

Requisitos de protecciones para la conexión de sistemas de generación en el Sistema Interconectado Nacional (SIN) colombiano

Revisión	Fecha	Descripción
0	2018-06-06	Este documento incluye la primera propuesta de requisitos de protecciones para la conexión de sistemas de generación (menor a 5 MW) en el SIN colombiano.
1	2019-09-25	Este documento incluye una propuesta unificada de requisitos de protecciones para la conexión de sistemas de generación en el SIN colombiano enviado a la CREG para comentarios.
2	2019-12-04	Este documento incluye una propuesta unificada de requisitos de protecciones para la conexión de sistemas de generación en el SIN colombiano, incluyendo los comentarios atendidos de la CREG y algunas modificaciones por discusiones técnicas adicionales.
3	2020-05-28	Este documento incluye los requisitos de protecciones para sistemas de generación que compartan activos de conexión, según lo indicado en la resolución CREG 200 de 2019. Además, se incluyen otras consideraciones y/o aclaraciones.

Subcomité de Protecciones

Comité de Operación

CONTENIDO

1. Alcance.....	3
2. Definiciones.....	3
3. Regulación aplicable:	4
4. Consideraciones:.....	5
5. Sistemas de protección para proyectos de generación conectados a los niveles de tensión 4 o superior.....	6
5.1 Funciones de protección mínimas en el PC o en la unidad de generación (UG).....	7
5.2 Sistema de interrupción	9
5.3 Sistema de puesta a tierra	9
5.4 Servicios Auxiliares.....	10
6. Sistemas de protección para proyectos de generación conectados a los niveles de tensión 1, 2 y 3 o SDL.....	10
6.1 Funciones de protección mínimas en PC o UG para sistemas de generación síncronos y de inducción.....	11
6.2 Funciones de protección mínimas en PC o UG para sistemas de generación basados en inversores y frecuencia variable.	12
6.3 Sistema de interrupción	14
6.4 Sistema de puesta a tierra:	16
6.5 Servicios Auxiliares.....	17
6.6 Ajustes requeridos para las funciones de protección sistémicas para generadores conectados a los niveles de tensión 1, 2 y 3.	17
7. Equipos de registro de eventos:.....	18
8. Referencias.....	18

Requisitos de protecciones para la conexión de sistemas de generación

Los requisitos descritos en el presente documento están enfocados a cubrir los requerimientos de protecciones desde el punto de vista sistémico; el objetivo es asegurar que el sistema de potencia opere dentro de los rangos operativos establecidos en la regulación vigente y así, evitar riesgos en la operación del Sistema Interconectado Nacional.

1. Alcance

El presente documento contiene requisitos técnicos de los sistemas de protección, desde el punto de vista sistémico, requeridos para la conexión de un sistema de generación al SIN. El documento no cubre los requerimientos de protecciones para detectar fallas al interior un sistema de generación. Es responsabilidad del promotor del proyecto de generación garantizar que todos los equipos de su instalación se encuentren correctamente protegidos, para satisfacer los requerimientos de calidad, confiabilidad y seguridad en la operación del SIN. Acorde a lo anterior, todo proyecto de generación debe disponer de un esquema de protección para detectar fallas internas al sistema de generación y externas en la red de alimentación.

Este documento contiene los requisitos de protecciones para sistemas de generación conectados a nivel de tensión 4 o superior de cualquier capacidad y tecnología. Para sistemas de generación conectados a los niveles de tensión 1, 2 y 3, los requisitos se definen por tecnología y capacidad. La diferenciación de requisitos por capacidad en los niveles 1, 2 y 3 cubren el encargo regulatorio de la Resolución CREG 030 de 2018, en la cual, se regulan las actividades de autogeneración a pequeña escala y de generación distribuida en el SIN.

Este documento también contiene lineamientos de protecciones para sistemas de generación que compartan activos de conexión.

2. Definiciones

Bahía de generación: Conjunto de equipos de potencia que se utilizan para conectar un sistema de generación a la barra de una subestación.

Promotor: Persona natural o jurídica que desarrolla un proyecto de generación o autogeneración conectado al SIN.

Protección Anti-isla^{1 2}: Es un esquema de protección que detecta y desconecta, en un periodo corto de tiempo, un sistema de generación cuando se presenta apertura del equipo de corte del alimentador principal o se detecta la operación de una isla no intencional en SIN.

Punto de conexión (PC): Para sistemas de generación o autogeneración es el definido en la resolución CREG 038 del 2014, o aquella que la sustituya o modifique.

Frontera compartida (FC): Para sistemas de generación es el definido en la resolución CREG 200 del 2019, o aquella que la sustituya o modifique³.

Sistema de generación: Conjunto de generadores y equipos asociados que se instalan con el propósito de producir energía eléctrica. Para el caso de sistemas de generación que compartan activos de conexión, se hace referencia a cada sistema de generación o planta individual que se conecta a la FC.

Sistema de generación basados en inversores: Hace referencia a todas las fuentes de generación basadas en inversores. Dentro de este tipo de sistemas de generación se encuentran los eólicos tipo 4 y fotovoltaicos (PV).

Sistema de generación de inducción o asíncrono: Hace referencia a todas las fuentes de generación rotativas que operan a una velocidad ligeramente diferente de la velocidad síncrona, en este tipo de máquina tanto rotor como estator requieren alimentación de una fuente externa para su correcta operación.

Sistema de generación onduladores o de frecuencia variable: Hace referencia a todas las fuentes de generación asíncronos de doble alimentación que operan en un amplio rango de velocidad variable⁴. Dentro de este tipo de generación se encuentran los generadores eólicos tipo 3.

Sistema de generación síncronos: Hace referencia a todas las fuentes de generación rotativas cuya velocidad depende de la frecuencia del sistema eléctrico al que se conecta y del número de polos.

3. Regulación aplicable:

- En Colombia los Sistemas de Transmisión Regionales (STR) y/o Sistemas de Distribución Local (SDL) se clasifican por niveles, en función de la tensión nominal de operación, según la siguiente definición⁵:
 - Nivel 1: Sistemas con tensión nominal menor a 1 kV.

¹ El estandar IEEE 1547 de 2018 indica que “para islas no intencionales en el cual un recurso de generación distribuido (DER) energice una porción de la red, el DER debe detectar la isla, cesar de energizar y disparar con un retardo máximo de hasta 2 seg”.

² El desempeño de la función anti-isla se puede ver afectado cuando se presenta un balance carga-generación en la red aislada o cuando se dispongan sistemas de generación conectados en paralelo a un mismo ramal, ya sean de diferente tecnología (inversores, síncronos, inducción, entre otros) o inversores de diferentes fabricantes.

³ Es un punto de conexión al SIN donde se conectan varias plantas o unidades de generación individuales que compartan activos de conexión.

⁴ Conocidos en inglés como *Double-fed asynchronous generator (DFG)*.

⁵ Fuente: CREG - 097- 2008; Art 1.

- Nivel 2: Sistemas con tensión nominal mayor o igual a 1 kV y menor de 30 kV.
 - Nivel 3: Sistemas con tensión nominal mayor o igual a 30 kV y menor de 57,5 kV.
 - Nivel 4: Sistemas con tensión nominal mayor o igual a 57,5 kV y menor a 220 kV.
- En Colombia el Sistema de Transmisión Nacional (*STN*) opera con tensiones iguales o superiores a 220 kV⁶.
 - La resolución CREG 025 de 1995, o aquella que la modifique o sustituya, define requerimientos para la conexión de cualquier sistema de generación al STN.
 - La resolución CREG 070 de 1998, o aquella que la modifique o sustituya, define requerimientos para la conexión de cualquier sistema de generación al STR y SDL.
 - La resolución CREG 030 de 2018, o aquella que la modifique o la sustituya, define requerimientos para la conexión de los generadores de acuerdo con su capacidad instalada, según los siguientes rangos:
 - Conexión al STR o SDL del Autogenerador de Pequeña Escala (*AGPE*) con potencia instalada menor o igual a 0,1 MW y Generación Distribuida (*GD*).
 - Conexión al STR o SDL del AGPE con potencia instalada mayor a 0,1 MW y menor o igual a 1 MW.
 - Conexión al STR o SDL del Autogenerador a Gran Escala (*AGGE*) con potencia instalada mayor a 1 MW y menor o igual a 5 MW.
 - La resolución CREG 200 de 2019, o aquella que la modifique o la sustituya, define un esquema para permitir que los generadores que compartan activos de conexión al SIN.

4. Consideraciones:

- I. En el nivel de tensión 4 o superior, los sistemas de generación se deberán conectar a un barraje a través de su propia bahía de generación. Un autogenerador se podrá conectar a través la bahía de conexión, es decir, un autogenerador podrá conectar su generación en un nivel de tensión diferente al Punto de Conexión (PC).
- II. Los inversores conectados a un sistema de generación deberán estar certificados por un laboratorio de pruebas reconocido según los estándares de prueba de la IEEE 1547, o aquel que lo sustituya o modifique, y en conformidad con el alcance de la UL 1741 o IEC 62109. La certificación debe ser comparable con la certificación del producto del país de origen y debe ser presentado al Operador de Red (*OR*) como requisito para la conexión del sistema de generación al SIN.
- III. El PC para sistemas de generación o autogeneración es el definido en la resolución CREG 038 del 2014, o aquella que la sustituya o modifique. Para autogeneradores con capacidades mayores a 0.25 MW y conectados a los niveles de tensión 1, 2 ó 3, los equipos de medida del esquema de protección (transformadores de corriente y/o transformadores de

⁶ Fuente: CREG - 025- 1995; Anexo.

potencial), podrán estar instalados en el PC con el OR o en cualquier otro punto en el mismo nivel de tensión del PC.

- IV. Previo a la entrada del proyecto de generación el promotor deberá reportar al Transportador Nacional – TN u Operador de Red - OR la siguiente información relacionada con el sistema de protecciones para la aprobación del PC: información con los ajustes finales de los equipos de protección en el PC y características del sistema de sincronización. Asimismo, el TN u OR podrán solicitar cuando lo consideren la información de ajustes y esquema de protección en el PC o del sistema de generación. Para el caso de sistemas de generación que compartan activos de conexión, esta información también deberá ser reportada por el agente generador representante⁷ de la FC ante el TN o OR.
- V. Posterior a la conexión de un proyecto de generación al SIN, cualquier modificación de ajustes o del esquema de protección en el PC deberá ser autorizada por el TN u OR, según aplique.
- VI. Los requisitos de protecciones descritos en este documento dependen de las características de los sistemas de generación como: capacidad de generación, tipo de tecnología, nivel de tensión y características de aterrizamiento del PC en la red del OR (sistema en delta o estrella sólidamente aterrizada). Acorde a lo anterior, para proyectos de generación con idénticas características y conectados en diferentes puntos eléctricos pueden variar los requerimientos de protección. En caso de ser necesario, el promotor del proyecto podrá presentar requerimientos adicionales diferentes a los establecidos en este documento, dichos requisitos deberán ser revisados y validados con el OR o TN, según aplique.
- VII. Los relés de sobrecorriente direccionales y/o esquemas de teleprotección pueden requerir aporte de corriente de secuencia negativa de los sistemas de generación basados en inversores o de frecuencia variable para desempeñarse adecuadamente durante fallas, por lo cual, para estos sistemas de generación se deberá revisar la posibilidad de aportar corriente de secuencia negativa durante huecos de tensión, la cual puede ser generada a partir de diferentes estrategias de control de los inversores.
- VIII. Los sistemas de generación que se conecten al SIN, con capacidad mayor a 0.25 MW, deben disponer de un estudio de ajuste y coordinación de protecciones (EACP).

5. Sistemas de protección para proyectos de generación conectados a los niveles de tensión 4 o superior.

Todo sistema de generación conectado al nivel de tensión 4 o superior, independiente de su tecnología, deberá disponer de esquemas de protección principal y de respaldo para proteger la instalación del generador como para proteger su PC con el STR o STN. Estos esquemas de protección deberán ser selectivos y coordinar con la red existente, es decir, que una falla dentro del sistema de

⁷ La resolución CREG 200 de 2019, en su artículo 4, define que debe existir un agente representante de la conexión compartida.

generación sea despejada por el sistema de protección propio y no las protecciones del área de influencia.

Para el caso de instalaciones de generación que compartan activos de conexión, cada planta o unidad individual debe detectar las fallas dentro de su propio sistema de generación y, además, debe validar que los ajustes de protecciones coordinen con las demás plantas o unidades individuales conectadas en la frontera compartida (FC) y con la red existente.

5.1 Funciones de protección mínimas en el PC o en la unidad de generación (UG).

Las funciones de protección en la UG o en el PC del nivel de tensión 4 o superior dependen de la tecnología del sistema de generación. En la Tabla 1 - Tabla 3 se presentan las funciones de protección sistémicas mínimas requeridas para la conexión de sistemas de generación según la tecnología. Se aclara que no todas las funciones de protección que podrían ser requeridas para proteger un generador son mostradas en las tablas, es responsabilidad del promotor del proyecto instalar las funciones de protección requeridas para proteger adecuadamente su sistema de generación y que estas protecciones y sus ajustes no afecten o pongan en riesgo la operación segura y confiable del SIN.

Las líneas del nivel de tensión cuatro (4) o superior que se conecten en el PC o la FC con sistemas de generación basados en inversores o frecuencia variable con el STN o STR deberán estar dotadas con esquemas de protección basados en protecciones diferenciales como función de protección principal y disponer de respaldo de esquemas asistidos de protección.

Para el caso de sistemas de generación que compartan activos de conexión, los requerimientos de protecciones del PC deben implementarse en la FC, cumpliendo los criterios indicados para cada tecnología tanto en la FC como en el generador, según aplique.

Tabla 1. Funciones de protección mínimas en sistemas de generación síncronos

Función de Protección	PC	UG	Notas
Distancia (ANSI 21G) y/o Sobrecorriente (ANSI 51V)		X	a
Sistema de Sincronización (ANSI 25)		X	b
Sobrepotencia adelante (ANSI 32)	X		c
Sobrecorriente de secuencia Negativa (ANSI 46)		X	
Sobrecorriente de fases y tierra (ANSI 51/51N)	X		d
Sobretensión (ANSI 59)		X	e
Pérdida de paso (ANSI 78)		X	
Pérdida de excitación (ANSI 40)		X	
Frecuencia (ANSI 81U/O)		X	f

Tabla 2. Funciones de protección mínimas en sistemas de generación de inducción

Función de Protección	PC	UG	Notas
Sobrepotencia adelante (ANSI 32)	X		c
Sobrecorriente de fases y tierra (ANSI 51/51N)	X		d
Sobretensión (ANSI 59)		X	e
Frecuencia (ANSI 81U/O)		X	f

Tabla 3. Funciones de protección mínimas en sistemas de generación basados en inversores y frecuencia variable

Función de Protección	PC	UG	Notas
Bajatensión (ANSI 27)	X		<i>e</i>
Sobrepotencia adelante (ANSI 32)	X		<i>c</i>
Sobrecorriente de fases y tierra ANSI (51/51N) ó (51V/51VN) ó (67V/67VN)	X		<i>d</i>
Sobretensión (ANSI 59)	X		<i>e</i>
Frecuencia (ANSI 81U/O)	X		<i>f</i>

Notas relacionadas en las Tablas:

- a.* En redes donde las líneas adyacentes⁸ al sistema de generación estén protegidas con un relé distancia y respaldos con sobrecorrientes se debe usar a nivel de generador las funciones de distancia (ANSI 21G) y de sobrecorriente controlada o restringida por tensión (ANSI 51V), ambas habilitadas simultáneamente. En redes donde las líneas adyacentes dispongan de doble protección distancia, no se requiere la función de sobrecorriente controlada o restringida por tensión (ANSI 51V), es suficiente usar a nivel del generador solo la función de distancia (ANSI 21G).
- b.* En generadores síncronos el sistema de verificación de sincronismo disponible en la unidad de generación deberá comprobar condiciones de sincronismo en dos fases. Para sistemas autogeneración que deseen operar en modo aislado deberán contar la función de chequeo a la energización en el PC y un sistema de sincronización del generador con el sistema de potencia.
- c.* Aplica solo para autogeneradores, la sobrepotencia hacia adelante puede implementarse en los sistemas de medida, control y/o protección de un autogenerador que no declare entregar excedentes a la red; la función debe estar en capacidad de limitar la potencia entregada de la red o desconectar al autogenerador del sistema según las condiciones pactadas con el OR.
- d.* La(s) función(es) de sobrecorriente que se implementen deberá estar en capacidad de interrumpir las corrientes de corto circuito de la red ante fallas en el sistema de generación y debe coordinar con las protecciones del sistema de potencia. Para sistemas de generación basadas en inversores y frecuencia variable los relés de sobrecorriente controlados por tensión tienen la ventaja, con respecto a los relés de sobrecorriente de otras características, de ser ajustados para detectar corrientes de falla cercanas a la corriente nominal porque estas tecnologías no superan 1.1 p.u. de corriente nominal de aporte a la falla.
- e.* La medición para la función de protección de tensión para sistemas de generación basados en inversores y frecuencia variable debe ser trifásica con medida fase-tierra en el PC.
- f.* La medición para la función de protección de frecuencia puede ser monofásica.

⁸ Línea adyacente: circuitos conectados a la barra de la subestación local del sistema de generación.

Sistemas de generación conectados en el nivel de tensión 4 o superior se deberá coordinar con el TN u OR, según aplique, la necesidad de habilitarse una protección anti-isla si se identifican riesgos de formación de islas no planeadas en el sistema del TN u OR. En caso de requerirse, esta protección deberá ser de tipo Intertrip⁹. El promotor del proyecto de generación es responsable de realizar estudios, gestión, implementación, ajuste y desempeño de la protección anti-isla y las protecciones adicionales en el PC.

5.2 Sistema de interrupción

Todo sistema de generación conectado al nivel de tensión 4 o superior deberá disponer de una bahía de generación con interruptor de potencia con la capacidad de abrir ante las máximas corrientes de cortocircuito en el PC.

Toda bahía de generación conectada en el nivel de tensión 4 o superior deberá disponer de una protección tipo falla interruptor, la cual deberá ser implementada en un relé independiente de las protecciones propias principales del equipo protegido o podrá estar incluida como una función adicional en una protección diferencial de barras.

Para el caso de sistemas de generación que compartan activos de conexión se debe disponer de un interruptor de potencia en la FC y para cada planta o unidad de generación se deben definir los elementos de corte que permitan la desconexión selectiva y coordinada de los sistemas de generación ante fallas.

5.3 Sistema de puesta a tierra

El diseño de la puesta a tierra de instalación de todo sistema de generación incluyendo el PC, además de cumplir con los requerimientos técnicos del Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE), debe considerar en combinación con los sistemas de protección propuestos el despeje oportuno de todo tipo de fallas a tierra.

Sistemas de generación basados en inversores y frecuencia variable, conectados a los niveles de tensión 4 o superior, se deberán conectar al sistema de potencia a través de transformadores con aterrizamiento en el lado de Alta Tensión (AT) para garantizar aporte de secuencia cero al sistema de potencia durante fallas.

El sistema de generación debe disponer de un sistema de aterrizamiento en Media Tension (MT) para garantizar la detección y despeje de fallas a tierra dentro del sistema de MT.

⁹ Intertrip: Esquema de protección que envía comando de disparo remoto al PC cuando se detecta la apertura del interruptor del interruptor principal al cual se encuentra conectado el sistema de generación.

5.4 Servicios Auxiliares

Todo sistema de generación conectado en el nivel de tensión 4 o superior deberán disponer de al menos un esquema de alimentación de respaldo que garanticen la correcta operación de los equipos de protección y control durante fallas, incluso ante ausencia de tensión del alimentador principal.

Para conexiones en el nivel de tensión 4 o superior, las fuentes de alimentación de servicios auxiliares deben ser independientes para cada subestación, es decir, la alimentación de los servicios auxiliares del sistema de generación no pueden ser compartido con los servicios auxiliares de una subestación del STR o del STN, según aplique.

6. Sistemas de protección para proyectos de generación conectados a los niveles de tensión 1, 2 y 3 o SDL.

Para sistemas de generación síncronos conectados a los niveles de tensión 1, 2 y 3 se definieron requisitos de protecciones independiente de su capacidad; para generadores de inducción se definieron requisitos por capacidad: menores o iguales a 0.25 MW y mayores a 0.25 MW; y para generadores basados en inversores y frecuencia variable también se definieron requisitos de protecciones por capacidad¹⁰: menor o igual a 0.25 MW, mayor a 0.25 MW y menor o igual a 1 MW, mayor 1 MW y menor o igual a 5 MW y mayor a 5 MW.

Para el caso de instalaciones de generación que compartan activos de conexión, cada planta o unidad individual debe detectar las fallas dentro de su propio sistema de generación y, además, debe validar que los ajustes de protecciones coordinen con las demás plantas o unidades individuales conectadas en la frontera compartida (FC) y con la red existente.

La capacidad total de potencia en MW que se conecta a un nodo eléctrico puede ser una sola unidad de generación o la suma agregada de todos los recursos de generación en el mismo punto eléctrico de conexión. Para sistemas de generación conectados al nivel de tensión 1 se permitirá la conexión monofásica (una fase y neutro) de inversores hasta una potencia máxima de 10 kW por cada fase, para conexiones monofásicas trifilares (dos fases y neutro) y tetrafilares (tres fases y neutro) se permite la conexión de 10 kW por fase, sin exceder los límites de capacidad establecidos por la regulación vigente¹¹.

En las Tabla 4 - Tabla 8 se presentan las funciones de protección mínimas requeridas para la conexión de sistemas de generación según la tecnología. Se aclara que no todas las funciones de protección requeridas para proteger un generador son mostradas en las tablas, es responsabilidad del promotor del proyecto instalar todas las funciones de protección requeridas para proteger su sistema de generación.

¹⁰ Estos rangos cubren lo definido en la resolución CREG 030 de 2018. Para el rango entre 0.1 y 0.25 MW se definió que los requisitos de protecciones serán los mismos requisitos que para sistemas de generación menores a 0.1 MW.

¹¹ Resolución 030 de 2018, artículo 5, o aquella que la modifique o sustituya.

Para el caso de sistemas de generación que compartan activos de conexión, los requerimientos de protecciones del PC deben implementarse en la FC, cumpliendo los criterios indicados para cada tecnología tanto en la FC como en el generador, según aplique.

6.1 Funciones de protección mínimas en PC o UG para sistemas de generación síncronos y de inducción

Todo sistema de generación síncronos y de inducción conectados a los niveles de tensión 1, 2 y 3, independiente de su capacidad, deberá disponer de esquemas de protección para proteger la instalación del generador y su PC con el SDL, los cuales deberán ser selectivos y coordinar con la red existente, es decir, que una falla al interior del sistema de generación sea despejada por las protecciones propias y no por las protecciones del área de influencia.

En la Tabla 4 y Tabla 5 se presentan las funciones de protección mínimas requeridas para la conexión de sistemas de generación síncronos y de inducción.

Tabla 4. Funciones de protección mínimas en sistemas de generación síncronos

Función de Protección	PC	UG	Notas
Sistema de Sincronización (ANSI 25)			<i>i</i>
Sobrepotencia adelante (ANSI 32)	X		<i>j</i>
Sobrecorriente de secuencia negativa (ANSI 46)		X	
Sobrecorriente de fases y tierra (ANSI 51/51N)	X		<i>k</i>
Sobrecorriente controlada por tensión (ANSI 51V)		X	
Sobretensión (ANSI 59)		X	<i>l - m</i>
Sobretensión de secuencia cero (ANSI 59N)	X		<i>n</i>
Pérdida de paso (ANSI 78)		X	<i>o</i>
Pérdida de campo (ANSI 40)		X	
Frecuencia (ANSI 81U/O)		X	<i>m - p</i>
Anti-isla			<i>q</i>
Verificación de sincronismo	X		<i>r</i>

Tabla 5. Funciones de protección mínimas en sistemas de generación de inducción¹²

Función de Protección	PC	UG	Notas
Bajatensión (ANSI 27)	X		<i>l - m</i>
Sobrepotencia adelante (ANSI 32)	X		<i>j</i>
Sobrecorriente de fases y tierra (ANSI 51/51N)	X		<i>k</i>
Sobretensión (ANSI 59)		X	<i>l - m</i>
Sobretensión de secuencia cero (ANSI 59N)	X		<i>n</i>
Frecuencia (ANSI 81U/O)		X	<i>m - p</i>
Anti-isla			<i>q</i>

Espacio no marcado con X en la tabla: Requisito en la unidad de generación o en el punto de conexión.

¹² Para sistemas de generación de inducción menor o igual a 0.25 MW las protecciones y el equipo de corte pueden estar en el punto de conexión o en el nivel de la unidad de generación.

6.2 Funciones de protección mínimas en PC o UG para sistemas de generación basados en inversores y frecuencia variable.

Los requisitos de protecciones para sistemas de generación basados en inversores y frecuencia variable se presentan por capacidad:

- Menores o iguales a 0.25 MW: Sistemas de generación basados en inversores y frecuencia variable conectados a los niveles de tensión 1, 2 y 3 podrán disponer de protecciones solo a nivel de inversor.
- Mayores a 0.25 MW: Sistemas de generación basados en inversores y frecuencia variable conectados a los niveles de tensión 1, 2 y 3 deberán disponer de un esquema de protección para proteger la instalación del generador y su PC con el SDL, los cuales deberán ser selectivos y coordinar con la red existente, es decir, que una falla al interior del sistema de generación sea despejada por las protecciones propias y no por las protecciones del área de influencia.

En la Tabla 6, Tabla 7 y Tabla 8 se presentan las funciones de protección mínimas requeridas para la conexión de sistemas de generación basados en inversores y frecuencia variable.

Tabla 6. Funciones de protección mínimas para sistemas de generación basados en inversores y frecuencia variable menores o iguales a 0.25 MW

Función de Protección	PC	UG	Notas
Bajatensión (ANSI 27)		X	<i>l - m</i>
Sobrepotencia adelante (ANSI 32)	X		<i>j</i>
Sobretensión (ANSI 59)		X	<i>l - m</i>
Frecuencia (ANSI 81U/O)		X	<i>m - p</i>
Anti-isla		X	<i>q</i>

Tabla 7. Funciones de protección mínimas para sistemas de generación basados en inversores y frecuencia variable mayores a 0.25 MW y menores o iguales a 1 MW.

Función de Protección	PC	UG	Notas
Bajatensión (ANSI 27)	X		<i>l - m</i>
Sobrepotencia adelante (ANSI 32)	X		<i>j</i>
Sobrecorriente de fases y tierra ANSI (51/51N) ó (51V/51VN) ó (67V/67VN)			<i>k</i>
Sobretensión (ANSI 59)	X		<i>l - m</i>
Sobretensión de secuencia cero (ANSI 59N)	X		<i>n</i>
Frecuencia (ANSI 81U/O)		X	<i>m - p</i>
Anti-isla		X	<i>q</i>

Espacio no marcado con X en la tabla: Requisito en la unidad de generación o en el punto de conexión.

Tabla 8. Funciones de protección mínimas para sistemas de generación basados en inversores y frecuencia variable mayores a 1 MW.

Función de Protección	PC	UG	Notas
Bajatensión (ANSI 27)	X		<i>l - m</i>
Sobrepotencia adelante (ANSI 32)	X		<i>j</i>

Función de Protección	PC	UG	Notas
Sobrecorriente de fases y tierra ANSI (51/51N) ó (51V/51VN) ó (67V/67VN)	X		<i>k</i>
Sobretensión (ANSI 59)	X		<i>l - m</i>
Sobretensión de secuencia cero (ANSI 59N)	X		<i>n</i>
Frecuencia (ANSI 81U/O)	X		<i>m - p</i>
Anti-isla	X		<i>q</i>

Notas relacionadas en las Tablas:

- i.* En generadores síncronos el sistema de verificación de sincronismo disponible en la unidad de generación deberá comprobar condiciones de sincronismo en dos fases.
- j.* Aplica solo para autogeneradores, la sobrepotencia hacia adelante puede implementarse en los sistemas de medida, control y/o protección de un autogenerador que no declare entregar excedentes a la red; la función debe estar en capacidad de limitar la potencia entregada a la red o desconectar al autogenerador del sistema según las condiciones pactadas con el OR.
- k.* La función de sobrecorriente que se implemente deberá estar en capacidad de interrumpir los aportes de corrientes de corto circuito de la red ante fallas en el sistema de generación y debe coordinar con las protecciones del sistema de potencia. Para sistemas de generación basadas en inversores y frecuencia variable los relés de sobrecorriente controlados por tensión tienen la ventaja, con respecto a los relés de sobrecorriente de otras características, de ser ajustados para detectar corrientes de falla cercanas a la corriente nominal porque estas tecnologías no superan 1.1 p.u. de corriente nominal de aporte a la falla. Las medidas de corriente para las funciones de sobrecorriente en el punto de conexión deben ser tomadas de los núcleos de protección.
- l.* La medición para las funciones de protección de tensión para sistemas de generación basados en inversores y frecuencia variable deberá ser fase-tierra, en cada una de las tres fases, y la operación de la protección deberá ser de fase segregada. Para potencia mayores a 0.25 MW en el PC se deberá garantizar que la activación de la función de sobretensión (ANSI 59) o bajatensión (ANSI 27) sea con tensiones de fase.
- m.* Las funciones de protección ANSI 59, ANSI 27 y ANSI 81 serán ajustadas según requerimientos operativos del sistema de potencia. En el numeral 6.6 se presentan los ajustes de tensión y frecuencia para sistemas de generación conectados a los niveles de tensión 1, 2 y 3.
- n.* Cuando se realiza la conexión de sistemas de generación con la red del SDL mediante un transformador delta o estrella no aterrizada en el PC, se deberá disponer de una protección de sobretensión de secuencia cero (ANSI 59N) para detectar fallas a tierra. En caso de no usar la función ANSI 59N se debe proponer un esquema de protección para detectar y despejar fallas a tierra en sistemas de potencia aislados. Esta protección deberá estar coordinada con las demás protecciones de la red.

- o. En sistemas de generación síncronos menores a 5 MW, y conectados a los niveles de tensión 2 y 3 la protección, de pérdida de paso y pérdida de campo es opcional.
- p. La medición para la función de protección de frecuencia puede ser monofásica a nivel de inversor o en el PC.
- q. Sistemas de generación conectados a niveles de tensión 1, 2 y 3 deberán disponer de una protección anti-isla, la cual no podrá ser del tipo Vector Shift¹³. El tipo de esquema de anti-isla depende de los resultados del estudio de conexión, en el cual se deberá evaluar que bajo diferentes escenarios de carga y topologías de red no se identifiquen desbalances de carga – generación que originen la formación de islas no intencionales entre el sistema de generación y la red del OR. En caso de usar la función ROCOF como protección anti-isla, se deberá ajustar el valor indicado por el CND en los estudios eléctricos¹⁴.

Si el sistema de generación se va a conectar a un circuito que tenga activo un esquema de recierre, los tiempos de operación de la protección anti-isla se deberán coordinar con los tiempos de operación del recierre y el OR le indicará los tiempos del recierre; es decir, previo a la puesta en servicio del proyecto de generación dichos tiempos deben ser coordinados entre OR y promotor del proyecto¹⁵.

- r. Esta lógica de control y/o protección chequea que previo a la conexión del sistema de generación con el SDL se verifiquen condiciones seguras de cierre o energización en el PC. El promotor del proyecto debe tomar todas las medidas necesarias para garantizar que la energización del sistema de generación se ejecute con la validación de las condiciones de sincronismo para evitar daños irreversibles en las unidades de generación.

En caso de que el sistema de generación disponga de re-energización automática, se deberán coordinar entre OR y promotor del proyecto las condiciones técnicas y operativas para que la re-energización del sistema de generación se ejecute de forma segura para el SDL; es decir, el sistema de generación se podrá re-energizar cuando se detecte tensión en las tres fases del circuito y secuencia de fase en rangos normales de operación¹⁶.

6.3 Sistema de interrupción

Todo sistema de generación conectado a los niveles 1, 2 y 3 deberán disponer de un equipo de interrupción o corte con la capacidad de abrir ante las máximas corrientes de cortocircuito. En la Tabla 9 - Tabla 12 se presentan los requisitos de los equipos de corte según el tipo de tecnología.

¹³ Vector Shift: Esquema de protección que detecta cambios instantáneos en el ángulo de la tensión del generador cuando se presentan cambios súbitos en la impedancia del sistema. No se debe implementar porque opera de forma casi instantánea ante cambios súbitos en la impedancia del sistema eléctrico de la potencia.

¹⁴ El CND evalúa y publica periódicamente el valor de ajuste mínimo de ROCOF. El valor calculado en el año 2020 es 2 Hz/s.

¹⁵ El número de intentos de recierre con sus respectivos tiempos de operación, deberán ser suministrados por el OR al promotor del proyecto como dato de entrada para la elaboración del estudio de conexión.

¹⁶ El tiempo de reconexión automática típicamente se ajusta entre 3 – 5 minutos después se detectan condiciones normales de operación en la red.

Tabla 9. Requisitos equipos de corte para sistemas de generación/autogeneración síncronos

Capacidad	Equipo de Corte	Notas
Cualquier capacidad	Reconectador o Interruptor de potencia	s

Tabla 10. Requisitos equipos de corte para sistemas de generación/autogeneración de inducción

Capacidad	Equipo de Corte	Notas
$P \leq 0.25 \text{ MW}$	Interruptor termomagnético o Interruptor con unidades de disparo	t
$P > 0.25 \text{ MW}$	Reconectador o Interruptor de potencia	s

Tabla 11. Requisitos equipos de corte para sistemas de generación basados en inversores y de frecuencia variable

Capacidad	Equipo de Corte	Notas
$P \leq 0.25 \text{ MW}$	Interruptor termomagnético o Interruptor con unidades de disparo	u
$0.25 \text{ MW} < P \leq 1 \text{ MW}$	Interruptor con unidades de disparo, Reconectador o Interruptor de potencia	v - w
$P > 1 \text{ MW}$	Reconectador o Interruptor de potencia	s - v

Tabla 12. Requisitos equipos de corte para sistemas de autogeneración basados en inversores y de frecuencia variable

Capacidad	Equipo de Corte	Notas
$P \leq 0.25 \text{ MW}$	Interruptor termomagnético o Interruptor con unidades de disparo	u
$0.25 \text{ MW} < P \leq 1 \text{ MW}$	Interruptor con unidades de disparo, Reconectador o Interruptor de potencia	v - w
$1 \text{ MW} < P \leq 5 \text{ MW}$	Interruptor con unidades de disparo, Reconectador o interruptor de potencia	v - x
$P > 5 \text{ MW}$	Reconectador o Interruptor de potencia	s - v

Notas relacionadas en la tabla:

- s. Para generadores este requerimiento se debe cumplir en el PC y para autogeneradores en el PC o en el mismo nivel de tensión del punto de conexión. El uso del reconectador o interruptor de potencia dependen de los resultados del estudio de conexión.
- t. Las protecciones y el equipo de corte pueden estar en el punto de conexión o en el nivel de tensión la unidad de generación.
- u. Preferiblemente medición de tensión fase – tierra, también se podrá disponer de medición de tensión fase-fase, en el mismo nivel de tensión de conexión del inversor. La protección principal y el equipo de corte podrá estar integrada en el propio equipo de generación o en el inversor, siempre y cuando se cuente con certificado de conformidad por entidad

reconocida de acuerdo al UL 1741 o IEC 62109, las cuales reúnen los requisitos de las protecciones principales.

- v. La medición de la señal de tensión para la activación de las funciones de protección en el PC o en el mismo nivel de tensión del PC, deberán ser de fase-tierra, es decir, se requiere instalación de un PT en cada fase, por lo tanto, las funciones de protección ANSI 27 y ANSI 59 actuarán cuando cualquier tensión fase-tierra alcance el umbral de ajuste.
- w. El equipo de corte podrá estar instalado en un lugar diferente al PC con el OR, y la actuación de alguna función de protección deberán emitir disparo tripolar transferido (DDT) al equipo de corte del sistema de generación (podrá ser incluso a nivel de inversor); el cual debe recibir las señales del DDT para reproducir su propia apertura. Para este rango de potencia es permitido la instalación de fusibles en el PC o en el acople físico entre el sistema de generación con el SDL, siempre y cuando el fusible se encuentre coordinado con las protecciones del OR.
- x. Para generadores el equipo de corte debe estar instalado en el PC y para los autogeneradores el equipo de corte puede estar en un lugar y/o nivel de tensión diferente al PC con el OR, en cuyo caso las protecciones deberán emitir un disparo tripolar transferido (DDT) al equipo de corte del sistema de generación; el cual debe recibir las señales del DDT para reproducir su propia apertura. La comunicación de la señal de disparo deberá ser duplicado y el tiempo de apertura del interruptor no deberá ser mayor de 100 ms.

La pérdida de tensión en los relés de protección deberá estar señalizada para tomar acciones inmediatas para la recuperación de la señal de tensión, en caso contrario, se deberá implementar un disparo tripolar al sistema de generación ante la señal de pérdida de tensión.

6.4 Sistema de puesta a tierra:

El diseño de la puesta a tierra de instalación de todo sistema de generación incluyendo el PC, además de cumplir con los requerimientos técnicos del RETIE, debe considerar en combinación con los sistemas de protección propuestos, el despeje oportuno de todo tipo de fallas a tierra.

La conexión del sistema de generación no deberán aportarán corrientes de secuencia cero ante fallas a tierra en la red del OR, para ello el devanado de alta de los transformadores de acoplamiento entre el sistema de generación con la red del OR, deberán disponer de un grupo de conexión con delta o "Y" no aterrizado.

El nuevo proyecto de generación debe disponer de un sistema de aterrizamiento para garantizar la detección y el despeje de fallas a tierra dentro del sistema de generación en los niveles de tensión 2 y 3.

6.5 Servicios Auxiliares

Para todos los equipos de protección y equipos de interrupción alimentados con corriente alterna – AC o corriente directa DC, deberán disponer de fuentes de alimentación que garanticen la operación de los equipos de protección y control durante fallas ante la pérdida de la alimentación principal.

6.6 Ajustes requeridos para las funciones de protección sistémicas para generadores conectados a los niveles de tensión 1, 2 y 3.

En la Tabla 13 se presentan los ajustes requeridos para las funciones de protección sistémicas en generadores síncronos y de inducción de cualquier capacidad conectados al SDL.

Tabla 13. Ajuste de protecciones sistémicas para generadores síncronos conectados al SDL

FUNCIÓN	AJUSTE	TEMPORIZACIÓN	OBSERVACIONES
Etapa 1: Bajatensión (ANSI 27)*	0.8 p.u.	10 -15 s	Actuación de la protección con tensiones fase-fase
Etapa 2: Bajatensión (ANSI 27)*	0.6 p.u.	5 s	Actuación de la protección con tensiones fase-fase
Etapa 1: Sobretensión (ANSI 59)	1.12-1.2 p.u.	5-10 s	Actuación de la protección con tensiones fase-fase
Etapa 2: Sobretensión (ANSI 59)	1.3 p.u.	0.5 s	Actuación de la protección con tensiones fase-fase
Sobrefrecuencia (ANSI 81 U/O)	--	--	Ajustados según regulación vigente

() La función ANSI 27 no es necesaria para generadores síncronos, en caso de implementarse se deberá cumplir con los ajustes indicados en la tabla.*

En la Tabla 14 y Tabla 15 se presentan los ajustes para las funciones de protección sistémicas de los generadores basados en inversores y frecuencia variable conectados al SDL, según su capacidad. No obstante, en caso de identificarse problemas de desconexión masivas de sistemas de generación en un circuito sano debido a fallas en la red, se podrán definir nuevos tiempos para las funciones de tensión entre el OR y el promotor; además, en caso de identificarse problemas de selectividad de las funciones de tensión para detectar fallas o islas, los valores indicados podrán ser modificados, según resultados del EACP.

Tabla 14. Ajuste de protecciones sistémicas para sistemas de generación basados en inversores y frecuencia variable menores o iguales a 0.25 MW conectados al SDL

FUNCIÓN	AJUSTE	TEMPORIZACIÓN
Etapa 1: Bajatensión (ANSI 27)	0.85 p.u.	2 s
Etapa 2: Bajatensión (ANSI 27)	0.5 p.u.	0.2 s
Etapa 1: Sobretensión (ANSI 59)	1.15 p.u.	2 s
Etapa 2: Sobretensión (ANSI 59)	1.2 p.u.	0.2 s
Bajafrecuencia (ANSI 81 U)	57 Hz	0.2 s
Sobrefrecuencia (ANSI 81 O)	63 Hz	0.2 s

Tabla 15. Ajuste de protecciones sistémicas para generadores basados en inversores y frecuencia variable mayores a 0.25 MW conectados al SDL

FUNCIÓN	AJUSTE	TEMPORIZACIÓN	OBSERVACIONES
Etapa 1: Bajatensión (ANSI 27)	0.8 p.u.	2 s	actuación de la protección con tensiones fase tierra
Etapa 2: Bajatensión (ANSI 27)	0.6 p.u.	0.2 s	actuación de la protección con tensiones fase tierra
Etapa 1: Sobretensión (ANSI 59)	1.12 p.u.	2 s	actuación de la protección con tensiones fase tierra
Etapa 2: Sobretensión (ANSI 59)	1.15 p.u.	0.2 s	actuación de la protección con tensiones fase tierra
Bajafrecuencia (ANSI 81 U)	57 Hz	0.2 s	actuación de la protección con tensiones fase tierra
Sobrefrecuencia (ANSI 81 O)	63 Hz	0.2 s	actuación de la protección con tensiones fase tierra

7. Equipos de registro de eventos:

Para sistemas de generación mayores a 1 MW deben disponer de registro cronológico de eventos (SOE). El SOE debe capturar el cambio de estado del equipo de corte, y el arranque y disparo de los sistemas de protección con resolución de 1 ms¹⁷.

Para sistemas de generación mayores a 5 MW se debe disponer de registros oscilográficos de los sistemas de protección en formato COMTRADE con las señales análogas de tensión y corriente por fase y con las señales digitales de arranque y disparo de los sistemas de protección. Los registros oscilográficos de los equipos de protección deben capturar eventos con un tiempo mínimo de pre-falla de 500 ms y de post-falla sea mayor a 2 segundos, además, contar con una resolución mínima de muestreo de 1 KHz y almacenar mínimo 8 registros.

Para sistemas de generación mayores a 5 MW el error máximo de sincronización del SOE y/o registros oscilográficos (relés de protección y registradores de falla) no deberá ser superior a +/-200 ms¹⁸. El OR, TN o CND podrán solicitar al generador la información técnica para análisis de los eventos. Los relés de protección deben estar sincronizados con la hora oficial colombiana.

Para el caso de instalaciones de generación que compartan activos de conexión se debe disponer de un registro cronológico de eventos (SOE) y de un sistema de registro oscilográfico, tanto en la FC como en cada sistema de generación, independiente de su capacidad.

8. Referencias

- Norma Técnica de Seguridad y Calidad de Servicio. Chile, 2016.
- Norma Técnica de Conexión y Operación de PMGD en instalaciones de media tensión. Chile, 2016.
- Norma técnica de conexión y operación de equipamientos de generación. Chile, 2015.

¹⁷ Valor referenciado de la resolución CREG 025 de 1995.

¹⁸ Margen de error acordado en el Subcomité de protecciones, Acta 67 del 22 de septiembre de 2017.

- Especificaciones Particulares Endesa: Instalaciones privadas conectadas a la red de distribución AT-MT y BT. España, 2017.
- Protection Requirements of Embedded Generators >30kW, Asgrid. Australia, 2013.
- IEEE 1547 de 2018, Standard for Interconnection and Interoperability of Distributed Energy Resources with Associated Electric Power Systems Interface.
- Distribution Interconnection Handbook, Pacific Gas and Electric Company, Technical Document Management.
- Recommendation for the connection of generating plant to the distribution systems of licensed distribution network operators, Energy Networks Association.