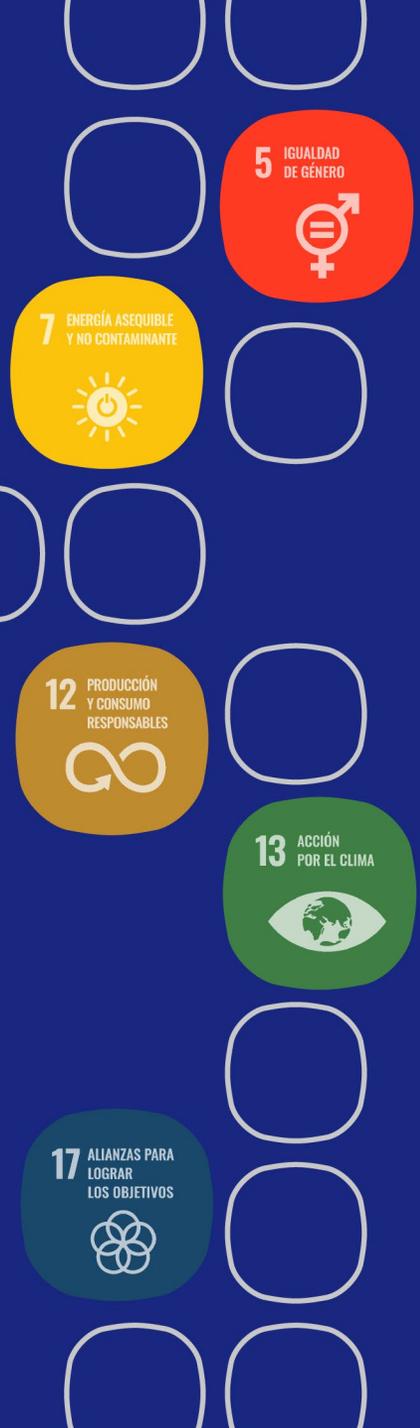


Requisitos Técnicos Mínimos para Recursos Basados en Inversores Grid-Forming

Subgerencia de Estudios y Simulación en Tiempo Real

Enero 2025



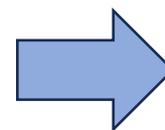
Aumento participación IBR + retiro de máquinas sincrónicas:

- ❖ Disminución de niveles de cortocircuito sincrónico.
- ❖ Disminución de niveles inercia.
- ❖ Red débil.

Propuesta de requisitos mínimos de desempeño para IBRs GFM basado en prácticas y estándares internacionales y pruebas EMT y HIL



Integrar tecnologías habilitantes para una operación segura y eficiente de la red → IBRs Grid-Forming (GFM).



Para respaldar la propuesta se realizaron simulaciones en el dominio del tiempo (EMTP).

- ❖ Modelo EMT genérico elaborado en colaboración con EMTP y EPRI.
- ❖ Modelo EMT OEM provisto por SMA Solar Technology AG.



GLOBAL PST
CONSORTIUM

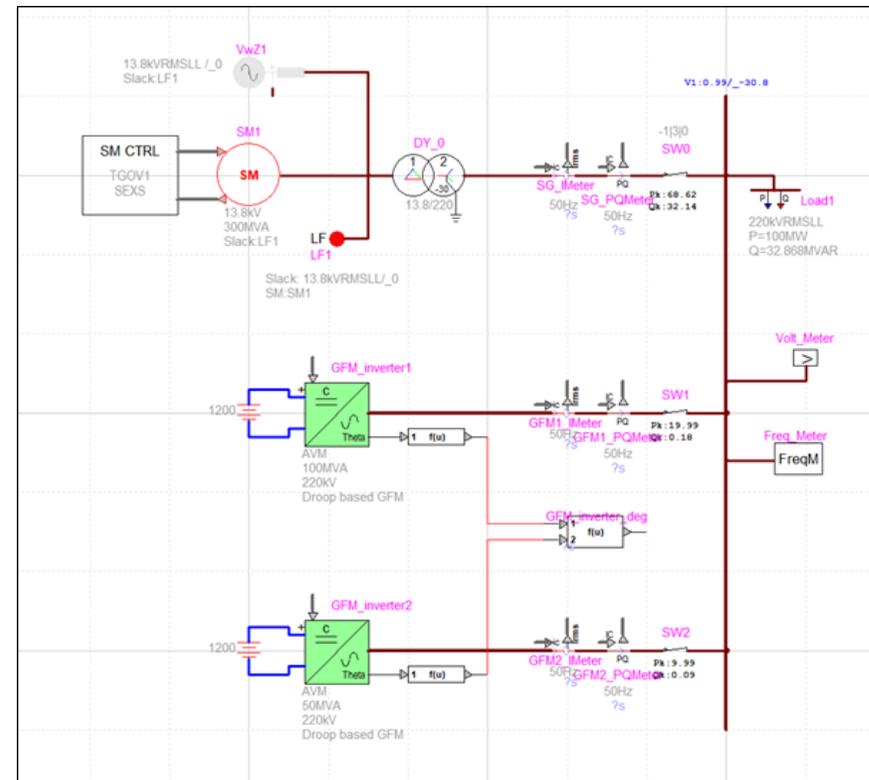
A Review of the Generic Grid- Forming Model Used by the System Operator in Chile

Amin Banale, Nazila Rajaei, Deepak Ramasubramanian, Mobolaji Bello
Electric Power Research Institute (EPRI)

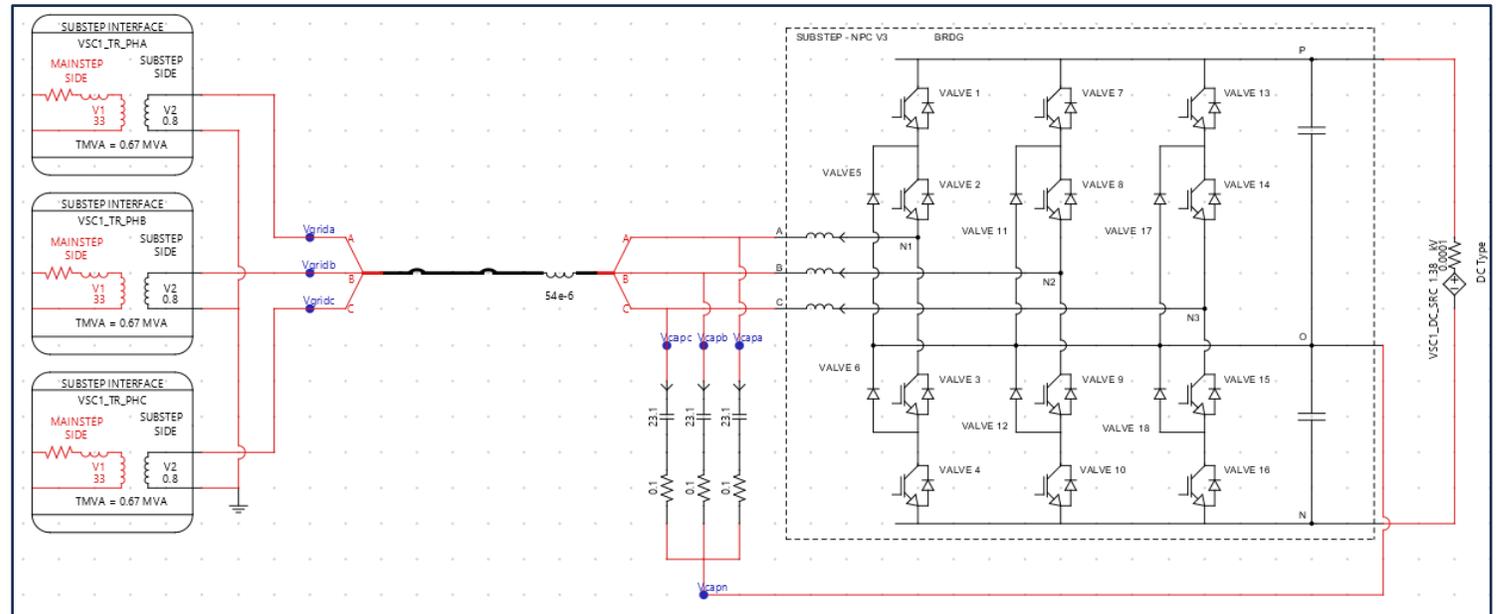
Simón Veloso, Víctor Velar, Eugenio Quintana, Jaime Peralta
Coordinador Eléctrico Nacional

Lina Ramirez
National Renewable Energy Laboratory

December 2024



Se realizaron pruebas de hardware-in-the-loop (HIL) con un controlador físico real GFM de Huawei.
En el laboratorio de STR del Coordinador





Estructura general

Requisitos de desempeño

- Autonomía y sincronismo
- Operación en isla
- Amortiguamiento de oscilaciones
- Operación con baja fortaleza de la red
- Contribución P y Q
- Respuesta a señales de frecuencia y tensión
- Comportamiento ante variaciones de frecuencia
- Comportamiento ante variaciones de tensión
- Desbalances (corriente de secuencia negativa)
- Comportamiento antes fallas (simétricas y asimétricas)
- Respuesta ante saltos de fase de la tensión
- Sobredimensionamiento

Capacidades adicionales

- Partida en negro y restauración del sistema
- Calidad de la potencia

Modelación y pruebas

Simulaciones HIL



Autonomía y sincronismo

Mantener
sincronismo
con y sin el
apoyo de
terceros



Operación
estable bajo
condiciones de
SCR muy bajas
o redes pasivas



Soporte de
fortaleza a los
IBRs GFL
cercanos

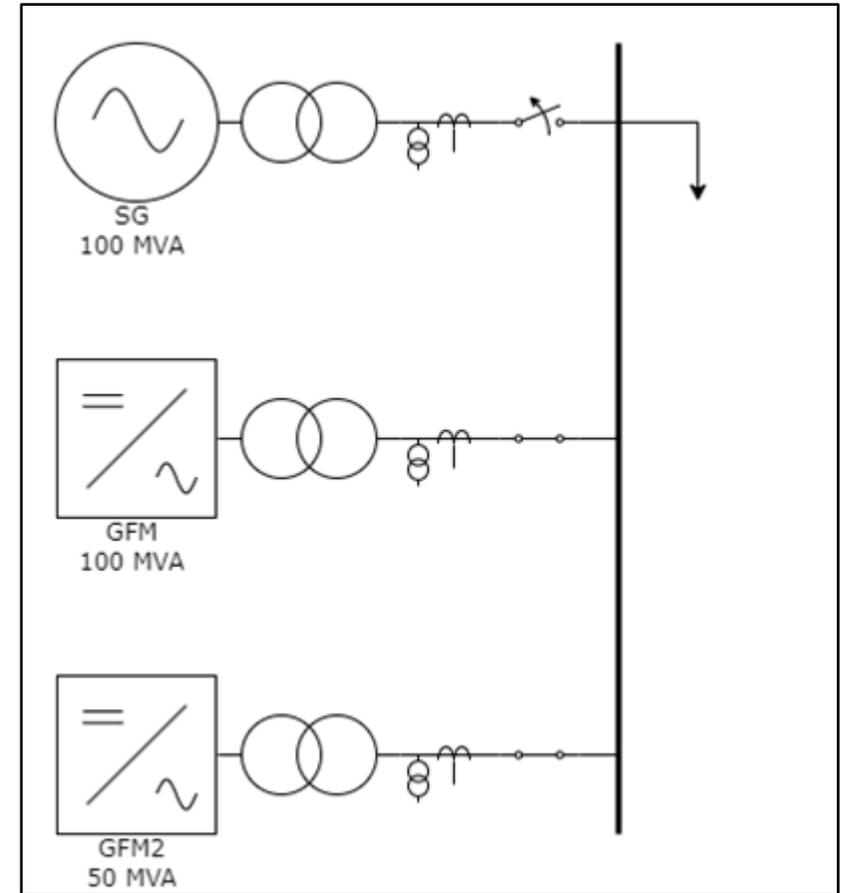
Operación en isla

IBRs GFM deben operar de forma estable ante la desconexión de la última máquina sincrónica de la red.

- Soporte de tensión y frecuencia.

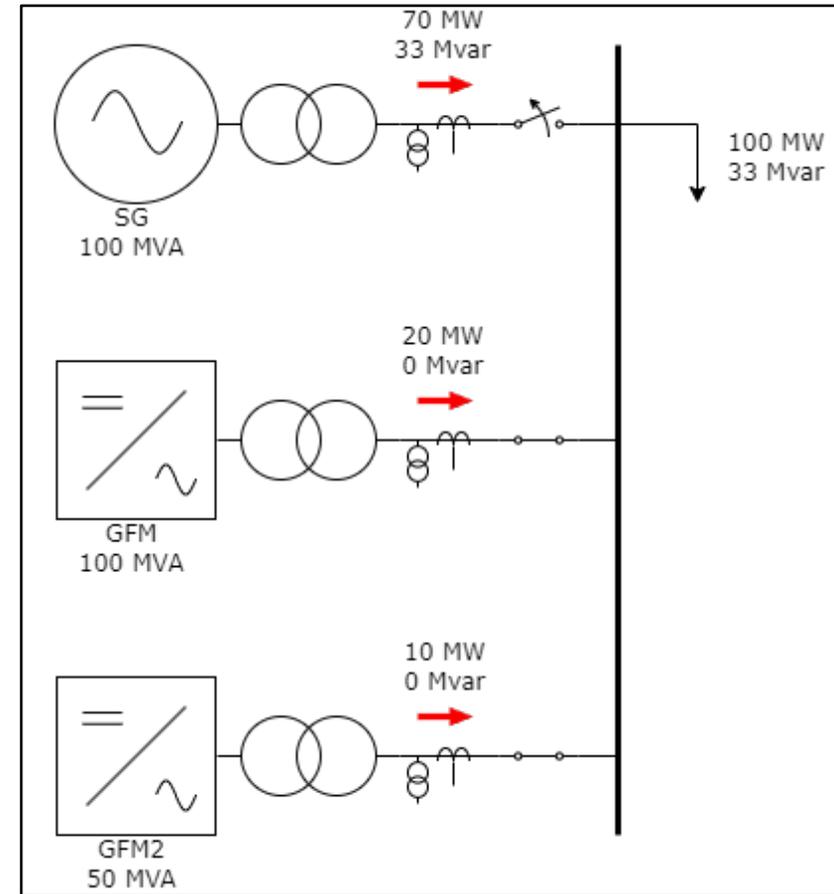
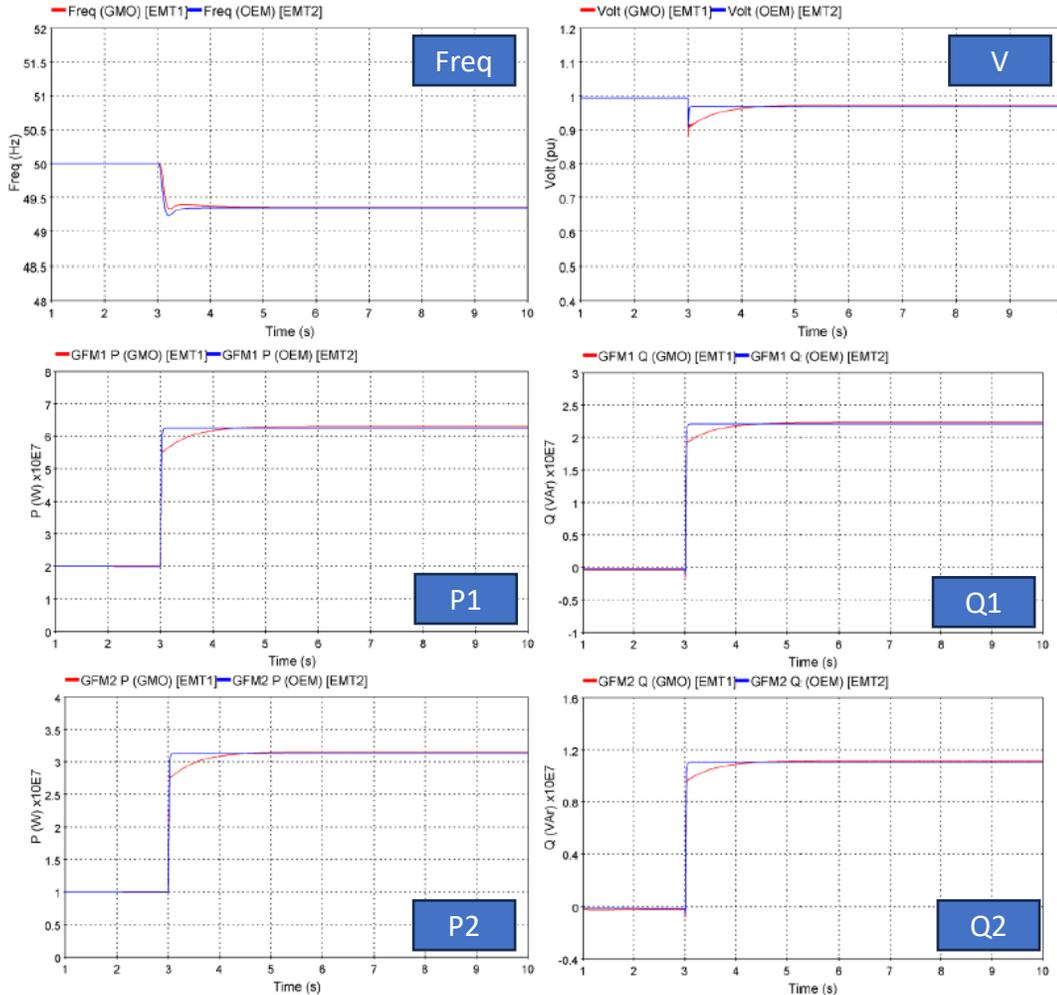
Operación estable en conjunto con otros IBRs GFL o GFM presentes en la red.

Deberán transitar de forma suave y estable de una operación en red a una operación en isla (y viceversa).



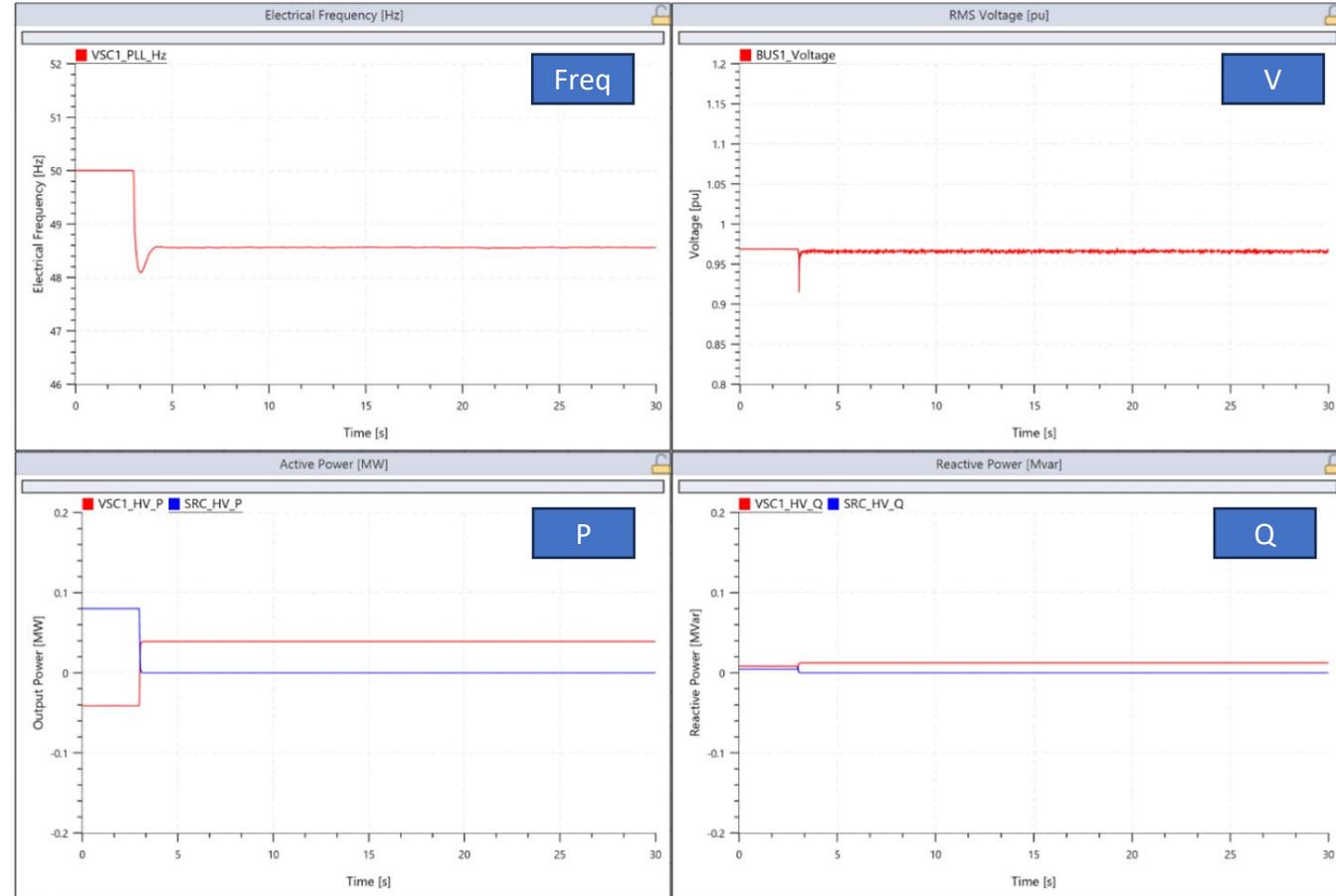
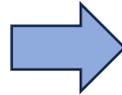
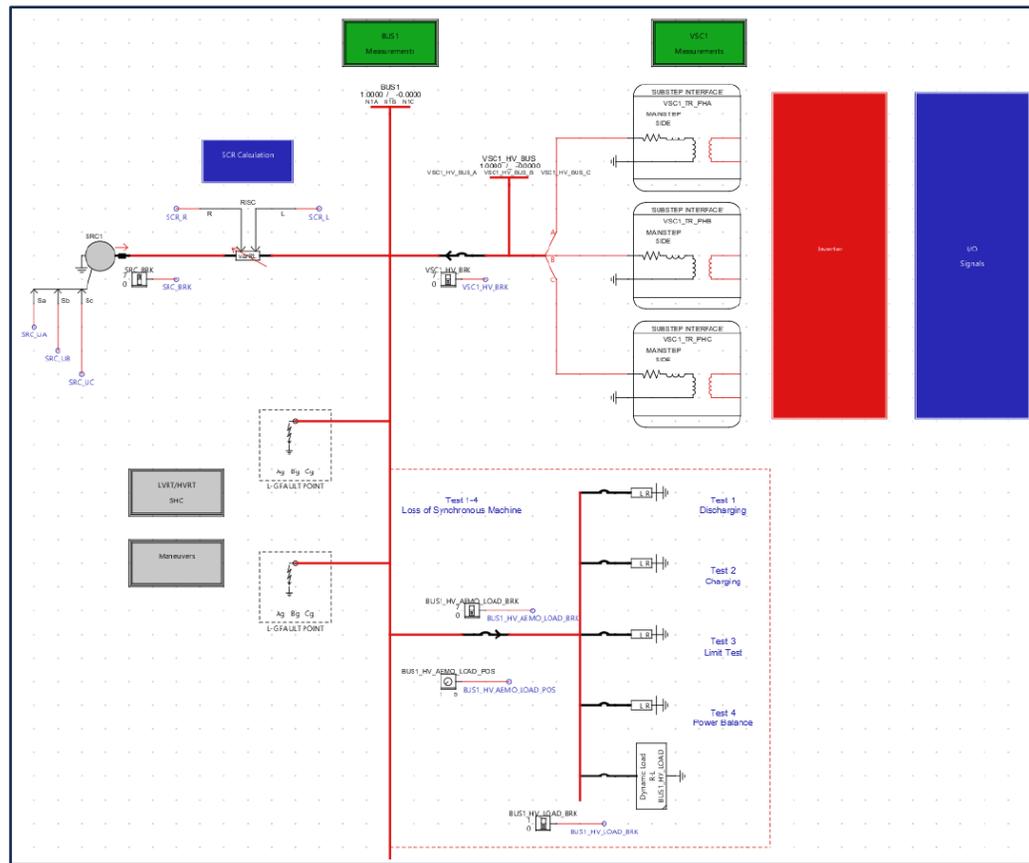
Banco de Pruebas 2 para IBRs GFM- AEMO

Operación en isla (prueba EMT)



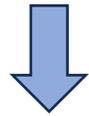
Banco de Pruebas 2 para IBRs GFM- AEMO

Operación en isla (prueba HIL)

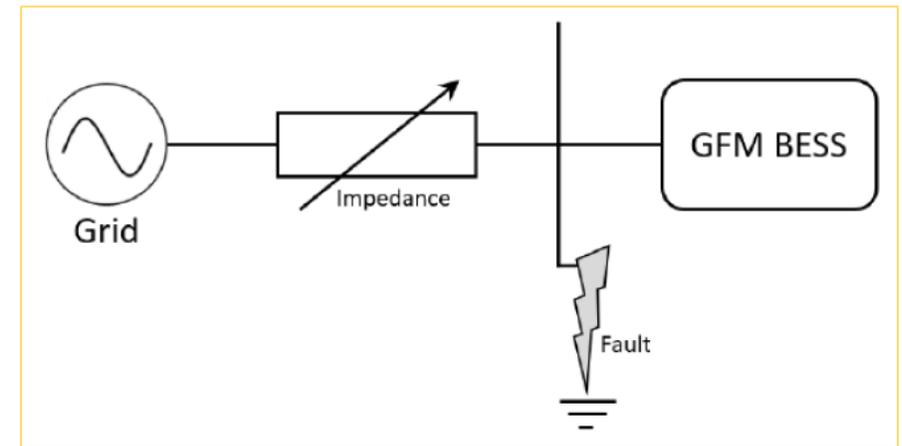


Operación en red débil

IBRs GFL convencionales están sujetos a desafíos y restricciones operativas en sistemas de baja fortaleza

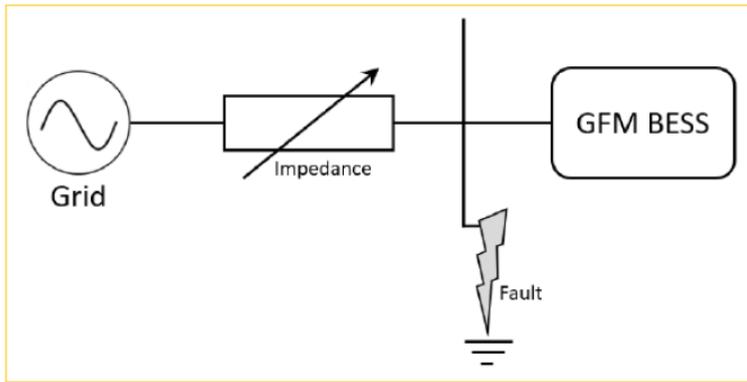


IBRs GFM deben operar de manera estable cuando estén conectados a una red débil, dentro de los límites y capacidad de sus equipos.

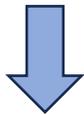


Banco de Pruebas 1 para IBRs GFM- AEMO

Operación en red débil (prueba EMT)

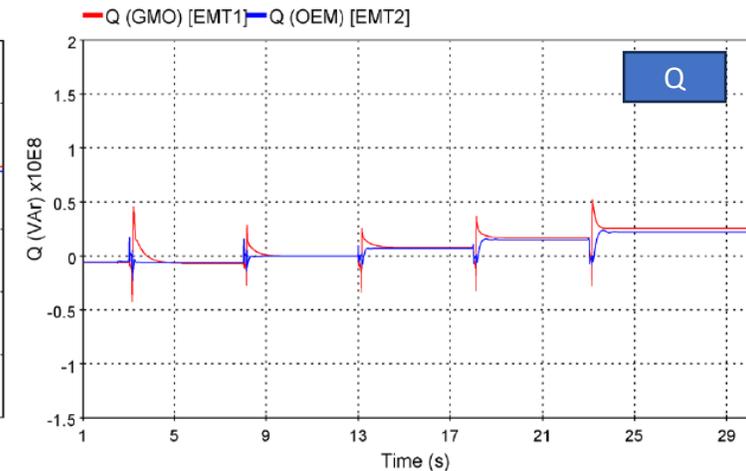
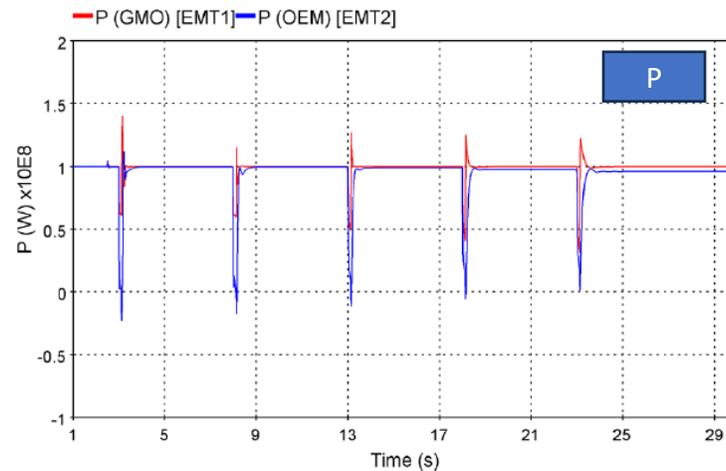
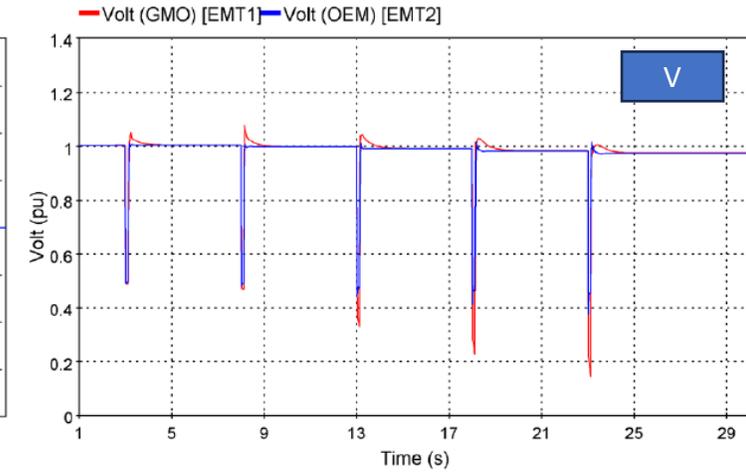
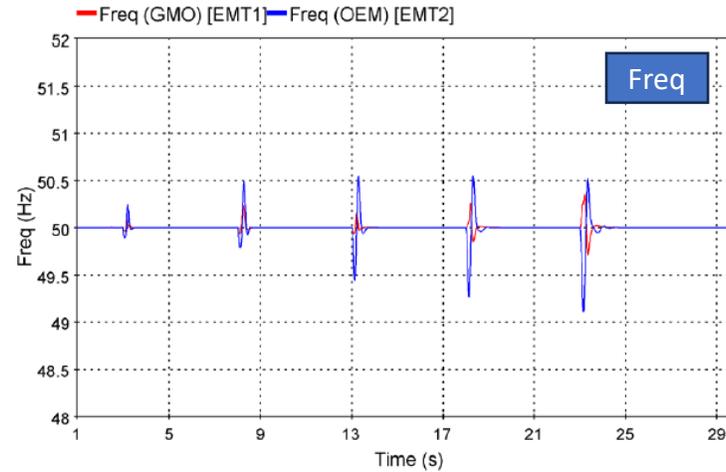


Banco de Pruebas 1 para IBRs GFM- AEMO

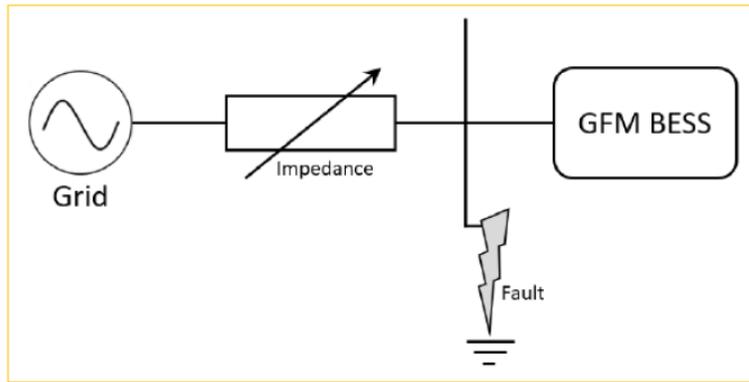


Falla bifásica a tierra de 6 ciclos justo antes de cada transición de SCR.

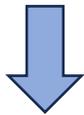
SCR del punto de conexión se reduce en la progresión: 20, 10, 3, 2, 1.5, 1.25



Operación en red débil (prueba HIL)

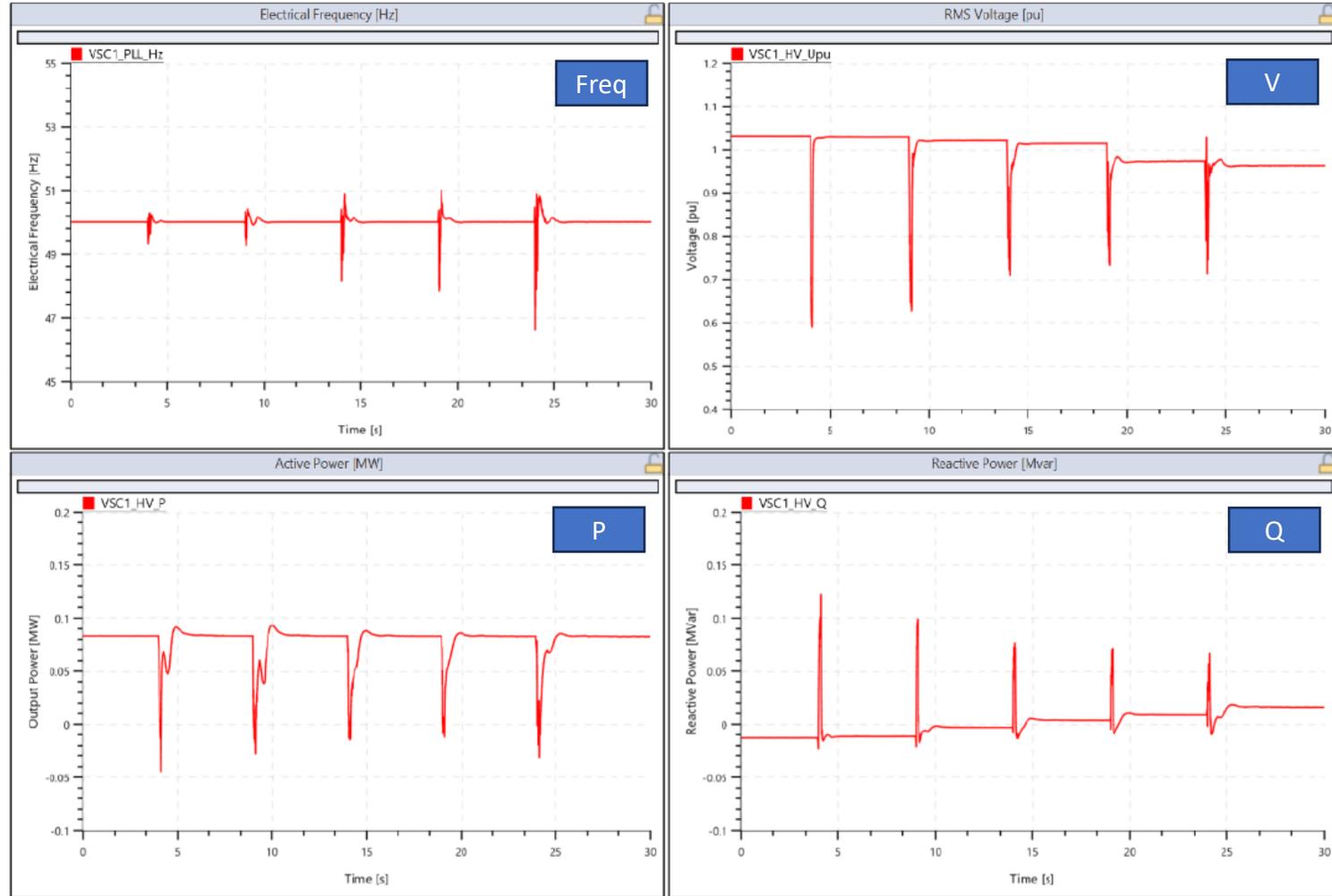


Banco de Pruebas 1 para IBRs GFM- AEMO

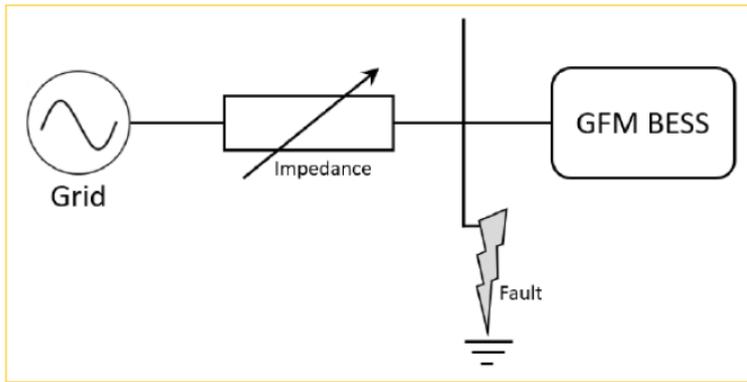


Falla bifásica a tierra de 6 ciclos justo antes de cada transición de SCR.

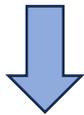
SCR del punto de conexión se reduce en la progresión: 20, 10, 3, 2, 1.5, 1.25



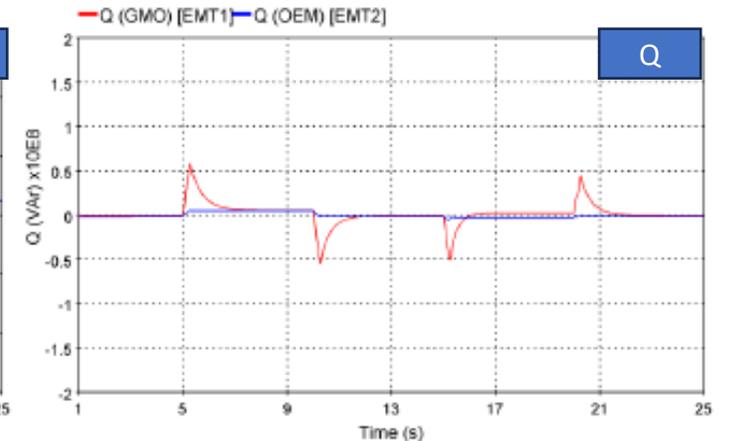
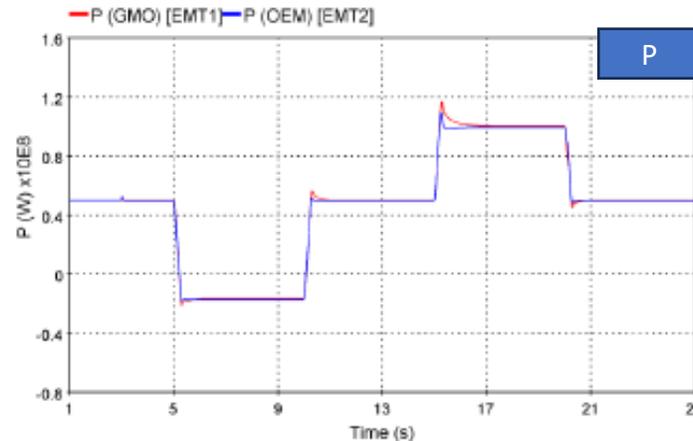
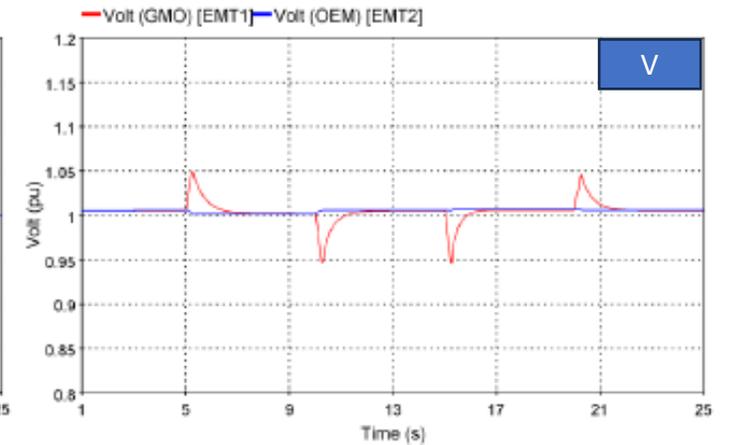
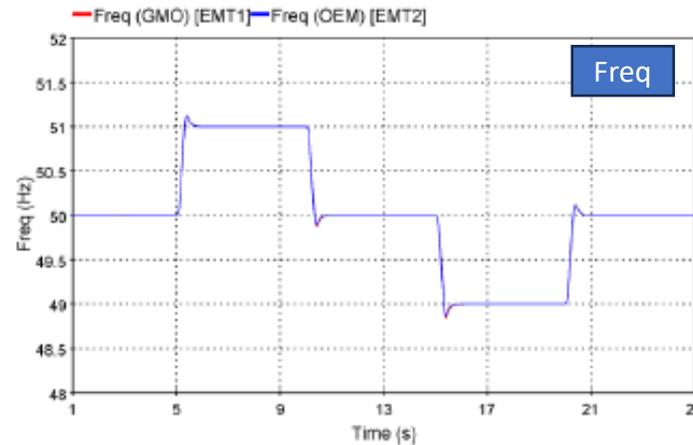
RoCoF ascendente y descendente (prueba EMT)



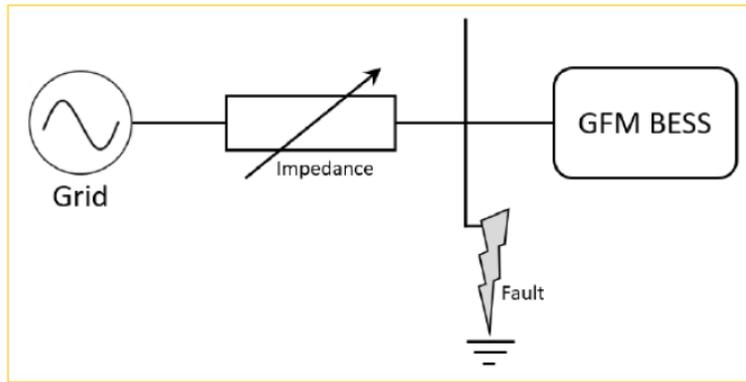
Banco de Pruebas 1 para IBRs GFM- AEMO



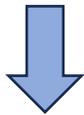
50 Hz \uparrow 51 Hz @4Hz/s durante 5 s.
51 Hz \downarrow 50 Hz @4Hz/s durante 5 s.
50 Hz \downarrow 49 Hz @4Hz/s durante 5 s.
49 Hz \uparrow 50 Hz @4Hz/s durante 5 s.



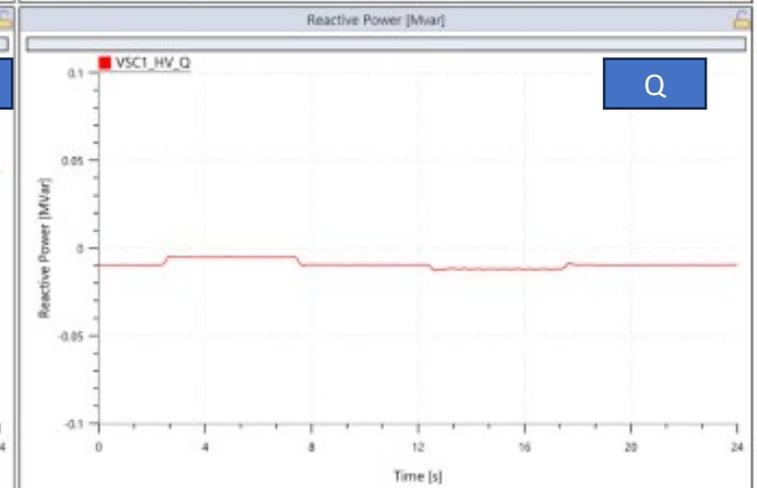
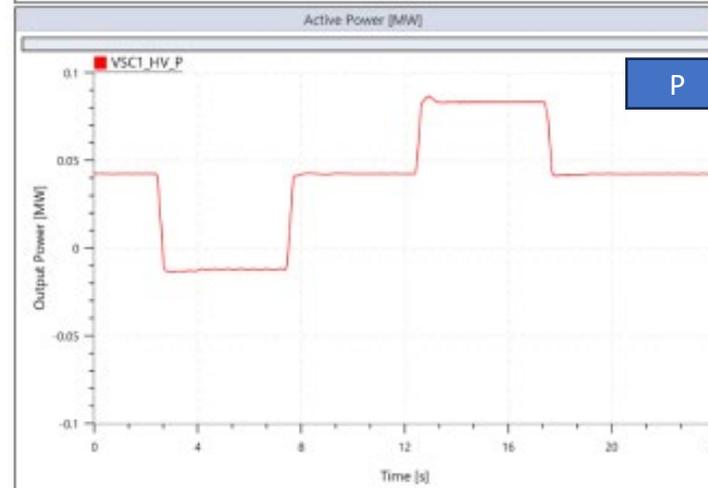
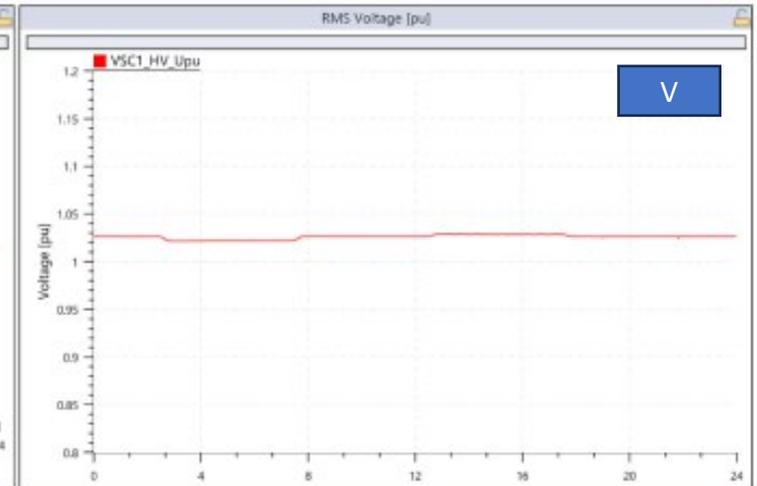
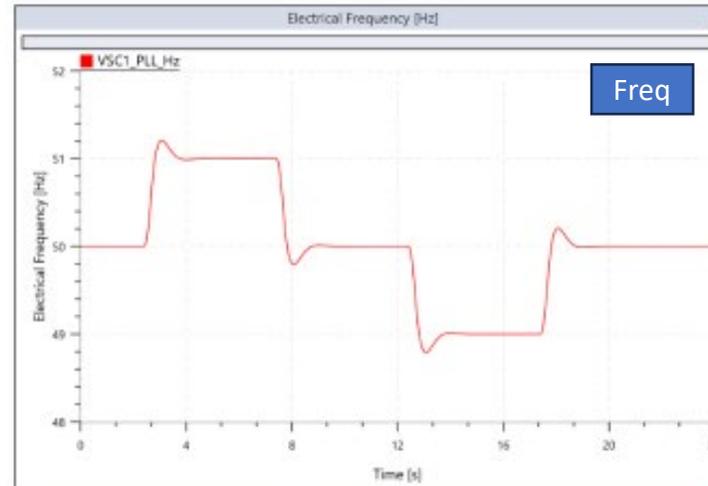
RoCoF ascendente y descendente (prueba HIL)



Banco de Pruebas 1 para IBRs GFM- AEMO



50 Hz \uparrow 51 Hz @4Hz/s durante 5 s.
51 Hz \downarrow 50 Hz @4Hz/s durante 5 s.
50 Hz \downarrow 49 Hz @4Hz/s durante 5 s.
49 Hz \uparrow 50 Hz @4Hz/s durante 5 s.



Control de tensión en desbalances y fallas

Control de tensión

→ Soporte de tensión autónomo casi instantáneo

Voltage-Ride-Through

→ Corriente deberá oponerse al cambio de tensión en terminales durante y después de la falla

No impedir flujo de corriente de secuencia negativa

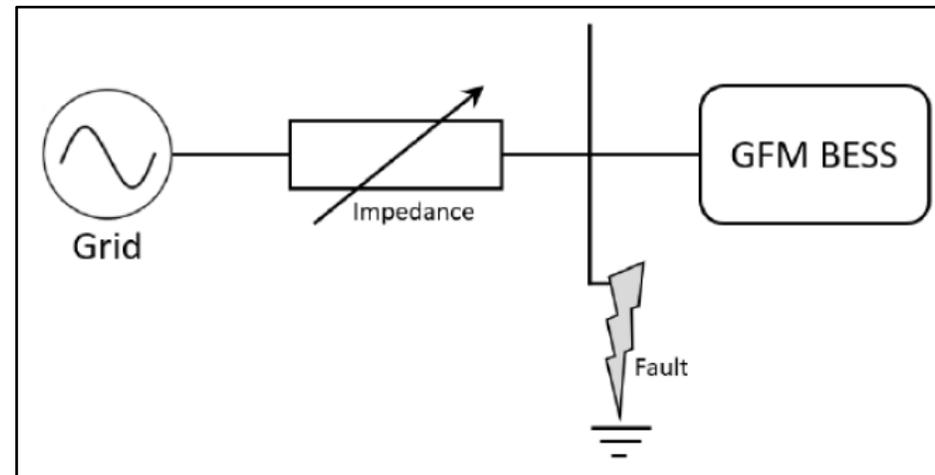
→ Afrontar desbalances pequeños

Participar con aporte de secuencia positiva (fallas balanceadas) y negativa (fallas desbalanceadas)

→ Mantener tensión interna balanceada para contrarrestar cambios de la tensión

Saltos de fase

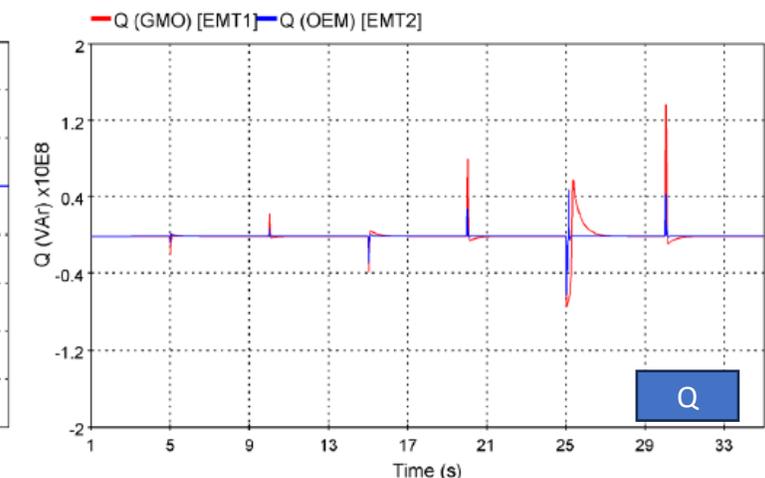
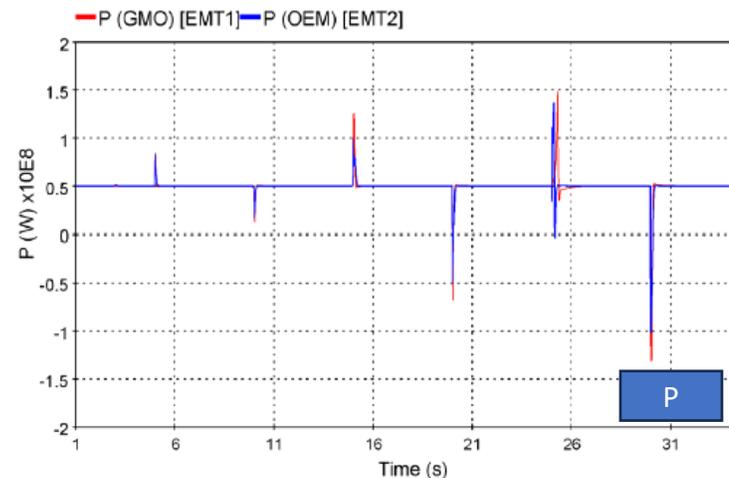
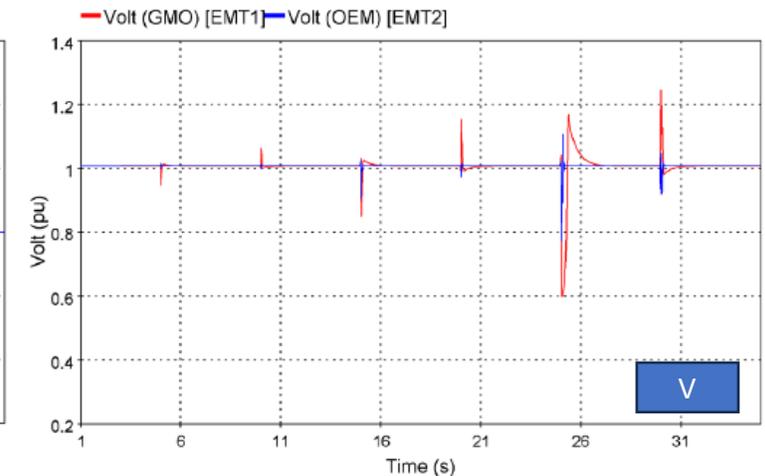
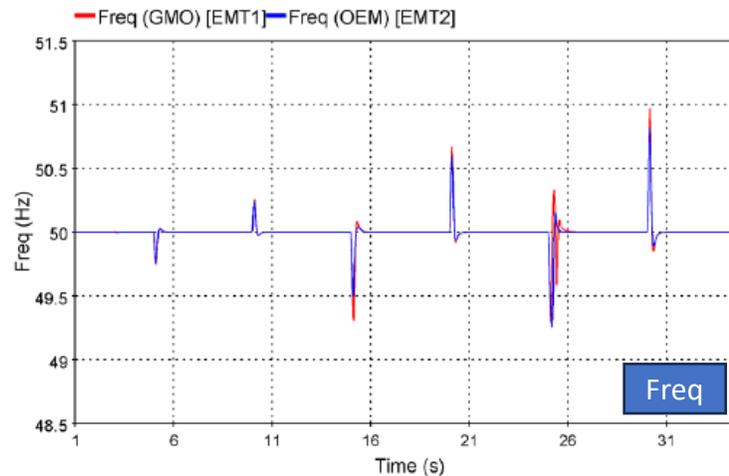
- IBRs GFM deben absorber o inyectar potencia activa y reactiva ante cambios de ángulo de fase.
- Ángulo máximo depende de la red y debe ser definido por el operador del sistema.



Banco de Pruebas 1 para IBRs GFM- AEMO

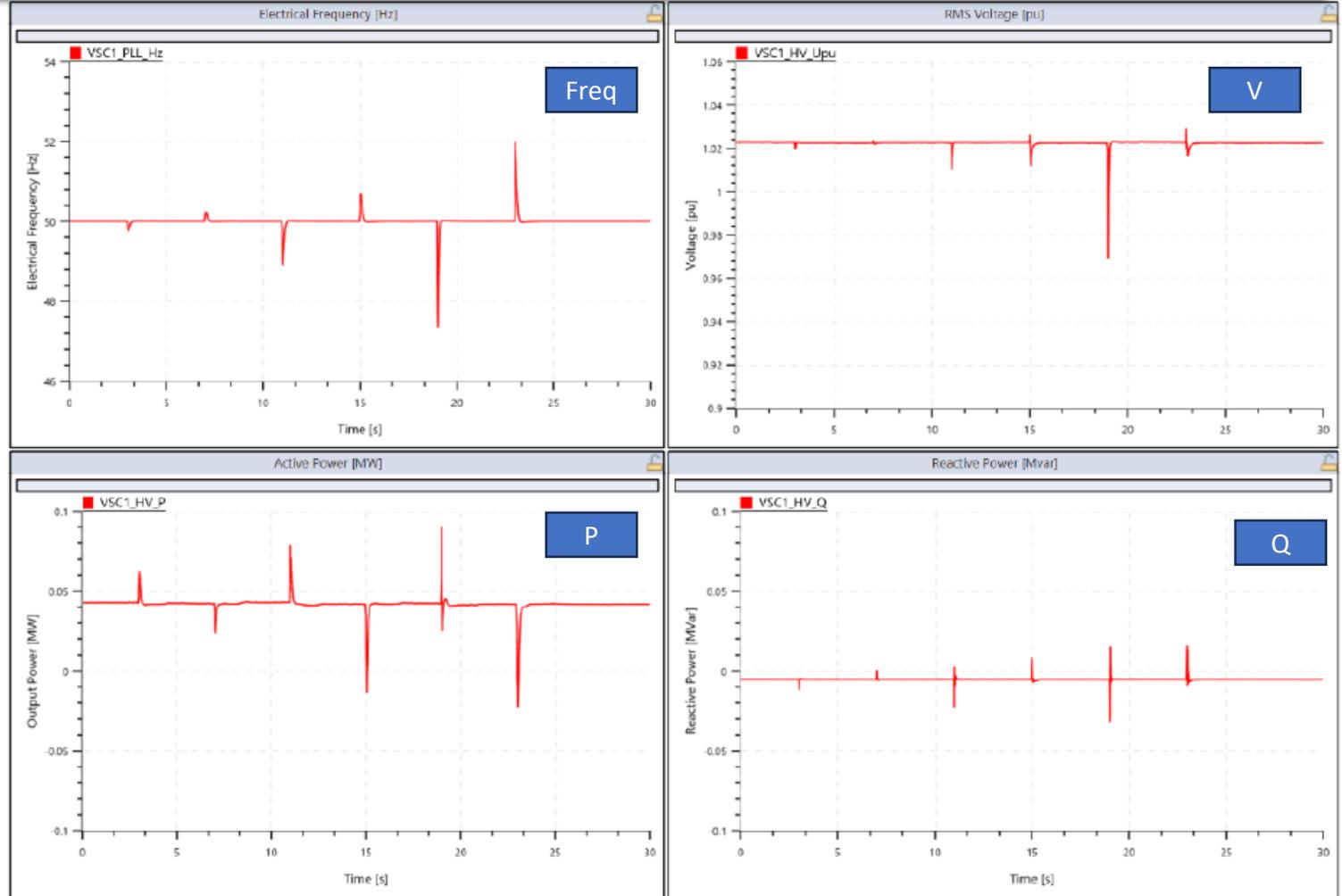
Saltos de fase (prueba EMT)

1. Se reduce ángulo en 10 grados
2. Se aumenta el ángulo en 10 grados
3. Se reduce ángulo en 30 grados
4. Se aumenta ángulo en 30 grados
5. Se reduce ángulo en 60 grados
6. Se aumenta ángulo en 60 grados



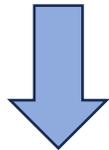
Saltos de fase (prueba HIL)

1. Se reduce ángulo en 10 grados
2. Se aumenta el ángulo en 10 grados
3. Se reduce ángulo en 30 grados
4. Se aumenta ángulo en 30 grados
5. Se reduce ángulo en 60 grados
6. Se aumenta ángulo en 60 grados



Sobredimensionamiento

Por razones de estabilidad, algunos requisitos de desempeño dependen de la corriente nominal del IBR GFM



- Capacidad adicional de corriente reactiva
- Capacidad adicional de corriente activa (reserva de energía en el lado DC)



China Resources Qinghai Poverty Relief 100 MW PV

200 kVA por inversor, 15 inversores = 3 MVA

83.3 kW nominales, 15 inversores = 1.25 MW

Batería de 2 MW/MWh

140% de sobredimensionamiento



Partida en negro

- Arranque independiente.
- Suministro de corriente *inrush*
- Referencia de tensión estable.
- Operación en paralelo para partida en negro colectiva.
- Reserva y capacidad de energía.



Conclusiones

Tecnología GFM es esencial para habilitar el proceso de transición energética

Se recomienda que los nuevos equipos BESS tengan capacidades GFM básicas (*core capabilities*)

Se recomienda incorporar estos requisitos mínimos en la NTSyCS

Capacidades adicionales o que requieran sobredimensionamiento pueden ser opcionales →
Voluntarias o a través del mercado de SSCC

Modelos EMT OEM validados con pruebas en laboratorio y terreno son fundamentales

Próximos pasos:

→ Probar y validar la tecnología GFM en modelo EMT a gran escala del SEN

→ Pilotos en instalaciones reales

FIN

