

Control de unidades de generación distribuida para brindar servicios auxiliares a la red



Pablo Muñoz¹, Sergio Gonzalez¹, Ricardo Mantz^{1,2}

¹Instituto de investigaciones en electrónica, control y procesamiento de señales (LEICI)
UNLP-CONICET. ²Comisión de investigaciones científicas CICpBA

Resumen

Fundamentalmente las unidades de generación distribuida (UGD) aprovechan las fuentes de energía inyectando potencia activa a la red. Las UGD se pueden conectar a la red a través de una máquina rotante de AC o mediante convertidores electrónicos de potencia (CEP) dependiendo de la naturaleza de la fuente de energía. En particular, aquellas que utilizan CEP para conectarse a la red no tienen inercia. Esto disminuye la inercia total del sistema de potencia planteando nuevos desafíos en el control primario de frecuencia y comprometiendo la estabilidad de la red. Por tales motivos, conforme aumenta la penetración de las UGD en el sistema de potencia, es importante diseñar estrategias de control para que los CEP den una rápida respuesta de tal manera que las UGD brinden servicios auxiliares mediante la compensación o regulación de algunas variables (como, por ejemplo, compensación de potencia reactiva, armónicos, control de frecuencia primario, etc.) que contribuyan al correcto funcionamiento del sistema de potencia. En este trabajo se propone un lazo de acondicionamiento de referencia por modos deslizantes (SMRC de sus siglas en inglés "Sliding-Mode Reference Conditioning") para moldear la referencia en los típicos controles de potencia por droop. De esta manera, las UGD son capaces de inyectar a la red una cierta cantidad de potencia activa y, además, regular su participación en el reparto de potencia activa y reactiva en función de la frecuencia y la tensión en el punto de conexión. Por su parte, el lazo de acondicionamiento brinda una rápida respuesta capaz de limitar la desviación de frecuencia y la tasa de cambio de la frecuencia (RoCoF de sus siglas en inglés "Rate of Change of Frequency") para contribuir a que el sistema opere dentro de los límites establecidos por los códigos de red.

Control de frecuencia primario clásico

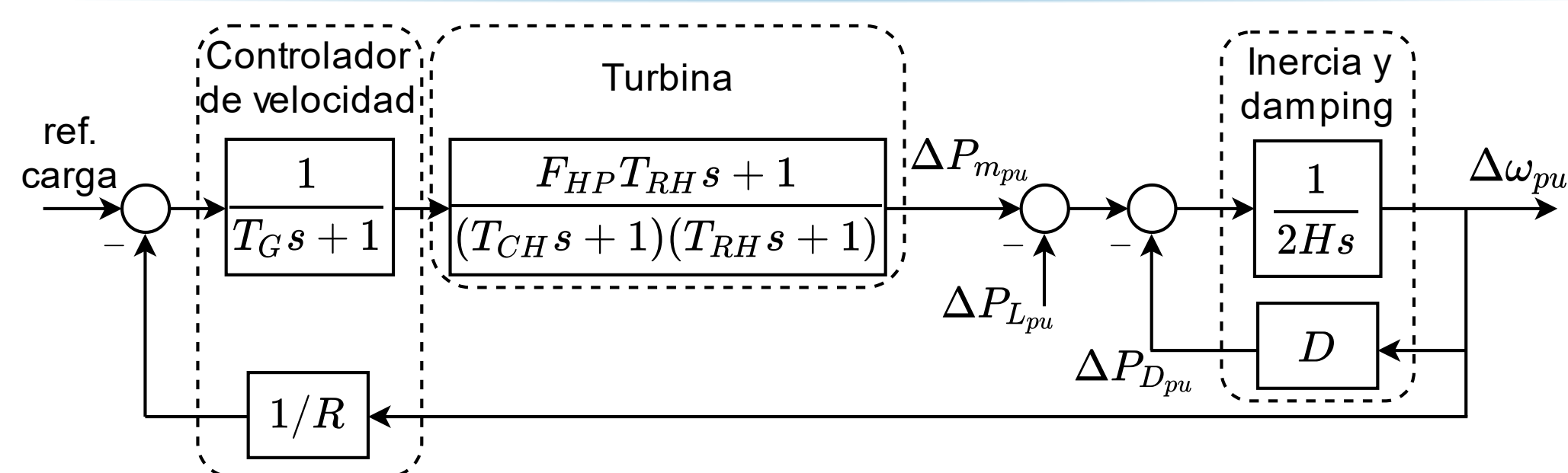


Diagrama en bloques de regulación de frecuencia sin la participación de las UGDs

En la Figura, el bloque inercia y damping describe la conocida ecuación de oscilación que modela el comportamiento electromecánico del GS que se puede expresar de la siguiente manera

$$\Delta P_m - \Delta P_L = 2H \frac{d\Delta\omega}{dt} + D\Delta\omega$$

Lazo de acondicionamiento de referencia para las UGDs

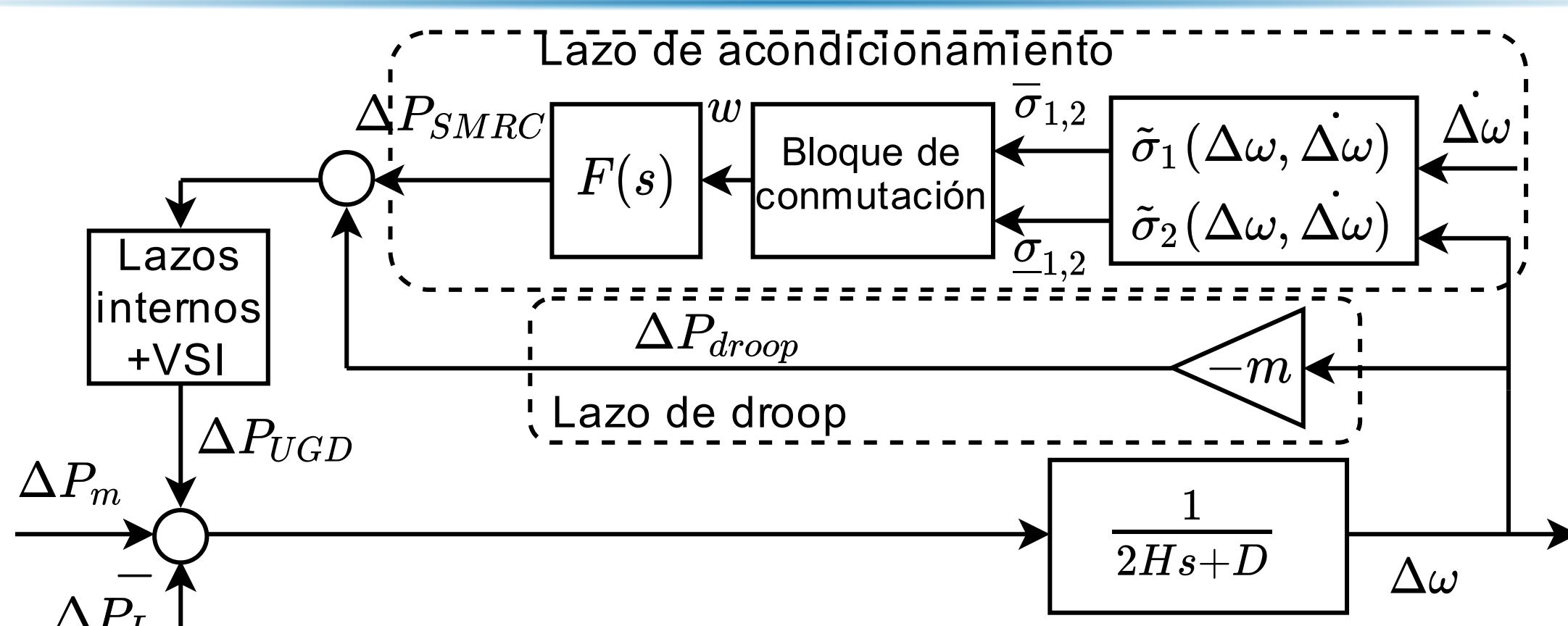


Diagrama en bloques de regulación de frecuencia con la participación propuesta de la UGD

Con la participación de la UGD en el control de frecuencia primario la ecuación de oscilación resulta:

$$\Delta P_m - \Delta P_L + \Delta P_{UGD} = 2H \frac{d\Delta\omega}{dt} + D\Delta\omega.$$

El lazo de acondicionamiento está compuesto por las funciones de conmutación $\tilde{\sigma}_1$ y $\tilde{\sigma}_2$, donde en cada una de ellas, se establecen los límites superior e inferior para la RoCoF y $\Delta\omega$, el bloque de conmutación en donde se implementa la acción discontinua y el filtro

$$F(s) : \{\Delta P \tilde{\sigma}_{1,2} = -\lambda_f \Delta P \tilde{\sigma}_{1,2} + \lambda_f w\}$$

La función de conmutación $\tilde{\sigma}_1$ define dos superficies de conmutación

$$S_1 = \{(\Delta\omega, \dot{\Delta\omega}) \in \mathbb{R}^2 : \sigma_1 = 0\},$$

$$\bar{S}_1 = \{(\Delta\omega, \dot{\Delta\omega}) \in \mathbb{R}^2 : \bar{\sigma}_1 = 0\},$$

y la función de conmutación $\tilde{\sigma}_2$ define dos superficies de conmutación

$$S_2 = \{(\Delta\omega, \dot{\Delta\omega}) \in \mathbb{R}^2 : \sigma_2 = 0\},$$

$$\bar{S}_2 = \{(\Delta\omega, \dot{\Delta\omega}) \in \mathbb{R}^2 : \bar{\sigma}_2 = 0\}.$$

El bloque de conmutación genera la señal dis-

continua w que se usa para acondicionar la referencia de potencia P^* siguiendo la ley de conmutación

$$w = \begin{cases} w^+ & \text{si } \sigma_{1,2} < 0 \\ w^- & \text{si } \sigma_{1,2} > 0 \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases}$$

Diseño de las funciones de conmutación

Se considera la función de conmutación

$$\tilde{\sigma}_1 = \Delta\omega - \Delta\omega$$

para establecer los límites en la RoCoF y

$$\tilde{\sigma}_2 = \dot{\Delta\omega} - \dot{\Delta\omega} - k\dot{\Delta\omega}$$

Para establecer los límites en la desviación de frecuencia. En $\tilde{\sigma}_2$ se introdujo el estado adicional para satisfacer la condición de transversalidad y de esta manera la acción discontinua sea capaz de establecer un régimen deslizante.

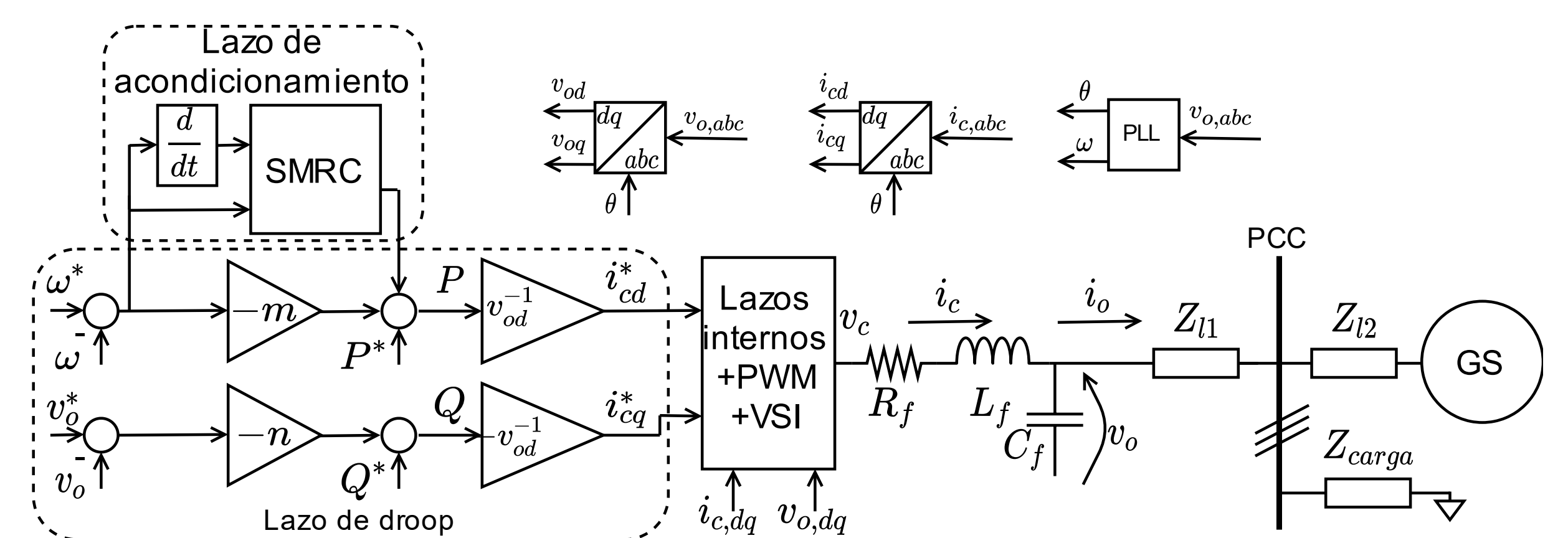
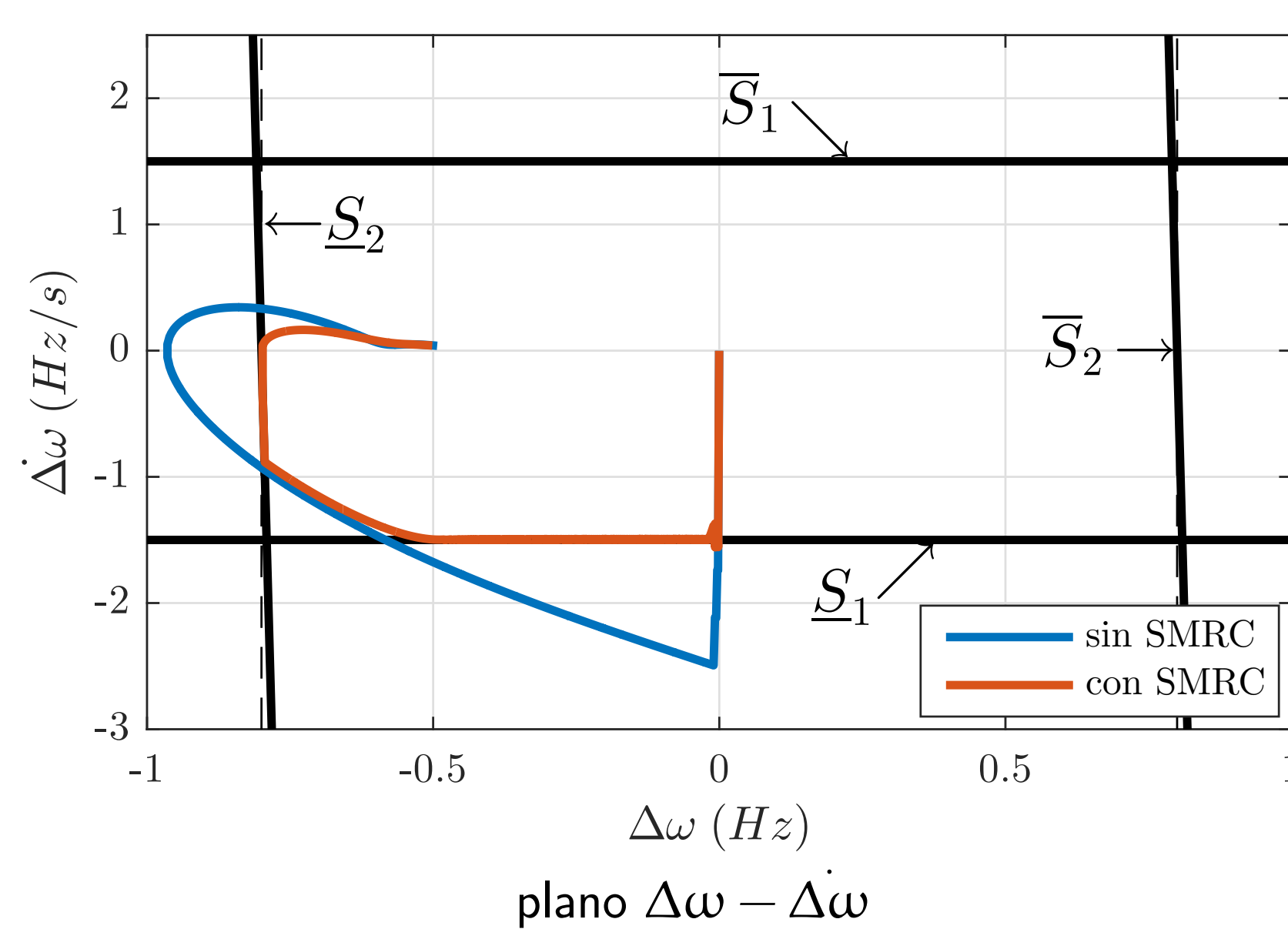
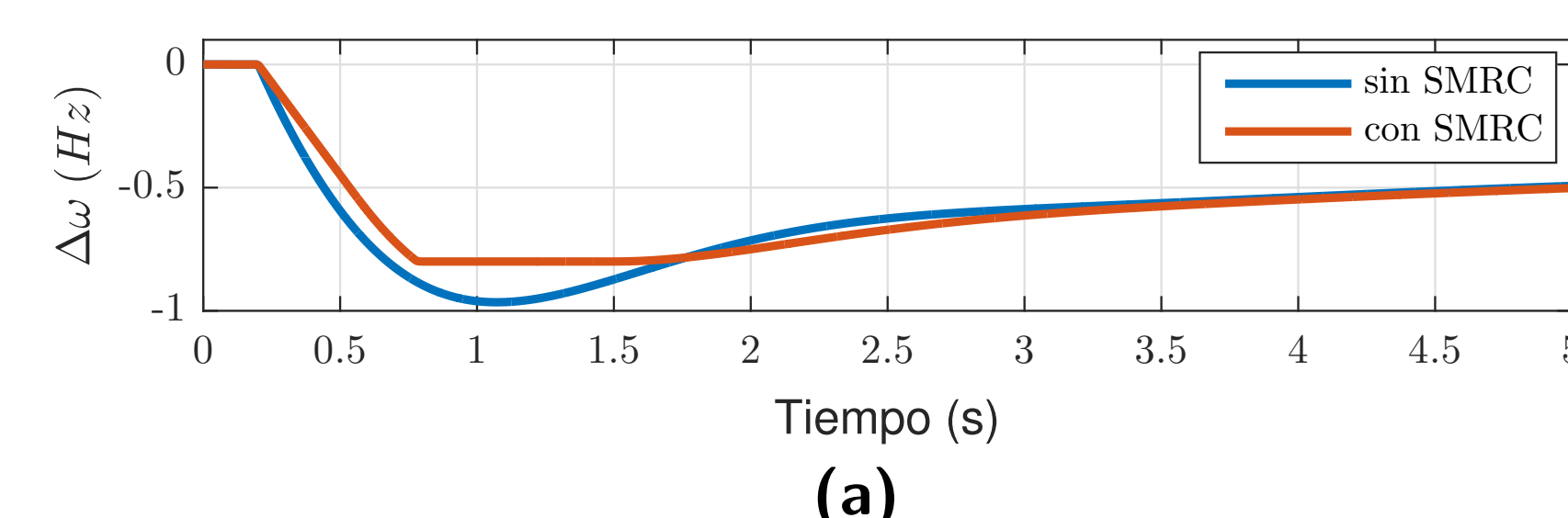


Diagrama esquemático de la UGD con el lazo de acondicionamiento de referencia conectado a la red

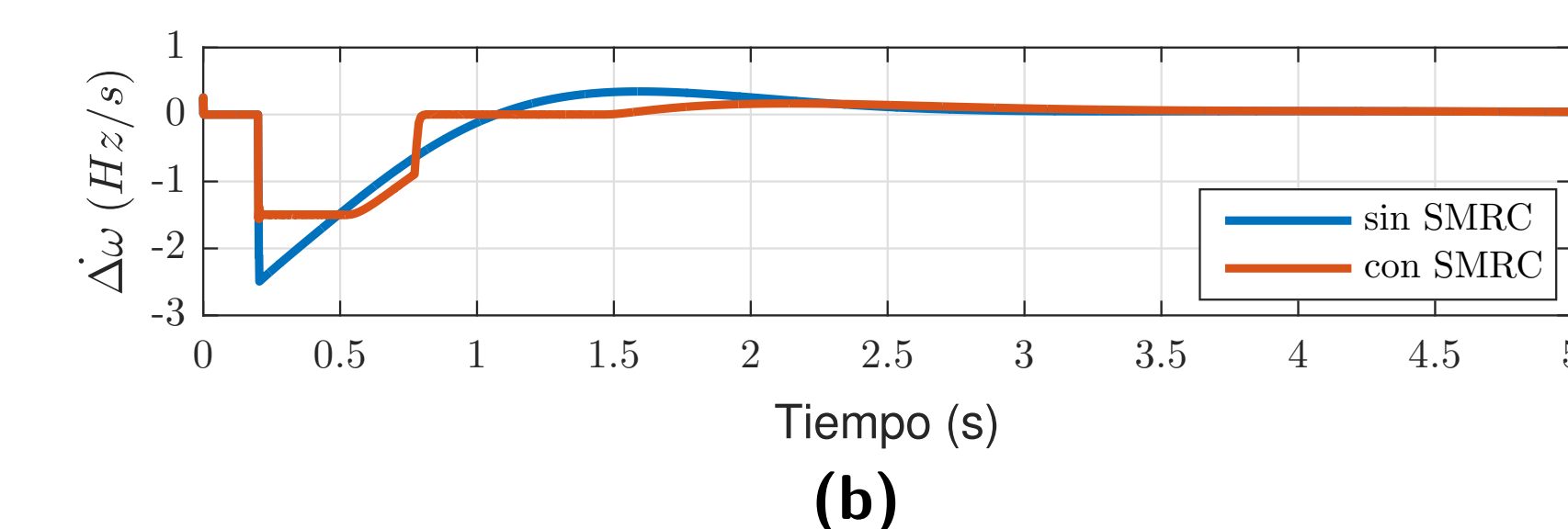
Resultados frente a un cambio de carga del 20%



plano $\Delta\omega - \dot{\Delta\omega}$

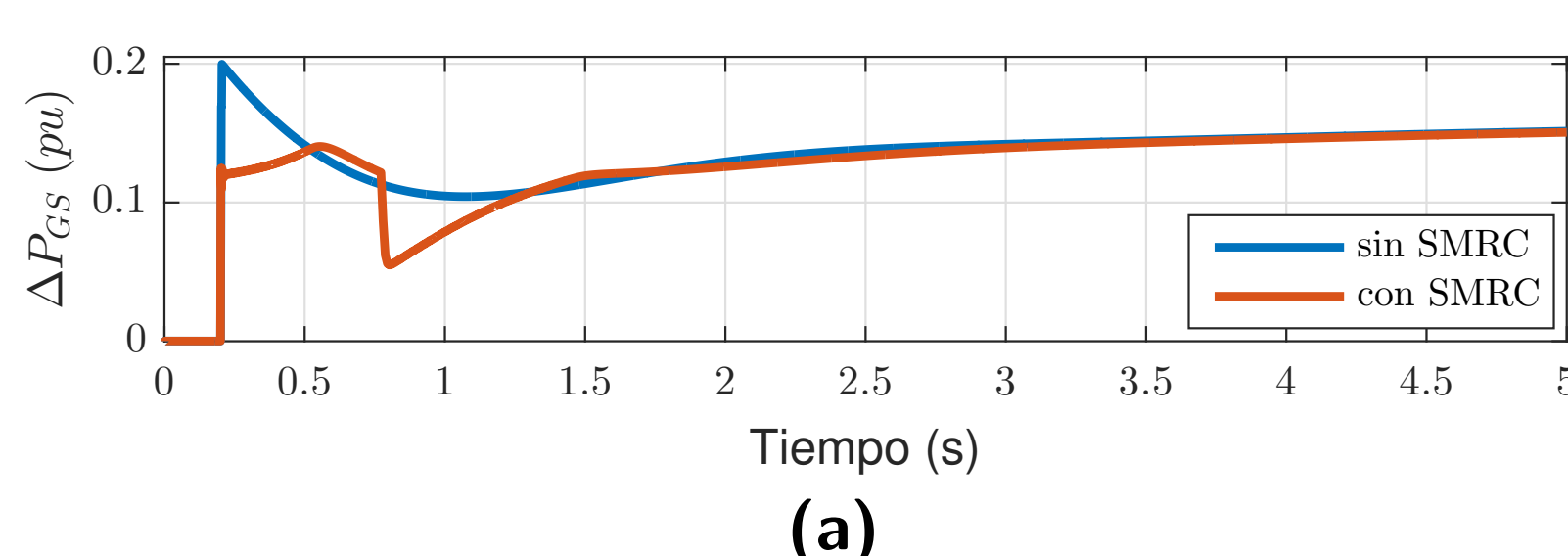


(a)

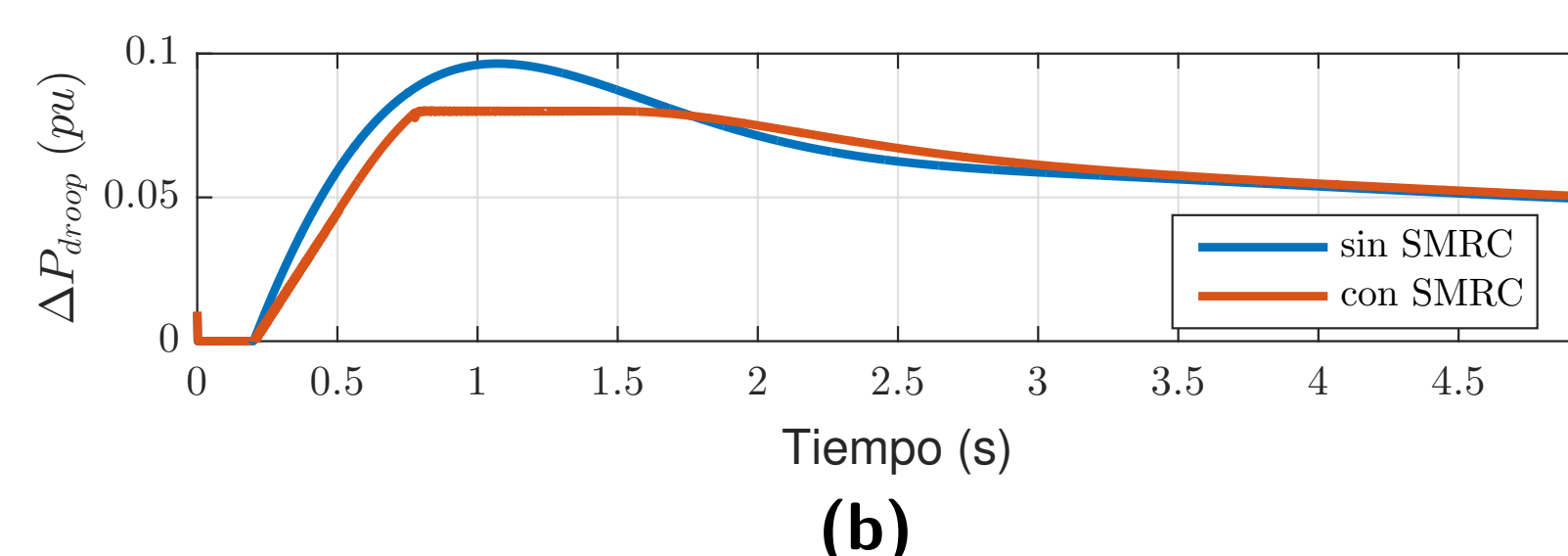


(b)

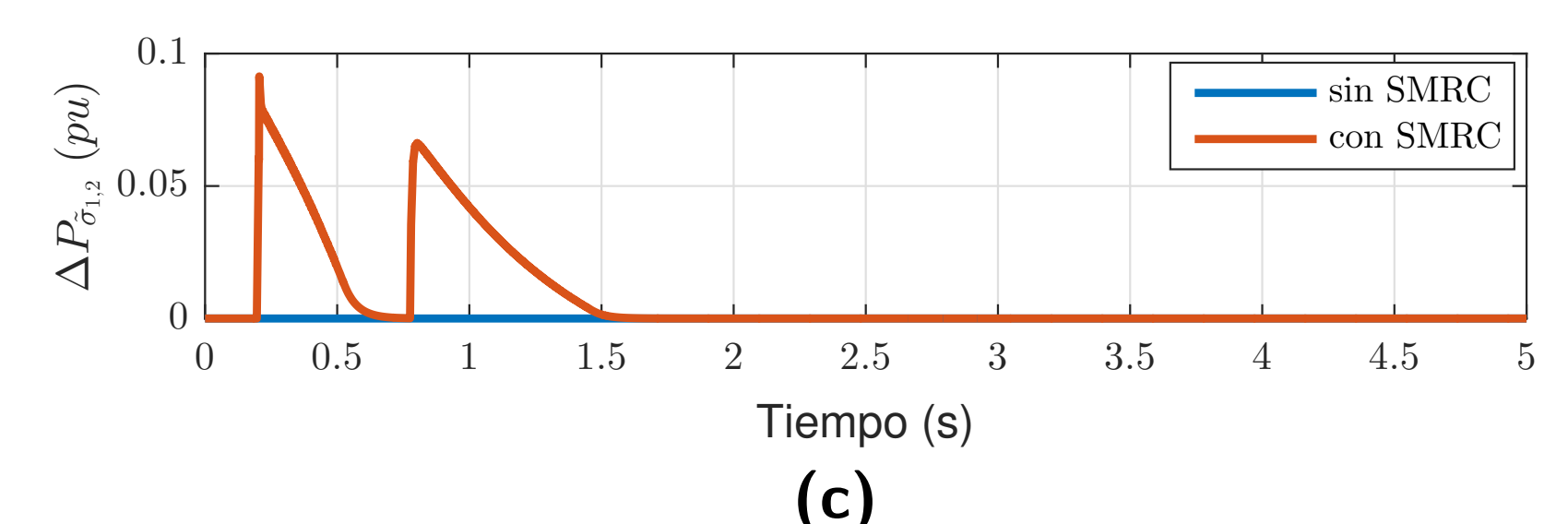
Respuesta temporal: (a) $\Delta\omega$ (b) $\dot{\Delta\omega}$



(a)



(b)



(c)

Respuesta temporal: (a) Potencia del GS (b) Potencia de la UGD debido al droop (c) Potencia de la UGD debido al SMRC

Conclusiones

En este trabajo se propone el uso de un lazo de acondicionamiento por modos deslizantes adicional en las típicas curvas de droop para que las UGD basadas en convertidores contribuyan al control primario de frecuencia. Con esta estrategia se busca impedir que la desviación de frecuencia y la RoCoF superen los límites impuestos. A diferencia de otras estrategias existentes en la bibliografía, el lazo de acondicionamiento sólo interviene cuando existe riesgo de superar alguna restricción. De este modo sólo se entrega/absorbe energía cuando existe riesgo de superar estos límites, con lo cual se logra un uso eficiente de la energía. Más aún, mientras el control del convertidor opera en régimen deslizante se puede interpretar la propuesta como un aporte transitorio de inercia y damping virtual al sistema, es decir, sólo cuando es necesario para no exceder los límites preestablecidos. Los resultados de simulación muestran que la estrategia es capaz de contribuir al control primario de frecuencia logrando que las variables permanezcan dentro de sus límites.