

Estrategia de control de Tensión DC del lado del parque y Potencia del lado de la red

En el capítulo anterior, se ha descrito una estrategia de control de los convertidores HVDC-VSC que enlazan el parque eólico marítimo a la red. El uso de un control de tensiones $V_{DC}-V_{AC}$ en el GS-VSC, y un control de frecuencias $F-Q$ en el WPP-VSC es una de las estructuras más comunes que se han desarrollado hasta ahora en publicaciones.

En este capítulo se desarrolla una nueva selección de controles para los dispositivos VSC. Se desea desarrollar una nueva estrategia de control que posea una respuesta diferente, con posibles mejoras y ventajas de uso frente al expuesto anteriormente. Esta nueva estrategia está compuesta de los siguientes controles:

- Control de tensiones $V_{DC}-V_{AC}$ en el WPP-VSC.
- Control de potencia $P-Q$ en el GS-VSC

En la Figura 5.1 se muestra de forma visual la composición de esta estrategia.

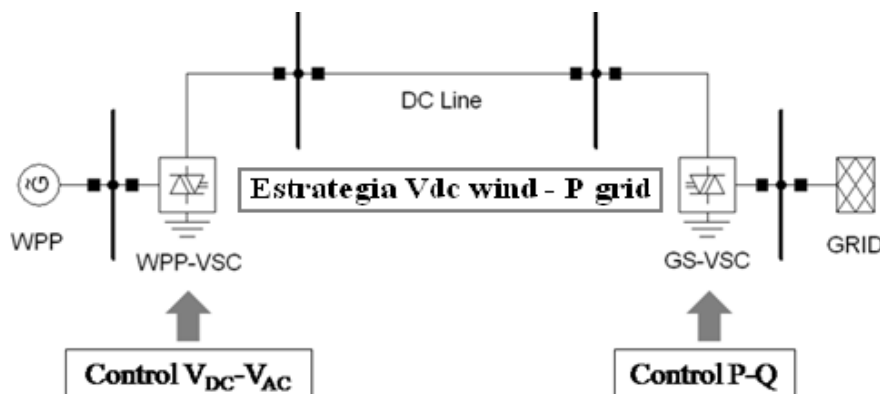


Figura 5.1. Esquema de control de la estrategia $V_{dc} \text{ wind} - P \text{ grid}$.

Esta estrategia, que a partir de ahora se llamará *Vdc wind - P grid*, controla la tensión del enlace DC desde el lado del parque, mientras que en el GS-VSC se hará un control de la potencia activa y reactiva.

A continuación se mostrará la respuesta de este sistema con la estrategia de control *Vdc wind - P grid* frente a los mismos eventos simulados en el capítulo 4 de este trabajo.

5.1. Control de potencia P - Q en GS-VSC

Como la frecuencia eléctrica está ligada al balance de potencia activa en el sistema eléctrico, suele hablarse indistintamente de control de frecuencia, control de potencia, o control de frecuencia-potencia. De manera breve puede decirse que la frecuencia del sistema y los flujos de potencia por determinadas líneas son las variables que se quieren controlar.

Este control implementado en el GS-VSC se compone de dos controladores PI, uno para la potencia activa (P - i_d) y otro para la reactiva (Q - i_q). Además, para reforzar el control de potencia activa, se han añadido dos apoyos al control de potencia activa P .

En primer lugar, se ha establecido un control primario de frecuencia dentro del control de potencia activa P , compuesto por un controlador proporcional. Éste ofrecerá apoyo en las pequeñas variaciones de frecuencias que se puedan producir en la red, añadiéndolas a la señal de intensidad i_d . Este apoyo es fundamental para mantener el equilibrio entre la demanda y la generación del parque eólico [42].

Al mismo tiempo, se ha visto necesario incluir un apoyo de tensiones de continua en este controlador. Para eventos de pérdida de generación, el sistema necesitaba de una ayuda en tensiones en el GS-VSC. Este consiste en un control proporcional sobre la diferencia de tensiones DC con respecto a la de referencia.

El diagrama de bloques se puede ver en la Figura 5.2. Individualizado los valores de las constantes de los controladores, éstos se muestran en la Tabla 5.1.

Tabla 5.1. Valores de los parámetros del control P - Q utilizados en la estrategia *Vdc wind - P grid*.

K_p	Ganancia del control de P (p.u.)	0.33
T_p	Constante de tiempo del control de P (s)	0.26
$i_{d\ max\ p}$	Intensidad del eje- d máxima P (p.u.)	1.1
$i_{d\ min\ p}$	Intensidad del eje- d mínima P (p.u.)	-1.1
K_f	Ganancia del control primario de frecuencia (p.u.)	10
K_u	Ganancia del apoyo en tensiones (p.u.)	10
K_q	Ganancia del control de Q (p.u.)	0.5
T_q	Constante de tiempo del control de Q (s)	0.26
$i_{q\ max\ q}$	Intensidad del eje- q máxima Q (p.u.)	1
$i_{q\ min\ q}$	Intensidad del eje- q mínima Q (p.u.)	-1

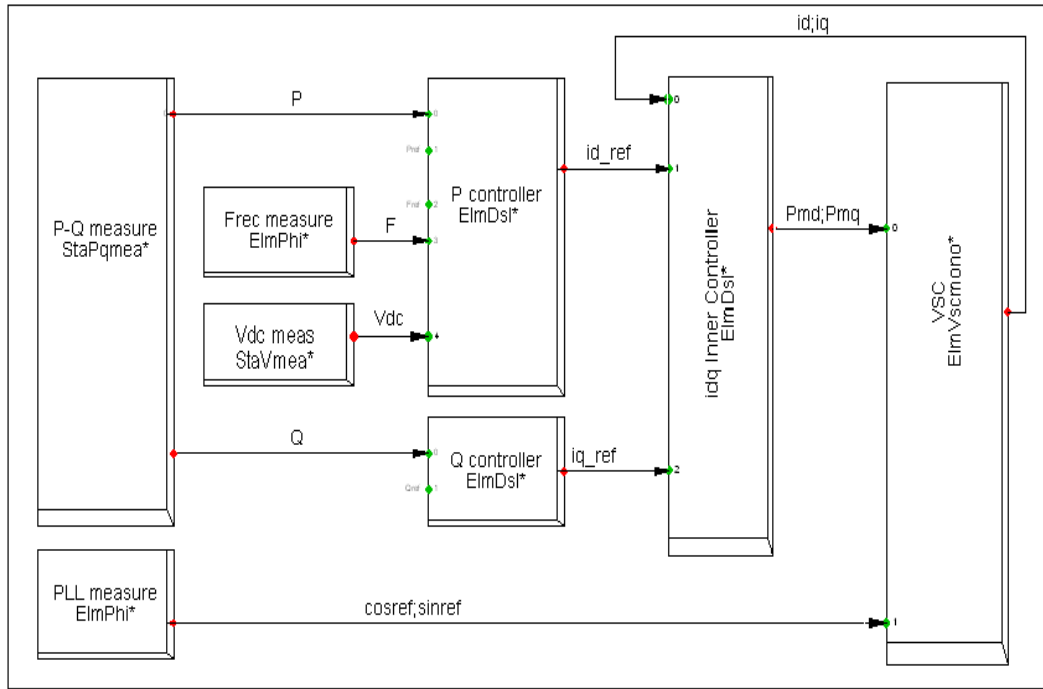


Figura 5.2. Diagrama de bloques del control P - Q utilizado en el GS-VSC.

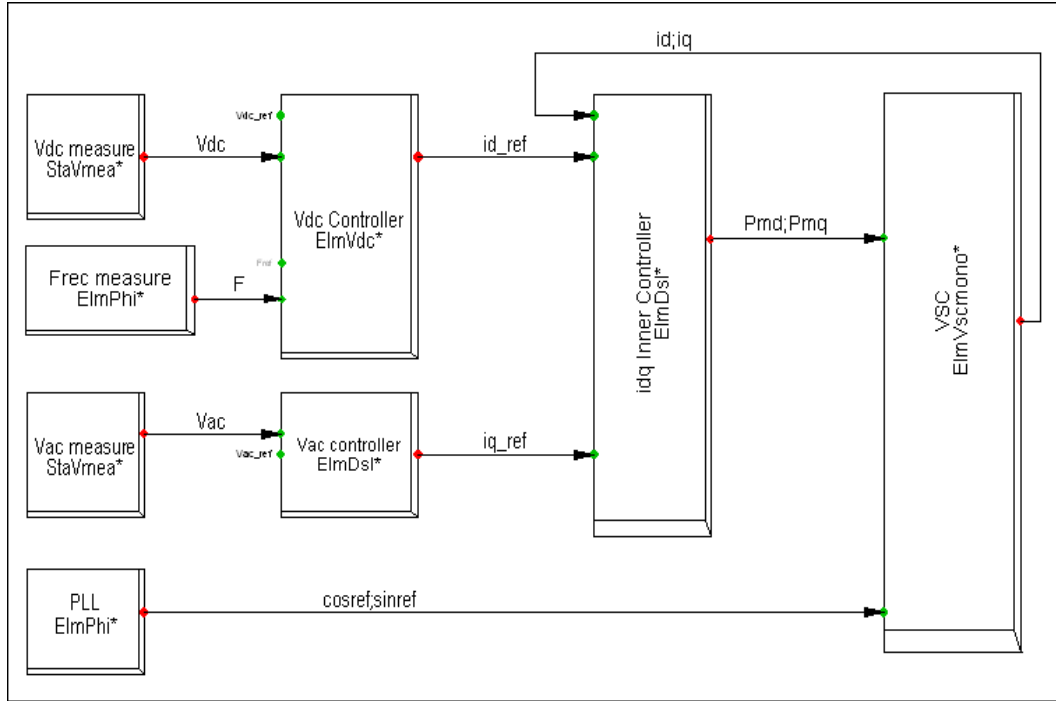
El bloque *idq Inner Controller* corresponde al control interno del convertidor HVDC-VSC.

5.2. Control de tensiones V_{DC} - V_{AC} en el WPP-VSC

El control del WPP-VSC está formado por dos controladores PI, uno para la tensión continua (V_{DC} - i_d), y otro para la alterna (V_{AC} - i_q), cuyo diagrama de bloques se puede ver en la Figura 5.3.

En el control de tensiones DC se ha añadido un control primario de frecuencia de apoyo frente a eventos que se puedan producir. Este control de frecuencia posee una banda muerta de frecuencias en la que el control no actúa. La insensibilidad del controlador es de ± 0.01 Hz, definida en [44], por una resolución técnica del ministerio de Industria.

Además, para aportar estabilidad al control, se ha definido un tiempo de retardo de desactivación de $t = 1$ s cuando la diferencia de frecuencias vuelve a entrar dentro de la banda muerta. Así, cuando los errores de frecuencia eléctrica se mueven alrededor del límite de 0.01, se evita que el control primario se active y desactive de forma intermitente.

Figura 5.3. Diagrama de bloques del control V_{DC} - V_{AC} del WPP-VSC.

Los valores de los parámetros del control de tensiones individualizados para el sistema diseñado en este trabajo se encuentran definidos en la Tabla 5.2.

Tabla 5.2. Valores de los parámetros del control de tensiones en la estrategia V_{dc} wind - P grid.

K_{dc}	Ganancia del control de V_{DC} (p.u.)	9.33
T_{dc}	Constante de tiempo del control de V_{DC} (s)	0.26
$i_{d\ max\ DC}$	Intensidad del eje- d máxima DC (p.u.)	1.1
$i_{d\ min\ DC}$	Intensidad del eje- d mínima DC (p.u.)	-1.1
K_f	Ganancia del control primario (p.u.)	0.01
K_{ac}	Ganancia del control de V_{AC} (p.u.)	2
T_{ac}	Constante de tiempo del control de V_{AC} (s)	0.26
$i_{d\ max\ AC}$	Intensidad del eje- d máxima AC (p.u.)	1.1
$i_{d\ min\ AC}$	Intensidad del eje- d mínima AC (p.u.)	-1.1

5.3. Caso B.1: Hueco de tensión

Para poder comparar ambas estrategias, se estudia la respuesta de la planta eólica marítima frente a un hueco de tensión similar al caso descrito en el capítulo anterior. Además, el sistema tiene similares condiciones y características en ambos casos.

5.3.1. Respuesta del sistema al hueco de tensión

Al igual que para la estrategia *F wind - Vdc grid*, se realiza una simulación del sistema con un hueco de tensión en el nodo B_GS_230kV de 0.8 pu de profundidad y 0.5 s de duración, en el instante $t = 0$ s (Figura 4.6).

Para mostrar el comportamiento del sistema frente a este tipo de perturbación, se supondrá que el generador se encuentra a plena carga, y para ello, los valores de referencia de los convertidores son los que se muestran en la Tabla 5.3.

Tabla 5.3. Valores de referencia de los convertidores en la estrategia *Vdc wind - P grid* – 100% de la potencia nominal.

Convertidor WPP-VSC (Control $V_{DC}-V_{AC}$)	$V_{DCref}(pu)$	1.10
	$V_{ACref}(pu)$	1.10
Convertidor GS-VSC (Control $P-Q$)	$P_{ref}(MW)$	130
	$Q_{ref}(Mvar)$	0

Enlace DC.

Al producirse un hueco de tensión severo en el nodo B_GS_230kV (Figura 4.6), la tensión en el enlace de continua se eleva, produciendo una sobretensión, como se puede observar en la Figura 5.4. Esta sobretensión inducida en esta estrategia es de $\Delta u_{DC} = 0.031$ pu.

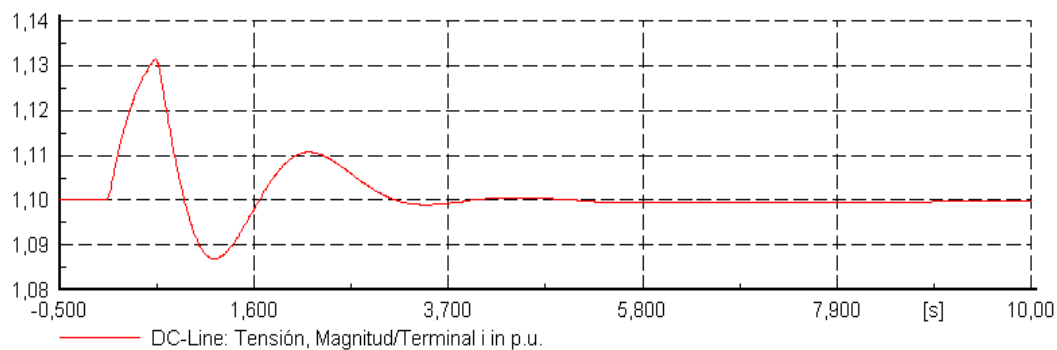


Figura 5.4. Respuesta frente al hueco del enlace DC en la estrategia *Vdc wind - P grid* - tensión V_{DC} .

Generador.

La Figura 5.5 muestra la variación de la potencia de la turbina, la tensión y la velocidad del generador al soportar un hueco de tensión.

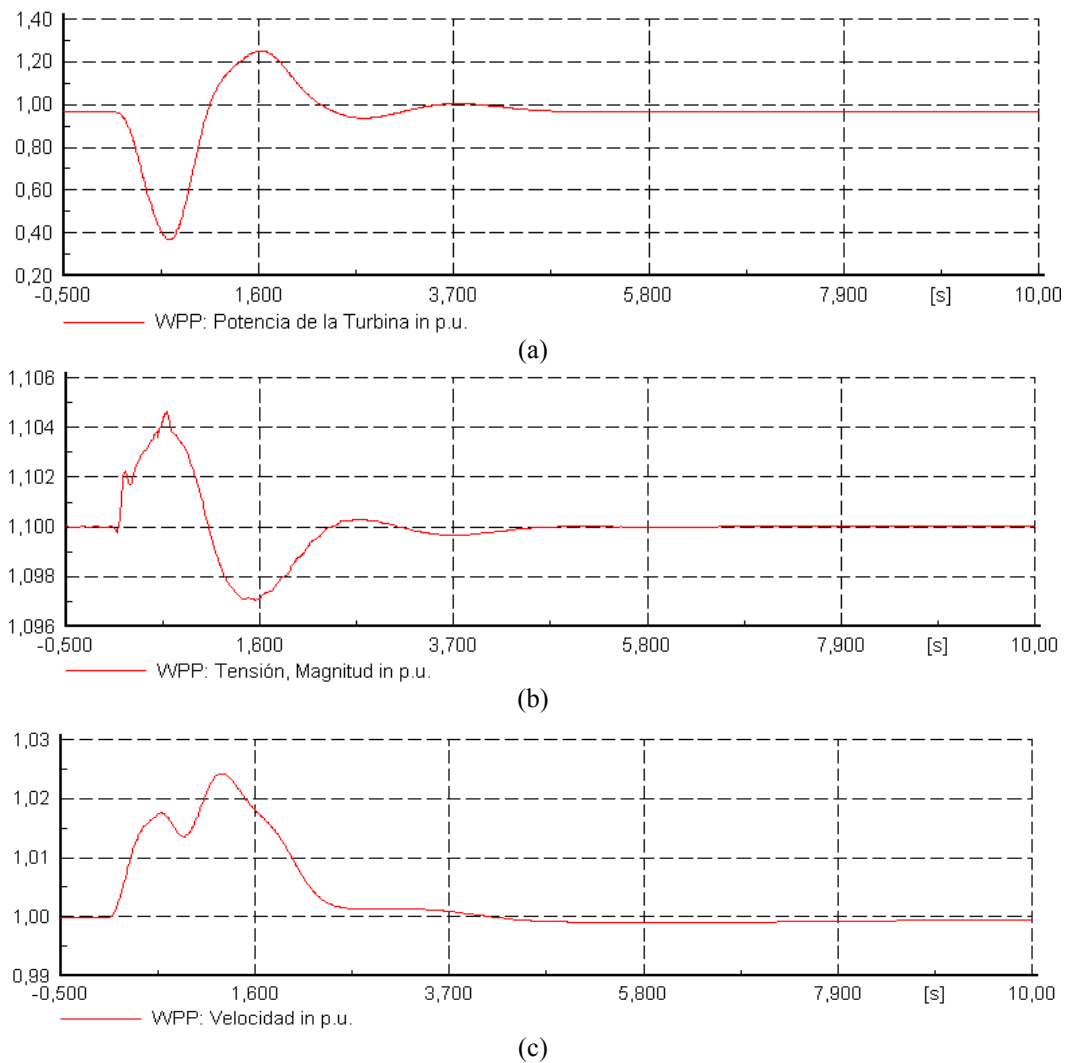


Figura 5.5. Respuesta frente al hueco del generador en la estrategia $V_{dc} \text{ wind} - P_{grid}$ – (a) Potencia de la turbina, p_t , (b) tensión del generador, u_{gen} y (c) velocidad de la turbina, ω_{gen} .

Al producirse el hueco, se produce un desequilibrio en el balance de potencias del sistema. Se puede observar que el primer dispositivo que limita la potencia activa en el sistema es el propio generador. En la Figura 5.5 (a) se puede ver cómo se reduce bastante la potencia de la turbina, y por consecuencia, la generación de potencia activa a partir del instante en el que se produce el hueco.

Con respecto a la tensión, el generador produce una pequeña inestabilidad en la tensión, pero en órdenes de magnitud que no son relevantes ($\Delta u_{gen} \sim 0.004 \text{ pu}$). La señal se estabiliza tras un transitorio de 3 s, como se puede observar en la Figura 5.5 (b).

Por último, y más importante, se analiza la velocidad del generador al producirse el hueco de tensión. Como era previsible, el generador, al producirse el evento, y al limitar el GS-VSC el intercambio de energía, se acelera, debido a que está generando más potencia de la que el sistema (el GS-VSC en este caso, que actúa

como limitador) solicita. La aceleración que se produce con esta estrategia es de $\Delta\omega = 0.025$ pu (2.5%) (Figura 5.5 (c)).

En esta estrategia en particular, con un hueco de tensión severo entra en funcionamiento el *Pitch Control*. En la Figura 5.6 se muestra el ángulo de palas durante la perturbación.

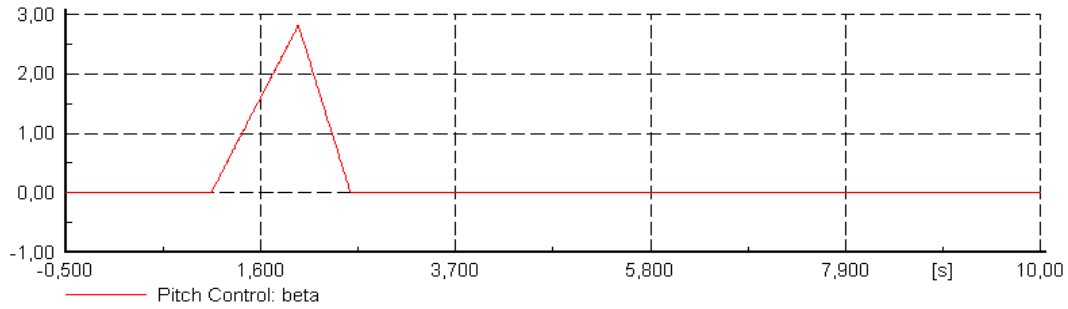


Figura 5.6. Respuesta del *Pitch Control* en la estrategia *Vdc wind - P grid* - ángulo de palas β .

El generador, que modifica bruscamente su generación, reacciona modificando el ángulo de las palas β , durante el transitorio del hueco de tensión. Este controlador electrónico busca colocar las palas hacia el viento para ayudar a frenar la turbina. Al estabilizarse de nuevo el sistema en los valores iniciales el ángulo de las palas también vuelve a su estado inicial.

Convertidores.

El control de tensiones V_{DC} - V_{AC} actúa en el WPP-VSC. Al producirse el hueco de tensión, se genera una sobretensión en el enlace de continua. El controlador, ante este evento, reacciona intentando corregir la desviación de la tensión. De hecho, se puede ver en la Figura 5.7 (a) que la señal es similar a la onda de tensión en el enlace; además, la intensidad i_d prácticamente se superpone a su referencia i_{dref} , síntoma de que el control interno está actuando correctamente.

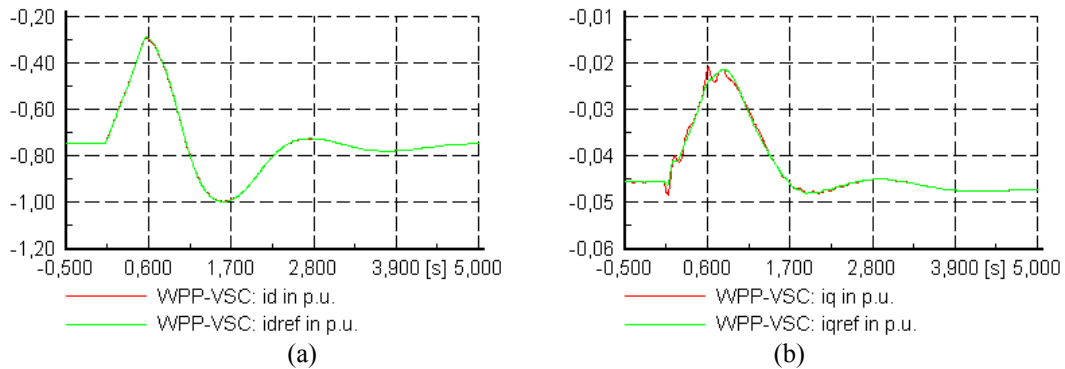


Figura 5.7. Respuesta frente al hueco del WPP-VSC (estrategia *Vdc wind - P grid*) – (a) i_d , i_{dref} , (b) i_q , i_{qref} .

La señal i_d se hace menos negativa, así según la ecuación (3.24) del capítulo 3, debe provocar una menor solicitud de potencia activa aguas abajo del dispositivo. De esta forma, el control de tensiones tiene un efecto directo en el parque eólico marítimo. El control primario diseñado en este controlador permite incluir en la intensidad de eje d las pequeñas variaciones de frecuencia para mantener en sincronismo a la planta.

La tensión alterna V_{AC} , que controla la intensidad del eje- q , al tener también una sobretensión en el lado del WPP, provoca el aumento de la i_q correspondiente al error de la señal con respecto a la tensión de referencia (ver Figura 5.7 (b)). De esta forma solicita energía reactiva para mantener los niveles de tensión

En la Figura 5.8 se representa las intensidades de ejes d - q que recibe el GS-VSC de los controles externos de potencia P - Q .

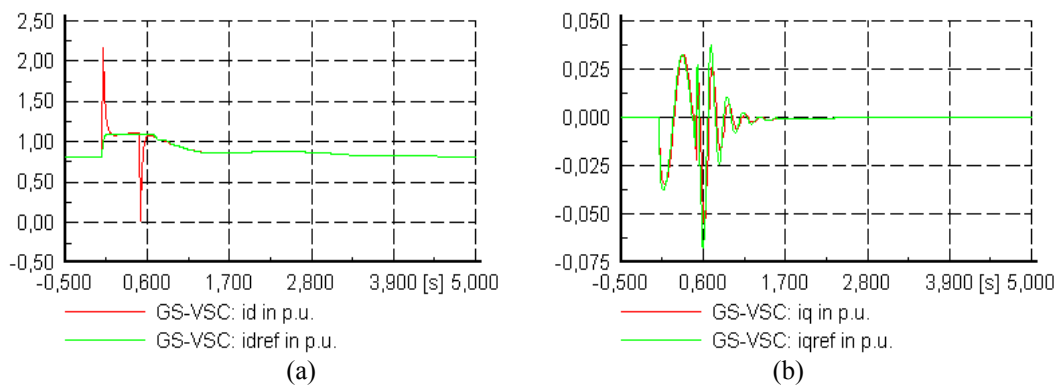


Figura 5.8. Respuesta frente al hueco del GS-VSC (estrategia V_{dc} wind - P grid) – (a) i_d , i_{dref} , (b) i_q , i_{qref} .

El control de potencia P - Q se encuentra funcionando en el GS-VSC. En la Figura 5.8 (a) se observa cómo el controlador responde solicitando más potencia activa P , llegando incluso a la saturación. Este efecto es la suma del error producido en la tensión DC del enlace, el error de la frecuencia del sistema y, sobretodo, del error en potencia activa. Éste último, se produce debido a que el generador y los elementos capacitivos del enlace de continua, disipan la mayor parte de la potencia activa que circula por el sistema para evitar aportarla al hueco de tensión.

Flujo de potencia activa.

Al igual que en la estrategia F wind - V_{dc} grid, a continuación se procede a describir el modo en que los elementos disipan la potencia activa. En la Figura 5.9 se muestra la señal de potencia activa en WPP, los filtros situados a principio y final de la línea DC y la salida del GS-VSC.

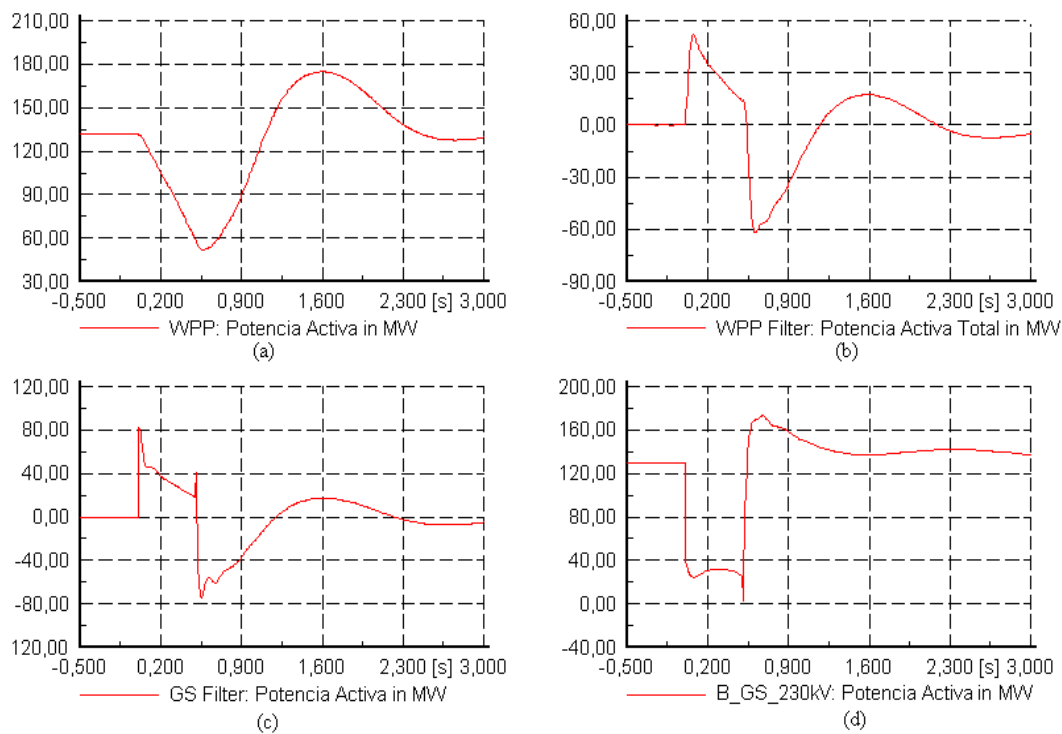


Figura 5.9. Potencia activa en diferentes elementos del sistema en la estrategia $V_{dc} \text{ wind} - P \text{ grid}$ – (a) Generador, (b) filtro del lado WPP, (c) filtro del lado GS y (d) PCC.

En la estrategia $V_{dc} \text{ wind} - P \text{ grid}$, el generador es el principal disipador de potencia activa. Al producirse el hueco de tensión, éste disminuye mucho la generación de energía. A pesar de ello, no tiene la capacidad de restringir la generación de forma brusca, sino que lo hace con cierta pendiente, según su dinámica. Esta reacción viene apoyada por el control V_{DC} del WPP-VSC.

El resto de potencia activa es disipada por los condensadores dispuestos a principio y final de la línea DC. Estos se comienzan a cargar en el momento del hueco, para luego descargarse al finalizar la perturbación. El valor de las capacidades de estos elementos capacitivos es clave para el buen diseño del enlace del parque eólico, ya que puede determinar la conexión o desconexión de una planta.

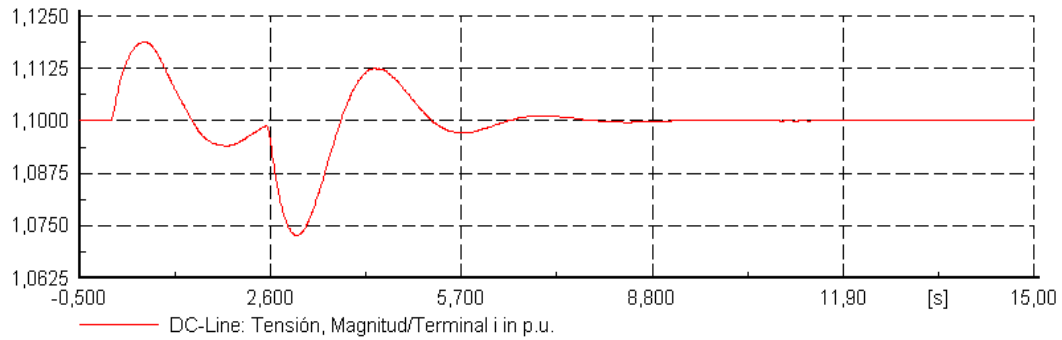
5.3.2. Límite de duración de un hueco de tensión

El enlace DC con la estrategia de control $V_{dc} \text{ wind} - P \text{ grid}$, se vuelve un tanto inestable a partir de un hueco de tensión de 2.5 s de duración (5 veces la duración máxima que establece la normativa).

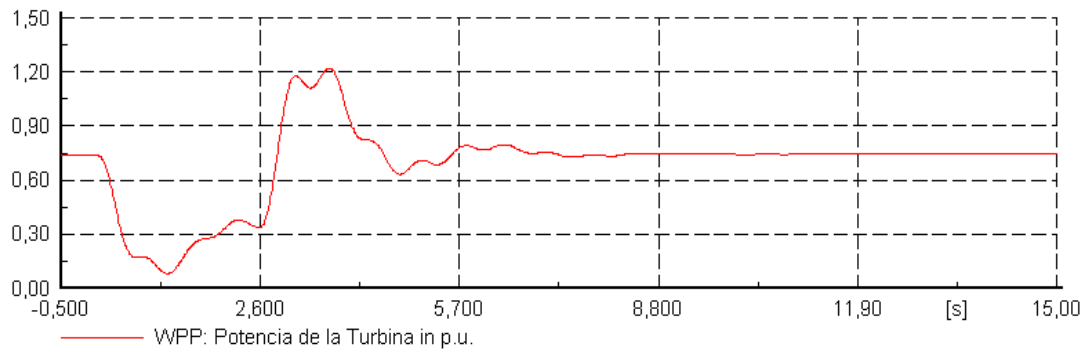
A continuación se representa las gráficas de las señales más destacadas para un evento de dicha duración y un estado de carga del 75% aproximadamente (Figura 5.10 (a) a (d)). Para ello, los valores iniciales de los convertidores son los que se muestran en la Tabla 5.4.

Tabla 5.4. Valores de referencia de los convertidores en la estrategia $V_{dc} \text{ wind} - P \text{ grid} - 75\%$ de la potencia nominal.

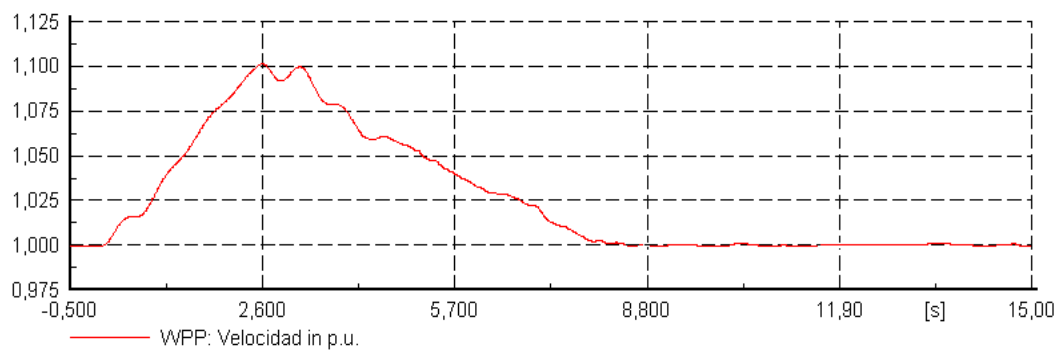
Convertidor WPP-VSC (Control $V_{DC}-V_{AC}$)	$V_{DCref}(\text{pu})$	1.10
	$V_{ACref}(\text{pu})$	1.10
Convertidor GS-VSC (Control $P-Q$)	$P_{ref}(\text{MW})$	100
	$Q_{ref}(\text{Mvar})$	0



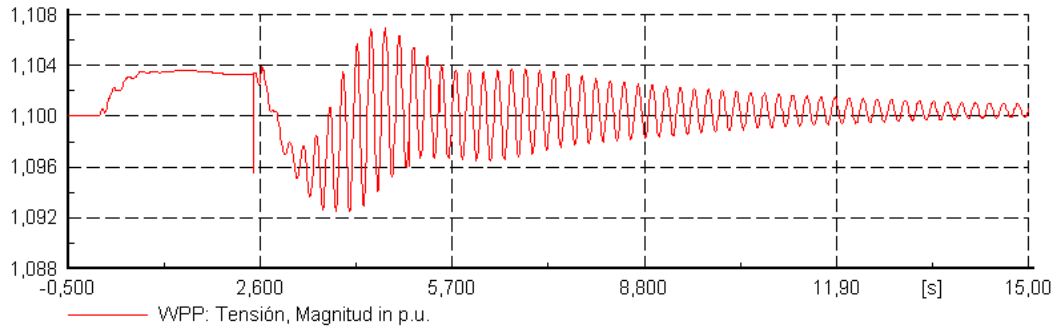
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 5.10. Respuesta frente a un hueco de 2.5 s en el sistema (estrategia V_{dc} wind - P grid) – (a) tensión en el enlace DC, V_{DC} , (b) potencia de la turbina, p_t , (c) velocidad del generador, ω_{gen} y (d) tensión del generador, u_{gen} .

Durante este largo hueco de tensión, la tensión en el enlace de continua no se ve incrementada en sus valores máximos en comparación con el hueco de tensión simulado en los apartados anteriores. En la Figura 5.10 (a) se observa cómo la tensión máxima del enlace es aproximadamente $u_{DCpico} = 1.12$ pu, similar a la sobretensión producida por un hueco de tensión de duración 5 veces menos. Esto se debe a la actuación del control de tensiones en el WPP-VSC, y es que la disminución brusca y prolongada de la potencia activa en el generador implica una menor carga de los elementos capacitivos del enlace DC, y por tanto, una menor sobretensión en sus nudos.

El generador es el primer elemento en reducir la generación de energía, durante todo el hueco de tensión, aportando estabilidad al sistema, como se puede observar en la Figura 5.10 (b).

Como consecuencia de lo anterior, el generador se acelera debido a la disminución de generación de energía durante el hueco de tensión. Esta aceleración es proporcional a la duración del hueco de tensión, llegándose a incrementar la velocidad 0.1 pu por encima del valor nominal. En la Figura 5.10 (c) se muestra la gráfica de la velocidad de la turbina.

Un fenómeno curioso que se produce con esta estrategia de control es el que se puede observar en la Figura 5.10 (d). El generador mantiene en un valor estable la tensión durante todo el tiempo que se produce el hueco. La excitación del generador se mantiene en un valor permanente cuando éste disminuye la potencia de la turbina.

5.4. Caso B.2: Variación de frecuencia en el PCC

Al igual que en el capítulo 5, para crear una perturbación en frecuencia se conectará una carga elevada en el PCC con una duración máxima de 0.1 s.

En este caso, se considera que el sistema funcionará también al 75% de potencia nominal, con unas consignas que se describen en la Tabla 5.4.

La señal de frecuencia eléctrica en el PCC simulada en este sistema se muestra en la Figura 5.11, muy similar a la simulada en el sistema con la estrategia de control *F wind - Vdc grid*.

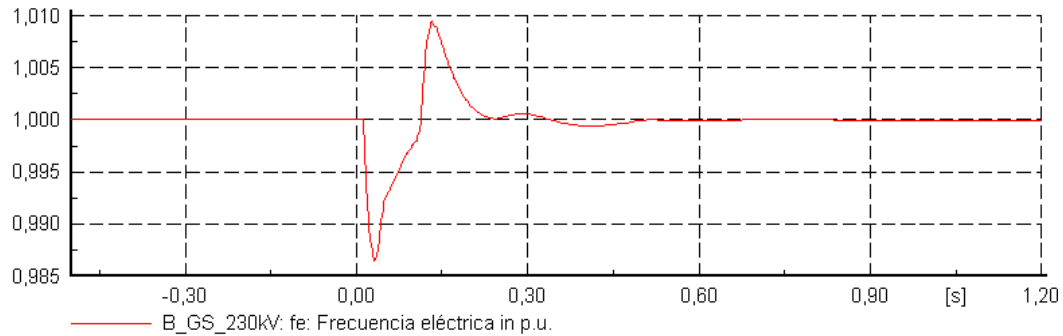
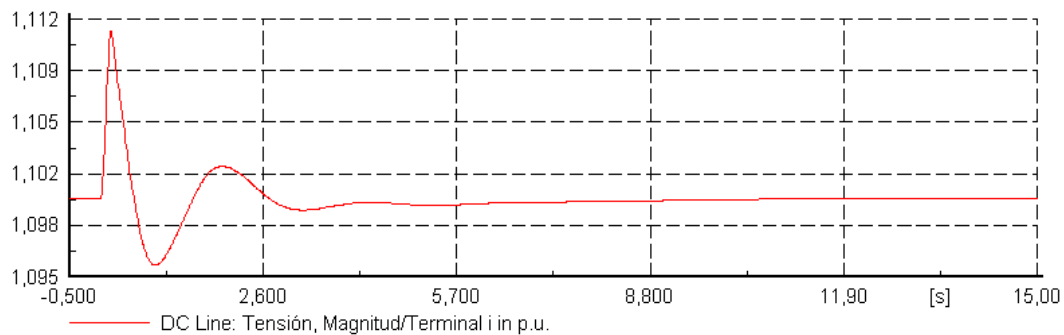


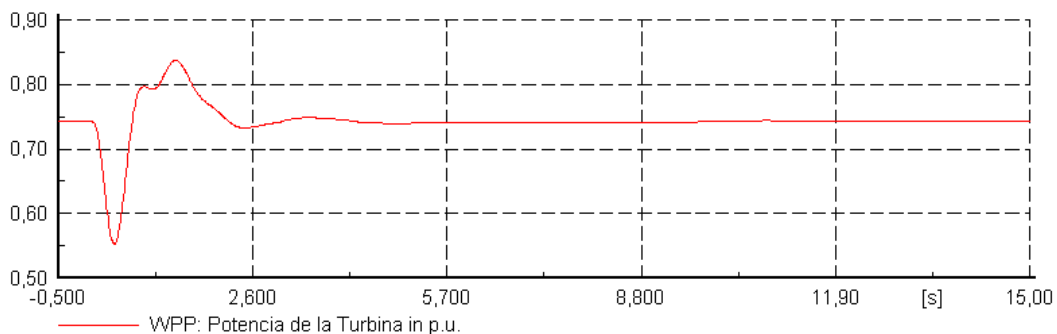
Figura 5.11. Frecuencia eléctrica en pu en el PCC para los casos de variación de frecuencia en la estrategia *Vdc wind - P grid*.

5.4.1. Respuesta del sistema a la variación de frecuencia

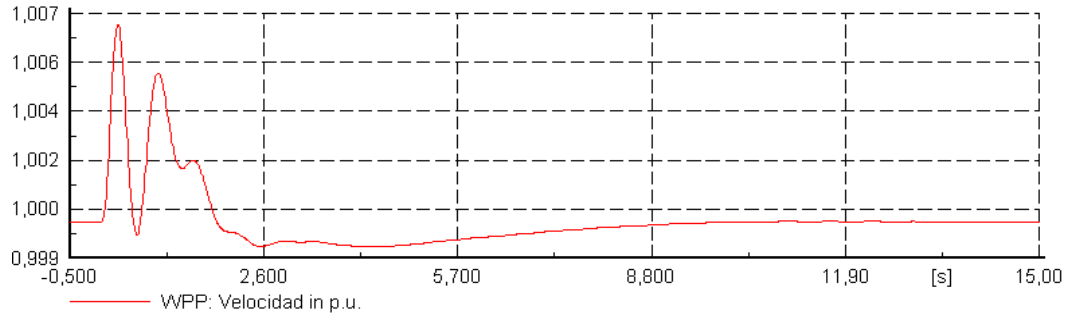
En las Figura 5.12 (a) a 5.12 (f) se presentan las señales de tensión en el enlace de continua, potencia de la turbina, tensión del generador y velocidad del generador.



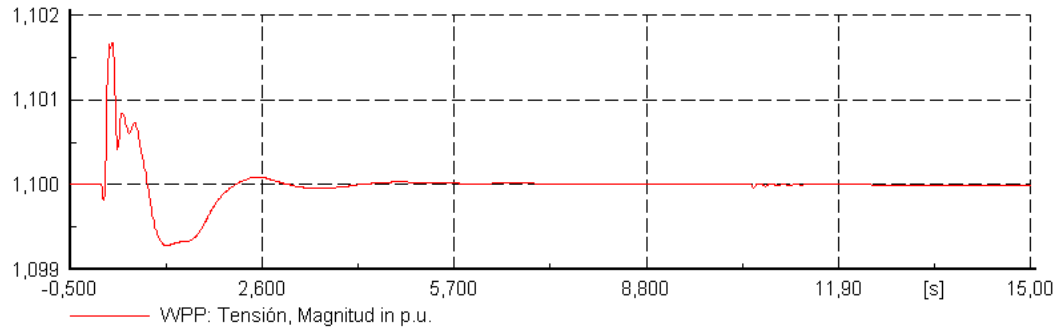
(a)



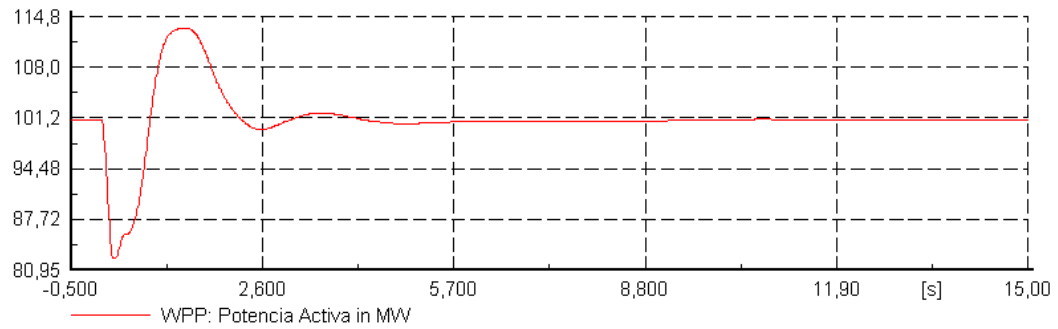
(b)



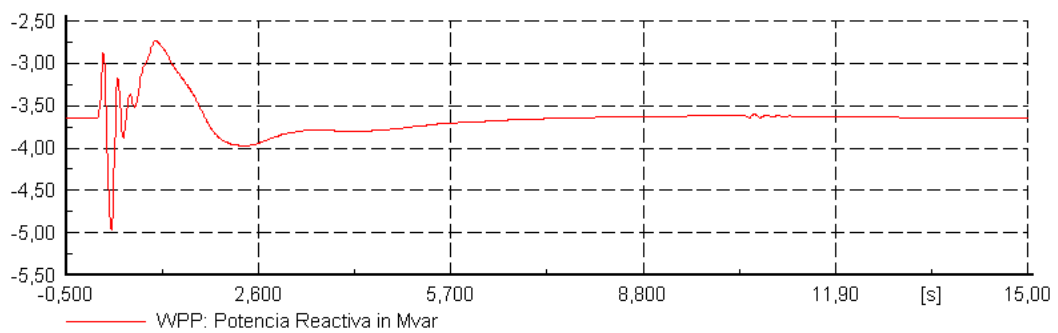
(c)



(d)



(e)



(f)

Figura 5.12. Respuesta del sistema a la variación de frecuencia (estrategia V_{dc} wind - P grid) - (a) tensión del enlace DC, u_{DC} , (b) potencia de la turbina, p_t , (c) tensión del generador, u_{gen} , (d) velocidad de la turbina, ω_{gen} , (e) potencia activa del generador, P_{gen} y (f) potencia reactiva producida en el generador, Q_{gen} .

Al producirse una disminución brusca de la frecuencia eléctrica en la red, se induce una subida de la tensión en el enlace de continua. El valor pico de la tensión DC es de $u_{DCpico} = 1.1115$ pu (Figura 5.12 (a)) Este valor es menor que el obtenido en la estrategia *F wind - Vdc grid* (Figura 4.14 (a)).

El generador tiene el comportamiento esperado. Es bastante similar a la respuesta mostrada en el apartado anterior, donde se provoca un hueco de tensión en el sistema. La turbina disminuye la potencia de generación durante el tiempo en el que se produce la disminución de la frecuencia eléctrica (Figura 5.12 (b)). Esta disminución de la generación provoca la aceleración de la máquina, viéndose su velocidad incrementada casi un 0.7% (Figura 5.12 (d)).

Por último, la tensión del generador también se ve afectada por el evento, aunque no se mueve en órdenes de magnitud que haya que tener en cuenta (Figura 5.12 (c)).

En la Figura 5.13 se muestran las variaciones de intensidad de ejes *d-q* que obtienen los convertidores de los controladores externos. Estos servirán para el mejor entendimiento del comportamiento del sistema.

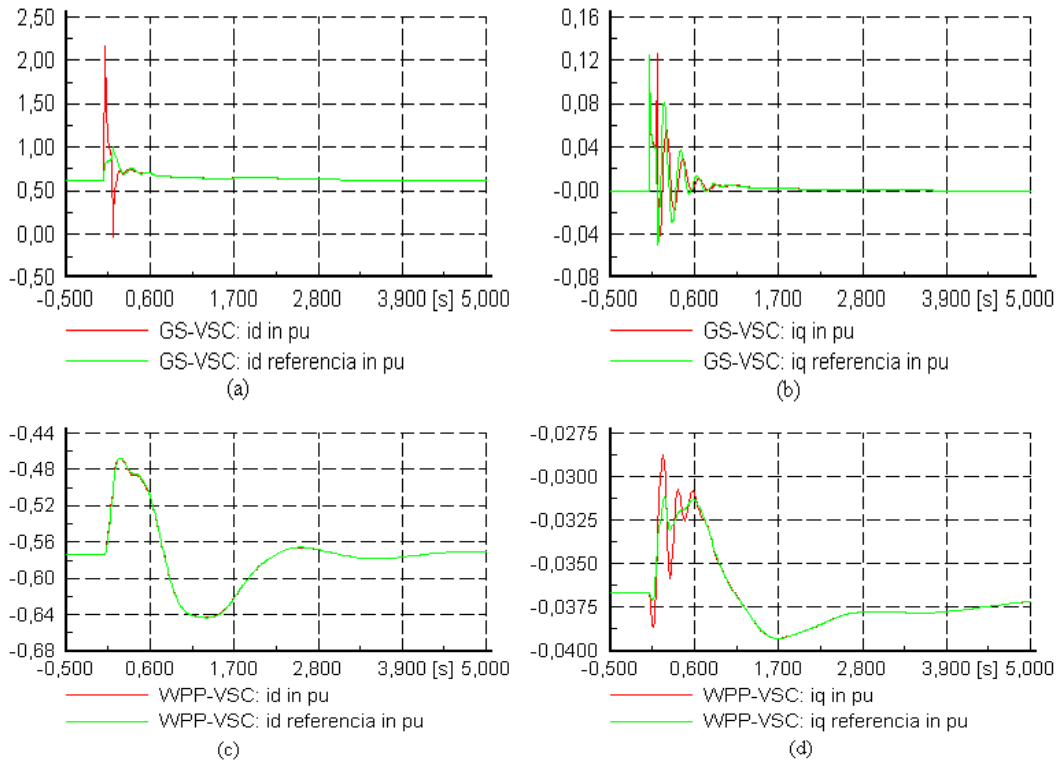


Figura 5.13. Intensidades de ejes *d-q* en los convertidores VSC (estrategia *Vdc wind - P grid*) – (a) i_d , i_{dref} en GS-VSC, (b) i_q , i_{qref} en GS-VSC, (c) i_d , i_{dref} en WPP-VSC- (d) i_q , i_{qref} en WPP-VSC.

El elevado error de frecuencia eléctrica (control primario) que observa el control *P* del GS-VSC provoca que el controlador actúe elevando de forma brusca la

intensidad i_d (Figura 5.13 (a)). El control de regulación primaria instalada en este control es fundamental para este tipo de eventos de frecuencia.

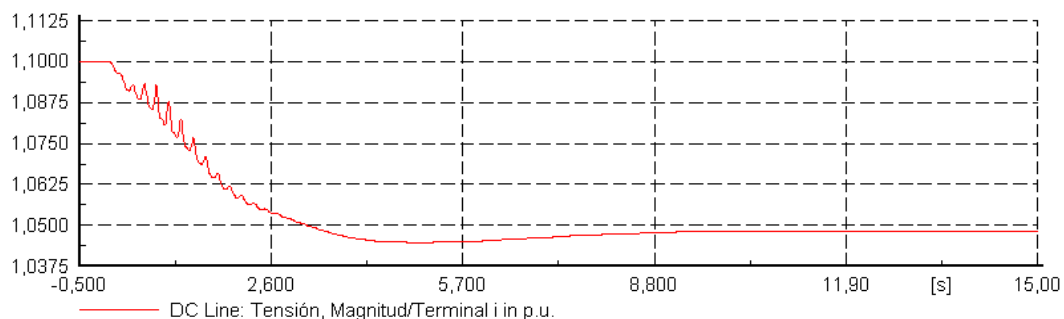
El control de tensiones V_{DC} - V_{AC} diseñado para el WPP-VSC opera al producirse la perturbación. Tanto la tensión continua como alterna se incrementan en el instante del evento, así, la intensidad i_d e i_q se hacen menos negativos (disminuye la demanda de potencia activa y aumenta la de reactiva en el generador) para mantener la estabilidad del sistema.

5.5. Caso B.3: Pérdida de generación eólica

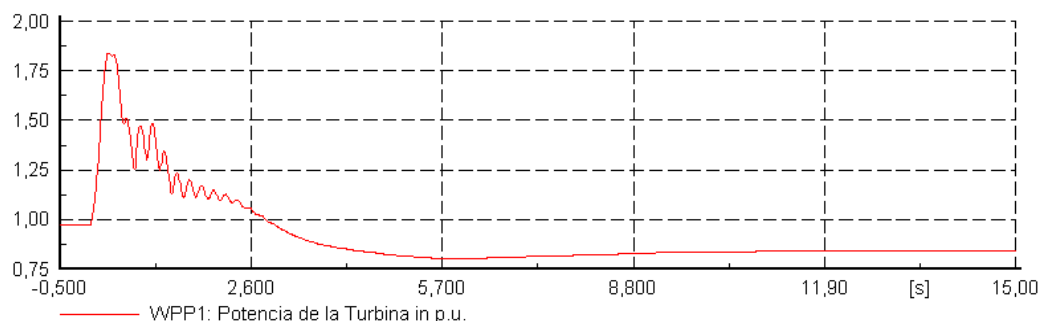
Para este evento, se utiliza el esquema eléctrico que se muestra en la Figura 4. 16 del capítulo 4 de este trabajo. En el instante $t = 0$ s, se abrirá el interruptor del elemento generador WPP2, provocando la desconexión abrupta de 40 máquinas. Previamente a la simulación, se establecen los valores iniciales de los convertidores para que el parque eólico trabaje a plena carga. Estos valores son exactamente los mismos que los descritos en la Tabla 5.3.

5.5.1. Respuesta del sistema a la pérdida de generación

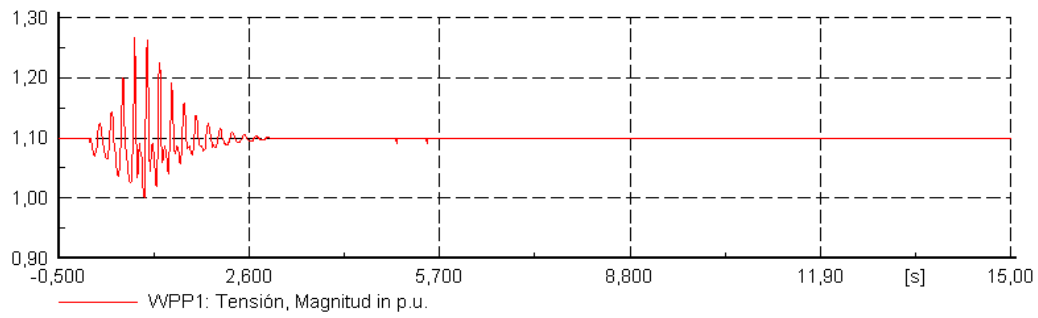
A continuación, se muestra en la Figura 5.14 la respuesta del sistema frente a la pérdida de la mitad de la generación del parque eólico marítimo.



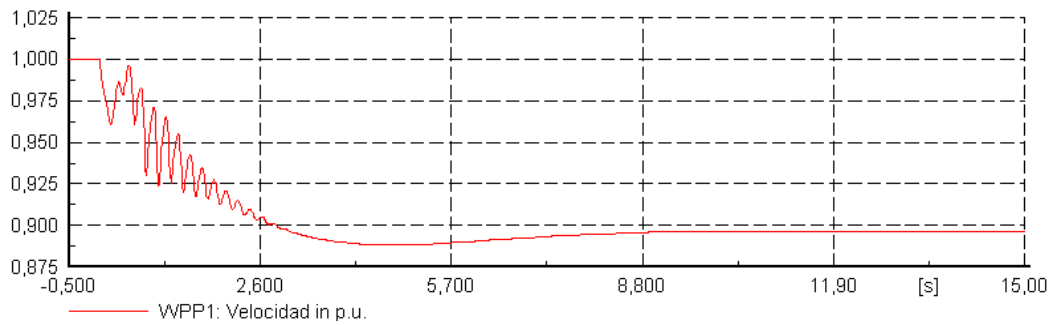
(a)



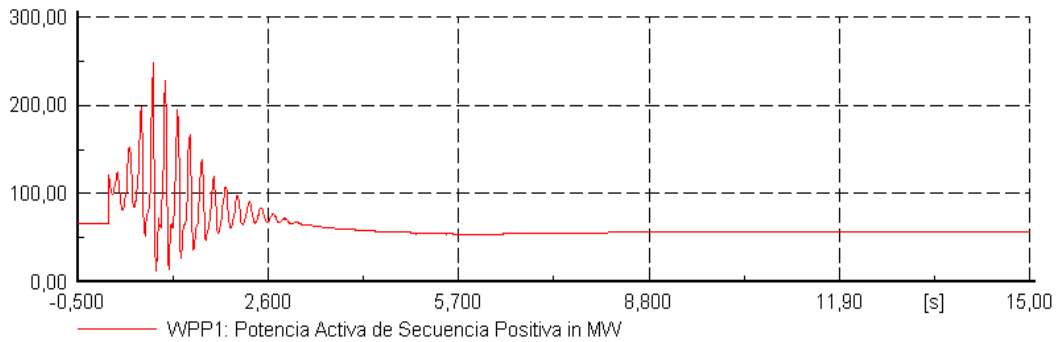
(b)



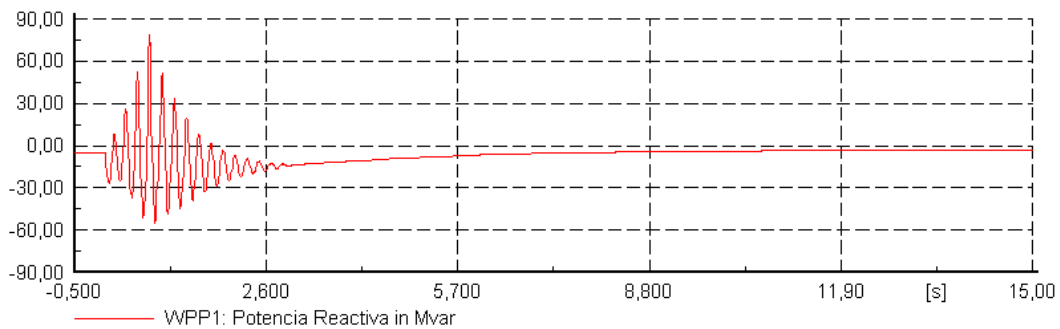
(c)



(d)



(e)



(f)

Figura 5.14. Respuesta del sistema a la pérdida de generación (estrategia $V_{dc} \text{ wind} - P_{grid}$) - (a) tensión del enlace DC, u_{DC} , (b) potencia de la turbina WPP1, p_b , (c) tensión del generador WPP1, u_{gen} , (d) velocidad de la turbina WPP1, ω_{gen} , (e) potencia activa del generador WPP1, P_{gen} y (f) potencia reactiva del generador WPP1, Q_{gen} .

Para completar la explicación del comportamiento del sistema, en la Figura 5.15 se muestra las variaciones de las intensidades de eje d - q de los convertidores VSC.

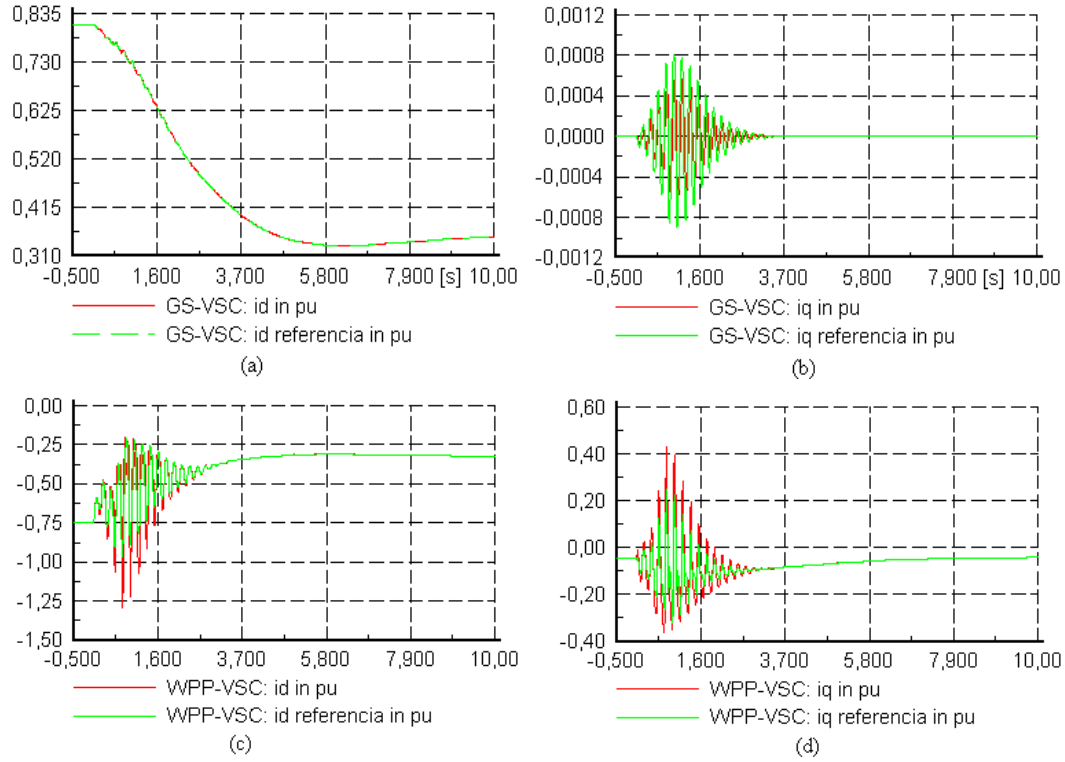


Figura 5.15. Intensidades de ejes d - q en los convertidores VSC (estrategia V_{dc} wind - P grid) – (a) i_d , i_{dref} en GS-VSC, (b) i_q , i_{qref} en GS-VSC, (c) i_d , i_{dref} en WPP-VSC, (d) i_q , i_{qref} en WPP-VSC.

El convertidor GS-VSC posee un control P - Q . En el control de potencia activa P se ha diseñado un apoyo en frecuencia para las posibles variaciones de ésta en la red, además de otro apoyo en tensiones en el enlace DC. El control primario de frecuencias ya se ha visto que es recomendable para eventos de perturbaciones de frecuencia eléctrica. En cambio, durante el diseño de este controlador se ha visto necesario el apoyo de tensiones para eventos de caída de generación.

Esta estrategia origina en el generador que queda conectado (WPP1) un intento momentáneo de ofrecer la energía que ha desaparecido por la desconexión de WPP2. La válvula de la turbina se abre para generar la energía que le requiere el sistema (Figura 5.14 (b)), pero rápidamente el control P del GS-VSC disminuye su intensidad de referencia para adecuarse a la nueva generación (Figura 5.15 (a)). De esta forma, WPP1 después del transitorio, vuelve a valores estables de generación, aunque no son los mismos con los que actuaba antes del evento.

En el convertidor WPP-VSC funciona un control de tensiones V_{DC} - V_{AC} , con un control primario en frecuencias que ayuda a mantener en sincronismo el parque eólico. En la Figura 5.16 se muestra la componente de la i_{dref} que corresponde al

control primario de frecuencia. Éste es el efecto que origina un cambio en el nivel de tensión del enlace DC (i_d pasa de -0.75 a -0.30 pu), disminuyendo al valor $u_{DC}^{tp} = 1.0482$ pu, tras un transitorio de unos 8 s (Figura 5.14 (a)). Por otro lado, se produce una elevada sobretensión AC del lado del generador, que podría ser contraproducente.

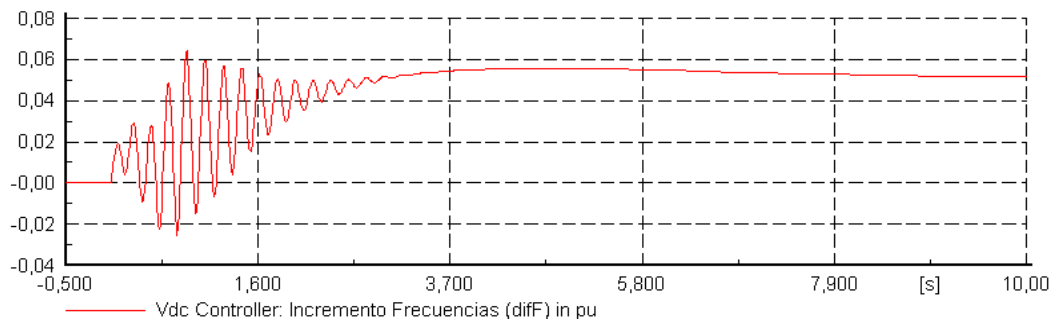


Figura 5.16. Señal $diff$ del control V_{DC} durante el evento de pérdida de generación eólica.

La variación de la señal i_d , según la ecuación (3.24), induce un descenso en la potencia activa del generador, por lo que la turbina de WPP1 se ve afectada. Esta disminución de la generación en WPP1 provoca la deceleración del generador, como se puede observar en la Figura 5.14 (d), llegando a unos valores de velocidad de $\omega = 0.897$ pu.

El transitorio en el que se ve envuelto WPP1, tanto en la tensión, potencia activa y potencia reactiva, es debida a las intensidades i_d e i_q de los controladores, sobretudo en el control de tensiones.

5.6. Caso B.4: Cambio de referencia de tensión. Escalón inverso

Para terminar, se induce un escalón de tensiones de referencia V_{dc_ref} del control de tensiones V_{DC} del WPP-VSC. El escalón posee las mismas características que el simulado en el capítulo 4 de este trabajo. Los cambios se producen en los instantes $t = 0$ s y $t = 15$ s.

La planta de generación eólica marítima funcionará también al 75% de potencia nominal ($P_{gen} \sim 100$ kW de generación). Los valores de referencia de los controladores son los expuestos en la Tabla 5.4

5.6.1. Respuesta del sistema al cambio de referencia de tensión DC

A continuación se muestran las señales de tensión en el enlace DC, tensión y velocidad del generador y potencia de la turbina.

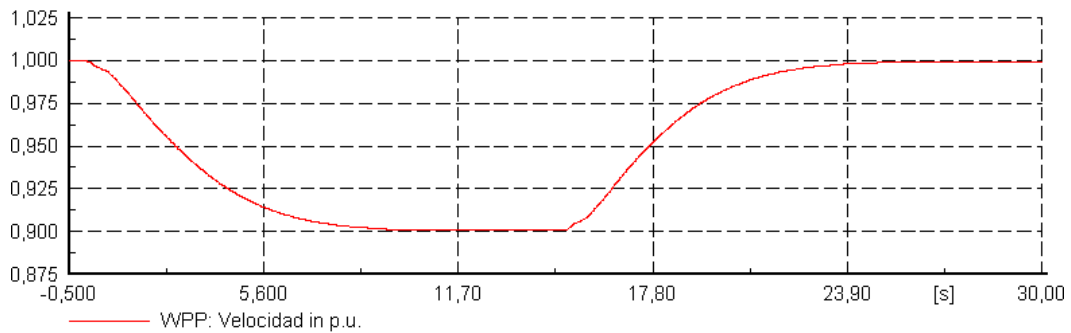
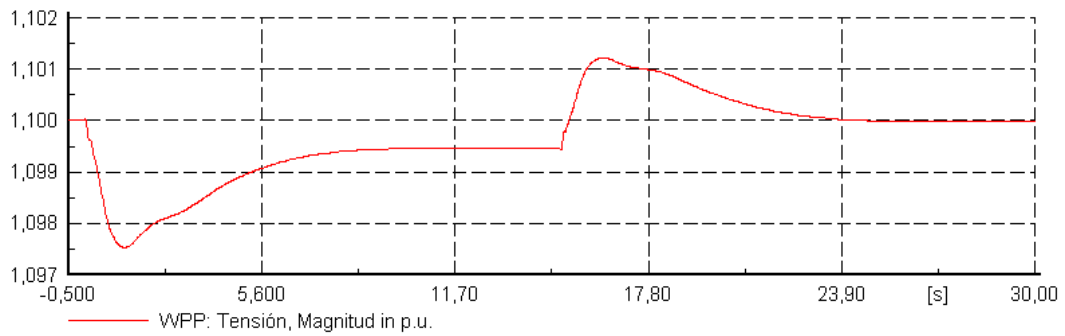
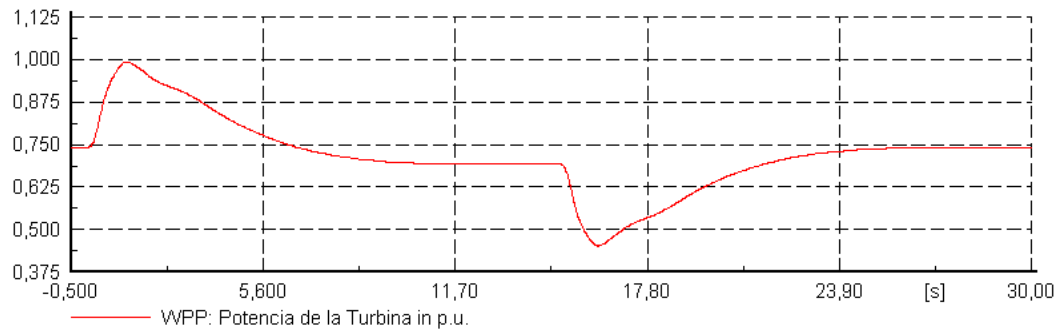
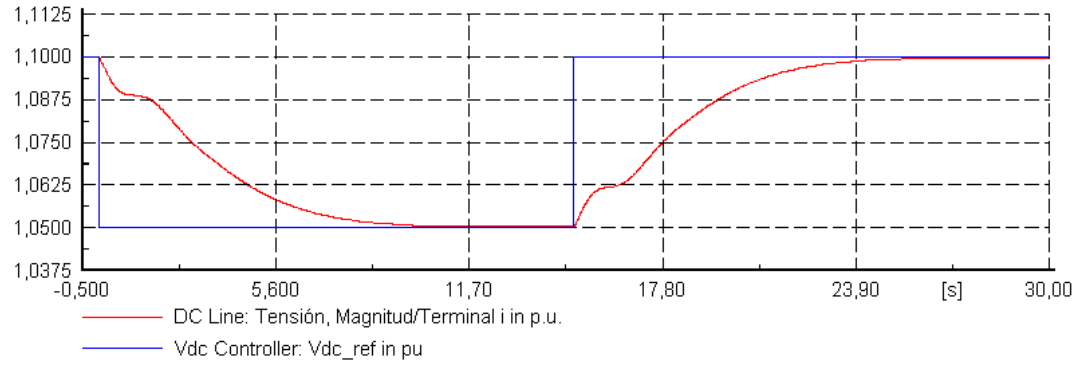


Figura 5.17. Respuesta del sistema frente al escalón de tensiones (estrategia V_{dc} wind - P grid) - (a) tensión DC, u_{DC} , (b) potencia de la turbina, p_t , (c) tensión del generador, u_{gen} y (d) velocidad de la turbina, ω_{gen} .

El sistema reacciona al escalón de tensión con una respuesta amortiguada (Figura 5.17 (a)). El parque eólico se estabiliza en un nuevo régimen permanente, disminuyendo la generación (Figura 5.17 (b)). Esto provoca que se decelere el generador, disminuyendo su velocidad un 10% aproximadamente (Figura 5.17 (d)). Por último, la tensión del generador se ve modificada mínimamente, según el nuevo balance de energía (Figura 5.17 (c)).

Seguidamente, para ver la respuesta de los convertidores, se muestra en la Figura 5.18 las señales de intensidad de ejes d - q .

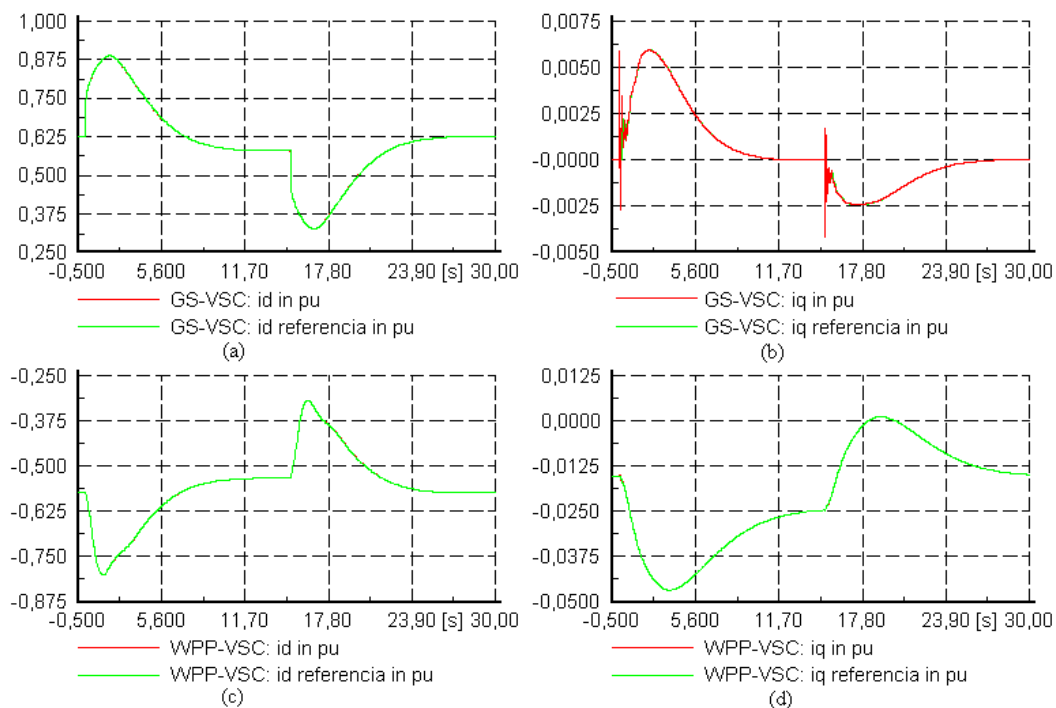


Figura 5.18. Intensidades de ejes d - q en los convertidores VSC (estrategia $V_{dc} \text{ wind} - P \text{ grid}$) – (a) i_d, i_{dref} en GS-VSC, (b) i_q, i_{qref} en GS-VSC, (c) i_d, i_{dref} en WPP-VSC- (d) i_q, i_{qref} en WPP-VSC.

Al disminuir la referencia de tensión del enlace, el control de tensiones instalado en WPP-VSC disminuye (hace más negativa) la señal i_d , ya que el error de tensión DC es negativo al disminuir la referencia. Esto induce una subida instantánea de la potencia activa del generador, aunque al acabar el transitorio disminuya su valor con respecto al valor inicial. Y de la misma manera, al aumentar la tensión de referencia, aumenta (se hace menos negativa) la intensidad i_d . Este controlador es el principal causante de la respuesta amortiguada de la tensión DC. Al igual ocurre con el control de tensión AC con la intensidad de eje q .

La señal i_d del control de potencia P del GS-VSC corresponde a un conjunto de respuestas debida a los errores de tensión, frecuencia, y en mayor medida de potencia activa. Refleja la variación de la potencia activa del generador, y que circula a través del enlace DC. En cambio, la intensidad de eje q sufre muy pequeñas variaciones.