

# Proyecto de Tesis de Maestría (Raymundo Márquez)

**Título:** Control de sistemas no lineales con retardo de tiempo en la entrada vía optimización convexa.

**Problema a resolver:** El estudio de los sistemas con retardo ha tomado relevancia debido a los efectos que tiene sobre la estabilidad. Es bien sabido que pequeños retardos pueden causar un mal desempeño en el sistema, oscilaciones e incluso conducir a la inestabilidad [1]. Los retardos son comunes en la práctica y pueden aparecer durante la medición de una variable del sistema, debido a la naturaleza física de algún componente o en la transmisión de alguna señal [2]. Los retardos, constante o variable en el tiempo, pueden producirse en los estados del sistema así como en su salida y control [3]. El análisis de la estabilidad se ha realizado desde dos enfoques distintos: (1) en el dominio temporal, con la extensión del segundo método de Lyapunov es posible encontrar resultados con la funcional de Lyapunov-Krasovskii [4] y la función de Lyapunov-Razumikhin [5]; (2) en el dominio de la frecuencia a través de test analíticos y gráficos como la generalización del método de Hurwitz para sistemas retardados lineales [6]. Una amplia variedad de trabajos en la literatura están relacionados con la estabilidad y estabilización de sistemas no lineales con retardo en la entrada, por ejemplo, en [3], se analiza la estabilización robusta de un sistema con retardo de entrada e incertidumbres paramétricas. Por otro lado, el análisis de estabilidad de las personas con lesión torácica de la médula espinal (SCI por sus siglas en inglés) ha adquirido relevancia. En [7], se obtiene un modelo en forma de descriptor no lineal con un retardo en la entrada mediante técnicas Lagrangianas, dicho retardo define el tiempo de respuesta de la activación muscular para estabilizar el sistema ante una perturbación. Una reescritura exacta de las dinámicas no lineales en la forma de modelos Takagi-Sugeno (TS) o convexos [8] es ampliamente utilizada al abordar el análisis de estabilidad y la estabilización en este tipo de sistemas, lo cual, se obtiene al aplicar el enfoque del sector no lineal [9]. El carácter convexo permite el diseño sistemático y óptimo de controladores por medio del método directo de Lyapunov que generalmente conduce a condiciones expresadas como desigualdades matriciales lineales (LMIs por sus siglas en inglés) cuya ventaja es que pueden ser resueltas de manera eficiente utilizando técnicas de optimización convexa [10] implementadas en software comercial. Para el caso no lineal, las condiciones obtenidas son solo suficientes lo que implica cierto grado de conservatividad en las soluciones por lo que hay un margen para mejoras. Este trabajo estará orientado a desarrollar condiciones suficientes en forma de LMI que incrementen el espacio solución en el diseño de controladores para sistemas no lineales con retardo de tiempo en la entrada modelados de forma convexa.

**Productos académicos comprometidos:** 1 artículo de conferencia arbitrada publicado antes del 31 de agosto de 2022.

**Conferencia del estudiante:** Conference on Electrical Engineering, Computing Science and Automatic Control (CCE 2021/2022) o Congreso Nacional de Control Automático de la Asociación de México de Control Automático (CNCA 2021/2022).

## REFERENCIAS

- [1] S.-I. Niculescu, E. I. Verriest, L. Dugard, and J.-M. Dion, "Stability and robust stability of time-delay systems: A guided tour," in *Stability and control of time-delay systems*. Springer, 1998, pp. 1–71.
- [2] E. Fridman, *Introduction to time-delay systems: Analysis and control*. Springer, 2014.
- [3] D. Yue, "Robust stabilization of uncertain systems with unknown input delay," *Automatica*, vol. 40, no. 2, pp. 331–336, 2004.
- [4] N. Krasovskii, "On the application of the second method of Lyapunov for equations with time delays," *Prikl. Mat. Mekh.*, vol. 20, no. 3, pp. 315–327, 1956.
- [5] B. Razumikhin, "On the stability of systems with a delay," *Prikl. Mat. Meh.*, vol. 20, no. 1, pp. 500–512, 1956.
- [6] V. L. Kharitonov and A. P. Zhabko, "Robust stability of time-delay systems," *IEEE Transactions on Automatic Control*, vol. 39, no. 12, pp. 2388–2397, 1994.
- [7] M. Blandeau, V. Estrada-Manzo, T. Guerra, P. Pudlo, and F. Gabrielli, "Unknown input observer for understanding sitting control of persons with spine cord injury," *IFAC-PapersOnLine*, vol. 49, no. 5, pp. 175–181, 2016.
- [8] T. Takagi and M. Sugeno, "Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, vol. 15, no. 1, pp. 116–132, 1985.
- [9] T. Taniguchi, K. Tanaka, and H. O. Wang, "Model construction, rule reduction and robust compensation for generalized form of Takagi-Sugeno fuzzy systems," *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, vol. 9, no. 4, pp. 525–538, 2001.
- [10] 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.