

# Identificación y control de la grúa

## Grupo B

D.Castro   G.Elizondo   S.Gamboa

Instituto Tecnológico de Costa Rica  
Escuela de Ingeniería Electrónica  
Laboratorio de Control Automático

4 de noviembre de 2021

# Contenidos

## 1 Introducción

- Resumen
- Objetivos Generales
- Objetivos Específicos

## 2 Análisis de la Grúa

- Planta Grúa
- Diseño de Controladores

## 3 Conclusiones

- Conclusiones
- Recomendaciones

## 4 Bibliografía

- Bibliografía

# Resumen

Se diseñan 2 diferentes controladores para la planta llamada grúa la cual además contiene un péndulo doble. Dichos controladores se realizan con las herramientas de Matlab(Simulink y Sisotool). Por último se muestran los resultados obtenidos en la planta real.

# Objetivos Generales

- Identificar y controlar la planta conocida como grúa con péndulo doble.

## Objetivos Específicos

- Obtener la función de transferencia de grúa con péndulo empíricamente
- Diseñar 2 diferentes controladores que cumplan los requerimientos solicitados para la planta grúa.
- Analizar el correcto funcionamiento de los diferentes controladores tanto simulado como físicamente con base en los requerimientos de diseño.

# Planta Grúa

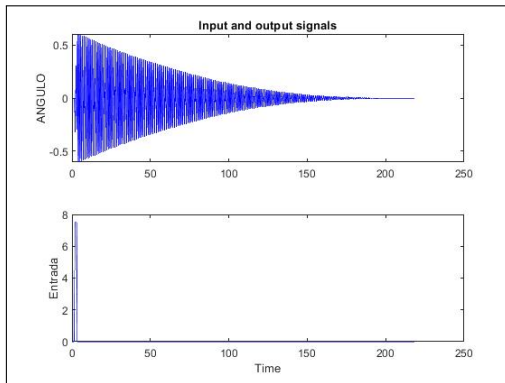


Figura 1: Gráfica de datos experimentales del ángulo de la planta sin control

# Planta Grúa

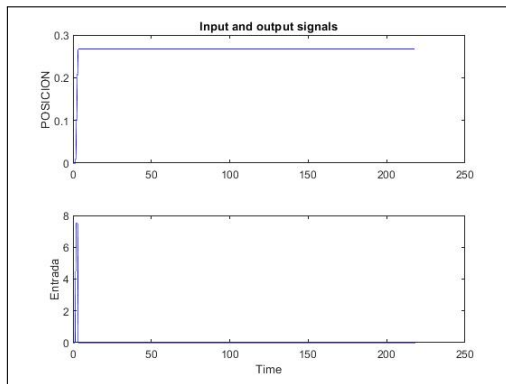


Figura 2: Gráfica de datos experimentales del posición de la planta sin control

## Utilización IDENT (systemIdentification)

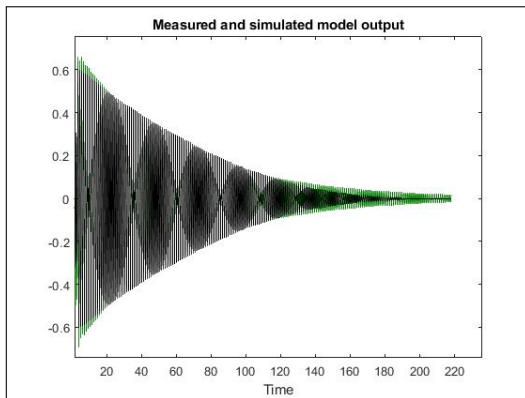


Figura 3: Comparación de la curva experimental y su función de transferencia ángulo, con un ajuste de 84,44 %



# Planta Grúa

Considerando la ecuación del Grúa obtenida luego de realizar el procedimiento para obtener los dos sistemas SISO:

$$Angulo(s) = \frac{-0,3808(s + 2,694)}{(s^2 + 0,0342s + 35,32)} \quad (1)$$

$$Posicion(s) = \frac{0,4342}{s(s + 18,05)} \quad (2)$$

## Descripción SIMO

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & -18,05 & 0 \\ 0 & -35,32 & 0 & -0,0342 \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} 0 \\ -0,3808 \\ 0,4342 \\ -1,013 \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$C = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad D = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (4)$$

# Realimentación de Estado Integral - Ubicación de Polos

## Ubicación de Polos:

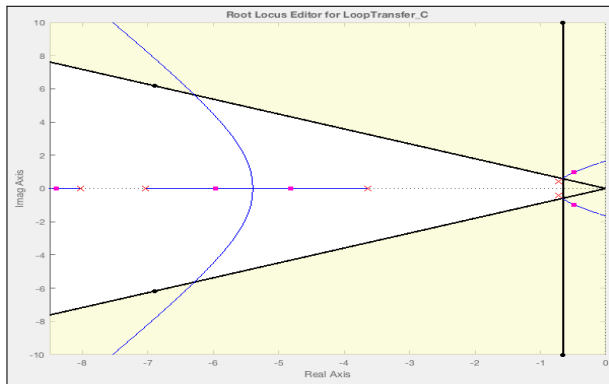


Figura 4: Utilización de Sisotool para Realizar la ubicación de los polos

## Realimentación de Estado Integral - Ubicación de Polos

Se procedió a realizar la expansión de las matrices A y B:

$$A_t = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -18,05 & 0 & 0 \\ 0 & -35,32 & 0 & -0,0342 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad B_t = \begin{bmatrix} 0 \\ -0,3808 \\ 0,4342 \\ -1,013 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (5)$$

Utilizamos el comando place de Matlab:

$$Ks = place(A_t, B_t, P) \quad (6)$$

Donde P es un vector fila, con los polos.

## Realimentación de Estado Integral - Ubicación de Polos

Llegamos a obtener las siguientes constantes luego de aplicar el método place (ackerman):

- $K = 34.2644 \ -15.5097 \ -4.3372 \ -1.4153$
- $K_i = 13.1983$

## Realimentación de Estado Integral - Ubicación de Polos

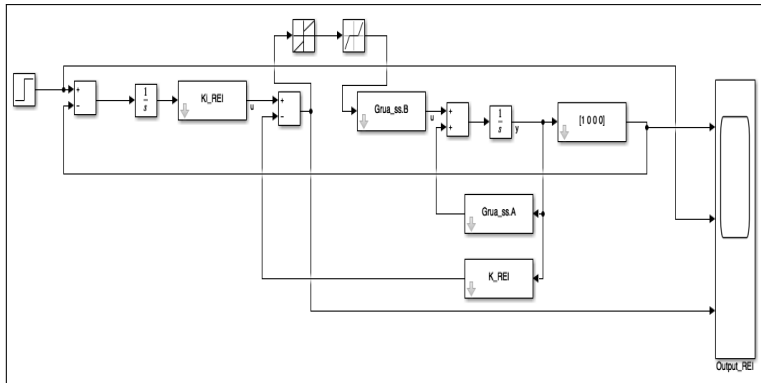


Figura 5: Diagrama de Bloques de la Planta Controlada

## Realimentación de Estado Integral - Ubicación de Polos

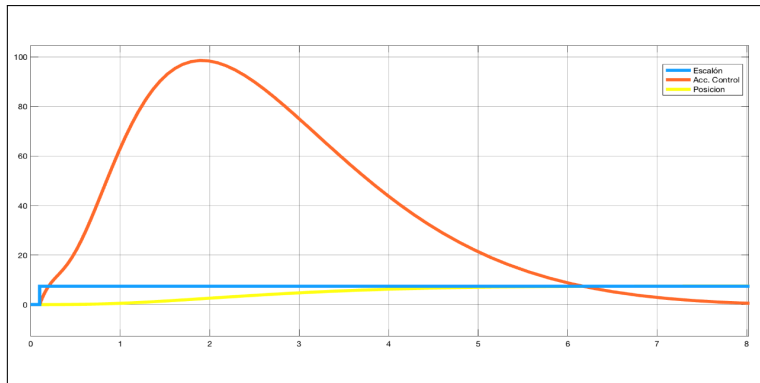


Figura 6: Gráficas Grúa controlado con Ubicación de Polos Simulink

## Realimentación de Estado Integral - Ubicación de Polos

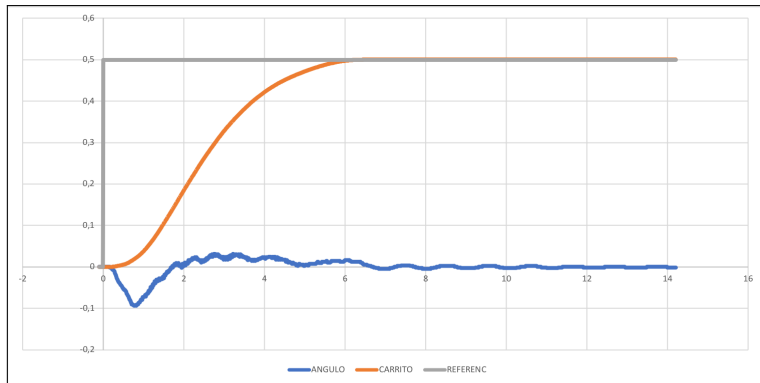


Figura 7: Gráficas Grúa controlado con Ubicación de Polos Experimental



## Realimentación de Estado Integral - Ubicación de Polos

- Error de Estado Estacionario: 0 %
- Porcentaje de Sobre-impulso: 0 %
- Tiempo de Estabilización: 5,565s
- Ángulo máximo:  $0,031rad = 1,78^\circ$
- Ángulo mínimo:  $-0,094rad = -5,39^\circ$

## LQR

Función de la planta

$$A_{LQR} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -18,05 & 0 & 0 \\ 0 & -35,32 & 0 & -0,0342 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$B_{LQR} = \begin{bmatrix} 0 \\ -0,3808 \\ 0,4342 \\ -1,0130 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$C_{LQR} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad D_{LQR} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (9)$$

## LQR

Definimos matrices  $Q$  y  $R$ :

$$Q = \begin{bmatrix} 400 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 400 \end{bmatrix} \quad (10)$$

$$R = [1] \quad (11)$$

# Control LQR

Realizando la descomposición de las constantes en forma de un PID, tenemos:

$$K = \begin{bmatrix} 49,0240 & -5,9160 & 2,6524 & -0,0811 \end{bmatrix} \quad (12)$$

$$Ki = 20 \quad (13)$$

## Simulink LQR

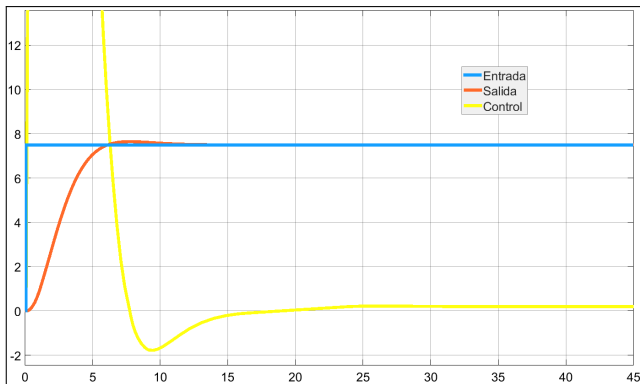


Figura 8: Gráficas Grúa controlado con LQR Simulink



## Forma Experimental LQR

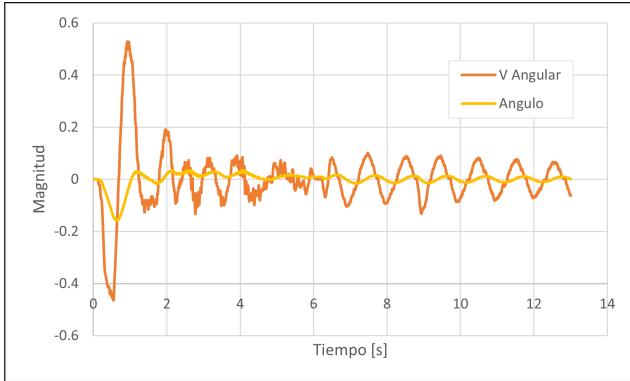


Figura 10: Gráficas del ángulo de Grúa controlado con LQR Experimental

## Filtro de LQR

- Error de Estado Estacionario: 0 %
- Porcentaje de Sobre-impulso: 0 %
- Tiempo de Estabilización:  $5,74s$
- Ángulo máximo:  $0,159rad = 9,11^\circ$



## Conclusiones (1)

La realimentación de estado integral por el método de ubicación de los polos resultó ser de mayor precisión en cuanto a los requerimientos de diseño que se solicitan.

## Conclusiones (2)

Para el controlador LQR, la matriz  $Q$  tiene más peso en los valores de posición y de error de estado estacionario.

# Recomendaciones

- Evitar los valores muy altos en las constantes del controlador, ya que hacen que la planta no funcione aunque en la simulación si lo haga.

# Bibliografía



E. Interiano. Control de velocidad angular del motor CD hps5130. ITCR, Cartago, Costa Rica, 2021



A. Ruiz. Instructivo Grúa. ITCR, Cartago, Costa Rica, 2021



E. Interiano. Presentación - Control por LQR y LQG. ITCR, Cartago, Costa Rica, 2021



E. Interiano. Presentación - Realimentación de estado integral. ITCR, Cartago, Costa Rica, 2021