

## **ANEXO 1**

### **Procedimiento General para la Realización de Pruebas de Verificación de la curva de capacidad**

Octubre de 2020

## 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 generación<sup>1</sup>.

**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.

**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.

---

<sup>1</sup> Concepto CREG. Radicado S2019-004993 del 15 de agosto de 2019

**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 y 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 y solar fotovoltaica, a través de parámetros ajustables.

**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 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. 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.

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

-Se programarán únicamente los puntos de potencia reactiva a la potencia activa nominal.

-En caso de que después de los 5 intentos no se tenga prueba exitosa por no alcanzar la potencia activa nominal durante las pruebas, 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.

-En caso de que una prueba no se pueda realizar por causas ajenas al agente, esta no se considerará como un intento de prueba.

## **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 los generadores**

Se recomienda revisar que antes del inicio de las pruebas, los niveles de alarma y operativos del generador 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 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.

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 de XM, 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 de conexión 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 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 5 minutos 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, 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 adicional 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 XM y el agente, teniendo en cuenta lo establecido en el punto 5 del presente numeral.

Nota: Cuando la potencia activa disponible no alcance el valor nominal durante la primera prueba realizada y no se cuente con registros de operación, en los que se haya alcanzado de forma natural la potencia reactiva máxima de absorción a la potencia activa nominal, se podrá realizar la prueba a esta potencia, considerando los intentos definidos en este Acuerdo. En este último 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.

#### **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 la 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. 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 de XM, 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 de conexión 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 5 minutos 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, 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 adicional 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 XM y el agente teniendo en cuenta lo establecido en el punto 5 del presente numeral.

Nota: Cuando la potencia activa disponible no alcance el valor nominal durante la primera prueba realizada y no se cuente con registros de operación, en los que se haya alcanzado de forma natural la potencia reactiva máxima entrega a la potencia activa nominal, se podrá realizar la prueba a esta potencia, considerando los intentos definidos en este Acuerdo. En este último 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.

## **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 de conexión de la prueba.
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 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 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, el agente deberá declarar la curva de carga delimitada por los valores de potencia reactiva esperados.

### **5.2 Reprogramación de la prueba**

En caso 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 despachoenergiascndxm@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.



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 reactiva, 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 las pruebas.
- Gráficos que presenten la evolución en el tiempo de las principales variables de la planta medidas durante las pruebas en el punto de conexión 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
- 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 Procedimiento, 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.