

Anexo 1-Procedimiento General para la realización de pruebas de verificación de la curva de capacidad	Subcomité de Controles
---	------------------------



Revisión	Fecha	Descripción
0	2022-05-03	Actualización del Anexo 1
1	2024-03-18	Se incluyen los requisitos que aplican a los autogeneradores sin entrega de excedentes
2	2024-05-14	Se incluyen cambios considerando la posibilidad de realizar pruebas mínimo hasta el 90 % de la potencia nominal.

1. OBJETO

Documentar el procedimiento general para la realización de las pruebas de verificación de la curva de capacidad de las plantas eólicas y solares fotovoltaicas con punto de conexión en el STN o STR.

2. ALCANCE

El siguiente procedimiento especifica los pasos a seguir para la realización de las pruebas de verificación de la curva de capacidad y los criterios que deben cumplirse para asegurar que los resultados obtenidos cumplan con los requisitos establecidos en la regulación vigente y en el presente Acuerdo.

3. DEFINICIONES

Planta de generación de energía renovable eólica y 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 a la normativa vigente.

Potencia nominal de la planta de generación: Es la capacidad efectiva neta de la planta de generación¹².

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

Autogenerador sin entrega de excedentes: Es aquel generador que produce energía eléctrica exclusivamente para atender sus propias necesidades y que no entrega potencia activa en el punto de conexión.

Punto de conexión - *Point of interconnection* (POI): Punto en donde se conecta un recurso solar o eólico al STN/STR.

Punto de medida salida de planta - *Point of measurement* (POM): Punto de medición entre el lado de alto voltaje de salida de planta y el punto de conexión.

¹ Concepto CREG. Radicado S2019-004993 del 15 de agosto de 2019

² Para plantas de autogeneración sin entrega de excedentes, en la cual su CEN es 0 MW, se tomará como potencia nominal base, la declarada por el agente en el acuerdo CNO 1670 o aquel que lo sustituya o modifique Parámetro POTENCIA NOMINAL.

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.

Curva de Capacidad del Generador: Es la región limitada por la capacidad del generador para operar en forma segura. Esta región está definida por una combinación de potencias activa y reactiva como una función de la tensión de operación.

Curva de capacidad de la planta de generación de energía renovable eólica y solar fotovoltaica en el punto de conexión: Es la región de operación de la planta definida por una combinación de potencias activa y reactiva, vista en el punto de conexión de esta, que cumple con los requisitos establecidos en la regulación vigente.

Curva de capacidad de la planta de generación de energía renovable eólica y solar fotovoltaica en el lado de alta del transformador de generación: Es la región de operación de la planta definida por una combinación de potencias activa y reactiva, vista en el lado de alta del transformador de generación de esta, que cumple con los requisitos establecidos en la regulación vigente.

Control de Tensión de las plantas eólicas y solares fotovoltaicas con punto de conexión en el STN o STR: Es la función que se encarga de controlar la tensión en el punto de conexión de la planta de generación de energía renovable eólica y solar fotovoltaica, a través de parámetros ajustables.

Control de Potencia Reactiva de las plantas eólicas y solares fotovoltaicas con punto de conexión en el STN o STR: 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 y solar fotovoltaica, a través de parámetros ajustables.

Control de Factor de Potencia de las plantas eólicas y solares fotovoltaicas con punto de conexión en el STN o STR: 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 y solar fotovoltaica, a través de parámetros ajustables.

4. PROCEDIMIENTO

A continuación, se encuentra el procedimiento que se debe seguir desde el momento en que el agente declara al CND la intención de realización de las pruebas de verificación de la curva de capacidad, hasta que se presenta al Subcomité de Controles la solicitud de declaración/modificación de los parámetros con el concepto favorable del CND, para concepto técnico de la expedición del Acuerdo correspondiente.

4.1 FECHAS PARA LA REALIZACIÓN DE LAS PRUEBAS

Las pruebas de campo requeridas para verificar la curva de capacidad deberán coordinarse con el CND al menos con 15 días de antelación a la realización de estas, a fin de garantizar la seguridad operativa del Sistema. Para el caso de autogeneradores que no entregan excedentes; esta coordinación se realizará entre el agente generador, el OR correspondiente y el CND.

El CND analizará en la semana anterior la factibilidad de realizar estas pruebas. El agente realizará la oferta de estas pruebas de acuerdo con lo establecido en la regulación vigente, para el día y periodos analizados teniendo en cuenta el código de pruebas que aplica para la verificación de curva de carga. Producto de esta actividad de coordinación con el CND, pueden surgir reprogramaciones o consignas operativas para el periodo de las pruebas. Esta evaluación de factibilidad por parte del CND no aplica para autogeneradores que no entregan excedentes, en este caso será responsabilidad del OR evaluar la factibilidad y condiciones de las pruebas.

Cabe destacar que, cuando en las pruebas mencionadas no se puedan verificar todos los puntos, tanto para la entrega como para la absorción de potencia reactiva, de acuerdo con lo planeado; el agente tendrá seis intentos de solicitar las pruebas, de acuerdo con lo establecido en la Resolución CREG 044 de 2020 o aquella que la modifique o sustituya:

-En caso de que después de los 6 intentos no se tenga prueba exitosa por no alcanzar la potencia activa nominal durante las pruebas o al menos el 90 % de esta, los agentes deberán explicar las condiciones que no permitieron tener éxito en las pruebas y cuál será el plan de acción para conseguirlo. Esto se debe hacer ante el Subcomité de Controles y el Comité de Operación. Intento se define como la oferta de la prueba en el despacho considerando la

ventana de tiempo en la que se realizará la prueba (máximo 7 horas consecutivas).

Las pruebas se considerarán exitosas si se cumple con alguno de los 3 siguientes casos:

1. Se evalúan todos los puntos planeados durante pruebas en sitio.
2. Si para dar cumplimiento con la evaluación de los puntos a valores superiores al 90 % de la potencia nominal, el agente aporta registros operativos mostrando que se alcanzan los valores de Q tanto en absorción como en entrega de potencia para los puntos pendientes a evaluar por encima del 90 % de la potencia nominal, en el modo de control en el que se encuentre la planta. En este caso, los resultados deberán ser reportados por el agente al auditor, quien deberá verificar los registros correspondientes sin que se requiera en este caso su presencia en sitio e incorporar los mismos en el informe de auditoría.
3. Si durante los intentos realizados se alcanza un valor superior o igual al 90 % de la potencia nominal pero inferior a la capacidad nominal y no se cuenta con registros en los que se haya alcanzado los valores de Q tanto en absorción como en entrega de potencia para los puntos pendientes a evaluar por encima del 90 % de la potencia nominal en el modo de control en el que se encuentre la planta, se deberá aportar adicionalmente en el informe auditado, lo siguiente:
 - Ficha técnica provista por el fabricante de la curva de carga o familia de curvas de carga a nivel de inversor.
 - Utilizando el modelo preliminar, el agente deberá demostrar que la planta alcanza los puntos pendientes por evaluar superiores al 90 % de la potencia nominal.

Para el caso 3, luego de la entrada en operación de la planta, el agente tendrá 12 meses contados a partir de la fecha de prueba exitosa, en la que se alcanzó un valor igual o superior al 90 % de la potencia nominal, para enviar los resultados de las pruebas al CNO, mostrando que se alcanzan los valores de Q tanto en absorción como en entrega de potencia reactiva que se encuentran pendientes de verificación para valores superiores al 90 % de la potencia nominal. Para esto el agente podrá utilizar datos operativos considerando el modo de control en el que se encuentre la planta, o podrá realizar pruebas siguiendo lo establecido en el presente Acuerdo.

Para todos los casos, luego de la entrada en operación comercial de las plantas, el contador de intentos se llevará a cero y se reiniciará para las siguientes pruebas de la curva de carga que se realicen en el marco del presente Acuerdo.

-En caso de que una prueba no se pueda realizar por condiciones de seguridad de operación del sistema, esta no se considerará como un intento de prueba.

Para el caso de autogeneradores sin entrega de excedentes también se podrán considerar 6 intentos de prueba, pero en este caso se deberá coordinar la realización de esta con el OR y el CND, sin ingresar la solicitud de pruebas.

4.2 VERIFICACIONES Y REAJUSTES EN PLANTA POR PARTE DEL AGENTE QUE REALIZA LAS PRUEBAS

Para la realización de las pruebas se recomienda realizar las siguientes verificaciones:

Verificación de la planta

Se recomienda revisar que antes del inicio de las pruebas, los niveles de alarma y operativos de la planta y sus protecciones sean coherentes con las recomendaciones del fabricante.

Verificación de los transformadores elevadores

Se recomienda revisar que antes del inicio de las pruebas, los niveles de alarma y disparo de los transformadores elevadores sean coherentes con su clase de aislamiento y con sus especificaciones técnicas.

Verificación del controlador de la planta y compensaciones

Se recomienda revisar que antes del inicio de las pruebas, el controlador de planta y compensaciones (si están disponibles), hayan sido exitosamente comisionados, conforme a los diferentes modos de control disponibles.

4.3 REALIZACIÓN DE LAS PRUEBAS EN CAMPO EN LA REGIÓN DE ABSORCIÓN DE POTENCIA REACTIVA

Después de haber realizado las verificaciones iniciales, y de ser necesarios reajustes, se debe llevar a cabo el siguiente procedimiento, el cual aplica tanto para las pruebas auditadas en campo, como para las pruebas validadas por el auditor a través de registros.

1. Coordinar con el centro de control del CND el inicio de la prueba, el cual, a su vez, coordinará las consignas operativas requeridas antes y durante la prueba. Estas consignas pueden incluir consideraciones de topología y despacho particulares para los recursos de generación con el fin de evaluar la curva de cada planta de generación de energía renovable eólica y solar fotovoltaica. La planta se debe llevar a una de las potencias activas definidas para la prueba.

2. Asegúrese que la planta esté en modo de control automático de tensión con estatismo.

En caso de que el CND o el agente identifiquen la necesidad de realizar las pruebas iniciando en un modo de control diferente al de tensión, previa revisión conjunta y evaluación de la posibilidad de las condiciones del sistema por parte del CND, se podrá realizar la prueba considerando una alternativa diferente.

3. Durante la realización de esta prueba el agente generador registrará la potencia activa, reactiva y la tensión; en el punto donde se esté verificando el cumplimiento de la curva de carga según lo definido en el Artículo 4 del presente Acuerdo, con una resolución mínima de un dato por segundo utilizando un registrador con certificado de calibración vigente.

4. La realización de esta prueba requiere que la planta controle la variable que corresponda, según el modo de control que aplique, a un valor definido por el CND según las condiciones del sistema. Para lograr este valor, se pueden utilizar otras unidades de la zona de influencia, igualmente puede hacerse uso de equipos de compensación de reactivos o cambiadores de tomas de transformadores, en cuyo caso el CND coordinará las acciones necesarias para lograr el objetivo, sin violar los límites establecidos en tensiones o cargabilidad de elementos del sistema.

5. Si agotadas las consignas, la planta no puede llegar al límite esperado de absorción de potencia reactiva por condiciones del sistema, este punto será

declarado como Conforme y se consignará esta situación en el informe de resultados de la prueba.

6. Después de obtenido el valor de potencia reactiva máxima a la potencia activa seleccionada, la planta debe ser mantenida en este punto de operación mínimo durante 1 minuto para el registro de las variables de la prueba.

7. Una vez recolectados los datos para el primer punto de potencia activa en el modo de control de tensión con estatismo, se deberá realizar la misma verificación de la curva de carga en la potencia activa definida, cambiando el modo de control a potencia reactiva y factor de potencia, tomando los registros definidos en el paso 3 por un tiempo mínimo de 1 minuto para cada uno de los modos restantes. Previo al cambio del modo de control, se debe procurar que la consigna de la nueva variable a controlar sea igual o muy cercana a su medida en tiempo real, de forma que, al realizar el cambio del modo de control, se minimicen los cambios en el punto de operación. Según el caso la variable a controlar puede ser factor de potencia, potencia reactiva o tensión.

8. Una vez recolectados los datos para el primer punto de potencia activa en todos los modos de control, se debe realizar el mismo procedimiento anterior para los otros puntos acordados entre el CND y el agente, teniendo en cuenta lo establecido en el punto 5 del presente numeral.

9. En caso de que el mínimo técnico de la planta sea inferior al 10 % de la $P_{nominal}$, se deberá realizar una prueba en el mínimo técnico en modo control potencia reactiva considerando como referencia un valor de potencia reactiva del 10 % Q/P_n . Se deberá graficar la potencia reactiva en el punto de conexión y demostrar que esta es limitada a un valor igual o inferior a $5\%Q/P_n$ manteniendo condiciones de estabilidad. El valor en el que se limite la potencia reactiva será el valor a declarar para la potencia reactiva en el mínimo técnico de la planta.

Para los autogeneradores que no entregan excedentes; la coordinación durante todo el desarrollo de las pruebas en campo se realizará con el OR en lugar del CND.

4.4 REALIZACIÓN DE LA PRUEBAS EN CAMPO EN LA REGIÓN DE ENTREGA DE POTENCIA REACTIVA

Después de haber realizado las verificaciones iniciales, y de ser necesarios reajustes, se debe seguir el siguiente procedimiento, el cual aplica tanto

para las pruebas auditadas en campo, como para las pruebas validadas por el auditor a través de registros.

1. Coordinar con el centro de control del CND el inicio de la prueba, el cual, a su vez, coordinará las consignas operativas requeridas antes y durante la prueba. Estas consignas pueden incluir consideraciones de topología y despacho particulares para los recursos de generación con el fin de evaluar la curva de cada planta de generación de energía renovable eólica y solar fotovoltaica. La planta se debe llevar a una de las potencias activas definidas para la prueba.
2. Asegúrese que la planta esté en modo de control automático de tensión con estatismo. En caso de que el CND o el agente identifiquen la necesidad de realizar las pruebas iniciando en un modo de control diferente al de tensión, previa revisión conjunta y evaluación de la posibilidad de las condiciones del sistema por parte del CND, se podrá realizar la prueba considerando una alternativa diferente.
3. Durante la realización de esta prueba el agente generador registrará las potencias activa, reactiva y la tensión en el punto donde se esté verificando el cumplimiento de la curva de carga según lo definido en el Artículo 4 del presente Acuerdo, con una resolución mínima de un dato por segundo utilizando un registrador con certificado de calibración vigente.
4. La realización de esta prueba requiere que la planta controle la variable que corresponda, según el modo de control que aplique, a un valor definido por el CND según las condiciones del sistema. Para lograr este valor, se pueden utilizar otras unidades de la zona de influencia, igualmente puede hacerse uso de equipos de compensación de reactivos o cambiadores de tomas de transformadores, en cuyo caso el CND coordinará las acciones necesarias para lograr el objetivo, sin violar los límites establecidos en tensiones o cargabilidad de elementos del sistema.
5. Si agotadas las consignas, la planta no puede llegar al límite esperado de entrega de reactiva por condiciones del sistema, este punto será declarado como Conforme y se consignará esta situación en el informe de resultados de la prueba.

6. Después de obtenido el valor de potencia reactiva máxima a la potencia activa seleccionada, la planta debe ser mantenida en este punto de operación mínimo durante 1 minuto para el registro de las variables de la prueba.
7. Una vez recolectados los datos para el primer punto de potencia activa en el modo de control de tensión con estatismo, se deberá realizar la misma verificación de la curva de carga en la potencia activa definida, cambiando el modo de control a potencia reactiva y factor de potencia, tomando los registros definidos en el paso 3 por un tiempo mínimo de 1 minuto para cada uno de los modos restantes. Previo al cambio del modo de control, se debe procurar que la consigna de la nueva variable a controlar sea igual o muy cercana a su medida en tiempo real, de forma que, al realizar el cambio del modo de control, se minimicen los cambios en el punto de operación. Según el caso la variable a controlar puede ser factor de potencia, potencia reactiva o tensión.
8. Una vez recolectados los datos para el primer punto de potencia activa en todos los modos de control, se debe realizar el mismo procedimiento anterior para los otros puntos acordados entre el CND y el agente teniendo en cuenta lo establecido en el punto 5 del presente numeral.
9. En caso de que el mínimo técnico de la planta sea inferior al 10 % de la $P_{nominal}$, se deberá realizar una prueba en el mínimo técnico en modo control potencia reactiva considerando como referencia un valor de potencia reactiva del 10 % Q/P_n . Se deberá graficar la potencia reactiva en el punto de conexión y demostrar que esta es limitada a un valor igual o inferior a $5\%Q/P_n$ manteniendo condiciones de estabilidad. El valor en el que se limite la potencia reactiva será el valor a declarar para la potencia reactiva en el mínimo técnico de la planta.

Para los autogeneradores que no entregan excedentes; la coordinación durante todo el desarrollo de las pruebas en campo se realizará con el OR en lugar del CND.

5. CÁLCULO DE TOLERANCIAS ASOCIADAS AL RESULTADO DE LAS PRUEBAS

A continuación, se describe el procedimiento que debe ser usado para el cálculo del error de medición asociado a la potencia activa y la potencia reactiva registradas durante las pruebas de verificación de la curva de capacidad, con el cual se determina el cumplimiento de la prueba.

El cálculo del error está definido por las desviaciones porcentuales de los puntos de operación obtenidos durante las pruebas, con respecto a los puntos esperados. Estos errores se encuentran asociados a la cadena de medición de potencia activa y reactiva.

Teniendo como base los registros en el tiempo de cada uno de los puntos operativos logrados durante las pruebas, los errores de medición de transformadores de potencial y corriente y equipo de registro se define el siguiente procedimiento:

1. Cuando aplique, corregir los valores de potencia reactiva obtenidos durante la prueba calculando la potencia reactiva esperada a la tensión en el punto donde se verifica la curva según lo indicado en el Artículo 4 del presente Acuerdo.
2. Después de haber corregido por tensión la serie de datos de potencia reactiva, se promedian los valores obtenidos en el periodo de prueba y se obtiene un valor representativo para cada punto operativo evaluado.
3. Calcular el error de medición relativo asociado a PTs y CTs y al tipo de registrador, reportando la fuente bibliográfica que define el cálculo del equipo de medición correspondiente.
4. Graficar la curva de carga dada por los puntos P, Q que se definieron en la etapa de planeación. A esta curva se deben adicionar dos curvas que forman una envolvente conformada por la curva original considerando una tolerancia de $\pm 1\%$.
5. En la misma gráfica dibujar el valor promedio de los puntos medidos corregidos por tensión para cada punto operativo probado. A cada punto se debe adicionar y restar el error absoluto de medición, para generar un rectángulo representativo del error de medición en potencia reactiva.
6. La prueba se da como válida en la región de entrega de potencia reactiva si al menos un punto del rectángulo de tolerancia de error de medida, está dentro de la zona de tolerancia del 1%, para los puntos auditados en la prueba.

7. La prueba se da como válida en la región de absorción de potencia reactiva si al menos un punto del rectángulo de tolerancia por error de medida, está dentro de la zona de tolerancia del 1%, para los puntos auditados en la prueba.

5.1 Curva de carga definitiva

Una vez que el Agente, el OR (para los autogeneradores que no entregan excedentes) y el CND hayan verificado la capacidad de la planta para entregar y absorber potencia reactiva mediante la prueba correspondiente, el agente generador deberá declarar como nueva Curva de Carga, la región obtenida durante las pruebas de verificación en el punto donde se haya establecido, siguiendo lo indicado en el numeral 4 de este Acuerdo, siempre y cuando las mismas hayan sido exitosas. Esta declaración debe hacerse en un tiempo no superior a 15 días luego de recibir el concepto correspondiente del CND.

En caso de que durante la prueba de verificación de la curva de capacidad no se alcancen los valores de potencia reactiva esperados por que las condiciones del sistema de potencia no lo permiten, o porque las condiciones de tensión de la carga no lo permiten (para el caso de autogeneradores que no entregan excedentes), o porque la prueba se realiza a un valor igual o superior al 90 % de la potencia nominal pero inferior a la potencia nominal, el agente deberá declarar para aquellos puntos no validados r los valores de potencia reactiva esperados. En cualquier caso, si a nivel operativo se identifica un incumplimiento a la curva de carga, el CND lo informará al CNO.

5.2 Reprogramación de la prueba

En caso de que, durante una prueba de verificación de la curva de capacidad, el CND determine que por las condiciones de seguridad del Sistema la prueba no puede continuar, esta deberá ser reprogramada.

6. INFORME DE RESULTADOS

6.1 Informe preliminar

Inmediatamente finalizada una prueba de verificación de curva de capacidad, el agente responsable enviará mediante correo electrónico a despachoenergiacndxm@xm.com.co, cccnd@xm.com.co y controles@xm.com.co, un informe preliminar de los resultados obtenidos siguiendo el formato definido en el Anexo 2 del presente Acuerdo.

Para el caso de pruebas realizadas a los autogeneradores que no entregan excedentes, el informe preliminar se deberá enviar mediante correo electrónico a controles@xm.com.co y al OR correspondiente.

Este informe consiste en el diligenciamiento del formato en el que se consignan los puntos obtenidos de máxima entrega y absorción de potencia reactiva alcanzados durante la prueba, en comparación con los puntos previamente acordados con el CND.

6.2 Informe final

A más tardar 30 días calendario después de la realización de la prueba de verificación de la curva de capacidad, el agente debe entregar al CND el informe escrito del auditor en el que se detallen los resultados de las pruebas, además de los diferentes soportes técnicos de las mismas. Este informe debe contener como mínimo lo siguiente:

- Procedimiento o protocolo de pruebas detallado, que contenga fecha y hora precisas indicando cada una de las maniobras y consignas seguidas durante las pruebas en la planta.
- Certificado vigente de calibración del registrador de medidas.
- Curva de carga con los puntos acordados en la etapa de planeación de las pruebas y los puntos obtenidos durante estas.
- Gráficos que presenten la evolución en el tiempo de las principales variables de la planta medidas durante las pruebas en el punto donde se verificó la curva de carga con el uso del registrador de medidas:
 - Potencia activa
 - Potencia reactiva
 - Tensión
- Gráficos que presenten la evolución en el tiempo de variables adicionales medidas durante las pruebas. Estos pueden ser obtenidos del sistema SCADA u otro sistema de medición disponible en la planta:
 - Tensión en servicios auxiliares
 - Temperaturas que estén disponibles
 - Potencia activa, reactiva y tensión en el punto de conexión (aplica para el caso de autogeneradores que no entregan excedentes)
- Cálculo de los errores y tolerancias finales obtenidas con respecto a los puntos esperados en la etapa de planeación.

- Si es del caso, las justificaciones técnicas de limitaciones adicionales encontradas durante el desarrollo de las pruebas, que puedan limitar el alcance de los puntos previamente acordados, siempre y cuando los mismos superen la curva de referencia definida en el Numeral Cuarto del presente Acuerdo.
- Conclusiones, recomendaciones y veredicto final de la auditoría certificando los resultados de las pruebas, indicando si la prueba es exitosa o debe ser reprogramada, indicando las correcciones o modificaciones que deben ser realizadas.
- Firma de la auditoría.

En el Anexo 3 se presenta un ejemplo de informe de auditoría de las pruebas con la información descrita.