

Gonzalo Belascuen, Nahuel Aguilar

En este proyecto estabilizamos un péndulo invertido en la posición vertical utilizando una rueda de inercia accionada por un motor eléctrico. Este motor es controlado mediante un puente H por un microcontrolador, que mide la posición y velocidad del péndulo y la rueda con encoders. Con estas mediciones, calcula y actualiza 20 veces por segundo el voltaje que debe aplicar al motor para mantener el péndulo vertical.

Introducción

Este proyecto fue realizado como trabajo final de la materia Control Discreto que se dicta en el ITBA para la orientación Mecatrónica y junta alumnos de ingeniería electrónica y mecánica para hacer un proyecto multidisciplinario de sistemas de control.

Objetivos

Diseñar, construir y controlar un péndulo invertido que pueda balancearse en la posición vertical con una rueda de inercia accionada por un motor eléctrico. El requerimiento principal del diseño es maximizar el ángulo del cual el péndulo puede llegar a la posición vertical partiendo del reposo.

Modelado

Se modeló el Sistema como muestra la Figura 1

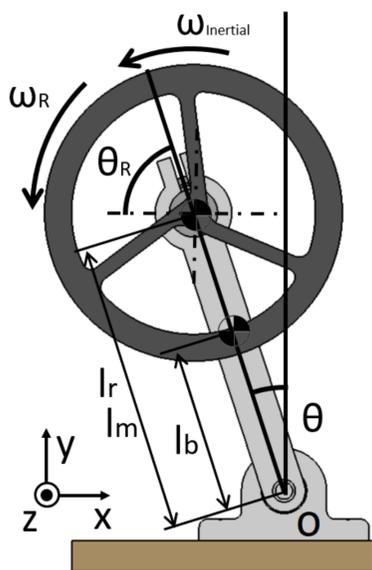


Figura 1: Modelado del Sistema

Dinámica del brazo

$$I_{so} \ddot{\theta} = k_{mgl} \cdot \sin \theta - \tau_c$$

Dinámica de la rueda

$$I_R \cdot \dot{\omega}_{Inercial} = \tau_c$$

Dinámica del motor eléctrico de corriente continua

$$\tau_c = \tau_e - b_R \cdot \omega_R$$

$$\tau_e = k_t \cdot i$$

$$R \cdot i + L \cdot \frac{di}{dt} = u(t) - k_e \cdot \omega_R$$

Relación entre velocidad inercial y velocidad medida

$$\omega_R = \omega_{Inercial} - \dot{\theta}$$

Simulación

Se simuló el sistema implementando las ecuaciones del modelado en el software Simulink de MATLAB como muestran la Figura 2.

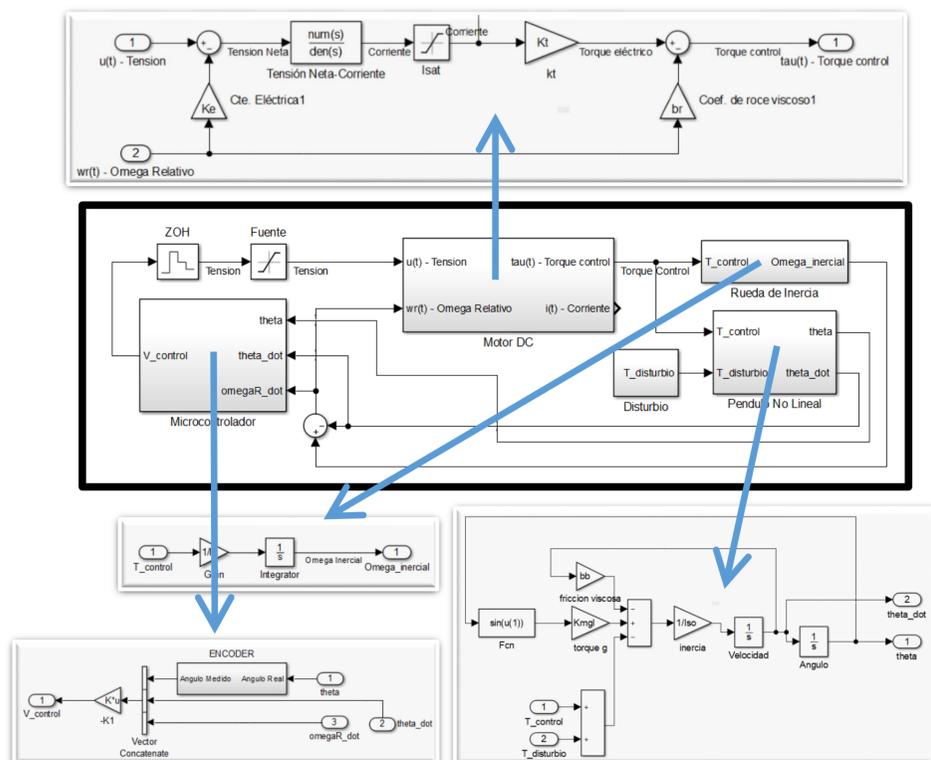


Figura 2: Simulación del Sistema en Simulink

Optimización del diseño

Para optimizar el ángulo del cual el péndulo puede llegar a la posición vertical partiendo del reposo se parametrizó la geometría del sistema con los valores que muestra la Figura 3:

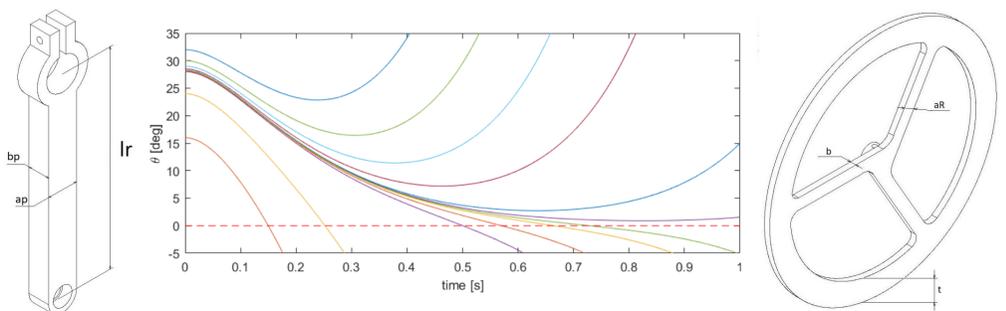


Figura 3: Parametrización de la Geometría y Búsqueda Binaria del Máximo ángulo de Recuperación

Se calculó el máximo ángulo de recuperación para cada conjunto de parámetros con una búsqueda binaria como muestra la Figura 3 central.

Diseño del Sistema de Control

Se implementó la ecuación (2) que es en el microcontrolador de la placa de desarrollo FRDM-K64F. Se discretizó el modelo continuo como se muestra en la ecuación (1) y se utilizó MATLAB para dimensionar las constantes de la ecuación (2) utilizando un regulador cuadrático lineal del libro [1] que minimiza la función de costo J de la ecuación (3).

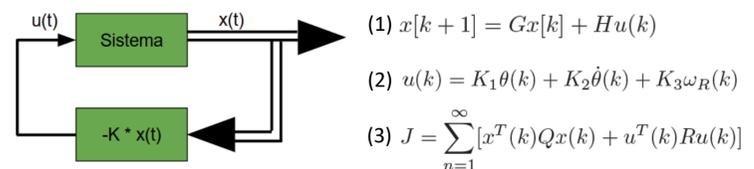


Figura 4: Esquema y Ecuaciones del Sistema de control

Resultados

De la Figura 5 se puede ver como la simulación corresponde muy bien con el comportamiento real del sistema.

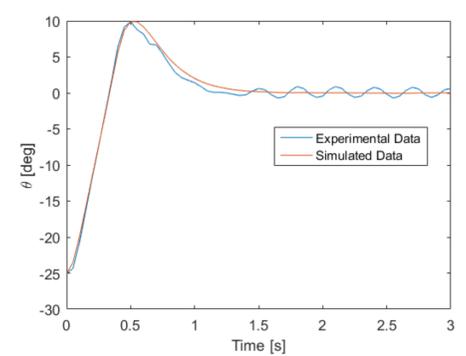
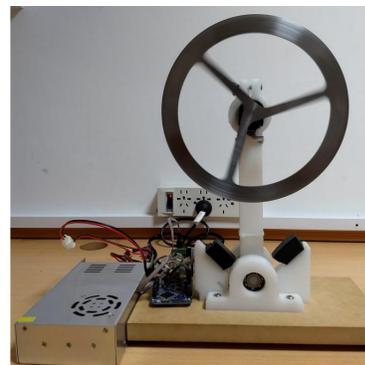


Figura 5: Foto del sistema real y Comparación entre la simulación y las mediciones reales.

Conclusiones

El péndulo invertido balanceado con rueda de inercia puede ser optimizado para maximizar el ángulo de recuperación. Los experimentos muestran que el modelo del sistema se ajusta a las mediciones lo suficientemente bien como para decir que las conclusiones tomadas sobre las simulaciones son válidas para el sistema real.

Referencias / Bibliografía

[1] K. Ogata, Discrete Time Control Systems, 2nd ed. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall International, Inc., 1995.

Agradecimientos

Queremos agradecer al Prof. Nicolas M Nemirovsky por guiarnos con el proyecto durante la cursada, al Prof. Alejandro S Ghersin por incentivarnos a escribir un paper sobre el trabajo y presentarlo en la conferencia ARGENCON 2018 y al Director Miguel P Aguirre por permitirnos continuar con el proyecto para poder presentarlo en la conferencia y en la feria.