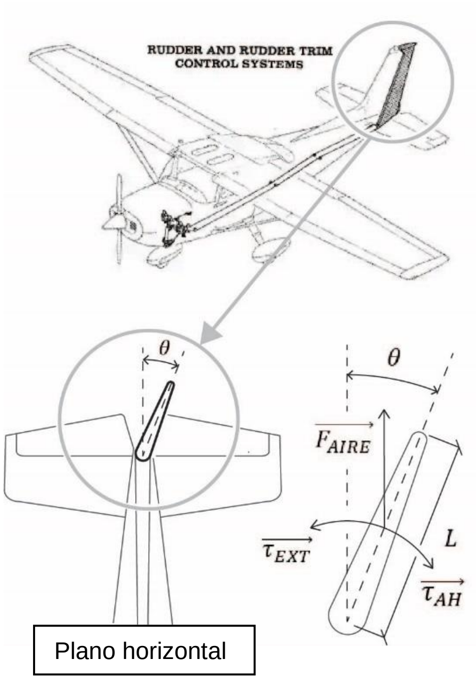
Carrera:	**INGENIERÍA ELÉCTRICA**	**Instituto de Ingeniería Eléctrica**
Materia:	**CONTROL**	
Asignatura:	**SISTEMAS Y CONTROL**	**Departamento de Sistemas y Control**
Plan:	**97**	
Fecha:	**16/02/2023**	**PERIODO: FEBRERO 2023**

Problema 1

El sistema de control de la mayoría de las aeronaves pequeñas se sirve de una serie de superficies móviles que modifican la pose de la aeronave aprovechando las fuerzas de acción y reacción del aire en el que se desplazan.

El siguiente problema se centra en el modelado y diseño del timón de dirección de una avioneta. Este timón modifica la pose de la aeronave en el plano horizontal. El timón se modela como una superficie rectangular de largo L, que pivota sobre uno de sus vértices.



Sobre dicha superficie actúan tres torques distintos:

- Un torque generado por acción del rozamiento del aire contra la superficie.
  - La fuerza de rozamiento del aire actúa siempre en la dirección de desplazamiento de la aeronave, y puede modelarse como $\overrightarrow{F_{AIRE}} = -b.sen(\theta).\overrightarrow{v_{AIRE}}$, con:
    - b un coeficiente de rozamiento
    - θ el ángulo entre la superficie de control y la dirección de desplazamiento
    - $\overrightarrow{v_{AIRE}}$ la velocidad relativa de la aeronave en el aire

    La fuerza $\overrightarrow{F_{AIRE}}$ actúa en el centro de masa del timón $\left(\frac{L}{2}\right)$
- Un torque generado por un sistema de accionamiento hidráulico τ_{AH}
- Un torque externo τ_{EXT} generado por fenómenos no modelados

Además, se suponen las siguientes características:

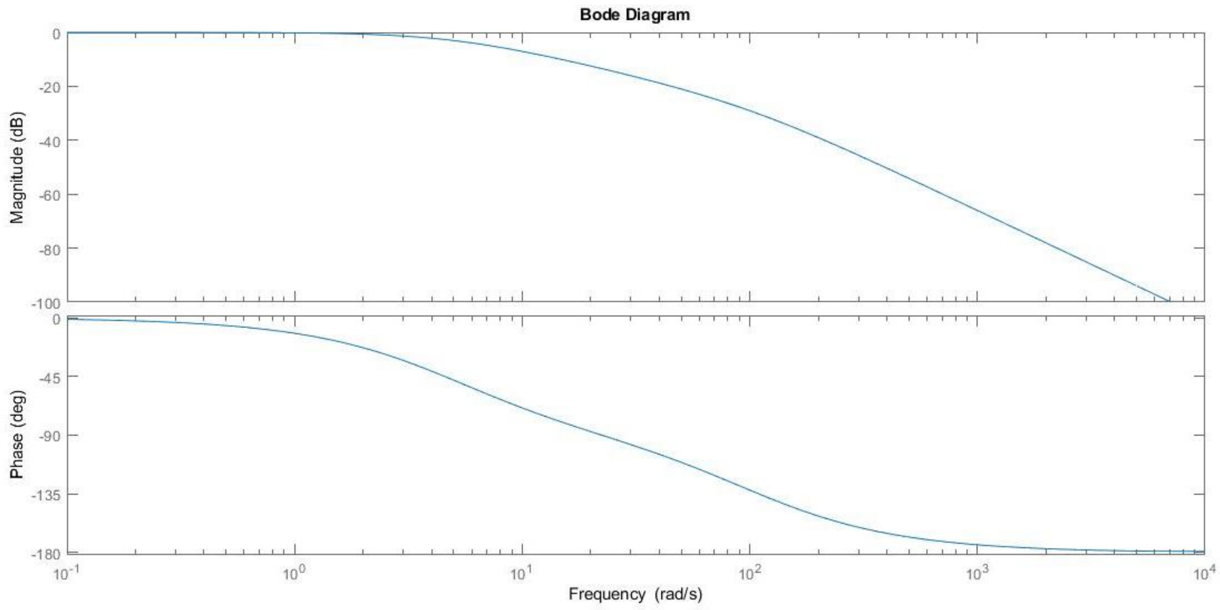
- La aeronave se considera un sistema inercial en si misma. Es decir, se desprecian las aceleraciones de transporte sobre el timón de dirección
- El timón de dirección tiene una inercia J sobre el eje de giro señalado en la figura

Se pide:

1. Desarrollar un modelo en variables de estado del sistema descrito, considerando $[\tau_{AH}, \tau_{EXT,} v_{AIRE}]$ como entradas y θ como salida

El sistema hidráulico que gobierna el timón es controlado por un voltaje v_C, generando τ_{AH} como salida. Con el objetivo de modelar este sistema se lleva adelante un ensayo en tierra ($v_{AIRE} = 0$, $\tau_{EXT} = 0$).

El ensayo consiste en inyectar señales v_C de distintas frecuencias y medir la velocidad angular resultante del timón $\dot{\theta}$, generando un **diagrama de Bode para** $\frac{\dot{\theta}}{v_c}(s)$**.** El resultado obtenido se muestra en la siguiente figura



2. En base al resultado del punto anterior, obtener un modelo para la **transferencia** $\frac{\tau_{AH}}{v_c}(s)$
3. Desarrollar una linealización del modelo obtenido en la parte 1 en torno al punto $\left[0, 0, v_{AIRE_0}\right]$. Analice conceptualmente el resultado obtenido, prestando especial atención a la relación entre las entradas y salidas del sistema.

Por su parte, el sistema hidráulico es comandado por un bloque con una respuesta $v_C = K.(\theta_{SP} - \theta)$, donde θ_{SP} es una referencia de ángulo objetivo, K es una constante positiva y θ es el ángulo actual del timón.

4. Desarrollar un diagrama de bloques del sistema completo, considerando los resultados de las partes 1, 2 y 3
5. Determinar la matriz de transferencia del sistema

A partir de esta sección, se consideran los siguientes valores numéricos

$J = 50kg.m^2$ $\qquad b = 100\frac{N.s}{m}$ $\qquad L = 1m$ $\qquad v_{AIRE_0} = 100\frac{m}{s}$

6. Dibujar el lugar geométrico de las raíces para el subsistema $\frac{\theta}{\theta_{SP}}(s)$. Estudiar la estabilidad del subsistema según el parámetro K
7. Determinar el valor de K para que el subsistema $\frac{\theta}{\theta_{SP}}(s)$ tenga el tiempo de levantamiento más rápido posible sin presentar comportamiento oscilatorio.
8. Analizar la estabilidad del subsistema $\frac{\theta}{\tau_{EXT}}(s)$. En caso de que el sistema no sea estable, proponer un sustituto para el bloque K que garantice la estabilidad

Carrera: INGENIERÍA ELÉCTRICA — **Instituto de Ingeniería Eléctrica**
Materia: CONTROL
Asignatura: INTRODUCCIÓN A LA TEORÍA DE CONTROL — **Departamento de Sistemas y Control**
Plan: 97
Fecha: 16/02/2023 — **PERIODO: FEBRERO 2023**

Problema 2

En la Figura 1 se representa esquemáticamente el funcionamiento de una máquina laminadora. Una placa de acero de espesor uniforme e se introduce a velocidad constante v entre dos rodillos de compresión separados por una distancia variable y (menor que e). A una distancia d del plano determinado por los ejes paralelos de los rodillos un sensor óptico mide el espesor y_S (variable) de la placa laminada.

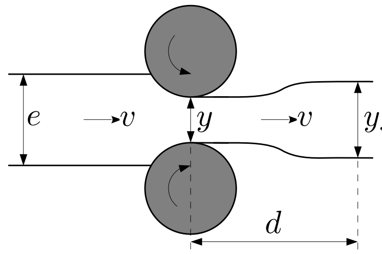


Figura 1

La separación entre los rodillos de masa m se ajusta como se ilustra en la Figura 2. Para convertir movimiento rotatorio en lineal, se utiliza un sistema que consta de un piñón acoplado a un par cremalleras. El eje del piñón se encuentra fijo y las cremalleras son solidarias a los ejes de los rodillos de compresión. Cuando el piñón gira, acerca o aleja los rodillos entre sí, de manera simétrica con respecto al plano que pasa por el eje del piñón y es perpendicular al plano formado por los ejes paralelos de los rodillos. Mediante la aplicación de un torque T se acciona el piñón, de radio efectivo r, y de esta forma se transmite fuerza a los rodillos que comprimen la lámina de acero.

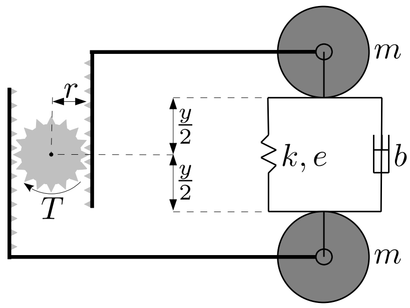


Figura 2

Se asume que:

- El piñón, las cremalleras y los brazos, que mantienen las cremalleras solidarias a los ejes de los rodillos, tienen masa despreciable.
- La fricción del mecanismo de compresión puede modelarse como un amortiguador de constante de amortiguamiento b entre los dos rodillos.
- La resistencia a la compresión, por parte de la placa de acero, puede modelarse como un resorte de constante k y longitud natural e entre los dos rodillos.
- El acero tiene un comportamiento perfectamente plástico: su deformación es irreversible por pequeña sea la compresión.
- La compresión de la lámina de acero afecta su densidad y su espesor, pero no su velocidad de circulación, v, que se asume constante.

1) Halle las ecuaciones que rigen la dinámica del sistema de entrada T y salida y_S.

2) Determine el torque T_0 (constante) para el cual el proceso de laminado reduce 10 % el espesor de la placa introducida en la máquina. Linealice el modelo hallado en 1) en torno a este punto de operación. Halle la función de transferencia $H(s) = \frac{\tilde{y}_S}{\tilde{T}}(s)$ del modelo linealizado.

3) Bosquejar las posibles respuestas de $H(s)$ ante un escalón unitario distinguiendo solamente entre casos <u>cualitativamente</u> distintos. Discutir en función de los parámetros del problema.

Para las siguientes partes del problema se asumen los siguientes valores en unidades compatibles:

$$k = 10, \qquad b = 7, \qquad m = 2, \qquad r = \frac{1}{2}, \qquad d = 1, \qquad v = 4.$$

La máquina laminadora cuenta con un sistema de control de espesor de la placa laminada en tiempo discreto como se muestra en la Figura 3, donde:

- el bloque MOC es un mantenedor de orden cero,
- $C(z)$ es una función de transferencia de tiempo discreto programable como cociente de polinomios,
- K es una constante positiva, y
- el período de muestreo h es igual a d/v.

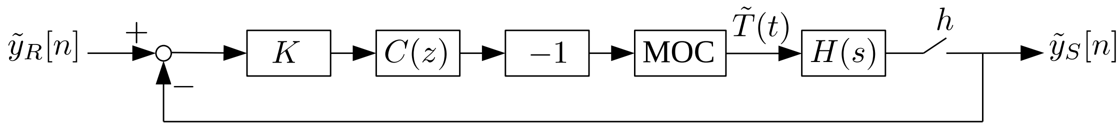


Figura 3

4) El vendedor de la máquina laminadora afirma que: para $C(z) = 1$, el error ($\tilde{y}_R - \tilde{y}_S$) en régimen estacionario ante una entrada escalón en $\tilde{y}_R$ se puede hacer arbitrariamente pequeño eligiendo K suficientemente grande. ¿Es esto verdadero? Justifique detalladamente.

5) Se decide hacer uso de la flexibilidad que brinda la programabilidad de la función de transferencia $C(z)$. Se requiere que:

- $\frac{\tilde{Y}_S}{\tilde{Y}_R}(z)$ tenga ganancia unitaria en régimen estacionario,
- la suma de ceros y polos de $C(z)$ sea la menor posible.

Proponga $C(z)$ y explique cómo elegiría $K > 0$. Justifique detalladamente.

6) Para evaluar el desempeño del diseño del punto 5) mediante simulaciones numéricas, se programa, en un ambiente de programación gráfico, un diagrama de bloques que implementa el sistema realimentado de tiempo discreto, de entrada $\tilde{y}_R$ y salida $\tilde{y}_S$, representado en la Figura 3. Dibuje este diagrama de bloques utilizando <u>solamente</u> bloques proporcionales, sumadores, y retardos, <u>minimizando</u> la cantidad de estos últimos. Señale la parte del diagrama de bloques que implementa la función de transferencia $C(z)$.