

# PROPUESTA DCI

**Tema de tesis:** Estrategias de control tolerante a fallas en sistemas subactuados mediante un enfoque MPC-LPV

**Director:** Guillermo Valencia Palomo

**Línea de investigación:** Sistemas mecatrónicos

## 1. Introducción

La estrategia de control MPC-LPV (Model Predictive Control-Linear Parameter Varying) es un enfoque utilizado para controlar sistemas no lineales y consiste en utilizar un modelo matemático para predecir el comportamiento dinámico en el futuro y optimizar la selección de las entradas de control para alcanzar un objetivo deseado. Esto permite una mayor flexibilidad y robustez en comparación con los enfoques de control tradicionales de MPC. Una característica importante de este enfoque es la inclusión de restricciones en estados, salidas o entradas lo que garantiza una operación segura y mejora significativamente la eficiencia y robustez de los controladores.

Trabajos recientes han demostrado que si se considera un enfoque combinado de MPC y de Sistemas Lineales de Parámetros Variantes (LPV) se pueden considerar estas restricciones no lineales sin incluir funciones de costo no convexas. Esto se debe a que la no linealidad se enmascara en los modelos LPV, los cuales están formados por un conjunto de modelos lineales obtenidos en diferentes puntos de operación o equilibrio y son interpolados por funciones de peso convexas. Con ellos se obtienen soluciones en forma de desigualdades matriciales lineales con lo cual la complejidad computacional del problema de optimización se simplifica considerablemente (Song, Ye, Wang, He, y Zhang, 2022). En la literatura se tienen algunas contribuciones sobre la combinación de estas técnicas, por ejemplo en sistemas de distribución de agua potable (Pour, Puig, y Cembrano, 2019), vehículos autónomos no tripulados (Cavanini, Ippoliti, y Camacho, 2021) y vehículos terrestres (Salt Ducajú, Salt Llobregat, Cuenca, y Tomizuka, 2021). Sin embargo, en dichos trabajos poca atención se ha prestado a la inclusión de robustez, confiabilidad y su desempeño ante fallas.

Las fallas son un evento anormal presente en todo sistema físico debido a la fatiga, desgastes, falsos contactos o falta de mantenimiento. Estos se ven desde el punto de señales como comportamientos por encima o debajo de valores nominales y pueden detectarse mediante la generación de residuos obtenidos a través de modelos; en este trabajo, modelos LPV. El enfoque más popular basado en modelos involucra generación de señales residuales que comparan mediciones de sensores y mediciones por redundancia analítica a través de observadores de estado. A pesar que este tema se ha abordado extensamente a través de diferentes esquemas como observadores intervalares (Pérez-Pérez, López-Estrada, Puig, Valencia-Palomo, y Santos-Ruiz, 2022), por modos deslizantes (Chu, Meng, Zhu, y Luo, 2020), proporcionales integrales (Guzman, López-Estrada, Estrada-Manzo, y Valencia-Palomo, 2021), zontópicos (Li, Wang, Shen, y Rodrigues, 2019), entre otros. Sin embargo, la mayoría de las aportaciones consideran únicamente el problema de diagnóstico del sistema en lazo abierto; mientras que solo algunos se enfocan en sistema de control tolerante, en donde es necesario realizar un esquema de redistribución del controlador para garantizar la robustez en lazo

cerrado.

Este trabajo busca explorar esquemas de control tolerante a fallas en sistemas subactuados como vehículos móviles, en donde las condiciones no holonómicas complican el la redistribución del control al no contar con redundancia física. Esta redundancia se busca alcanzar mediante condiciones analíticas a través de observadores de estado robustos. Parte del problema de investigación consistirá en determinar cual es el mejor esquema de robustez que se adapte a los controladores predictivos, ya sea través de esquemas  $H_\infty$  o mediante zonotópes. En cualquier caso, se buscará que el controlador sea robusto no solo a perturbaciones externa y ruido de medición; sino también a incertidumbres de modelado. Con ello se espera encontrar condiciones suficientes que garanticen la seguridad y confiabilidad del sistema subactuado. El caso de estudio se determinará a lo largo del estudio, puesto que existen múltiples sistemas subactuados que podrían ser candidatos como vehículos móviles, un grúa mecánica. Es importante mencionar que la principal contribución del trabajo busca ser teórica por lo cual el no contar con un caso de estudio particular dejará libertad de explorar enfoques novedosos desde el punto de vista de estudio de sistemas LPV-MPC.

## 2. Objetivos

### General

Diseñar una metodología de control tolerante a fallas robusto en sistemas subactuados mediante enfoque combinado de sistemas lineales de parámetros variantes, control predictivo basado en modelo y observadores de estado robustos.

## Referencias

- Cavanini, L., Ippoliti, G., y Camacho, E. F. (2021). Model predictive control for a linear parameter varying model of an uav. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, 101(3), 1–18.
- Chu, Z., Meng, F., Zhu, D., y Luo, C. (2020). Fault reconstruction using a terminal sliding mode observer for a class of second-order mimo uncertain nonlinear systems. *ISA transactions*, 97, 67–75.
- Guzman, J., López-Estrada, F.-R., Estrada-Manzo, V., y Valencia-Palomo, G. (2021). Actuator fault estimation based on a proportional-integral observer with nonquadratic lyapunov functions. *International Journal of Systems Science*, 52(9), 1938–1951.
- Li, J., Wang, Z., Shen, Y., y Rodrigues, M. (2019). Zonotopic fault detection observer for linear parameter-varying descriptor systems. *International Journal of Robust and Nonlinear Control*, 29(11), 3426–3445.
- Pérez-Pérez, E.-J., López-Estrada, F.-R., Puig, V., Valencia-Palomo, G., y Santos-Ruiz, I. (2022). Fault diagnosis in wind turbines based on anfis and takagi–sugeno interval observers. *Expert Systems with Applications*, 206, 117698.
- Pour, F. K., Puig, V., y Cembrano, G. (2019). Economic mpc-lpv control for the operational management of water distribution networks. *IFAC-PapersOnLine*, 52(23), 88–93.

- Salt Ducajú, J. M., Salt Llobregat, J. J., Cuenca, Á., y Tomizuka, M. (2021). Autonomous ground vehicle lane-keeping lpv model-based control: Dual-rate state estimation and comparison of different real-time control strategies. *Sensors*, 21(4), 1531.
- Song, R., Ye, Z., Wang, L., He, T., y Zhang, L. (2022). Autonomous wheel loader trajectory tracking control using lpv-mpc. *arXiv preprint arXiv:2203.08944*.