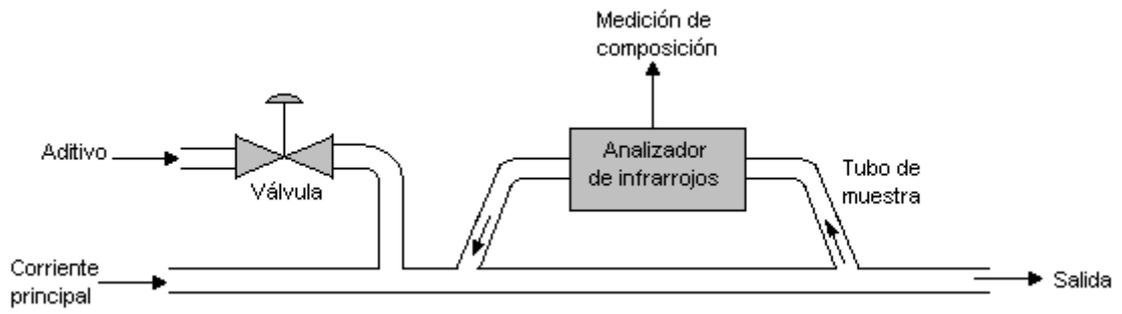
Problema 20. Los requisitos cada vez más exigentes de la moderna maquinaria de alta precisión, están colocando demandas crecientes sobre los sistemas de guía de deslizamiento. El objetivo es controlar de forma precisa la trayectoria deseada de la mesa que se muestra en la figura adjunta. Represéntese un modelo del diagrama de bloques de un sistema con realimentación para conseguir el objetivo deseado, indicando todas las variables físicas significativas. La mesa se puede mover en dirección x , tal como se muestra.



Problema 21. La figura muestra un sistema de control mediante una luz que se emplea para rastrear el sol. El eje de salida accionado por el motor mediante un engranaje reductor, tiene unida una ménsula sobre la cual se montan dos fotocélulas. Complétese el sistema de control de lazo cerrado de forma que dicho sistema siga la fuente luminosa y dibújese un diagrama en bloques que describa la operación del sistema de control, indicando todas las variables físicas significativas.



Problema 22. En un sistema de control de un proceso químico es importante controlar la composición química del producto. Para controlar la composición, puede obtenerse una medición de ésta usando un analizador de infrarrojos para la composición, tal como se muestra en la figura. Puede controlarse la válvula del caudal de aditivo. Complétese el lazo de control con realimentación y dibújese un diagrama en bloques que describa la operación del sistema de control, indicando todas las variables físicas significativas.



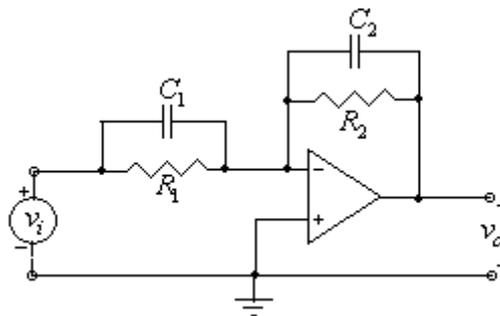
TRABAJO PRÁCTICO Nº 2

Modelos de sistemas mecánicos, y electrónicos.

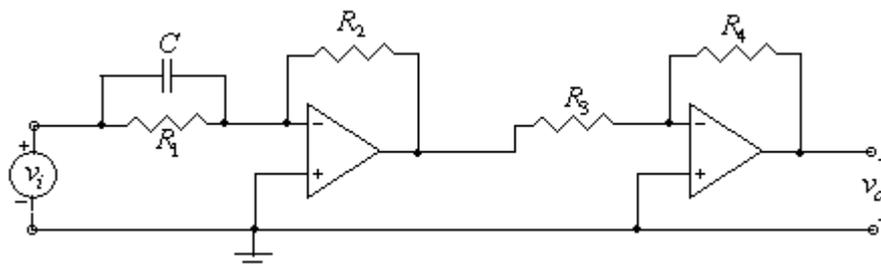
OBJETIVOS: Después de completar este TP, los alumnos estarán en condiciones de:

- Obtener los modelos matemáticos, es decir: las “*ecuaciones diferenciales*” de plantas mecánicas, con movimiento de traslación, rotación y combinación de ambos tipos de movimiento.
- Obtener los modelos matemáticos de circuitos electrónicos.
- Expresar los modelos matemáticos como : (a) función transferencia, (b) matriz de transferencia y, (c) como función de las variables de estado.
- Utilizar los diagramas en bloques para representar los sistemas.
- Adquirir destreza en la reducción de los diagramas en bloques y diagramas de flujo de señal.

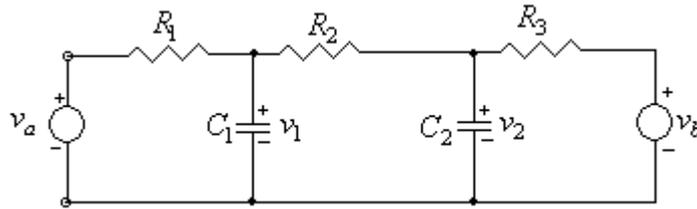
Problema 1. Obtener la función transferencia $V_o(s)/V_i(s)$ del circuito con amplificador operacional que se muestra a continuación. Supóngase un OPAMP ideal. Determinése la función transferencia cuando $R_1 = R_2 = 100\text{ K}\Omega$, $C_1 = 10\text{ }\mu\text{F}$, $C_2 = 5\text{ }\mu\text{F}$.



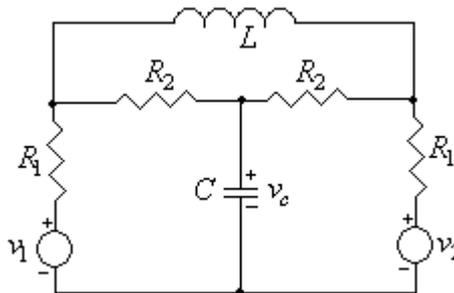
Problema 2. Determinése la función transferencia $V_o(s)/V_i(s)$ para el circuito con amplificador operacional que se muestra a continuación. Considerar que $R_1 = 167\text{ K}\Omega$, $R_2 = 240\text{ K}\Omega$, $R_3 = 1\text{ K}\Omega$, $R_4 = 100\text{ K}\Omega$, $C = 1\text{ }\mu\text{F}$. Supóngase un OPAMP ideal.



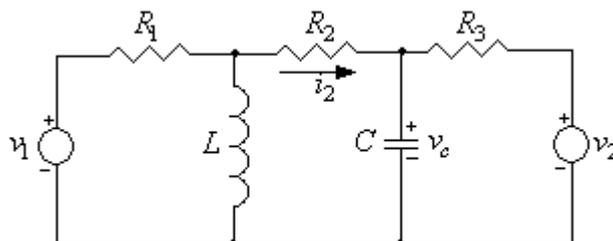
Problema 3. Para el circuito eléctrico indicado a continuación obténgase un modelo de estado (matrices **A**, **B**, **C**, **D**). Considerar como salidas v_1 y v_2 . Dibujar el diagrama en bloques del modelo obtenido.



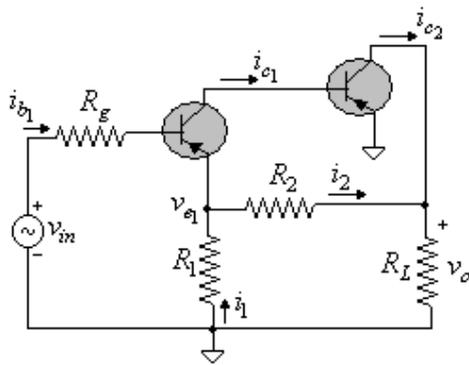
Problema 4. El circuito que se muestra a continuación es una red *punteo equilibrada*. Para la misma se pide (a) Obtener un modelo de estado (matrices **A**, **B**, **C**, **D**) considerando la tensión v_c , como señal de salida. (b) Dibujar el diagrama en bloques del modelo obtenido.



Problema 5. Para el circuito RLC mostrado a continuación, determínese (a) el modelo de estado (matrices **A**, **B**, **C**, **D**), considerando i_2 como salida, (b) diagrama en bloques del modelo obtenido.



Problema 6. A continuación se muestra un amplificador de dos transistores en serie con realimentación por tensión. En el circuito equivalente no se tienen en cuenta las resistencias de polarización y los capacitores en paralelo. En el diagrama en bloques no se tiene en cuenta el efecto de h_{re} , que es una aproximación adecuada y además se supone que $(R_2 + R_L) \ll R_1$. Determinar: (a) la ganancia de tensión v_o/v_{in} (b) la ganancia de corriente i_{c2}/i_{b1} , (c) la impedancia de entrada v_{in}/i_{b1} .



Amplificador con dos transistores

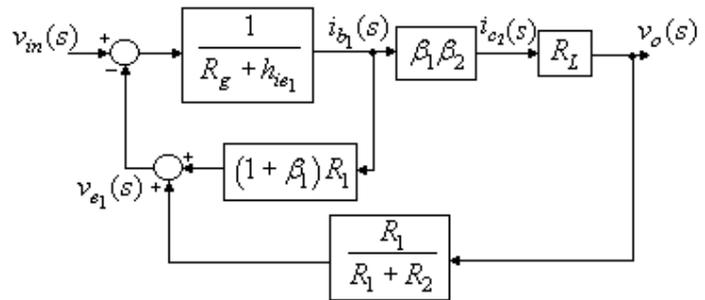
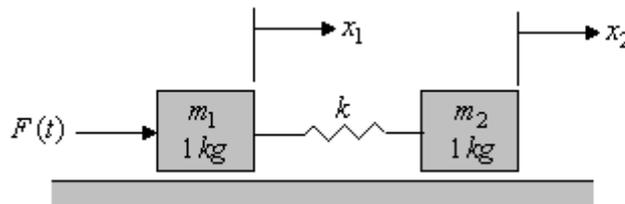
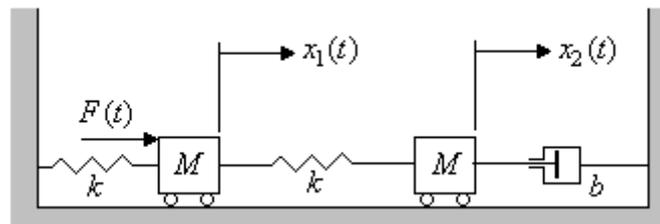


Diagrama en bloques del circuito

Problema 7. Determiné la función de transferencia $X_2(s)/F(s)$ para el sistema que se muestra a continuación. Ambas masas deslizan sobre una superficie sin rozamiento y $k = 1 \text{ N/m}$.

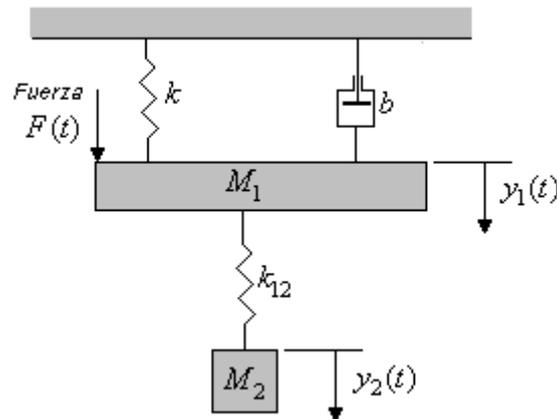


Problema 8. Sea el sistema acoplado de masas y resortes, mostrado a continuación. Se supone que las masas y los resortes son iguales, y que no hay rozamiento de las ruedas con la superficie de apoyo. Obténgase: (a) la ecuación diferencial que describe el sistema, (b) el modelo de estado (matrices **A**, **B**, **C**, **D**), considerando x_1 y x_2 como salidas, (c) el diagrama en bloques del modelo obtenido.

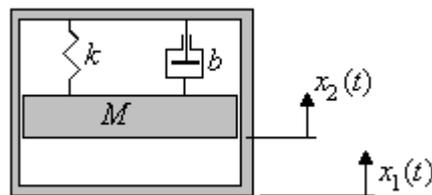


Problema 9. En el dibujo indicado a continuación se muestra un amortiguador de vibraciones dinámico. Este sistema es representativo de muchas situaciones que involucran la vibración de máquinas que contienen componentes desbalanceados. Los parámetros M_2 y k_{12} pueden elegirse de forma que la masa principal M_1 no vibre en el estado estacionario cuando $F(t) = a \text{ Sen } \omega_0 t$.

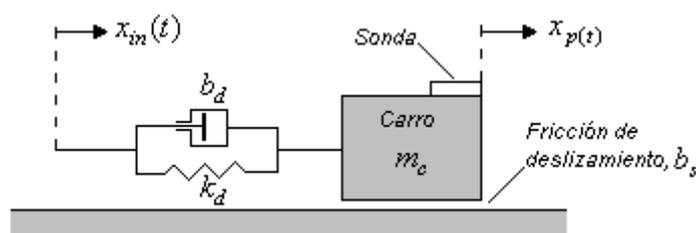
Obténgase (a) la ecuación diferencial que describe el sistema, (b) Determiné el modelo de estado (matrices **A**, **B**, **C**, **D**) que representa al sistema, (c) Obténgase el diagrama en bloques del modelo hallado.



Problema 10. En el dibujo indicado a continuación se muestra la base de los sismógrafos y acelerómetros prácticos. Determinése: (a) la función transferencia $\{X_2(s) - X_1(s)\} / X_1(s)$, (b) considerando $y(t) = x_2(t) - x_1(t)$ como salida y, la señal $x_1(t)$ como entrada, hallar el modelo de estado (matrices **A**, **B**, **C**, **D**), (c) el diagrama en bloques del modelo hallado.

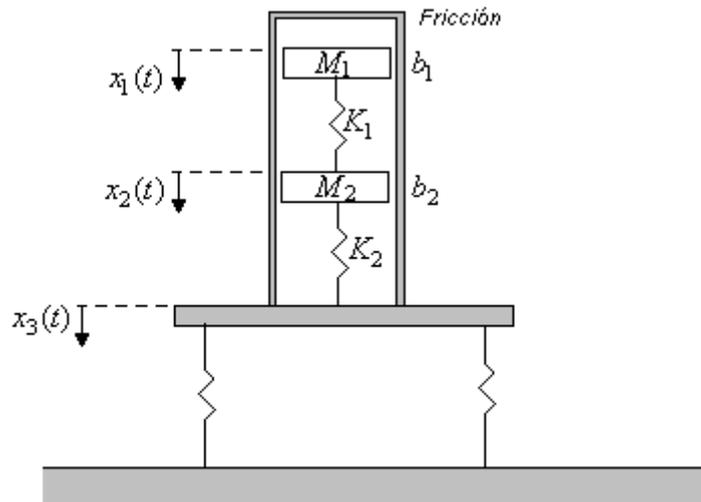


Problema 11. En el dibujo adjunto se muestra una guía de deslizamiento de precisión. Determinése (a) la función transferencia $X_p(s) / X_{in}(s)$, cuando la fricción del eje motor es $b_d = 0.7$, la constante elástica del eje motor es $k_d = 2$, la masa del carro es $m_c = 1$ y el rozamiento del deslizamiento es $b_s = 0.8$, (b) la respuesta (graficarla) $x_p(t)$, cuando la entrada es un escalón unitario.

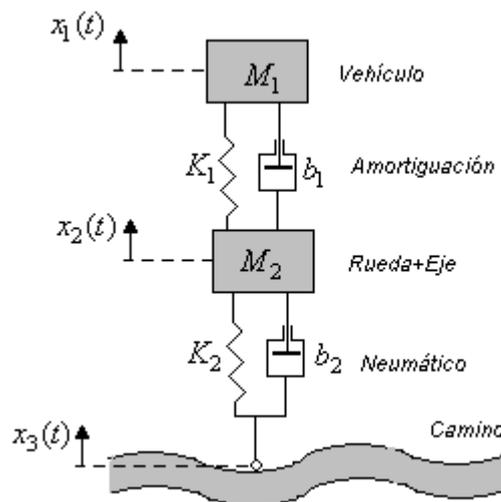


Problema 12. En la figura adjunta se muestra un sistema mecánico que está sujeto a un desplazamiento conocido $x_3(t)$, con respecto a la referencia. Se pide (a) determinése las ecuaciones independientes del movimiento, (b) obténgase las ecuaciones del movimiento en función de la transformada de Laplace, suponiendo que las condiciones iniciales son iguales

a cero, (c) dibújese un grafo de flujo de señal que represente al sistema de ecuaciones, (d) obténgase la relación $G_{13}(s)$ entre $X_1(s)$ y $X_3(s)$, empleando la fórmula de Mason.

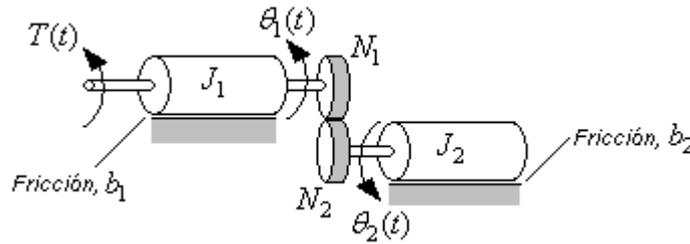


Problema 13. En la figura adjunta se muestra el esquema del sistema de suspensión de un automóvil. El mismo está sujeto a las irregularidades del camino, que se representa por la señal de entrada, a través del desplazamiento $x_3(t)$. Se pide determinar (a) las ecuaciones diferenciales del sistema, (b) Considerando $x_3(t)$ como entrada, obtener el modelo de estado (matrices **A**, **B**, **C**, **D**), (c) Dibujar el diagrama en bloques del modelo obtenido.

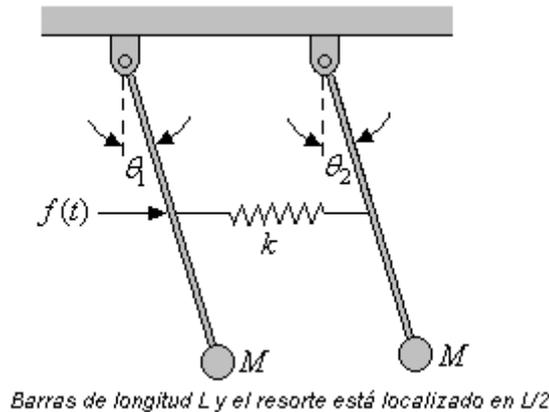


Problema 14. El esquema adjunto muestra un tren de engranajes de dos ruedas dentadas acopladas entre sí. En el extremo izquierdo del eje se aplica una cupla exterior $T(t) =$ escalón de amplitud T_0 [N/m]. Determinar: (a) ecuaciones diferenciales del sistema, (b) funciones transferencia $\theta_1(s)/T(s)$ y $\theta_2(s)/T(s)$, (c) la relación de engranajes para tener máxima aceleración inicial en la carga, (d) la relación de engranajes para tener

máxima velocidad final en la carga , (e) considerando $T(t)$ como entrada obtener el modelo de estado(matrices **A**, **B**, **C**, **D**) , (f) dibujar el diagrama en bloques para el modelo hallado.



Problema 15. A continuación se muestran dos péndulos suspendidos de pivotes sin fricción y conectados en sus puntos centrales por un resorte. Supóngase que cada péndulo se puede representar por medio de una masa M en el extremo de una barra sin masa de longitud L . Supóngase también que el desplazamiento es pequeño y que se pueden usar aproximaciones lineales para $Sen\theta$ y $Cos\theta$. Cuando $\theta_1 = \theta_2$, el resorte colocado en el centro no está estirado.. La fuerza de entrada se representa por $f(t)$, que influye solo en la barra izquierda. (a) Obténgase las ecuaciones del movimiento y dibújese un diagrama de bloques para dichas ecuaciones. (b) Determínese la función transferencia $G(s) = \theta_1(s)/F(s)$. (c) Dibújese la localización de los polos y ceros de $G(s)$ en el plano s .

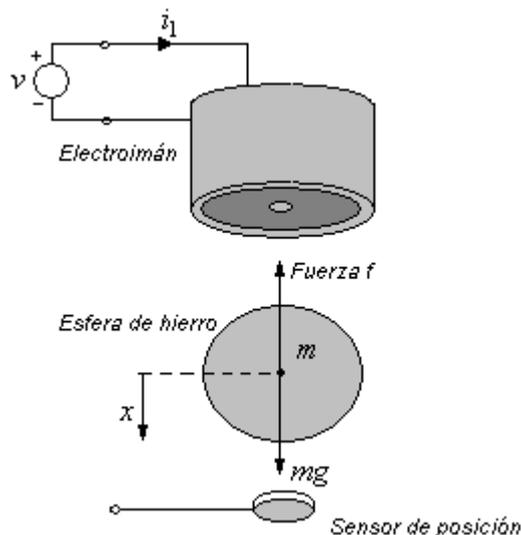


Problema 16. Considérese el sistema de suspensión electromagnética mostrado en la figura siguiente. En la parte superior del sistema se sitúa un electroimán. Utilizando la fuerza electromagnética f , se desea mantener en suspensión la esfera de hierro. Obsérvese que este sencillo sistema de suspensión electromagnético es poco práctico, por la que resulta indispensable el empleo de la realimentación (control realimentado).

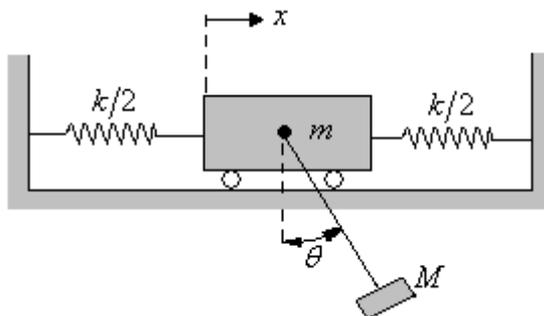
Como sensor de distancia se coloca debajo de la esfera una sonda de inducción estándar del tipo de corriente de fuga.

Supóngase que las variables de estado son $x_1 = x$, $x_2 = dx/dt$ y $x_3 = i$. El electroimán tiene una inductancia $L = 0.508 H$, y una resistencia $R = 23.2 \Omega$. Utilizar una aproximación lineal (Taylor) para la fuerza electromagnética.. La corriente es $i_1 = (I_0 + i)$, donde $I_0 = 1.06 A$ es el punto de operación e i es la variable. La masa $m = 1.75 kg$. La

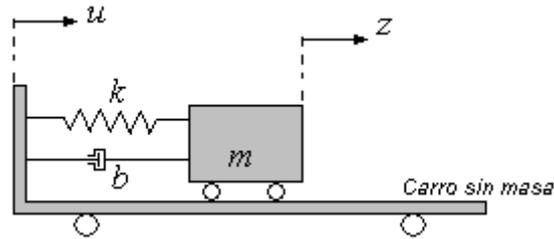
distancia es $x_g = (X_0 + x)$, donde $X_0 = 4.36 \text{ mm}$ es el punto de operación y x es la variable. La fuerza electromagnética es $f = k(i_1/x_g)^2$, donde $k = 2.9 \times 10^{-4} \text{ Nm}^3/\text{A}^2$.
 Determinése el modelo de estado y la función transferencia $X(s)/V(s)$.



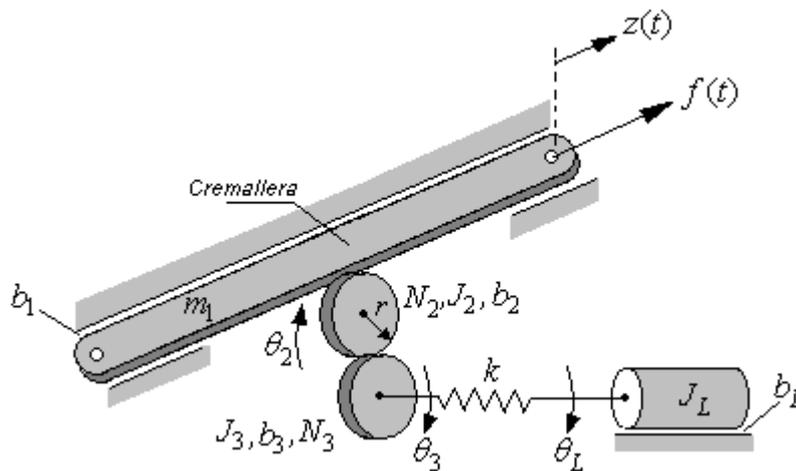
Problema 17. En la figura adjunta se muestra una masa M suspendida de otra masa m por medio de una varilla ligera (sin masa) de longitud L . Obténgase las ecuaciones diferenciales del movimiento en forma de modelo de estado, utilizando un modelo lineal al considerar un ángulo pequeño para θ .



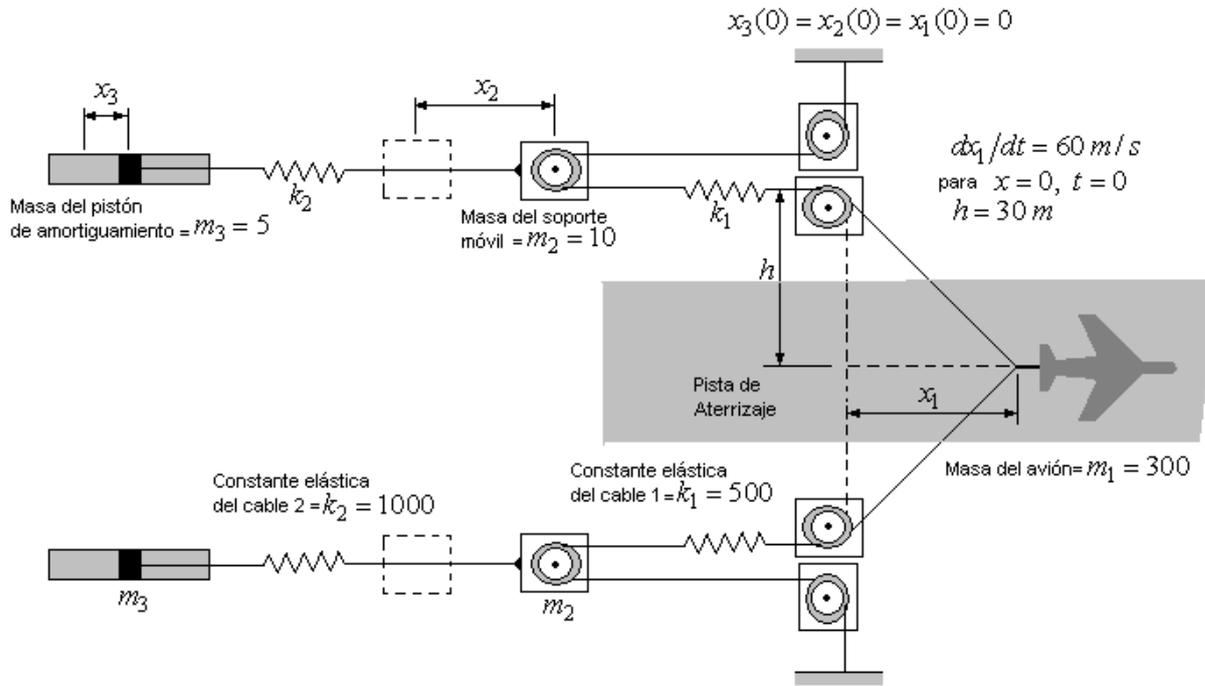
Problema 18. Considérese la masa m montada sobre un carro sin masa, como muestra el dibujo adjunto. Determinése la función de transferencia $Y(s)/U(s)$ y utilícese la función de transferencia para obtener una representación en el espacio de estados para el sistema.



Problema 19. En el esquema adjunto se muestra un dispositivo que acopla movimientos de traslación y rotación. Se pide determinar (a) La función transferencia $Z(s)/F(s)$, (b) considerando $f(t)$ como entrada y $z(t)$ como salida, hallar un modelo de estados y, (c) dibujar el diagrama en bloques del modelo obtenido.



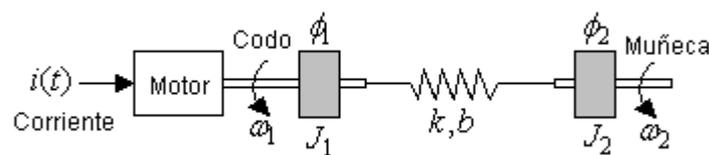
Problema 20. En la figura adjunta, se muestra un sistema de parada de avión (engranaje de parada de avión) que se utiliza en aplicaciones aeronáuticas. El modelo lineal de cada amortiguador de energía tiene una fuerza de arrastre $f_D = K_D dx_3/dt$. Se desea parar el avión dentro de los 30 m siguientes al momento de enganche con el cable de parada. La velocidad del avión sobre la superficie de aterrizaje es de 60 m/seg. Seleccione la constante requerida K_D y dibújese la respuesta de las variables de estado.



Problema 21. Considérese el control de un robot industrial como el que se muestra en la figura adjunta. El giro del motor ($T(t) = K_T i(t)$) en el codo, mueve la muñeca a través del antebrazo, el cual tiene cierta flexibilidad. El resorte tiene una constante elástica k y una constante de amortiguación de fricción b . Sean $x_1 = \phi_1 - \phi_2$ y $x_2 = \omega_1/\omega_0$ las variables de estado, donde:

$$\omega_0^2 = \frac{K(J_1 + J_2)}{J_1 J_2}$$

Obtégase las ecuaciones de estado cuando $x_3 = \omega_2/\omega_0$.



TRABAJO PRÁCTICO Nº 3**Modelos de sistemas electromecánicos**

OBJETIVOS: Después de completar este TP, los alumnos estarán en condiciones de:

- Obtener los modelos matemáticos, es decir: las “ecuaciones diferenciales” de plantas electromecánicas.
- Expresar los modelos matemáticos como :(a) función transferencia, (b) matriz de transferencia y, (c) como función de las variables de estado.
- Utilizar los diagramas en bloques para representar los sistemas.
- Adquirir destreza en la reducción de los diagramas en bloques y diagramas de flujo de señal.

Problema 1. Para un motor industrial de CC, del cuál se conocen los siguientes datos:

$$e_a = 300 \text{ V}, \quad R_a = 1 \Omega, \quad L_a = 0.05 \text{ H}, \quad K_T = 1.10 \text{ Nm/A}$$

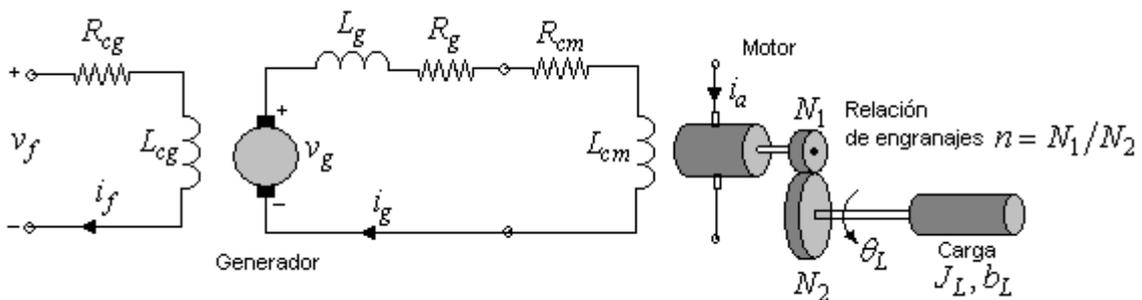
$$J_m = 0.4 \text{ J seg}^2, \quad b_m = 0.005 \text{ J seg}, \quad J_L = 0.8 \text{ J seg}^2$$

$$L_c = 9 \text{ H}, \quad R_c = 60 \Omega, \quad b_L = 0.1 \text{ J seg}$$

Determinése:

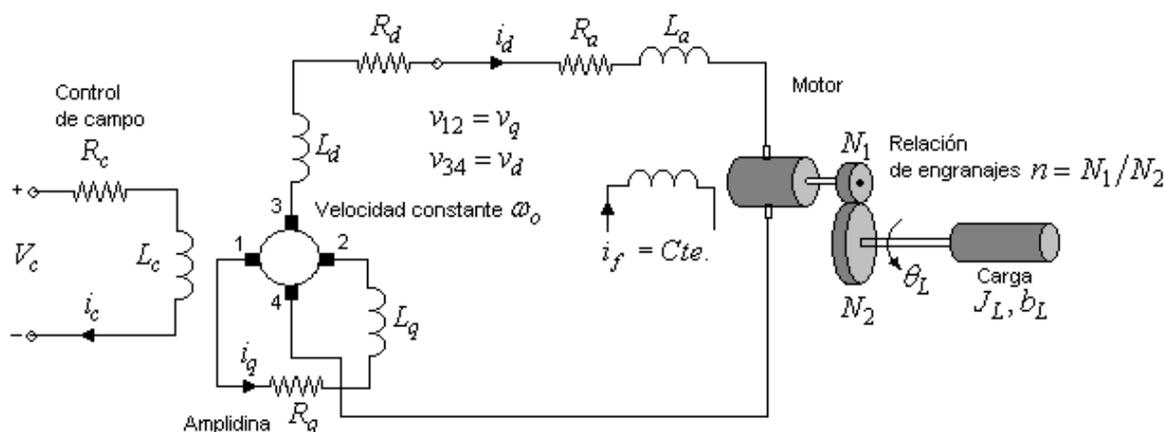
- Diagrama en bloques, y la función transferencia $\omega(s)/E_a(s)$. Hallar la respuesta de la planta motor, a una entrada escalón en la tensión de armadura.
- Considerando ω como salida y e_a como entrada, hallar un modelo de estados y dibujar el correspondiente diagrama en bloques.
- Determinar las constantes de tiempo eléctricas y mecánicas.
- Calcular todas las potencias en régimen estacionario y determinar el rendimiento del motor.

Problema 2. En la figura se muestra un sistema de control electromecánico en lazo abierto. El generador que se mueve a una velocidad constante, proporciona la tensión de excitación para el motor. El motor tiene una inercia J_m y una fricción b_m . Obténgase la función transferencia $\theta_L(s)/V_c(s)$ y dibújese un diagrama en bloques del sistema. La tensión del generador v_g puede suponerse proporcional a la corriente de excitación i_c .

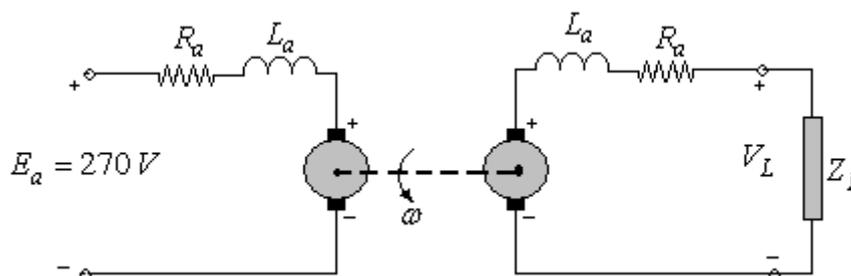


Problema 3. En los sistemas electromecánicos que requieren una gran amplificación de potencia, se emplean con frecuencia amplificadores rotativos. Una “Amplidina” es un

amplificador de potencia rotativo. En la figura se muestra una Amplidina y un motor. Obténgase la función transferencia $\theta_L(s)/V_c(s)$ y dibújese el diagrama en bloques del sistema. Supóngase que $v_d = k_2 i_q$ y $v_q = k_1 i_c$.



Problema 4. Dos motores iguales a los del problema 1, se acoplan mecánicamente como se muestra en el dibujo.



- Halar un diagrama en bloques para el sistema electromecánico.
- Determinar en vacío ($Z_L \rightarrow \infty$) y régimen estacionario, las corrientes, tensiones, cuplas, velocidades y potencias desarrolladas.
- Determinar, para una impedancia de carga $Z_L = 4 + j\omega 0.1$ y en régimen estacionario las variables halladas en el punto (b).

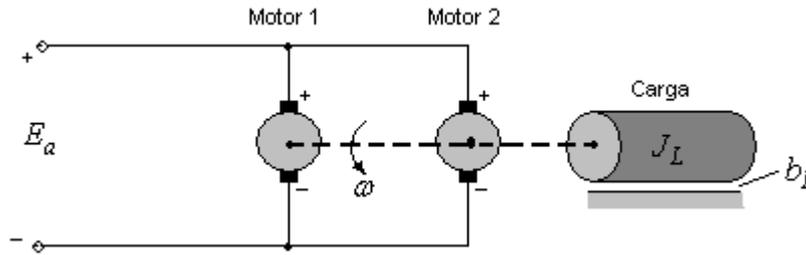
Problema 5. Dos motores eléctricos se conectan como se muestra a continuación:

La carga mecánica está dada por $J_L = 0.1 \text{ J seg}^2$, y $b_L = 0.6 \text{ J seg}$. El motor 1 es idéntico al del problema 1 y, del motor 2 se conocen mediciones realizadas con excitación de campo constante:

- Alimentado con $E_a = 250 \text{ V}$, en vacío toma 8 A y gira a 1600 rpm .
- Alimentado con $E_a = 250 \text{ V}$, pero con una carga, toma 15 A y gira a 1500 rpm .

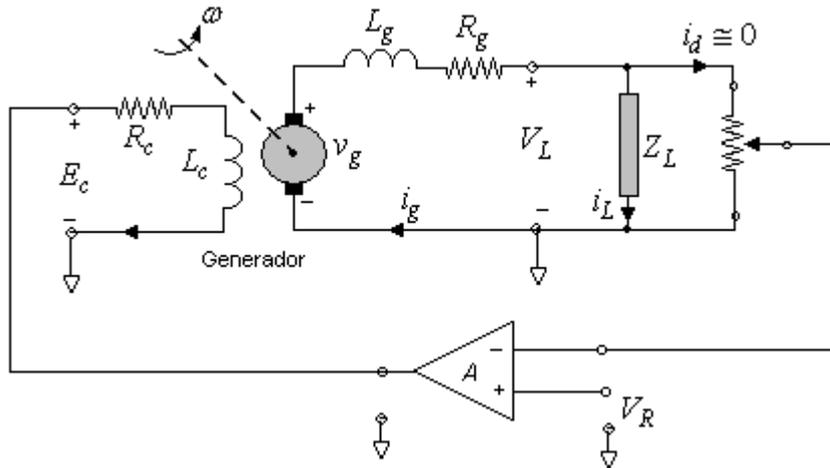
Se pide:

- Hallar un diagrama en bloques del sistema., y calcular la función transferencia $\omega(s)/E_a(s)$.
- Calcular la velocidad en la carga cuando los motores se alimentan con 300 V en armadura.



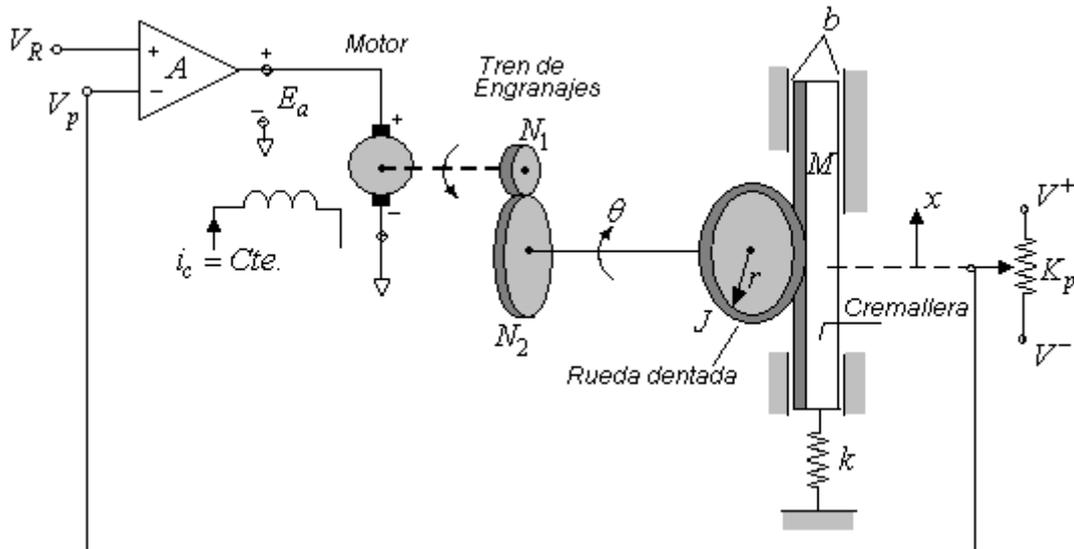
Problema 6. En la figura se muestra un sistema para regular la tensión, suministrada por un generador a una carga. El generador se hace girar a velocidad ω , mediante una máquina impulsora exterior. A su vez, se realimenta hacia el campo del generador una muestra de la tensión V_L . Se pide

- Determinarse las ecuaciones diferenciales que rigen el comportamiento dinámico del sistema.
- Linealizar el modelo matemático en el entorno de un punto de operación estable y obtener un diagrama en bloques.
- Calcular las funciones transferencias $\Delta V_L(s)/\Delta V_R(s)$ y $\Delta V_L(s)/\Delta \omega(s)$.
- Desconectando la realimentación y considerando a ΔE_c y $\Delta \omega$ como entradas y a ΔV_L como salida, obténgase un modelo de estados (matrices **A**, **B**, **C**, **D**), y dibujar el diagrama en bloques basado en el modelo de estado.



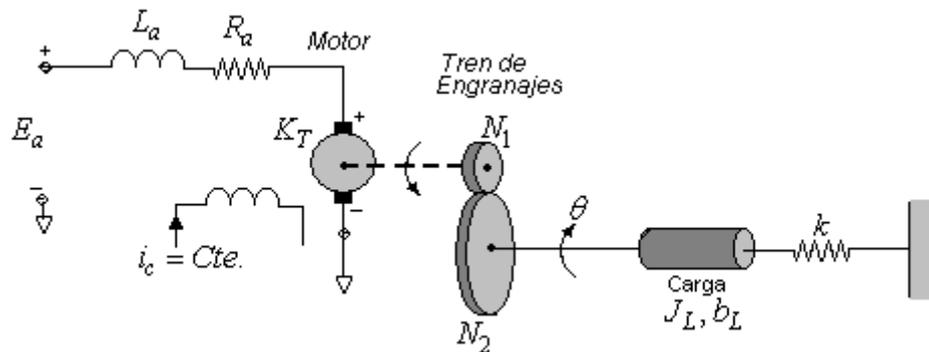
Problema 7. En la figura se muestra un sistema para controlar la posición de una cremallera. El motor tiene inercia, fricción, resistencia e inductancia de armadura. Se pide.

- Obtener un diagrama en bloques para el sistema y calcular la función transferencia $\theta(s)/V_R(s)$.
- Desconectando la realimentación, y considerando $\theta(t)$ como salida y $e_a(t)$ como entrada, obtener un modelo de estado (matrices **A**, **B**, **C**, **D**) y dibujar el diagrama en bloques basado en el modelo de estados.



Problema 8. En la figura se muestra un motor accionando una carga mecánica. Para el sistema indicado se pide:

- Hallar un diagrama en bloques.
- Calcular la función transferencia $\theta(s)/E_a(s)$.
- Determinar la impedancia de entrada $Z_i(s) = E_a(s)/I_a(s)$.
- Considerando $e_a(t)$ como entrada y $\theta(t)$ como salida, hallar un modelo de estados (matrices **A**, **B**, **C**, **D**) y dibujar el diagrama en bloques para el modelo hallado.



TRABAJO PRÁCTICO Nº 4

Modelos de procesos de nivel, hidráulicos y térmicos

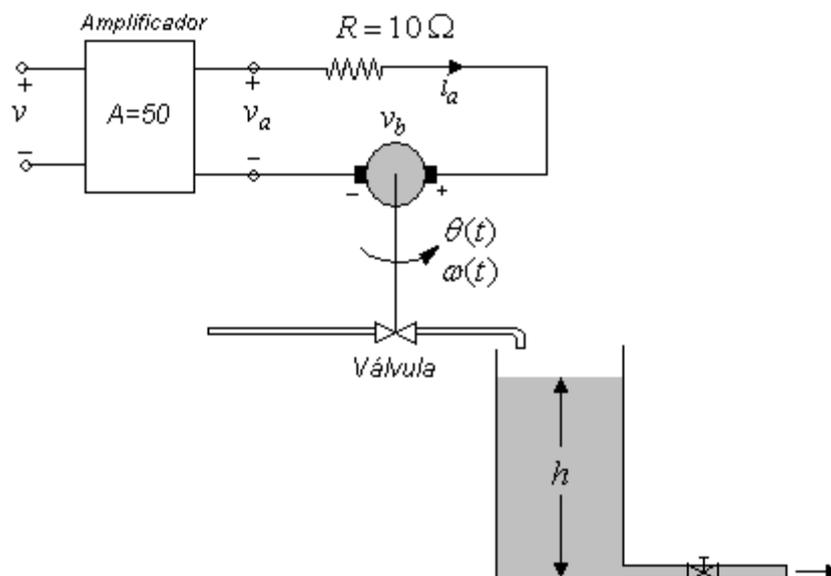
OBJETIVOS: Después de completar este TP, los alumnos estarán en condiciones de:

- Obtener los modelos matemáticos, es decir: las “ecuaciones diferenciales” de plantas hidráulicas, de nivel, neumáticas, térmicas y combinaciones de las mismas.
- Expresar los modelos matemáticos como : (a) función transferencia, (b) matriz de transferencia y, (c) como función de las variables de estado.
- Utilizar los diagramas en bloques para representar los sistemas.
- Adquirir destreza en la reducción de los diagramas en bloques y diagramas de flujo de señal.

Problema 1. El nivel de líquido $h(t)$ se controla por un sistema en lazo abierto tal como se muestra en la figura adjunta. Un motor de CC controlado por la corriente de armadura i_a gira un eje abriendo una válvula. La inductancia del motor de CC es despreciable, es decir $L_a \cong 0$. También la fricción rotacional del eje del motor y la válvula es despreciable, esto es $b = 0$. La altura del líquido en el recipiente es:

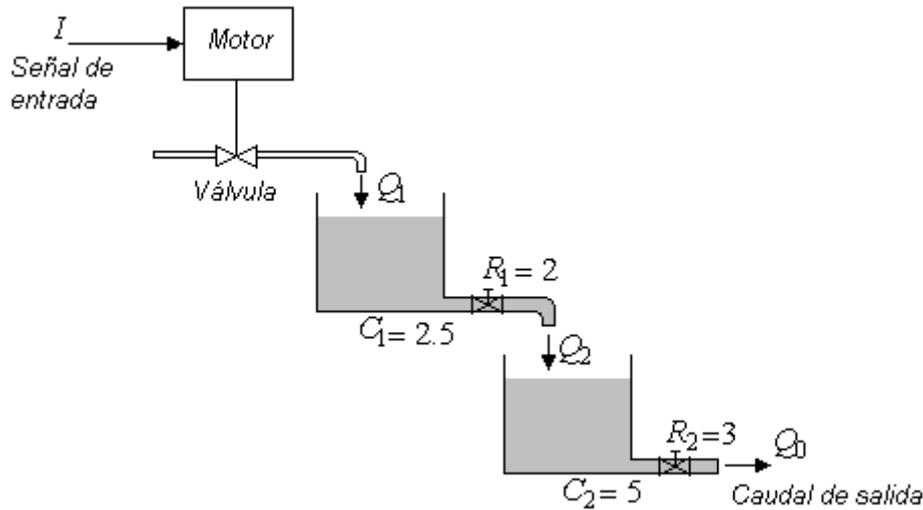
$$h(t) = \int [1.60\theta(t) - h(t)] dt$$

La constante del motor es $K_m = 10$ y la inercia del eje del motor y la válvula es $J = 6 \times 10^{-3} \text{ kg.m}^2$. Determinése (a) la ecuación diferencial para $h(t)$ y $v(t)$, (b) La función transferencia $H(s)/V(s)$.



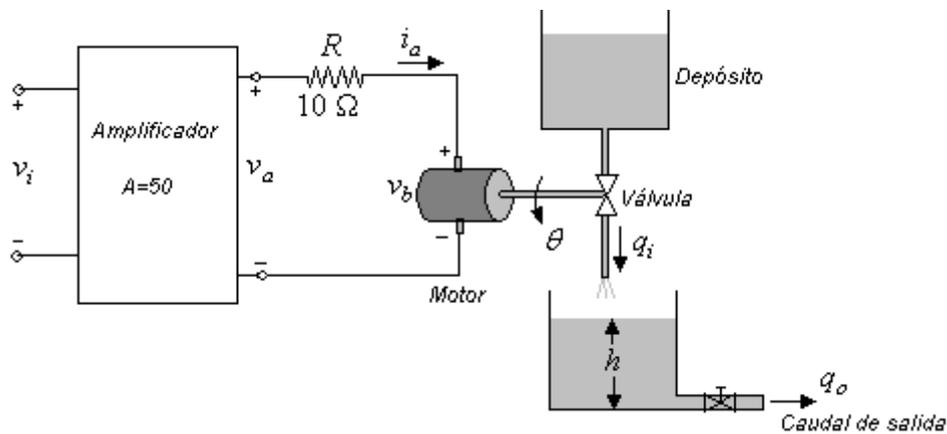
Problema 2. El sistema de dos tanques que se muestra en el dibujo adjunto, está controlado por un motor que ajusta la válvula de entrada y finalmente varía el caudal de salida. El motor está controlado por la corriente I . El conjunto motor y válvula tiene una ganancia $K_{mv} = 0.20 \text{ m}^3/\text{A.seg}$ y una constante de tiempo $\tau_{mv} = 0.2 \text{ seg}$. Las resistencias hidráulicas de las válvulas y las capacidades de los tanques se indican en el dibujo.

- (a) Considerando la corriente $i(t)$ como entrada y $q_0(t)$ como salida, hallar un modelo de estado (matrices **A**, **B**, **C**, **D**) y dibujar el diagrama en bloques que representa al modelo obtenido.
- (b) Obtener un diagrama en bloques, basado en el concepto de función transferencia, indicando todas las variables físicas del sistema.
- (c) Calcular la función transferencia $Q_o(s)/I(s)$.

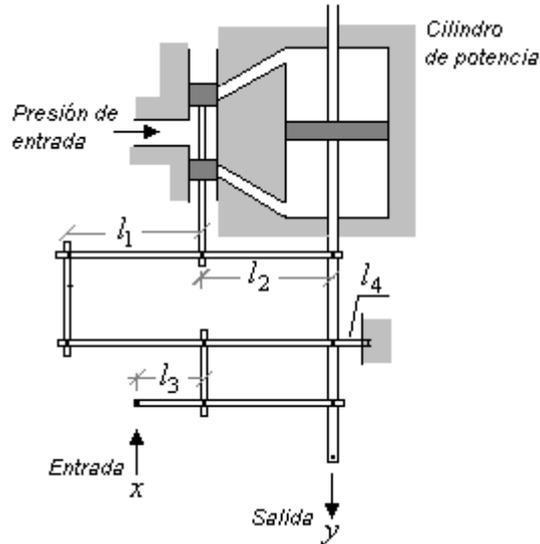


Problema 3. Sea el sistema mostrado en el esquema adjunto. La inductancia del motor es despreciable ($L_a \cong 0$), la constante del motor es $K_m = 10$, la constante de tensión del motor es $K_b = 0.0706$, la fricción del motor es despreciable ($b_m \cong 0$). La inercia del motor y la válvula es $J = 0.006$ y el área del tanque es 50m^2 . Obsérvese que el motor está controlado por la corriente de armadura i_a . Sea $x_1 = h$, $x_2 = \theta$ y $x_3 = d\theta/dt$. Supóngase que $q_1 = 80\theta$, donde θ es el ángulo del eje. El caudal de salida es $q_0(t) = 50h(t)$.

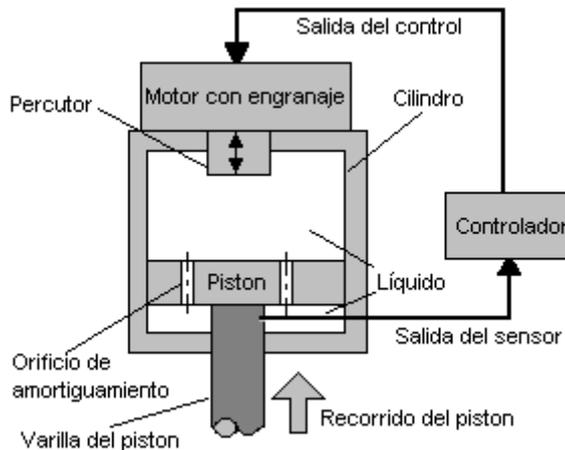
- (a) Determinar una representación en el espacio de estados (matrices **A**, **B**, **C**, **D**).
- (b) Dibujar el diagrama en bloques que representa al modelo obtenido en (a).
- (c) Calcúlese la función transferencia $Q_o(s)/V_i(s)$.



Problema 4. En el esquema adjunto se muestra un servomecanismo hidráulico con realimentación mecánica. El pistón de potencia tiene un área A . Cuando se mueve la válvula una pequeña cantidad Δz , entonces fluye el aceite a través del cilindro a una velocidad $k_z \Delta z$, donde k_z es el coeficiente de la obstrucción (orificio). Se supone que la presión de entrada del aceite es constante. Se pide
 (a) Obtener un gráfico de flujo de señal el lazo cerrado para este sistema mecánico.
 (b) Calcular la función transferencia en lazo cerrado $Y(s)/X(s)$.

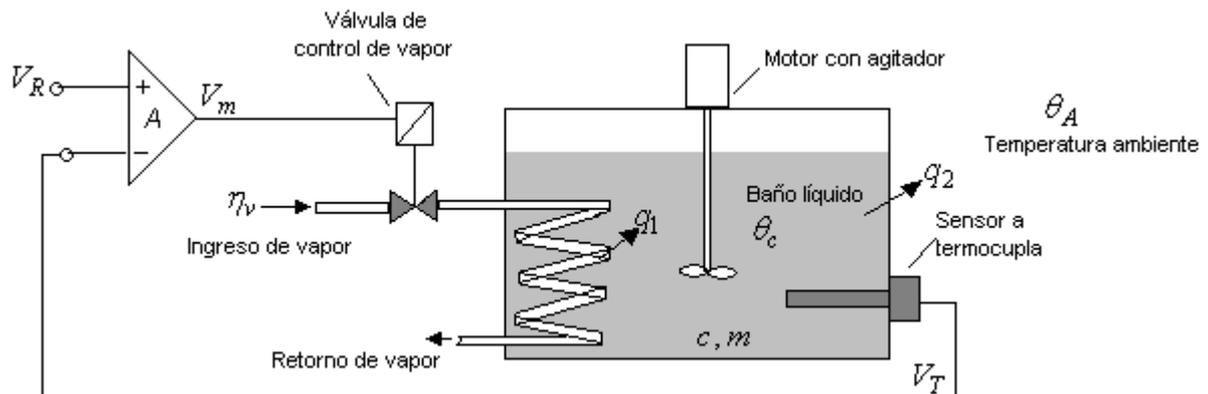


Problema 5. Una de las aplicaciones importantes más beneficiosas de un sistema de control en un automóvil es el control activo del sistema de suspensión. Un sistema de control con realimentación utiliza un amortiguador que consiste en un cilindro relleno con un fluido “compresible” que proporciona ambas fuerzas elástica y de amortiguamiento. El cilindro tiene un émbolo activado por un motor con engranaje reductor, un sensor de medida del desplazamiento de un pistón que comprime el fluido. Durante el desplazamiento del pistón, el desequilibrio de presión a través del pistón se utiliza para amortiguar el control. El émbolo varía el volumen interno del cilindro. En el esquema adjunto se muestra este sistema con realimentación. Desarrollése un modelo lineal para este dispositivo utilizando un modelo basado en bloques.



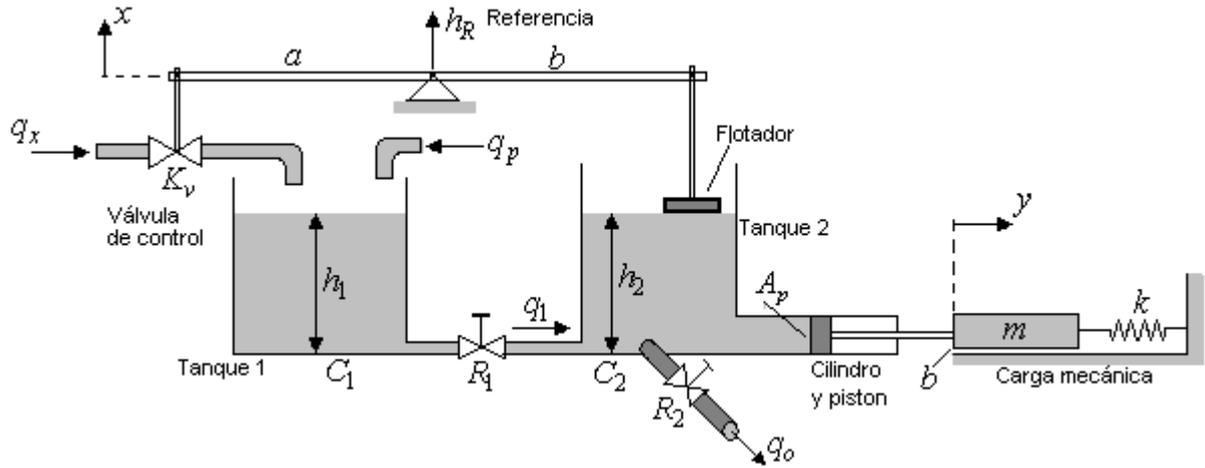
Problema 6. En la figura se muestra el control de temperatura por realimentación de un líquido contenido en un recipiente. El líquido es calentado por la cesión de calor proveniente del vapor que circula por la serpentina. El caudal de vapor es regulado por la válvula de control de vapor. La válvula de vapor tiene una ganancia K_v ($kg/Volt.seg$) y una constante de tiempo τ_v (seg). El caudal de vapor es η_v , el calor específico y la masa del líquido son c, m . Se supone que el agitador no genera calor y su única función es uniformizar la temperatura del baño. El sensor de temperatura tiene una ganancia K_T ($volt/^\circ C$) y una constante de tiempo τ_T (seg).

Para el proceso se pide (a) Obtener un diagrama en bloques basado en el concepto de función transferencia, (b) Calcular la función transferencia $\theta_c(s)/V_R(s)$, (c) Desconectando la termocupla y considerando la tensión $v_m(t)$ como entrada y la temperatura $\theta_c(t)$ como salida, obtener una representación de estado (matrices **A, B, C, D**) (d) Dibujar el diagrama en bloques del modelo de estados.

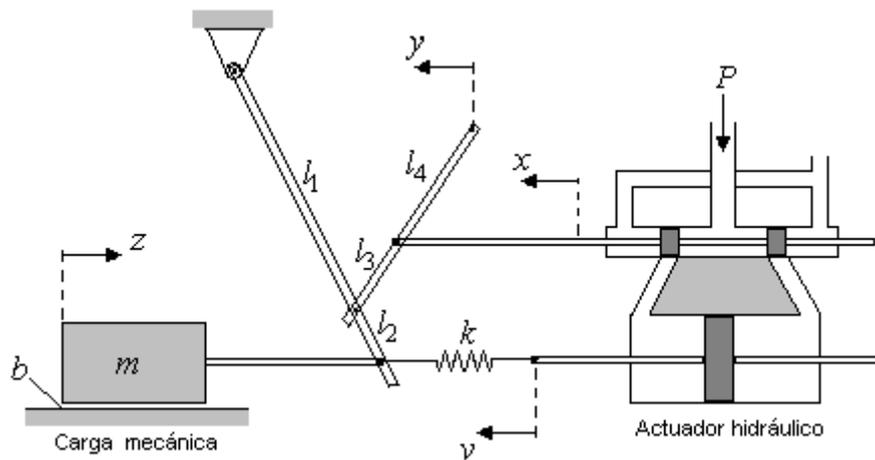


Problema 7. En la figura se muestra un sistema realimentado que combina elementos hidráulicos y mecánicos. El líquido tiene un peso específico γ . La palanca de realimentación (de brazos a , y b) tiene un apoyo móvil que puede desplazarse en forma manual o motorizada, en dirección vertical, para fijar el nivel de regulación h_2 . Una vez establecido el nivel de regulación, el sistema realimentado de control actúa para minimizar el efecto de la perturbación, en este caso es el caudal $q_p(t)$. Las dimensiones y demás datos del sistema se indican en el diagrama adjunto.

Se pide (a) Obtener un diagrama en bloques basado en el concepto de función transferencia, (b) calcular el nivel h_2 en régimen estacionario con $q_p = 0$, y $h_R(t)$ escalón unitario, (c) calcular el efecto de la perturbación $q_p(t)$: escalón unitario, sobre el nivel h_2 en régimen estacionario (d) Determinar las funciones transferencias $Y(s)/H_R(s)$, y $Y(s)/Q_p(s)$ (e) Quitando la palanca de realimentación y considerando a q_x , y q_p , como entradas y h_1 , h_2 , e y como salidas, determínese una representación de estado (matrices **A, B, C, D**), (f) Dibujar el diagrama en bloques que representa el modelo obtenido.



Problema 8. En la figura se muestra un servomecanismo hidráulico realimentado mecánicamente para accionar una carga de inercia y fricción viscosa. La presión de alimentación de aceite es constante. El pistón de potencia tiene un área efectiva A_p . El fluido tiene densidad ρ . Los coeficientes del actuador hidráulico $k_x = \partial q / \partial x|_{x_0, p_0}$ y $k_p = \partial q / \partial p|_{x_0, p_0}$ se consideran conocidos. (a) Obténgase un diagrama en bloques sobre la base del concepto de transferencia., (b) Determinése la función transferencia $Z(s)/Y(s)$.

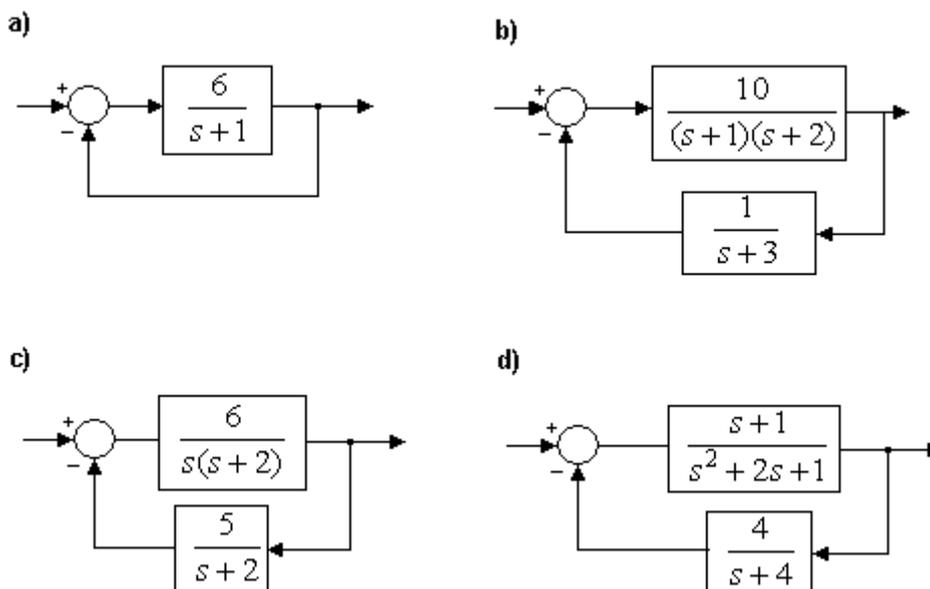


TRABAJO PRÁCTICO Nº 5**Respuesta temporal. Transitorio y estacionario. Sensibilidad**

OBJETIVOS: Después de completar este TP, los alumnos estarán en condiciones de:

- Obtener la respuesta temporal de sistemas de control a lazo abierto y cerrado.
- Analizar el comportamiento de los sistemas en régimen transitorio y en estado estacionario.
- Obtener la solución de la representación de estado para sistemas LTI con condiciones iniciales.
- Analizar y calcular el error en estado estacionario. Adquirir destreza en el manejo del Tipo de sistema.
- Analizar y calcular el efecto de las perturbaciones sobre el error en estado estacionario.
- Adquirir destreza y habilidad en el manejo de los parámetros que caracterizan la respuesta transitoria y estacionaria de los sistemas dinámicos y el efecto de la variación de parámetros (Sensibilidad).

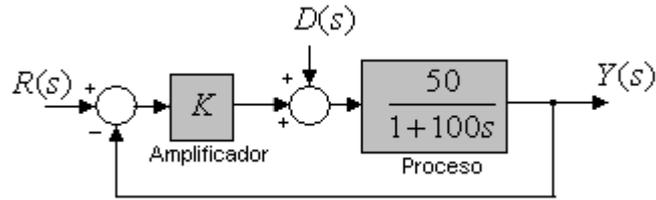
Problema 1. Para los sistemas caracterizados por su modelo de función transferencia, mostrados a continuación, determínese el tipo de sistema y obténgase el error en estado estacionario (tanto actuante como verdadero) e indicar en un gráfico los resultados obtenidos.



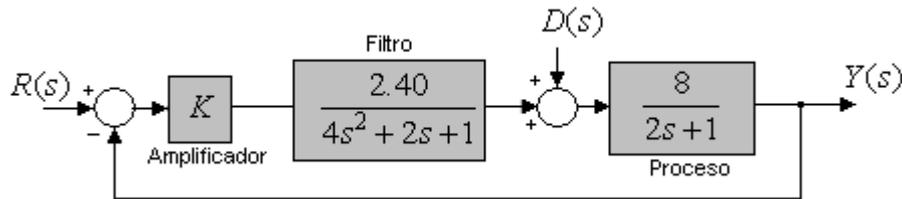
Problema 2. Considérese el sistema de control de nivel, que se muestra a continuación. El mismo tiene una referencia $R(s)$ y una perturbación $D(s)$. Determínese (a) la sensibilidad

$$S_K^M = \frac{\partial M/M}{\partial K/K}, \text{ (b) el error en estado estacionario debido a la perturbación } D(s) = 1/s,$$

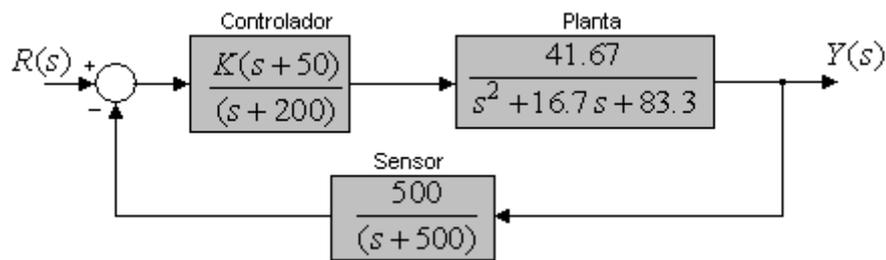
(c) la respuesta $y(t)$ para una referencia escalón $R(s) = 1/s$, cuando $K = 10$.



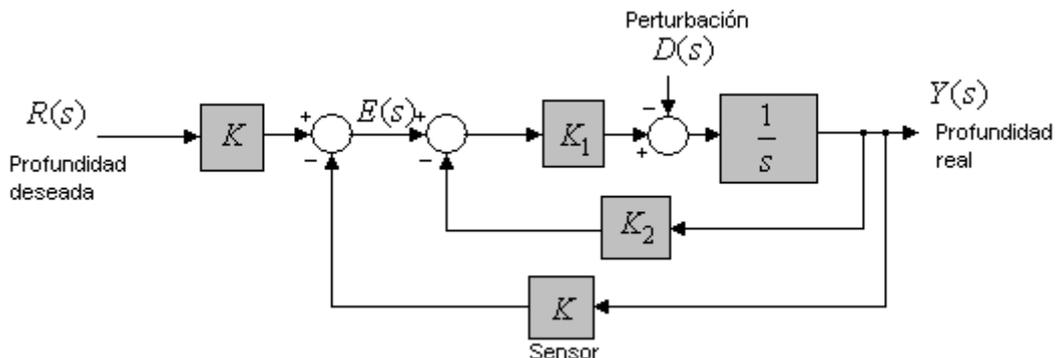
Problema 3. Para el sistema de control mostrado a continuación, determínese el error en estado estacionario para $R(s) = 1/s$ y $D(s) = 0.5/s$.



Problema 4. Considérese el sistema de control que se muestra a continuación.
 (a) Determínese el error en estado estacionario para una referencia escalón, en función de la ganancia K . (b) Determínese la sobreelongación para la respuesta escalón, tomando $40 \leq K \leq 400$. (c) Dibújese la sobreelongación y el error en estado estacionario en función de K .



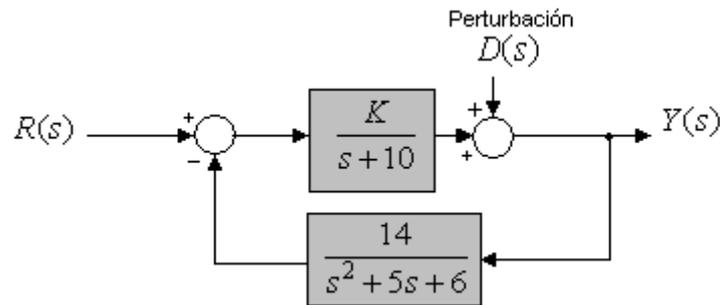
Problema 5. Un sumergible con casco plástico transparente, para uso diverso bajo el agua, tiene un sistema de control de profundidad como el que se muestra a continuación.



(a) Determínese la función transferencia en lazo cerrado $M(s) = Y(s)/R(s)$.

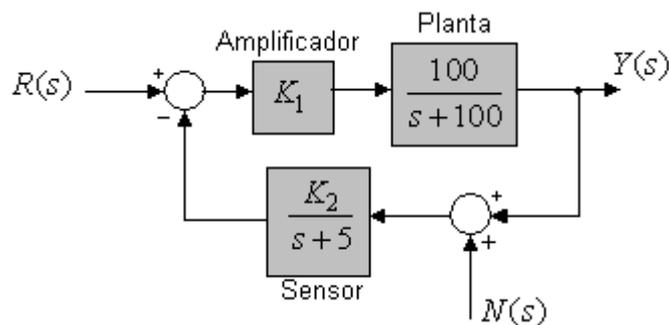
- (b) Determínese la sensibilidad $S_{K_1}^M$ y S_K^M .
- (c) Determínese el error en estacionario debido a la perturbación $D(s) = 1/s$.
- (d) Calcúlese la respuesta al escalón para una entrada $R(s) = 1/s$, cuando $K = K_2 = 1$ y $1 < K_1 < 10$. Selecciónese K_1 para la respuesta más rápida.

Problema 6. Considérese el sistema de control de lazo cerrado mostrado a continuación.



- (a) Calcúlese la función transferencia $M(s) = Y(s)/R(s)$.
- (b) Definiendo el error de seguimiento como $E(s) = Y(s) - R(s)$. Calcúlese el error de seguimiento en estado estacionario debido a una entrada escalón unitario $R(s) = 1/s$.
- (c) Calcúlese la función transferencia $Y(s)/D(s)$, y determínese el error en estado estacionario de la salida a una entrada de perturbación escalón unitario, es decir $D(s) = 1/s$.
- (d) Calcúlese la sensibilidad S_K^M .

Problema 7. En el esquema adjunto se muestra un sistema de control de lazo cerrado con ruido en la medición $N(s)$.



El error de seguimiento se define como $E(s) = Y(s) - R(s)$:

- (a) Calcúlese la función transferencia $M(s) = Y(s)/R(s)$ y determínese el error de seguimiento en régimen estacionario debido a una referencia escalón unitario, es decir $R(s) = 1/s$, considerando $N(s) = 0$.
- (b) Calcúlese la función transferencia $Y(s)/N(s)$ y determínese el error de seguimiento en estado estacionario debido a una respuesta de perturbación escalón unitario, es decir

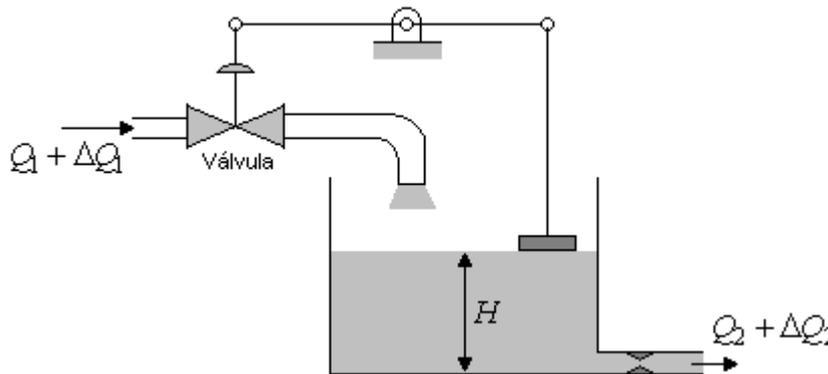
$N(s)=1/s$ y $R(s)=0$. Reacuérdesse en este caso, que la salida deseada es cero (sistema regulador).

(c) Si el objetivo es seguir a la entrada mientras se rechaza el ruido de la medición [en otras palabras, mientras se minimiza el efecto de $N(s)$ en la salida] ¿Cómo se deberían seleccionar los parámetros K_1 y K_2 ?

Problema 8. La función transferencia a lazo abierto de un sistema de nivel puede expresarse como $G(s) = \Delta Q_2(s) / \Delta Q_1(s) = 1 / (\tau s + 1)$, donde $\tau = RC$, R es la resistencia equivalente ofrecida por el orificio, de forma que $1/R = 0.5k H_0^{-1/2}$ y $C = \text{área de la sección transversal del depósito}$. Como $\Delta H = R \Delta Q_2$, para la función retransferencia que relaciona el nivel con el cambio de caudal de entrada, se tiene

$$G_1(s) = \frac{\Delta H(s)}{\Delta Q_1(s)} = \frac{R}{1 + RCs}$$

Para un sistema con realimentación de lazo cerrado, puede utilizarse un sensor de nivel a flotador y una válvula como se muestra en el esquema adjunto. Suponiendo que el flotador tiene una masa despreciable, la válvula se controla de forma que una reducción del caudal $\Delta Q_1(s)$ es proporcional a un aumento del nivel, ΔH o $\Delta Q_1 = -K \Delta H$

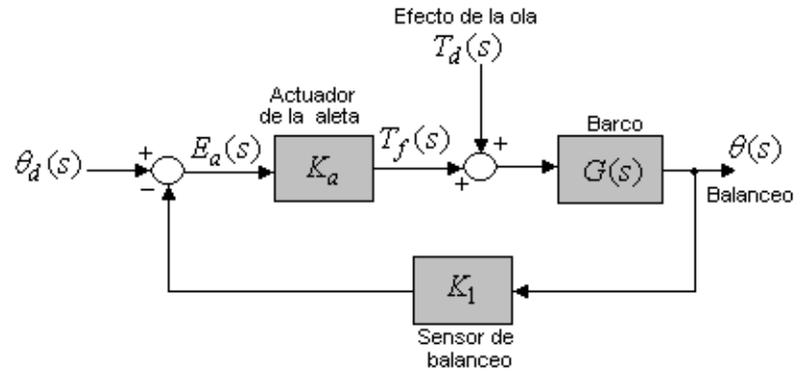
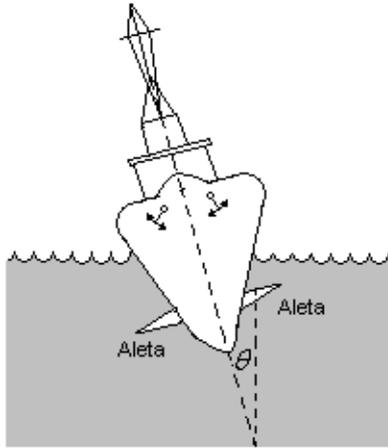


Dibújese un diagrama en bloques para el sistema de control a lazo cerrado. Determínese y compárese el sistema a lazo abierto y a lazo cerrado para (a) La sensibilidad a los cambios en el coeficiente equivalente R y de realimentación K ; (b) la capacidad para reducir los efectos de una perturbación en el nivel de $\Delta H(s)$, y (c) el error en estado estacionario del nivel para un cambio de tipo escalón en la entrada $\Delta Q_1(s)$.

Problema 9. En un barco es importante garantizar la comodidad de los pasajeros, estabilizando las oscilaciones causadas por las olas. La mayoría de los sistemas de estabilización de barcos usan aletas o superficies de reacción hidráulica que se proyectan sobre el agua con el objeto de generar un par de estabilización en el barco. En la figura adjunta se muestra un sencillo diagrama de un sistema de estabilización de barco. El movimiento de balanceo del barco puede considerarse como un péndulo oscilante con una desviación de la vertical de θ grados y un periodo de 3 segundos. La función transferencia para un barco típico es:

$$G(s) = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\xi\omega_n s + \omega_n^2}$$

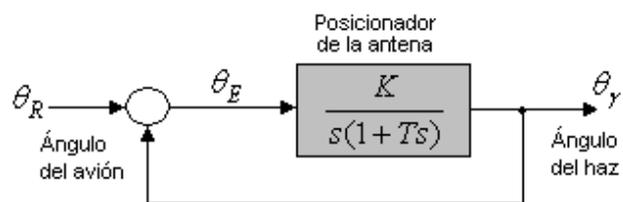
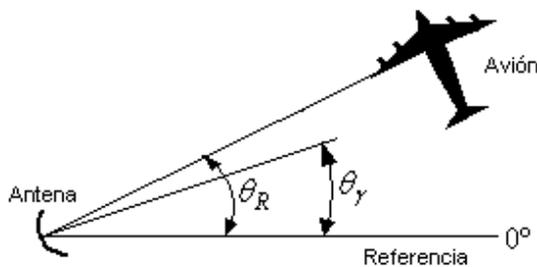
Donde $\omega_n = 3 \text{ rad/seg}$ y $\xi = 0.20$. Con este bajo factor de amortiguamiento, las oscilaciones continúan por varios ciclos y la amplitud del balanceo puede alcanzar 18° para la amplitud esperada de las olas en un mar normal.



Determinése y compare el sistema de lazo cerrado y de lazo abierto para:

- (a) La sensibilidad a los cambios en la constante del regulador K_a y en la del sensor de balanceo K_1 y (b) la capacidad para reducir los efectos de la perturbación de las olas. Obsérvese que el balanceo deseado $\theta_d(s)$ es de cero grados.

Problema 10. Un radar de seguimiento aéreo está descrito por una señal de entrada (ángulo del blanco) dada por $\theta_R(t) = 0.01t$ en radianes. Si la señal de error no puede exceder los 0.05 mrad en condiciones de estado estacionario y el coeficiente de amortiguamiento del sistema de seguimiento debe ser la unidad, determinése la ganancia K y la constante de tiempo T para el sistema de control de posición.

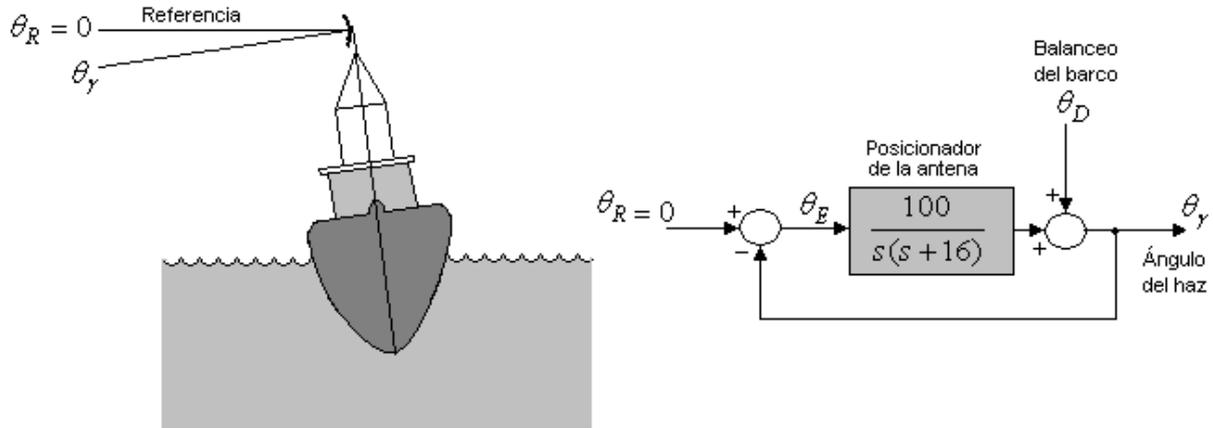


Problema 11. En la figura se muestra un sistema de control para la antena de un barco. El objetivo principal del sistema de control de la antena, es mantener horizontal el eje de la misma frente a las oscilaciones producidas, sobre el barco, por las olas. Definiendo el error

de seguimiento como $\theta_E = \theta_R - \theta_y$, determínese el error en estacionario cuando el balanceo del barco se toma como:

(a) $\theta_D(t) = 0.1 t, rad$

(b) $\theta_D(t) = 0.2 \cos(0.6t), rad$; ¿Se puede aplicar el teorema del valor final?

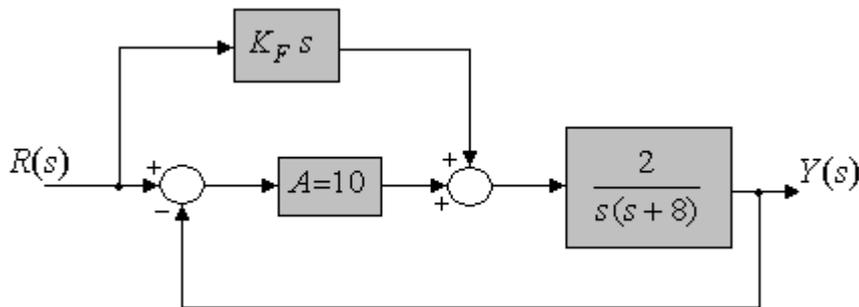


Problema 12. Considérese el sistema de control con prealimentación, que se muestra en el diagrama en bloques siguiente.

Determínese

(a) La ganancia K_F de manera que se anule el error en estado estacionario frente a una referencia rampa unitaria, es decir $R(s) = 1/s^2$.

(b) La sensibilidad, $S_{K_F}^M$ a los cambios en la constante K_F .



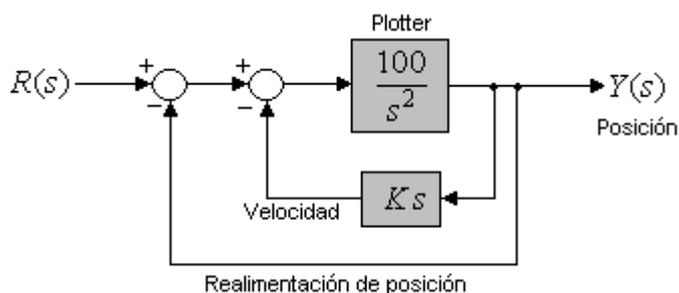
Problema 13. Un sistema de control realimentado tiene una transferencia a lazo cerrado dada por:

$$M(s) = \frac{24}{(s + \alpha)(s^2 + 2s + 2)}$$

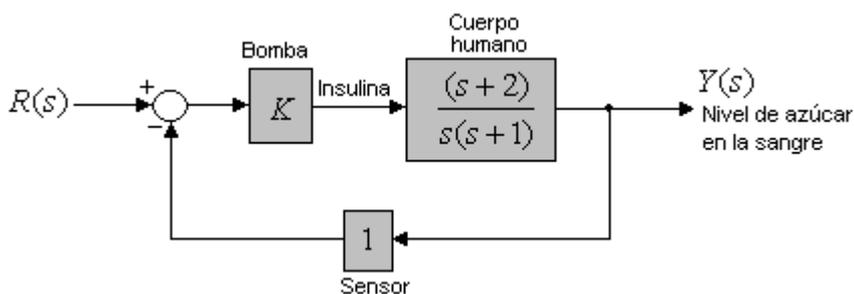
Se excita el sistema con un escalón unitario, es decir $R(s) = 1/s$. Determínese el tiempo de crecimiento al 100% del valor final, el tiempo al pico máximo, el tiempo de establecimiento al 2%, el sobreerror máximo, el número de oscilaciones para llegar al establecimiento, y dibújese la respuesta de salida para los casos $\alpha = 2$, $\alpha = 10$ y $\alpha = 15$.

Problema 14. En la figura se muestra el diagrama en bloques de un plotter x-y (trazador gráfico) de baja inercia. (a) Determiné el error en estado estacionario para una entrada rampa, es decir $R(s) = 1/s^2$. (b) Selecciónese un valor de K que produzca una sobreelongación cero, correspondiente a una entrada escalón, pero con la respuesta más rápida posible.

Dibújense los polos y ceros de este sistema y analícese el dominio de los polos complejos. Para una entrada escalón, ¿qué sobreelongación se esperaría?



Problema 15. El control efectivo de las inyecciones de insulina puede conducir a que los diabéticos vivan más tiempo. El control automático de la inyección de insulina por medio de una bomba y un sensor que mide el contenido de azúcar en la sangre puede ser muy efectivo. En la figura se muestra un diagrama en bloques del sistema de inyección y bomba controlado por realimentación. Calcúlese la ganancia adecuada K para que la sobreelongación de la respuesta de escalón debido a la inyección de la droga sea aproximadamente del 7%. $R(s)$, es el nivel deseado de azúcar en la sangre e $Y(s)$ es el nivel real.



Problema 16. Un sistema de control con realimentación negativa unitaria tiene como planta la función transferencial

$$G(s) = \frac{K}{s(s + \sqrt{2K})}$$

(a) Determiné el porcentaje de sobreelongación y el tiempo de establecimiento (criterio del 2 %) debido a una entrada escalón unitario.

(b) ¿Para qué intervalo de K el tiempo de establecimiento es menor que 1 seg?

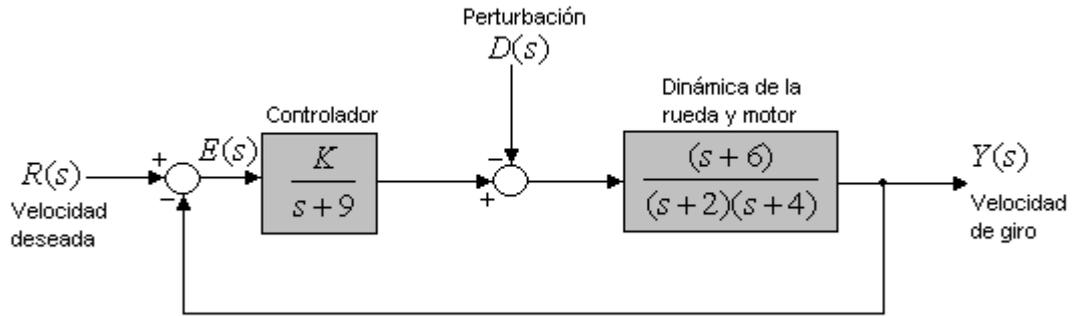
Problema 17. Un sistema de control de segundo orden tiene la función transferencial de lazo cerrado $M(s) = Y(s)/R(s)$. Las especificaciones del sistema para una entrada escalón son:

- 1) Porcentaje de sobreelongación $P.O \leq 5\%$.

- 2) Tiempo de establecimiento $T_s < 4 \text{ seg}$
- 3) Tiempo de pico $T_p < 1 \text{ seg}$.

Muéstrase el área permisible de los polos de $M(s)$ para alcanzar la respuesta deseada.

Problema 18. En la figura se muestra el diagrama en bloques del control de velocidad de una rueda de Ferris (Parques de diversiones y ferias). Para evitar el malestar en los pasajeros, George Ferris fijó como requisito que la velocidad en estado estacionario debía controlarse dentro del 5% de la velocidad deseada para el sistema.

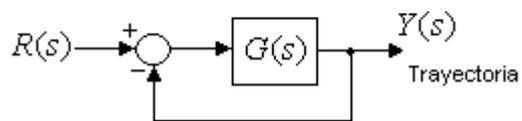
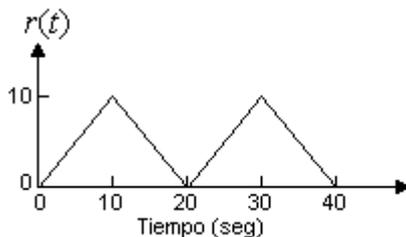


- (a) Determinése la ganancia K que se necesita para alcanzar el requisito de estado estacionario.
- (b) Para la ganancia del apartado (a), determinése y dibújese el error $e(t)$ para una perturbación $D(s) = 1/s$. ¿Es el cambio de velocidad mayor que el 5%? (tómese $R(s) = 0$ para facilitar los cálculos).

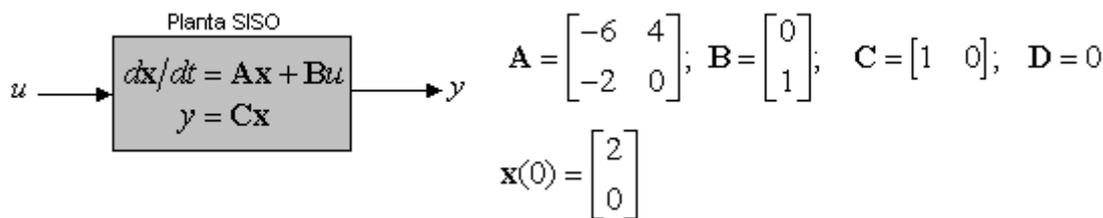
Problema 19. Se programó un robot para que, con una herramienta o soplete de soldar, siguiera una trayectoria prescrita. Considérese que la herramienta debe seguir la trayectoria mostrada en la figura. La función transferencia de la planta, para el sistema de lazo cerrado indicado, es:

$$G(s) = \frac{75(s+1)}{s(s+5)(s+20)}$$

Calcúlese el error en estado estacionario y dibújese el error en función del tiempo.

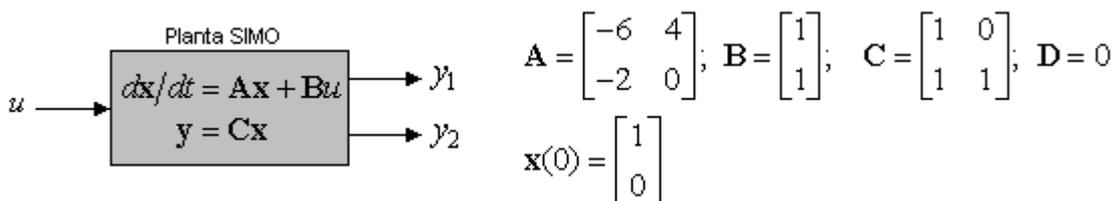


Problema 20. Una planta SISO, tiene el modelo de estado que se indica a continuación y su representación de bloques se muestra en la figura adjunta.



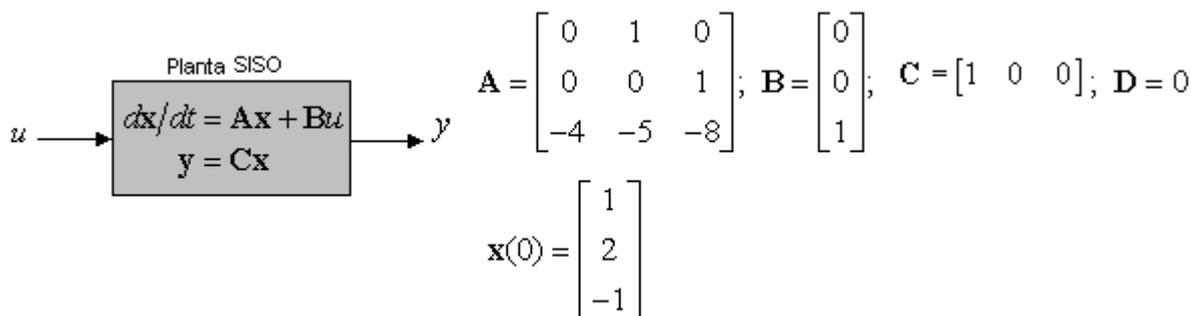
Suponer que la entrada $u(t)$ es un escalón unitario. (a) Dibújese un diagrama en bloques de la planta, (b) Calcúlese el vector de estado $\mathbf{x}(t)$ y la salida $y(t)$, (c) dibújese el vector de estado y la salida en función del tiempo, (d) determínese la función transferencia del sistema SISO. (e) Verifíquese mediante MATLAB y SIMULINK los apartados (a), (b), (c) y (d).

Problema 21. Una planta SIMO, tiene el modelo de estado que se indica a continuación y su representación de bloques se muestra en la figura adjunta.



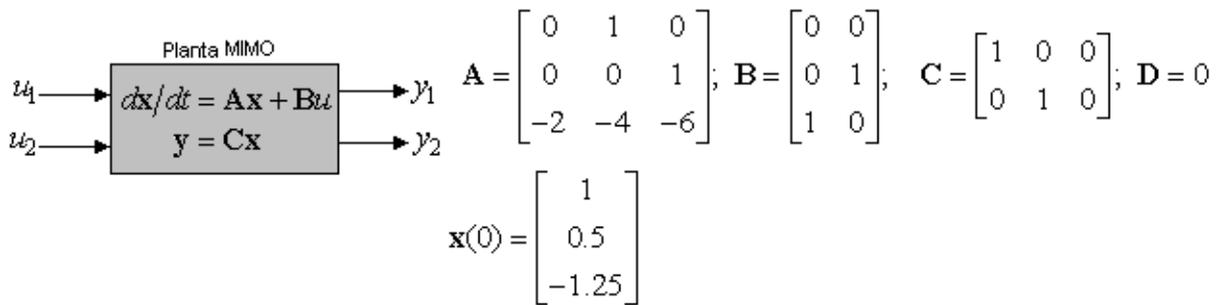
Suponer que la entrada $u(t)$ es un escalón unitario. (a) Dibújese un diagrama en bloques de la planta, (b) Calcúlese el vector de estado $\mathbf{x}(t)$ y la salida $\mathbf{y}(t)$, (c) dibújese el vector de estado y la salida en función del tiempo, (d) determínese la matriz de transferencia del sistema SIMO. (e) Verifíquese mediante MATLAB y SIMULINK los apartados (a), (b), (c) y (d).

Problema 22. Sea la planta SIMO, cuyo modelo se muestra a continuación:



Suponer que la entrada $u(t)$ es un escalón unitario. (a) Dibújese el diagrama en bloques. (b) Obténgase el vector de estado y la salida en función del tiempo mediante MATLAB. (c) Determínese la función transferencia.

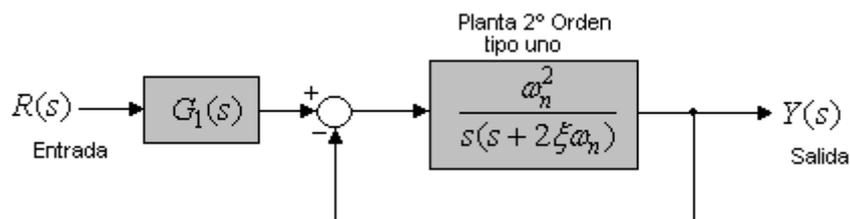
Problema 23. Para la planta MIMO que se muestra a continuación



Suponer que el vector de entrada, $\mathbf{u}(t)$ es un escalón unitario. (a) Dibújese el diagrama en bloques. (b) Empleando MATLAB, obtener los vectores de estado y de salida en función del tiempo (c) Grafíquense las respuestas obtenidas en el apartado (b). (d) Obténgase la matriz de transferencia empleando MATLAB.

Problema 24. Para el problema 1 del TP 3 (Motor de CC) empleando MATLAB y excitando la armadura con una tensión escalón de 300V (a) Obténgase el vector de estado (corriente, velocidad y posición) en función del tiempo (b) Considerando la posición angular como salida, obténgase la función transferencia del motor.

Problema 25. En la figura se muestra un sistema de control realimentado (planta tipo 1) que mediante el adecuado procesamiento de la señal de referencia, se pretende lograr un seguimiento perfecto a una rampa de entrada, en régimen estacionario, sin recurrir a la elevación del tipo de sistema.



(a) Para $G_1(s) = 1$, determínese el error en régimen estacionario para una entrada rampa, es decir $R(s) = 1/s^2$, (b) Si $G_1(s) = 1 + sK_d$, determínese el valor de K_d que anula el error calculado en el apartado (a).

TRABAJO PRÁCTICO Nº 6**Método de la Respuesta en frecuencia. Estabilidad. Identificación de modelos**

OBJETIVOS: Después de completar este TP, los alumnos estarán en condiciones de:

- Obtener la respuesta en frecuencia de sistemas de control a lazo abierto y cerrado.
 - Determinar las condiciones para la estabilidad en el dominio frecuencial de un sistema de control.
 - Obtener los Gráficos de Bode, Nyquist y Nichols para sistemas de control.
 - Adquirir destreza y habilidad en el manejo de los parámetros que caracterizan la respuesta en el dominio frecuencial de un sistema de control: *margen de ganancia, margen de fase y ancho de banda.*
 - Obtener funciones de transferencia de sistemas (*Identificación*) a partir de mediciones experimentales realizadas en el dominio frecuencial.
-

Problema 1. Dibujar los diagramas de Bode, y polar directo de Nyquist para las siguientes funciones transferencias:

a) $G(s) = \frac{1}{(1+0.5s)(1+2s)}$

b) $G(s) = \frac{(1+0.5s)}{s^2}$

c) $G(s) = \frac{s-10}{s^2+6s+10}$

d) $G(s) = \frac{30(s+8)}{s(s+2)(s+4)}$

Problema 2. Un sistema de control de posición para una articulación sensora de fuerza, de un robot, tiene una función transferencia.

$$G(s) = \frac{K}{(1+s/5)(1+s)(1+s/10)(1+s/50)}$$

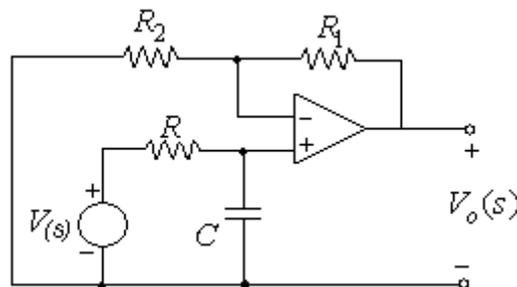
Donde $H(s) = 1$ y $K = 10$. Dibújese el diagrama de Bode para este sistema.

Problema 3. Con el objeto de determinar la función transferencia $G(s)$ de una planta, se puede medir la respuesta de frecuencia, utilizando una entrada sinusoidal. Un sistema produce los siguientes datos:

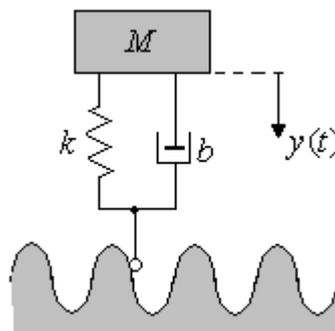
$\omega, \text{ rad/seg}$	$ G(j\omega) $	Fase, grados
0.1	50	-90
1	5.04	-92.4
2	2.57	-96.2
4	1.36	-100
5	1.17	-104
6.3	1.03	-110
8	0.97	-120
10	0.97	-143
12.5	0.74	-169
20	0.13	-245
31	0.026	-258

Determinese la función transferencia $G(s)$.

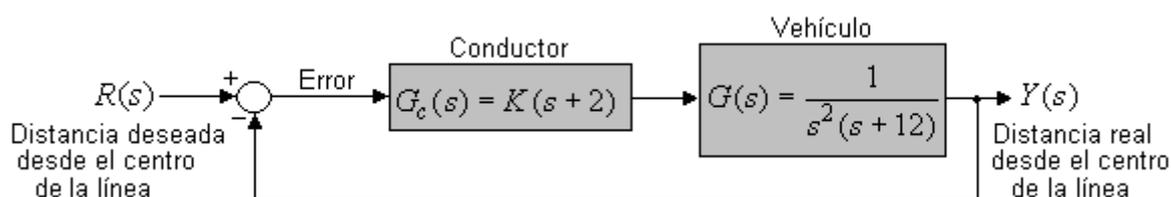
Problema 4. Determinar la función transferencia del circuito del amplificador operacional que se muestra en la figura. Suponer un amplificador operacional ideal. Dibujar la respuesta en frecuencia cuando $R = 10 \text{ K}\Omega$, $R_1 = 9 \text{ K}\Omega$, $R_2 = 1 \text{ K}\Omega$ y $C = 1 \mu\text{F}$.



Problema 5. Cuando un automóvil se desplaza por la carretera, los desplazamientos verticales en los neumáticos actúan como movimiento de excitación para el sistema de suspensión del automóvil. En el esquema se muestra un diagrama de un modelo simplificado del sistema de suspensión del automóvil, para el que se supone una entrada sinusoidal. Determinar la función transferencia $Y(s)/R(s)$ y dibujar el diagrama de Bode cuando $M = 1 \text{ Kg}$, $b = 4 \text{ Nseg/m}$ y $k = 18 \text{ N/m}$.



Problema 6. El comportamiento de una persona conduciendo un automóvil es un tema muy interesante. El diseño y desarrollo de sistemas para direcciones automatizadas, suspensiones activas, frenado independiente, etc., proporcionan al ingeniero bastante más libertad para alterar las calidades de manejo del vehículo de la que existía en el pasado. El vehículo y el conductor están representados por el modelo que se muestra en el esquema, en el que el conductor desarrolla anticipación de la desviación del vehículo desde la línea central. Para $K=1$, dibujar el diagrama de Bode de (a) la función transferencia de lazo abierto $G_c(s)G(s)$ y (b) la función transferencia a lazo cerrado $M(s)=Y(s)/R(s)$, (c) repetir los apartados (a) y (b) con $K=50$, (d) Un conductor puede seleccionar la ganancia K . Determinar la ganancia apropiada de manera que el pico de la respuesta $M_{p\omega} \leq 2$ y el ancho de banda máximo que se puede obtener para el sistema a lazo cerrado. (e) Determinar el error en estado estacionario del sistema para una entrada rampa, es decir $R(s)=1/s^2$.



Problema 7. Para cada una de las funciones transferencias, dibujar el diagrama de Nyquist (polar) y de Bode, y determinar las frecuencias para las cuales $20\log|G(j\omega)|=0$ dB y la fase es -180° , obteniéndose para cada caso, el margen de ganancia y margen de fase. Verificar mediante MATLAB.

(a)
$$G(s) = \frac{1000}{(s+10)(s+20)}$$

(b)
$$G(s) = \frac{100}{(s+0.1)(s^2+s+20)}$$

(c)
$$G(s) = \frac{50(s+10)}{(s+1)(s+100)}$$

(d)
$$G(s) = \frac{1000(s^2+14s+50)}{(s+5)(s+80)(s+500)}$$

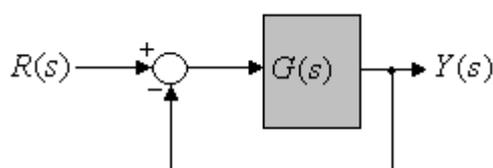
Problema 8. Determinése, aplicando el criterio de Routh-Hurwitz, el rango de valores de la ganancia que dan un sistema estable, para las siguientes funciones de transferencia.

(a)
$$G(s) = \frac{K}{(s+1)(s+2)(s+3)}$$

$$(b) \quad G(s) = \frac{K}{(s+1)(s+2)(s+5)(s+8)}$$

$$(c) \quad G(s) = \frac{K(s+3)}{(s+2)(s+5)(s+8)}$$

Problema 9. Para un sistema de control como el indicado en el esquema. Dibújese el diagrama de Nyquist para cada uno de los sistemas, cuyas funciones transferencia se indica. Determinése por aplicación del criterio de Nyquist la estabilidad del sistema en función de la ganancia K . Seleccionando un valor de K que haga estable al sistema y obténgase el margen de ganancia y el margen de fase correspondientes.



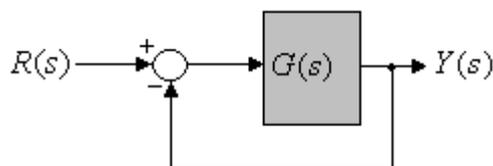
$$(a) \quad G(s) = \frac{K}{s+1}$$

$$(b) \quad G(s) = \frac{K}{s^2}$$

$$(c) \quad G(s) = \frac{K}{s(s+1)(s+2)}$$

$$(d) \quad G(s) = \frac{K(s+2)}{(s+3)(s-1)}$$

Problema 10. Para el sistema de control indicado en la figura



Donde la transferencia a lazo abierto se expresa mediante tres casos diferentes:

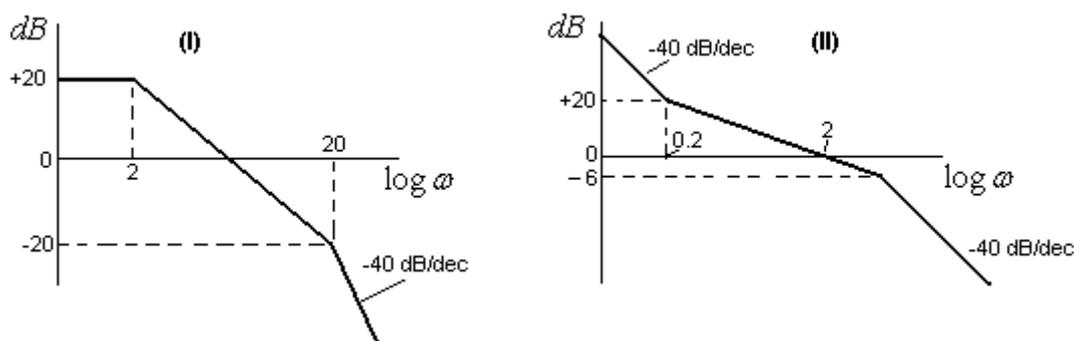
$$(a) \quad G(s) = \frac{10}{s(0.5s+1)}$$

$$(b) \quad G(s) = \frac{20}{(0.2s+1)(0.5s+1)(s+1)}$$

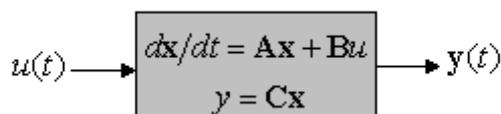
$$(c) \quad G(s) = \frac{2(1+0.2s)}{s(0.1s+1)(0.4s+1)}$$

Dibújese los diagramas de Nichols para cada caso y, superponiendo la grilla $|G(j\omega)/[1+G(j\omega)]|$ y $\angle G(j\omega)/[1+G(j\omega)]$, mediante MATLAB determínese el valor M_{pw} en dB, la frecuencia a la cuál ocurre, el ancho de banda del sistema de control (-3 dB) y la fase a lazo cerrado para la frecuencia de ancho de banda.

Problema 11. Para los sistemas de realimentación unitaria (I) y (II) y fase mínima, cuyos diagramas de Bode para la transferencia a lazo abierto se muestra en los gráficos adjuntos, determínese (a) la función transferencia a lazo abierto, (b) el coeficiente de error en estacionario, (c) el diagrama de Bode de la transferencia a lazo cerrado, indicándose el ancho de banda del sistema de control.



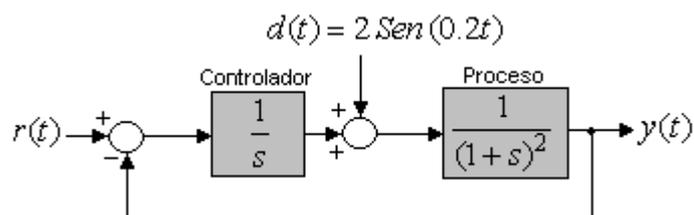
Problema 12. Considérese el sistema representado por su modelo de estado



$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -1 & -10 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{B} = \begin{bmatrix} 0 \\ 22 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{C} = [10 \ 0], \quad \mathbf{D} = 0$$

(a) Obténgase, empleando MATLAB los diagramas de Nyquist, Bode y Nichols, (b) determinar el margen de fase y el margen de ganancia.

Problema 13. El proceso que se muestra a continuación ha sido expuesto a una perturbación en forma sinusoidal con pulsación de 0.2 rad/seg y amplitud igual a 2 ¿Cuál será la amplitud de la señal de salida al ocurrir tal perturbación? Calcular el valor para las situaciones de lazo abierto y cerrado.

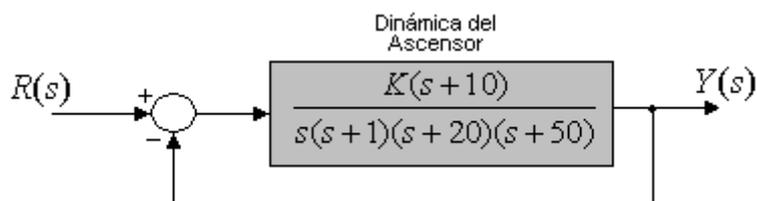


TRABAJO PRÁCTICO Nº 7**Método del Lugar de Raíces**

OBJETIVOS: Después de completar este TP, los alumnos estarán en condiciones de:

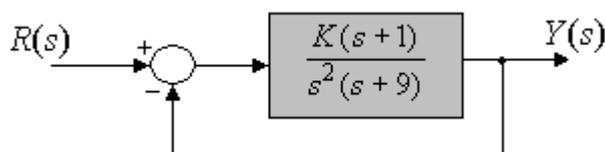
- Obtener los gráficos del lugar de raíces en el plano complejo s , cuando varían uno o más parámetros del sistema de control.
- Definir e interpretar claramente qué representa el gráfico del lugar geométrico de las raíces.
- Comprender cuál es la función de un controlador tipo proporcional.
- Adquirir destreza y habilidad en el manejo e interpretación de los parámetros que caracterizan la respuesta en el dominio temporal para un sistema de control, y su vinculación con el lugar de raíces.
- Reducir el orden de un sistema, por otro de 2º orden equivalente (siempre que sea posible) y vincularlo con el lugar de raíces.

Problema 1. El ascensor de un moderno edificio de oficinas viaja a una velocidad máxima de 25 pies/seg y aún así puede detenerse dentro de un margen de 3 mm del piso exterior. La función transferencia del motor del elevador de realimentación unitaria es:



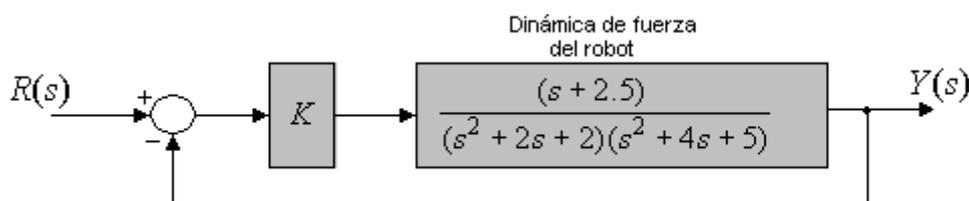
Determinése la ganancia K , mediante el trazado del lugar de raíces, cuando las raíces complejas tienen un coeficiente de amortiguamiento, $\xi = 0.8$.

Problema 2. Dibújese el lugar de raíces para el sistema mostrado en el esquema.



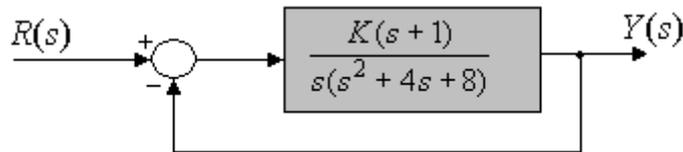
(a) Calcúlese la ganancia para que todas las raíces de lazo cerrado sean reales e iguales, (b) Determinése la coordenada de las tres raíces del apartado (a). (c) Verificar mediante MATLAB los resultados de los apartados (a) y (b).

Problema 3. Un sistema de control de fuerza de un robot con realimentación unitaria tiene una planta como la mostrada en la figura



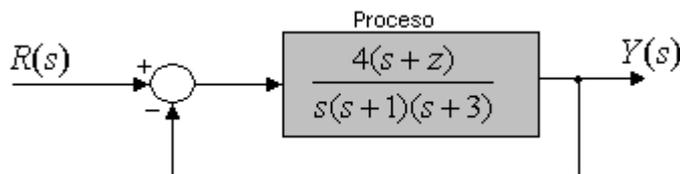
- (a) Dibújese el lugar de raíces en función de la ganancia K , (b) calcúlese la ganancia K que da por resultado raíces dominantes complejas con razón de amortiguamiento $\xi = 0.707$,
 (c) Calcúlese el porcentaje de sobreelongación y el tiempo de pico para la ganancia obtenida en el apartado (b), (d) Verificar mediante MATLAB las determinaciones realizadas.

Problema 4. Un sistema de realimentación unitaria tiene una planta como la mostrada en la figura



- (a) Dibújese el lugar de raíces para $K > 0$. (b) Calcúlese las raíces cuando $K = 10$ y 20 . (c) Calcúlese el tiempo de crecimiento (al 100%), porcentaje de sobreelongación y tiempo de establecimiento del sistema para una entrada de escalón unitario cuando $K = 10$ y 20 . (c) Verificar mediante MATLAB.

Problema 5. Un sistema con realimentación unitaria tiene un proceso como el mostrado en la figura



- (a) Dibújese el lugar de raíces cuando z varía de 0 a 100 . (b) Utilizando el lugar de raíces, estimé el porcentaje de sobreelongación y el tiempo de establecimiento del sistema para $z = 0.6, 2$ y 4 con una entrada escalón. (c) Determínese la sobreelongación y el tiempo de establecimiento reales en $z = 0.6, 2$ y 4 mediante MATLAB.

Problema 6. Un sistema con realimentación unitaria tiene una función transferencia de la planta

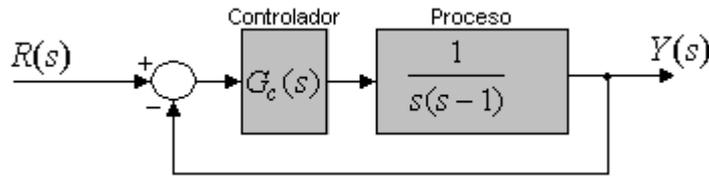
$$G(s) = \frac{Ke^{-sT}}{(s+1)}$$

Donde $T = 0.1 \text{ seg}$. Una aproximación al tiempo de retardo es (aproximación de Padé de primer orden):

$$e^{-0.1s} \cong \frac{\frac{2}{T} - s}{\frac{2}{T} + s} = \frac{20 - s}{20 + s}$$

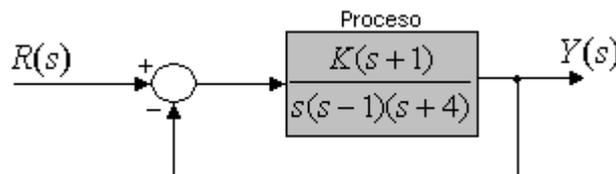
- (a) Obténgase el lugar de raíces del sistema para $K > 0$. (b) Determínese el intervalo de K para el cuál el sistema es estable.

Problema 7. Un sistema de control tiene un modelo como el indicado en la figura



(a) Cuando $G_c(s) = K$, demuéstrese dibujando el lugar de raíces que el sistema es inestable. (b) Cuando $G_c(s) = K(s+2)/(s+20)$ dibújese el lugar de raíces y determínese el intervalo de K para el cuál el sistema es estable. (c) Determínense el valor de K y las raíces complejas cuando dos raíces se encuentran sobre el eje $j\omega$. (d) Verificar utilizando MATLAB.

Problema 8. Un sistema con realimentación unitaria tiene un diagrama en bloques como el mostrado en la figura



(a) Dibújese el lugar de raíces y determínese el intervalo de K para el cual el sistema es estable. (b) Determínese el máximo ξ de las raíces complejas estables.

Problema 9. Considérese el sistema SISO representado por su modelo de estado

$$dx/dt = Ax + Bu$$

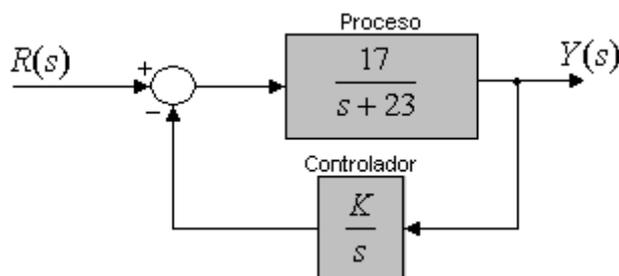
$$y = Cx + Du$$

Donde

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -2 & k \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}, \quad C = [1 \quad 0], \quad D = [0]$$

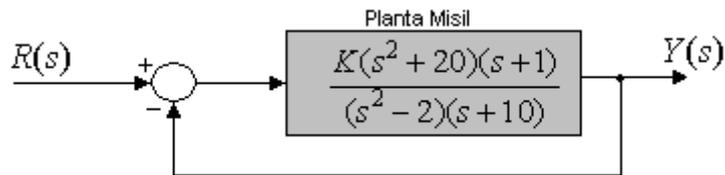
Dibújese el lugar de raíces para $0 < k < \infty$.

Problema 10. En la figura se muestra un sistema realimentado a lazo cerrado



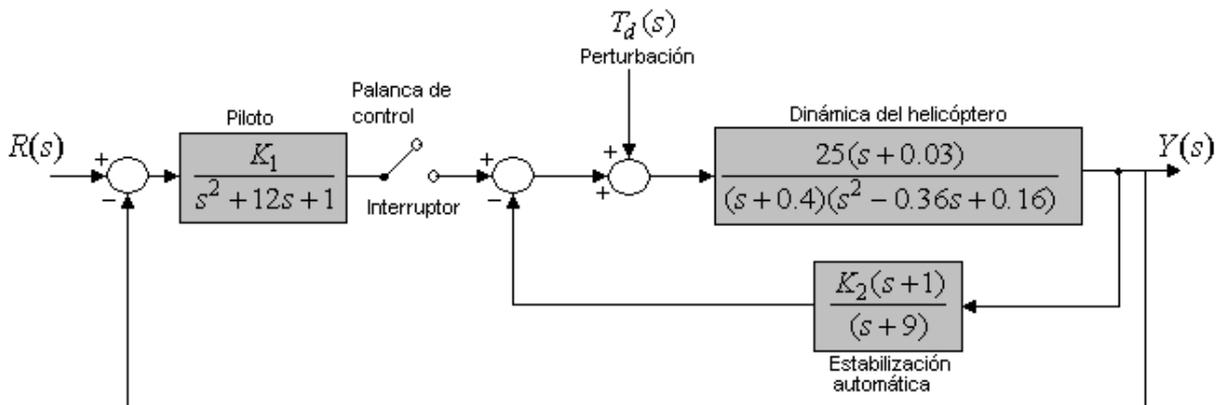
(a) Dibújese el lugar de raíces para $0 < K < \infty$. (b) Obténgase el intervalo de valores del parámetro K para los cuales el sistema es estable.

Problema 11. Un misil de alto rendimiento para lanzar un satélite tiene un sistema de realimentación unitaria con una función transferencia de la planta



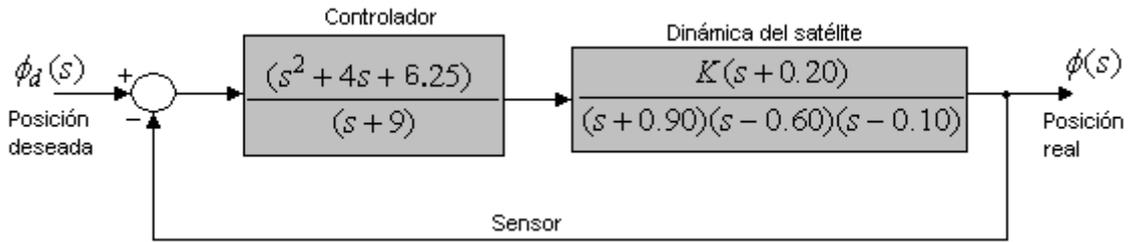
(a) Dibújese el lugar de raíces cuando $0 < K < \infty$. (b) Verificar mediante MATLAB el trazado realizado.

Problema 12. El control automático de los helicópteros es necesario pues, a diferencia de los aeroplanos con alas fijas que tienen un buen grado de estabilidad inherente, el helicóptero es bastante inestable. En la figura se muestra un sistema de control para helicópteros que emplea un lazo de control automático más un control de palanca para el piloto. Cuando el piloto no usa la palanca de control, puede considerarse que el interruptor está abierto.



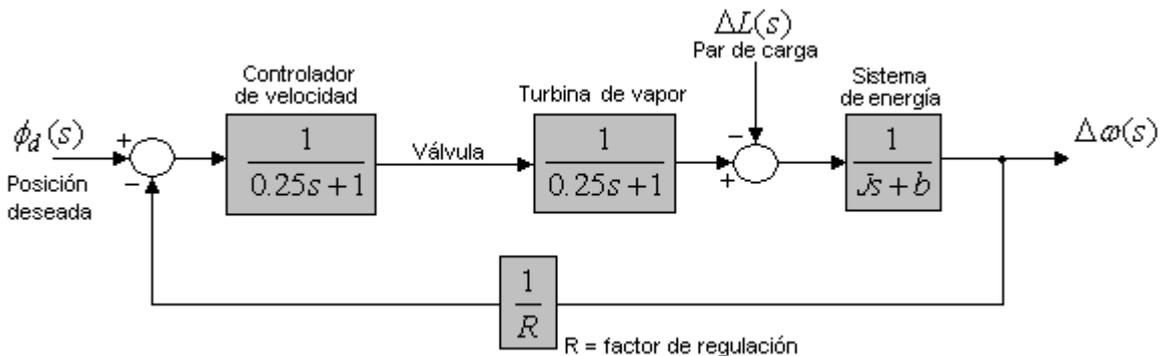
(a) Con el lazo de control del piloto abierto (controles manuales desconectados), representése gráficamente el lugar de raíces para el lazo de estabilización automática. Determínese la ganancia K_2 que produzca un amortiguamiento para las raíces complejas igual a $\xi = 0.707$. (b) Para la ganancia K_2 obtenida en el apartado (a) determínese el error en estado estacionario debido a una ráfaga de viento $T_d(s) = 1/s$ (c) Agregando el lazo del piloto, dibújese el lugar de raíces para $0 < K_1 < \infty$, cuando K_2 se hace igual al valor calculado en (a). (d) Calcúlese de nuevo el error en estado estacionario del apartado (b) cuando K_1 es igual a un valor adecuado, basado en el lugar de raíces.

Problema 13. En la figura se muestra un sistema de control de posición para un vehículo satélite en la atmósfera terrestre.



(a) Dibujar el lugar de raíces para $0 < K < \infty$. (b) Determínese la ganancia K que dé como resultado un sistema con un tiempo de establecimiento menor que 12 segundos y un coeficiente de amortiguamiento para las raíces complejas, mayor que 0.50. (c) Verifíquese mediante MATLAB los resultados obtenidos.

Problema 14. En la figura se muestra un sistema de control de velocidad para una turbina que impulsa a un generador eléctrico de energía. La válvula controla el caudal de ingreso de vapor en la turbina con el objeto de tener en cuenta los cambios de carga, es decir $\Delta L(s)$, dentro de la red de distribución de energía. La velocidad de equilibrio deseada da como resultado una frecuencia del generador igual a 50 cps. La inercia de rotación efectiva, J es igual a 4000 y la constante de fricción b es igual a 0.75. El factor de regulación de la velocidad en estacionario, es decir R , se representa por la ecuación $R = (\omega_0 - \omega_r) / \Delta L$, donde ω_r es la velocidad en la carga nominal y ω_0 es igual a la velocidad sin carga. Lógicamente se desea obtener una R muy pequeña, generalmente menor que 0.10. (a) Usando las técnicas del lugar de raíces, determínese la regulación R alcanzable cuando el coeficiente de amortiguamiento de las raíces del sistema debe ser mayor que 0.60. (b) Verifíquese que la regulación de la velocidad en estado estacionario para un cambio del par de la carga $\Delta L(s) = \Delta L / s$, es, de hecho, aproximadamente igual a $R \Delta L$ cuando $R \leq 0.10$.



Problema 15. Considérese el sistema SISO representado en variables de estado:

$$\begin{aligned} dx/dt &= \mathbf{Ax} + \mathbf{Bu} \\ y &= \mathbf{Cx} + \mathbf{Du} \end{aligned}$$

Donde

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ -1 & -5 & -2 - k \end{bmatrix}, \quad \mathbf{B} = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 4 \end{bmatrix},$$

$$\mathbf{C} = [1 \quad -9 \quad 12], \quad \mathbf{D} = [0]$$

(a) determínese la ecuación característica. (b) Utilizando el criterio de Routh-Hurwitz, determínense los valores de k para los cuales el sistema es estable. (c) Utilizando MATLAB dibújese el lugar de raíces y compárense los resultados con los obtenidos en (b).

Problema 16. Considérese el sistema de control realimentado mostrado en la figura. Se dispone de tres controladores potenciales para este sistema:

1. $G_c(s) = K$ (controlador proporcional)
2. $G_c(s) = K/s$ (controlador integral)
3. $G_c(s) = K(1+1/s)$ [controlador proporcional integral (PI)]

Se especifica para el sistema de control a lazo cerrado $T_s \leq 10 \text{ seg}$ y $M_o \leq 10\%$, para una entrada escalón unitario.

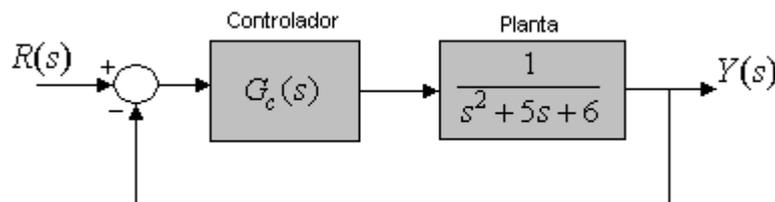
(a) Para el controlador proporcional, dibújese el lugar de raíces utilizando MATLAB para $0 < K < \infty$, y determínese el valor de K para que se satisfagan las especificaciones de diseño.

(b) Repítase el apartado (a) para el controlador integral.

(c) Repítase el apartado (a) para el controlador PI.

(d) Dibújense las respuestas a un escalón unitario para los sistemas de lazo cerrado diseñados en los apartados (a), (b) y (c).

(e) Compárense y contrástense los tres controladores obtenidos en los apartados (a), (b) y (c); céntrese en los errores en estado estacionario y en el comportamiento transitorio.



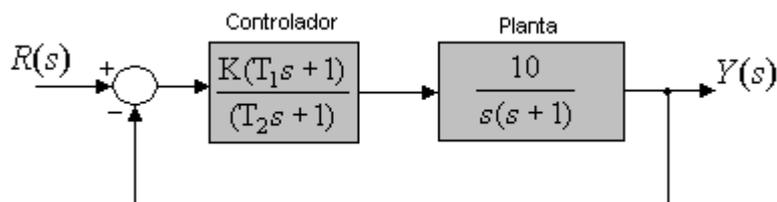
TRABAJO PRÁCTICO Nº 8a

Diseño de sistemas empleando la Técnica del lugar de Raíces. Procesos con retardo de transporte.

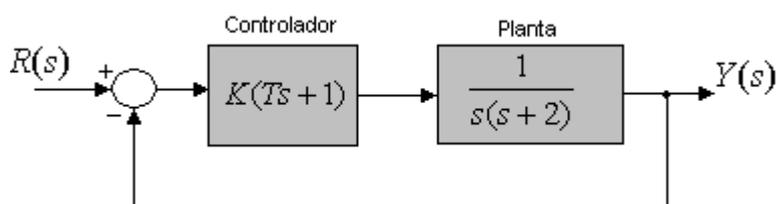
OBJETIVOS: Después de completar este TP, los alumnos estarán en condiciones de:

- Diseñar sistemas de control empleando la técnica del lugar de raíces.
- Realizar las adecuadas inserciones de circuitos o controladores para compensar las deficiencias de comportamiento.
- Adquirir destreza y habilidad en el diseño de redes compensadoras de adelanto de fase, atraso de fase y redes combinadas o con otras características.
- Realizar la compensación de los sistemas de control utilizando controladores P, PI, PD y PID.
- Diseño de sistemas reales con retardo, empleando controladores PID, cuya transferencia se ha medido a lazo abierto (respuesta al escalón) o a lazo cerrado (sistema llevado a oscilación).

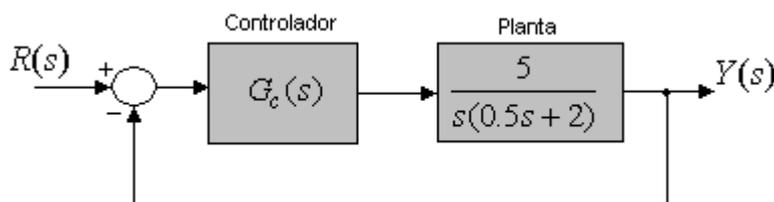
Problema 1. Para el sistema de control mostrado en la figura, determine los valores de K , T_1 y T_2 , tales que los polos dominantes en lazo cerrado tengan un coeficiente de amortiguamiento, $\xi = 0.5$ y una frecuencia natural no amortiguada $\omega_n = 3$ rad/seg.



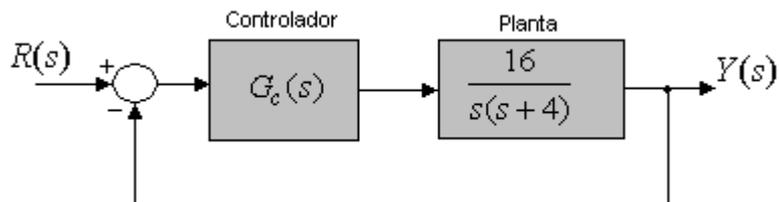
Problema 2. Para el sistema de control mostrado en la figura, determine la ganancia K y la constante de tiempo T del controlador $G_c(s)$ para que los polos de lazo cerrado se localicen en $s = -2 \pm j2$.



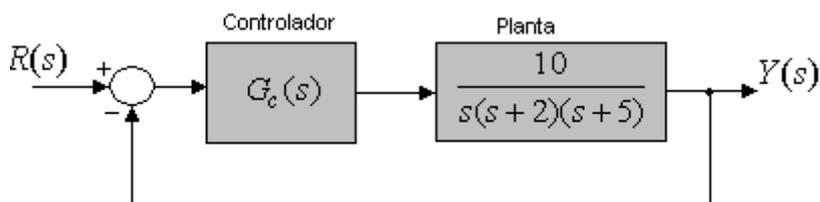
Problema 3. Considere el sistema mostrado en la figura. Diseñe un compensador para que los polos dominantes en lazo cerrado se localicen en $s = -2 \pm j2\sqrt{3}$. Dibuje la respuesta del sistema a una entrada escalón mediante MATLAB.



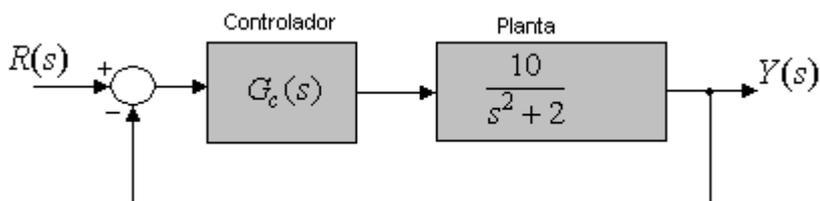
Problema 4. Considérese el sistema de control mostrado en la figura. Diseñe un compensador para que la constante de error estático de velocidad $K_v = c.e.r.$ sea de 20 seg^{-1} y los polos de lazo cerrado se localicen aproximadamente en $s = -2 \pm j2\sqrt{3}$.



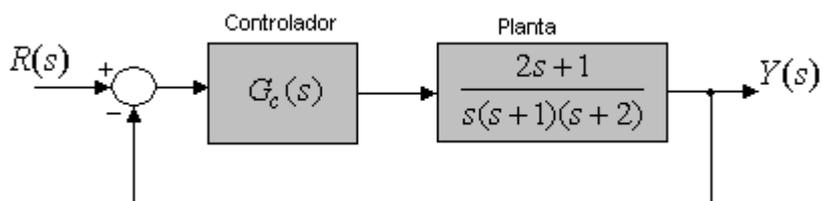
Problema 5. Considérese el sistema de control mostrado en la figura. Diseñe un compensador para que la constante de error estático de velocidad, sea $K_v = 50 \text{ seg}^{-1}$ y los polos dominantes de lazo cerrado se localicen en $s = -2 \pm j2\sqrt{3}$.



Problema 6. Considérese el sistema de control mostrado en la figura. La planta es críticamente estable en el sentido que las oscilaciones continuarán indefinidamente. Diseñe un compensador adecuado para que la respuesta a un escalón unitario presente una sobreelongación máxima inferior al 40 % y un tiempo de establecimiento no superior a 5 seg.

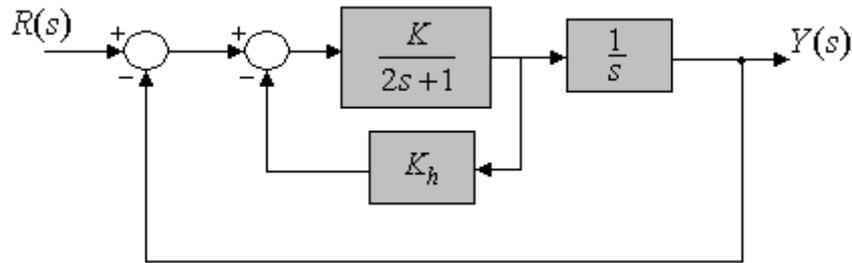


Problema 7. Considérese el sistema de control mostrado en la figura. Diseñe un compensador tal que la curva de respuesta a un escalón unitario muestre una sobreelongación máxima del 30% o menor y un tiempo de establecimiento no superior a 3 seg.

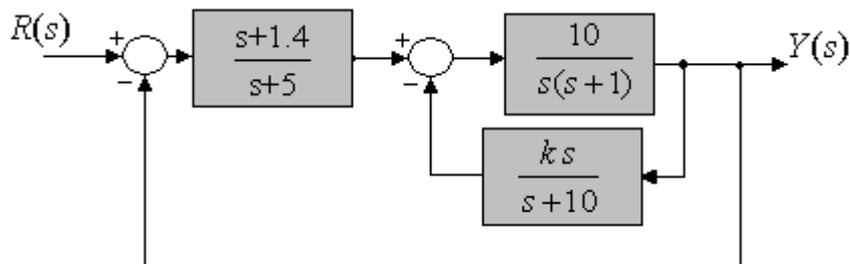


Problema 8. Considérese el sistema de control mostrado en la figura, que incluye una realimentación de velocidad. Determine los valores de la ganancia del amplificador K y la ganancia de realimentación de velocidad K_h , tales que se satisfagan las siguientes especificaciones:

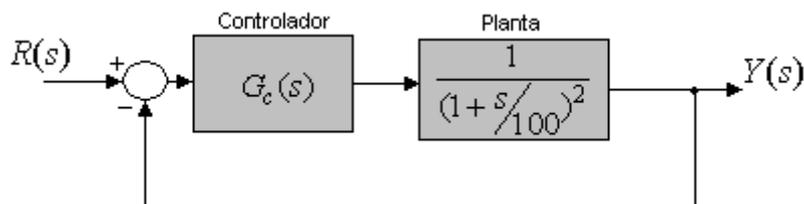
1. El coeficiente de amortiguamiento de los polos en lazo cerrado es $\xi = 0.5$.
2. El tiempo de establecimiento es $T_s \leq 2$ seg.
3. La constante de error estático de velocidad $K_v \geq 50 \text{ seg}^{-1}$.
4. $0 < K_h < 1$.



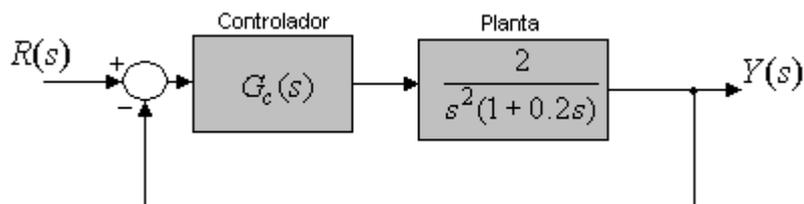
Problema 9. Considérese el sistema de control mostrado en la figura. Dibuje el lugar de raíces cuando el valor de k varía entre $0 < k < \infty$. ¿Qué valor debe tener k para que el coeficiente de amortiguamiento de los polos dominantes de lazo cerrado sea $\xi = 0.5$? Calcule la constante de error estático de velocidad del sistema con este valor de k .



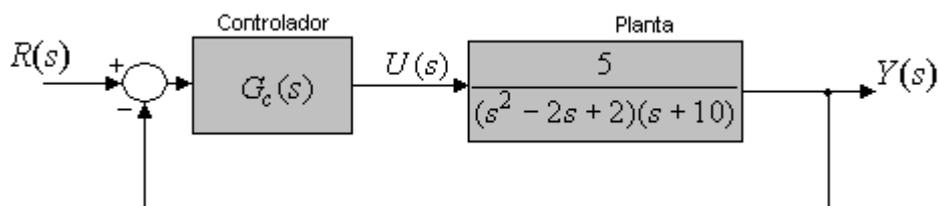
Problema 10. Considérese el sistema de control mostrado en la figura. Diseñese un controlador para tener a lazo cerrado una respuesta determinada por $K_v = 100$ y un tiempo de establecimiento de 0.008 seg.



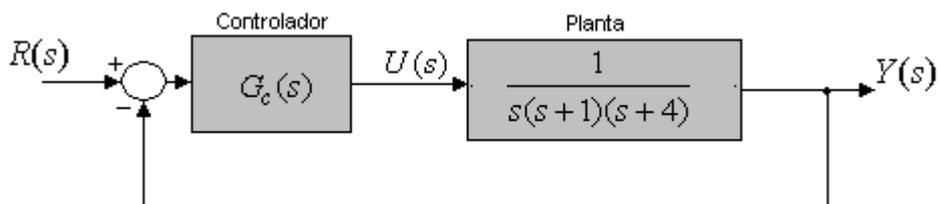
Problema 11. Considérese el sistema de control mostrado en la figura. (a) Diseñese un compensador que ubique las raíces complejas a lazo cerrado en $s = -0.75 \pm j2$. (b) Una vez diseñado el compensador determínese la función transferencia a lazo cerrado, es decir, $M(s) = Y(s)/R(s)$. (c) Agregar al sistema diseñado en el apartado (a), un compensador para aumentar la ganancia, aproximadamente ocho veces, sin aumentar sensiblemente el tiempo de establecimiento. (d) Obtener la respuesta a un escalón y rampa unitarias, empleando MATLAB.



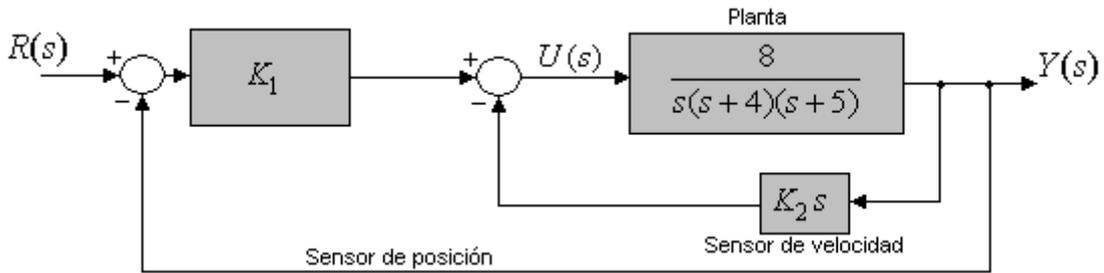
Problema 12. Considérese el sistema de control mostrado en la figura. (a) Diseñese un compensador que ubique las raíces complejas a lazo cerrado con un coeficiente de amortiguamiento $\xi = 0.50$. (b) Obténgase la función transferencia a lazo cerrado para el sistema diseñado en el apartado (a). (c) Obténgase la respuesta de la planta y del sistema diseñado, al escalón unitario mediante MATLAB.



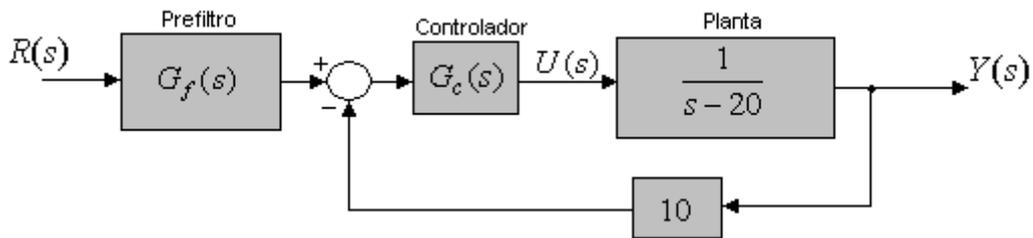
Problema 13. Considérese el sistema de control mostrado en la figura. (a) Diseñese un compensador adecuado de manera que el sobreerror porcentual sea $M_o < 15\%$, el tiempo de establecimiento $T_s \leq 1 \text{ seg}$ y, el margen de ganancia $MG \geq 3$. (b) Obténgase la respuesta al escalón unitario de la planta y del sistema de control diseñado, mediante MATLAB.



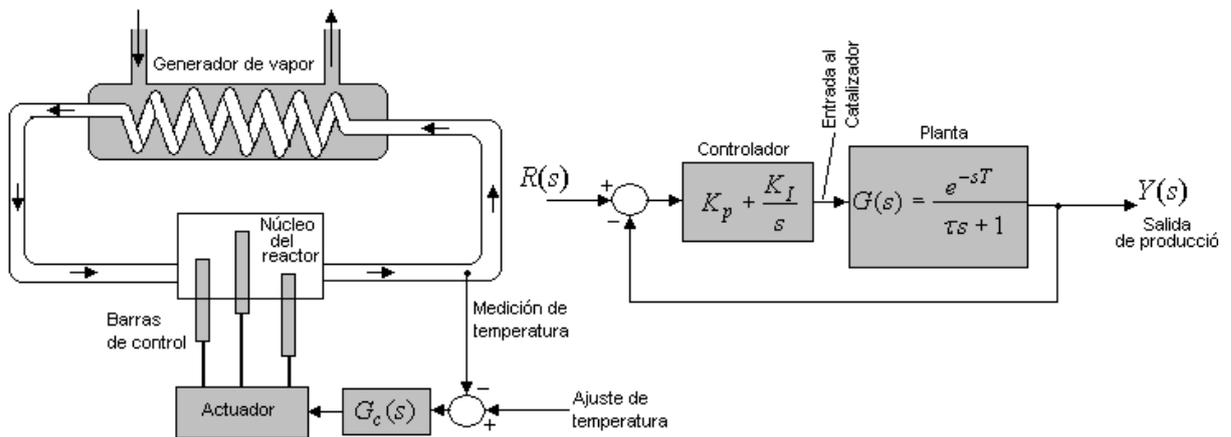
Problema 14. Considérese el sistema de control de posición con realimentación de velocidad, mostrado en la figura. (a) Determínese los valores de las ganancias K_1 y K_2 para que los polos complejos a lazo cerrado se ubiquen en $s = -2 \pm j2$. (b) Obténgase la respuesta de la salida (posición) y de la velocidad, a un escalón unitario, para el sistema diseñado en el apartado (a), empleando MATLAB.



Problema 15. Considérese el sistema de control con realimentación no unitaria que se muestra en la figura adjunta. (a) Diseñese un compensador $G_c(s)$ y un prefiltro $G_f(s)$, de manera que el sistema a lazo cerrado sea estable y cumpla las siguientes especificaciones (i) Sobreerror porcentual frente a un escalón unidad, $M_o < 10\%$, (ii) tiempo de establecimiento, $T_s < 2 \text{ seg}$, (iii) error de seguimiento nulo, frente a un escalón unitario, (b) Obténgase mediante MATLAB la respuesta del sistema y el error en función del tiempo frente a una entrada escalón unitario.



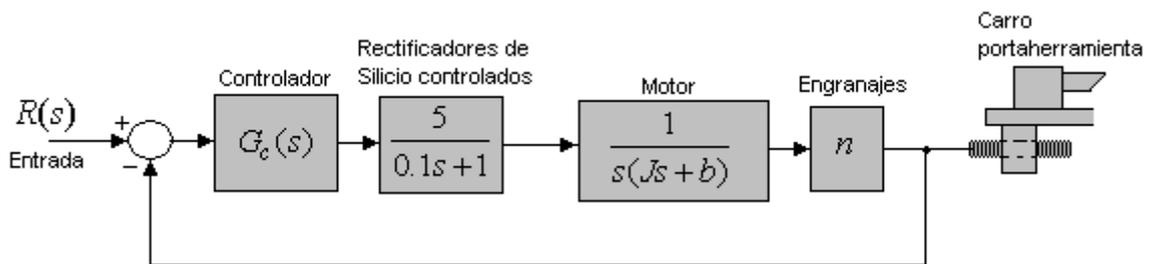
Problema 16. El lazo primario de control en una planta de energía nuclear incluye un tiempo de retardo debido al tiempo necesario para transportar el fluido desde el reactor hasta el punto de medición. En la figura adjunta se muestra el proceso y un diagrama en bloques para el mismo.



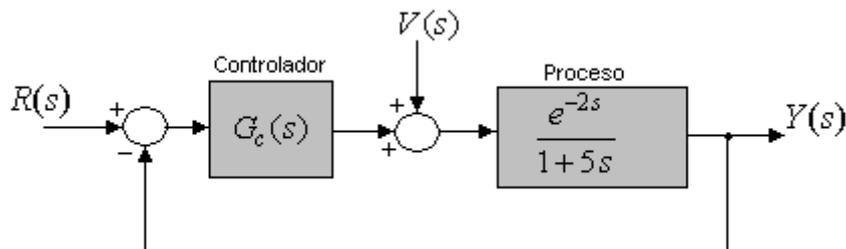
El retardo de tiempo es $T = 0.4 \text{ seg}$ y, la constante de tiempo $\tau = 0.2 \text{ seg}$. Suponer que el retardo de tiempo se aproxima por una función transferencia de primer orden $G = (5 - s)/(s + 5)$. [Padé de primer orden] Usando el método del lugar de raíces, (a) Diseñar el controlador de forma que la sobeelongación del sistema sea menor que el 10%

(b) Calcular el tiempo de establecimiento. (c) Determinar la sobreelongación y el tiempo de establecimiento, reales utilizando MATLAB para obtener la respuesta a un escalón unitario.

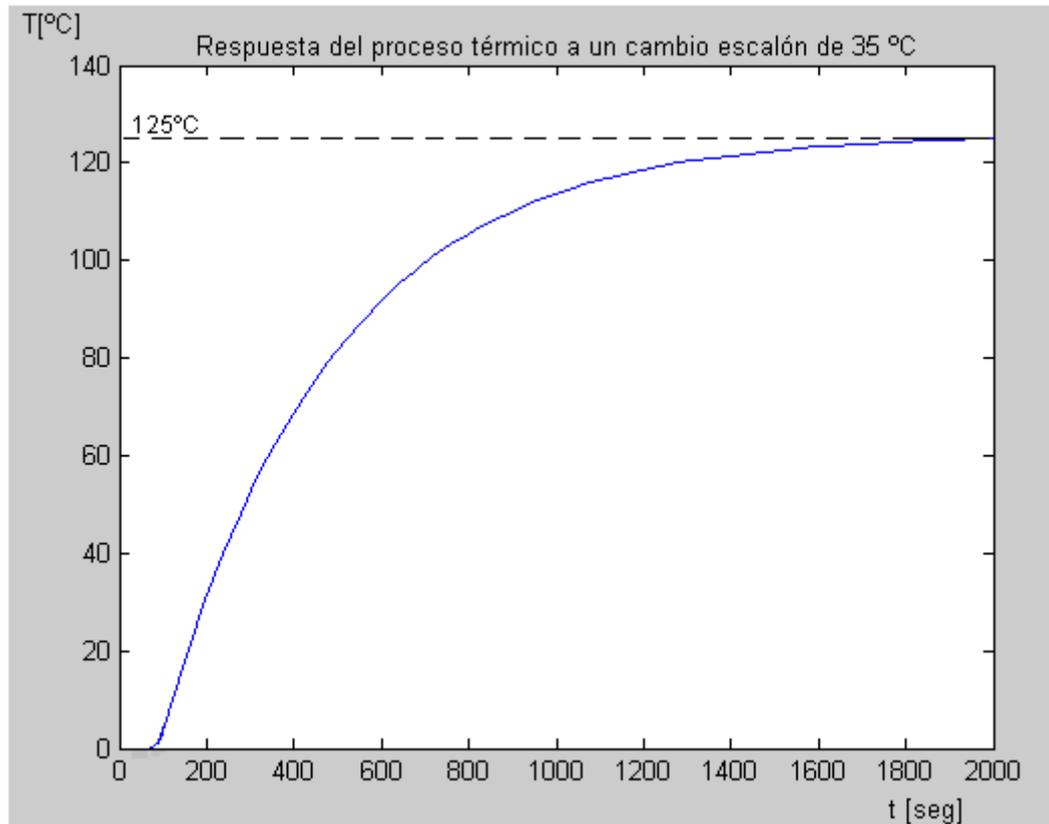
Problema 17. El torno revólver de una máquina herramienta de paso controlado plantea un problema interesante en la obtención de una exactitud suficiente. En la figura adjunta se muestra el diagrama en bloques del sistema de control de un torno revólver. La relación de engranajes es $n=0.1$, la inercia y fricción viscosa valen: $J=10^{-3}$ y $b=10^{-2}$. Es necesario obtener una exactitud de 5×10^{-4} pulgada, por tanto para una entrada rampa se especifica una exactitud del 2.5% en la posición de estado estacionario (a) Diseñese un compensador en cascada para introducir antes de los rectificadores de silicio controlados, con el objeto de proporcionar una respuesta para una orden escalón con una sobreelongación menor que el 5%. Un coeficiente de amortiguamiento adecuado para este sistema es $\xi=0.7$. (b) Empleando MATLAB obténgase la respuesta a un escalón y rampa unitarias, para el sistema diseñado en el apartado(a).



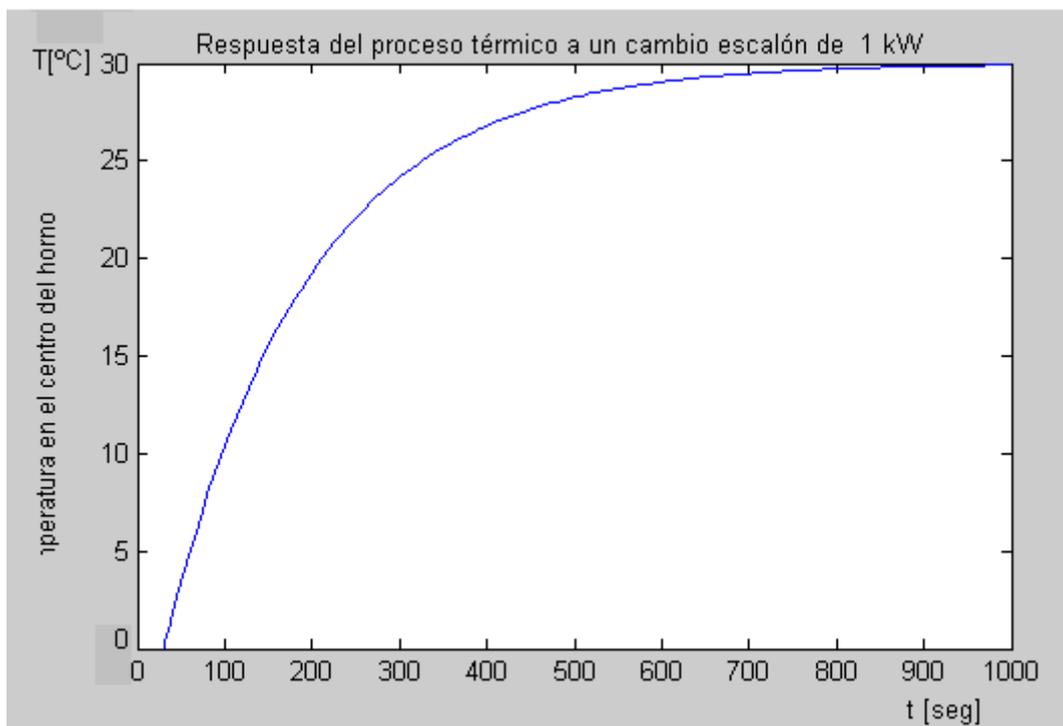
Problema 18. Se tiene un proceso cuya función transferencia tiene retardo, tal como se muestra en la figura adjunta. Tanto la constante de tiempo como el retardo están dados en minutos. El proceso se quiere regular con un controlador PID. (a) Calcular los valores de sintonía de acuerdo al método de Ziegler-Nichols, basado en la respuesta oscilatoria a lazo cerrado. (b) Empleando MATLAB graficar, para el sistema diseñado en el apartado (a), la respuesta a un cambio escalón en la referencia y en la perturbación.



Problema 19. A cierto proceso químico se le ha hecho un experimento en tiempo con cambio escalón en su entrada. El cambio en la entrada fue de 35 °C, la temperatura de salida que se obtuvo se muestra en el registro adjunto. Se desea controlar el proceso con un regulador PID.(a) Encuentre los parámetros del regulador de acuerdo con el método de Ziegler-Nichols, de la respuesta al escalón en lazo abierto. (b) Mediante el empleo de MATLAB, graficar la respuesta del sistema diseñado en el apartado (a), frente a un cambio escalón en la referencia.



Problema 20. Se pretende regular la temperatura de un horno industrial. La señal de regulación es la potencia P (kW) en la serpentina de calentamiento del horno, mientras que la señal de salida es la temperatura T (°C) en el centro del horno. En la figura se muestra la respuesta del horno a un cambio escalón de 1 kW. (a) Encuentre un ajuste de parámetros para un controlador PID según el método de Ziegler-Nichols. (b) Empleando MATLAB, graficar la respuesta del sistema diseñado frente a un cambio escalón en la referencia.



TRABAJO PRÁCTICO Nº 8b

Diseño de sistemas realimentando el vector de estado completo. Controlabilidad, Observabilidad. Test de Kalman. Matriz ganancia (K)

OBJETIVOS: Después de completar este TP, los alumnos estarán en condiciones de:

- Diseñar sistemas de control realimentando el vector de estado completo.
- Interiorizarse de los conceptos de Controlabilidad y Observabilidad.
- Determinación de la Controlabilidad y Observabilidad completa de un sistema. Test de Kalman.
- Comprensión y manejo del Teorema de Cayley-Hamilton.
- Método de asignación de polos para calcular la matriz ganancia K.
- Método de Ackermann para determinar la matriz K. Empleo de MATLAB.

Problema 1

Dada la función transferencia del sistema, obtener empleando MATLAB un modelo de estado.

$$\frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{23.45s + 7.18}{s^3 + 6.25s^2 + 28.32s + 7.18}$$

Problema 2

Dado el sistema definido por su modelo de estado, determinar empleando MATLAB las funciones de transferencia correspondientes. Realizar el diagrama en bloques del sistema.

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -27 & -5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{bmatrix}$$

Problema 3

Dado el sistema por su modelo de estado, determinar la Controlabilidad completa del estado empleando el Test de Kalman. Analizar mediante un diagrama en bloques el resultado obtenido y sacar conclusiones.

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 0 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} u$$

Problema 4

Dado el sistema por su modelo de estado, determinar la Observabilidad completa del estado empleando el test de Kalman. Analizar con un diagrama en bloques el resultado obtenido y sacar conclusiones.

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ -6 & -11 & -6 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} u$$

$$y = \begin{bmatrix} 4 & 5 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix}$$

Problema 5

Para el sistema definido por las ecuaciones de estado siguientes, se pide determinar si el mismo es controlable y observable. Verificar lo obtenido mediante un diagrama en bloques.

$$\dot{\mathbf{x}} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & -3 \end{bmatrix} \mathbf{x} + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} u$$

$$y = \begin{bmatrix} 0 & 2 \end{bmatrix} \mathbf{x}$$

Problema 6

Considérese el sistema de 2º orden:

$$\dot{\mathbf{x}} = \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \mathbf{x} + \begin{bmatrix} k_1 \\ k_2 \end{bmatrix} u$$

$$y = \begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix} \mathbf{x} + \begin{bmatrix} 0 \end{bmatrix} u$$

¿Para qué valores de k_1 y k_2 el sistema es completamente controlable?

Problema 7

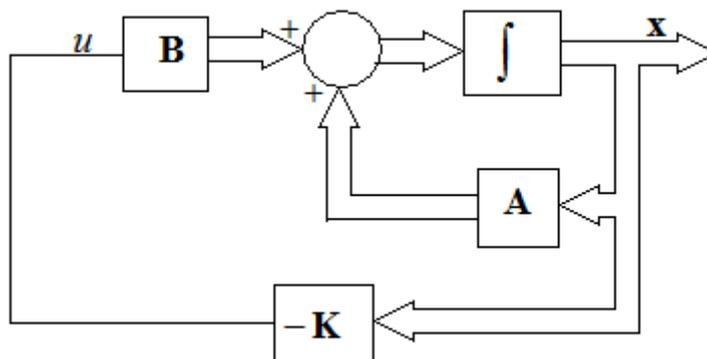
Una esfera de acero suspendida magnéticamente se puede describir mediante la ecuación lineal

$$\dot{\mathbf{x}} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 3 & 0 \end{bmatrix} \mathbf{x} + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} u$$

Las variables de estado son $x_1 = \text{posición}$ y $x_2 = \text{velocidad}$, y ambas son posibles de medir. Seleccionar un formato de realimentación de manera que el sistema sea críticamente amortiguado y el tiempo de establecimiento (al 2%) sea de 2 segundos. Realizar el diagrama en bloques con SIMULIK y verificar el diseño realizado.

Problema 8

Para el sistema regulador ($r=0$) que se muestra en la figura adjunta



Y cuya planta está dada por el modelo

$$\dot{\mathbf{x}} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ -1 & -5 & -6 \end{bmatrix} \mathbf{x} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} u$$

El sistema utiliza el control mediante realimentación de estado $u = -\mathbf{K}\mathbf{x}$. Se escogen los polos en lazo cerrado en :

$$s_{1,2} = -2 \pm j4 \quad s_3 = -10$$

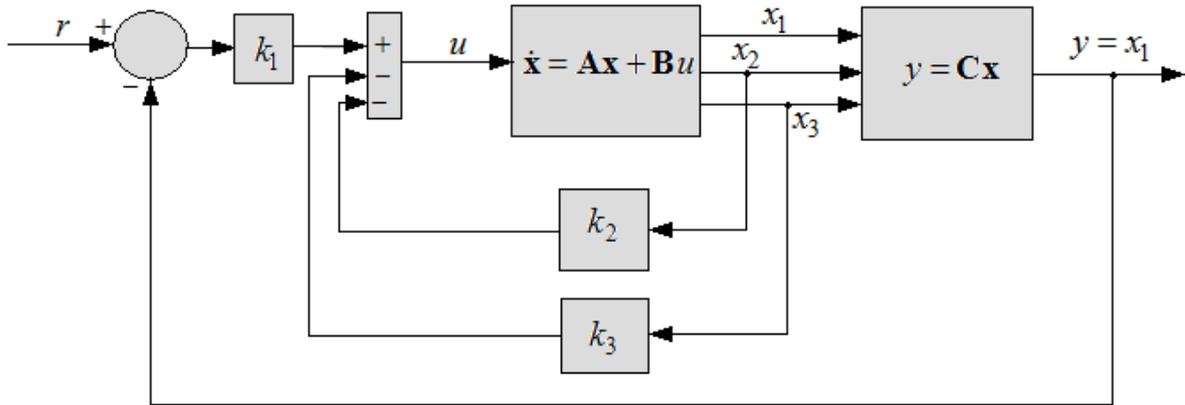
Determinar la matriz ganancia \mathbf{K} . Verificar mediante simulación dinámica (SIMULINK) la respuesta del sistema regulador, excitado por condiciones iniciales cualesquiera.

Problema 9

Dada la Planta (tipo 1) mediante la función transferencia:

$$\frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{1}{s(s+1)(s+2)}$$

Se desea controlar la salida $y(t)$ realimentando el vector de estado completo $u = -\mathbf{K}\mathbf{x} + k_1 r$ para lo cual se desea tener los polos de lazo cerrado en $s_{1,2} = -2 \pm j2\sqrt{3}$ $s_3 = -12$ y error nulo al escalón de referencia (sistema de seguimiento perfecto al escalón). El sistema en el que se ha pensado tiene un diagrama en bloques como el indicado en la figura:



Se pide:

- Determinar un modelo de estado conveniente.
- Diseñar la matriz ganancia \mathbf{K} .
- Realizar el diagrama de simulación con Simulink y verificar que la salida tiende a la referencia con la dinámica especificada.
- Repetir la simulación para condiciones iniciales diferentes de cero.

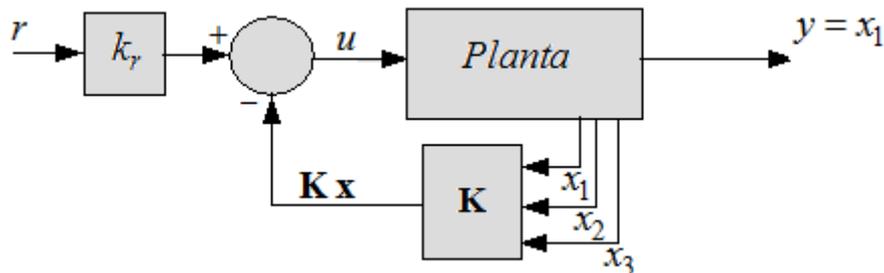
Problema 10

Dada la planta (tipo cero) por su modelo de transferencia:

$$\frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{0.1}{(s + 0.5)(s + 0.1)(s + 2)}$$

Se pide:

- Obtener un modelo de estado conveniente para la planta.
- Verificar el comportamiento dinámico de la planta frente a $u(t) = \text{escalón unitario}$
- Diseñar un sistema de control, realimentando el vector de estado completo y ajustando el factor de escala k_r para tener seguimiento perfecto al escalón de referencia. Los polos de lazo cerrado se ubicarán en $s_{1,2} = -0.8 \pm j1.10$ $s_3 = -5$. El sistema responderá a un diagrama en bloques como el siguiente:



- Verificar mediante simulación con SIMULINK que se cumplen las especificaciones de diseño.

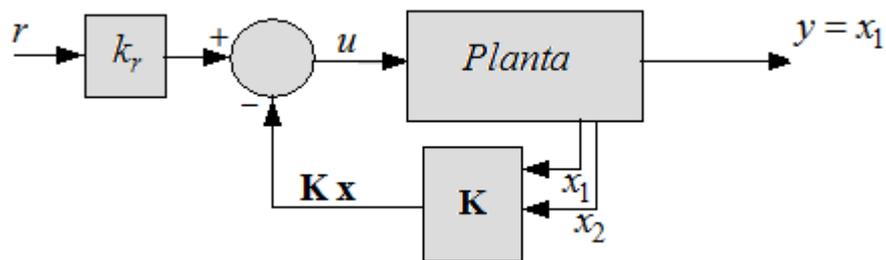
Problema 11

Para la planta del problema 10 (TP N° 8a), dada por su función transferencia

$$\frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{1}{(1 + s/100)^2}$$

Se pide:

- Obtener un modelo de estado adecuado.
- Diseñar la matriz ganancia \mathbf{K} , y ajustar el factor de escala k_r , para tener seguimiento perfecto al escalón de referencia y ubicando los polos de lazo cerrado en $s_{1,2} = -500 \pm j600$. El diagrama en bloques adoptado para el sistema a diseñar es:



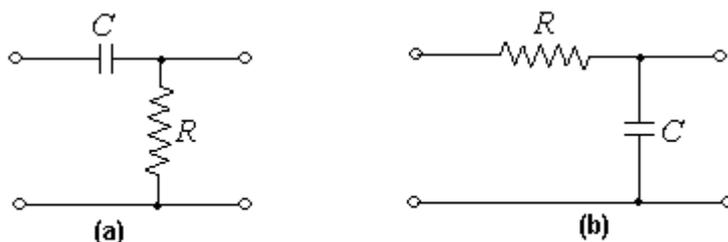
- Una vez diseñado el sistema, realizar la simulación con SIMULINK y verificar el diseño. Comparar con el diseño realizado para la misma planta en el problema 10 del TP N° 8a.

TRABAJO PRÁCTICO Nº 9**Diseño de sistemas en el dominio frecuencial. Procesos con retardo.**

OBJETIVOS: Después de completar este TP, los alumnos estarán en condiciones de:

- Diseñar sistemas de control empleando las técnicas de la respuesta en frecuencia.
- Realizar las adecuadas inserciones de circuitos o controladores para compensar las deficiencias de comportamiento.
- Adquirir destreza y habilidad en el diseño de redes compensadoras de adelanto de fase, atraso de fase y redes combinadas o con otras características.
- Realizar la compensación de los sistemas de control utilizando controladores P, PI, PD y PID.
- Diseño de sistemas reales con retardo, empleando controladores PID, cuya transferencia se ha medido a lazo abierto (respuesta al escalón) o a lazo cerrado (sistema llevado a oscilación).

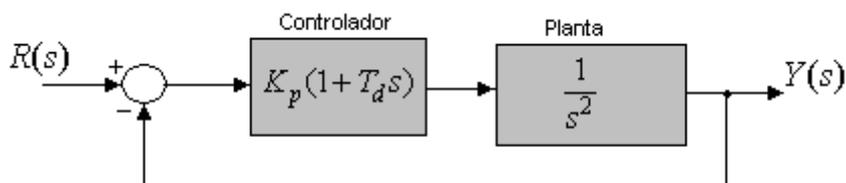
Problema 1. Dibújese los diagramas de Bode de las redes y controladores que se muestran a continuación.



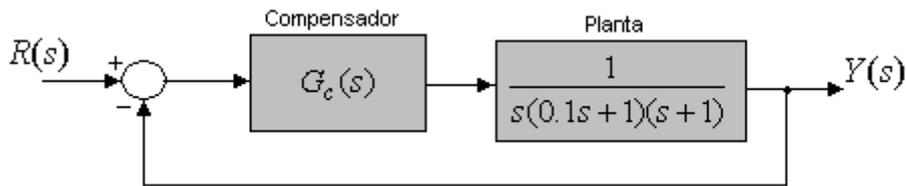
$$R = 50 \text{ k}\Omega \quad C = 10 \text{ }\mu\text{F}$$

- (c) $G_c(s) = 5 \left(1 + \frac{1}{2s} \right)$
- (d) $G_c(s) = 5(1 + 0.5s)$
- (e) $G_c(s) = 30.32 \frac{(s + 0.65)^2}{s}$

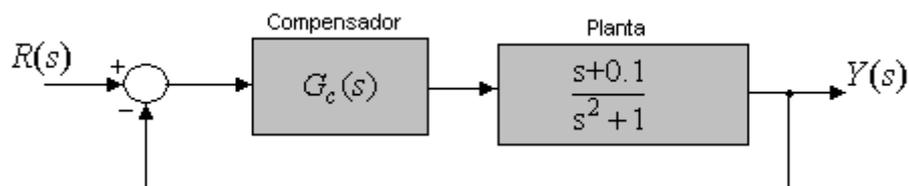
Problema 2. Para el sistema de control mostrado en la figura determínese (a) la ganancia proporcional y el tiempo derivativo para que el ancho de banda del sistema a lazo cerrado sea de 0.4 a 0.5 rad/seg. El sistema debe tener un margen de fase adecuado. (b) Represente las curvas de respuesta en frecuencia en lazo abierto y en lazo cerrado como diagramas de Bode.



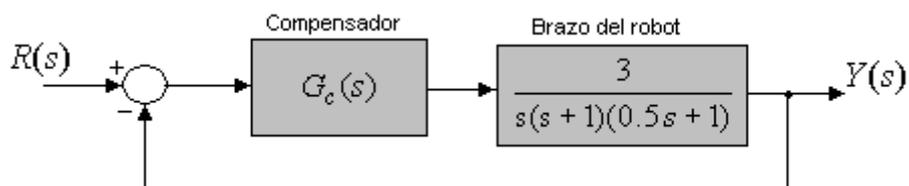
Problema 3. Considérese el sistema de control mostrado en la figura. (a) Diseñese un compensador tal que el margen de fase sea de 45° , el margen de ganancia no sea menor que 8 dB y la constante de error estático de velocidad K_v sea de 4.0 seg^{-1} . (b) Represente las curvas de respuesta a un escalón y rampa unitarias, para el sistema diseñado en el apartado (a) utilizando MATLAB.



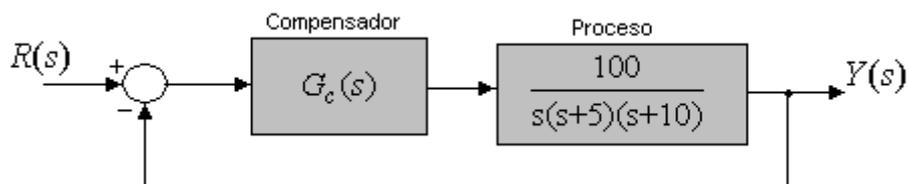
Problema 4. Considérese el sistema de control mostrado en la figura. (a) diseñese un compensador tal que la constante de error estático de velocidad K_v sea de 4.0 seg^{-1} , el margen de fase sea de 50° y el margen de ganancia sea al menos de 10 dB. (b) Represente las curvas de respuesta al escalón unitario y rampa unitaria del sistema compensado utilizando MATLAB. Asimismo dibuje el diagrama de Nyquist del sistema compensado con MATLAB.



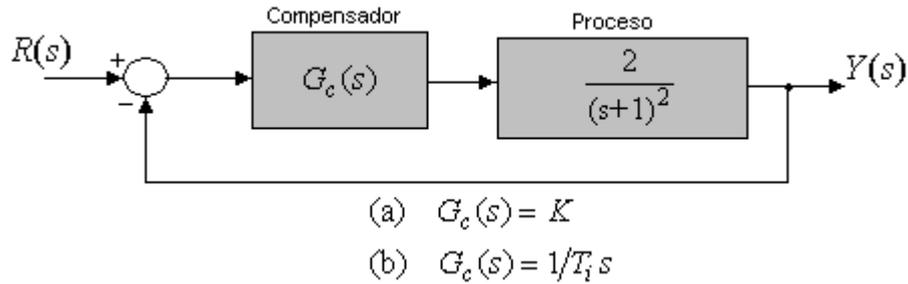
Problema 5. Considérese el sistema de control de posición de la herramienta que se coloca en la pinza de un robot, (a) Diseñese un compensador que proporcione un margen de fase de 45° .



Problema 6. Considérese un proceso químico cuyo sistema de control está representado en la figura adjunta. (a) Diseñese un compensador tal que el sistema de control tenga un error del 1% a una entrada rampa unitaria, un margen de ganancia $MG \geq 10 \text{ dB}$ y un margen de fase $MF \geq 40^\circ$

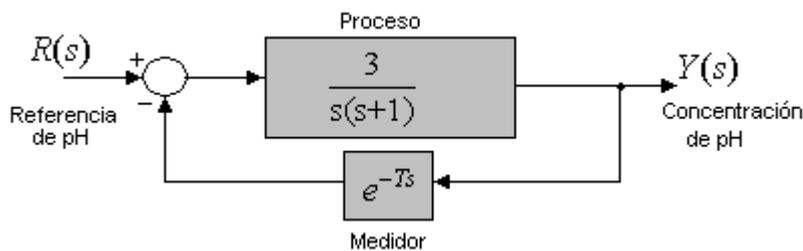


Problema 7. Considérese el sistema de control de un proceso que se muestra en el dibujo. Se ha pensado en regular el proceso con un regulador tipo **P** o con un regulador tipo **I**.

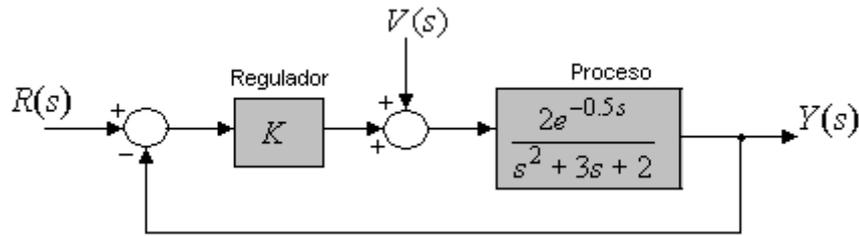


- (a) Calcúlese el valor de K que dé un margen de fase de 45° , si se usa un regulador proporcional.
- (b) Calcúlese el valor del tiempo de integración que dé un margen de fase de 45° si se usa un regulador integrador.
- (c) El regulador integrador tiene la ventaja sobre el proporcional, como se sabe que elimina por completo el error al escalón. Pero la regulación suele ser más lenta. Investigue esto encontrando el valor de la frecuencia de corte ω_c que se obtiene en ambos reguladores. Verificar mediante MATLAB y obtener la respuesta al escalón para los diseños realizados.

Problema 8. El diagrama en bloques que se muestra a continuación representa un sistema de regulación del pH en un proceso químico. Para medir la concentración de pH se utiliza un medidor (analizador de pH) que desafortunadamente necesita cierto tiempo para entregar la información necesaria sobre la señal de salida del proceso. El retraso en el medidor puede expresarse matemáticamente como un tiempo muerto e^{-Ts} . ¿Cuál será el tiempo máximo de retardo T que se puede aceptar si se desea un margen de ganancia $MG = 2$ para el sistema?

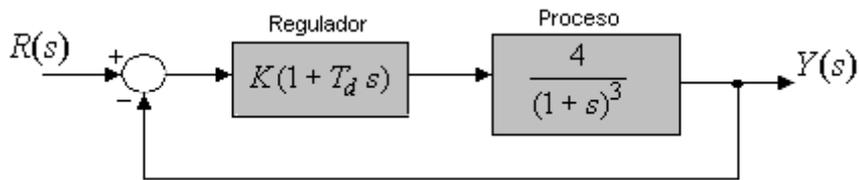


- Problema 9.** Se dimensionará un regulador para cierto proceso. La idea de la regulación es ante todo contrarrestar la influencia de las perturbaciones sobre la señal de salida. El disturbio que afecta al proceso es principalmente sinusoidal: $v(t) = 2 \text{sen}(1.05t)$.
- (a) Para regular el proceso se usará un controlador tipo P. Determínese el valor de la ganancia del controlador de tal forma que el sistema tenga como mínimo un margen de fase de 45° y un margen de amplitud de 2.5.



- (b) Calcúlese la amplitud de la componente sinusoidal en la salida para el sistema con y sin regulación. En el caso de tener regulación, la ganancia será de 2.
- (c) ¿Qué tanto de influencia de la perturbación se elimina gracias al regulador?
- (d) Verificar los apartados anteriores mediante MATLAB/SIMULINK.

Problema 10. Con un regulador PD se controlará un proceso con función de transferencia según se muestra en la figura. (a) Encuentre la ganancia K y el tiempo derivativo T_d para obtener un margen de ganancia de 60° . (b) Una vez diseñado el regulador, obténgase mediante MATLAB la respuesta del sistema ante una referencia escalón unitario y el diagrama de Bode del sistema a lazo abierto y lazo cerrado



Problema 11. Se regulará un proceso en una fundidora con un regulador proporcional. Se desconoce la función transferencial del proceso. Se pudo realizar un ensayo frecuencial al proceso y se encontró su amplitud y fase para diversas frecuencias. El resultado de las mediciones se muestra a continuación.

ω	0.1	0.2	0.4	0.624	0.8	1	1.6	2.5	4
$ G(j\omega) $	1.6	1.7	2.2	2.7	2	1.3	0.5	0.15	0.05
$\angle G(j\omega)$	-10°	-20°	-40°	-65°	-80°	-97°	-130°	-162°	-190°

- (a) Dibújese el diagrama de Bode del proceso. (b) Encuéntrese el valor de K para que el margen de fase sea de 50° . (c) Encuentre el tiempo de crecimiento (rise time) del sistema. (d) Encuéntrese la exactitud del sistema cuando la señal de referencia experimenta un cambio escalón. (e) Verifíquese mediante MATLAB lo obtenido en los apartados anteriores.

TRABAJO PRACTICO DE LABORATORIO N° 1

Obtención de la función Transferencia para todos los componentes de un lazo de control de posición y velocidad angular.

OBJETIVO: Identificación de Sistemas.

Obtener mediante mediciones de laboratorio, las ganancias y constantes de tiempo de todos los componentes pertenecientes a un lazo de control de posición y velocidad angular, basados en un motor de CC. Se incluye la determinación de la zona muerta del servomotor de CC.

Introducción.

Los diagramas de bloques correspondientes a los lazos de control de posición y velocidad angular, que se utilizarán en este TP, se indican en las figuras 1 y 2 respectivamente.

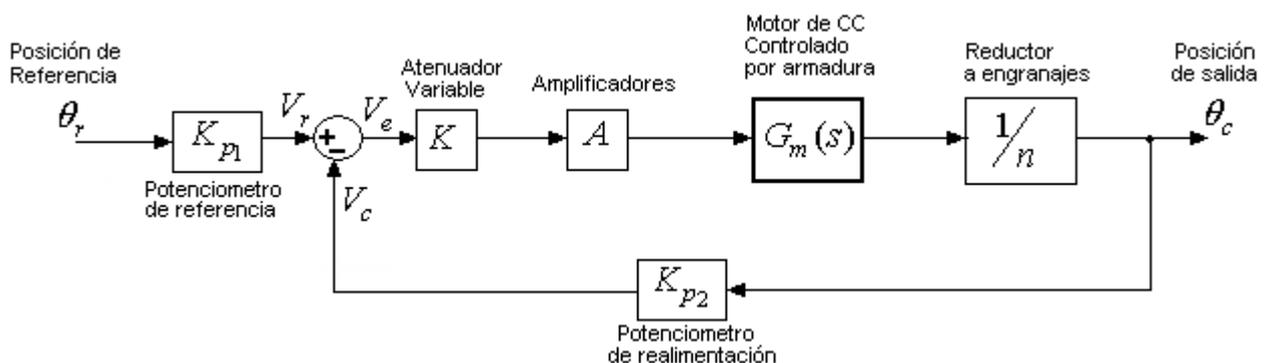


Fig. 1. Diagrama en bloques para el control de posición angular.

Para el control de velocidad angular se debe reemplazar el potenciómetro de realimentación por una generatriz taquimétrica (tacómetro). Dicho instrumento está incorporado e integrado al motor de CC.

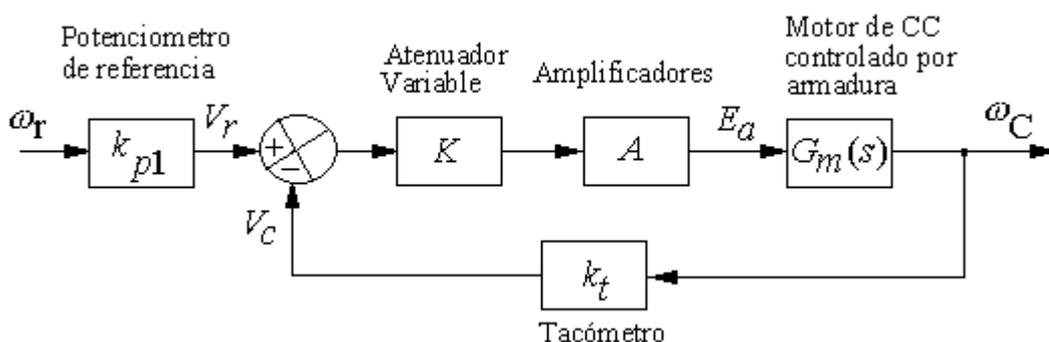


Fig. 2. Diagrama en bloques para el control de velocidad angular.

Los diferentes elementos componentes de los lazos se arman utilizando un kit didáctico, marca Feedback Ltd. La conexión entre los diferentes módulos se realiza mediante cables con acople tipo rápido (fichas banana). El motor utilizado permite ser conectado en las versiones de control por armadura o campo. Dicha selección se realiza en el frente del amplificador de potencia.

Nota Importante:

La fuente de alimentación dispone de un amperímetro incorporado (tipo bobina móvil) que tiene en su escala una “zona marcada en rojo”. Debe evitarse incursionar en dicha zona, ya que la fuente tiene un limitador de corriente que produce recorte, dejando de tener un comportamiento lineal y además puede dañar la fuente o el motor por corriente excesiva..

Instrumentos necesarios:

- Multímetros digitales.
- Generador de señales de 0 a 10 Hz.
- Osciloscopio con memoria.

El circuito analógico equivalente del motor de CC, controlado por armadura, es el indicado en la figura 3.

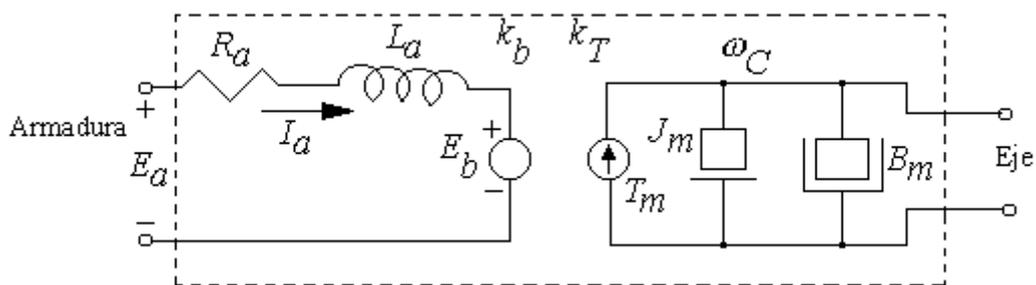


Fig. 3. Modelo equivalente analógico del motor de CC.

En el Sistema Internacional de Unidades (es el que utilizaremos) las constantes de tensión y cupla del motor resultan ser numéricamente iguales (tienen unidades diferentes), es decir

$$|k_b| = |k_T|$$

Sobre la base de la figura 3, se obtiene el diagrama de bloques de la figura 4, donde se indica la transferencia del motor en función de los parámetros y las constantes de tiempo del mismo

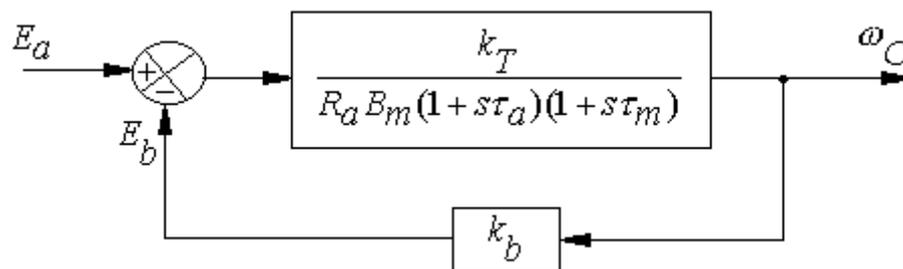


Fig. 4. Diagrama en bloques del motor.

Sobre la base de la figura 4, se obtiene la función transferencia del motor, es decir:

$$\frac{\omega_C}{E_a}(s) = \frac{k_T}{R_a B_m (1 + s\tau_a)(1 + s\tau_m) + k_T k_b}$$

Donde:

$$\tau_m = \frac{J_m}{B_m} \quad : \text{ Constante de tiempo mecánica}$$

$$\tau_a = \frac{L_a}{R_a} \quad : \text{ Constante de tiempo eléctrica}$$

Mediciones.

1.-Medición de la resistencia de armadura (Ra)[Rotor bloqueado].

Con el rotor (armadura) en reposo, es decir bloqueado, se aplica una “tensión reducida” a la armadura [para evitar sobrecalentamiento del bobinado de armadura, lo cual entre otros efectos modificará Ra debido a la temperatura: $R_a = R_{a0} (1 + \alpha T)$] con lo cual circulará una corriente I_a . Midiendo la tensión aplicada y la corriente se puede calcular la resistencia de armadura Ra, mediante la Ley de Ohm:

$$R_a = \frac{E_a}{I_a} \quad \text{para } \omega_c = 0; \quad \text{con lo cual } e_b = k_b \omega_c = 0$$

Nota importante: Si se utiliza la fuente del Kit, para alimentar la armadura, se deberá evitar sobrepasar la zona prohibida (roja) indicada en el amperímetro del módulo fuente.

2.- Medición de la constante de tiempo eléctrica (τ_a)[Rotor bloqueado].

Si con el rotor bloqueado, se aplica un escalón de tensión (reducida) en la armadura, la corriente evolucionará según una exponencial regida por el circuito serie La, Ra. La corriente está dada por:

$$i_a(t) = \frac{e_{a0}}{R_a} (1 - e^{-t/\tau_a}) \quad \text{Donde } e_{a0} = \text{amplitud del escalón aplicado}$$

Si esta corriente se registra en el osciloscopio con memoria, se obtendrá un gráfico como el indicado en la figura 5.

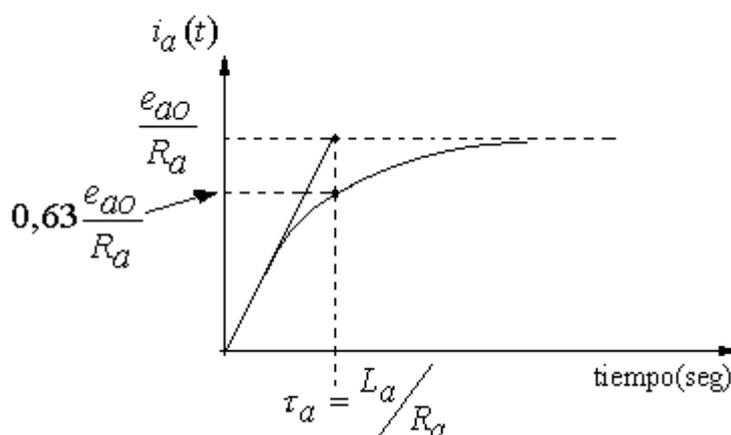


Fig. 5. Gráfico de la corriente de armadura a rotor bloqueado y excitación escalón.

Con la pendiente al origen o bien con el 63% del valor final, se obtiene la constante de tiempo eléctrica de armadura.

Nota: por razones prácticas, a lo mejor conviene emplear una resistencia adicional conocida, conectada en serie con la armadura, a los fines de registrar la caída de tensión en ella, que resultará ser proporcional a la corriente i_a .

Una vez medida τ_a , se calcula la inductancia de armadura L_a , mediante.

$$L_a = R_a \tau_a$$

3.-Medición de la constante de tensión (K_b), rozamiento viscoso B_m , y alternativa para medir (L_a) [Rotor libre].

Con el rotor libre se alimenta la armadura con una tensión escalón [Es importante que el escalón sea tal. El mismo se puede obtener por ej.: con un interruptor y una fuente de CC]. En estas condiciones se registra el crecimiento de la corriente de armadura en función del tiempo. En los primeros instantes el motor no se mueve, debido a la inercia, y la corriente crece, limitada por el circuito eléctrico de armadura, según lo indicado por la figura 5. Cuando el motor comienza a moverse, aparecerá la F.c.e.m. (E_b) y la corriente se apartará del crecimiento referido, para evolucionar según la ecuación indicada a continuación:

$$e_a(t) - k_b \omega(t) = R_a i_a(t) + L_a \frac{di_a(t)}{dt}$$

Un registro de la corriente, con osciloscopio, a través de la tensión medida en una resistencia auxiliar R_{ar} , permitirá visualizar lo indicado en la figura 6.

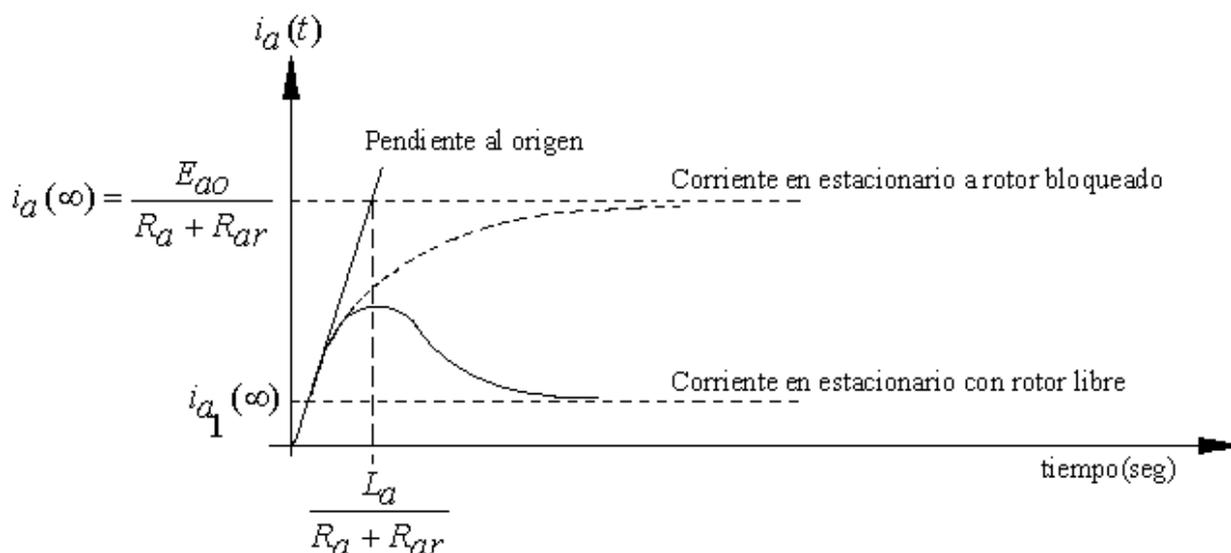


Fig. 6. Corriente de armadura con rotor libre y aceleración (excitado con escalón E_{a0})

Midiendo la tensión de armadura E_{a0} , la corriente $i_{a1}(\infty)$, y la velocidad angular en estacionario $\omega(\infty)$, se puede calcular la constante de tensión k_b del motor, mediante:

$$k_b = \frac{E_{a0} - R_a I_{a1}(\infty)}{\omega(\infty)}$$

Midiendo la pendiente al origen en la curva de la figura 6 [$i_a(\infty)/\tau$], se puede determinar la inductancia de armadura L_a , mediante:

$$L_a = \frac{E_{a0}}{i_a(\infty)} \tau = \tau(R_a + R_{ar})$$

Conociendo la corriente $i_{a1}(\infty)$, la velocidad $\omega(\infty)$ y $|K_T| = |k_b|$ (Sistema Internacional de Unidades), se puede determinar el rozamiento viscoso del motor, mediante:

$$B_m = \frac{k_T i_{a1}(\infty)}{\omega(\infty)}$$

Nota: Para medir velocidad angular, el Kit provee un disco estroboscópico solidario al potenciómetro de salida. Dicho disco está acoplado al eje del motor mediante una caja reductora de relación 1:30. Ajustando la tensión aplicada a la armadura, se

tratará de sincronizar el disco estroboscópico con la frecuencia de la iluminación artificial del Lab. , es decir 50 Hz. El sincronismo se logra cuando el disco estroboscópico se ve “quieto” (es decir, para el ojo del observador aparenta estar quieto, es decir “no gira”).

También se puede medir la velocidad mediante el tacómetro acoplado al motor de CC, si previamente se determina la constante del mismo (supuesto lineal), es decir K_t .

Otra manera de medir la velocidad angular del motor es mediante un transductor electrónico.

4.- Determinación de la constante de cupla (K_T).

La constante de cupla, es numéricamente igual a la constante de tensión, es decir:

$$k_T [Nm / A] = k_b [rad / seg]$$

5- Medición del momento de inercia del motor (J_m) y la constante de tiempo mecánica (τ_m).

El motor deberá estar en vacío. Caso contrario se deberá conocer la carga aplicada al mismo (J_L y B_L).

Sobre la base de lo anterior, se alimenta el motor a una tensión constante, con lo cual la velocidad angular también será constante. Una vez allí se procede a quitar (levantar) la tensión de armadura (Mediante un interruptor de acción rápida). Como consecuencia de ello, la velocidad angular del motor disminuirá linealmente **(1) (2)**, de acuerdo a lo indicado por el gráfico de la figura 7. Dicho gráfico se obtiene en el osciloscopio, registrando la tensión del tacómetro. Sobre la base de ello se determina la constante de tiempo mecánica del motor.

(1) Consultar Trabajo Teórico publicado por Ing. A.M.Mariani y Lic. E. Ciccolella en Revista Tecnología y Ciencia de UTN.

(2) Consultar Publicación “Proyecciones”, UTN, Año1 N°2 -Octubre 2003 Autores: Ing. A.M.Mariani y Lic. E. Ciccolella.

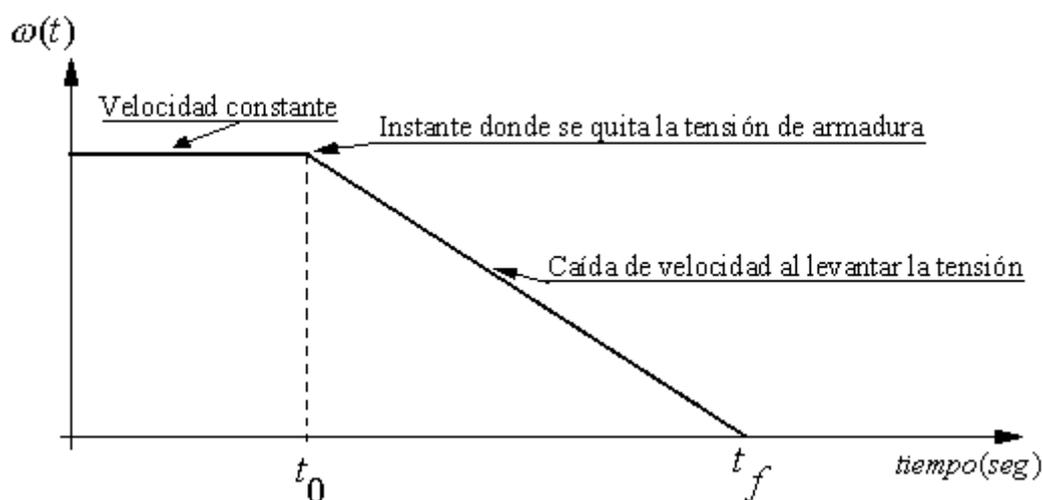


Fig. 7. Descenso de la velocidad, al quitar (mediante un interruptor de acción rápida) la tensión de armadura.

Midiendo t_0 (tiempo inicial) y t_f (tiempo final,) en la pantalla del osciloscopio, se determina la constante de tiempo mecánica τ_m , mediante:

$$\tau_m = t_f - t_0$$

Luego se calcula el momento de inercia del motor, mediante la relación:

$$J_m = B_m \tau_m$$

7.-Medición de las constantes(ganancias) de los potenciómetros (Kp1 y Kp2)

Para los potenciómetros de entrada con tope y de salida sin tope, la determinación de las constantes, se realiza aplicando una rotación conocida al cursor (entrada) y midiendo la tensión obtenida en el mismo (salida). En la figura 8 se indica lo descrito anteriormente.

Como los potenciómetros son lineales, la constante de los mismos se corresponden con la pendiente de la recta indicada en la fig. 8.

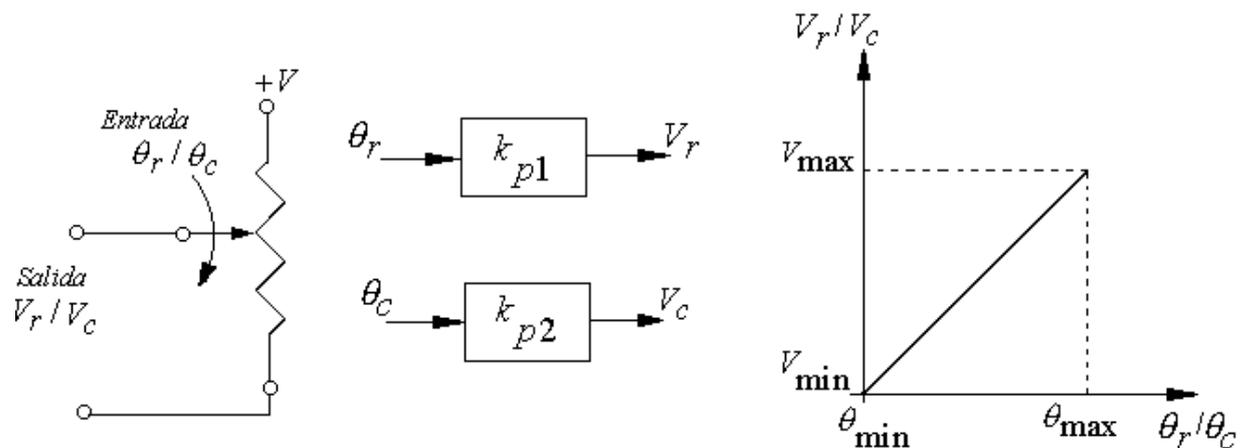


Fig. 8.- Determinación de las constantes de los potenciómetros.

Las constantes de los potenciómetros, se calculan mediante:

$$k_{p1} = \frac{V_{r2} - V_{r1}}{\theta_{r2} - \theta_{r1}} \quad k_{p2} = \frac{V_{c2} - V_{c1}}{\theta_{c2} - \theta_{c1}}$$

8.- Medición de la ganancia de la cadena amplificadora.

La amplificación de cadena directa está provista por una serie de amplificadores en cascada, de manera que midiendo la tensión (CC) en armadura y la tensión (CC) a la salida del sumador, podremos calcular la amplificación A , [Se suponen despreciables las constantes de tiempo de los amplificadores] ver figura 9.

Nota: antes de realizar la medición, se deberá ajustar el cero y el offset de los amplificadores correspondientes.

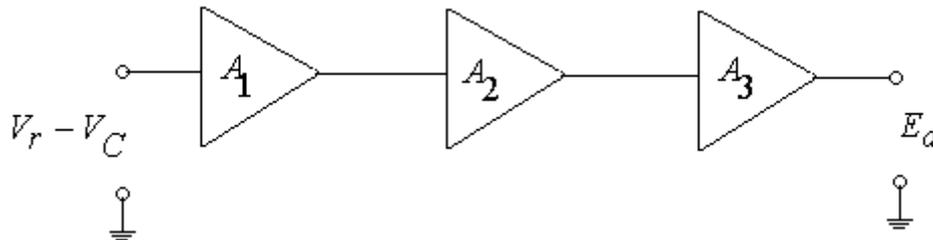


Fig. 9. Cadena amplificadora.

La amplificación [ganancia en estacionario] se calcula mediante:

$$A = \frac{E_a}{V_r - V_c}$$

9.-Medición de la constante de la Generatriz taquimétrica (tacómetro) [Kt].

El tacómetro es un generador de CC que está acoplado al eje del motor. De manera que haciendo girar al motor a velocidad constante, obtendremos a la salida del tacómetro una tensión constante. Si se dispusiese de un medidor digital electrónico de r.p.m., se podrían obtener una serie de valores, y ajustar los mismos con la recta más probable mediante cuadrados mínimos. Como en el Laboratorio no disponemos de tal medidor, realizaremos la medición en un punto (dentro del rango de trabajo), mediante el disco estroboscópico y calcularemos la constante del tacómetro sobre la base de dicha medición (supondremos tacómetro lineal). Ver figura 10.

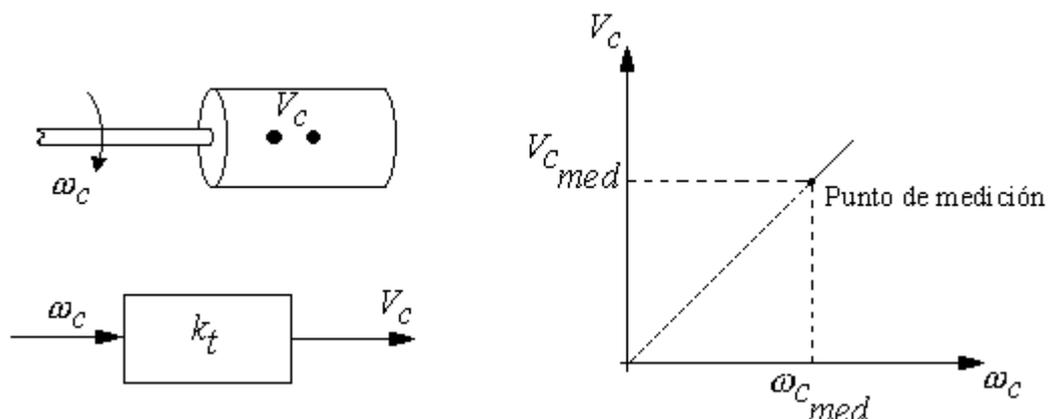


Fig. 10. Generatriz taquimétrica.

Sobre la base de la figura 10, se calcula la constante del tacómetro, mediante:

$$k K_t = \frac{V_{c_{med}}}{\omega_{c_{med}}}$$

10. Atenuador variable.

Consiste en un potenciómetro, que permite variar la tensión de salida (cursor) respecto a la tensión de entrada, entre el valor mínimo que es cero y el valor máximo que es la tensión de entrada. En otras palabras el atenuador introduce una constante k que puede variar entre cero y uno (ó, cero y 100%),

$$0 \leq k \leq 1$$

$$0\% \leq k \leq 100\%$$

Nota: En el equipo el atenuador variable tiene divisiones entre 0 y 10, de tal manera que si se lee 4,7 divisiones, el valor de k corresponde a, $k=0.47$.

11. Determinación de la zona muerta del servomotor.

El servomotor es uno de los tantos dispositivos que presentan “zona muerta”, es decir: tiene un cierto rango de tensión de entrada para el cual el eje del motor no se mueve (es decir no hay salida). Este comportamiento es un efecto no-lineal, que no se tuvo en cuenta en el modelo (LTI) del motor y su presencia produce efectos que se analizaran oportunamente. Para efectuar la medición de este efecto, se aplica una tensión reducida y que pueda variarse, a la entrada de la cadena amplificadora. Aumentando lentamente dicha tensión, se procede a medir la tensión de armadura que produce el comienzo del movimiento del motor. Luego se invierte la polaridad de la fuente y se repite la medición para el giro en sentido contrario. En la figura 11 se muestra un esquema para realizar la medición de la zona muerta, y en la figura 12 un gráfico de la medición.

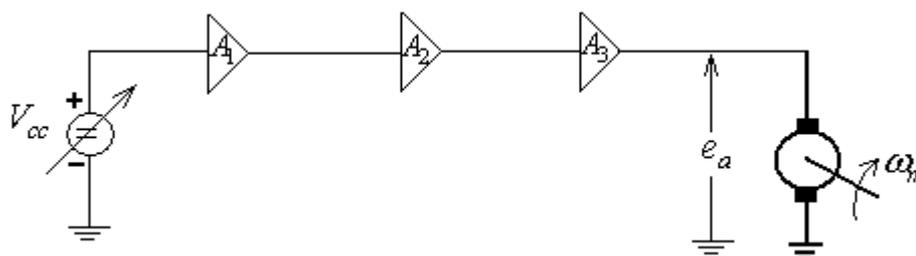


Fig.11. Esquema eléctrico, para medir la zona muerta del servomotor.

El resultado de la medición se muestra en la figura 12.

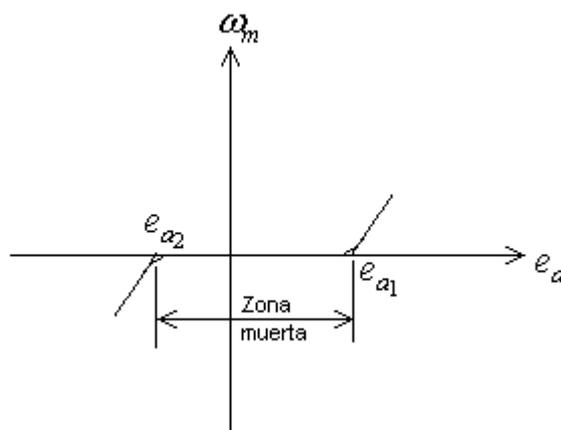


Fig. 12. Zona muerta del servomotor

Resumen.

Las mediciones realizadas, con sus unidades y, los cálculos respectivos se volcarán en un cuadro de valores, como el indicado a continuación:

Magnitud	Símbolo	Mediciones	Cálculo	Valor	Unidad
Resistencia de armadura	R_a	E_a, I_a	$R_a = E_a / I_a$		Ω
Inductancia de armadura	L_a	τ_a	$L_a = R_a \tau_a$		H
Constante de tensión	K_b	$E_{a0}, I_{a1}(\omega), \omega(\omega)$	$K_b = \frac{E_{a0} - R_a I_a(\omega)}{\omega(\omega)}$		$\frac{\text{Volt}}{\text{rad/seg}}$
Constante de cupla	K_T	K_b	$ K_T = K_b $		Nm/A
Inductancia de armadura	L_a	$E_{a0}, i_a(\omega), \tau$	$L_a = \tau(R_a + R_{ar})$		H
Rozamiento viscoso del motor	B_m	$K_T, i_{a1}(\omega), \omega(\omega)$	$B_m = \frac{K_T i_{a1}(\omega)}{\omega(\omega)}$		Nm/rad/seg
Constante de tiempo mecánica	τ_m	t_0, t_f	$\tau_m = t_f - t_0$		seg
Momento de inercia del motor	J_m	τ_m, B_m	$J_m = \tau_m B_m$		Kg.m^2
Potenciómetro de referencia	K_{p1}	$V_{r2}, V_{r1}, \theta_{r2}, \theta_{r1}$	$K_{p1} = \frac{V_{r2} - V_{r1}}{\theta_{r2} - \theta_{r1}}$		V/rad
Potenciómetro de salida	K_{p2}	$V_{c2}, V_{c1}, \theta_{c2}, \theta_{c1}$	$K_{p2} = \frac{V_{c2} - V_{c1}}{\theta_{c2} - \theta_{c1}}$		V/rad
Ganancia del amplificador	A	$E_a, V_r - V_c$	$E_a / V_r - V_c$		V/V
Tacómetro	k_t	V_{cmed}, ω_{cmed}	$k_t = V_{cmed} / \omega_{cmed}$		$\frac{\text{V}}{\text{rad/seg}}$
Inductancia de armadura (Alternativa)	L_a	$E_a(\omega), i_a(\omega)$	$L_a = E_a(\omega) / i_a(\omega)$		H

NOTA: Con los parámetros obtenidos en la tabla precedente, se deberán calcular:

- Las funciones de transferencia para cada bloque, correspondientes a los diagramas de las figuras 1 y 2.
- Se calcularán las funciones transferencias a lazo cerrado para los controles de posición y velocidad angular. Explicitar los ceros y polos de cada función transferencia.
- Se correlacionarán las constantes de tiempo calculadas con los polos en el plano complejo s , a los efectos de ver la correspondencia de polos lentos y rápidos.

TRABAJO PRACTICO DE LABORATORIO N° 2.

Estudio y análisis de un sistema de control de posición y velocidad angular basado en un motor de CC.

OBJETIVO:

Estudiar y analizar el comportamiento de un sistema de control a lazo cerrado mediante comprobaciones de laboratorio, a través de las respuestas temporales y frecuenciales. También se pretende que los estudiantes realicen las comparaciones de los resultados obtenidos experimentalmente, con análisis teóricos empleando Lugar de Raíces y Respuesta en Frecuencia, sobre la base de los parámetros obtenidos en el TP N°1, y conociendo las funciones transferencias de cada componente de los lazos de posición y velocidad.

Introducción:

Repetimos aquí los gráficos 1 y 2 del TP N°1, que corresponden al control de posición y al de velocidad angular.

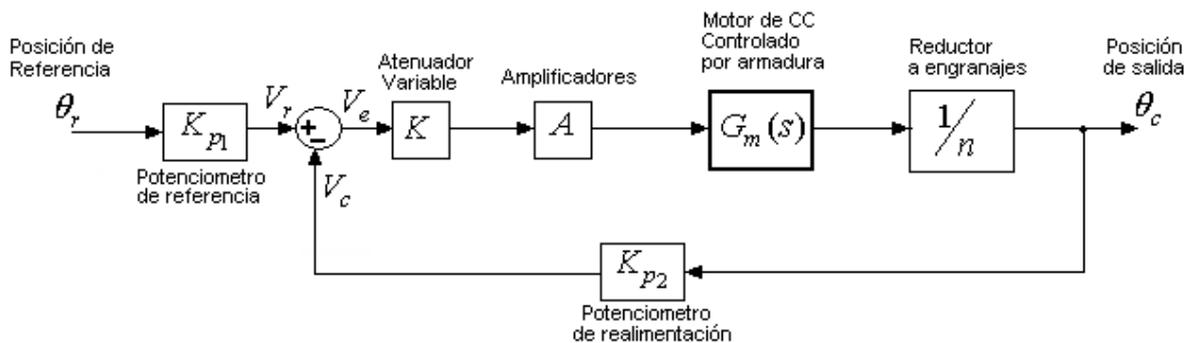


Fig. 1. Diagrama en bloques del control de posición.

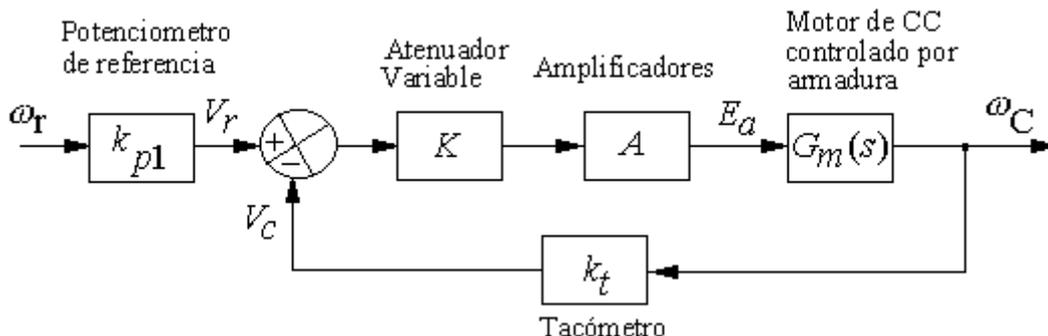


Fig. 2. Diagrama en bloques del control de velocidad angular.

Comprobaciones experimentales.

a) Control de posición angular sin realimentación de velocidad.

a1) Respuesta temporal:

Aplicando un escalón de posición angular, θ_r (Mediante un giro pequeño y rápido del potenciómetro de referencia), registrar, la respuesta para tres casos diferentes, ajustando la ganancia "k" (entre cero y uno). Utilizar el osciloscopio disponible y graficar los resultados obtenidos.



Sobreamortiguado

$K =$



Crítico

$K =$



Subamortiguado

$K =$

Para el caso Subamortiguado, analizar la respuesta para distintos valores de la ganancia, tratando de acercarse al "k límite", controlando en lo posible que la fuente de alimentación, no limite en corriente (entrando en la zona prohibida, marcada en rojo).

a2) Verificación del efecto de la zona muerta del servomotor sobre el comportamiento del sistema de control.

Como se vio en el TP de Laboratorio N°1, el servomotor tiene una zona muerta en su característica *entrada-salida*. Esta zona muerta del servomotor, produce en el sistema de control de posición, una banda de insensibilidad. Dicha banda depende de la ganancia del Lazo de control.

Al mover el potenciómetro de referencia se puede comprobar la existencia de una zona muerta en el sistema de control de posición. Es decir, hay una banda de señal de referencia dentro de la cual el potenciómetro de salida, no se mueve (ver Fig. 3). La amplitud de esta banda depende de la ganancia "k" del lazo.

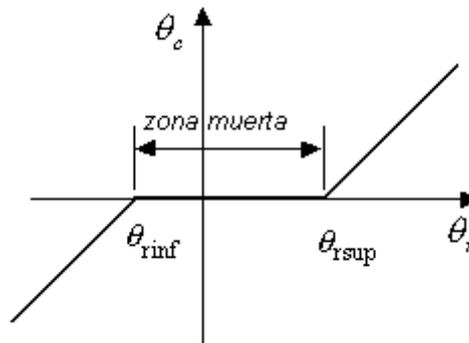


Fig. 3. Zona Muerta en el sistema de control.

Determinar la zona muerta del sistema de control de posición, en función de la ganancia "k" del lazo, y graficar los resultados obtenidos.

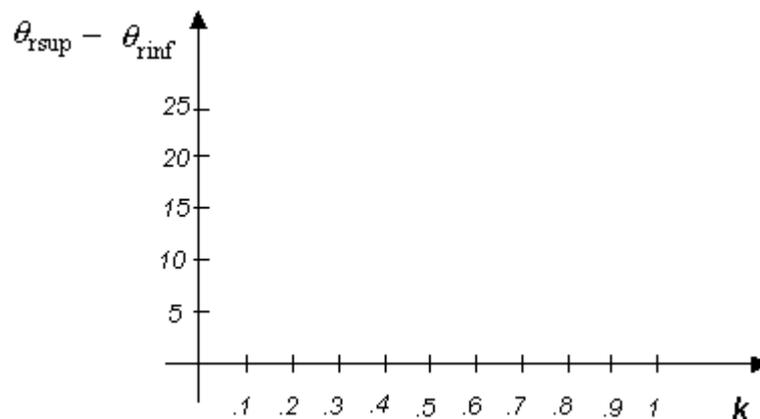


Fig. 4. Gráfico de la Zona Muerta del sistema de control, en función de la ganancia "k" del lazo.

a3) Efecto del agregado de un polo adicional en cadena directa:

El agregado de un polo adicional en la cadena directa del sistema de control, se efectúa a través de una red RC (provista con el Kit), de constante de tiempo: $\tau = 0.1$ seg. Ver figura 5.

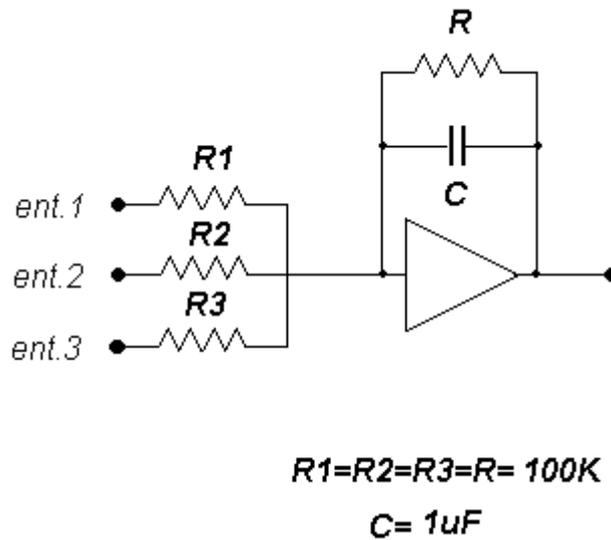


Fig. 5. Red RC ($\tau = 0.1$ seg) a colocar en cadena directa

Se deberá determinar la transferencia de la red RC, a los efectos de incluirla en el diagrama en bloques, indicado en la Figura 6.

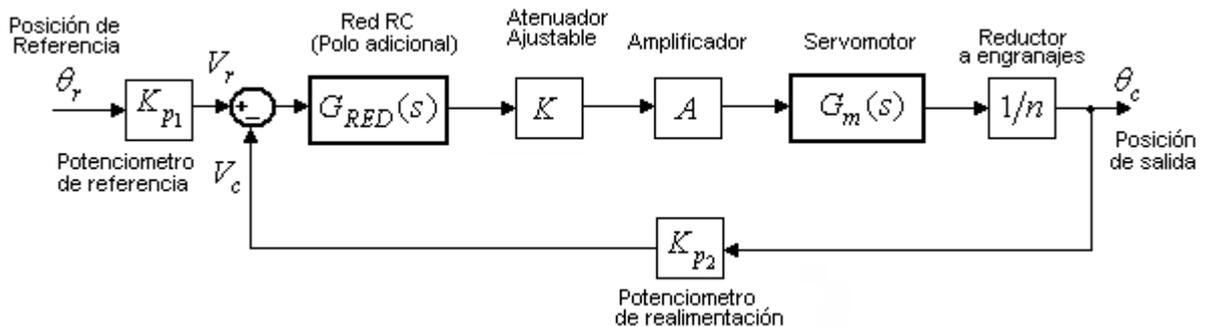


Fig. 6. Agregado del polo adicional, en el control de posición, mediante una red RC

Verifique, observando la respuesta temporal, el efecto de agregar la transferencia $G_{RC}(s)$ debido a la red RC. Explique lo observado, ayudándose con el Lugar de Raíces o la Respuesta en Frecuencia.

a4) Agregado de un rozamiento viscoso adicional:

Quitando el polo adicional, se agregará un rozamiento viscoso “*exterior*” (adicional) al motor, de naturaleza electromagnética (por corrientes parásitas, Foucault). Analice sobre el lugar de raíces, el efecto producido por el agregado de éste rozamiento viscoso. Verifique a través de la respuesta transitoria el efecto del elemento agregado. Compruebe que sucede con la corriente de armadura del servomotor en relación al rozamiento viscoso adicional.

¿Qué sucedería, si se agregara un rozamiento de este tipo, a un motor de potencia superior al ensayado?

a5) Análisis del control de posición como seguidor a referencia.

Utilizando un generador de señales con forma de onda senoidal, cuadrada y triangular aplicado en la referencia, verificar el comportamiento como seguidor a dicha referencia. Graficar mediante el osciloscopio las señales de referencia y posición de salida, en función de la ganancia K del lazo.

b) Control de posición angular, con realimentación de posición y velocidad.

Conecte al sistema de control de posición angular la generatriz taquimétrica integrada al servomotor y provista con el Kit. El atenuador variable, k_2 (colocado a la salida de la generatriz taquimétrica), permitirá simular la variación de la constante del taquímetro.

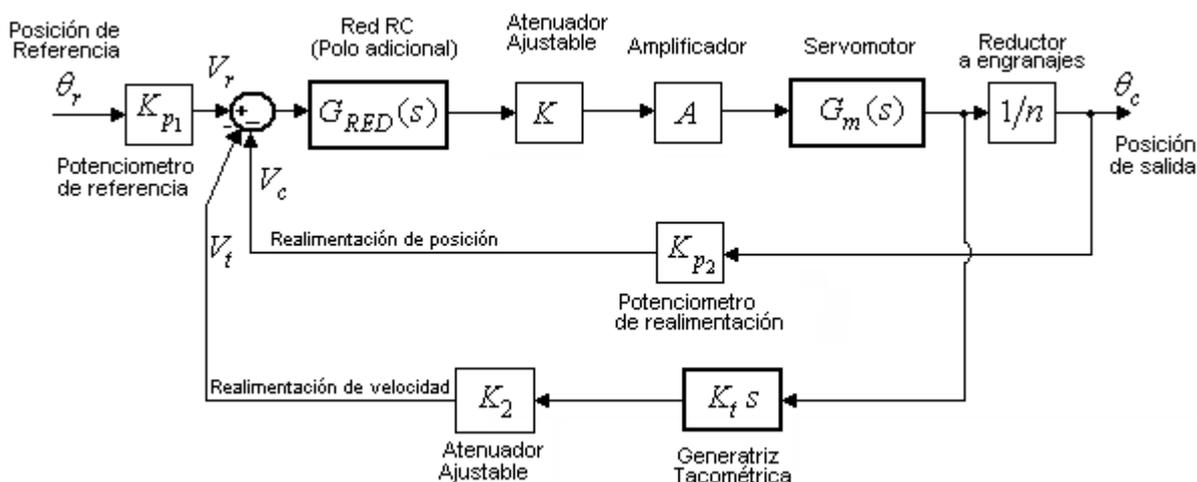


Fig. 7. Control de posición con realimentación taquimétrica

Analice mediante el lugar de raíces el efecto del agregado de éste lazo. Verifique mediante la respuesta temporal obtenida en el osciloscopio lo deducido con el lugar de raíces.

b1) Seguimiento a referencia.

Aplicando distintas señales de entrada (senoidal, cuadrada, triangular) verifique el seguimiento a las mismas, en función de la realimentación taquimétrica K_2 y de K . Justifique por qué el seguimiento en un caso es mejor que en otro.

b2) Comparación entre realimentar velocidad, en el control de posición, y agregar un rozamiento viscoso mecánico adicional.

Compare la realimentación taquimétrica con el efecto por el agregado de un rozamiento viscoso mecánico adicional (a_4). Utilice la corriente de armadura como variable para comparar ambas posibilidades de mejora, en el desempeño del lazo de control de posición.

b3) Ancho de Banda del sistema de control.

Determine el ancho de banda del sistema de control de posición angular con y sin realimentación taquimétrica, para algún juego de parámetros K , K_2 (sin el rozamiento mecánico adicional). Si observa diferencias en el ancho de banda justifique, empleando la técnica del Lugar de Raíces y la Respuesta en Frecuencia.

c) Control de velocidad angular

Armar el sistema de control como indica la figura 8. Una vez conectado verificar mediante observación visual, el comportamiento del control de velocidad (cuidando de no sobrepasar la corriente indicada en el amperímetro de la fuente).

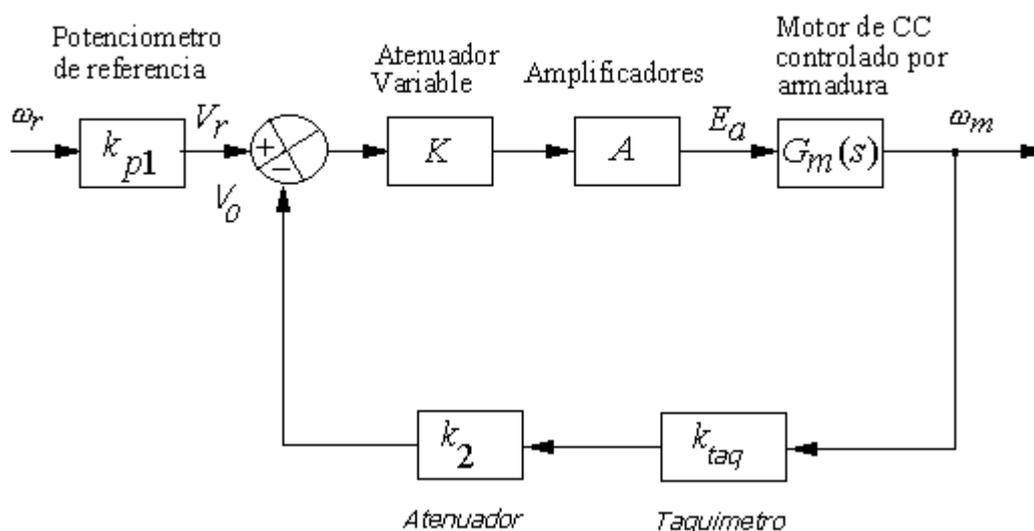
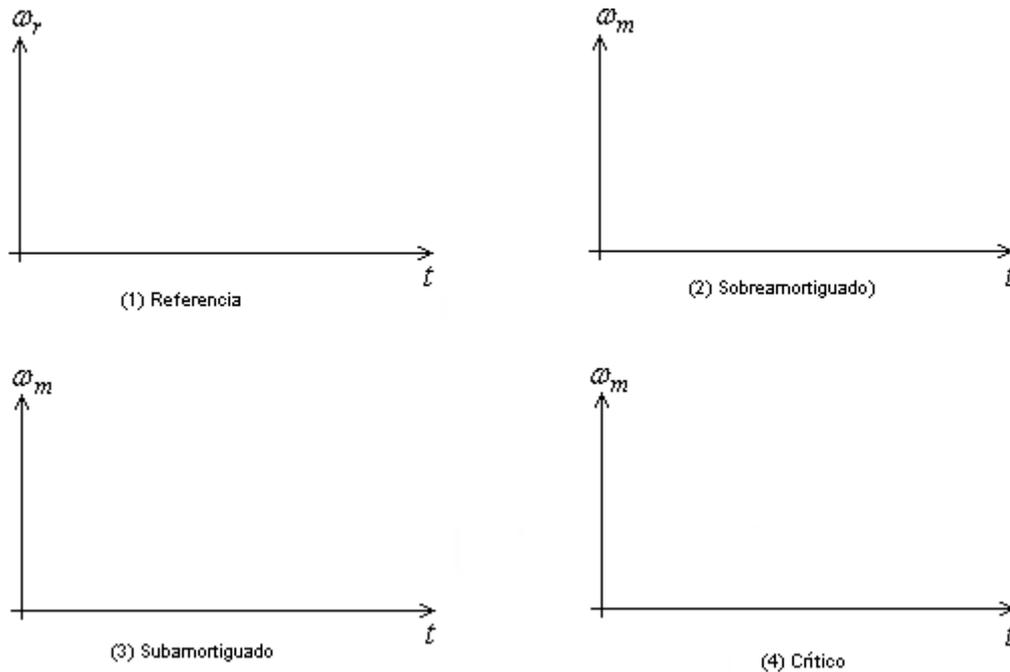


Fig. 8. Control de velocidad angular

c1) Respuesta temporal.

Una vez que ha sido verificado el comportamiento del control de velocidad, se aplicará un escalón de velocidad angular, ω_r (mediante una variación pequeña y rápida en el potenciómetro de referencia), y se registrará la respuesta para tres casos diferentes, ajustando la ganancia k . Utilizar el osciloscopio disponible para graficar las señales. Tomar debida nota de los tres casos indicados.



c2) Agregado de un polo adicional en cadena directa.

De la misma manera que en el apartado (a3), se observará el efecto, debido al agregado de un polo adicional, sobre la respuesta temporal del control de velocidad. Verificar si el sistema se puede llevar a la oscilación, cuidando de no sobrepasar la corriente límite en la fuente.

c3) Agregado de un rozamiento viscoso adicional.

De forma similar al punto (a4) se observará el efecto, sobre la respuesta temporal, por el agregado de un rozamiento viscoso mecánico adicional. En todos los casos se deberá cuidar que la corriente no sobrepase el valor límite indicado en el amperímetro de la fuente.

c4) Análisis del control de velocidad como seguidor a referencia.

Aplicando distintas señales de entrada (senoidal, cuadrada, triangular) verifique el seguimiento a las mismas en función de la ganancia de cadena directa y de la realimentación taquimétrica, K y K_2 . Justifique por qué el seguimiento en velocidad en un caso es mejor que en otro.

c5) Ancho de Banda.

Determine el ancho de banda del control de velocidad angular (sin el rozamiento mecánico adicional), para dos o tres situaciones de operación en función de las ganancias K y K_2 .

Comentarios y conclusiones finales

Después de realizado el trabajo de laboratorio, y completado los estudios correspondientes, se deberán incluir en esta sección todos los comentarios, observaciones y conclusiones que se consideren oportunas. Utilizar los gráficos obtenidos y las mediciones realizadas para fundamentar las conclusiones.

TRABAJO PRÁCTICO LABORATORIO N° 3 (Homework): SIMULACIÓN DINÁMICA DE MODELOS

OBJETIVO: Desarrollar y consolidar en los alumnos la capacidad para la simulación dinámica de sistemas. Asimismo se pretende que los estudiantes comprendan las ventajas de “*experimentar con el modelo*”, en lugar de “*experimentar con el sistema real*”. De la misma manera, se pretende que los alumnos “*obtengan conclusiones*”, al comparar los resultados logrados experimentalmente en el laboratorio con un sistema real, con los obtenidos en base a la simulación del modelo. Para el presente Trabajo de laboratorio se utilizará el MatLab 6.2 o posterior y el Toolbox Simulink.

1.- Control de posición angular sin realimentación de velocidad.

1a.- Utilizando la información obtenida en los TP N°1 y N°2, simular el modelo indicado en el diagrama en bloques de la figura 1. Obténgase el Lugar de raíces en función de K, la respuesta en frecuencia (indicando el ancho de banda) y, la respuesta dinámica para diferentes valores de la ganancia K. Comparar las curvas obtenidas por simulación con las halladas en el Laboratorio.

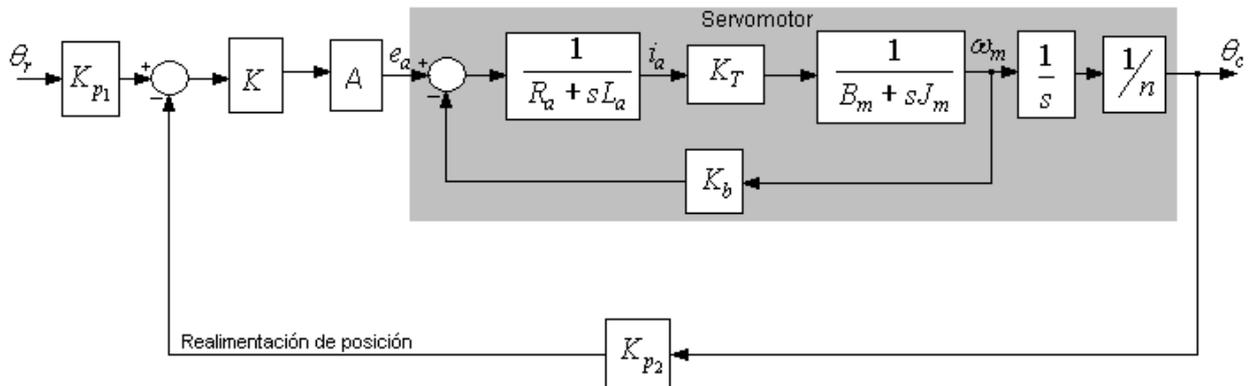


Fig. 1. Control de posición sin realimentación taquimétrica

1b.- Control de posición angular con el agregado de la red RC.

Agregar al control de posición la red RC (polo) del TP de laboratorio N°2, según se muestra en la figura 2 ,y volver a trazar el Lugar de Raíces en función de K y la respuesta dinámica para cada caso. Compare con lo observado en el TP de Laboratorio N° 2.

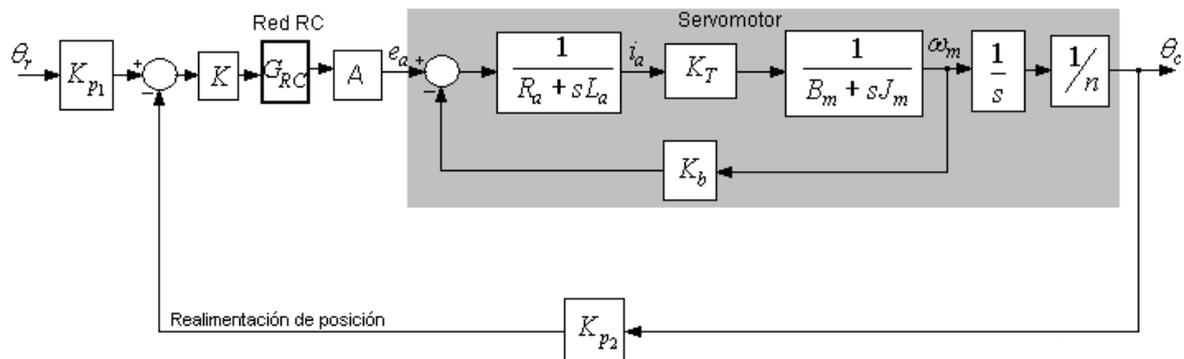


Fig. 2. Control de posición sin realimentación taquimétrica, con el agregado de la red RC.

1c) Efecto de un rozamiento viscoso adicional.

Varíe el valor del rozamiento viscoso B_m , mediante el agregado de un rozamiento adicional (similar a la práctica de laboratorio). Considere que el rozamiento viscoso varía entre B_m y $10B_m$. Analice el efecto del aumento del rozamiento viscoso sobre el Lugar de Raíces y la respuesta dinámica del sistema. Obtenga también el efecto sobre la corriente de armadura. Compare con lo observado en el TP laboratorio N° 2. Para simular este caso utilice el diagrama en bloques indicado en la figura 3.

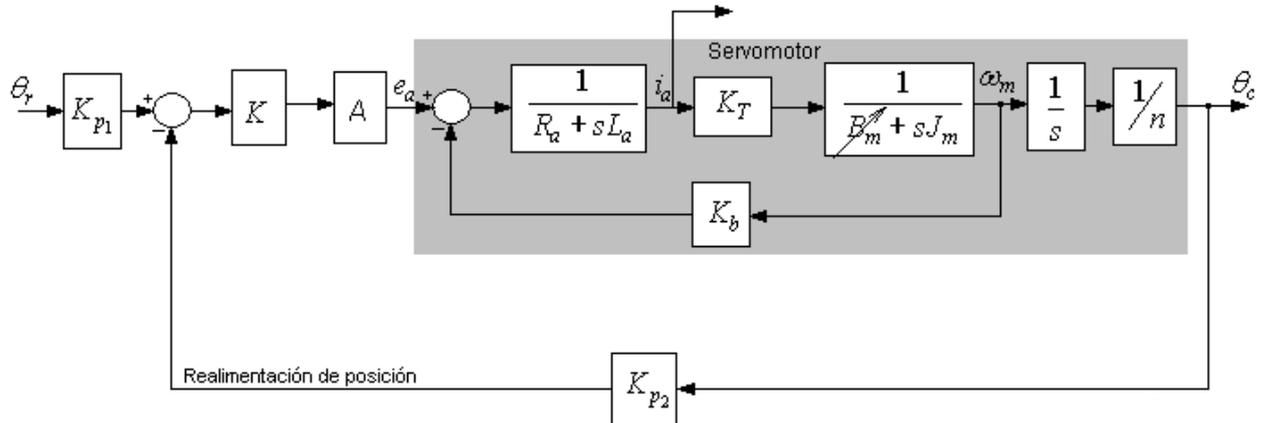


Fig. 3. Modelo para ver el efecto de la variación de B_m .

2.- Control de posición angular con realimentación de velocidad.

Se agrega un lazo de realimentación de velocidad, mediante la tensión proveniente de la generatriz taquimétrica integrada al motor de CC. El agregado de dicho instrumento sensor, se puede analizar sobre la base del diagrama en bloques indicado en la figura 4. Analizar el efecto de variar K y K_t sobre la respuesta dinámica y sobre el ancho de banda. Compare con lo observado en el TP de Laboratorio N°2. Considerar la corriente de armadura como una de las variables bajo consideración.

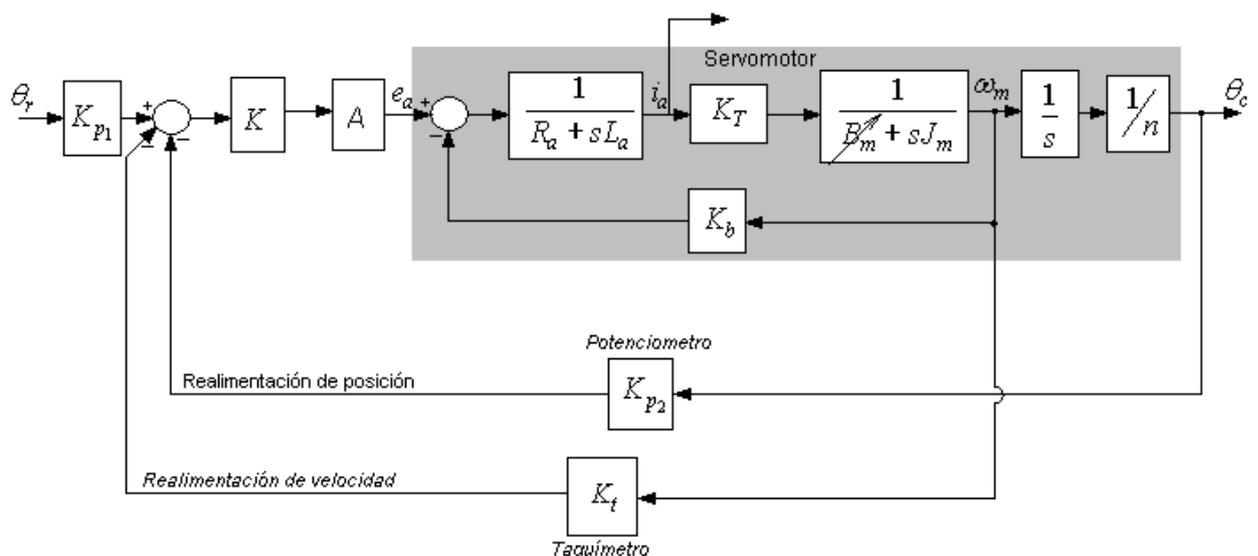


Fig. 4. Control de posición con realimentación de velocidad.

Comparar el efecto dinámico de variar K_t con el de variar B_m . Explicar desde el punto de vista físico las posibles diferencias.

3. Control de velocidad angular

Se procederá a simular el sistema de control de velocidad tal como se muestra en la figura 5 (Ídem al considerado en el TP Lab. N° 2). Analice el efecto de la variación de ganancia K y constante del tacómetro K_t sobre el comportamiento dinámico y sobre el ancho de banda del sistema. Compare con los resultados de las mediciones experimentales

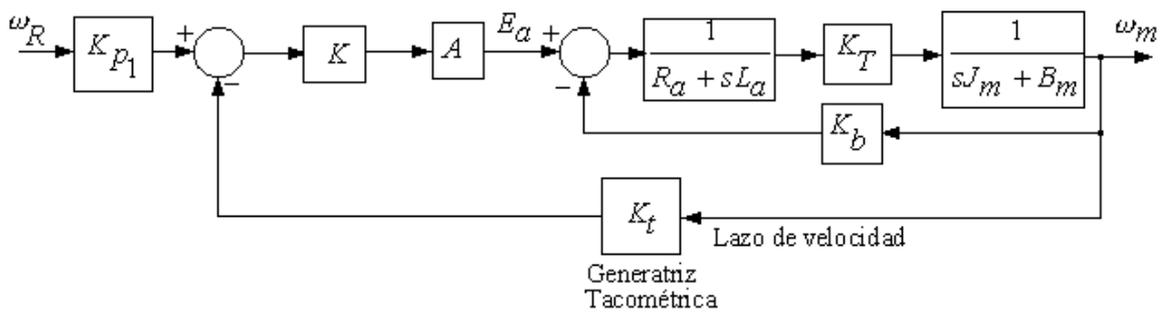


Fig. 5. Control de velocidad angular

4. Efecto de la zona muerta del servomotor.

Con el objeto de analizar el efecto de la zona muerta del servomotor, sobre el comportamiento del sistema de control de posición sin realimentación taquimétrica, se estudiará el efecto de la ganancia K , sobre el desempeño del control de posición. Para ello se implementará en Simulink el diagrama en bloques mostrado en la figura 6. Para tal fin se utilizará el bloque "zona muerta", ajustado con los valores obtenidos en el TP de laboratorio N° 1.

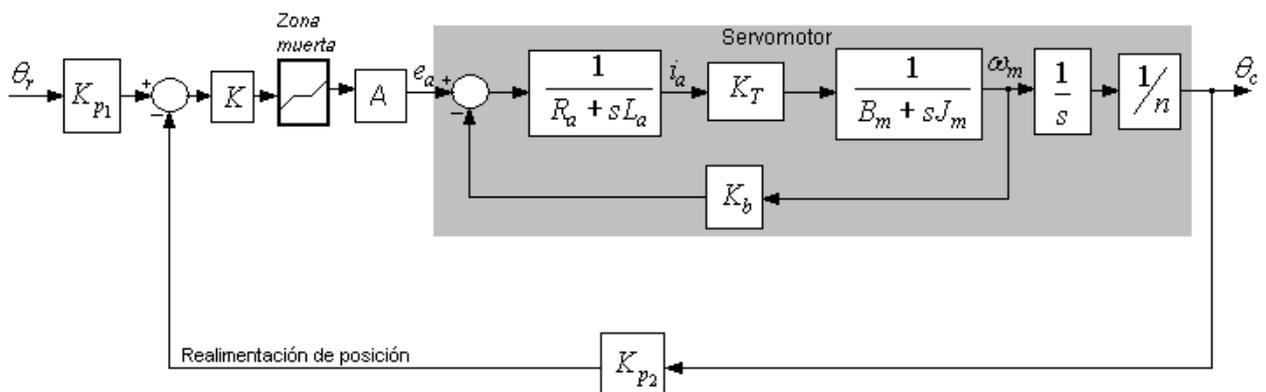


Fig. 6. Control de posición considerando la zona muerta del servomotor.

5.- Efecto de la realimentación de corriente de armadura.

En este punto se considerará la posibilidad de realimentar la corriente de armadura a través de una ganancia de corriente ajustable. Esto lo podremos hacer sin dificultad mediante la simulación dinámica del modelo (En el laboratorio no lo podemos hacer por el momento, ya que no se tiene un transductor de corriente adecuado). Se realizará el análisis de este efecto para los controles de posición y velocidad.

5.1. Efecto sobre el Control de posición.

En la figura 7 se muestra el sistema de control de posición con realimentación de velocidad y corriente de armadura. Los alumnos analizarán mediante simulación el efecto de variar la ganancia de corriente K_i , sobre el comportamiento dinámico del sistema. Comparar los resultados con los obtenidos en el punto (2) de este TP.

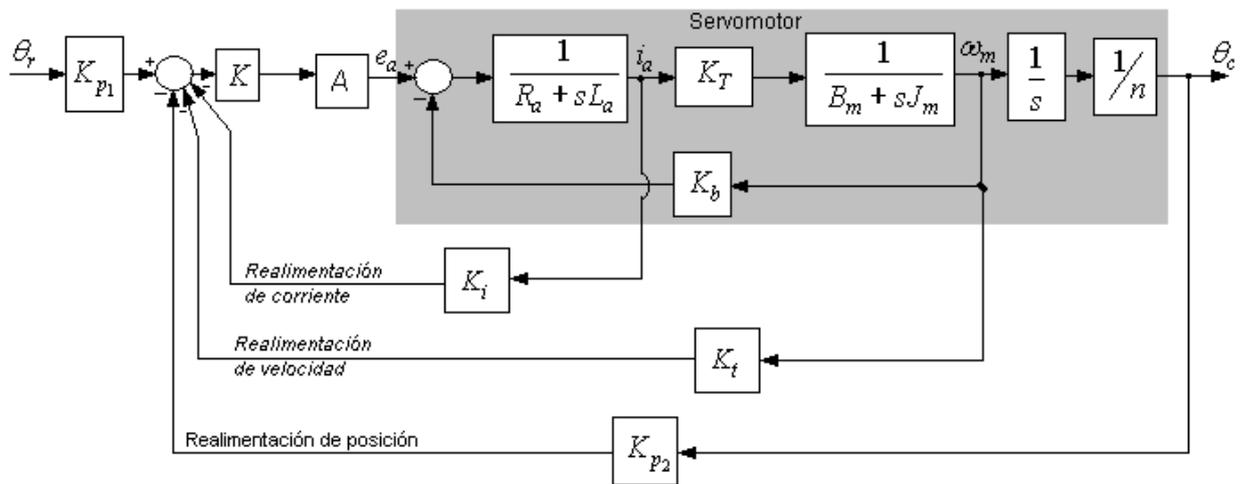


Fig. 7. Sistema de control de posición con realimentación de velocidad y corriente.

5.2. Efecto sobre el Control de velocidad

En la figura 8 se muestra el sistema de control de velocidad con realimentación de corriente de armadura. Los alumnos analizarán mediante simulación el efecto de variar la ganancia de corriente K_i , sobre el comportamiento dinámico del sistema. Comparar los resultados con los obtenidos en el punto (3) de este TP.

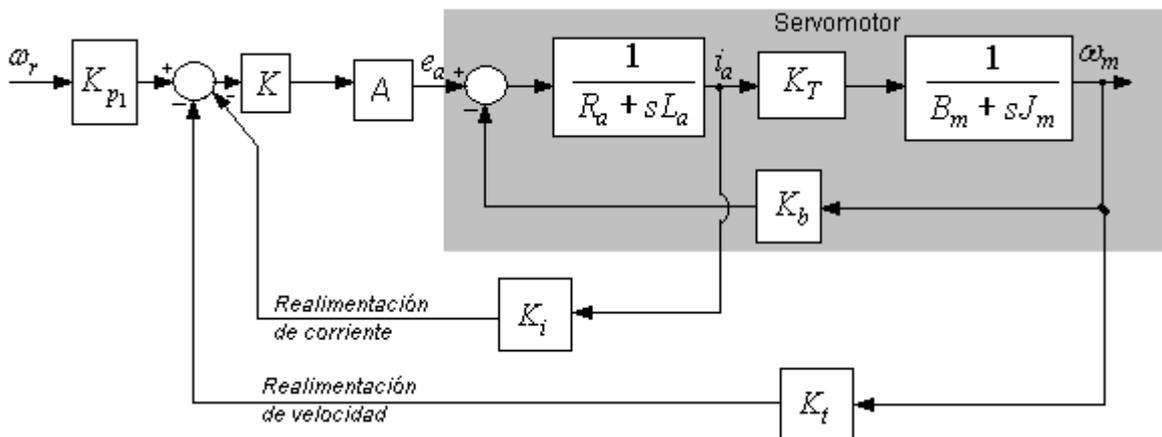


Fig.8. Sistema de control de velocidad con realimentación de corriente de armadura.

Gráficos

Con los modelos disponibles, tanto para control de posición angular como velocidad angular, con todas las realimentaciones que son objeto de estudio, se deberán realizar los gráficos de:

- a. Lugares de raíces.
- b. Diagramas de Bode a lazo abierto y cerrado.
- c. Diagramas de Nyquist.
- d. Diagramas de Nichols (Cartas de Nichols).
- e. Se determinarán, (i) el ancho de banda, (ii) margen de fase, (iii) margen de ganancia, de los sistemas de control considerados. Si hay parámetros ajustables se deberán considerar diferentes alternativas de ajuste y sus correspondientes valores del ancho de banda, margen de ganancia y margen de fase.
- f. Respuesta temporal de la planta (motor) frente a un escalón de tensión de armadura, donde se graficarán corriente, velocidad y posición en función del tiempo.
- g. Respuesta temporal del control de posición (en todas las versiones consideradas) frente a un escalón de referencia y rampa de referencia si correspondiera. Se graficarán todas las variables del sistema en función del tiempo, considerando varios ajustes de parámetros (p.ej.: la ganancia) si correspondiera.
- h. Respuesta temporal del control de velocidad (en todas las versiones consideradas) frente a un escalón de referencia y rampa de referencia si correspondiera. Se graficarán todas las variables del sistema en función del tiempo y para varios ajustes de parámetros (por ejemplo: ganancia) si correspondiera.

Nota: Todos los gráficos deberán contener las escalas, nombre de las variables, unidades, títulos y toda otra leyenda que sea de utilidad.

Conclusiones.

Los alumnos obtendrán conclusiones sobre la base de las simulaciones realizadas. Para ello emplearán los lugares de raíces, diagramas frecuenciales y respuestas temporales que sean necesarias, para avalar y fundamentar las conclusiones.

Dentro de las conclusiones deberán existir taxativamente las correlaciones de la "Experimentación con los modelos" y la "Experimentación con los sistemas físicos reales", realizada en el TP de Laboratorio N° 2.

Contenido Guía TP (Rev. 1 año 2010)-Índice

Tapa.....	pág. 1
Prefacio.....	pág. 2
T.P. Aula N°1.....	pág. 3 a 10
T.P. Aula N° 3.....	pág. 11 a 20
T.P. Aula N° 3.....	pág. 21 a 24
T.P. Aula N° 4.....	pág. 25 a 29
T.P. Aula N° 5.....	pág. 30 a 39
T.P. Aula N° 6.....	pág. 40 a 45
T.P. Aula N° 7.....	pág. 46 a 51
T.P. Aula N° 8a.....	pág. 52 a 58
T.P. Aula N° 8b.....	pág. 59 a 62
T.P. Aula N° 9.....	pág. 63 a 67
T.P. Lab. N° 1.....	pág. 68 a 78
T.P. Lab N° 2.....	pág. 79 a 86
T.P. de PC (Homework).....	pág. 87 a92
Índice.....	pág. 93