

# **Resumen de Requisitos Técnicos de Inversores Formadores de Red (GFM)**

Lina Ramirez, Ph.D.  
Pillar 2 Lead G-PST  
Contractor to the National  
Renewable Energy Lab (NREL)

# Global Power System Transformation Consortium

## G-PST



### Agenda de Investigación

- Consejo de Implementación de Tecnología GFM y Centro de Control del Futuro.
- Recursos publicados sobre las necesidades y los servicios del sistema, la adecuación de los recursos y la visión del centro de control del futuro



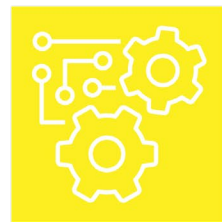
### Soporte Técnico a Operadores de Sistema

- Desarrollo de hojas de ruta para la actualización de centros de control en Peru, Colombia, Indonesia y Pakistan.
- Implementación de herramientas avanzadas con India, Vietnam y Sudáfrica. Actualmente en desarrollo en Colombia y Chile.
- Sesiones de aprendizaje entre pares organizadas entre operadores de sistemas asociados en todo el mundo.



### Desarrollo fuerza laboral

- Creación de una agenda de enseñanza con mas de 100 módulos para la transformación de los sistemas de energía global
- Lanzó la iniciativa Mujeres en la Transformación del Sistema Eléctrico para promover la igualdad de género en la transición a la energía limpia
- Programas establecidos de pasantías, becas y mentoría



### Requisitos técnicos IBR, DER

- Publicación de una encuesta sobre las necesidades de los operadores de sistemas mundiales en materia de normas y tecnología local
- Apoyo a India y Panamá en la implementación de normas IEEE
- Apoyo Chile, Brasil, Colombia sobre requisitos técnicos GFL-GFM.
- Desarrollo de enfoques marco para permitir el despliegue de nuevas tecnologías



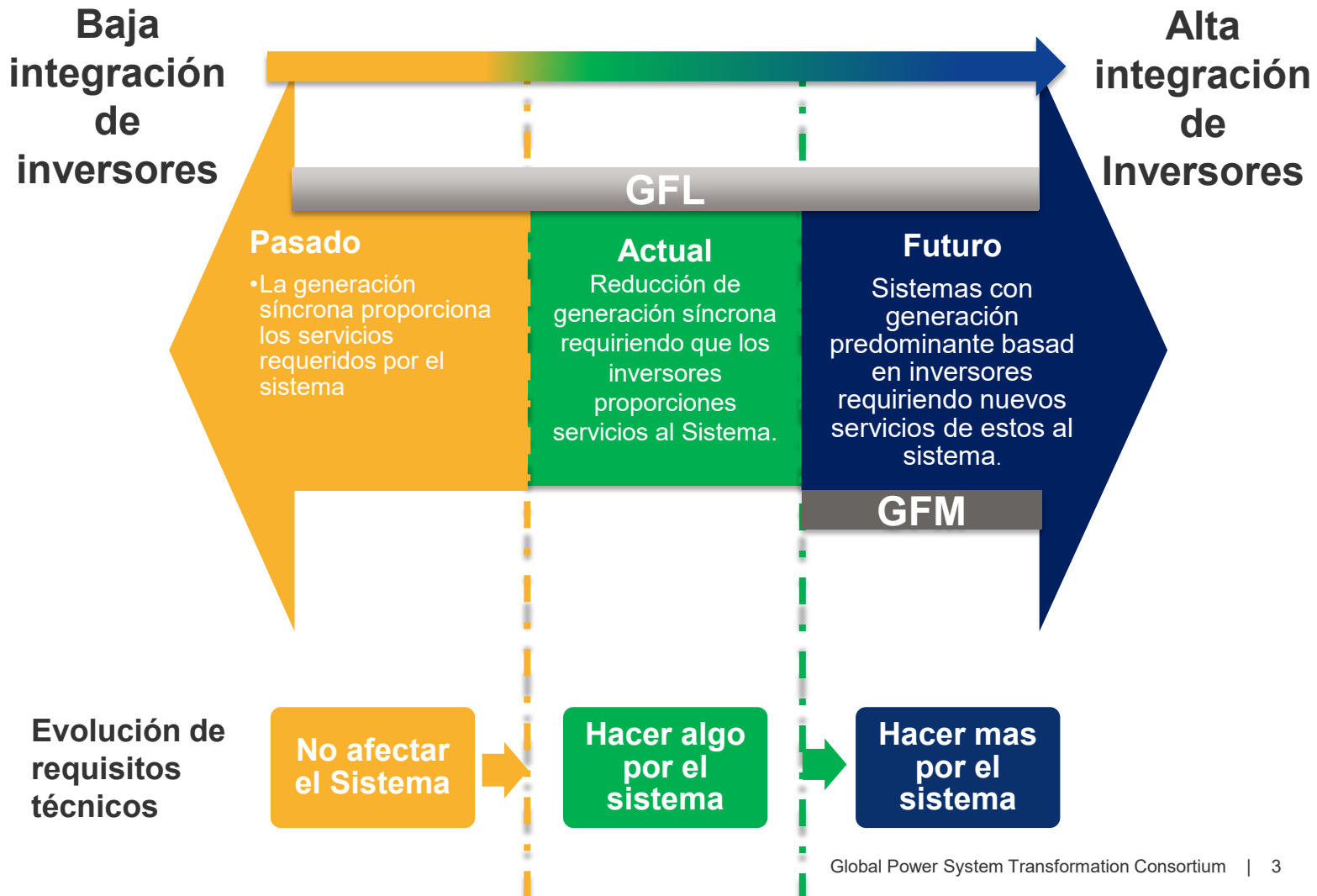
### Datos y herramientas abiertas

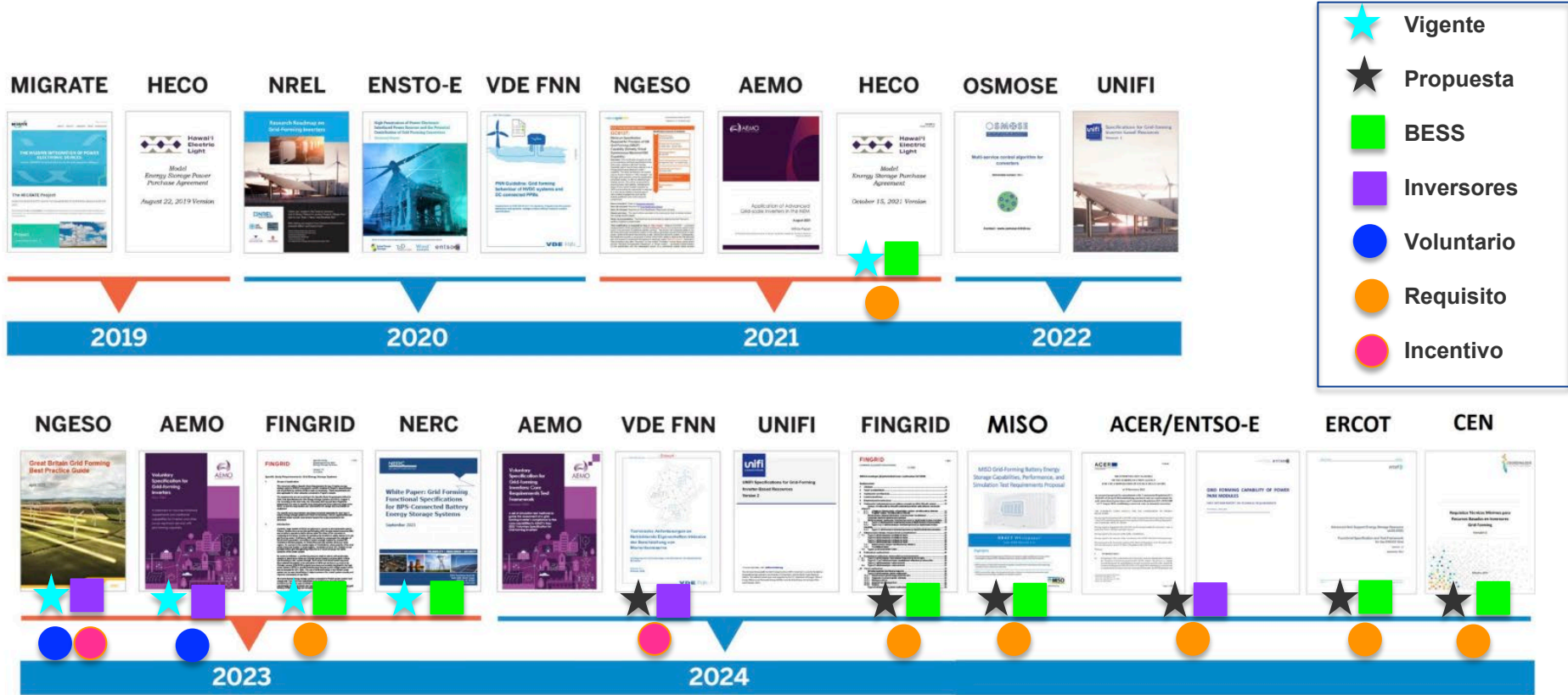
- Desarrollo de un conjunto de herramientas de monitoreo de inercia
- Lanzamiento del Portal de Herramientas Abiertas para Operadores del Sistema
- Desarrollo de herramientas de código abierto para la detección de fuentes de oscilación y fortaleza de red.

G-PST es un consorcio de operadores de sistemas a nivel mundial, institutos de investigación, universidades y actores relevantes de los sistemas de potencia con el fin de unir fuerzas para afrontar los retos comunes referentes a la transición energética.

# Inversores GFL - GFM

- Ante alta integración de inversores, se requiere que estos cuenten con requisitos claros para poder proporcionar los servicios que requiere la red para mantener su estabilidad.
- Se empieza con requisitos GFL y se evoluciona a GFM de acuerdo a las necesidades del sistema.
- Tener mas recursos que proporcionen los servicios que requiere la red es mejor que concentrarlo en pocos.





Fuente: [ESIG](#)

# Requisitos Técnicos y Pruebas para GFM a Nivel Mundial

# BESS GFM operativos

- 732 MW de BESS GFM operativos a nivel mundial
- AEMO cuenta con 480 MW de BESS GFM operativos
- Hawaii tiene el BESS GFM de mayor capacidad operativo (185 MW)
- En el corto plazo se espera la integración de un BESS GFM de 200 MW en NESO y uno de 300 MW en AEMO

Project Name	Location	Operator/Utility	MW	Year
Dalrymple	Australia	AEMO	30	2018
Project #1	Kauai, USA	KIUC	13	2018
Bordesholm	Germany	Versorgungsbetriebe Bordesholm	15	2019
Hornsedale Power Reserve	Australia	AEMO	150	2022
Province Town BESS	USA, MA	Eversource Energy	25	2022
Kauai PMRF	Kauai, USA	KIUC	14	2022
Wallgrove	Australia	AEMO	50	2022
Broken Hill BESS	Australia	AEMO	50	2023
Kapolei Energy Storage	USA, Hawaii	HECO	185	2023
New England BESS	Australia	AEMO	50	2023
Riverina and Darlington Point	Australia	AEMO	150	2023

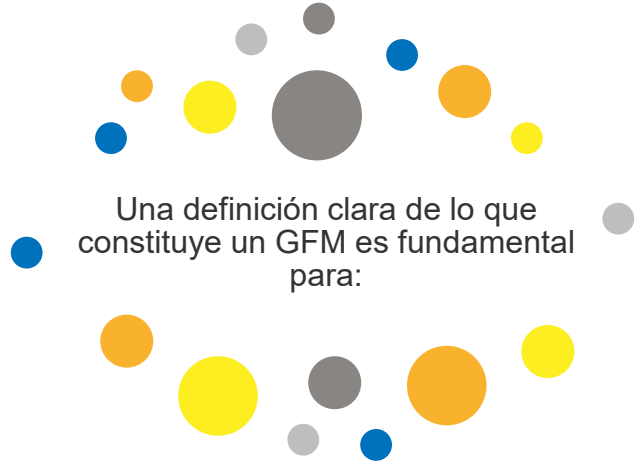
Fuente: [ESIG](#)

# Comparación definición GFM

Tema común en la definición de GFM							
Tema	ACER	AEMO	Fingrid	German TSOs	HECO	NGESO	NERC
Límites de corriente y energía*	✓						
Fuente de voltage*	✓	✓		✓	✓	✓	✓
Respuesta inmediata*		✓			✓		✓
Sincronización*			✓		✓		
Fortaleza de red		✓	✓		✓	✓	✓
Corriente de falla			✓	✓			
Inercia			✓	✓	✓		
Estabilidad				✓	✓		✓
Armónicos				✓			

- Definición
- Requisito tecnico
- Límites

\*Inherente a GFM, aunque no esté escrito explícitamente en el código



Una definición clara de lo que constituye un GFM es fundamental para:



Capturar una diferencia principal entre GFL y GFM

Formadores de red (GFM) es una función de los inversores que les permite actuar como una fuente de voltaje manteniendo su propio fasor de voltaje interno en el marco de tiempo sub-transitorio / transitorio.

Se utiliza para regular la potencia activa y reactiva de acuerdo con las necesidades de la red, independientemente de la fortaleza del sistema y dentro de sus límites de corriente y energía.

# Proposed definition of GFM

# Resumen de los requisitos técnicos de GFM

## Comparación de las capacidades esperadas de GFM

Función	 AEMO	 CEN	 Fingrid	 German TSOs	 HECO	 NGESO	 NERC
Sincronismo	✓	✓			✓		✓
Regulación Frecuencia	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Regulación Voltaje	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Amortiguamiento	✓	✓	✓	✓		✓	✓
Armónicos	✓	✓	✓	✓			✓
Arranque negro	✓	✓		✓	✓		✓
Operación en isla	✓	✓	✓		✓		✓

-  Vigente
-  Propuesta
-  BESS
-  Inversores
-  Voluntario
-  Requisito
-  Incentivo



# Conclusión

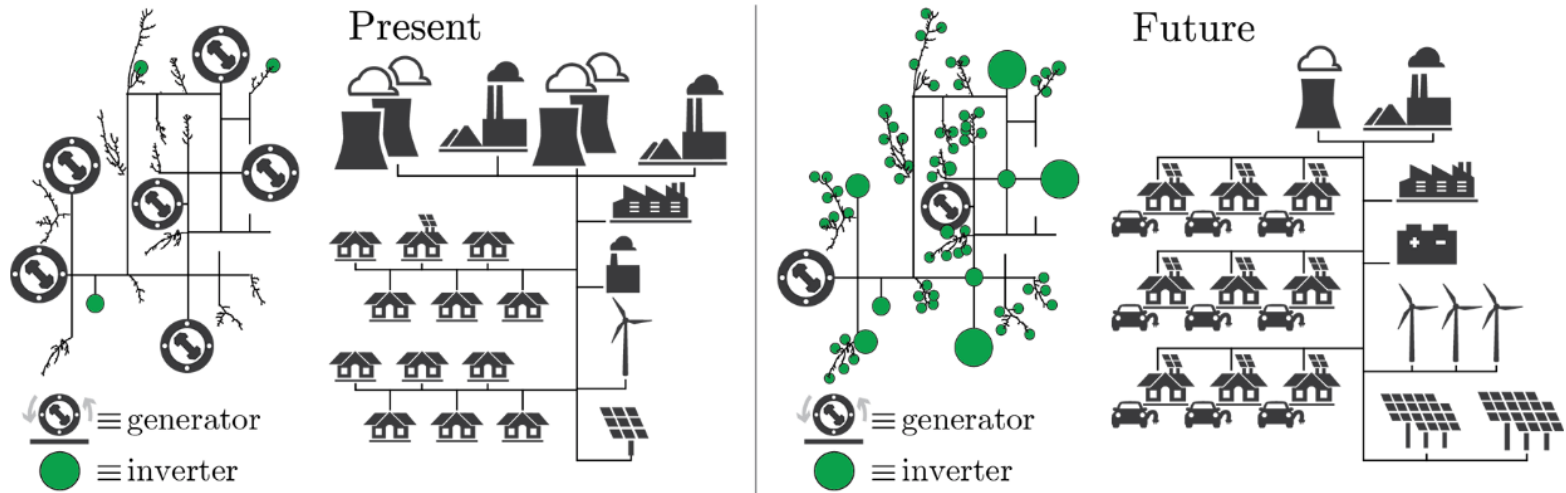


Figure Source: NREL <https://www.nrel.gov/grid/aid-forming-inverter-controls.html>

Las capacidades esperadas para los inversores formadores de red (GFM) han sido requeridas por varios operadores de sistemas de acuerdo a las necesidades antes la transición energética.



Las capacidades enumeradas son iniciales y pretenden ser un punto de partida para la definición de inversores formadores de red.

# Gracias!

[iramirez@nrel.gov](mailto:iramirez@nrel.gov)

---

[globalpst.org/](http://globalpst.org/)



# References

- ACER. 2022. *ACER Policy Paper on the revision of the network code on requirements for grid connection of generators and the network code on demand connection*. [https://acer.europa.eu/sites/default/files/documents/Position%20Papers/260908%20ACER%20GCNCs%20Policy%20Paper\\_final.pdf](https://acer.europa.eu/sites/default/files/documents/Position%20Papers/260908%20ACER%20GCNCs%20Policy%20Paper_final.pdf)
- ACER. 2022. *Draft amendments to the Network Code on requirements for grid connection generators*. [https://www.acer.europa.eu/sites/default/files/events/documents/2023-05/NC\\_RfG\\_ACER\\_10\\_and\\_11\\_May\\_final.pdf](https://www.acer.europa.eu/sites/default/files/events/documents/2023-05/NC_RfG_ACER_10_and_11_May_final.pdf)
- AEMO. 2023. *Voluntary Specification for Grid-forming Inverters*. <https://aemo.com.au/-/media/files/initiatives/primary-frequency-response/2023/gfm-voluntary-spec.pdf>
- AEMO. 2024. *Voluntary Specification for Grid-forming Inverters: Core Requirements Test Framework*. <https://aemo.com.au/-/media/files/initiatives/engineering-framework/2023/grid-forming-inverters-jan-2024.pdf?la=en>
- Bialek, Janusz, Thomas Bowen, Tim Green, Debbie Lew, Yitong Li. 2021. *System Needs and Services for Systems with High IBR Penetration*. <https://globalpst.org/wp-content/uploads/GPST-IBR-Research-Team-System-Services-and-Needs-for-High-IBR-Networks.pdf>
- ESO. 2023. *Great Britain Grid Forming Best Practice Guide*. <https://www.nationalgrideso.com/document/278491/download>
- Fingrid. 2023. *Specific Study Requirements for Grid Energy Storage Systems*. <https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/palvelut/kulutuksen-ja-tuotannon-liittaminen-kantaverkkoon/specific-study-requirements-for-grid-energy-storage-systems-en.pdf>
- HECO. 2021. *Hawaiian Electric Facility Technical Model Requirements and Review Process*. [https://www.hawaiianelectric.com/documents/clean\\_energy\\_hawaii/selling\\_power\\_to\\_the\\_utility/competitive\\_bidding/20210901\\_cbre\\_rfp/20210825\\_redline\\_lanai\\_appxb\\_att3.pdf](https://www.hawaiianelectric.com/documents/clean_energy_hawaii/selling_power_to_the_utility/competitive_bidding/20210901_cbre_rfp/20210825_redline_lanai_appxb_att3.pdf)

# References

- NERC. 2023. *White Paper: Grid Forming Functional Specifications for BPS-Connected Battery Energy Storage Systems*.  
[https://www.nerc.com/comm/RSTC\\_Reliability\\_Guidelines/White\\_Paper\\_GFM\\_Functional\\_Specification.pdf](https://www.nerc.com/comm/RSTC_Reliability_Guidelines/White_Paper_GFM_Functional_Specification.pdf)
- NERC. 2021. *Grid Forming Technology Bulk Power System Reliability Considerations*.  
[https://www.nerc.com/comm/RSTC\\_Reliability\\_Guidelines/White\\_Paper\\_Grid\\_Forming\\_Technology.pdf](https://www.nerc.com/comm/RSTC_Reliability_Guidelines/White_Paper_Grid_Forming_Technology.pdf)
- NGENSO. 2023. *The Grid Code Issue 6 Revision 16*. <https://www.nationalgrideso.com/document/162271/download>
- UNIFI. 2024. *UNIFI Specifications for Grid-Forming Inverter-Based Resources Version 2*.  
<https://www.nrel.gov/docs/fy24osti/89269.pdf>
- 50hertz, Amprion, Tennet, Transnet BW. 2022. *4-TSO Paper on Requirements for Grid-Forming Converters*.  
[https://www.netztransparenz.de/xspproxy/api/staticfiles/ntp-relaunch/dokumente/zuordnung\\_unklar/grundlegende-anforderungen-an-netzbildende-umrichter/220504\\_-\\_4-tso\\_paper\\_on\\_requirements\\_for\\_grid-forming\\_converters.pdf](https://www.netztransparenz.de/xspproxy/api/staticfiles/ntp-relaunch/dokumente/zuordnung_unklar/grundlegende-anforderungen-an-netzbildende-umrichter/220504_-_4-tso_paper_on_requirements_for_grid-forming_converters.pdf)

Anexo

---

# Maintain Synchronization – GPST Proposal



A GFM inverter  
plant shall:

- Maintain synchronization with all the elements of the grid, with and without the support of synchronous machines, under voltage and frequency changes in the sub-transient/transient time frame, independent of the system strength of the grid while not exceeding the current limits of the inverter plant.

# Provide Frequency Regulation – GPST Proposal

Draft version



A GFM inverter  
plant shall:

- Provide near-instantaneous frequency support for under frequency and over frequency events by maintaining a near constant internal voltage phasor in the sub-transient/transient time frame, while not exceeding the inverter plant current limits and the frequency ride through requirements of the system.
- Have a tunable frequency control: The response time, droop and deadband of the frequency regulation control should be defined and tunable by the system operator according to the system needs, while not exceeding the inverter plant current limits.

# Provide Voltage Regulation – GPST Proposal

Draft version



A GFM inverter  
plant shall:

- Provide autonomous near-instantaneous voltage support during steady-state and post-fault conditions by maintaining a near-constant internal voltage phasor in the sub-transient/transient time frame while not exceeding the inverter plant current limits, the P-Q capability curve and the voltage ride through requirement of the system.
- Resist near-instantaneous voltage phase angle changes by providing appropriate levels of active and reactive power output in the sub-transient/transient time frame.
- Maintain a balanced internal voltage during asymmetrical faults.
- Be able to ride through common grid disturbances within a pre-defined set of conditions defined by the system operator.
- Have tunable voltage control: The PQ capability curve, fast reactive current parameters, response time, droop and dead band of the voltage regulation control should be defined and tunable by the system operator according to the system needs, while not exceeding the inverter system current limits.



# Provide Damping – GPST Proposal

Draft version



A GFM inverter  
plant shall:

- Provide damping of the active and reactive power output following a disturbance, while not exceeding the inverter system current limits.
- Have tunable damping control: The damping shall be determined and tuned based on the grid characteristics defined by the system operator.

# Coordinate with Protections – GPST Proposal

Draft version

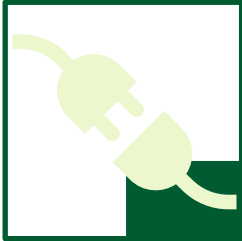


A GFM inverter  
plant shall:

- Contribute to the transient/sub-transient fault level according to the physics of the system by providing positive and negative sequence currents depending on the disturbance, while not exceeding the inverter plant current limits. Current limits and transient injection should be adjustable.

# Maintain power quality – GPST Proposal

Draft version



A GFM inverter  
plant shall:

- Acts as a sink for harmonics.
- Provide tunable active suppression of low order harmonics and flicker without exceeding the inverter system current limits.

# Support Black start – GPST Proposal

Draft version



A GFM inverter  
plant shall:

- Be capable of black start.
- Provide inrush currents that may require short term overload capability.
- The system operator shall specify quantities for the level of short-term overload required, which is highly dependent on the role in the specific black-start or system restoration sequence.

# Support stable Island Operation – GPST Proposal

Draft version



A GFM inverter  
plant shall:

- Operate stably by connecting or disconnecting the last synchronous machine, providing voltage and frequency support without exceeding the inverter system current limits.
- Maintain stable operation with other GFL, GFM inverters when no synchronous machines are present.