

# Proyecto de Tesis

**Título:** Nuevas técnicas de control y observación por torque calculado no lineal y optimización convexa.

**Problema a resolver:** La técnica de control por torque calculado permite diseñar una ley de control  $\tau$  para que una planta con modelo en la forma Euler-Lagrange  $M(q)\ddot{q} + V(q, \dot{q}) + G(q) = \tau$  siga una trayectoria deseada  $q_d(t)$ . La técnica se basa en la utilización del modelo de la planta para cancelar las no linealidades (parte *feedforward*) y la estabilización de un *sistema lineal del error* por medio de asignación de polos (parte *feedback*) [1]. Esto limita las opciones de aplicabilidad porque:

- 1) La técnica está diseñada para sistemas completamente actuados.
- 2) El conocimiento de la planta debe ser exacto en parámetros y estructura.
- 3) Los estados de la planta se asumen disponibles.

En la tesis [2] se propuso una primera solución con sistema del error no lineal para *estabilización* de sistemas subactuados. Las componentes no lineales fueron representadas como sumas convexas de sus cotas, algo relacionado con la técnica de *sector no lineal* [3]. Una vez reescritas de esa manera se utilizan los sistemas lineales vértices y el método directo de Lyapunov [4] para derivar condiciones en forma de desigualdades matriciales lineales (LMIs por sus siglas en inglés, [5]) que permitan sintetizar las ganancias de una ley de control conocida como compensación paralela distribuida (PDC por sus siglas en inglés, [6]).

**Objetivos:** El presente trabajo extiende dicha propuesta para seguimiento de trayectoria y superación de las limitaciones arriba mencionadas por medio de los siguientes objetivos:

- 1) Considerar un sistema nominal del error en forma ordinaria utilizando para ello la factorización propuesta en [7]:

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} e \\ \dot{e} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I & 0 \\ 0 & M^{-1}(q) \end{bmatrix} \left( \begin{bmatrix} 0 & I \\ -\bar{N}_1(q, \dot{q}, q_d, \dot{q}_d) & -\bar{N}_2(q, \dot{q}, q_d, \dot{q}_d) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e \\ \dot{e} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ I \end{bmatrix} u \right) \quad (1)$$

- 2) Considerar un sistema nominal del error en forma descriptor [8] por medio de la misma factorización:

$$\begin{bmatrix} I & 0 \\ 0 & M(q) \end{bmatrix} \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} e \\ \dot{e} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & I \\ -\bar{M}_1(q, q_d) - \bar{N}_1(q, \dot{q}, d_d, \dot{q}_d) & -\bar{N}_2(q, \dot{q}, d_d, \dot{q}_d) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e \\ \dot{e} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ I \end{bmatrix} u.$$

- 3) Utilizar observadores de estado para alimentar  $q$  y  $\dot{q}$  por medio de sus estimados  $\hat{q}$  y  $\dot{\hat{q}}$  [7].
- 4) Desarrollar soluciones para sistemas subactuados, es decir, donde algunas entradas de  $\tau$  no están disponibles [9].

**Estancias propuestas:** 1 estancia de 1 mes en la Universidad Politécnica de Pachuca, Hidalgo, con el investigador receptor Víctor Estrada Manzo.

**Productos académicos comprometidos:** 1 artículo de conferencia internacional arbitrada publicado, 1 artículo de revista indizada sometido y 1 tesis de maestría terminada antes del 3 de septiembre de 2021.

## REFERENCES

- [1] F. L. Lewis, D. M. Dawson, and C. T. Abdallah, *Robot manipulator control: theory and practice*. CRC Press, 2003.
- [2] J. A. Díaz, "Control de plantas mecatrónicas por torque calculado con optimización convexa," Ph.D. dissertation, Eng. Thesis, Sonora Institute of Technology, Mexico, 2019.
- [3] T. Taniguchi, K. Tanaka, and H. Wang, "Model construction, rule reduction and robust compensation for generalized form of Takagi-Sugeno fuzzy systems," *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, vol. 9, no. 2, pp. 525–537, 2001.
- [4] H. Khalil, *Nonlinear Systems*, 3rd ed. New Jersey, USA: Prentice Hall, 2002.
- [5] S. Boyd, L. E. Ghaoui, E. Feron, and V. Balakrishnan, *Linear Matrix Inequalities in System and Control Theory*. Philadelphia, USA: SIAM: Studies In Applied Mathematics, 1994, vol. 15.
- [6] H. Wang, K. Tanaka, and M. Griffin, "An approach to fuzzy control of nonlinear systems: Stability and design issues," *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, vol. 4, no. 1, pp. 14–23, 1996.
- [7] D. Quintana, V. Estrada-Manzo, and M. Bernal, "Sepnate fault detection and isolation via a novel convex optimization scheme," *IEEE Latin America Transactions*, vol. 17, no. 07, pp. 1096–1101, 2019.
- [8] S. Campbell, R. Nikoukhah, and F. Delebecque, "Nonlinear descriptor systems," in *Advances in control*. Springer, 1999, pp. 247–281.
- [9] M. W. Spong, "Underactuated mechanical systems," in *Control problems in robotics and automation*. Springer, 1998, pp. 135–150.