

# TP Final Control Automático – 22.93

## Modelado, Identificación & Control Digital de un Péndulo Rotativo

Alejandro S. Ghersin  
aghersin@itba.edu.ar

Instituto Tecnológico de Buenos Aires (ITBA)  
Buenos Aires, Argentina

### Consigna

- Como trabajo final de la materia 22.93 se deberá llevar a cabo el modelado, identificación y control del simulador “*soft real time*” de un péndulo rotativo.
- El modelo sobre el cual se deberá realizar el trabajo consiste de un simulador *Simulink Simscape Multibody* basado en modelos CAD de piezas *Lego* ensambladas constituyendo el péndulo. El mismo se desarrolló como resultado de un *debuggeo* y adaptación del desarrollo disponible en Kim 2020.
- El simulador provisto se entrega en forma de cinco archivos Simulink versión 2018a, con el simulador principal sobre el cual se debe probar el controlador final funcionando, junto con tres diferentes variantes ofrecidas y sugeridas para realizar experimentos virtuales que permitan obtener el modelo del sistema simulado basado en ecuaciones diferenciales ordinarias no lineales.

### Requerimientos

#### Generales

1. El controlador debe ser capaz de seguir referencias constantes del ángulo de la base del péndulo.
2. El controlador se debe implementar en pseudocódigo con la función de matlab provista por el equipo docente sin usar otros bloques simulink que no sean de programación propia. En el desarrollo del TP se pueden usar todos los bloques que se deseen, pero la implementación final de los controles debe en una única función matlab donde esté embebidos el vector de estados del controlador como se demostró en las clases.
3. El controlador debe usar el módulo de “*auto-swingup*” provisto, y luego obtener un desempeño comparable al del control por realimentación de estados provisto, o mejor.

#### Espacio de Estados

1. Diseño de un controlador en espacio de estados con acción integral y observador que puede ser completo o de orden reducido Franklin, Powell y Emami-Naeini 2018. Implementación y/o diseño en tiempo discreto.

#### Loop Shaping

1. Diseño de un controlador por “*Loop Shaping*”. Implementación y/o diseño en tiempo discreto.
2. El controlador debe tener una estructura de controlador secundario que realimente el ángulo del péndulo y además un controlador primario que realimente el ángulo de la base. Para mayor información sobre el tema “*lazo primario/lazo secundario*” ver Goodwin, Graebe y Salgado 2000 (sección 10.9 “*Cascade Control*”).

### Sugerencias Generales

1. Se recomienda desarrollar un modelo físico del sistema mediante los métodos de Newton-Euler o Lagrange, realizando la descripción cinemática y dinámica del péndulo mediante los parámetros DH de acuerdo con Craig 2006.
2. Se provee un simulador simple con todos sus *links* siendo piezas de tipo *brick* en *Simscape*. Se recomienda comenzar el desarrollo de los controladores en este modelo mientras se desarrolla la identificación.
3. El simulador “*B*” viene provisto sin el segundo *link* para hacer un ensayo virtual de la inercia del *link* 1.
4. El simulador “*C*” viene provisto para hacer un ensayo de respuesta a condiciones iniciales en el segundo *link* habiendo hecho el primer *link* artificialmente exageradamente pesado de forma talque no se mueve.

5. Removiendo la gravedad, el simulador “D” viene provisto igualmente para hacer un ensayo de respuesta al escalón de torque en el segundo link. En el sistema final no se dispone de torque sobre el *link* 2 para ser realizado en pos de controlar el sistema pero si se puede poner un torque para hacer un ensayo virtual.
6. Detalles adicionales se explicarán en la reunión informativa.

## Links & artículos relacionados

1. Ver Cazzolato y Prime 2011 para tener el modelo del péndulo y ver un diseño del control.
2. Ver Wadi, Lee y Romdhane 2018 para tener el modelo del péndulo simple como referencia. El estudio del control por modos deslizantes excede el objetivo del presente trabajo práctico.
3. Ver Gäfvert 1998 para tener el modelo del péndulo en un tratamiento más extenso.
4. Ver todas las demás referencias del presente documento.
5. Buscar información adicional relacionada.

## Referencias

- Cazzolato, Ben y Zebb Prime (mar. de 2011). «On the Dynamics of the Furuta Pendulum». En: *Hindawi Publishing Corporation Journal of Control Science and Engineering* 8. DOI: [10.1155/2011/528341](https://doi.org/10.1155/2011/528341).
- Craig, John J. (2006). *Robótica*. Pearson Educación de México. ISBN: 9702607728.
- Franklin, Gene F., J. David Powell y Abbas Emami-Naeini (2018). *Feedback Control of Dynamic Systems (8th Edition)*. 8th. Pearson. ISBN: 0134685717.
- Gäfvert, Magnus (1998). *Modelling the Furuta Pendulum*. English. Technical Reports TFRT-7574. Department of Automatic Control, Lund Institute of Technology (LTH).
- Goodwin, Graham C., Stefan F. Graebe y Mario E. Salgado (2000). *Control System Design*. Upper Saddle River, NJ, USA: Prentice Hall PTR. ISBN: 0139586539.
- Kim, Mischa (2020). *Physical modeling in academia: the rotary pendulum with low-cost hardware*. MATLAB Central File Exchange. URL: <https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/50731-physical-modeling-in-academia-the-rotary-pendulum-with-low-cost-hardware> (visitado 09-12-2020).
- Wadi, A., J. Lee y L. Romdhane (2018). «Nonlinear sliding mode control of the Furuta pendulum». En: *2018 11th International Symposium on Mechatronics and its Applications (ISMA)*, págs. 1-5. DOI: [10.1109/ISMA.2018.8330131](https://doi.org/10.1109/ISMA.2018.8330131).