

# CONTROL MODERNO

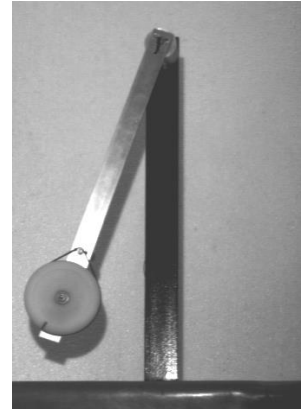
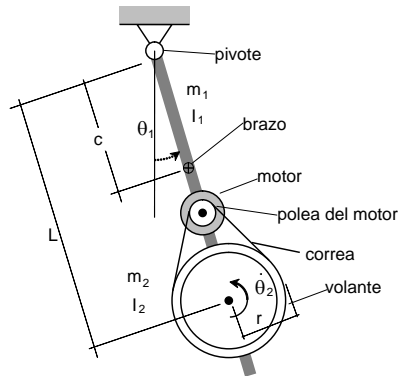
1º CUATRIMESTRE 2023 - UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR

## INFORME N° 2: MODELO EN ECUACIONES DE ESTADOS E IDENTIFICACIÓN DE PARÁMETROS

Fecha de entrega primera parte: 20/04/2023

Fecha de entrega informe final: 04/05/2023

El sistema bajo estudio es el *péndulo invertido* con volante de inercia. Un esquema del sistema se muestra en la figura:



Considerar como variable de entrada a la tensión del motor y como variable de salida la posición angular del brazo del péndulo. Además, considere que son despreciables las fricciones en los ejes y el momento de inercia del motor.

A partir de las ecuaciones diferenciales que rigen la dinámica de este sistema obtenidas en el informe anterior, desarrolle los siguientes puntos:

### **Primera parte** (fecha límite: **21/04/2023**):

En base a mediciones experimentales provistas por la cátedra: (tensión del motor (control),  $\theta_1$ ,  $\theta_2$ ,  $T_s=0.01s$ ) estimar velocidades y aceleraciones usando diferencias finitas ascendentes:  $\dot{x}_1[kT] \approx \frac{x_1[(k+1)T] - x_1[kT]}{T}$ , descendentes:  $\dot{x}_1[kT] \approx \frac{x_1[kT] - x_1[(k-1)T]}{T}$ , o un promedio de ambas,

donde  $T$  es el tiempo entre las muestras de medición. Si es necesario filtre las señales estimadas para reducir el ruido incrementado al derivar. [Recomendación: pruebe el estimador con una señal conocida, como por ejemplo:  $\sin(\omega t)$  y  $\cos(\omega t)$ ].

Responder la tarea de Moodle con un archivo comprimido con las señales estimadas para los cuatro grupos de mediciones. Cada grupo debe contener 8 archivos con los siguientes nombres:

```
tita1.dat  
tita2.dat  
velocidad1.dat  
velocidad2.dat  
aceleración1.dat  
aceleración2.dat  
control.dat  
tiempo.dat
```

En cada grupo, todos los vectores deben tener la misma longitud, y deben estar sincronizados, es decir la componente  $k$ -ésima de cada uno corresponde a la señal evaluada en el mismo instante de tiempo( $k$ ) que el resto de las señales. Esto es importante para los cálculos de la segunda parte. Para generar estos archivos desde la línea de comandos de Matlab, si tenemos un vector que se llama `velocidad1` y lo queremos guardar con el mismo nombre en archivo de texto (ascii):

```
save velocidad1.dat velocidad1 -ascii
```

es decir luego de `save` va el nombre del archivo, luego la variable y después el ajuste del format

Segunda parte:

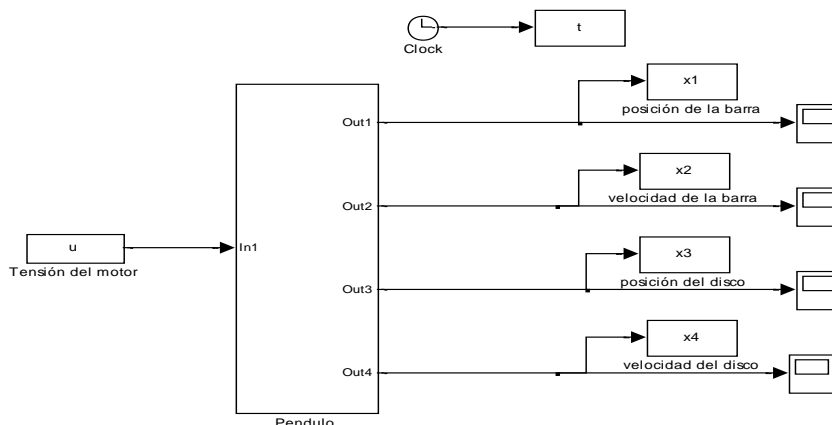
- a) Hallar una representación en variables de estado, detallando las ecuaciones de estado y de salida.
- b) Considerar los nuevos parámetros  $q_i$  y  $\rho$ , que están vinculados con los parámetros físicos del sistema por las siguientes relaciones:

$$q_1 = \frac{g(m_1 c + m_2 L)}{m_1 c^2 + m_2 L^2 + I_1}, \quad q_2 = \frac{N^2 k_T k_F}{R} \frac{1}{m_1 c^2 + m_2 L^2 + I_1}, \quad q_3 = \frac{N k_T}{R} \frac{1}{m_1 c^2 + m_2 L^2 + I_1},$$
$$\rho = (m_1 c^2 + m_2 L^2 + I_1)/I_2,$$

donde  $N$  es la relación de reducción entre la polea del motor y la del disco,  $R$  la resistencia eléctrica del bobinado del motor,  $k_T$  la constante de torque y  $k_F$  la constante de la fuerza contraelectromotriz del motor,  $I_1$  e  $I_2$  son los momentos de inercia con respecto al centro de masa de la barra y el disco.

Expresar las ecuaciones de estado obtenidas en a) en función de estos parámetros y observar la linealidad con respecto a los parámetros:  $(q_1, q_2, q_3, \rho)$ .

- c) A partir de las ecuaciones lineales obtenidas en b) las mediciones de las posiciones y las estimaciones de las derivadas (primera parte), encontrar un conjunto de parámetros que minimice el error medio cuadrático [Recomendación: usar en MATLAB la función “svd”, ver tabla 2.6 pag. 60 del libro que sigue la cátedra (Vaccaro), ecuación (2.39), o la operación de pseudoinversa de MATLAB]. ¿Hay incertidumbre en la estimación de los parámetros?
- d) Realizar un modelo en SIMULINK con el modelo no lineal identificado (utilice como ejemplo el modelo provisto por la cátedra en “modelo.zip”). Comparar con las mediciones y comprobar la validez de los parámetros identificados, del modelo y de las simplificaciones consideradas. El resultado de este análisis debe conducir a un modelo “nominal”. Corresponde a elegir el conjunto de parámetros que permita que el desempeño del sistema real difiera “poco” del sistema nominal. Más adelante se diseñará un controlador basado en el modelo nominal y se desea que al utilizar el controlador en el sistema físico real se conserve el desempeño nominal (robustez)



- e) Realizar un Informe Final detallando todo lo desarrollado ambas partes y el **Modelo Nominal** del péndulo obtenido.

Fecha de entrega del Informe 2 (primera y segunda parte): <b>04/05/2023</b>
---