

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, DEPARTAMENTO DE AUTOMÁTICA

IE-0431 Sistemas de Control

Tecnicas Avanzadas de Control

Leonardo Marín Paniagua, Ph.D.

leonardo.marin@ucr.ac.cr

2018



EIE

Escuela de
Ingeniería Eléctrica



Técnicas Avanzadas de Control

- En el control de sistemas industriales, el controlador más habitual es el controlador PID al producir un rendimiento adecuado en la mayoría de los casos.
- Sin embargo, existen situaciones en donde un controlador de la familia PID no producirá una respuesta adecuada a las necesidades del proceso.
- En esos casos es necesario recurrir a sistemas de control avanzado, cuya complejidad varía de acuerdo a la del proceso a controlar.

ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRICA
UNIVERSIDAD DE COSTA RICA



Técnicas Avanzadas de Control

- Se exponen a continuación algunas técnicas avanzadas de control:
 - Control en Cascada
 - Control de Razón
 - Control de sistemas Multivariantes
 - Predictor de Smith
- Otras áreas de control moderno:
 - ▶ Control Inteligente
 - ▶ Control No Lineal
 - ▶ Control Óptimo
 - ▶ Control Predictivo



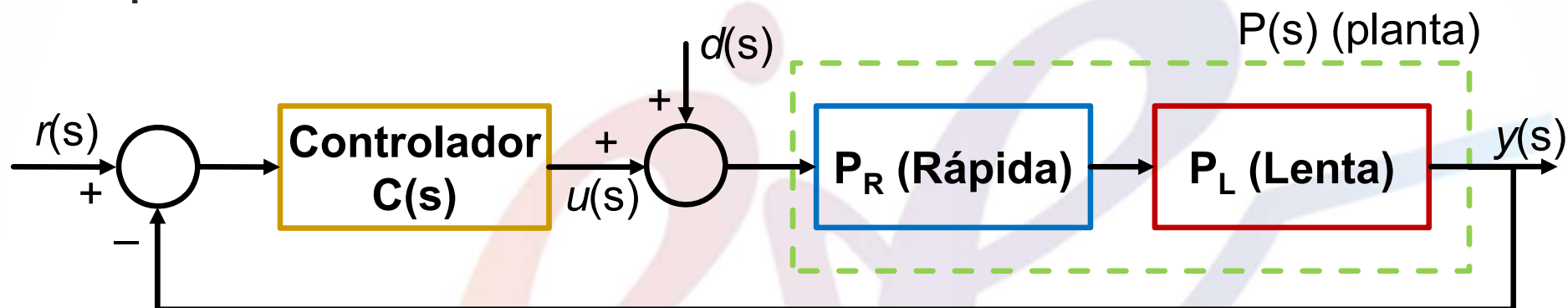
Control en Cascada

- Se utiliza cuando la planta tiene dinámicas rápidas y lentas, que pueden separarse (mediante modelos distintos) y cuyas salidas pueden medirse de forma independiente.
- Consta de dos lazos de control anidados que actúan sobre una misma variable manipulada:
 - **Lazo de control Maestro (primario):** controla la dinámica **lenta**, asigna la referencia que debe seguir el secundario.
 - **Lazo de control Esclavo (secundario):** Controla la dinámica **rápida** del sistema, rechaza perturbaciones antes que afecten la dinámica lenta del sistema y sigue la referencia del control primario.
- Los controladores de cada lazo suelen ser de la familia PID.

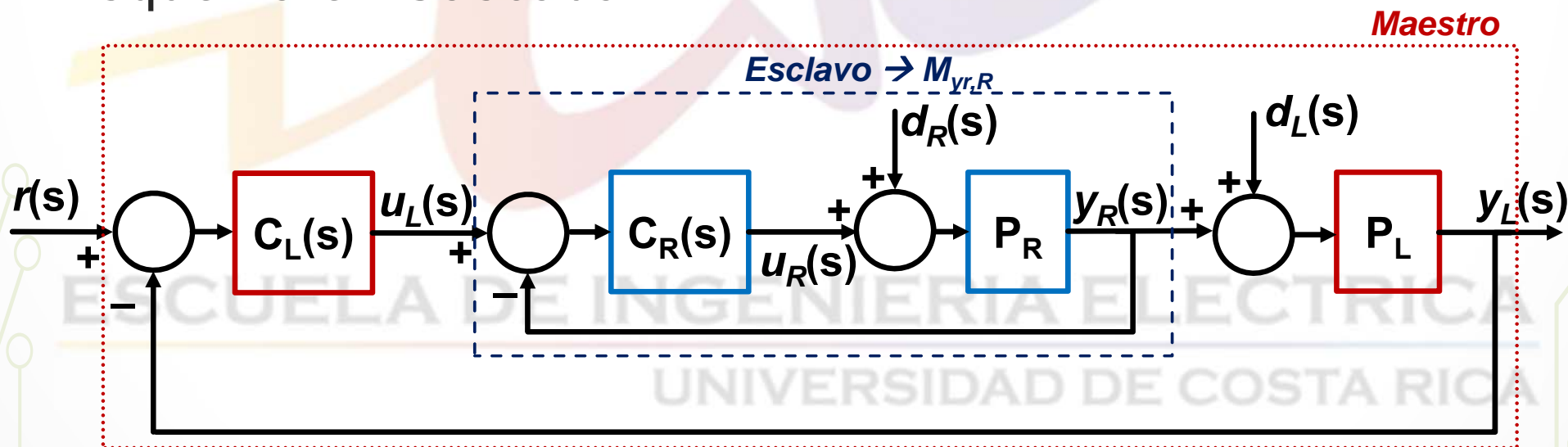


Control en Cascada

Esquema Realimentado



Esquema en Cascada





Control en Cascada

EIE

Escuela de
Ingeniería Eléctrica

- Se regulan algunas perturbaciones antes de que estas afecten a la dinámica lenta del sistema.
- Se necesita un sensor adicional para medir la salida de la dinámica rápida.
- Procedimiento de Diseño: si la realimentación simple no produce un desempeño adecuado, y si agregar un sensor adicional no resulta en extremo costoso, entonces:
 1. **Sintonizar el lazo Esclavo**: a partir del modelo de la dinámica rápida P_R de la planta se sintoniza el controlador esclavo mediante los métodos vistos (PI: **síntesis**, reglas, etc).
 2. **Sintonizar el lazo Maestro**: a partir del modelo de la dinámica Lenta P_L y el $M_{yr,R}$ del lazo esclavo (**Planta equivalente** = $M_{yr,R}P_L$), se sintoniza el controlador Maestro mediante los métodos vistos (PID: **síntesis**, reglas, etc).



Control en Cascada

➡ Ejemplo: Lazo de control de Temperatura en una caldera

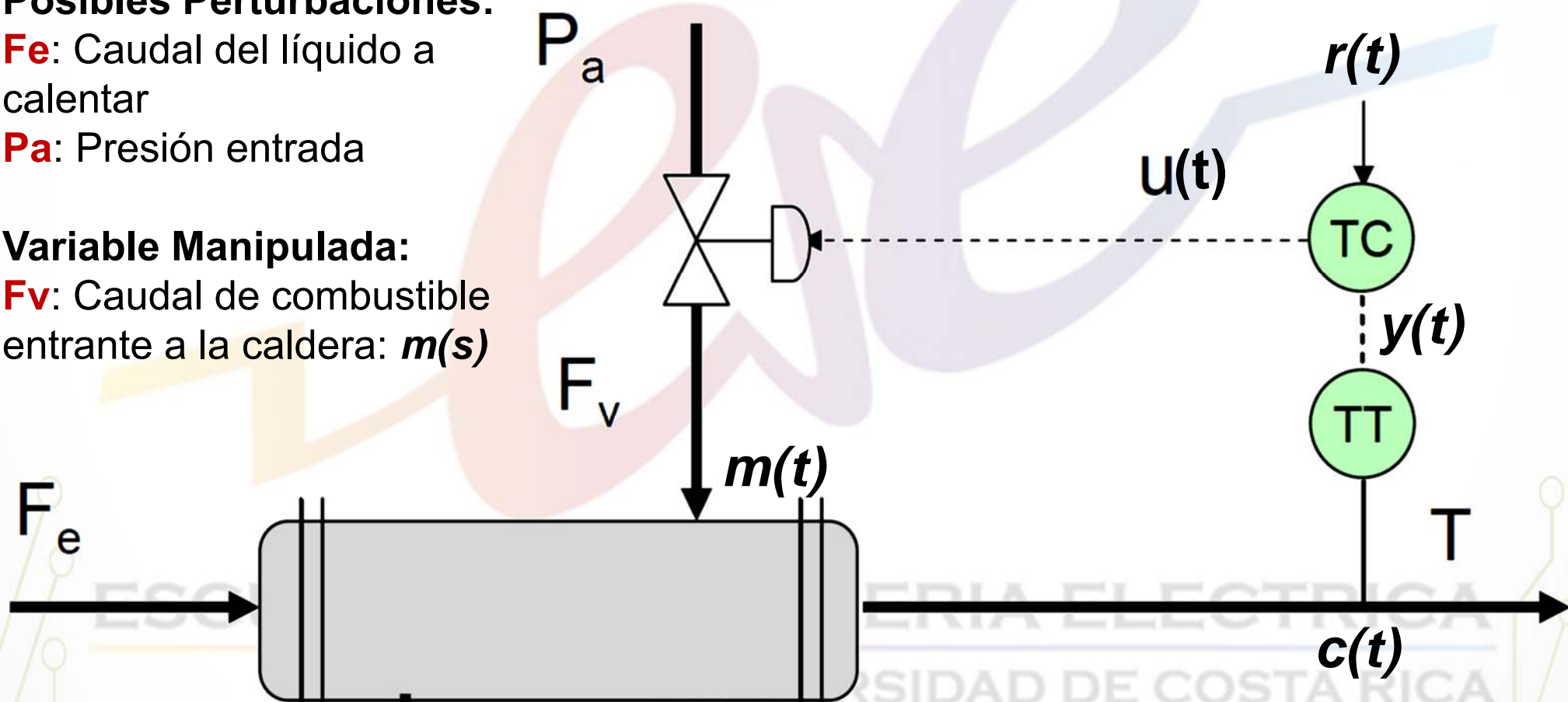
Posibles Perturbaciones:

Fe: Caudal del líquido a calentar

Pa: Presión entrada

Variable Manipulada:

Fv: Caudal de combustible entrante a la caldera: $m(s)$





Control en Cascada

- Ejemplo: Lazo de control de Temperatura en una caldera :
 - Al ser un proceso de control de temperatura, el sensor detectará el efecto de las perturbaciones mucho tiempo después de que estas sucedan.
 - El control realimentado simple no regulará las perturbaciones hasta que el efecto de las mismas se propague a la salida.
 - Se puede mejorar el desempeño del sistema al agregar un sensor adicional que mida alguna de las posibles perturbaciones, por ejemplo la presión de entrada de combustible **P_a** :
 - **Lazo Esclavo**: Control del flujo de combustible, es la dinámica rápida del proceso, con este control se elimina la perturbación **P_a** y se sigue la referencia del control maestro.
 - **Lazo Maestro**: Control de Temperatura, es la dinámica lenta del proceso, con este control se elimina la perturbación **F_e** y se sigue la referencia de temperatura



Control en Cascada

EIE

Escuela de
Ingeniería Eléctrica

➤ Ejemplo: Lazo de control de Temperatura en una caldera

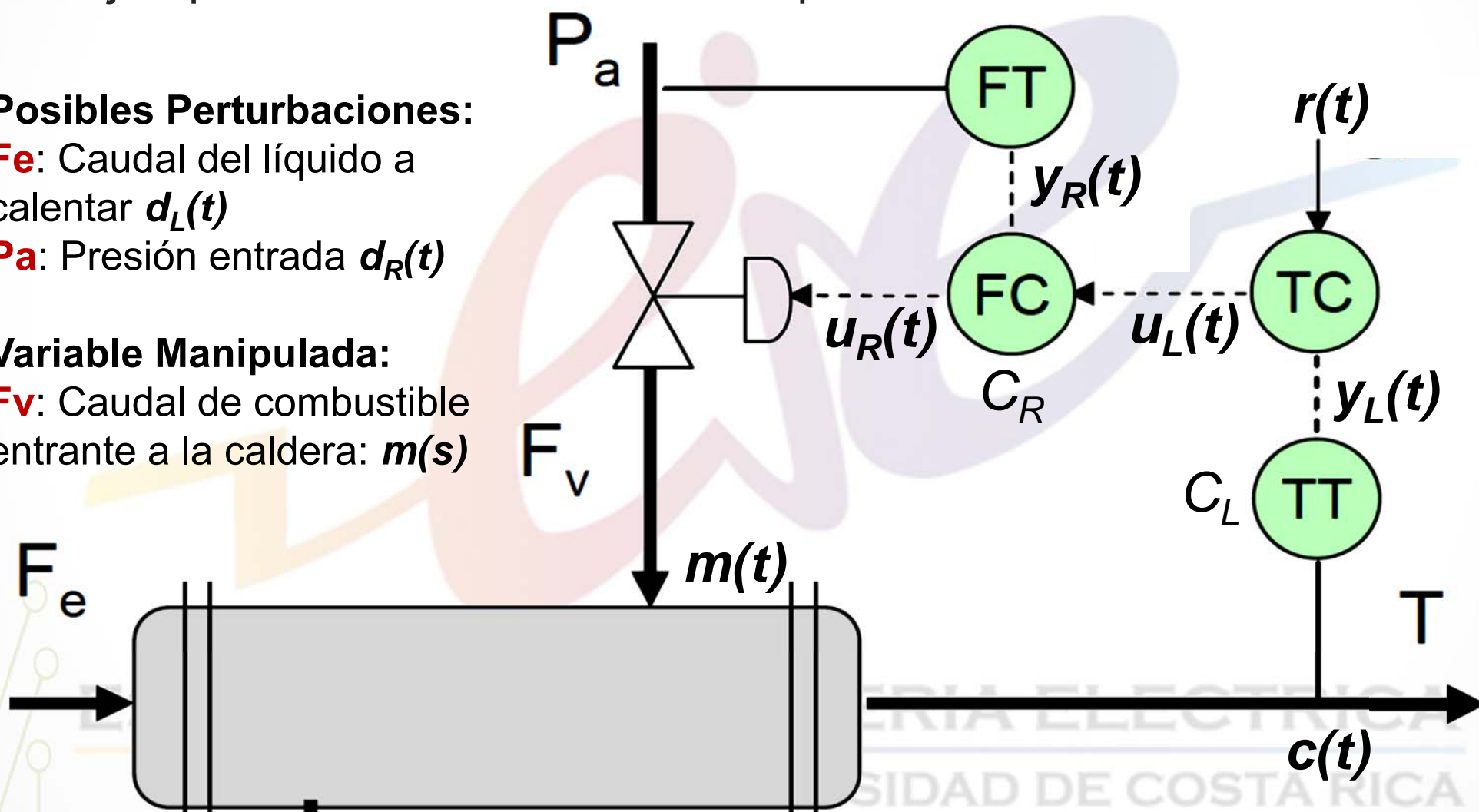
Posibles Perturbaciones:

Fe: Caudal de líquido a calentar $d_L(t)$

Pa: Presión entrada $d_R(t)$

Variable Manipulada:

Fv: Caudal de combustible entrante a la caldera: $m(s)$





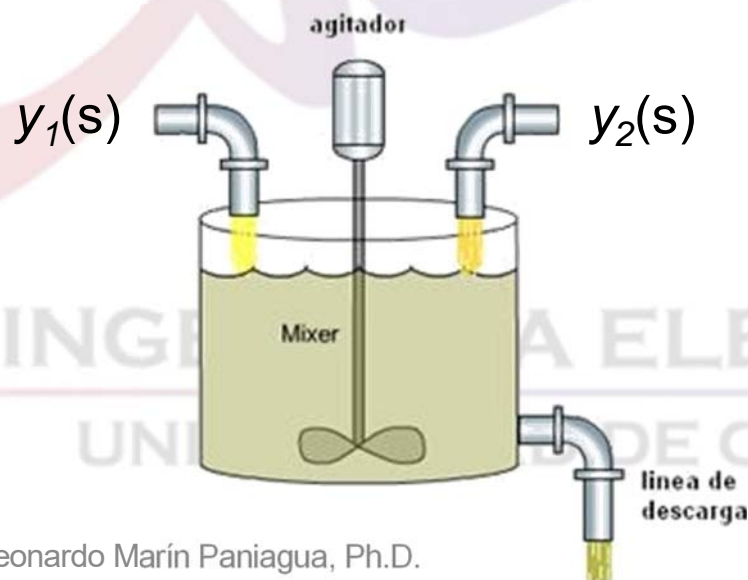
EIE

Escuela de
Ingeniería Eléctrica

Control de Razón

- Se utiliza en procesos industriales en los cuales se mezclan dos o más productos para la obtención de un compuesto final.
- El objetivo de este tipo de control consiste en mantener la relación entre dos o más variables, generalmente caudales, en una cierta razón “**a**”
- Esta razón puede ser constante o variante en el tiempo

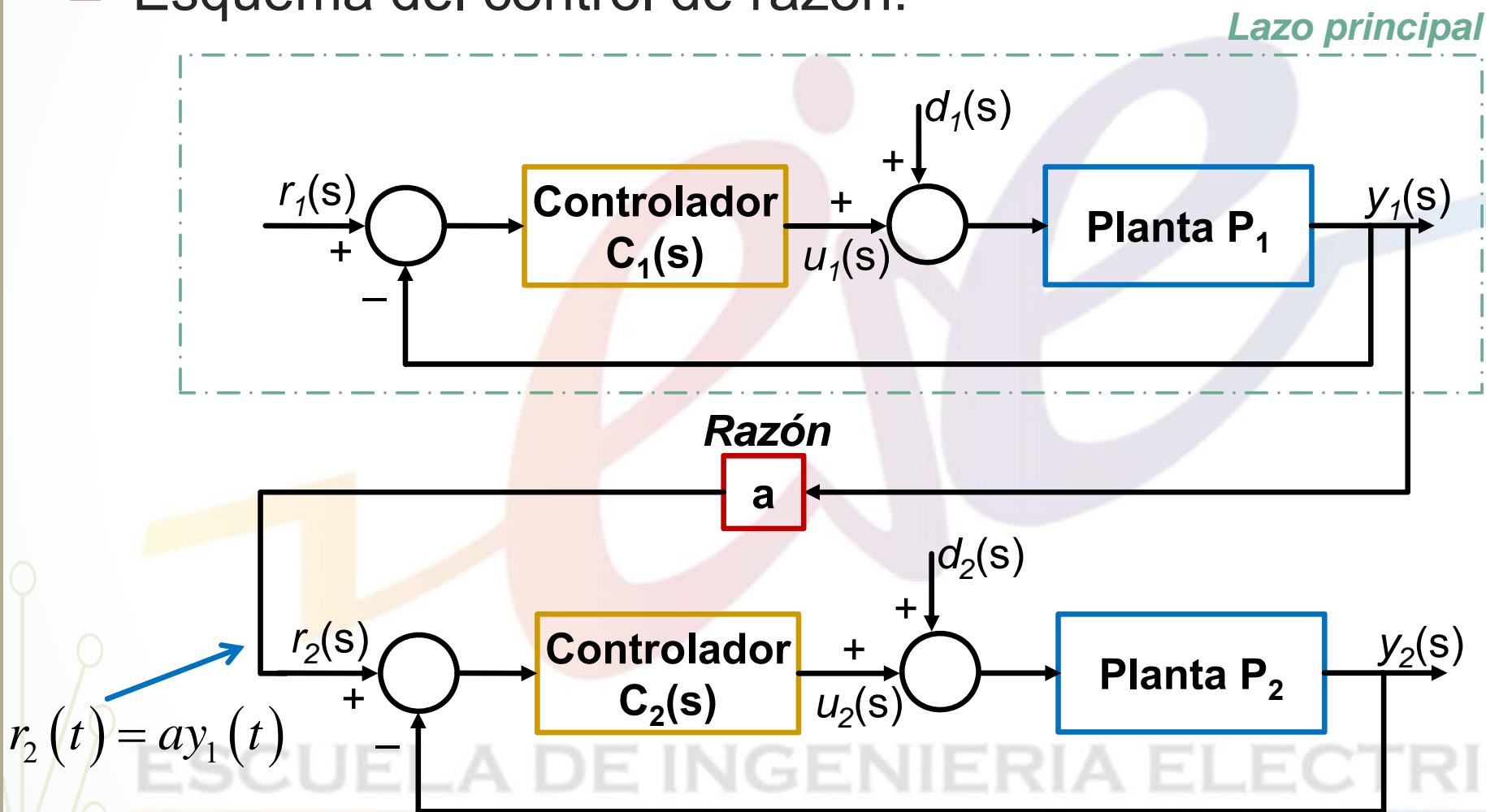
En régimen permanente: $a = \frac{y_2}{y_1}$





Control de Razón

➡ Esquema del control de razón:

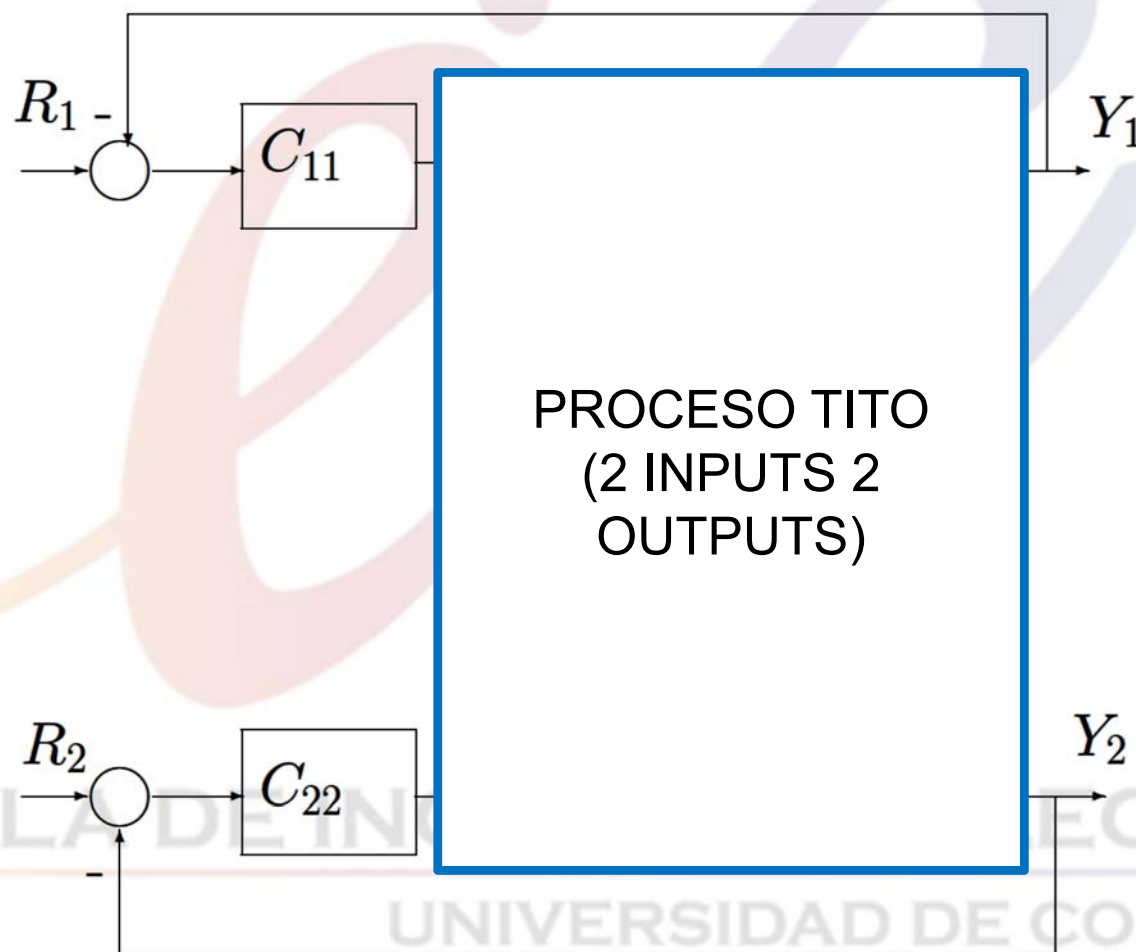


➡ Regulación vs Servo control



Control de sistemas Multivariables

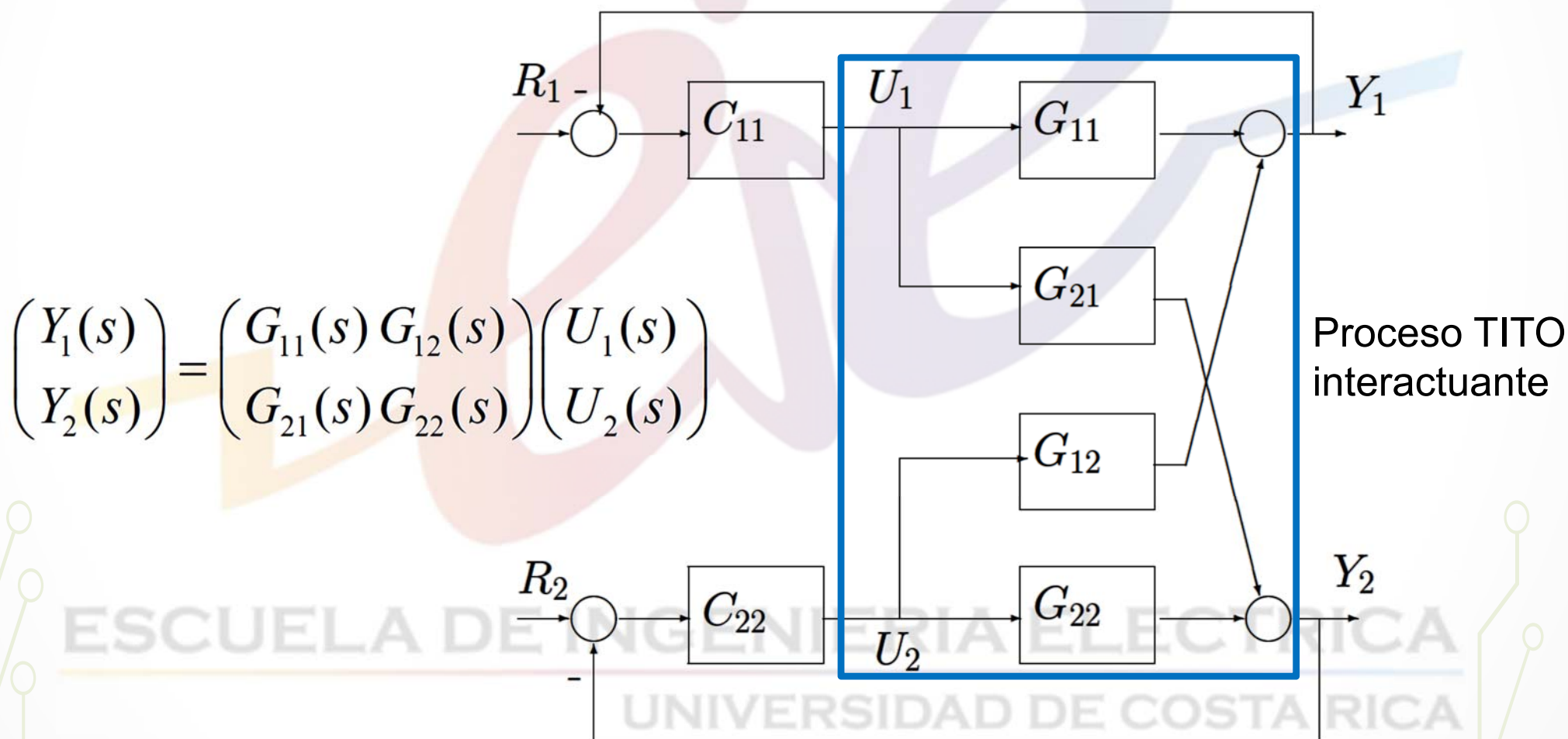
- En el caso de sistemas multivariables, se requiere controlar todas las salidas del proceso:





Control de sistemas Multivariables

- Sistemas multivariables: puede darse la interacción no deseada entre los diversos lazos de control:



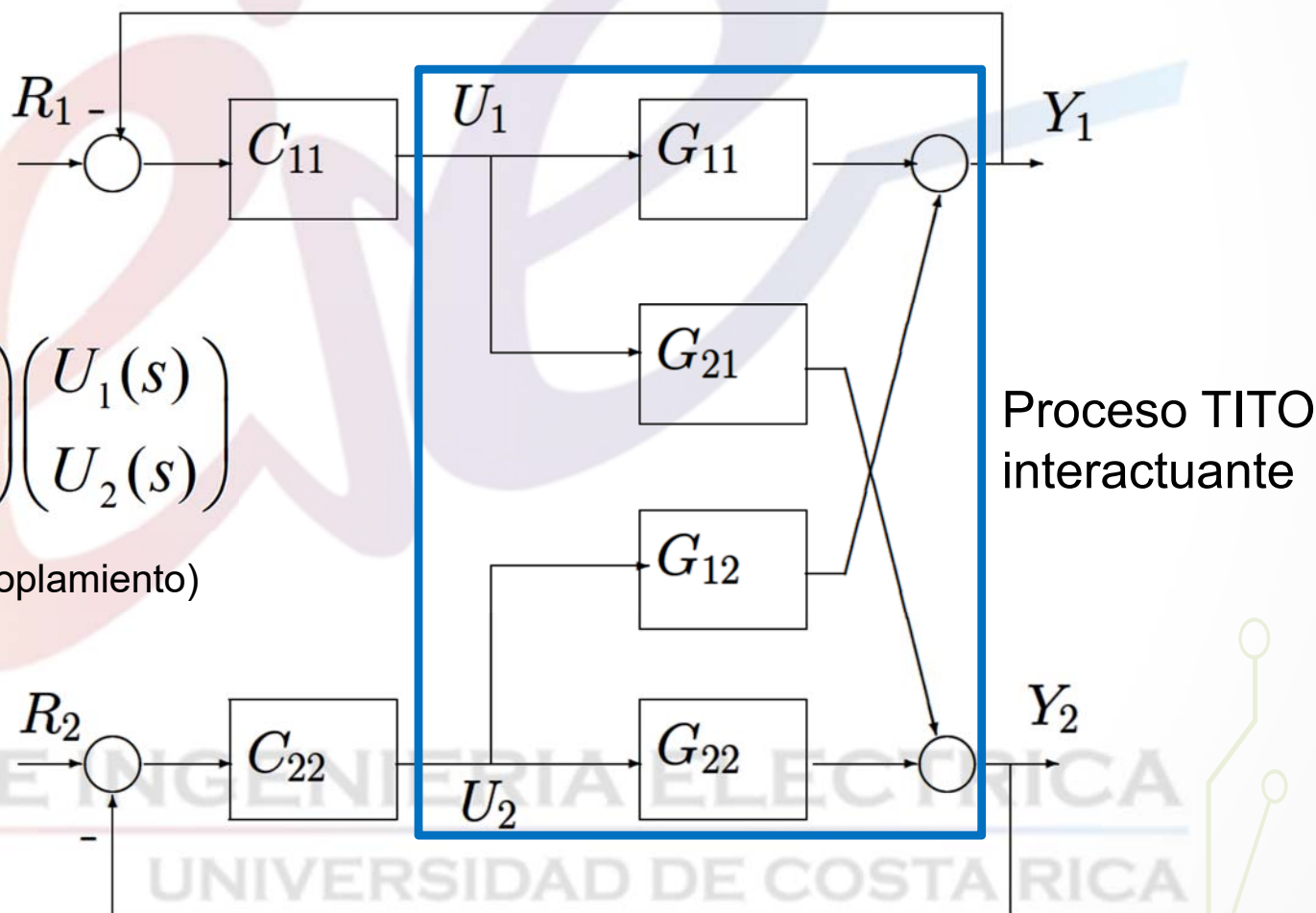


Control de sistemas Multivariables

- Sistemas multivariables: puede darse la interacción no deseada entre los diversos lazos de control:

$$\begin{pmatrix} Y_1(s) \\ Y_2(s) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} G_{11}(s) & G_{12}(s) \\ G_{21}(s) & G_{22}(s) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} U_1(s) \\ U_2(s) \end{pmatrix}$$

- Diferencias entre ganancias (acoplamiento)
- Robustez requerida
- Regulación vs Servo control

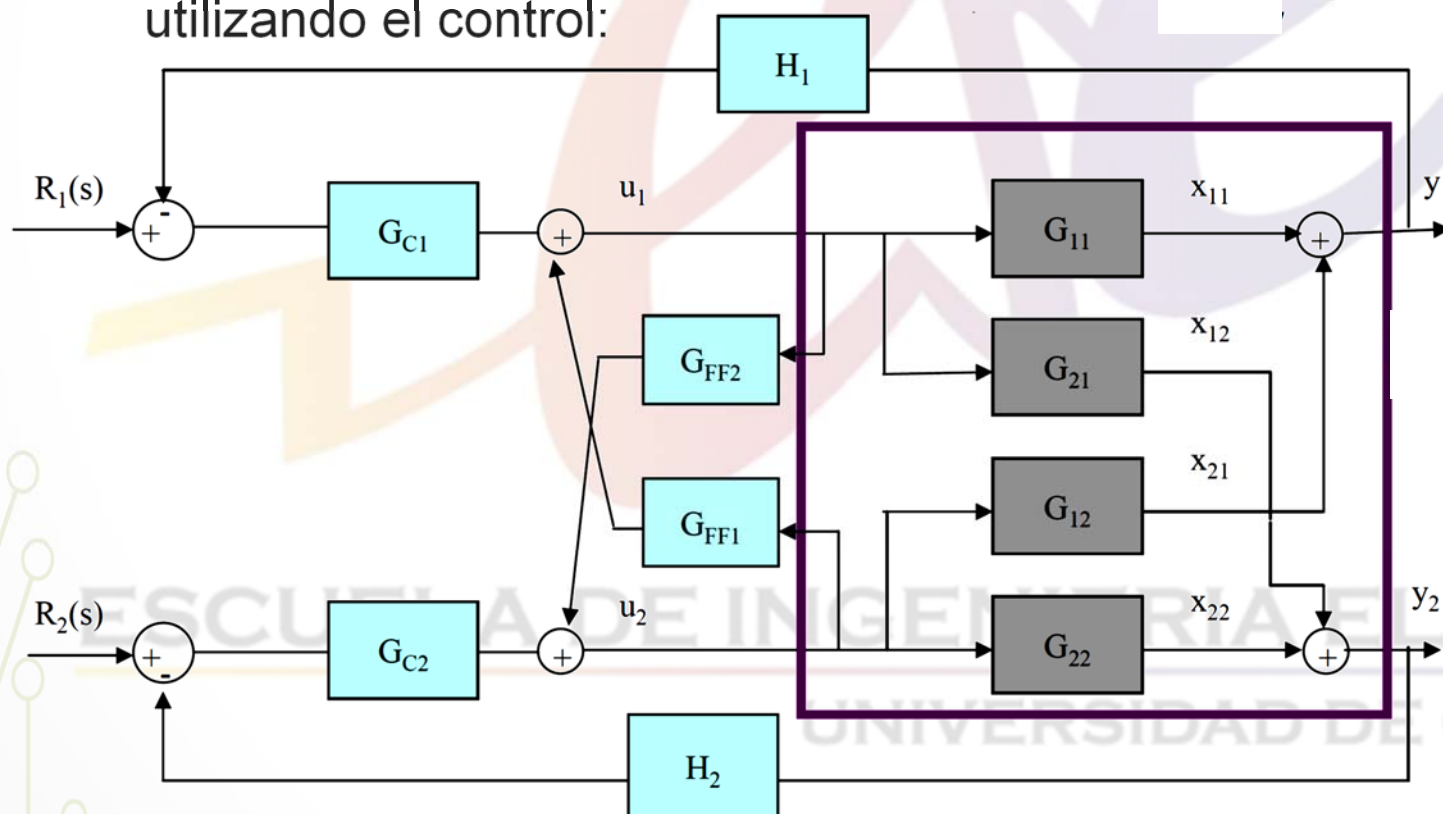




Control de sistemas Multivariables

► Sistemas multivariables: Métodos de control:

- Diseño independiente de los lazos de control: se diseña el controlador omitiendo la dinámica interactuante (acoplada), en este caso los controladores regulan las perturbaciones causadas por las dinámicas interactuantes.
- Desacoplamiento de los lazos de control: eliminar el efecto del acoplamiento utilizando el control:



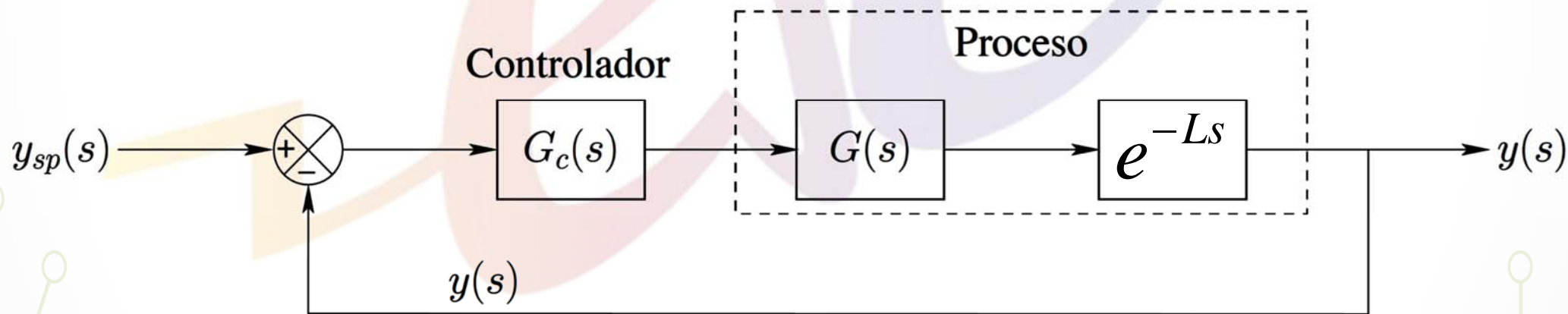
$$G_{FF1} = -\frac{G_{12}(s)}{G_{11}(s)}$$

$$G_{FF2} = -\frac{G_{21}(s)}{G_{22}(s)}$$



Predictor de Smith

- Reduce la influencia negativa de un retardo de transporte alto en el proceso.
- Extrae el tiempo muerto del proceso utilizando la predicción de la salida del proceso mediante su modelo sin retardo.

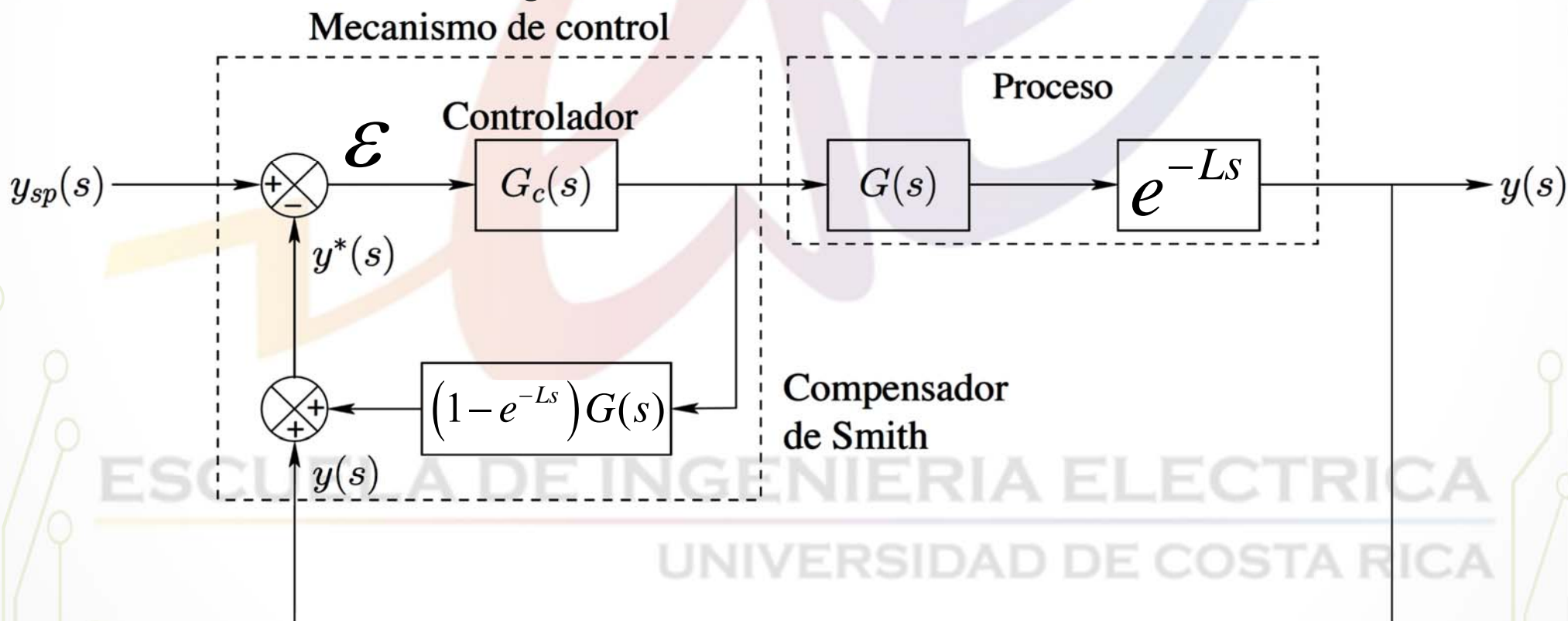


$$P(s) = G(s)e^{-Ls}$$



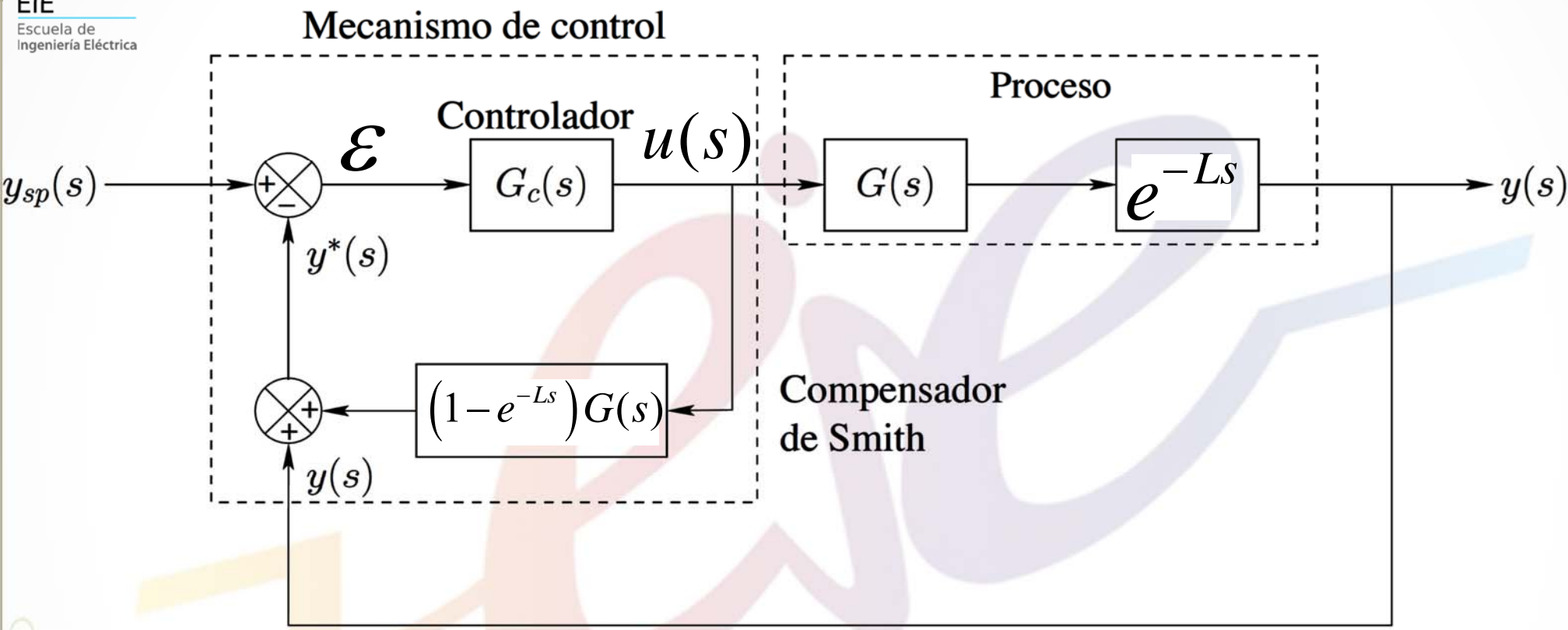
Predictor de Smith

- Para compensar las perturbaciones, se realimenta el error de predicción dado por la diferencia entre la salida real del sistema y la salida del modelo sin el retardo de transporte.
- El predictor trata de estimar el efecto del retraso sobre el sistema para eliminar el efecto negativo del retardo.





Predictor de Smith



$$y(s) = G_c(s)G(s)e^{-Ls}\mathcal{E}(s)$$

$$y^*(s) = y(s) + (1 - e^{-Ls})G(s)u(s) = y(s) + (1 - e^{-Ls})G(s)G_c(s)\mathcal{E}(s)$$

$$\therefore y^*(s) = G_c(s)G(s)\mathcal{E}(s)$$

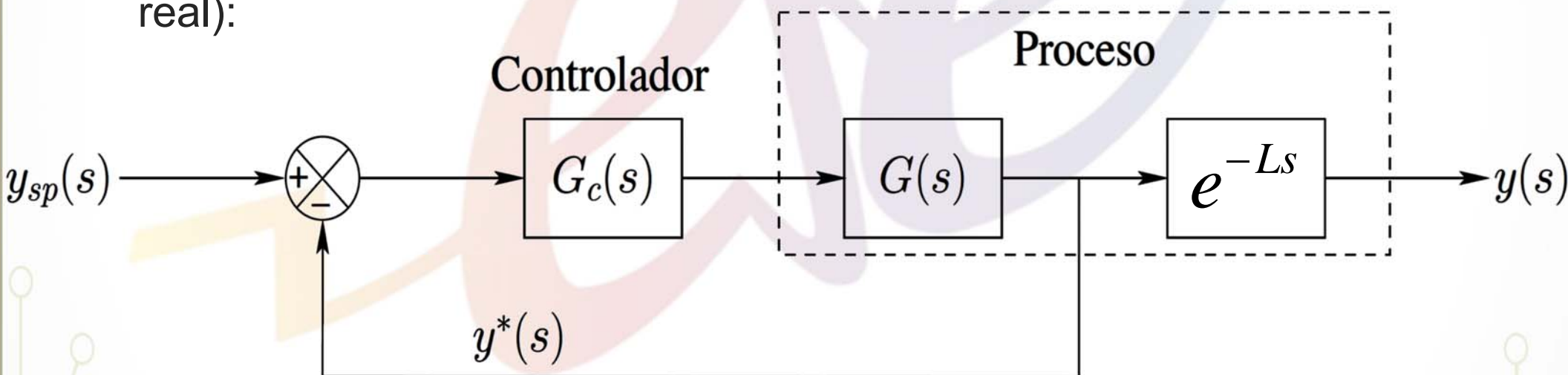


Predictor de Smith

- Con esto se logra compensar el retardo del proceso, con lo que el controlador utilizará valores actuales en lugar de datos antiguos.

$$\therefore y^*(s) = G_c(s)G(s)\varepsilon(s)$$

- Esquema equivalente (resultado matemático, **no** representa un proceso real):



- El controlador se sintoniza utilizando el proceso **sin retardo** (en general un PI o PID).
- Desempeño depende de la exactitud del modelo (*modelo perfecto*)



Predictor de Smith

➔ Ejemplo $P(s) = \frac{e^{-20s}}{10s + 1}$ Control PI con $K_c = 2, Ti = 10$

