

Anexo 1 Pruebas requeridas para verificar las funcionalidades de control de tensión de las plantas eólicas y solares fotovoltaicas conectadas al SDL con Capacidad Efectiva Neta o Potencia Máxima Declarada igual o superior a 5 MW

**Subcomité de
Controles**



Revisión	Fecha	Descripción
0	2022-01-03	Presentación Primer borrador
1	2022-01-20	Presentación Primer borrador
2	2022-02-13	Versión final
3	2025-02-18	Se dio concepto a las siguientes modificaciones: * Criterio para evaluar cumplimiento de la prueba de consigna. * Retiro de la prueba de control sin estatismo de tensión * Ampliación para opciones de entrega de certificados * En los requisitos de control, se hace referencia a los Acuerdos CNO 1921 y 1533, para dejar futuros cambios a estos dos Acuerdos ligados al de pruebas de tensión (1532)

1. OBJETO

Documentar el procedimiento general para realizar las pruebas requeridas para verificar las funcionalidades de control de tensión de las plantas eólicas y solares fotovoltaicas conectadas al SDL con Capacidad Efectiva Neta o Potencia Máxima Declarada igual o superior a 5 MW.

2. ALCANCE

El siguiente procedimiento especifica los pasos a seguir para verificar las funcionalidades de control de tensión de las plantas eólicas y solares fotovoltaicas conectadas al SDL con Capacidad Efectiva Neta o Potencia Máxima Declarada igual o superior a 5 MW, con el fin de asegurar que los resultados obtenidos cumplan con los requisitos establecidos en la regulación vigente. En el numeral 5 se especifican las diferentes pruebas a considerar.

3. DEFINICIONES

Actividad de autogeneración en el SIN.

Un agente será considerado como autogenerador cuando la energía producida para atender el consumo propio se entregue sin utilizar activos de uso de distribución y/o transmisión.

Capacidad efectiva Neta

De acuerdo con la Resolución CREG 081 de 2000 es la máxima capacidad de potencia neta (expresada en valor entero en MW) que puede suministrar una planta y/o unidad de generación en condiciones normales de operación, medida en la frontera comercial. Se calcula como la Capacidad Nominal menos el Consumo Propio de la planta y/o unidad de generación.

Consigna:

Orden emitida directa o indirectamente por el Centro de Control del OR tendiente a modificar el modo o la condición de operación de una instalación, de un equipo o de un sistema de control.

Control de Factor de Potencia:

Es la función que se encarga de controlar el factor de potencia en el punto de conexión de la planta de generación de energía renovable eólica o solar fotovoltaica, a través de parámetros ajustables.

Control de Potencia Reactiva:

Es la función que se encarga de controlar la potencia reactiva en el punto de conexión de la planta de generación de energía renovable eólica o solar fotovoltaica, a través de parámetros ajustables.

Control de Tensión:

Es la función que se encarga de controlar la tensión en el punto de conexión de la planta de generación de energía renovable eólica o solar fotovoltaica, a través de parámetros ajustables.

Estatismo en tensión (R_v)

Característica técnica definida en el Acuerdo CNO 1921 o aquel que lo modifique o sustituya

Generador:

Corresponde a cada unidad de generación que forma parte de una planta de generación de energía renovable eólica o solar fotovoltaica, por ejemplo: inversor, aerogenerador.

Planta de generación de energía renovable eólica o solar fotovoltaica:

Es el conjunto de generadores y todas las instalaciones y equipos necesarios para la vinculación de los generadores al punto de conexión de acuerdo con la normativa vigente.

Potencia Máxima Declarada:

Es la capacidad de energía que un autogenerador declara al centro nacional de despacho (CND) para entregar energía excedente a la red.

Potencia nominal:

Para efectos de este acuerdo se considera la potencia nominal como:

- a. Plantas de generación: La capacidad efectiva neta expresada en MW adicionando una precisión de dos cifras decimales
- b. Plantas autogeneración: La Potencia máxima declarada

Rango Operativo Normal de la Tensión en el SDL (Rango normal de operación)

Rango de tensiones admisibles, alrededor de la tensión nominal, para la operación continua en el SDL. El rango de operación normal está definido en el Capítulo 6 del Anexo General del Reglamento de Distribución de Energía Eléctrica

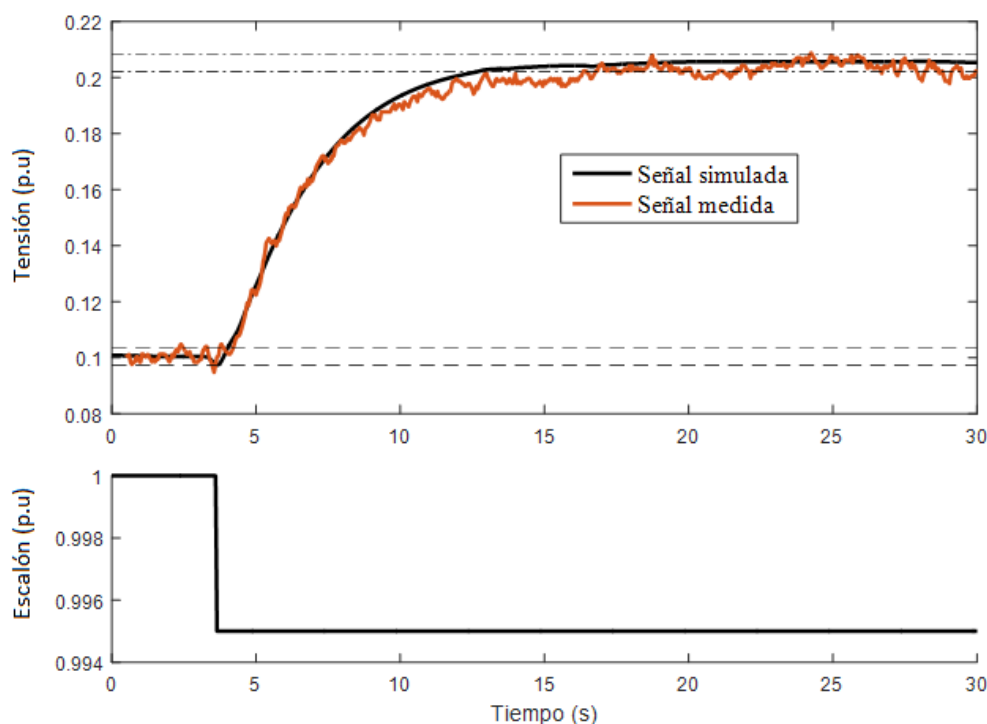
Sistema de control de la planta: Es el sistema centralizado de la planta que tiene la responsabilidad de controlar cada generador, a través de un sistema de comunicaciones dedicado. Dicho control tiene el objetivo de realizar la operación del equipo dentro de su curva de generación conforme a los respectivos modos de operación disponibles, por ejemplo: Control de potencia activa, reactiva, factor de potencia o tensión, según corresponda.

Tiempo de establecimiento (Te): Tiempo que tarda la señal en alcanzar y mantenerse dentro de una banda de $\pm 3\%$ del delta de cambio esperado alrededor de su valor final, ante una entrada escalón.

Tiempo de respuesta inicial (Tr): Tiempo que tarda la señal en alcanzar un $\pm 3\%$ del delta de cambio esperado alrededor de su valor de tensión inicial, ante una entrada escalón.

Unidades de Generación o Unidades Generadoras (UG)

Inversores solares fotovoltaicos o aerogeneradores individuales que conforman una planta de generación objeto de la resolución CREG 148 de 2021.



4. ACLARACIÓN PLANTAS DE AUTOGENERACIÓN

Para el caso de las plantas de autogeneración la medición puede llevarse a cabo en un punto diferente donde sea posible descontar la influencia del consumo del usuario autogenerador. Las diferencias esperadas entre el punto de medición y el Punto de Conexión (donde aplica el requerimiento) se calculan por medio de modelos matemáticos o de simulación con base en la impedancia de los elementos de red existentes entre el punto de medición de la prueba y el punto de conexión. Dichas diferencias deberán agregarse al valor medido en el informe de las pruebas.

Las condiciones para la realización de las pruebas en los proyectos de Autogeneración serán previamente coordinadas con el OR y el usuario final con el fin de evitar cualquier afectación en la calidad del servicio de este.

5. PRUEBAS DE VERIFICACIÓN DE FUNCIONALIDADES DE CONTROL

5.1 Pruebas a recepción de consignas tipo local o remoto

En este punto se evalúa la capacidad de las plantas objeto de este Acuerdo para recibir consignas de tipo local y/o remoto.

- **Pruebas considerando consignas de tipo local:**

Este procedimiento aplica para las plantas que admiten consignas de tipo local en al menos una de las siguientes variables: potencia reactiva o factor de potencia o tensión.

El propósito de este protocolo es verificar que la planta recibe y gestiona las consignas que aplican a modo local. Para esta verificación se debe coordinar con el Centro de Control del operador de red correspondiente quien indicará la consigna de la variable o variables que se puedan gestionar de forma local.

Se deben realizar dos cambios de consigna de la(s) variable(s) que reciban instrucción local, una ascendente y la otra descendente.

Se debe registrar en cada caso el valor de consigna indicado por el Centro de Control del OR correspondiente, y los registros de factor de potencia, potencia reactiva, tensión y potencia activa, todos vs. el tiempo, en el punto de conexión.

La evaluación del cumplimiento del requisito de cambio de consignas de forma local se realizará verificando que la planta alcance los valores de consigna definidos por el Centro de Control del OR. Las consignas deben realizarse considerando los rangos de cambio definidos en la Tabla 1 del presente Acuerdo. Para el caso de las consignas del modo de control de tensión con estatismo, se verificará la respuesta en la potencia reactiva en función del estatismo configurado teniendo en cuenta el cambio de consigna de tensión.

- **Pruebas considerando consignas de tipo remoto:**

Este procedimiento aplica para las plantas que admiten consignas de tipo remoto en al menos una de las siguientes variables: potencia reactiva o factor de potencia o tensión.

El propósito de este protocolo es verificar que la planta recibe y gestiona las consignas que aplican a control en forma remota. Para esta verificación el Centro de Control del OR enviará una consigna de forma remota ascendente y la otra descendente para la(s) variable(s) que reciban la instrucción de este modo.

Se debe registrar en cada caso el valor de consigna indicado por el Centro de Control del OR, y los registros de factor de potencia, potencia reactiva, tensión y potencia activa, todos vs. el tiempo, en el punto de conexión.

La evaluación del cumplimiento del requisito de cambio de consignas de forma remota se realizará verificando que la planta alcance los valores de consigna definidos por el Centro de Control del OR.

Las consignas deben realizarse considerando los rangos de cambio definidos en la Tabla 1 del presente Acuerdo. Para el caso de las consignas del modo de control de tensión con estatismo, se verificará la respuesta en la potencia reactiva en función del estatismo configurado teniendo en cuenta el cambio de consigna de tensión.

5.2 Pruebas de verificación de modos de control de tensión

Objeto:

Verificar el cumplimiento de los requerimientos de los modos de control de tensión, potencia reactiva y factor de potencia de las plantas eólicas y solares fotovoltaicas conectadas al SDL con Capacidad Efectiva Neta o Potencia Máxima Declarada igual o superior a 5 MW.

Detalle de las pruebas:

Se deben realizar pruebas tipo escalón a la potencia mínima (P_{min})¹ y a la potencia máxima disponible durante la prueba (P_{max} – Esta potencia máxima debe ser igual o superior al 80 % de la potencia nominal de la planta), para los tres modos de control.

La magnitud y número de escalones para cada modo de control se muestra en la Tabla 1.

Durante las pruebas se debe garantizar que no se superan los márgenes de potencia reactiva disponibles en la planta de generación. Se debe tener habilitada la función de aporte rápido de reactivos. Se deben tomar los siguientes registros con una resolución mínima de 100 muestras por segundo: Consigna, tensión, potencia activa y potencia reactiva de la planta vista en el punto de conexión (o un punto aguas debajo de la conexión entre la planta de generación y el usuario final para los casos de autogeneración).

Utilizando los registros obtenidos, para cada una de las pruebas realizadas se debe verificar en el registro de potencia reactiva medido en el punto de conexión que la planta no tenga un comportamiento oscilatorio sostenido (debido a su operación) y que tenga un tiempo de respuesta inicial menor a 2 segundos y un tiempo de establecimiento menor a 10 segundos. Este tiempo se cuenta a partir del envío de la consigna correspondiente. Se debe identificar que para cada escalón enviado se obtiene un control continuo².

TABLA 1. CARACTERÍSTICAS DE LAS PRUEBAS DE ESCALÓN

Modo de control	Número de escalones	Magnitud del escalón
Control de tensión con estatismo	Un escalón descendente en P_{min} y un escalón ascendente a la P_{max} disponible durante la prueba (Debe ser igual o superior al 80 % de la potencia nominal de la planta) en un valor medio del rango configurable del estatismo. Se debe reportar un documento del fabricante que especifique el rango en el que se puede configurar el estatismo. En caso de que no esté disponible se debe realizar adicionalmente la prueba en el mínimo y el máximo valor configurable del estatismo. En las pruebas se debe verificar que se obtiene la respuesta esperada según el estatismo definido para	$\pm(1 - 5)\%$ en la tensión de referencia. En caso de que se requiera, se puede considerar un escalón hasta el $\pm 10\%$ siempre y cuando esté validado con

¹ Corresponde al mínimo técnico de la planta o el mínimo valor de inyección de potencia activa al que pueda llevarse la planta al momento de la prueba.

² Estos valores pueden diferir para los casos en los cuales se permitan tiempos de establecimiento y respuesta inicial mayores a 10 y 2 segundos en los modos de control diferentes al de voltaje con estatismo, según lo establecido en el Acuerdo 1921 de 2025 o aquel que lo modifique o sustituya

	ello se debe calcular la relación entre la potencia reactiva y la tensión.	el OR. (Ejemplo: $0.9 - 0.92 \text{ p.u.}$) ³
Control de potencia reactiva	Un escalón ascendente a Pmin y un escalón descendente a Pmax disponible durante la prueba (La potencia máxima debe ser igual o superior al 80 % de la potencia nominal de la planta) en la región inductiva y un escalón descendente a Pmin y un escalón ascendente a Pmax disponible durante la prueba (La potencia máxima debe ser igual o superior al 80 % de la potencia nominal de la planta) en la región capacitiva.	$\pm(2 - 10)\%$ en la potencia reactiva con respecto a la potencia activa nominal de la planta
Control de factor de potencia ⁴	Un escalón ascendente a Pmin y un escalón descendente a Pmax disponible durante la prueba (La potencia máxima debe ser igual o superior al 80 % de la potencia nominal de la planta) en la región inductiva y un escalón descendente a Pmin y un escalón ascendente a Pmax disponible durante la prueba (La potencia máxima debe ser igual o superior al 80 % de la potencia nominal de la planta) en la región capacitiva.	Realizar un cambio en el fp que origine una variación en la potencia reactiva que esté entre $\pm(2 - 20)\%$ de la potencia activa nominal Ejemplo Para $P_n = 10 \text{ MW}$, el escalón en el fp puede estar en el rango de 0.2 a 2 MVAR

5.3 Verificación del comportamiento ante depresiones de tensión (LVRT) y sobretensiones (HVRT)

Esta verificación se realiza **para las unidades generadoras que conforman las plantas solares y eólicas objeto de este Acuerdo**, a través de:

- Un certificado de laboratorio, que deberá estar avalado por entidades a nivel nacional o internacional que estén acreditadas bajo la norma NTC-ISO/IEC 17065 para la certificación de productos, procesos o servicios bajo las normas IEC 61400-21, IEC 62910, o las normas nacionales o internacionales equivalentes o aquellas que las modifiquen o sustituyan y aplique para la tecnología que se está evaluando
- O un certificado emitido por el fabricante en el que se indique la norma o estándar utilizado y que cumple con la Regulación Colombiana.

³ Con base en la tensión nominal del Punto de Conexión

⁴ Escalón descendente significa reducir el factor de potencia tanto en lado capacitivo como inductivo

Para que el certificado sea aceptado se debe verificar el cumplimiento a los procedimientos definidos en las normas señaladas. Adicionalmente por medio de los certificados se debe verificar:

- a. El ajuste de las características mínimas de operación ante depresiones de tensión y sobretensiones para plantas eólicas y solares fotovoltaicas definidas por la regulación vigente (Ver Figura 1).⁵

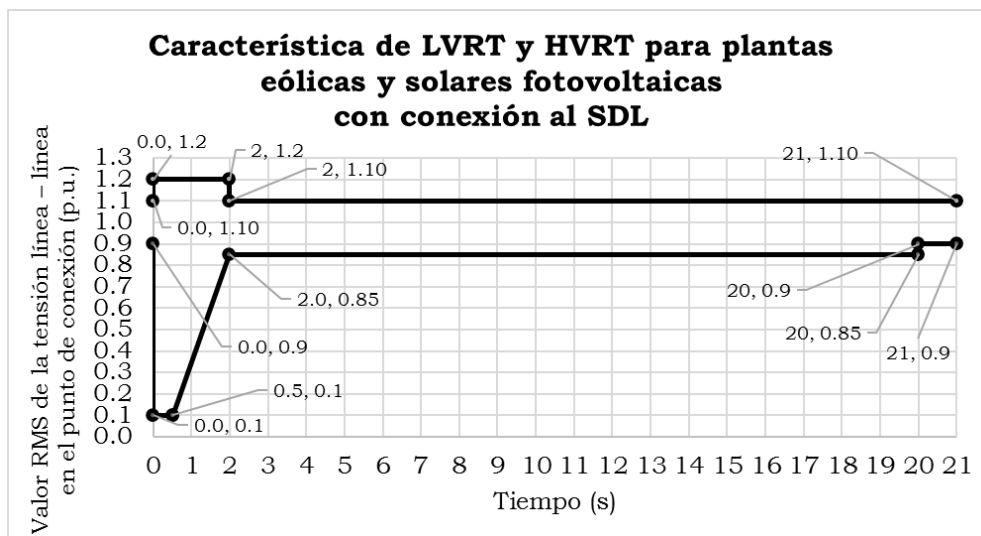


Figura 1

- b. La demostración de la soportabilidad de las unidades generadoras de las plantas eólicas y solares fotovoltaicas a depresiones sucesivas de tensión así:
 - Para plantas eólicas, si la energía disipada durante las depresiones de tensión es menor a la capacidad nominal del recurso de generación durante 2 segundos, contabilizada en una ventana móvil de 30 minutos.
 - Para plantas solares fotovoltaicas, deben soportar depresiones sucesivas separadas por 30 segundos entre depresión y depresión.
- c. La demostración de que una vez superada una depresión de tensión la unidad generadora tiene la capacidad de recuperar el 90% de la potencia activa que estaba suministrando antes de la depresión en un tiempo no superior a 1 segundo. Una depresión de tensión se considera superada cuando la tensión de línea-línea es mayor a 0.85 p.u.

5.4 Priorización de inyección de corriente reactiva

Esta verificación se realiza para las unidades generadoras que conforman las plantas solares y eólicas objeto de este Acuerdo, a través de:

⁵ La característica de la Figura 1 corresponde a un requerimiento mínimo. La capacidad para soportar las desviaciones de tensión demostrada puede ser de mayor duración en el tiempo que la indicada en la Figura 1

- Un certificado de laboratorio, que deberá estar avalado por entidades a nivel nacional o internacional que estén acreditadas bajo la norma NTC-ISO/IEC 17065 para la certificación de productos, procesos o servicios bajo las normas IEC 61400-21, IEC 62910, o las normas nacionales o internacionales equivalentes o aquellas que las modifiquen o sustituyan y aplique para la tecnología que se está evaluando
- O un certificado emitido por el fabricante en el que se indique la norma o estándar utilizado y que cumple con la Regulación Colombiana.

Para que el certificado sea aceptado se debe verificar el cumplimiento a los procedimientos definidos en las normas señaladas y el cumplimiento de los requisitos definidos en la Resolución CREG 148 de 2021 o aquella que la modifique o sustituya y el Acuerdo CNO 1533 o aquel que lo modifique o sustituya.

Si el fabricante cuenta con registros de pruebas para fallas asimétricas, los reportes que respalden los certificados deberán incluir los resultados de dichas pruebas.

6. INFORME DE RESULTADOS

Se debe enviar un informe al OR correspondiente y al CND (en los casos en que aplique) con los resultados de las pruebas que incluya como mínimo la siguiente información:

- a. Nombre de la planta
- b. Fecha de realización de las pruebas
- c. Información requerida en este anexo y en los Anexos 2 y 3 (los campos que apliquen). En caso de que esté disponible, se debe anexar el documento en donde el fabricante especifique el rango en el que se puede configurar el estatismo de tensión.
- d. Certificaciones para las curvas de comportamiento de depresiones de tensión (LVRT) y sobretensiones (HVRT) para los generadores de las plantas eólicas y solares fotovoltaicas y para la función de priorización de inyección de corriente reactiva según lo descrito en este Anexo. Se debe identificar la entidad que realiza las pruebas y la entidad que avala los certificados, demostrando el cumplimiento de los requisitos establecidos para estas. Asimismo, se deben presentar los resultados de las pruebas que sirven como base para certificar el cumplimiento de los requisitos establecidos.