



NORMA TÉCNICA DE SEGURIDAD Y CALIDAD DEL SERVICIO

**ANEXO TÉCNICO DE EXIGENCIAS MÍNIMAS DE INSTALACIONES
BASADAS EN CONVERTIDORES QUE SE CONECTEN AL SISTEMA
ELÉCTRICO NACIONAL**

Enero de 2026

Santiago, Chile

ÍNDICE

Título 1	Aspectos generales	3
Artículo 1-1	Objetivo.....	3
Artículo 1-2	Alcance.....	3
Artículo 1-3	Abreviaturas.....	3
Artículo 1-4	Definiciones	4
Título 2	Obligaciones y funciones.....	6
Artículo 2-1	Obligaciones y funciones del Coordinador	6
Artículo 2-2	Obligaciones de los Coordinados.....	6
Título 3	Exigencias mínimas para IBR GFM	7
Artículo 3-1	Exigencias generales para IBR GFM	7
Artículo 3-2	Controlador de Tensión.....	8
Artículo 3-3	Requerimientos al Controlador de Tensión en operación normal.....	9
Artículo 3-4	Requerimientos del Controlador de Tensión en operación ante fallas.....	10
Artículo 3-5	Control de inyección rápida de corriente	10
Artículo 3-6	Controlador Frecuencia/Potencia	11
Artículo 3-7	Respuesta inercial	12
Artículo 3-8	Control activo de salto de fase.....	12
Artículo 3-9	Control de amortiguamiento de potencia	12
Artículo 3-10	Capacidad de operar en una Isla Eléctrica	13
Artículo 3-11	Capacidad de Partida Autónoma	13
Artículo 3-12	Exigencias a la interconexión de los Sistemas de Almacenamiento de Energía .	14
Título 4	Exigencias mínimas para IBR GFL.....	15
Artículo 4-1	Exigencias Generales para IBR GFL	15
Artículo 4-2	Controlador de Tensión.....	16
Artículo 4-3	Requerimientos al Controlador de Tensión en operación normal.....	16
Artículo 4-4	Requerimientos del Controlador de Tensión en operación ante fallas.....	17
Artículo 4-5	Operación de la IBR GFL ante fallas	18
Artículo 4-6	Cambio de prioridad de inyección de corriente ante fallas	18
Artículo 4-7	Controlador de Frecuencia/Potencia	19
Artículo 4-8	Requisitos para la interconexión al SI	19
Título 5	Modelos y pruebas	21
Artículo 5-1	Requisitos generales para modelos EMT	21
Artículo 5-2	Requisitos específicos de modelos EMT	21

Artículo 5-3	Parámetros técnicos de modelos EMT de las IBR GFM	23
Artículo 5-4	Informes de validación de modelos EMT.....	24
Artículo 5-5	Desempeño de la IBR GFM	24
Artículo 5-6	Desempeño de la IBR GFL.....	24
Artículo 5-7	Validación del desempeño de los modelos EMT	24
Título 6	Monitoreo y actualización de parámetros.....	26
Artículo 6-1	Señales adicionales de monitoreo	26
Artículo 6-2	Actualización de parámetros de control	26
Título 7	Disposiciones Transitorias.....	27
Artículo 7-1	Entrada en vigencia del Anexo.....	27
Artículo 7-2	Exención de aplicación del Título 3 del Anexo	27
Artículo 7-3	Aplicación de requisitos para la interconexión de IBR GFL.....	27
Artículo 7-4	Entrega de modelos EMT de las instalaciones interconectadas al SI.....	28
Artículo 7-5	Exigencias para las IBR GFL existentes	28
Artículo 7-6	Requisitos de Información adicional para una IBR GFM.....	29

Título 1 Aspectos generales

Artículo 1-1 Objetivo

El Anexo Técnico tiene por objeto establecer las exigencias técnicas mínimas complementarias a las establecidas en la Norma Técnica de Seguridad y Calidad de Servicio, para las Instalaciones Basadas en Convertidores, a efecto de que éstas garanticen el cumplimiento de los objetivos de seguridad y calidad de servicio.

Artículo 1-2 Alcance

Las disposiciones establecidas en el Anexo Técnico serán aplicables a las Instalaciones Basadas en Convertidores que se encuentran interconectadas o que se vayan a interconectar al Sistema de Transmisión del Sistema Eléctrico Nacional.

Artículo 1-3 Abreviaturas

Adicionalmente de las abreviaturas establecidas en el Título 1-2 de la Norma Técnica de Seguridad y Calidad de Servicio, para fines de este Anexo Técnico se establecen las siguientes:

1. **AT IBR, Anexo o Anexo Técnico** : Anexo Técnico de Exigencias Mínimas de Instalaciones Basadas en Convertidores que se conecten al Sistema Eléctrico Nacional de la NTSyCS.
2. **FIV** : Fuente Interna de Voltaje.
3. **HIL** : hardware en el bucle, del Inglés *Hardware In the loop*.
4. **IBR GFL** : Instalación Basada en Convertidores que opera como un Convertidor Seguidor de Red.
5. **IBR GFM** : Instalación Basada en Convertidores que opera como un Convertidor Formador de Red.
6. **EMT** : transitorios electromagnéticos, del inglés *Electromagnetic Transient*.
7. **NTSyCS** : Norma Técnica de Seguridad y Calidad de Servicio.
8. **OEM** : del fabricante original, del inglés *Original Equipment Manufacturer*.
9. **PLL** : lazo de sincronización de fase, del inglés *Phase Locked Loop*.

Artículo 1-4 Definiciones

Adicionalmente a las definiciones establecidas en el Título 1-2 de la Norma Técnica de Seguridad y Calidad de Servicio, para fines de este Anexo Técnico se establecen las siguientes:

1. **Banda de Establecimiento:** rango dentro del cual la señal de salida del Controlador de Frecuencia/Potencia o Controlador de Tensión de una IBR debe estabilizarse y permanecer dentro de este, luego de una desviación en la señal de entrada.
2. **Banda de Operación Normal:** intervalo de tensiones o frecuencias dentro del cual el Controlador de Tensión o Controlador de Frecuencia/Potencia de una IBR puede operar de forma continua, en cualquiera de sus modos de operación, sin activar los sistemas de protección.
3. **Convertidor(es) Formador(es) de Red:** equipo que utiliza electrónica de potencia, cuyo modo de operación le permite establecer y controlar el fasor de tensión en el Punto de Conexión al SI. Es capaz de operar de manera independiente, incluso en ausencia de otras fuentes de tensión. Su funcionamiento le permite actuar como una fuente de tensión, controlando su propio fasor de tensión interno.
4. **Convertidor(es) Seguidor(es) de Red:** equipo que utiliza electrónica de potencia, cuyo modo de operación se basa en un PLL, siguiendo el fasor de tensión y la frecuencia establecidas en el Punto de Conexión al SI.
5. **Amortiguamiento de Oscilaciones Subsíncronas:** corresponde a la capacidad de una IBR para atenuar las oscilaciones que se presentan a frecuencias inferiores a la nominal del SI.
6. **Cambio(s) de Ángulo de Fase:** corresponde a la diferencia entre el ángulo de fase de la tensión medida en el Punto de Conexión al SI en un semiciclo del sistema eléctrico, respecto del ángulo de fase medido en el semiciclo anterior.
7. **Inercia Sintética:** capacidad de un Convertidor Formador de Red de entregar o reducir potencia activa, de manera instantánea, en respuesta a una perturbación en el SI. Dicha respuesta inicial es automática y no requiere mediciones de frecuencia en el Punto de Conexión al SI.
8. **Inestabilidad del PLL:** fenómeno dinámico que afecta a las IBR GFL, caracterizado por la incapacidad del PLL del convertidor para seguir correctamente el ángulo de fase de la tensión en el Punto de Conexión al SI.
9. **Factor Equivalente de Amortiguamiento (z):** parámetro que mide la capacidad de la instalación para amortiguar oscilaciones y estabilizar el sistema eléctrico ante perturbaciones. Dicho parámetro representa el nivel de amortiguamiento activo que el convertidor puede proporcionar para evitar fluctuaciones excesivas en la frecuencia y el fasor de tensión del SI.
10. **Fuente Interna de Voltaje:** es la componente fundamental de la forma de onda de tensión generada a través de dispositivos electrónicos de potencia. Esta fuente opera de manera sincronizada con el SI bajo condiciones normales de operación.

11. **Potencia por Salto de Fase:** potencia activa o reactiva inyectada o absorbida por un Convertidor Formador de Red en respuesta a Cambios de Ángulo de Fase entre su FIV y el Punto de Conexión al SI.
12. **Potencia de Amortiguamiento:** respuesta controlada de la potencia activa o reactiva de una IBR, ante oscilaciones de la tensión o frecuencia en el Punto de Conexión al SI. En Convertidores Formadores de Red, se logra mediante una respuesta natural del control, en cambio, para los Convertidores Seguidores de Red, se obtiene mediante controles activos externos.
13. **Tiempo de Establecimiento:** intervalo de tiempo que transcurre desde que el Controlador de Frecuencia/Potencia o Controlador de Tensión detecta una desviación en la señal de entrada, hasta que la señal de salida correspondiente ingresa y permanece dentro de la Banda de Establecimiento.
14. **Tiempo de Reacción:** intervalo de tiempo que transcurre entre la ocurrencia de un cambio en la señal de entrada y el instante en que el Controlador de Frecuencia/Potencia o Controlador de Tensión inicia su respuesta mediante un cambio en la señal de salida correspondiente.
15. **Tiempo de Crecimiento:** intervalo de tiempo requerido por el Controlador de Frecuencia/Potencia o Controlador de Tensión, para que, ante un cambio en la señal de entrada, la señal de salida correspondiente aumente del 10% al 90% de su valor final.

Título 2 Obligaciones y funciones

Artículo 2-1 Obligaciones y funciones del Coordinador

Con el objeto de dar cumplimiento a lo establecido en el Anexo, el Coordinador deberá:

- a) Exigir el cumplimiento de las disposiciones del Anexo por parte de los Coordinados, requiriendo para esto los estudios, modelos, ensayos, planos y antecedentes que sean necesarios, en las instancias correspondientes establecidas en la normativa vigente.
- b) Publicar y mantener actualizada la información señalada en el literal precedente. Sin perjuicio de ello, deberá adoptar las medidas necesarias para resguardar la confidencialidad y reserva de aquella información que tenga carácter económica o comercialmente sensible.
- c) Informar a la Superintendencia aquellos incumplimientos de las disposiciones del Anexo.
- d) Dar cumplimiento a las exigencias del Anexo y la NTSyCS, en las materias que corresponda.
- e) Solicitar antecedentes adicionales o realizar auditorías, con el fin de resguardar la veracidad de la información presentada por los Coordinados, y verificar el cumplimiento de las exigencias establecidas en el Anexo.

Artículo 2-2 Obligaciones de los Coordinados

Con el objeto de dar cumplimiento a lo establecido en el Anexo, los Coordinados deberán:

- a) Dar cumplimiento a las exigencias establecidas en el Anexo y en la NTSyCS, según corresponda.
- b) Entregar la información técnica necesaria para el correcto cumplimiento de las funciones del Coordinador, en el ámbito del Anexo.
- c) Actualizar en forma continua toda la información que el Coordinador requiera para cumplir sus funciones.
- d) Ajustar los parámetros técnicos a requerimientos del Coordinador, cuando corresponda.
- e) Cumplir con las demás disposiciones que expresamente se determinan en el Anexo.

Título 3 Exigencias mínimas para IBR GFM

Artículo 3-1 Exigencias generales para IBR GFM

Las IBR GFM deberán cumplir con, al menos, las siguientes exigencias:

- a) Regular la tensión y frecuencia de forma autónoma en el Punto de Conexión al SI, resguardando los límites técnicos de la instalación.
- b) Mantener su FIV predominantemente constante en el Régimen Transitorio. Dicha FIV debe controlarse para mantener el sincronismo con otras instalaciones del SI y también debe regular la potencia activa y reactiva para dar soporte a la red.
- c) Por diseño, la energía debe estar disponible de forma instantánea para el SI, sin que se vea retrasada por algoritmos de control en el lado de corriente continua. Se considera un tiempo de respuesta instantánea aquella con un Tiempo de Reacción menor a 10 milisegundos y un Tiempo de Establecimiento menor a 20 milisegundos.
- d) Por diseño, deberá poseer una capacidad de sobrecorriente de, al menos, 1,3 por unidad de la corriente nominal de la instalación por 5 segundos, sin comprometer la integridad de la instalación.
- e) Responder ante variaciones en los parámetros o eventos del SI de manera equivalente en magnitud y tiempo de respuesta, conforme a los parámetros establecidos en el Anexo. Excepcionalmente, podrá entregar una respuesta no equivalente en los siguientes casos:
 - i. Para proteger la instalación, evitando daños en su operación; y,
 - ii. Cuando la energía disponible para inyección o absorción no sean iguales.
- f) Operar de manera estable conectada a una Red Débil.
- g) Proporcionar corrientes de cortocircuito dentro de los rangos de operación de diseño, conforme al Artículo 3-5 del Anexo.
- h) Proporcionar respuesta inercial conforme al Artículo 3-7 del Anexo.
- i) Gestionar fallas y perturbaciones, en el sentido de brindar soporte al SI durante caídas de tensión u otras condiciones transitorias sin desconectarse, resguardando los límites técnicos de la instalación.

En caso de sobretensiones mayores a 1,1 y menores o iguales a 1,2 por unidad, la IBR GFM deberá operar de manera continua e ininterrumpida durante al menos 1 segundo.

En cuanto a las caídas de tensión, la IBR GFM deberán permanecer conectadas al SI. Para ello, la tensión fase-tierra en el Punto de Conexión al SI de las fases falladas deberá variar dentro de la zona achurada de la Figura 1 (zona de no-desconexión), siempre que las tensiones en las fases

no falladas no sobrepasen las tensiones máximas de servicio. Para estos efectos, la tensión deberá medirse en el lado de mayor tensión del Punto de Conexión al SI.

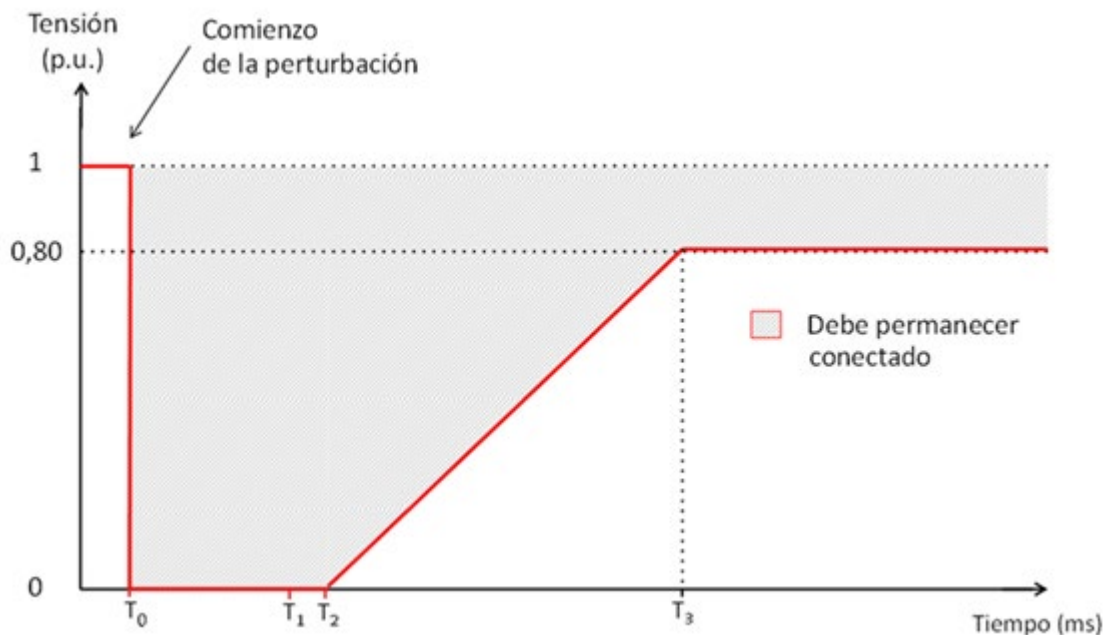


Figura 1: zona de no desconexión para una IBR GFM

Siendo:

T_0 = 0 milisegundos, tiempo de inicio de la falla.

T_1 = tiempo máximo de despeje de falla establecido en el Artículo 5-40 de la NTSyCS, según el nivel de tensión del Punto de Conexión al SI.

T_2 = $T_1 + 20$ milisegundos.

T_3 = 1000 milisegundos.

- j) Proporcionar amortiguamiento a las oscilaciones indeseadas de potencia en el SI, de acuerdo con el Artículo 3-9 del Anexo.
- k) Ante contingencias que provoquen la formación de Islas Eléctricas, la IBR GFM deberá operar de manera independiente, es decir, sin requerir apoyo de otras unidades generadoras sincrónicas u otras IBR GFM. Lo anterior, considerando la disponibilidad del recurso energético.
- l) Proporcionar corriente de secuencia negativa, resguardando los límites técnicos de la instalación.

Artículo 3-2 Controlador de Tensión

Las IBR GFM que operen conectadas al SI deberán disponer de un Controlador de Tensión que distinga entre condiciones de operación normal y condiciones de operación ante fallas.

La instalación deberá activar su operación ante fallas cuando se produzca un descenso de tensión en el Punto de Conexión al SI, que supere el umbral de tensión de operación normal, de acuerdo con el literal I) del Artículo 3-3 del Anexo.

Artículo 3-3 Requerimientos al Controlador de Tensión en operación normal

En estado de operación normal, el Controlador de Tensión deberá cumplir con, al menos, los siguientes requerimientos:

- a) Ser autónomo, permitiéndole mantener la tensión dentro de los límites permitidos correspondientes en el Punto de Conexión al SI, de acuerdo con lo establecido en la NTSyCS, sin requerir el apoyo de otras unidades generadoras sincrónicas u otras IBR GFM.
- b) Estar diseñado para operar en cualquiera de los siguientes modos de control, los cuales son excluyentes entre sí:
 - i. Regulación de tensión o regulación de tensión con Estatismo Permanente;
 - ii. Regulación del factor de potencia a consigna; y,
 - iii. Regulación de potencia reactiva en base a un valor de consigna.
- c) Permitir la conmutación entre los modos de control señalados en la letra b).
- d) El Tiempo de Reacción deberá ser inferior a 200 milisegundos, medido en el Punto de Conexión al SI.
- e) El Tiempo de Crecimiento deberá ser inferior a 1 segundo, medido en el Punto de Conexión al SI. El Coordinador, justificadamente, podrá instruir un tiempo mayor.
- f) El Tiempo de Establecimiento deberá ser menor a 5 segundos, medido en el Punto de Conexión al SI.
- g) La Banda de Establecimiento deberá ser inferior a $\pm 5\%$, medido en el Punto de Conexión al SI.
- h) El porcentaje de la sobreoscilación no deberá exceder un 5%, manteniéndose así dentro de la Banda de Establecimiento. Este porcentaje corresponde a la diferencia entre el valor máximo de salida y el valor final estabilizado, dividida por el cambio real en la salida (desde el valor inicial hasta el final estabilizado).
- i) El Estatismo Permanente será ajustable dentro del rango del 2% al 10%.
- j) Cuando la instalación opere en modo de regulación del factor de potencia, deberá ser capaz de mantener dicho factor dentro de un margen de $\pm 5\%$ de la potencia aparente nominal de la instalación.
- k) Cuando la instalación opere en el modo de control de regulación de potencia reactiva, deberá mantener el valor de consigna dentro de un margen de $\pm 5\%$ de la potencia aparente nominal de la instalación.

- l) Incorporar un umbral de tensión configurable para la activación de la operación ante fallas, cuyo valor por defecto será de $\pm 10\%$ de $\frac{\Delta U}{U_{nom}}$. Cuando la tensión en el Punto de Conexión al SI exceda dichos límites, el sistema de control de tensión en operación normal no deberá intervenir con la actuación del control de inyección rápida de corriente, conforme a lo establecido en el Artículo 3-5 del Anexo.
- m) El funcionamiento del Controlador de Tensión de la instalación estará limitado por la disponibilidad del recurso energético.

Considerando los requisitos anteriores, el Coordinador determinará el ajuste específico que deberán implementar las IBR GFM conforme a sus limitaciones técnicas, en atención a la seguridad y calidad de servicio, y de conformidad con lo establecido en el Artículo 3-5 de la NTSyCS.

Artículo 3-4 Requerimientos del Controlador de Tensión en operación ante fallas

En condiciones de operación ante fallas, el Controlador de Tensión deberá cumplir con, al menos, los siguientes requerimientos:

- a) La inyección de corriente deberá cumplir con las exigencias establecidas en el Artículo 3-5 del Anexo.
- b) La FIV del convertidor deberá mantenerse predominantemente constante en el Régimen Transitorio, sin exceder los límites técnicos de la instalación.
- c) Luego del despeje de la falla, el Controlador de Tensión deberá minimizar el riesgo de sobretensiones transitorias.
- d) Una vez que la tensión medida en el Punto de Conexión al SI regrese a los límites de la Banda de Operación Normal del Controlador de Tensión, el sistema de control de la instalación deberá operar según las disposiciones del artículo precedente. Asimismo, la instalación deberá recuperar el aporte de potencia activa previo a la caída de tensión en un tiempo inferior a 1 segundo.

Artículo 3-5 Control de inyección rápida de corriente

En condiciones de operación ante fallas, las IBR GFM inyectarán corrientes de cortocircuito considerando lo siguiente:

- a) Deberá poseer una respuesta instantánea, de modo que la energía inyectada contribuya a la recuperación de la tensión del SI. La corriente inyectada deberá oponerse a la variación de tensión medida en los terminales del convertidor. Para estos efectos, se considera como respuesta instantánea aquella que posee un Tiempo de Reacción inferior a 10 milisegundos y un Tiempo de Establecimiento inferior a 20 milisegundos.
- b) Sin excepción, toda IBR GFM deberá inyectar una corriente reactiva superior a la que suministraba previo a la contingencia. Asimismo, durante la inyección rápida de corriente

reactiva, la corriente activa deberá mantenerse en su mayor valor posible, siempre que no exceda los estándares de seguridad de la instalación.

- c) Ante fallas asimétricas, la IBR GFM deberá inyectar corrientes asimétricas, incluyendo componentes de secuencia negativa, con el fin de propender a mantener una tensión balanceada en el Punto de Conexión al SI.
- d) La inyección de corriente deberá continuar operando mientras se encuentre en Régimen Transitorio.
- e) La instalación deberá contar con un margen de sobrecorriente reactiva considerando la capacidad señalada en el literal d) del Artículo 3-1 del Anexo.
- f) Las exigencias anteriores deberán considerar, en todo momento, los límites técnicos de la instalación.

Artículo 3-6 Controlador Frecuencia/Potencia

El Controlador de Frecuencia/Potencia de una IBR GFM deberá ser autónomo, permitiéndole operar dentro de los márgenes de frecuencia establecidos en la NTSyCS sin requerir el apoyo de otras máquinas sincrónicas u otras IBR GFM. Asimismo, deberá ser capaz de responder a variaciones de la frecuencia del SEN, medidas en el Punto de Conexión al SI.

El Controlador de Frecuencia/Potencia deberá cumplir con, al menos, los siguientes requisitos:

- a) El Tiempo de Reacción deberá ser inferior a 1 segundo, medido en el Punto de Conexión al SI.
- b) El Tiempo de Crecimiento deberá ser inferior a 4 segundos, medido en el Punto de Conexión al SI.
- c) El Tiempo de Establecimiento deberá ser inferior a 10 segundos, medido en el Punto de Conexión al SI.
- d) La Banda de Establecimiento deberá ser inferior a $\pm 5\%$, medido en el Punto de Conexión al SI.
- e) El Estatismo Permanente del controlador deberá ser ajustable dentro del rango del 2% al 5%.
- f) La banda muerta deberá ser menor o igual a ± 30 [mHz].
- g) El Controlador de Frecuencia/Potencia no deberá intervenir con la respuesta inercial de la instalación a que se refiere el Artículo 3-7 del Anexo.
- h) El funcionamiento del controlador podrá estar limitado por la disponibilidad del recurso energético.

Considerando los requisitos anteriores, el Coordinador determinará el ajuste específico que deberán implementar las IBR GFM conforme a sus limitaciones técnicas, en atención a la seguridad y calidad de servicio, y de conformidad con lo establecido en el Artículo 3-5 de la NTSyCS.

Artículo 3-7 Respuesta inercial

Las IBR GFM deberán proporcionar Inercia Sintética considerando lo siguiente:

- a) En Régimen Transitorio deberá poseer una respuesta instantánea, de modo que la energía inyectada contribuya a reducir la magnitud del RoCoF del SI, considerando la capacidad técnica de la instalación. Para estos efectos, se considera como respuesta instantánea aquella que posee un Tiempo de Reacción inferior a 10 milisegundos y un Tiempo de Establecimiento inferior a 20 milisegundos.
- b) Posterior al Régimen Transitorio, el controlador deberá responder a los ajustes de frecuencia del Controlador de Frecuencia/Potencia de acuerdo con lo señalado en el artículo precedente.
- c) La instalación deberá contar con un margen de sobrecorriente activa considerando la capacidad señalada en el literal d) del Artículo 3-1 del Anexo.

Artículo 3-8 Control activo de salto de fase

Las IBR GFM deberán estar configuradas para aportar Potencia por Salto de Fase. Para tal efecto, deberá cumplir con las siguientes exigencias:

- a) Su respuesta deberá ser instantánea. Se considera un tiempo de respuesta instantánea aquella que posee un Tiempo de Reacción inferior a 10 milisegundos y un Tiempo de Establecimiento inferior a 20 milisegundos
- b) El ángulo máximo de salto de fase deberá permitir una respuesta lineal y controlada, sin activar las funciones de limitación de corriente, considerando un ángulo de referencia cercano a 0 grados, el cual será el punto de operación normal en Régimen Permanente. El ángulo máximo de salto de fase no podrá ser inferior a 30 grados.
- c) En Régimen Transitorio la instalación deberá continuar operando de manera estable con las funciones de limitación de corriente activadas.

A efectos de la aplicación del presente artículo, los Coordinados deberán entregar toda la información técnica relativa a las características técnicas del desempeño del control activo de salto de fase, de acuerdo con lo señalado en el Artículo 7-6 del Anexo.

Artículo 3-9 Control de amortiguamiento de potencia

Las IBR GFM deberán proveer Amortiguamiento de Oscilaciones Subsíncronas a las oscilaciones indeseadas del SEN, resguardando las siguientes características:

- a) Entregar Potencia de Amortiguamiento frente a oscilaciones del SI entre 0,05 [Hz] a 1 [Hz] *peak to peak*.
- b) A fin de contribuir positivamente al amortiguamiento de las oscilaciones en la mayoría de las condiciones de operación, la respuesta de la impedancia de secuencia positiva deberá contar con un ángulo de fase inductivo o capacitivo.

- c) Las características de amortiguamiento deberán ser ajustables mediante software. Estas características deberán determinarse y ajustarse en función del comportamiento dinámico del SI en su Punto de Conexión.
- d) La configuración y parametrización de la instalación no deberá introducir nuevos modos oscilatorios inestables en el SI, ni exacerbar los modos oscilatorios existentes.
- e) El sistema de control deberá ser capaz de proporcionar amortiguamiento a las oscilaciones subsíncronas resultantes de las Interacciones de Control, especialmente en una Red Débil.
- f) Evitar resonancias a frecuencias elevadas producto de capacitancias en derivación o serie, cargas de línea o Interacciones de Control. Se podrán justificar excepciones cuando una resonancia interna de la IBR coincida con una resonancia del SI, priorizando, en estos casos, la protección de los equipos de la instalación sobre la provisión de amortiguamiento.

El amortiguamiento proporcionado por la IBR GFM deberá permitir que este opere dentro de sus capacidades técnicas.

Artículo 3-10 Capacidad de operar en una Isla Eléctrica

La IBR GFM deberá ser capaz de mantener su operación en Isla Eléctrica, cuando corresponda. Para ello, deberá cumplir con las siguientes exigencias:

- a) Operar de manera estable en Isla Eléctrica, sin requerir el apoyo de otras IBR GFM o unidades generadoras sincrónicas.
- b) Operar de manera estable junto con otras IBR GFM o GFL, en ausencia de generación sincrónica.
- c) Operar de manera estable ante fallas o perturbaciones, en la medida que estas no activen los sistemas de protección que desconecten la IBR GFM, y siempre que la Isla Eléctrica cuente con los recursos necesarios para una operación estable en dichas condiciones, que la IBR GFM cuente con suficiente energía almacenada o recurso energético para ello.
- d) Continuar operado cuando el SI deje de contar con unidades generadoras sincrónicas, sin requerir controles externos ni sistemas de comunicación, siempre que el SI cuente con los recursos necesarios para una operación estable.
- e) Continuar operando de manera estable ante la reconexión de unidades de generación sincrónica o al integrarse al SI, ya sea en una Red Débil o Fuerte.

Artículo 3-11 Capacidad de Partida Autónoma

La IBR GFM que cuente con capacidad de Partida Autónoma deberá cumplir con las siguientes exigencias, sujeto a la disponibilidad de recurso energético:

- a) Iniciar su operación, estableciendo una referencia de tensión y frecuencia sin contar con suministro eléctrico externo proveniente del SI.
- b) Alimentar los sistemas auxiliares necesarios para su operación y energizar una parte del SI o Isla Eléctrica.

- c) Suministrar corrientes de entrada adecuadas para la energización de transformadores (*inrush current*), el arranque de motores auxiliares de unidades generadoras sincrónicas, entre otros.
- d) Contar con la capacidad de aumentar la tensión de referencia hasta su valor nominal con una tasa de rampa controlada, evitando corrientes de entrada excesivas que puedan afectar la energización de transformadores y líneas de transmisión.
- e) Proporcionar una referencia de tierra para permitir una ruta de partida en negro.
- f) Proporcionar una referencia de tensión constante que permita la sincronización y restauración progresiva del SI.
- g) Participar en un arranque autónomo colectivo, en aquellos casos en que la instalación está diseñada para operar en paralelo con otras instalaciones que posean Partida Autónoma.

Artículo 3-12 Exigencias a la interconexión de los Sistemas de Almacenamiento de Energía

Todo Sistema de Almacenamiento de Energía o componente de almacenamiento de una CRCA que se interconecten al SEN deberá cumplir con ser una IBR GFM.

A partir de los resultados del Estudio de Análisis de Robustez del SEN, el Coordinador podrá instruir el cambio del modo de operación entre IBR GFM e IBR GFL, según corresponda, estableciendo para ello un plazo de implementación. Dicha modificación se limitará exclusivamente a ajustes de software y adecuaciones en los sistemas de comunicaciones, cuando estas sean necesarias.

Título 4 Exigencias mínimas para IBR GFL

Artículo 4-1 Exigencias Generales para IBR GFL

Las IBR GFL deberán cumplir con, al menos, las siguientes exigencias:

- Operar sincronizados con el SI, sin provocar interacciones indebidas con otros equipos.
- Gestionar fallas o perturbaciones, brindando soporte al SI durante caídas de tensión u otras condiciones transitorias sin desconectarse.

En caso de sobretensiones mayores a 1,1 por unidad y menores o iguales a 1,2 por unidad, la IBR GFL deberá operar de manera continua e ininterrumpida durante al menos 1 segundo.

En cuanto a las caídas de tensión, la IBR GFL deberán permanecer conectadas al SI. Para ello, la tensión fase-tierra en el Punto de Conexión al SI de las fases falladas deberá variar dentro de la zona achurada de la Figura 2 (zona de no-desconexión), siempre que las tensiones en las fases no falladas no sobrepasen las tensiones máximas de servicio. Para estos efectos, la tensión deberá medirse en el lado de mayor tensión del Punto de Conexión.

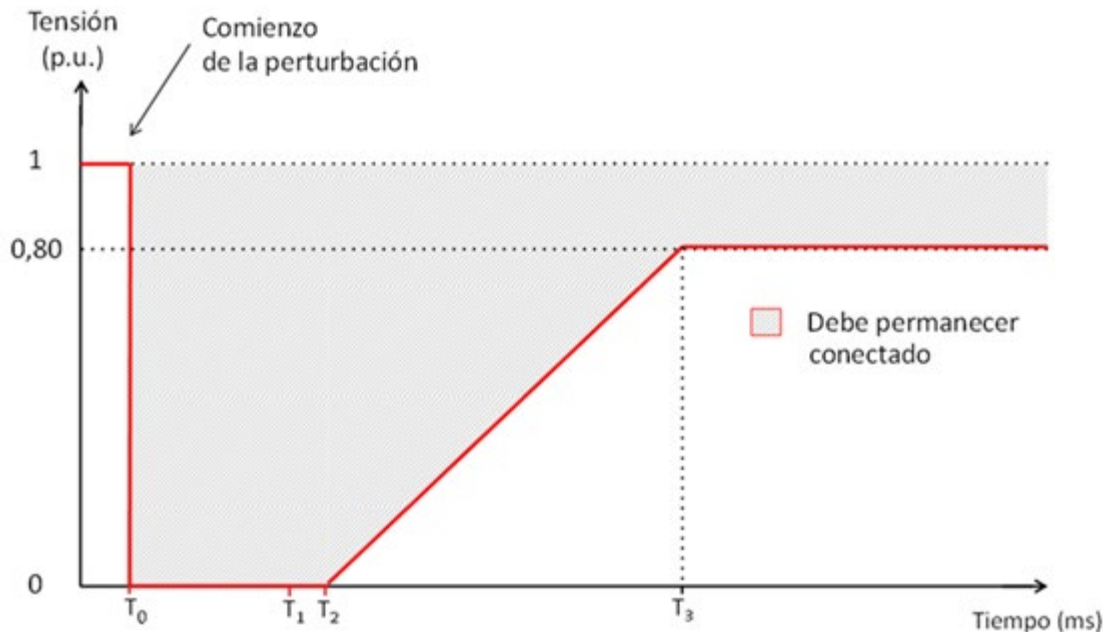


Figura 2: zona de no desconexión para una IBR GFL

Siendo:

T_0 = 0 milisegundos, tiempo de inicio de la falla.

T_1 = tiempo máximo de despeje de falla establecido en el Artículo 5-40 de la NTSyCS, según el nivel de tensión del Punto de Conexión al SI.

$T_2 = T_1 + 20$ milisegundos.

$T_3 = 1000$ milisegundos.

- c) Durante la operación ante fallas, el sistema de control de la instalación deberá tener la capacidad de conmutar entre operación con prioridad de corriente activa y operación con prioridad de corriente reactiva, según corresponda. Por defecto, ante eventos que involucren caídas de tensión que excedan la banda de operación del Controlador de Tensión, la instalación deberá operar conforme el Artículo 4-5 del Anexo.
- d) Ante Cambios de Ángulo de Fase de hasta 25 grados de la secuencia positiva de la tensión en el Punto de Conexión al SI, la instalación deberá continuar operando de forma estable conectada al SEN.

Adicionalmente, la instalación deberá continuar operando de forma estable conectada al SI ante cualquier Cambio de Ángulo de Fase de las fases individuales de la tensión en el Punto de Conexión al SI, esto, siempre que la variación del ángulo de la componente de secuencia positiva no exceda los 25 grados señalados en el inciso anterior.

Artículo 4-2 Controlador de Tensión

Las IBR GFL que operen conectadas al SI deberán disponer de un Controlador de Tensión que distinga entre condiciones de operación normal y condiciones de operación ante fallas.

La instalación deberá activar su operación ante fallas cuando se produzca un descenso de tensión en el Punto de Conexión al SI que supere el umbral de tensión de operación normal, establecido en el literal k) Artículo 4-3 del Anexo.

Artículo 4-3 Requerimientos al Controlador de Tensión en operación normal

En estado de operación normal, el Controlador de Tensión deberá cumplir con, al menos, los siguientes requerimientos:

- a) Estar diseñado para operar en cualquiera de los siguientes modos de control, los cuales son excluyentes entre sí:
 - i. Regulación de tensión o regulación de tensión con Estatismo Permanente;
 - ii. Regulación del factor de potencia a consigna; y,
 - iii. Regulación de potencia reactiva en base a un valor de consigna.
- b) Permitir la conmutación entre los modos de control señalados en la letra a).
- c) El Tiempo de Reacción deberá ser inferior a 200 milisegundos, medido en el Punto de Conexión al SI.
- d) El Tiempo de Crecimiento deberá ser inferior a 1 segundo, medido en el Punto de Conexión al SI. El Coordinador, justificadamente, podrá instruir un tiempo mayor.
- e) El Tiempo de Establecimiento deberá ser menor a 5 segundos, medido en el Punto de Conexión al SI.

- f) La Banda de Establecimiento deberá ser inferior a $\pm 5\%$, medida en el Punto de Conexión al SI.
- g) El porcentaje de la sobreoscilación no debe ser mayor a un 5%, manteniéndose así dentro de la Banda de Establecimiento. Este porcentaje corresponde a la diferencia entre el valor máximo de salida y el valor final estabilizado, dividida por el cambio real en la salida (desde el valor inicial hasta el final estabilizado).
- h) El Estatismo Permanente será ajustable dentro del rango del 2% al 10%.
- i) Cuando la instalación opere en modo de regulación del factor de potencia, deberá ser capaz de mantener el factor de potencia dentro de un margen de $\pm 5\%$ de la potencia aparente nominal de la instalación.
- j) Cuando la instalación opere en el modo de control de regulación de potencia reactiva, deberá mantener el valor de consigna dentro de un margen de $\pm 5\%$ de la potencia aparente nominal de la instalación.
- k) Incorporar un umbral de tensión configurable para la activación de la operación ante fallas, cuyo valor por defecto será de $\pm 10\%$ de $\frac{\Delta U}{U_{nom}}$. Cuando la tensión en el Punto de Conexión al SI exceda dichos límites, el sistema de control de tensión en operación normal no deberá intervenir con la operación del controlador ante fallas, conforme a lo establecido en el Artículo 4-5 del Anexo.
- l) El funcionamiento del Controlador de Tensión de la instalación estará limitado por la disponibilidad del recurso energético.

Considerando los requisitos anteriores, el Coordinador determinará el ajuste específico que deberán implementar las IBR GFM conforme a sus limitaciones técnicas, en atención a la seguridad y calidad de servicio, y de conformidad con lo establecido en el Artículo 3-5 de la NTSyCS.

Artículo 4-4 Requerimientos del Controlador de Tensión en operación ante fallas

En condiciones de operación ante fallas, el Controlador de Tensión deberá cumplir con, al menos, los siguientes requerimientos:

- e) La operación ante fallas deberá activarse automáticamente dentro de un tiempo no superior a 30 milisegundos desde la detección de la condición de baja tensión, hasta el inicio de inyección de corriente de acuerdo con el Artículo 4-5 del Anexo.
- f) El Tiempo de Establecimiento deberá ser inferior a 80 milisegundos, medido en el Punto de Conexión al SI.
- g) La Banda de Establecimiento deberá ser inferior a $\pm 10\%$, medida en el Punto de Conexión al SI.
- h) La inyección de corriente deberá cumplir con las exigencias establecidas en el Artículo 4-5 del Anexo.
- i) Cuando la tensión medida en el Punto de Conexión al SI regrese dentro de los límites de la Banda de Operación Normal del Controlador de Tensión, el sistema de control de la instalación deberá activar la operación en condición normal, de acuerdo con el Artículo 4-3 del Anexo.

Considerando los requisitos anteriores, el Coordinador determinará el ajuste específico que deberán implementar las IBR GFM conforme a sus limitaciones técnicas, en atención a la seguridad y calidad de servicio, y de conformidad con lo establecido en el Artículo 3-5 de la NTSyCS.

Artículo 4-5 Operación de la IBR GFL ante fallas

En condiciones de operación ante fallas, la instalación deberá priorizar la inyección de corriente reactiva. En dicho modo, la instalación deberá suministrar corriente reactiva adicional (ΔI_r) equivalente al 2% de la corriente nominal (I_{nom}) por cada 1% de $\Delta U/U_{nom}$ en el Punto de Conexión.

$$\frac{\Delta I_r}{I_{nom}} = 2 \frac{\Delta U}{U_{nom}}$$

Donde se tiene que:

- $\Delta I_r = I_r - I_{r0}$
- $\Delta U = U - U_0$
- Con I_{r0} y U_0 la corriente reactiva y tensión antes de la falla, respectivamente.

La IBR GFL que se encuentre en condiciones de operación ante falla, deberá inyectar una corriente aparente de secuencia positiva de hasta el 100% de la I_{nom} . Esta acción del sistema de control de la instalación deberá mantenerse hasta que la tensión, medida en el lado de mayor tensión del Punto de Conexión, retorne dentro de los límites definidos por la Banda de Operación Normal de su Controlador de Tensión.

A partir del instante en que se despeje la falla o finalice el evento que produjo la caída de tensión en el Punto de Conexión, y dicha tensión retorne dentro de Banda de Operación Normal del Controlador de Tensión, la IBR GFL deberá reestablecer su inyección de potencia activa al valor previo al evento, en el menor tiempo posible. Para ello, deberá encontrarse dentro de la Banda de Establecimiento de $\pm 10\%$ de la misma en un tiempo no mayor a 1 segundo, considerando la disponibilidad del recurso energético. Lo anterior, con la finalidad de asegurar que el Controlador de Frecuencia/Potencia permanezca operativo y cumpla con los requisitos de desempeño establecidos en el Artículo 4-7 del Anexo, una vez finalizada la acción del sistema de control asociado al evento.

Sin perjuicio de lo anterior, el Coordinador podrá disponer un cambio de prioridad de inyección de corriente ante falla, de acuerdo con lo señalado en el siguiente Artículo 4-6 del Anexo.

Artículo 4-6 Cambio de prioridad de inyección de corriente ante fallas

El Coordinador podrá instruir justificadamente a una IBR GFL que, en condiciones de operación ante fallas de acuerdo con lo dispuesto en el Artículo 4-5 del Anexo, priorice la inyección de corriente activa por sobre la inyección de corriente reactiva o viceversa, de acuerdo con los resultados del Estudio de Análisis de Robustez del SEN vigente. Dicha prioridad se establecerá mediante un ajuste de parámetros del controlador y no como una acción durante el transcurso de una falla.

El Coordinador deberá comunicar la instrucción de cambio de prioridad a los Coordinados que correspondan, indicando expresamente las instalaciones involucradas, la fecha de inicio de la instrucción y las condiciones bajo las cuales se aplicará. El Coordinado deberá ejecutar la instrucción dentro del plazo que defina el Coordinador, el cual no podrá ser inferior a 30 días corridos.

Artículo 4-7 Controlador de Frecuencia/Potencia

Las IBR GFL que operen conectadas al SI deberán disponer de un Controlador de Frecuencia/Potencia, el cual deberá cumplir con, al menos, los siguientes requisitos mínimos:

- a) El Tiempo de Reacción deberá ser inferior a 1 segundo, medido en el Punto de Conexión al SI. El Coordinador podrá aceptar retardos superiores sólo en caso de que el Coordinado proporcione evidencias técnicas que lo justifiquen.
- b) El Tiempo de Crecimiento deberá ser inferior a 4 segundos, medido en el Punto de Conexión al SI.
- c) El Tiempo de Establecimiento deberá ser inferior a 10 segundos, medido en el Punto de Conexión al SI.
- d) La Banda de Establecimiento deberá ser inferior a $\pm 10\%$, medida en el Punto de Conexión al SI.
- e) El Estatismo Permanente deberá ser ajustable dentro del rango del 2% al 5%.
- f) La banda muerta deberá ser menor o igual a ± 30 [mHz].
- g) El funcionamiento del Controlador de Frecuencia/Potencia de las instalaciones estará limitado por la disponibilidad del recurso energético.

Las IBR GFL deberán contar también con funciones de control que aseguren que la tasa de toma de carga no supere un valor ajustable entre 0 a 20% de la potencia nominal de la instalación por minuto, en su arranque y durante su operación normal.

Considerando los requisitos anteriores, el Coordinador determinará el ajuste específico que deberán implementar las IBR GFL conforme a sus limitaciones técnicas, en atención a la seguridad y calidad de servicio, y de conformidad con lo establecido en el Artículo 3-5 de la NTSyCS.

Artículo 4-8 Requisitos para la interconexión al SI

Las IBR GFL deberán verificar que la relación de cortocircuito (SCR del inglés *Short Circuit Ratio*) en la barra o Punto de Conexión al SI sea mayor o igual que 3 ($SCR \geq 3$), y que la relación de cortocircuito equivalente (ESCR del inglés *Equivalent Short Circuit Ratio*) sea mayor o igual a 1,5 ($ESCR \geq 1,5$), considerando los valores vigentes para su cálculo a la fecha de obtención de la declaración en construcción.

El SCR de la barra i o Punto de Conexión al SI, se deberá calcular de acuerdo con:

$$SCR_i = \frac{SCL_i}{P_{IBR\ GFL}}$$

Donde,

SCR_i : relación de cortocircuito en la barra i o Punto de Conexión al SI. Este índice relaciona la potencia aparente de cortocircuito (SCL_i) y la potencia nominal de la IBR GFL a conectar ($P_{IBR\ GFL}$).

SCL_i : nivel de cortocircuito en la barra i o Punto de Conexión al SI, en MVA, de acuerdo con los resultados del Estudio de Análisis de Robustez del SEN vigente.

$P_{IBR\ GFL}$: Potencia activa nominal, en MW, de la IBR GFL a conectar en la barra i o Punto de Conexión al SI.

A su vez, el ESCR de la barra i o Punto de Conexión al SI, se deberá calcular de acuerdo con:

$$ESCR_i = \frac{SCL_i}{P_{IBR\ GFL} + K_i}$$

Donde,

$ESCR_i$: relación de cortocircuito equivalente de la barra i o Punto de Conexión al SI. Este índice relaciona la potencia aparente de cortocircuito (SCL_i) con la potencia nominal de la IBR GFL a conectar ($P_{IBR\ GFL}$) más el factor agregado de interacción IBR (K_i).

SCL_i : nivel de cortocircuito en la barra i o Punto de Conexión al SI, en MVA, de acuerdo con los resultados del Estudio de Análisis de Robustez del SEN vigente.

$P_{IBR\ GFL}$: potencia activa nominal, en MW, de la IBR GFL a conectar en la barra i o Punto de Conexión al SI.

K_i : es el factor agregado de interacción IBR en la barra i o Punto de Conexión al SI, en MW, de acuerdo con los resultados del Estudio de Análisis de Robustez del SEN vigente. Que se deberá calcular de acuerdo con:

$$K_i = \sum_j^n (IF_{ji} \times P_j)$$

Donde,

IF_{ji} : factor de interacción entre las barras i y j :

$$IF_{ji} = \frac{\Delta U_j}{\Delta U_i}$$

P_j : es la potencia activa neta despachada de las IBR GFL, de acuerdo con los escenarios del Estudio de Análisis de Robustez del SEN, conectadas en la barra j y n es la cantidad de barras en el SEN, considerando la barra i .

En caso de que la barra o Punto de Conexión al SI no se encuentre en los resultados del Estudio de Análisis de Robustez del SEN vigente, los valores de SCL y K corresponderán a los de la barra más cercana considerando la mínima distancia eléctrica.

Título 5 Modelos y pruebas

Artículo 5-1 Requisitos generales para modelos EMT

Los propietarios, arrendatarios, usufructuarios o quienes operen, a cualquier título, las instalaciones indicadas en el Artículo 1-2 del Anexo, deberán presentar al Coordinador, previo a la Entrada en Operación, modelos EMT que permitan realizar simulaciones y análisis de transitorios electromagnéticos, los cuales deberán ser validados por el Coordinador.

En caso de modificación relevante de la IBR que afecte su operación, deberá ser informada al Coordinador e incorporada en los modelos EMT, de acuerdo con el Anexo Técnico “Requisitos Técnicos Mínimos de Instalaciones que se Interconectan al SI” de la NTSyCS.

Estos modelos EMT deberán cumplir los siguientes requisitos generales:

- a) Deben ser modelos OEM que permitan realizar simulaciones precisas de las respuestas de la instalación en su conjunto ante eventos. Estos modelos deben reflejar las características técnicas propias de su diseño como, por ejemplo, componentes específicos, configuraciones, controles, protecciones, entre otros.
- b) Representar con precisión la IBR, incluyendo todos los controles y protecciones relevantes, tanto de software como de hardware.
- c) Permitir un análisis preciso de transitorios electromagnéticos de la interacción entre la instalación y el SI.
- d) El modelo deberá ser compatible y ejecutable en el software de simulación especializado en análisis de transitorios electromagnéticos en sistemas eléctricos de potencia. Dicho software deberá ser definido por el Coordinador justificadamente, considerando para ello criterios no arbitrarios.

Adicionalmente, se deberá entregar junto al modelo EMT, los siguientes antecedentes:

- e) Guía de usuario elaborada por el proveedor o fabricante de los equipos. Esta guía debe describir las particularidades de los modelos, funcionalidades, modos de operación, parámetros de entrada, parámetros de salida, entre otros.
- f) Modelo con sus ajustes basados en el firmware de la planta misma en operación, en formato DLL o código fuente, junto con los archivos de configuración necesarios que permitan representar íntegramente la instalación.
- g) Informe de validación del modelo de acuerdo con lo señalado en el Artículo 5-4 del Anexo.

Artículo 5-2 Requisitos específicos de modelos EMT

Los modelos EMT deberán cumplir con los siguientes requisitos específicos:

- a) Representar con exactitud la respuesta de la IBR a eventos en el SI, tales como: fallas, perturbaciones en la frecuencia del SI, conexión o desconexión de líneas de transmisión, entre otros, incluyendo el modelo los siguientes elementos:
- i. Controles a nivel de la instalación y los bucles de control internos del convertidor;
 - ii. Módulos de medición y filtrado de la señal de entrada, basados en algoritmos y filtros reales de procesamiento de señales, asegurando que los retardos de comunicación y el procesamiento de señales estén adecuadamente representados; y,
 - iii. Modelación de los interruptores electrónicos de potencia, que podrá realizarse, entre otros, mediante modelos de conmutación detallados o modelos de representación mediante fuente de tensión o corriente controladas. En caso de utilizar esta representación, se deberá verificar que las funciones de control y protección no estén simplificadas, asegurando un adecuado análisis de respuesta dinámica.
- Los modelos antes mencionados podrán representarse sin dar a conocer su estructura interna, manteniendo el acceso a las señales de entrada y salida correspondientes.
- b) Incorporar todas las funciones de control y protección a nivel de planta y convertidor, incluyendo:
- i. Ajustes en los sistemas de protección de la instalación;
 - ii. Configuración de tolerancia a descensos de tensión, especificando las condiciones de activación y desactivación del Controlador de Tensión; y,
 - iii. Ajustes de inyección y absorción de corriente activa y reactiva en condiciones de operación ante fallas.
- c) Incorporar los sistemas críticos que afectan la estabilidad, respuesta y tolerancia de la instalación frente a perturbaciones, tales como:
- i. PLL;
 - ii. Chopper del enlace de corriente continua;
 - iii. Protección y control del enlace de corriente continua; y,
 - iv. Funciones de limitación de corriente del convertidor.
- d) Incluir detalles de componentes mecánicas tales como, características de las turbinas eólicas, así como detalles de componentes eléctricas como, por ejemplo, los señalados en el Artículo 5-3 del Anexo.
- e) Proporcionar acceso a los parámetros de entrada disponibles para el usuario final, incluyendo:
- i. Selección del modo de operación tales como, control de tensión, control de potencia reactiva, control de factor de potencia, entre otros;

- ii. Ajustes configurables por el usuario tales como la potencia de la planta, tensión de referencia, respuesta rápida de frecuencia, ajuste de rampas y bandas muertas, entre otros; y,
 - iii. Opciones de controles configurables, tales como amortiguamiento, inyección de corriente reactiva o activa en condiciones de operación ante falla, entre otras.
- f) Dar acceso a señales internas necesarias para la interpretación del comportamiento del modelo y la realización de estudios eléctricos, como señales de disparo de los sistemas de protección y alarmas. Las descripciones de las señales internas deberán estar contenidas en la guía de usuarios señalada en el literal e) del Artículo 5-1 del Anexo.
- g) El proveedor o fabricante del convertidor deberá especificar si el modelo EMT suministrado es adecuado para estudios de impacto armónico. En caso contrario, deberá proporcionar un modelo adecuado para dichos estudios. Para estos efectos, el Coordinador deberá definir explícitamente, de forma previa, los requerimientos que deberá cumplir el modelo para la evaluación de armónicos.
- h) Permitir visualizar los parámetros técnicos señalados en Artículo 5-3 del Anexo, según corresponda.

El Coordinador podrá solicitar requisitos adicionales en los modelos, justificadamente, con el fin de validar el comportamiento de los controladores exigidos en el Anexo.

Artículo 5-3 Parámetros técnicos de modelos EMT de las IBR GFM

Los modelos EMT de las IBR GFM deberán permitir la visualización de, al menos, los siguientes parámetros:

- a) Reactancia primaria del Convertidor Formador de Red, es decir la reactancia entre la FIV y los terminales del referido convertidor.
- b) Reactancia adicional entre el terminal del Convertidor Formador de Red y el Punto de Conexión al SI.
- c) El ángulo entre la FIV y los terminales de entrada del Convertidor Formador de Red deberá permitir la visualización en grados.
- d) El ángulo entre la FIV y el Punto de Conexión al SI deberá permitir la visualización de grados.
- e) La tensión de la FIV deberá visualizarse por unidad de la tensión nominal del Convertidor Formador de Red.
- f) El ángulo de la FIV deberá visualizarse por grados.
- g) El ángulo eléctrico entre la corriente y tensión en la entrada del transformador de potencia del SI deberá visualizarse en grados.

El Coordinador podrá solicitar la visualización de parámetros adicionales en los modelos antes mencionados, justificadamente, con el fin de validar el comportamiento de la IBR GFM.

Artículo 5-4 Informes de validación de modelos EMT

Los modelos EMT deberán ser validados por los fabricantes. Para ello, podrán utilizar alguno de los siguientes métodos de validación:

- a) Informes de pruebas de fábrica sobre el desempeño del convertidor ante eventos del SI.
- b) Pruebas de validación HIL.
- c) Mediciones de campo del equipo instalado tras una falla en el SI.
- d) Mediante pruebas de laboratorio del equipo.
- e) Mapeo de la versión del firmware real del convertidor, a nivel de instalación, con la versión del modelo EMT.

El Coordinador, justificadamente, podrá definir otro método o conjunto de pruebas de validación de los modelos EMT.

Artículo 5-5 Desempeño de la IBR GFM

El modelo EMT deberá permitir la verificación del desempeño de, al menos, las siguientes componentes de una IBR GFM:

- a) Controlador de Tensión.
- b) Controlador de inyección rápida de corriente.
- c) Controlador de Frecuencia/Potencia.
- d) Respuesta inercial.
- e) Control activo de salto de fase.

La verificación del desempeño deberá evaluarse en el Punto de Conexión al SI, considerando una Red Débil.

Artículo 5-6 Desempeño de la IBR GFL

El modelo EMT deberá permitir la verificación del desempeño de, al menos, las siguientes componentes de una IBR GFL:

- a) Controlador de Tensión tanto en condiciones de operación normal como ante fallas.
- b) Controlador de Frecuencia/Potencia.

La verificación del desempeño deberá evaluarse en el Punto de Conexión al SI.

Artículo 5-7 Validación del desempeño de los modelos EMT

El Coordinador previo a la Entrada en Operación de la instalación deberá validar el desempeño de los modelos EMT, de acuerdo con lo señalado en el Artículo 5-5 y Artículo 5-6 del Anexo, según

corresponda. Para ello, el Coordinador deberá definir un set de pruebas que asegure el cumplimiento de los requerimientos establecidos en el Anexo.

Adicionalmente, el Coordinador deberá validar los modelos EMT, en los siguientes aspectos en el caso de las IBR GFM:

- a) La transición estable entre su Controlador de Tensión en operación normal y ante falla considerando el inicio de la falla y su despeje.
- b) La transición estable entre el Controlador de Frecuencia/Potencia y la respuesta inercial de la instalación.
- c) La estabilidad operativa ante saltos de fase de hasta 60 grados, determinando el límite máximo tolerado.
- d) Capacidad de operar en una Isla Eléctrica y demostrar estabilidad en su operación.
- e) Capacidad de proporcionar Partida Autónoma, si corresponde.

Título 6 Monitoreo y actualización de parámetros

Artículo 6-1 Señales adicionales de monitoreo

Las IBR GFM deberán estar equipadas con sistemas de registro capaces de medir los siguientes parámetros:

- a) RoCoF conforme al Artículo 3-11 de la NTSyCS.
- b) Registro del ángulo de salto de fase de la red, mediante un método que registre el período de cada medio ciclo con una resolución de 10 microsegundos.

Artículo 6-2 Actualización de parámetros de control

Las IBR deberán contar con la capacidad de ajustar sus parámetros de control a través de software, en función de las condiciones del SI o de nuevos requerimientos normativos.

Deben ser ajustables en, al menos, los siguientes parámetros:

- a) Estatismo Permanente del Controlador Frecuencia/Potencia y el Controlador de Tensión.
- b) Tiempos de Respuesta.
- c) Ajustes de banda muerta.

Cualquier modificación en los parámetros de control deberá contar con la autorización del Coordinador previo a su implementación y estar en concordancia con las características técnicas de la instalación.

Título 7 Disposiciones Transitorias

Artículo 7-1 Entrada en vigencia del Anexo

Las disposiciones del Anexo entrarán en vigencia a contar de la publicación, en el Diario Oficial, de la resolución exenta que lo aprueba.

No obstante, las exigencias relativas a las IBR GFM, establecidas en los Títulos 3, 5, y 6 del Anexo, no serán aplicables a las instalaciones cuya Entrada en Operación ocurra dentro de los seis meses siguientes a la referida publicación, de acuerdo con lo establecido en la letra e) del artículo 6 del Decreto N°316, del 07 de Julio de 2023, del Ministerio de Relaciones Exteriores. Asimismo, no les serán aplicables dichas disposiciones a aquellas instalaciones declaradas en construcción por la Comisión con anterioridad a la fecha de publicación en el Diario Oficial, sin perjuicio de lo señalado en el Artículo 7-2 del Anexo.

Artículo 7-2 Exención de aplicación del Título 3 del Anexo

Los Sistemas de Almacenamiento de Energía y la componente de almacenamiento de las Centrales Renovables con Capacidad de Almacenamiento que hayan sido declarados en construcción con anterioridad a la fecha de la publicación de la resolución que aprueba el Anexo, y cuya Entrada en Operación ocurra transcurridos seis meses desde dicha publicación en el Diario Oficial, deberán dar cumplimiento a lo establecido en el Título 3 del Anexo.

No obstante, los titulares de dichos proyectos podrán solicitar justificadamente a la Comisión la exención de la aplicación del referido Título 3, dentro de un plazo máximo de cinco meses contados desde la publicación de la resolución que aprueba el Anexo. Para tal efecto, el interesado deberá presentar un estudio técnico que fundamente y justifique la imposibilidad de dar cumplimiento a las exigencias establecidas en dicho Título.

Se considerarán como casos debidamente justificados, entre otros, aquellos en que el cumplimiento de las exigencias del Título 3 requiera de ampliaciones o modificaciones que impliquen adecuaciones relevantes al diseño original del proyecto. La Comisión se pronunciará respecto de la solicitud mediante resolución exenta, pudiendo eximir total o parcialmente al proyecto respectivo del cumplimiento de las exigencias del referido Título 3. Para dicho pronunciamiento, la Comisión podrá solicitar antecedentes adicionales al Coordinador.

Artículo 7-3 Aplicación de requisitos para la interconexión de IBR GFL

Las disposiciones establecidas en el Artículo 4-8 del Anexo no serán aplicables a las IBR GFL que hubieren obtenido la declaración en construcción al momento de la publicación de la resolución que aprueba el Anexo en el Diario Oficial.

Artículo 7-4 Entrega de modelos EMT de las instalaciones interconectadas al SI

Las IBR interconectadas al SI deberán presentar al Coordinador los modelos EMT a los que hace referencia el Artículo 5-1 del Anexo. Para ello, el Coordinador, en un plazo no mayor a tres meses contado desde la publicación de la resolución que aprueba el Anexo en el Diario Oficial, deberá definir un cronograma para la entrega de estos modelos. La asignación de fechas deberá considerar, entre otros, criterios de seguridad e impacto en la operación del SI. El cronograma no podrá extenderse por más de un año desde su emisión.

Asimismo, el Coordinador deberá validar los modelos en un plazo no mayor a cuarenta y cinco días hábiles, contados desde la recepción de estos.

Para las instalaciones existentes que no dispongan de modelos EMT tipo OEM, se podrán entregar modelos genéricos debidamente validados por un especialista, conforme a los métodos indicados en el Artículo 5-4 del Anexo.

Artículo 7-5 Exigencias para las IBR GFL existentes

Para dar cumplimiento a las exigencias indicadas en el Artículo 3-9 de la NTSyCS y en el Artículo 4-1, el Artículo 4-2, el Artículo 4-3, el Artículo 4-4, el Artículo 4-7 y el Artículo 6-2 todos del Anexo, los titulares de las IBR GFL conectadas al SEN, así como aquellas con declaración en construcción a la fecha de publicación de la resolución que aprueba el Anexo, deberán presentar al Coordinador, en un plazo no superior a nueve meses, un plan de adecuaciones que les permita cumplir con las exigencias anteriormente referidas.

Dicho plan deberá detallar las modificaciones de software o hardware de los sistemas de control vinculados a los convertidores, incluyendo una descripción de las obras, plazos de ejecución, cronograma de actividades que contemple la coordinación con el Coordinador, entre otros aspectos. Asimismo, los titulares de los Sistemas de Almacenamiento de Energía o la componente de almacenamiento de una Central Renovable con Capacidad de Almacenamiento deberán informar al Coordinador, en el mismo plazo, la factibilidad de actualizar sus sistemas para operar como una IBR GFM.

El Coordinador, dentro de los seis meses siguientes al vencimiento del plazo de nueve meses señalado en el inciso anterior, elaborará y publicará en su sitio web un cronograma de adecuaciones, definiendo los plazos máximos de ejecución de dichas adecuaciones en función de criterios de seguridad y de la factibilidad técnica de las mismas. Con todo, el plazo máximo de ejecución de las adecuaciones no deberá sobrepasar los veinticuatro meses desde la publicación del cronograma. Excepcionalmente, el Coordinador podrá ampliar el plazo máximo para aquellas instalaciones que no tengan un mayor impacto en la operación.

En el caso de las instalaciones técnicamente imposibilitadas de cumplir con los requisitos antes señalados, los titulares tendrán la obligación de notificar esta situación al Coordinador en un plazo máximo de nueve meses a partir de la publicación de la resolución que aprueba el Anexo en el Diario Oficial, justificando la referida imposibilidad a través de un informe técnico.

El Coordinador, en un plazo máximo de nueve meses, deberá analizar las razones técnicas expuestas en el informe técnico y comunicar a la Comisión el análisis realizado. La Comisión deberá emitir una resolución pronunciándose con un listado de instalaciones técnicamente imposibilitadas de cumplir con una o más de las disposiciones establecidas en el Anexo. En el caso de que la Comisión rechace la imposibilidad técnica, la instalación deberá ser incorporada por el Coordinador al cronograma de modificaciones mencionado en el inciso tercero anterior.

Artículo 7-6 Requisitos de Información adicional para una IBR GFM

Mientras el Anexo Técnico “Información Técnica de Instalaciones y Equipamiento” de la NTSyCS no incorpore expresamente los antecedentes técnicos exigibles a las IBR GFM, los propietarios, arrendatarios, usufructuarios o quienes operen, a cualquier título, las instalaciones indicadas en el Título 3, deberán proporcionar al Coordinador, previo a su entrada en operación, al menos, la siguiente información:

- a) Diagrama de impedancia en función de la frecuencia.
- b) Diagrama de Nichols.
- c) Esquema de arquitectura y su diagrama de bloques en Laplace.
- d) Documentación técnica asociada al modelo EMT.
- e) El tipo de IBR GFM (UGBC, SAE, compensación dinámica reactiva, CRCA, entre otros).
- f) Límite de salto de fase en Estado Normal, en grados.
- g) Límite de salto de fase durante contingencias, en grados.
- h) Potencia por Salto de Fase, para una variación de ángulo igual a 10 grados, en [MW].
- i) Potencia de Amortiguamiento Activa para una variación u oscilación de frecuencia del sistema entre 0,05 [Hz] y 1 [Hz].
- j) Constante de inercia H , determinado mediante:

$$H = \frac{MWs \text{ Instalados}}{MVA \text{ Nominales instalados}}$$

Donde,

H : constante de inercia, en [MWs/MVA].

MWs Instalados: capacidad de respuesta inercial de la instalación, en [MWs].

MVA Nominales instalados: capacidad total de la IBR, en [MVA].

- k) Constante de inercia efectiva He , determinado mediante:

$$He = \frac{Respuesta \text{ RoCoF} * f}{2 * S}$$

Donde,

He: constante de inercia efectiva en [MWs/MVA].

Respuesta RoCoF: potencia entregada o absorbida en respuesta a la Tasa de Cambio de Frecuencia de la instalación igual a 2, en [Hz/s].

f: frecuencia del SEN, en [Hz].

S: capacidad nominal de la instalación, en [MVA].

Sin perjuicio de lo anterior, el Coordinador deberá especificar la metodología de cálculo en el Estudio de Análisis de Robustez del SEN vigente.

- l) Capacidad de sobrecorriente de la instalación, en por unidad.
- m) Peak de corriente nominal, en por unidad.
- n) Tensión nominal en el Punto de Conexión, en [kV].
- o) Máxima tensión de la FIV del convertidor para la peor condición, en por unidad (por ejemplo, en el punto de conexión, máxima inyección de potencia reactiva con la tensión en el umbral superior de acuerdo con el artículo 5-19 de la NTSyCS).
- p) Máximo aporte de cortocircuito trifásico al Punto de Conexión al SI, en [kA].
- q) Máximo aporte de cortocircuito monofásico al Punto de Conexión al SI, en [kA].
- r) Máximo aporte de corriente de secuencia negativa, en [kA].
- s) Factor Equivalente de Amortiguamiento (*z*).