

# Regulación no lineal de la salida para sistemas descriptores de tipo Takagi-Sugeno con variedad estacionaria como un problema LMI de optimización

POBLETE SALINAS, LUIS ALBERTO, HERNÁNDEZ CORTÉS, TONATIUH, ESTRADA MANZO, VÍCTOR.

ID 1<sup>er</sup> autor: (ORC ID - 0000-0003-3555-0427) y CVU 1<sup>er</sup> autor: (CVU 585090)

ID 2<sup>do</sup> autor: (ORC ID - 0000-0002-1966-2755) y CVU 2<sup>do</sup> autor: (CVU 348361)

ID 3<sup>er</sup> autor: (ORC ID - 0000-0002-2902-8424) y CVU 3<sup>er</sup> autor: (CVU 366627)

Departamento de Ingeniería Mecatrónica, Universidad Politécnica de Pachuca.  
luis.poblete@micorreo.upp.edu.mx

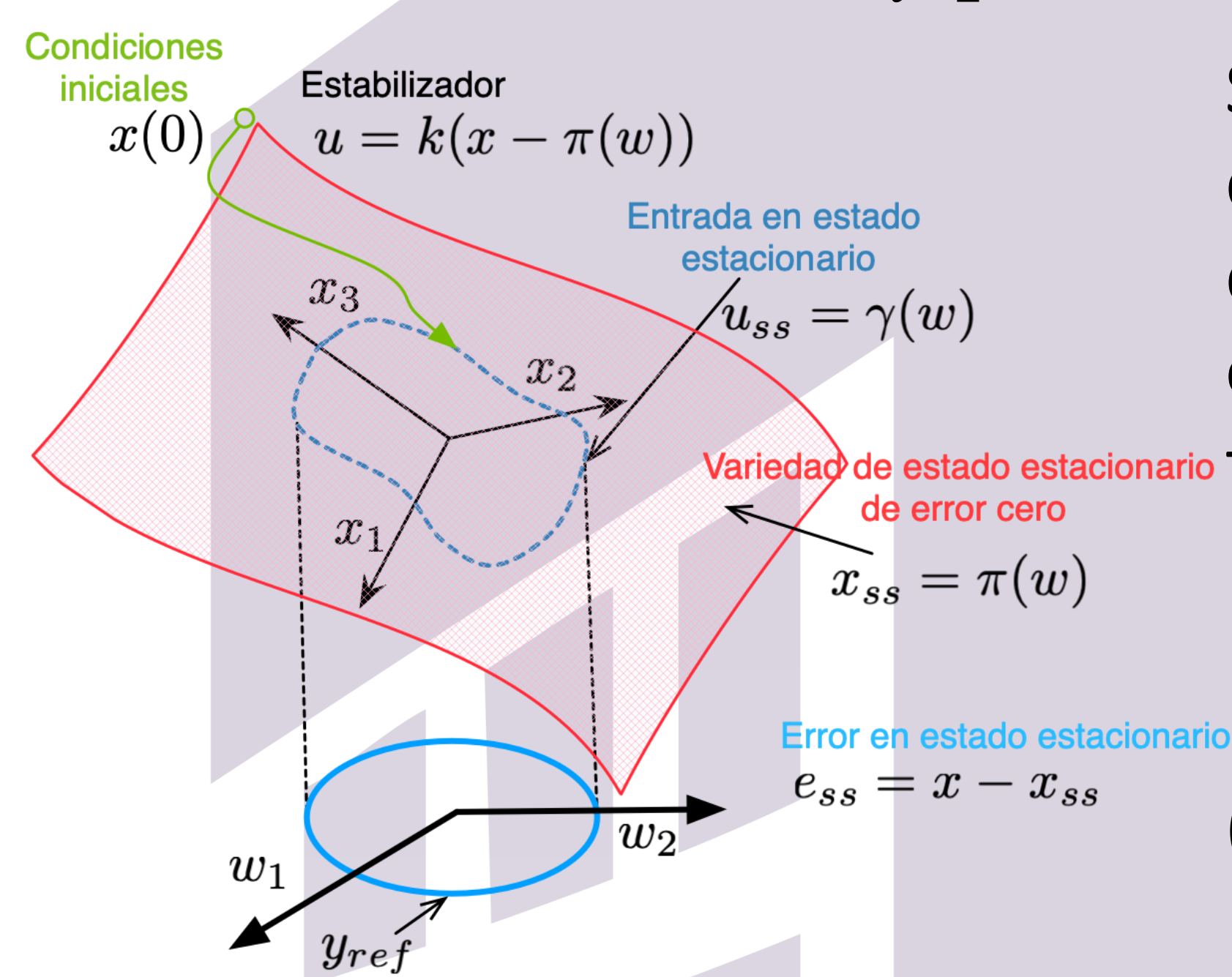
## Resumen (CI)

**Objetivos:** Diseñar un control para sistemas descriptores tipo TS tal que el error de seguimiento sea cero.

**Metodología:** El problema consiste en encontrar un estabilizador y un regulador por medio de desigualdades matriciales lineales.

## Introducción

Se considera el sistema no lineal en forma descriptor  $E(x)\dot{x} = A(x)x + Bu + D(x)\omega$ ,  $y = Cx$ , donde  $E(x)$  es de rango completo para  $x \in \mathbb{R}^n$  y  $B$  es constante. El exosistema es  $\dot{\omega} = S\omega$ ,  $y_r = Q\omega$ , y un error de seguimiento  $e = Cx - Q\omega$ . Se considera una representación exacta Takagi-Sugeno (TS):  $\sum_{i=1}^r \mu(z) E_i \dot{x} = \sum_{i=1}^r \mu(z) (A_i x + Bu + D_i \omega)$ ,  $y = Cx$ , donde  $\mu(z)$ ,  $i \in \{1, 2, \dots, r\}$  cumplen con la propiedad de suma convexa  $0 \leq \mu(z) \leq 1$ ,  $\sum_{i=1}^r \mu(z) = 1$ .



Se busca una adaptación numérica del problema original de regulación de la salida que consiste en encontrar mapeos  $\pi(\omega)$  y  $\gamma(\omega)$  tales que

$$\frac{\partial \pi(\omega)}{\partial \omega} s(\omega) f(\pi(\omega), \omega, \gamma(\omega)),$$

$$0 = h(\pi(\omega)) - q(\omega)$$

(conocidas como ecuaciones FIB).

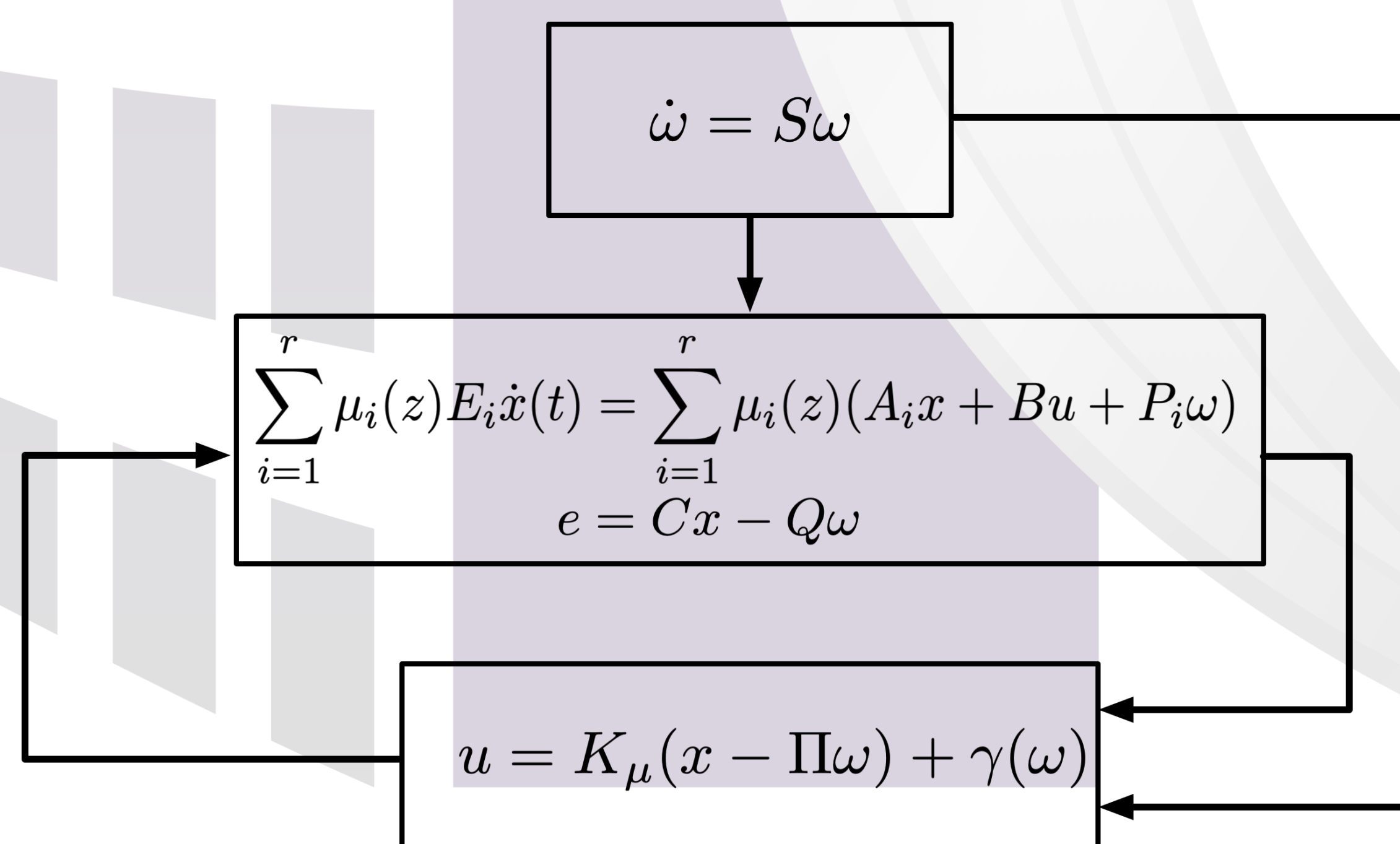
## Metodología

Para obtener una ley de control con un estabilizador no lineal y un regulador combinado:  $u = K_\mu(x - \Pi\omega) + \gamma(\omega)$ , las ganancias del estabilizador  $K_i = M_i X_1^{-1}$  son calculadas por medio de las LMIs

$$X_1 > 0, \begin{bmatrix} X_3 + X_3^T + 2\phi X_1 & (*) \\ A_i X_1 + B M_i - E_i X_3 + X_4^T & -E_i X_4 - X_4^T E_i^T \end{bmatrix} < 0, i \in \{1, \dots, r\}$$

y los mapeos  $\Pi\omega$  con  $\Pi \in \mathbb{R}^{n \times s}$  y  $\gamma(\omega) = \sum_{i=1}^r \mu(z) \Gamma_i$  con  $\Gamma_i \in \mathbb{R}^{m \times s}$  son encontradas por medio de las LMI de optimización donde

$$\min \epsilon > 0: \begin{bmatrix} A_i \Pi + B \Gamma_i + D_i - E_i \Pi S & 0 \\ 0 & C \Pi - Q \end{bmatrix} < \epsilon$$

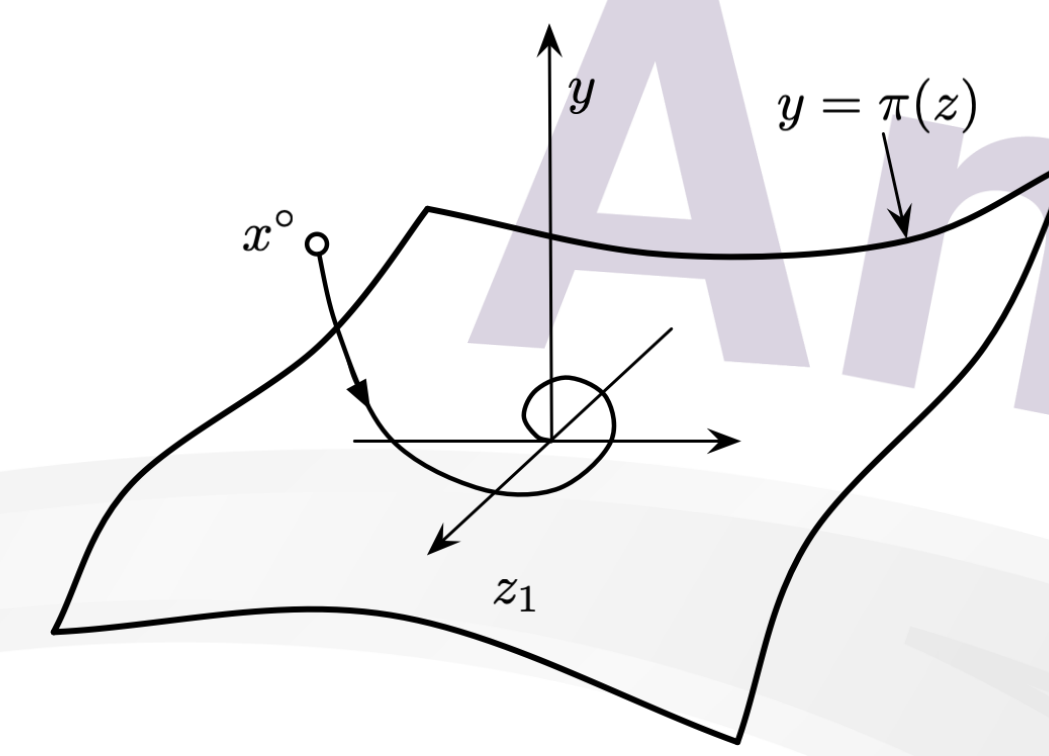


## Resultados

Se reescriben las ecuaciones dinámicas del sistema Cart-Pole en forma\*\* descriptor TS:

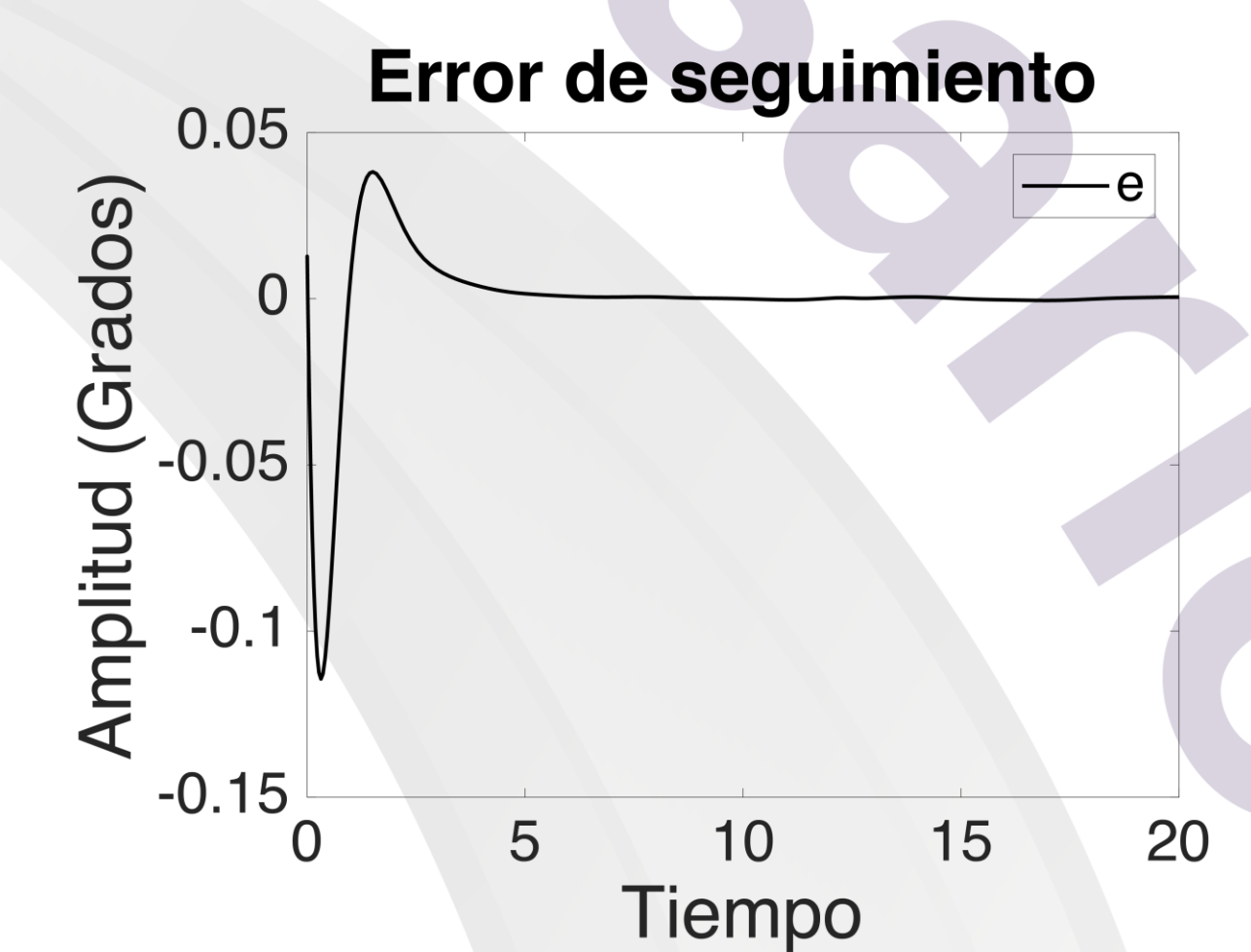
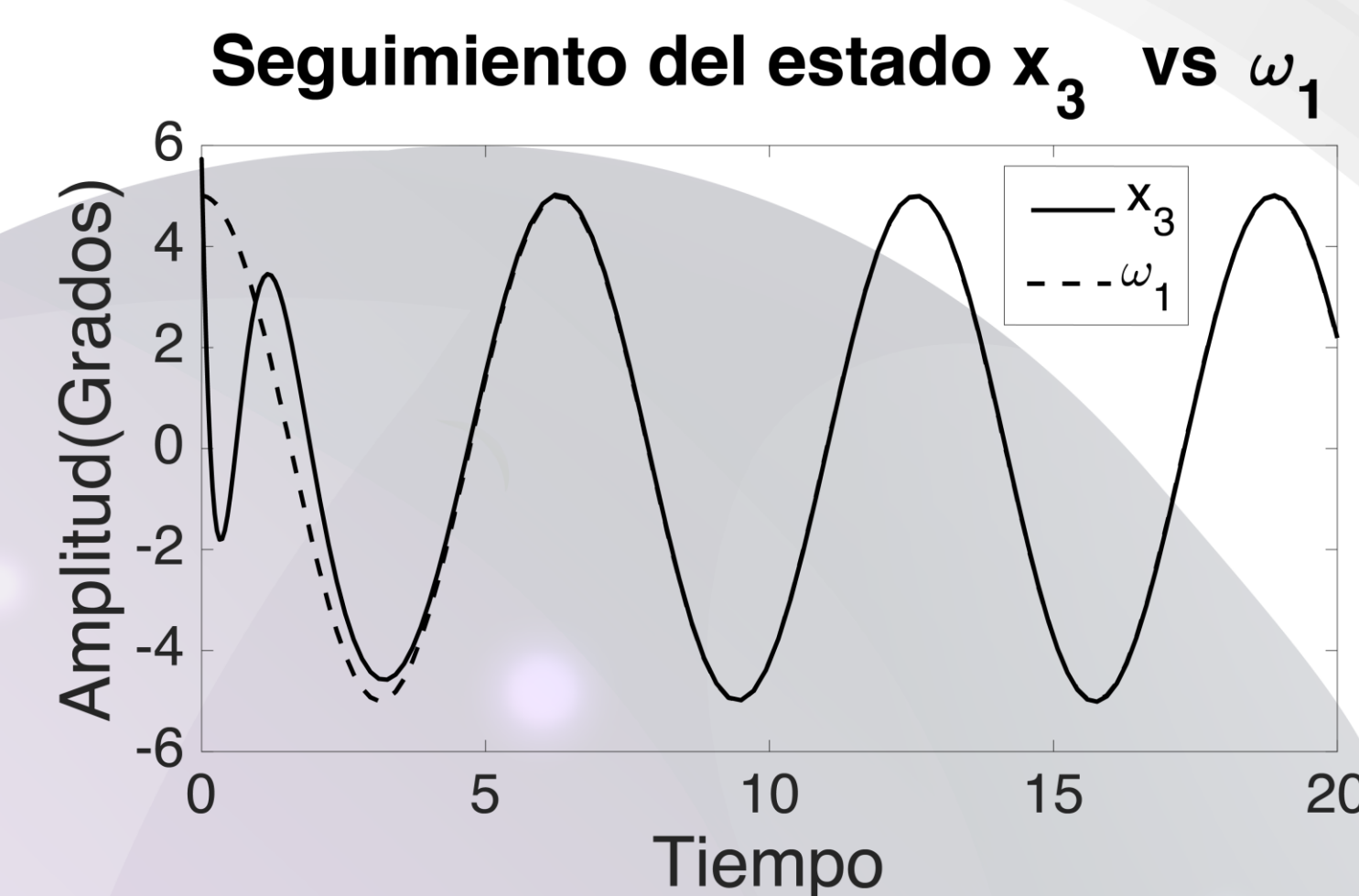
$$\sum_{i=1}^{16} \mu(z) E_i \dot{x} = \sum_{i=1}^{16} \mu(z) (A_i x + Bu)$$

$$y = x_3 \quad \dot{\omega} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{bmatrix} \omega$$



Las LMIs son factibles y arrojan el siguiente el mapeo

$$\Pi = \begin{bmatrix} -9.9383 & 0 \\ 0 & -9.9383 \\ 0.9865 & 0 \\ 0 & 0.9738 \end{bmatrix}$$



## Conclusiones

Para una familia de sistemas no lineales se ha realizado regulación de la salida por medio de sistemas TS y LMIs permitiendo añadir medidas de desempeño en lazo cerrado.

## Futuro de investigación

Diseñar mapeos no lineales  $\pi(\omega)$  y  $\gamma(\omega)$  por medio de desigualdades matriciales lineales con el fin de tener regulación exacta.

## Referencias

- Isidori, A., y Byrnes, C. I. (1990). Output regulation of nonlinear systems. IEEE transactions on Automatic Control, 35(2), 131-140.
- Meda-Campaña, J. A., Castillo-Toledo, B., y Chen, G. (2009). Synchronization of chaotic systems from a fuzzy regulation approach. Fuzzy Sets and Systems, 160(19), 2860-2875.
- Bernal, M., Márquez, R., Estrada-Manzo, V., y Castillo-Toledo, B. (2012). Nonlinear output regulation via Takagi-Sugeno fuzzy mappings: A full-information LMI approach. In 2012 IEEE International Conference on Fuzzy Systems (pp. 1-7).

## Agradecimientos

Se agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por su apoyo para la beca del programa PNPC para el CVU 585090.