

# Algoritmo bumpless para unidades de generación distribuida con controladores dependientes del modo de operación



Pablo Muñoz<sup>1</sup>, Sergio Gonzalez<sup>1</sup>, Ricardo Mantz<sup>1,2</sup>, Paul Puleston<sup>1</sup>

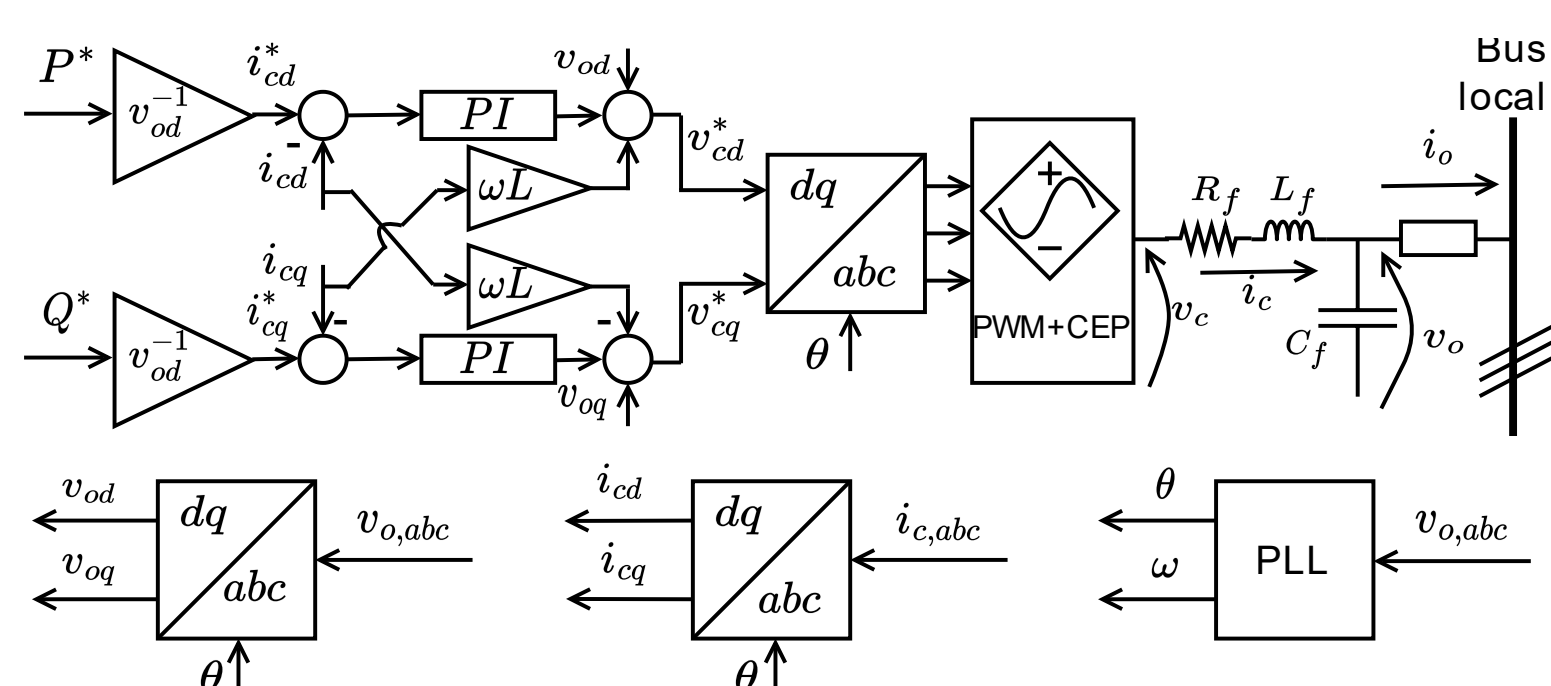
<sup>1</sup>Grupo Estrategias de Control y Electrónica de Potencia (GECEP), Instituto de investigaciones en electrónica, control y procesamiento de señales (LEICI) UNLP-CONICET. <sup>2</sup>Comisión de investigaciones científicas CICpBA

## Resumen

Las microrredes, entendidas como un conjunto de unidades de generación distribuida (UGD), sistemas de almacenamiento y cargas, son clave para mejorar la resiliencia del sistema eléctrico. En condiciones normales las microrredes operan en modo conectado a la red donde pueden importar o exportar energía y deben tener la capacidad de aislarse frente a cualquier eventualidad, como fallas en la red principal, para garantizar el suministro de energía a las cargas locales. Los desafíos y objetivos de control son diferentes en cada modo de operación. En este sentido, existen dos estrategias de control bien establecidas para las UGDs. En modo isla, al menos una UGD debe operar en modo “formador de red” donde la UGD se controla para regular la tensión y la frecuencia de la microrred. En modo conectado a la red, las UGDs pueden operar en modo “seguidor de red” inyectando potencia. Por lo tanto, la transición entre estos modos de operación implica cambiar de controlador. Si la salida de los controladores no coincide en el instante de conmutación, se produce un salto en la acción de control que genera transitorios no deseados en la potencia de salida de las UGDs afectando la tensión y la frecuencia. En este trabajo se propone un algoritmo denominado SMRC-BT (de sus siglas en inglés Sliding-Mode Reference Conditioning Bumpless-Transfer), que actúa sobre la referencia del lazo de control y fuerza el establecimiento de un régimen deslizando sobre una superficie y obliga a reducir el error entre la salida de los controladores a cero.

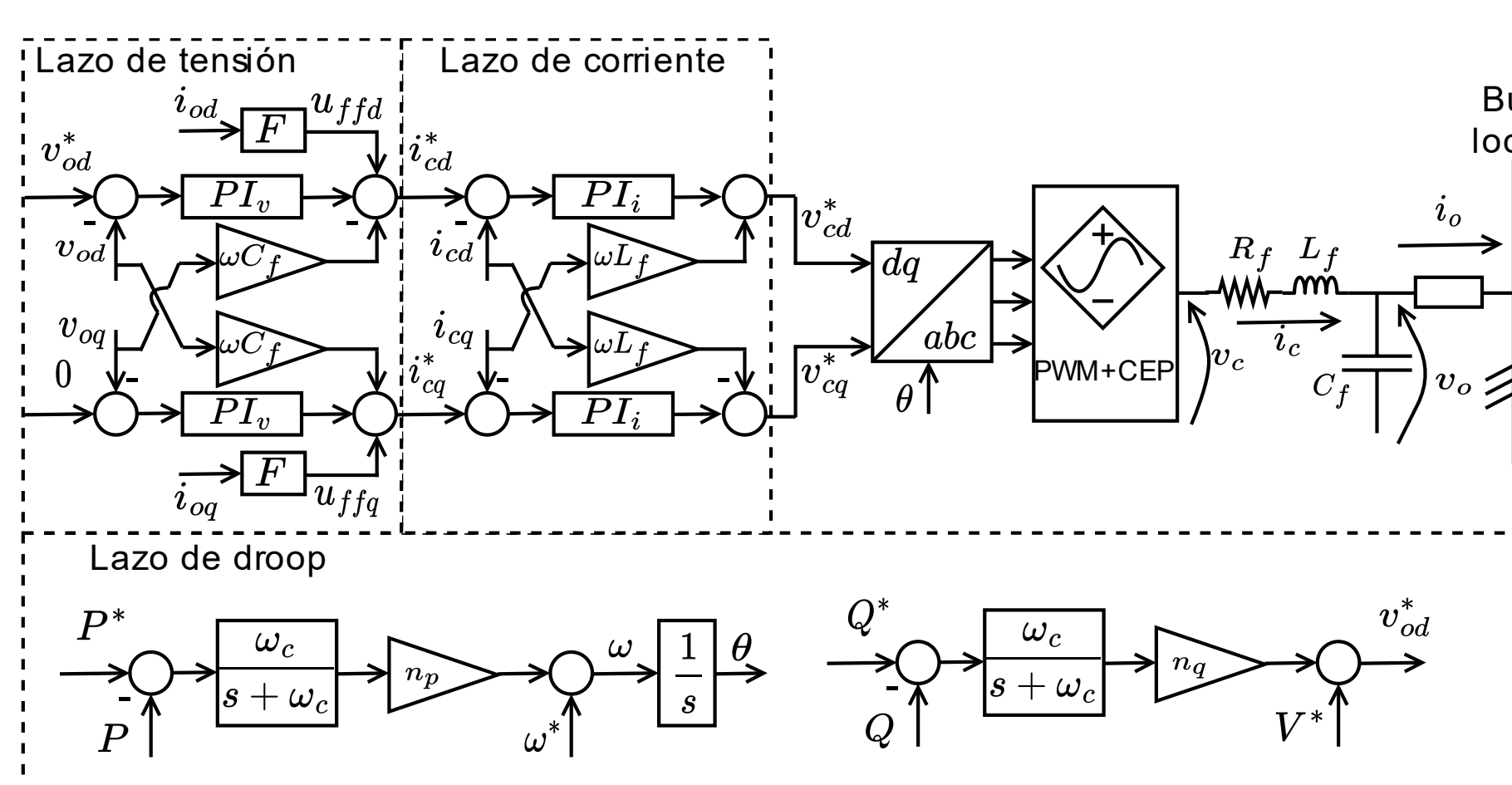
## Bumpless transfer mediante SMRC

### Modo de operación conectado a la red



Lazo de control para el modo de operación seguidor de red

### Modo de operación isla



Lazo de control para el modo de operación seguidor de red

En modo seguidor de red  $\hat{u} = u_1$ , y en modo formador de red  $\hat{u} = u_2$ . El bloque SMRC-BT genera las señales  $w_{s1}$ ,  $w_{s2}$  y  $w_{s3}$  que actúan sobre las referencias del controlador formador de red de para establecer un régimen deslizando sobre una superficie que garantice que  $u_2 = \hat{u}$  en todo momento. Así se evitan saltos en la acción de control cuando se conmutan los controladores debido al aislamiento de la microrred.

Condiciones para el establecimiento del MD:  
La derivada de la función de con-

mutación  $\sigma(x)$  tiene la forma:

$$\dot{\sigma} = d(x) - \eta D(x) \text{sign}(\sigma).$$

Entonces, se deben cumplir las siguientes condiciones:

- (c1)  $D(x)$  es definida positiva
- (c2)  $\eta > \sqrt{m} \|d(x)\|_2 / \lambda_{\min}(x)$

con  $\eta \in \mathbb{R}^+$  y  $\lambda_{\min}(x)$  el mínimo autovalor de  $(D(x) + D^T(x))/2$ . El lazo de acondicionamiento está formado por la función de conmutación que verifica la condición (c1)

$$\sigma(x) = \begin{pmatrix} \sigma_1(x) \\ \sigma_2(x) \\ \sigma_3(x) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \hat{v}_{cd} - v_{cd2}^* \\ \hat{v}_{cq} - v_{cq2}^* \\ \hat{\theta} - \theta_2^* - k(\omega_c - \omega) \end{pmatrix}.$$

La señal discontinua  $w$  sigue la ley

de conmutación

$$w = \begin{pmatrix} M_{11} & 0 & 0 \\ 0 & M_{22} & 0 \\ 0 & 0 & M_{33} \end{pmatrix} \text{sign}(\sigma)$$

El filtro para la conmutación de alta frecuencia:

$$F(s) : \begin{cases} \dot{x}_f = -\lambda_f \mathbb{I}_3 x_f + \mathbb{I}_3 w \\ w_s = \lambda_f \mathbb{I}_3 x_f \end{cases}$$

Para verificar la condición (c2) reemplazando la expresión del controlador, el filtro y la acción discontinua en la derivada de la función de conmutación se llega a:

$$d(x) = \hat{u} + K\hat{u} - C_c(A_c x_c + B_c e_c + H_c) - (D_c + K C_c B_c)(\dot{e} - \lambda_f w_s) + \dot{W}_c, \\ \eta D(x) = (D_c + K C_c B_c) \lambda_f M.$$

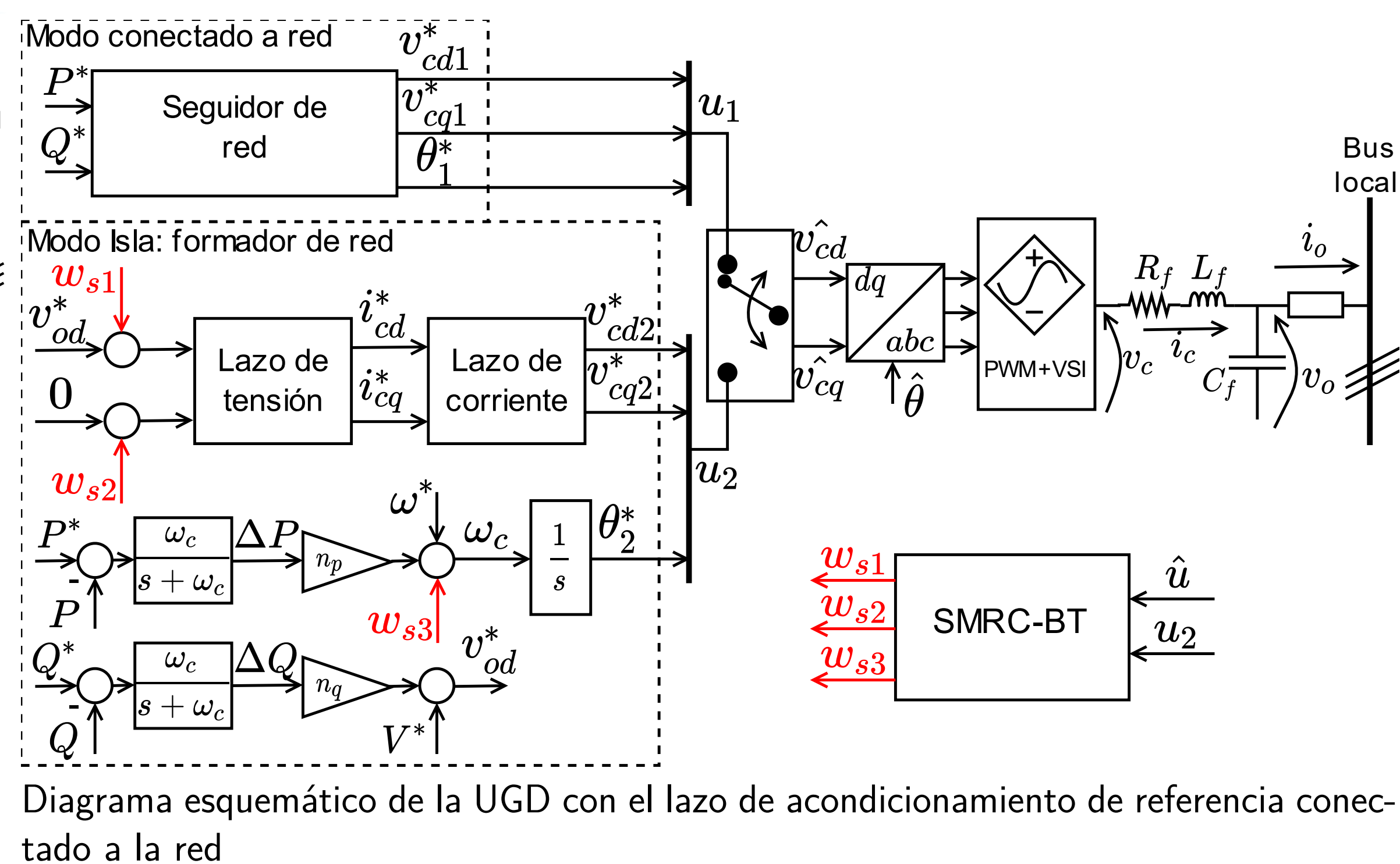


Diagrama esquemático de la UGD con el lazo de acondicionamiento de referencia conectado a la red

$$C_{GFM}(s) : \begin{cases} \dot{x}_c = A_c x_c + B_c e_c + H_c \\ u_2 = C_c x_c + D_c e_c + W_c \end{cases}$$

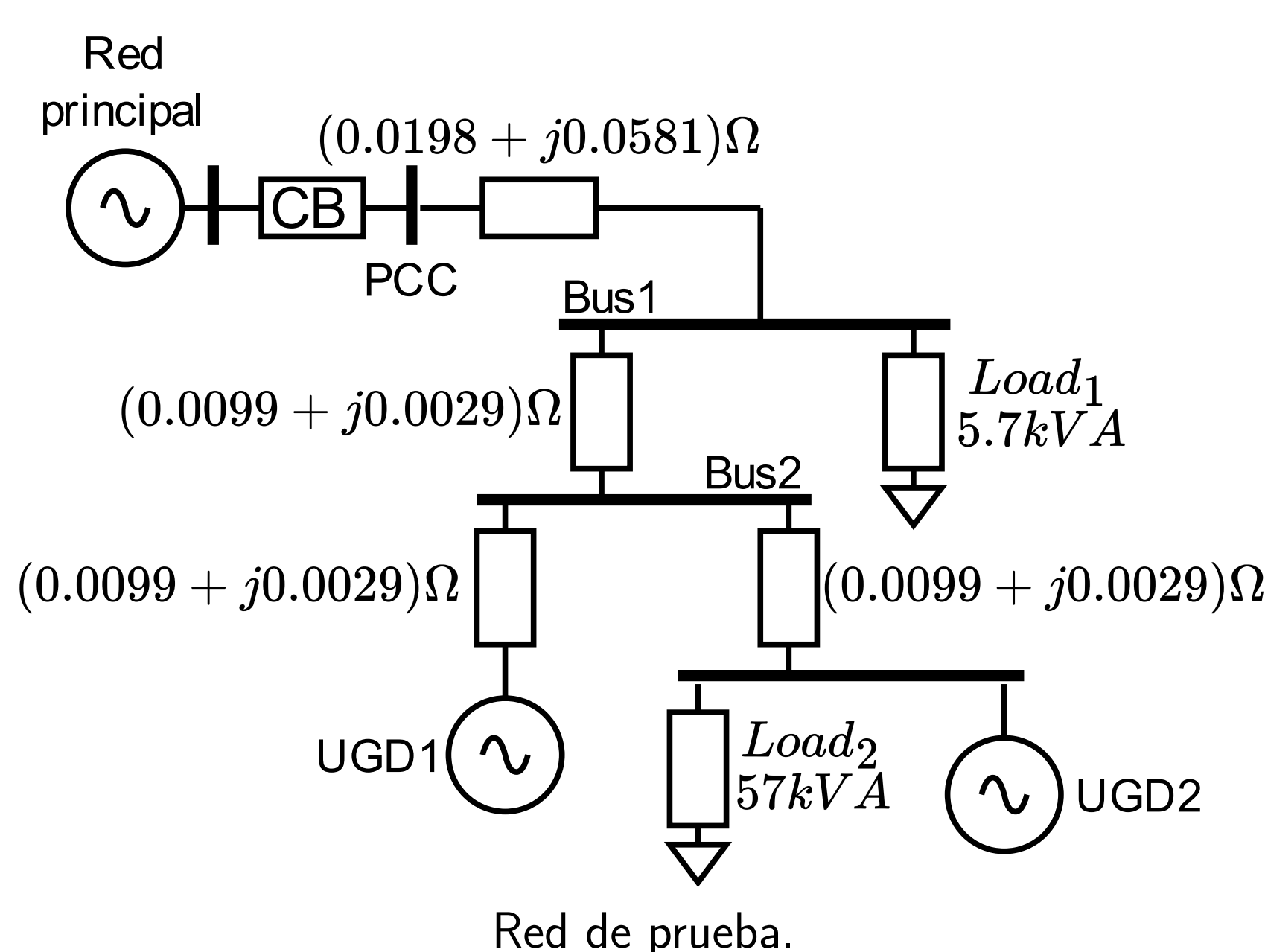
$$A_c = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ k_{iv} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & k_{iv} & 0 \end{pmatrix}, B_c = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ k_{pv} & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & k_{pv} & 0 \end{pmatrix},$$

$$H_c = \begin{pmatrix} 0 \\ u_{ffd} - v_{oq} \omega C_f - i_{cd} \\ u_{ffq} + v_{od} \omega C_f - i_{cq} \\ 0 \end{pmatrix}, D_c = \begin{pmatrix} k_{pi} k_{pv} & 0 & 0 \\ 0 & k_{pi} k_{pv} & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix},$$

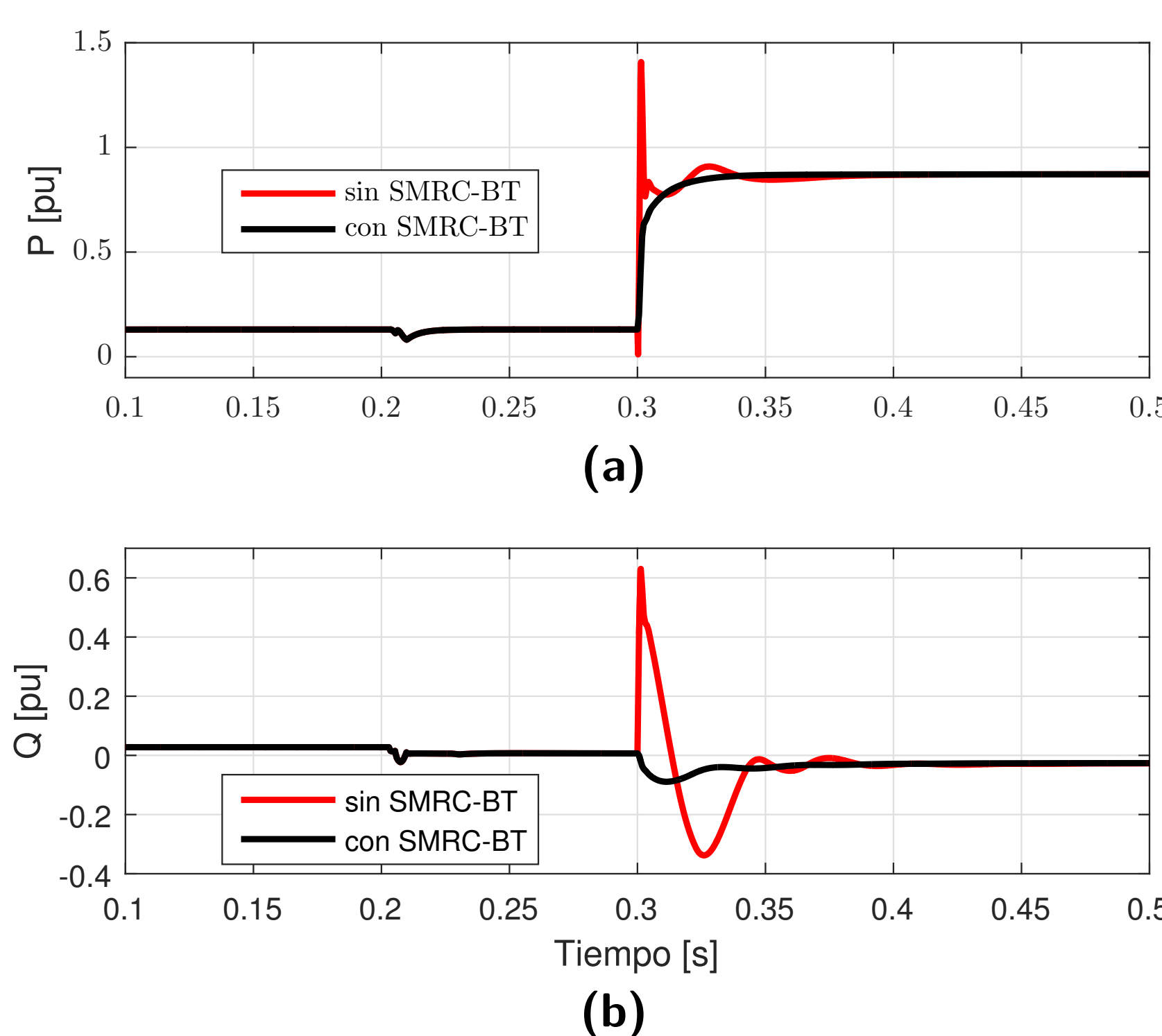
$$C_c = \begin{pmatrix} k_{pi} k_{iv} & k_{ii} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & k_{pi} k_{iv} & k_{ii} \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix},$$

$$W_c = \begin{pmatrix} u_{ffd} - v_{oq} \omega C_f - i_{cd} + i_{cq} \omega L_f \\ u_{ffq} + v_{od} \omega C_f - i_{cq} - i_{cd} \omega L_f \\ 0 \end{pmatrix}.$$

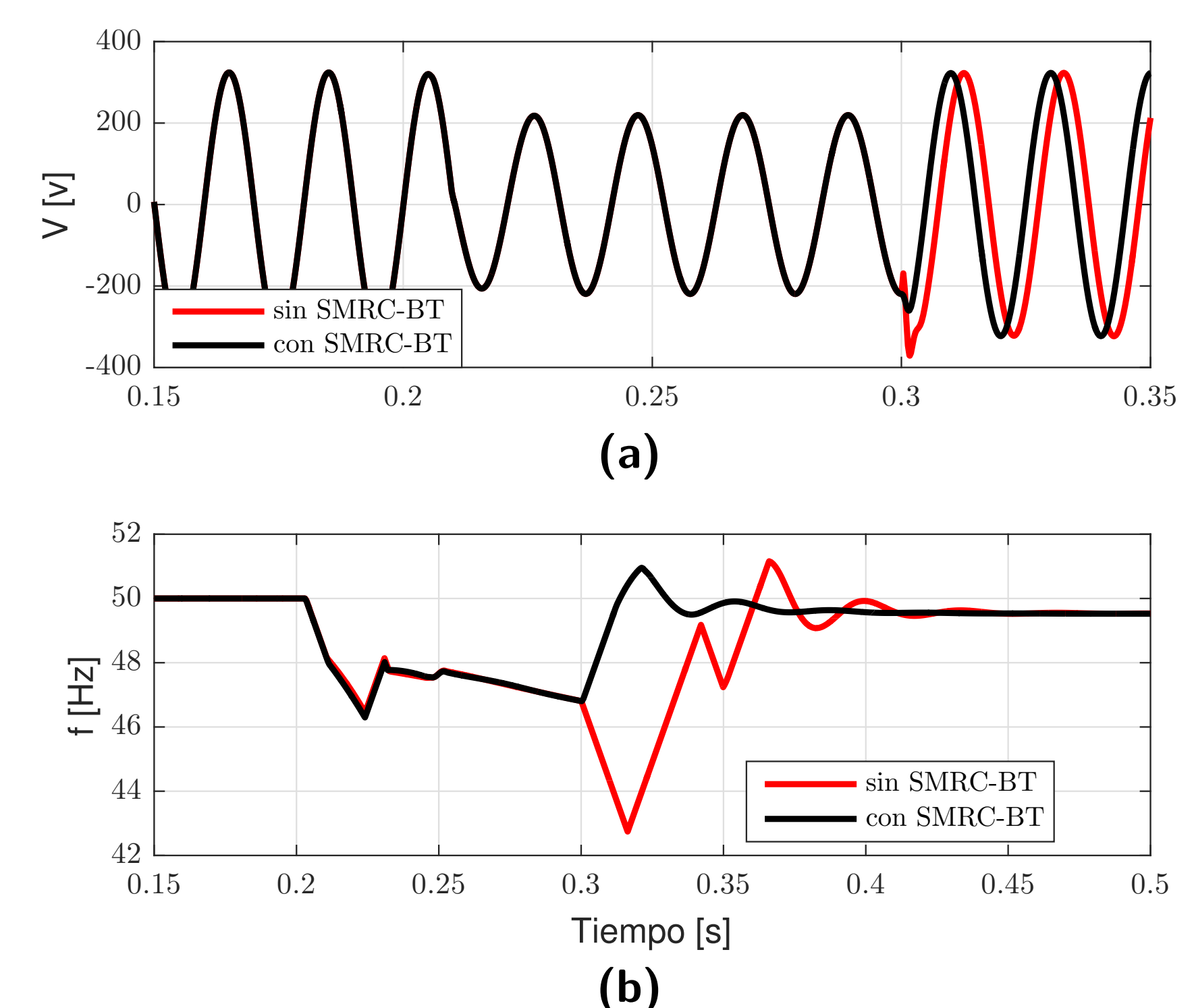
## Resultados: aislamiento no intencional



Red de prueba.



Potencia UGD1: (a) Potencia activa. (b) Potencia reactiva.



(a) Tensión en PCC. (b) Frecuencia en PCC.

## Conclusiones

En este trabajo se propone una estrategia bumpless-transfer para la conmutación de los controladores de las UGDs en el proceso de aislamiento del sistema de potencia de una microrred. La propuesta se basa en diseñar un lazo de acondicionamiento de referencia por modos deslizantes sobre el esquema típico de control empleado en las UGDs. Este lazo adicional actúa sobre la referencia del controlador formador de red de tal manera que garantiza que su salida coincida con la entrada de la planta en todo momento. Resulta un método simple y directo que requiere un mínimo esfuerzo diseño e implementación. Además, no requiere el conocimiento del modelo de planta ni mediciones adicionales. Presenta propiedades de robustez que garantizan evitar saltos en la acción de control y los transitorios indeseados asociados en la potencia de salida de las UGDs que afectan a la calidad de potencia de la microrred sin importar en qué momento se conmute el controlador. El desempeño de la estrategia propuesta se evaluó en simulación en un escenario de aislamiento. Los resultados muestran la efectividad de la propuesta, a saber: evita que las UGDs presenten picos transitorios de potencia resultando en un transitorio suave y más amortiguado; evita que haya saltos de fase en la tensión y una excesiva caída en la frecuencia de la microrred contribuyendo así a una recuperación más rápida en los niveles de tensión y frecuencia. Además, la estrategia propuesta se muestra robusta frente a la gran perturbación que representa el proceso de aislamiento.