

ANEXO A.

PRUEBAS QUE DEBEN REALIZAR LOS SAEB ANTES DE SU ENTRADA EN OPERACIÓN

A continuación, se definen los protocolos de las pruebas que deben realizar los SAEB antes de su entrada en operación comercial.

PROTOCOLO 1. VERIFICACIÓN DE LA CARACTERÍSTICA DE ACTIVACIÓN DEL SAEB POR OPERACIÓN PARA ALIVIO DE RESTRICCIONES.

1. OBJETO

Definir el procedimiento de las pruebas requeridas para verificar la correcta actuación del SAEB ante la activación de un esquema para alivio de restricciones.

2. ALCANCE

Este procedimiento aplica a los SAEB definidos para prestar la función de alivio de restricciones sistémicas según lo establecido en la Resolución CREG 098 del 2019.

3. PROCEDIMIENTO

Teniendo identificada la variable que debe activar la función y el umbral establecido para la misma que dependerá del punto de conexión y de la solución correspondiente, se debe realizar el siguiente procedimiento para verificar el funcionamiento del esquema de control asociado:

3.1. Evaluación de la respuesta del SAEB (RESTRICCIONES OPERATIVAS).

En este paso se debe verificar si el SAEB recibe consignas de potencia activa que se gestionen en un lapso no superior a 3 segundos. Para esto se deben realizar las siguientes verificaciones:

- Partiendo del estado de flotación del SAEB, se debe enviar desde el CND una consigna en forma de escalón de la potencia de referencia al SAEB correspondiente al 100 % de su capacidad (El valor del escalón podrá ser modificado por el CND en función de las condiciones de seguridad del sistema). Se debe verificar que el SAEB alcance el valor definido en un tiempo de establecimiento no superior a 3 segundos a partir del envío de la consigna del CND. Luego de esto se debe enviar una consigna de bajada desde el CND para verificar si el SAEB reduce la potencia tal como lo define la consigna enviada por el CND. Para esta acción se requiere que se reciban la señal desde el SAEB del estado de carga de este. Se debe verificar que el tiempo de retardo máximo entre la señal enviada y el valor obtenido en el SAEB sea de 2 segundos.
- Partiendo del estado de flotación del SAEB, se debe realizar a nivel local un escalón en la potencia de referencia del SAEB correspondiente al 100 % de su capacidad (El valor del escalón podrá ser modificado por el CND en función de las condiciones de seguridad del sistema). Se debe graficar el escalón inyectado en la misma ventana de tiempo de la potencia de salida del SAEB. Se debe verificar que el SAEB alcanza el valor de consigna en un tiempo de establecimiento no superior a 1

segundo. Los registros deben reportarse de forma que incluyan un segundo ante de la consigna y cuando se alcance el tiempo de establecimiento de la Potencia de salida del SAEB.

3.2. Evaluación de la respuesta del conjunto: control + SAEB.

En este paso se debe verificar el desempeño de la operación del esquema de control dispuesto para aliviar la restricción. Para esto se debe realizar la siguiente verificación:

Se deben inyectar señales en la(s) entrada(s) del control a través de la cuales se lleva a cabo la activación/desactivación del esquema de control, para verificar la correcta actuación de este: al menos una que no active el esquema de control y otra que lo active en el mínimo valor de funcionamiento de este. En todos los casos se debe registrar en una misma ventana de tiempo las señales que definen la actuación del esquema, el estado de carga del SAEB, la señal de salida del control al SAEB y la potencia de salida del SAEB. Los registros deben reportarse de forma que incluyan un segundo antes del cambio en la señal de entrada al control y cuando se alcance el tiempo de establecimiento de la potencia de salida del SAEB.

En esta prueba se debe verificar que:

Para el primer caso el SAEB permanezca en la consigna operativa que tenía antes de la inyección de la señal.

Para el segundo caso se alcanza el valor de consigna definido por la señal de entrada $\pm$ error de medición, en un tiempo de establecimiento no superior a 3 segundos, y que el valor de consigna definido por el control sea el requerido según el umbral de activación considerado.

PROTOCOLO 2. VERIFICACIÓN DE LA CARACTERÍSTICA DE LAS RAMPAS OPERATIVAS DE LOS SAEB CONECTADOS AL SIN (RESTRICCIONES ELÉCTRICAS).

1. OBJETO

Documentar el procedimiento general para la verificación de las rampas operativas de los SAEB conectados al SIN.

2. ALCANCE

Este procedimiento deberá ser realizado en todos los SAEB conectados al SIN.

3. PROCEDIMIENTO

3.1 Realizar dos escalones en la consigna operativa de potencia activa, uno ascendente y otro descendente considerando los tamaños de escalón definidos en la Tabla A1, de la capacidad nominal (Cn) del SAEB tanto para subir como para bajar teniendo en cuenta cada uno de los siguientes ajustes de rampa en una condición de flotación: Mínimo valor de rampa, un valor intermedio entre el mínimo valor de rampa y el 14% Cn/min considerando la granularidad del ajuste, el 14 % Cn/min, y el máximo valor que alcance si este es superior al 14 % Cn/min.

Capacidad máxima disponible (MW)	Tamaño del escalón
Hasta 20 MW	50 % del tamaño del rango
Mayor a 20 MW y hasta 50 MW	40 % del tamaño del rango
Mayor a 50 MW y hasta 100 MW	20 % del tamaño del rango
Mayor a 100 MW y hasta 200 MW	10 % del tamaño del rango
Mayor a 200 MW	3 % del tamaño del rango

Tabla A1. Tamaño de la rampa según rango de generación.

3.2 Registrar la potencia activa en cada caso con una resolución no inferior a 1 muestra por segundo.

3.3 Para cada caso (al menos 5 rampas de subida y 5 de bajada), se debe calcular el valor de rampa medido y diligenciar el Anexo 1. Para que la prueba sea considerada exitosa se debe asegurar que el valor del coeficiente de variación de estas rampas sea inferior al 15% y que el promedio de los datos tomados difiera del valor de rampa ajustado en menos del 2%, utilizando para su cálculo la Ecuación 1.

3.4 Se debe reportar la siguiente información:

- Rango de rampas en que puede operar la unidad de generación.
- Fecha y hora de las pruebas realizadas.
- Registros de potencia, potencia/frecuencia de referencia y frecuencia en formato txt y en formato gráfico, obtenidos durante las pruebas en los valores de rampa verificados y el valor del parámetro o parámetros ajustados para lograr la rampa requerida.
- Cálculo de las rampas, cálculo del coeficiente de variación y del error final.

PROTOCOLO 3. VERIFICACIÓN DE LA CARGA/DESCARGA DEL SAEB.

1. OBJETO

Verificar la característica de carga y descarga de los SAEB conectados al SIN.

2. ALCANCE

El siguiente procedimiento especifica los pasos a seguir para verificar la característica de carga y descarga de los SAEB conectados al SIN.

3. PROCEDIMIENTO

Para la prueba de carga se debe partir del estado de carga mínimo del SAEB y una potencia activa igual a cero. En este estado, se debe enviar una consigna igual a la máxima potencia activa de absorción del SAEB, la cual se debe mantener hasta que el SAEB llegue a su máximo estado de carga teniendo en cuenta el perfil de carga del SAEB. El tiempo de carga del SAEB que se debe declarar es igual al tiempo que tarda el SAEB en llegar a su máximo estado de carga. En caso de que no sea posible por restricciones del sistema llevar el SAEB a su máxima potencia en carga, el CND definirá el valor de consigna de la potencia activa. En este último caso el tiempo de carga deberá extrapolarse según la potencia alcanzada. Como resultado de esta prueba se debe enviar la consigna de potencia activa Vs tiempo, la potencia activa del SAEB en el punto de conexión vs tiempo y el estado de carga vs tiempo.

Para la prueba de descarga se debe partir del estado de carga máximo del SAEB y una potencia activa igual a cero. En este estado, se debe enviar una consigna igual a la máxima potencia activa de entrega del SAEB, la cual se debe mantener hasta que el SAEB llegue a su mínimo estado de carga teniendo en cuenta el perfil de descarga del SAEB. El tiempo de descarga del SAEB que se debe declarar es igual al tiempo que tarda el SAEB en llegar a su mínimo estado de carga. En caso de que no sea posible por restricciones del sistema llevar el SAEB a su máxima potencia en descarga, el CND definirá el valor de consigna de la potencia. Como resultado de esta prueba se debe enviar la consigna de potencia activa Vs tiempo, la potencia activa del SAEB en el punto de conexión vs tiempo y el estado de carga vs tiempo.

PROTOCOLO 4. VERIFICACIÓN DE RECEPCIÓN DE CONSIGNAS TIPO LOCAL Y REMOTO ASOCIADAS AL CONTROL DE TENSIÓN DE LOS SAEB.

1. OBJETO

Evaluar la capacidad de los SAEB para recibir consignas de tipo local y remota.

2. ALCANCE

El siguiente procedimiento especifica los pasos a seguir para verificar la adecuada recepción de consignas tanto de forma local y remota de control de tensión, potencia reactiva y factor de potencia de los SAEB conectados al SIN.

3. PROCEDIMIENTO

Se debe enviar una consigna tal que se evite activar los márgenes de potencia reactiva disponibles en el SAEB. En caso de que por las condiciones del nodo de conexión no se logre alcanzar la consigna dada, se debe demostrar que el SAEB realiza el control máximo posible en el punto de conexión alcanzando el valor máximo de potencia reactiva según su curva de carga.

Se debe tener habilitada la función de aporte rápido de reactivos y verificar que la misma no se active. Esta verificación se debe realizar mediante la evaluación de la respuesta en el tiempo de la potencia activa y la velocidad de aporte de potencia reactiva del SAEB.

Pruebas considerando consignas de tipo local: Este procedimiento aplica para la verificación de consignas de tipo local para las siguientes variables: potencia reactiva, factor de potencia y tensión, considerando respectivamente la operación del SAEB en modo control de potencia reactiva, factor de potencia y tensión.

Para esta verificación se debe coordinar con el CND el valor de la consigna. En el momento de la prueba se deberá coordinar con la sala de control del CND la posibilidad de iniciar estas pruebas. Se deben realizar dos cambios de consigna de las variables (potencia reactiva, factor de potencia y tensión), una ascendente y otra descendente. Se debe registrar en cada caso el valor de consigna, 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 el SAEB alcance los valores de consigna definidos. La consigna implementada, deberá ser tal que:

- El cambio en la tensión no exceda el $\pm 2\%$ del valor inicial.
- El cambio en la potencia reactiva no exceda el $\pm 10\%$ del valor inicial.
- El cambio en el factor de potencia no exceda el $\pm 2\%$ del valor inicial.

Se deben consignar los resultados de las pruebas en los formatos que se encuentran en el Anexo 2 del presente documento.

Pruebas considerando consignas de tipo remoto: Este procedimiento aplica para la verificación de consignas de tipo remoto para las siguientes variables: potencia reactiva, factor de potencia y tensión, considerando respectivamente la operación del SAEB en modo control de potencia reactiva, factor de potencia y tensión.

El propósito de este protocolo es verificar que el SAEB recibe y ejecuta las consignas que aplican a control en forma remota. Para esta verificación el CND enviará una consigna de forma remota ascendente y otra descendente para cada una de las variables (potencia reactiva, factor de potencia y tensión). Se debe registrar en cada caso el valor de consigna indicado por el CND, 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 el SAEB alcance los valores de consigna definidos por el CND.

Las consignas enviadas desde el CND, deberán ser tales que:

- El cambio en la tensión no exceda el $\pm 2\%$ del valor inicial.
- El cambio en la potencia reactiva no exceda el $\pm 10\%$ del valor inicial.
- El cambio en el factor de potencia no exceda el $\pm 2\%$ del valor inicial.

Se deben consignar los resultados de las pruebas en los formatos que se encuentran en el Anexo 2 del presente documento.

Las pruebas de verificación de consignas se consideran exitosas si se verifica que se reciben y ejecutan de forma local y remota las consignas de: tensión, potencia reactiva y factor de potencia en los modos de control correspondientes. En caso de que no se alcance el valor de la consigna, se debe calcular el error de medición asociado a PTs y CTs y al tipo de registrador y reportar la fuente bibliográfica que define el cálculo del error de los equipos de medición correspondientes.

PROTOCOLO 5. VERIFICACIÓN DE MODOS DE CONTROL DEL REGULADOR DE TENSIÓN.

1. OBJETO

Verificar el cumplimiento de los requerimientos de los modos de control del regulador de tensión que corresponden a: tensión, potencia reactiva y factor de potencia de los SAEB conectados al SIN.

2. ALCANCE

El siguiente procedimiento especifica los pasos a seguir para verificar el adecuado desempeño de los modos de control del regulador de tensión de los SAEB conectados al SIN.

3. PROCEDIMIENTO

Se deben realizar pruebas tipo escalón con los SAEB en las siguientes condiciones operativas: P_{min} , 50 % y 90 % de la capacidad nominal en cada uno de los modos de control. La magnitud y número de escalones para cada modo de control se muestra en la Tabla A2. Durante las pruebas se debe garantizar que no se superan los márgenes de potencia reactiva disponibles en el SAEB. 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 del SAEB en el punto de conexión.

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 el SAEB 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 continuo.

Modo de control	Número de escalones	Magnitud del escalón
Control de tensión sin estatismo	Un escalón ascendente a Pmin del SAEB y un escalón descendente al 90 % de la capacidad nominal del SAEB.	$\pm 2\%$ en la tensión (Ejemplo: 0.9 – 0.92 p.u)
Control de tensión con estatismo	Un escalón ascendente a Pmin del SAEB y un escalón descendente al 90 % de la capacidad nominal del SAEB. Se debe reportar un documento del fabricante que especifique el rango en el que se puede configurar el estatismo. En caso de que el documento 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 ello se debe calcular la relación entre la potencia reactiva y la tensión.	$\pm 2\%$ en la tensión (Ejemplo: 0.9 – 0.92 p.u)
Control de potencia reactiva	Un escalón ascendente a Pmin SAEB y un escalón descendente al 90 % de la capacidad nominal del SAEB en la región inductiva y a Pmin del SAEB y un escalón descendente al 90 % de la capacidad nominal del SAEB en la región capacitiva.	$\pm 2\%$ en la potencia reactiva
Control de factor de potencia	Un escalón ascendente a Pmin del SAEB y un escalón descendente al 90 % de la capacidad nominal del SAEB en la región inductiva y un	$\pm 2\%$ en el factor de potencia

	escalón ascendente a $P_{min}\%$ y un escalón descendente al 90 % de la capacidad nominal del SAEB en la región capacitiva.	(Ejemplo fp: 0.9 – 0.95)
--	---	--------------------------

Tabla A2. Características de las pruebas de escalón

Se deben consignar los resultados de las pruebas en los formatos que se encuentran en el Anexo 3 del presente documento.

PROTOCOLO 6. VERIFICACIÓN DE LA CURVA DE CARGA DE LOS SAEB.

1. OBJETO

Verificar el cumplimiento de los requerimientos asociados a la curva de carga de los SAEB conectados al SIN.

2. ALCANCE

El siguiente procedimiento especifica los pasos a seguir para verificar la curva de carga de los SAEB conectados al SIN.

3. 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.

- 3.1. **CURVA DE REFERENCIA:** Los SAEB conectados al SIN deben cumplir como mínimo en el punto de conexión con la curva de capacidad definida en el Numeral 3 del Documento de Requisitos técnicos de los SAEB.
- 3.2. **DEFINICIÓN DE PUNTOS A PROBAR:** Con base en la curva de carga declarada por el agente que debe cumplir con los requerimientos de curva de referencia definidos en el Numeral 3 del *Documento de requisitos técnicos de los SAEB*, los Agentes y el CND acordarán los puntos operativos en el plano P – Q de los SAEB que serán sometidos a prueba. Como mínimo se deberán verificar dos (2) puntos en la zona de subexcitación y dos (2) puntos en la zona de sobreexcitación para las potencias correspondientes al mínimo técnico, un valor intermedio y la potencia nominal del SAEB. Con base en las condiciones del Sistema y características de la curva de carga, pueden considerarse más de dos puntos de prueba en cada región para mejorar la precisión de la curva a declarar.

3.3. CUMPLIMIENTO DE LA PRUEBA DE VERIFICACIÓN DE CURVA DE CARGA:

Se entenderá que las pruebas de verificación de la curva de capacidad son exitosas, si se alcanzan los puntos definidos en el presente documento, o mínimamente los puntos definidos por la curva de referencia en el punto de conexión, y se sostienen los valores de potencia reactiva en cada punto de prueba en los tiempos de duración y con las tolerancias que se definen en el presente documento.

Durante pruebas en campo se debe verificar la potencia reactiva asociada al mínimo técnico, a un valor intermedio y a la capacidad nominal del SAEB tanto para la región de subexcitación como de sobreexcitación.

Si la prueba no se puede llevar a cabo por las condiciones del SIN en la fecha programada, ésta deberá ser reprogramada de común acuerdo entre el CND y el agente, una vez se restablezcan las condiciones operativas propicias para la prueba.

3.4. REPORTE DE CURVA DE CAPACIDAD EN EL PUNTO DE CONEXIÓN PARA LOS SAEB: Los agentes representantes de los SAEB que se conectarán al STN y STR deben reportar al CND la curva PQ dentro del rango normal de operación según lo previsto en la regulación vigente.

Asimismo el agente debe suministrar la función matemática o una familia de curvas con un paso de tensión de 0.01 p.u desde una tensión en el punto de conexión de 0.9 p.u a 1.1 p.u, que permita calcular la potencia reactiva de acuerdo con la tensión que se tenga en el punto de conexión.

3.5. AUDITORÍA DE LAS PRUEBAS: Las funciones del auditor de las pruebas para verificar la curva de carga de los SAEB son:

- Verificar conjuntamente con el CND si las condiciones del sistema para las pruebas están dadas y si las mismas pueden realizarse.
- El auditor deberá verificar el cumplimiento de la prueba conforme a lo establecido en el presente documento.
- Verificar la obtención de registros de la prueba con el uso de un registrador con certificado de calibración con una vigencia menor o igual a 5 años.
- Reportar los resultados de las pruebas de acuerdo con lo definido en el presente documento.
- Elaborar el informe preliminar según lo definido en el Anexo 4 del presente documento, al finalizar la prueba y el informe detallado cuya mínima información se presenta en el Anexo 5 del presente documento.

3.6. FECHAS PARA LA REALIZACIÓN DE LAS PRUEBAS DE VERIFICACIÓN DE LA CURVA DE CARGA

Las pruebas de campo requeridas para verificar la curva de capacidad de los SAEB 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.

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

3.7. **VERIFICACIONES Y REAJUSTES POR PARTE DEL AGENTE QUE REALIZA LAS PRUEBAS**

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

- 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 del SAEB 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.

3.8. **REALIZACIÓN DE LAS PRUEBAS DE VERIFICACIÓN DE CURVA DE CARGA 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.

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 el SAEB con el fin de evaluar la curva de cada SAEB. El SAEB se debe llevar a una de las potencias activas definidas para la prueba.
2. Asegúrese que el SAEB 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 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 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 el SAEB 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, el SAEB 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, el SAEB debe ser mantenido 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 el CND y el agente.

3.9. REALIZACIÓN DE LAS PRUEBAS DE VERIFICACIÓN DE LA CURVA DE CARGA EN LA REGIÓN DE ENTREGA DE POTENCIA REACTIVA

Después de haber realizado las verificaciones iniciales, y de ser necesarios reajustes, se debe llevar a cabo el siguiente procedimiento.

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 SAEB. El SAEB se debe llevar a una de las potencias activas definidas para la prueba.
2. Asegúrese que el SAEB 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 el 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 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 el SAEB 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, el SAEB no puede llegar al límite esperado de entrega 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, el SAEB debe ser mantenido 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 el CND y el agente.

3.10. **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, de corriente y el 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.

3.11. **CURVA DE CARGA DEFINITIVA**

Una vez que el Agente y el CND hayan verificado la capacidad del SAEB para entregar y absorber potencia reactiva mediante la prueba correspondiente, el agente representante del SAEB deberá declarar como 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 carga no se alcancen los valores de potencia reactiva esperados porque 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.

El CND realizará seguimiento al cumplimiento de la curva de carga, en caso de que no se cumpla con la curva de carga declarada, el agente representante del SAEB deberá realizar nuevamente las pruebas de verificación de curva de carga definidas en el presente Acuerdo.

3.12. **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.

En caso de que las pruebas no sean exitosas, estas deberán ser reprogramadas por el agente en coordinación con el CND.

3.13. **INFORME DE RESULTADOS**

3.13.1. **Informe preliminar**

Inmediatamente finalizada una prueba de verificación de curva de carga, 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 4 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.

3.13.2. Informe final

A más tardar 30 días calendario después de la realización de la prueba de verificación de la curva de carga, 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 el SAEB.
- 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 del SAEB 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 el SAEB:

- 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 3 del presente Acuerdo.
- Conclusiones, recomendaciones y veredicto 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 5 se presenta el contenido del informe de auditoría de las pruebas con la información descrita.

PROTOCOLO 7. VERIFICACIÓN DE LAS CURVAS DE COMPORTAMIENTO DE DEPRESIONES DE TENSIÓN (LVRT) Y SOBRETENSIONES (HVRT).

1. OBJETO

Verificar el cumplimiento de los requerimientos asociados a las curvas de comportamiento de depresiones de tensión (LVRT) y sobretensiones (HVRT) de los SAEB conectados al SIN.

2. ALCANCE

El siguiente procedimiento especifica los pasos a seguir para verificar las curvas de comportamiento de depresiones de tensión y sobretensiones de los SAEB conectados al SIN.

3. PROCEDIMIENTO

Esta verificación se realiza a través de un certificado de laboratorio o de fábrica, que deberá estar avalado por entidades a nivel nacional o internacional que estén acreditadas bajo la norma NTC-ISO/IEC 17065 (o aquellas normas equivalentes o las que la modifiquen o sustituyan) para la certificación de productos, procesos o servicios bajo la norma IEC 61400-21 (o aquella que la modifique o sustituya) que aplica a inversores de plantas eólicas, e IEC 62910 (o aquella que la modifique o sustituya) que aplica a inversores asociados a plantas solares fotovoltaicas).

Para la verificación, se aceptarán también las normas nacionales o internacionales equivalentes a las mencionadas en el párrafo anterior, siempre y cuando apliquen a la realización de las pruebas de verificación de las curvas de comportamiento de depresiones de tensión (LVRT) y sobretensiones (HVRT) para los SAEB.

Para que el certificado sea aceptado, debe incluir la verificación del cumplimiento de los procedimientos definidos en las normas señaladas y el cumplimiento de los siguientes requisitos:

- a) Demostrar que el ajuste de las características de operación ante depresiones de tensión y sobretensiones cumple con los requerimientos definidos en el Numeral 4 del presente Acuerdo.
- b) El hueco de tensión se considera superado cuando la tensión de línea – línea es mayor a 0.85 p.u. Una vez superado el hueco de tensión, el SAEB debe recuperar el 90% de la potencia activa que estaba suministrando antes del hueco en un tiempo no superior a 1 segundo.
- c) Para el caso de los SAEB conectados en 500 kV, el límite superior de la curva es 1.05 p.u, en vez de 1,1 p.u.

PROTOCOLO 8. VERIFICACIÓN DE LA PRIORIZACIÓN DE INYECCIÓN DE CORRIENTE REACTIVA.

1. OBJETO

Verificar el cumplimiento de los requerimientos asociados a la priorización de corriente reactiva de los SAEB conectados al SIN.

2. ALCANCE

El siguiente procedimiento especifica los pasos a seguir para verificar el cumplimiento de los requerimientos asociados a la priorización de corriente reactiva de los SAEB conectados al SIN.

3. PROCEDIMIENTO

Esta verificación se realiza a través de un certificado de laboratorio o de fábrica, que deberá estar avalado por entidades a nivel nacional o internacional que estén acreditadas bajo la norma NTC-ISO/IEC 17065 (o aquellas normas equivalentes o las que la modifiquen o sustituyan) para la certificación de productos, procesos o servicios bajo la norma IEC 61400-21 (o aquella que la modifique o sustituya) que aplica a inversores de plantas eólicas, e IEC 62910 (o aquella que la modifique o sustituya) que aplica a inversores de plantas solares fotovoltaicas).

Para la verificación, se aceptarán también las normas nacionales o internacionales equivalentes a las mencionadas en el párrafo anterior, siempre y cuando apliquen a la realización de las pruebas de verificación de priorización de inyección de corriente reactiva para los SAEB.

Para que el certificado sea aceptado, debe incluir la verificación del cumplimiento de los procedimientos definidos en las normas señaladas y el cumplimiento de los siguientes requisitos:

- a. Priorización de la inyección de corriente reactiva de forma que alcance un 90% del valor final esperado en un tiempo de respuesta inferior a 50 ms, con una tolerancia del 20%, ante desviaciones de tensión que excedan los límites operativos de la tensión nominal. El tiempo de respuesta definido incluye la duración de detección de la falla.

El valor del delta de cambio de inyección de corriente reactiva (ΔI_r), en el punto de conexión, se calcula de acuerdo con la Figura A10:

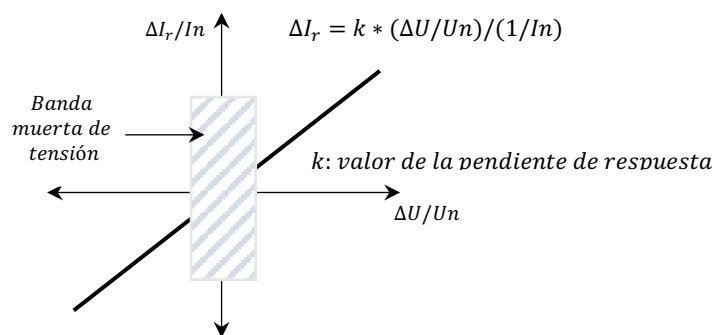


Figura A10. Función de priorización de inyección de corriente reactiva

Para la figura anterior, se deben tener en cuenta los siguientes criterios:

ΔI_r es el valor de la siguiente relación:

$$\Delta I_r = \frac{k * (\Delta U / U_n)}{(1 / I_n)}$$

Donde:

ΔI_r : es la variación de corriente reactiva respecto al valor de corriente reactiva que tenía antes del evento

I_n : es la corriente nominal

ΔU : es la variación de tensión respecto al valor de tensión que tenía antes del evento

U_n : es la tensión nominal

k : valor de la pendiente de respuesta. Debe ser ajustable con valores entre 0 y 10

- b. Limitación del aporte de potencia reactiva adicional al 100% de la corriente nominal de cada inversor.

- c. Sostenimiento del aporte de potencia reactiva adicional siempre que la tensión esté por fuera del rango normal de operación.
- d. Se debe mantener un aporte de potencia reactiva por 500 ms después de que la tensión entre a la banda muerta manteniendo un aporte adicional proporcional a la desviación de la tensión con respecto al valor de referencia (1 p.u).
- e. Posibilidad de configurar la ganancia k en cada inversor. Debe demostrarse que al menos es configurable entre 0 y 10.
- f. Demostrar rango de ajuste de la banda muerta.

PROTOCOLO 9. VERIFICACIÓN DE RECEPCIÓN DE CONSIGNAS DE POTENCIA ACTIVA DE FORMA LOCAL

El propósito de este protocolo es verificar que el SAEB recibe y gestiona consignas de potencia activa de forma local. Para esta verificación se deben realizar dos cambios de consigna de potencia activa al SAEB, uno descendente y uno ascendente, de máximo 10% de la capacidad nominal del SAEB con una velocidad igual a la máxima rampa operativa definida en el presente Acuerdo.

Se deben presentar las señales de potencia activa en el punto de conexión vs tiempo y la potencia de referencia en el punto de conexión vs. tiempo. La información se debe reportar considerando lo definido en el Anexo 6. La evaluación del cumplimiento del requisito de cambio de consignas de forma local se realizará verificando que el SAEB alcance la potencia de consigna.

PROTOCOLO 10. VERIFICACIÓN DE RECEPCIÓN DE CONSIGNAS DE POTENCIA ACTIVA DE FORMA REMOTA

El propósito de este protocolo es verificar que el SAEB recibe y gestiona consignas de potencia activa de forma remota.

Para esta verificación el CND enviará una consigna de forma remota ascendente y la otra descendente para la potencia activa. Se debe registrar en cada caso el valor de consigna indicado por el CND, y los registros de potencia activa vs. el tiempo en el punto de conexión. La información se debe reportar considerando lo definido en el Anexo 6. La evaluación del cumplimiento del requisito de cambio de consignas de forma remota se realizará verificando que el SAEB alcance los valores de consigna definidos por el CND. La consigna deberá ser tal que el cambio esperado en la potencia activa no exceda el $\pm 10\%$ del valor inicial.

ANEXO B. REQUERIMIENTOS DE MODELOS PRELIMINARES Y VALIDADOS DE LOS SAEB

A continuación, se presentan los requerimientos de los modelos preliminares y validados de los SAEB definidos en el Numeral 6 del presente Acuerdo.

AB.1 REQUERIMIENTOS PARA LOS MODELOS PRELIMINARES DE LOS SAEB

Los agentes representantes deben reportar los modelos preliminares de los SAEB en la herramienta de simulación que utiliza el CND, los cuales deben permitir simular correctamente con un paso de integración de 10 ms y no presentar problemas de estabilidad al integrarse a la Base de Datos -BD del sistema completo. Estos modelos deben reportarse con una anticipación mínima de 6 meses antes de la entrada en operación comercial de los SAEB.

Los modelos preliminares deben representar las características estáticas y dinámicas de los SAEB en el punto de conexión incluyendo: aporte de corriente de corto circuito para fallas desbalanceadas en el sistema y energía máxima que soporta ante huecos sucesivos de tensión.

Para lograr el cumplimiento de lo anterior la representación reportada por parte de los agentes, en la herramienta de simulación del CND, debe incluir como mínimo la información que se detalla a continuación y que se representa en la Figura B1:

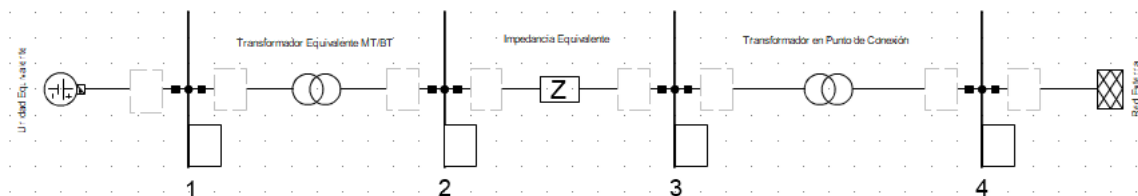


Figura B1. Representación de mínima información requerida para el modelo preliminar de los SAEB

- El transformador en punto de conexión AT/MT (3-4).
- Sistemas auxiliares.
- El transformador equivalente MT/BT (1-2). Se debe reportar los parámetros característicos del transformador, el fabricante y el número de transformadores en paralelo.
- Impedancia equivalente de línea entre el lado de media tensión de los transformadores de los inversores y el lado de media tensión del transformador de conexión. (Nodo 2- Nodo 3).
- Transformador zigzag de conexión a tierra, según su ubicación

La representación del SAEB debe realizarse a través de modelos agregados que cumplan con las siguientes características:

- **Unidad Equivalente:** Se define como unidad que agrega inversores. Las unidades equivalentes comparten todas las características indicadas a continuación:
 - Tipo de inversor utilizado por los SAEB (fabricante, modelo, capacidad).
 - Impedancia equivalente vista por cada inversor desde terminales hasta el punto de conexión. Para determinar la impedancia se debe realizar un agrupado de cada uno de los colectores de todo el SAEB y realizar escalones de 10% en el punto de conexión para la frecuencia y la tensión. Se considera que un par de impedancias se pueden unificar (calcular el paralelo) si la potencia activa, reactiva y tensión medidas en el punto de conexión de las unidades equivalentes de cada colectora presenta una desviación máxima del 1% para estas variables.
 - Configuraciones de los relés de protección de los inversores.
 - Configuración de controladores y de valores de referencia de control: Hace referencia a los mismos ajustes de los parámetros de los controladores a nivel de inversor.
 - Control de planta.
- **Diagramas de bloques en dominio de Laplace** del controlador de planta, controles eléctricos donde se identifiquen claramente las siguientes funciones y el valor de los parámetros correspondientes.
 - Control de tensión (estatismo, respuesta rápida de corriente reactiva, curva de carga, modos de control: factor de potencia, potencia reactiva, tensión). En caso de que se requiera una compensación adicional para cumplir con la curva de carga en el punto de conexión, se debe reportar el modelo del elemento correspondiente, así como también los filtros de armónicos que se incorporen en el SAEB.
 - *Voltage Ride Through*: Soportabilidad para eventos de tensión.
 - Velocidad de toma de carga o velocidad de descarga.
 - *Frequency Ride Through*: Soportabilidad para eventos de frecuencia.
 - Rampa de entrada y salida.
 - Modo de control ante fallas simétricas y asimétricas (Corriente balanceada, P constante, Q constante).
 - Valores de corto circuito para los inversores: parámetros subtransitorio pico, subtransitorio para fallas trifásicas, subtransitorio para fallas bifásicas,

subtransitorio para fallas monofásicas, en estado estable, de secuencia negativa.

El modelo debe operar adecuadamente en todo el rango declarado del SAEB incluyendo condiciones derrateadas por mantenimiento de inversores.

Reporte de la información

El representante del SAEB deberá enviar al CND la Base de Datos (BD) con el modelo RMS de este en la herramienta de simulación del CND y el modelo EMT en la herramienta definida por el CND y un informe con el detalle del SAEB considerando como mínimo la siguiente información:

- Nombre del SAEB
- Ubicación geográfica del SAEB
- Capacidad nominal
- Número de inversores con su respectivo nombre de modelo y de fabricante.
- Tiempos de carga y descarga definidos desde carga mínima a carga máxima y viceversa.
- Unifilar con las características de conexión del SAEB,
- El transformador MT/BT. Se debe reportar los parámetros característicos del transformador, el fabricante y el número de transformadores en paralelo.
- Transformador de conexión AT/MT: Información de placa.
- Longitud de los circuitos de conexión.
- Compensación adicional que se vaya a incluir para cumplir con los requisitos de curva de carga en el punto de conexión. Se debe describir el tipo de compensación (capacitiva, inductiva, fija, SVC, STATCOM) y la capacidad nominal.
- Representación del modelo de los servicios auxiliares con su respectivo consumo.
- Descripción de los agregados considerados, indicando claramente la justificación para definirlos, el número de inversores que se incluyen en cada uno.
- Número de controladores de planta y diagrama de bloques correspondiente. Descripción de las funciones que se encuentran representadas en el citado diagrama de bloques, con su respectiva parametrización y justificación para el ajuste considerado. La justificación debe

incluir pruebas de simulación reproducibles en la base de datos que se entrega para lo que se deben incluir en la misma los casos de estudio considerados. En estas pruebas se debe identificar el cumplimiento de los tiempos y características de respuesta definidos en el presente Acuerdo.

- Modelo en diagrama de bloques del control eléctrico de cada uno de los agregados incluyendo descripción de las funciones que se encuentran representadas en el citado diagrama de bloques, con su respectiva parametrización y justificación para el ajuste considerado. La justificación debe incluir pruebas de simulación reproducibles en la base de datos que se entrega para lo que se deben incluir en la misma los casos de estudio considerados. En estas pruebas se debe identificar el cumplimiento de los tiempos y características de respuesta definidas en el presente Acuerdo. Asimismo, se deben realizar pruebas para evaluar el desempeño de los SAEB ante fallas trifásicas, bifásicas y monofásicas desbalanceadas en el punto de conexión. Se debe indicar claramente cómo debe realizarse el ajuste de los parámetros para habilitar las funciones definidas, que se encuentran implementadas en el control eléctrico de las unidades equivalentes.
- Modelo EMT del SAEB en la herramienta utilizada por el CND
- Parametrización del SAEB
- Velocidad de toma de carga: Puede ser un único valor en MW/minuto para el rango entre la Pmin y la capacidad nominal del SAEB. El reporte se realizará mediante la herramienta que el CND disponga y deberá considerar los valores definidos en la Tabla B1.

Límite Inferior [MW]	Limites Superior [MW]	Velocidad de toma de carga [MW/Minuto]
----------------------	-----------------------	--

Tabla B1. Formato de reporte de información de la velocidad de toma de carga

- Velocidad de descarga: Puede ser un único valor en MW/minuto para el rango entre la capacidad nominal del SAEB y la Pmin. El reporte se realizará mediante la herramienta que el CND disponga y deberá considerar los valores definidos en la Tabla B2.

Límite Inferior [MW]	Limites Superior [MW]	Velocidad de descarga [MW/Minuto]
----------------------	-----------------------	-----------------------------------

Tabla B2. Formato de reporte de información de la velocidad de descarga

AB.2 REQUERIMIENTOS DE LOS MODELOS VALIDADOS RMS PARA LOS SAEB

A continuación, se presenta el procedimiento que debe llevarse a cabo para validar los modelos de los SAEB.

AB.2.1 ESTABILIDAD DE LOS CONTROLES DE GENERACIÓN Y LOS MODELOS VALIDADOS CORRESPONDIENTES. Los Agentes representantes de los SAEB deberán verificar las condiciones de estabilidad de los controles de los SAEB y los modelos validados correspondientes en operación sincronizada a la red, evaluando la estabilidad de los controles y los modelos correspondientes en condiciones de P_{min} , un valor intermedio y a la capacidad nominal del SAEB.

AB.2.2 PARÁMETROS REQUERIDOS DEL SAEB. Los Agentes representantes de los SAEB deben determinar los parámetros del modelo que mejor representen la dinámica de este, considerando elementos como líneas de transmisión, compensadores, transformadores, inversores, o cualquier otro parámetro físico o eléctrico que afecte el comportamiento estático o dinámico del SAEB. Se debe proporcionar mínimo la siguiente información:

- Tipo de conexión (Por ejemplo: 3PH, 3PH-E)
- Número de inversores en el SAEB.
- Corriente directa máxima que soporta cada inversor.
- Capacidad nominal del SAEB.
- Características de los sistemas de compensación de reactivos (capacidad, tensión nominal, reactancia), si aplica.
- Datos de placa de los transformadores de conexión AT/MT y el de cada unidad equivalente (MT/BT).
- Parámetros de las líneas que conectan el SAEB al punto de conexión (Reactancia, longitud, capacidad nominal, entre otros.). Estas líneas incluyen las asociadas a cada unidad equivalente y a todo el SAEB.
- Sistemas auxiliares.
- Impedancias equivalentes de línea entre el lado de media tensión de los transformadores de los inversores y el lado de media tensión del transformador de conexión.
- Transformador zigzag de conexión a tierra, según su ubicación.
- Número de unidades equivalentes.

Para definir la validez del modelo del SAEB y sus parámetros correspondientes, la reproducción de las diferentes pruebas realizadas por el Agente se hará en la herramienta de simulación dinámica del CND. Los resultados de las simulaciones serán comparados con los resultados de las pruebas en campo y se aplicarán los índices de evaluación indicados en el presente documento con el fin de verificar la validez de los modelos.

AB.2.3 ENTREGA DE RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE VALIDACIÓN DE LOS MODELOS DE LOS CONTROLES Y PARÁMETROS DE LOS SAEB. Los Agentes representantes de los SAEB mediante comunicación oficial deben enviar al CND en los medios que este defina para este fin la siguiente información:

- Informe de resultados donde se describan: la metodología utilizada, las pruebas realizadas y los resultados obtenidos en el proceso de validación de los modelos de control y los parámetros del SAEB.
- Modelos del SAEB y sus controles asociados en la herramienta de simulación utilizada por el CND.
- Datos necesarios para reproducir los registros de pruebas y las simulaciones en formato de texto (.txt).

AB.2.4 REVISIÓN DEL INFORME DE RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE VALIDACIÓN DE LOS MODELOS DE LOS CONTROLES Y PARÁMETROS DE LOS SAEB. El informe entregado por el Agente debe contener como mínimo la información solicitada en el presente Acuerdo. En caso de que el Agente no presente la información requerida, el CND le informará al Agente en un plazo máximo de 15 días calendario dicha situación para que este, en un plazo de 15 días calendario contados a partir de recibida la comunicación, envíe al CND el informe incluyendo los datos faltantes. A partir de la primera entrega, se seguirán aplicando plazos de 15 días calendario para revisión y reporte de información faltante tanto para el Agente como para el CND y el incumplimiento de estos plazos será reportado al CNO. Cuando se superen 3 entregas del informe en donde se evidencie la falta de la misma información solicitada, la situación deberá ser justificada en el CNO a través de correo electrónico y socializada en la reunión posterior de este para definir el compromiso de entrega definitiva. En todo caso, los tiempos que se incluyen en esta revisión deberán ser tales que la actualización de los modelos no supere 6 meses tras la primera comunicación del CND.

Para cumplir con los requerimientos de los modelos validados, el Agente representante del SAEB debe realizar pruebas de validación en las que se pueda contrastar la respuesta del sistema real con la simulada con el modelo obtenido. En el presente Acuerdo, se presenta una guía de pruebas mínimas que deben ser realizadas para verificar la validez de los modelos de los controles de generación. Lo anterior sin perjuicio de que puedan incluirse pruebas adicionales a las presentadas.

Independientemente de las pruebas que se realicen sobre el SAEB, las mismas deben desarrollarse a potencias correspondientes a P_{min} , un valor intermedio y a la capacidad nominal declarada, y deben considerarse perturbaciones en las que se exciten las dinámicas lineales y no lineales de los equipos modelados (Se deben considerar dinámicas no lineales tales como la limitación por curva de carga de entrega y absorción de reactivos, límites por temperatura, entre otros. Esto sin perjuicio de que se validen las otras funciones de limitación encontradas en el SAEB). Adicionalmente, el Agente representante del SAEB debe verificar que existe coherencia al comparar las curvas correspondientes del sistema real con las del sistema simulado, utilizando los modelos obtenidos. Una vez el CND reciba

oficialmente el informe de resultados por parte del Agente, el CND debe verificar dicha coherencia con base en los índices de comparación de curvas establecidos en el presente documento. Esta verificación debe hacerse sobre al menos las siguientes variables:

- **Control de Potencia Reactiva/Tensión:** voltaje en el punto de conexión del SAEB, potencia reactiva de cada unidad equivalente, potencia reactiva en el punto de conexión del SAEB.
- **Control para alivio de restricciones:** En este caso se analiza la operación del esquema de control para alivio de restricciones incluyendo el tiempo de operación del SAEB, la variable a analizar es la potencia de salida del SAEB en el punto de conexión
- **Perfil de carga:** Estado de carga del SAEB
- **Perfil de descarga:** Estado de carga del SAEB
- **Inyección rápida de reactivos y Voltage Ride Through:** Tensión en el punto de conexión, potencia activa en el punto de conexión y potencia reactiva en el punto de conexión.
- **Validación de la limitación de rampas operativas:** potencia activa en el punto de conexión

Para las pruebas realizadas sobre los controladores se deben tomar mínimo 100 muestras por segundo hasta que se logre la estabilización de la señal, lo cual se logra cuando se alcance un punto de operación que ingrese y permanezca dentro de la banda de $\pm 3\%$ del cambio esperado alrededor del valor final.

Durante la prueba de modelamiento de cada unidad equivalente se debe garantizar que estarán disponibles y en servicio, al menos, el 10% de los inversores que conforman dicha unidad equivalente, aproximando este valor al entero mayor más próximo.

AB.2.5 EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE LOS MODELOS VALIDADOS. Una vez el CND reciba el informe completo, revisará los modelos validados de los controles del SAEB a los que hace referencia el presente Acuerdo en un plazo máximo de 15 días calendario contados a partir de la recepción de este. Esta revisión realizada en la herramienta de simulación dinámica utilizada por el CND incluirá la verificación de la estabilidad de los modelos. En caso de presentarse diferencias entre la respuesta del modelo suministrado y el comportamiento real, teniendo en cuenta los requerimientos considerados en el presente Acuerdo, el CND informará tal situación al Agente, para que se dé inicio a la revisión del modelo y si es necesario, realizar las respectivas correcciones.

En caso de que el Agente deba realizar correcciones al modelo, tendrá un plazo de 30 días calendario contados a partir de la comunicación del CND, para presentar nuevamente el

modelo validado y estable. A partir de la primera entrega, se seguirán aplicando plazos de 15 días calendario para revisión y entrega del modelo validado tanto para el Agente como para el CND y el incumplimiento de estos plazos será reportado al CNO cuando se superen 3 entregas del modelo validado sin cumplir con los requisitos establecidos. En este caso se podrán coordinar reuniones entre el agente y el CND para aclarar las diferencias encontradas y la situación deberá ser justificada al CNO. En todo caso, los tiempos que se incluyen en esta revisión deberán ser tales que la aprobación final del modelo por parte del CND se haga dentro de los 6 meses siguientes a la notificación inicial asociada al informe enviada al agente.

Adicionalmente a la información reportada por el agente, el CND podrá verificar la validez de los modelos del SAEB y sus controles utilizando registros diferentes a los utilizados en la etapa de levantamiento de modelos.

El CND podrá solicitar pruebas de reajuste a los controles y de requerirse la validación, cuando se presenten condiciones dinámicas del sistema que requieran reajuste de los parámetros de los controles del SAEB. Estos reajustes serán realizados en coordinación con el Agente de conformidad con lo establecido en el presente Acuerdo.

AB.2.6 DECLARACIÓN DE LOS PARÁMETROS DEL SAEB Y LOS MODELOS DE SUS CONTROLES ASOCIADOS. Una vez el CND de concepto favorable a la validez de los modelos, el Agente tendrá máximo 15 días calendario para enviar al CND la actualización de los parámetros correspondientes teniendo en cuenta la regulación vigente.

AB.2.7 ÍNDICES DE EVALUACIÓN PARA VERIFICAR LA VALIDEZ DE LOS MODELOS

El principio esencial de la validación de la respuesta dinámica de un modelo es que éste, al ser integrado en el programa de simulación utilizado por el CND para el planeamiento del SIN, permita reproducir dentro de niveles aceptables de precisión la respuesta real de los elementos modelados ante pruebas o perturbaciones en diferentes condiciones operativas.

Con el fin de contar con modelos útiles para el análisis y planeamiento del SIN, los Agentes representantes de los SAEB deben garantizar que la respuesta real y la simulada, utilizando los modelos validados, sean coherentes en los siguientes aspectos:

- Forma general de las curvas para las distintas pruebas de validación que se desarrollen, incluyendo la magnitud y velocidad de la respuesta
- Tiempo de establecimiento, tiempo de respuesta inicial, tiempo de retardo, sobreimpulso
- Bandas muertas
- Valores iniciales y finales

Con el fin de verificar que las curvas sean coherentes de acuerdo con los parámetros y características señaladas, se determinarán los índices de evaluación que se presentan a continuación:

Error absoluto del sobreimpulso (ES)

Es la diferencia absoluta entre los sobreimpulsos en porcentaje.

$$ES = |SI_R - SI_S|$$

Con:

$$SI = \frac{v_{\max} - v_f}{v_f - v_i} \times 100$$

Donde:

SI_R : Sobreimpulso de la señal real tomada durante la prueba

SI_S : Sobreimpulso de la señal simulada tomada del modelo

$v_{\max}$: Valor máximo de la curva

v_f : Valor final de la curva

v_i : Valor inicial de la curva

Error relativo en el tiempo de retardo (ETR)

Este error está basado en el tiempo de retardo, el cual se define como el tiempo necesario para que la señal alcance un 50% del valor final. El error relativo en el tiempo de retardo será la diferencia absoluta relativa entre los tiempos de retardo real y simulado.

$$ETR = \left| \frac{TR_R - TR_S}{TR_R} \right| \times 100$$

Donde:

TR_R : Tiempo de retardo de la señal real tomado durante la prueba

TR_S : Tiempo de retardo de la señal simulada tomado con base en el modelo

Error relativo en el tiempo de establecimiento (ETE)

Este error está basado en el tiempo de establecimiento, el cual se define como el tiempo necesario para que la señal ingrese en una banda de $\pm 3 \%$ del tamaño del escalón alrededor del valor final. El error relativo en el tiempo de establecimiento será la diferencia absoluta relativa entre los tiempos de establecimiento real y simulado.

$$ETE = \left| \frac{TE_R - TE_S}{TE_R} \right| \times 100$$

Donde:

TE_R : Tiempo de establecimiento de la señal real tomado durante la prueba

TE_S : Tiempo de establecimiento de la señal simulada tomado con base en el modelo

Error relativo en el tiempo de respuesta inicial (ETRI)

Este error está basado en el tiempo de respuesta inicial, el cual se define como el tiempo necesario para que la señal salga de la banda de $\pm 3 \%$ del tamaño del escalón alrededor del valor inicial. El error relativo en el tiempo de respuesta inicial será la diferencia absoluta relativa entre los tiempos de respuesta inicial real y simulado.

$$ETRI = \left| \frac{TRI_R - TRI_S}{TRI_R} \right| \times 100$$

Donde:

TRI_R : Tiempo de respuesta inicial de la señal real tomado durante la prueba

TRI_S : Tiempo de respuesta inicial de la señal simulada tomado con base en el modelo

Error relativo del valor final (EVF)

Este error se define como la diferencia entre los valores finales alcanzados por las señales real y simulada, con base en la señal real.

$$EF = \left| \frac{vf_R - vf_S}{vf_R - vi_R} \right| \times 100$$

Donde:

vf_R : Valor final real de la señal obtenida con base en la prueba.

vf_S : Valor final de la señal simulada obtenida con base en el modelo.

vi_R : Valor inicial real de la señal obtenida con base en la prueba.

Coeficiente de Correlación Lineal (CCL):

Este error es una medida de la relación lineal entre la señal real con la simulada.

$$CCL = \frac{\sum_{i=1}^n (R_i - \bar{R})(S_i - \bar{S})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (R_i - \bar{R})^2 \sum_{i=1}^n (S_i - \bar{S})^2}}$$

Donde:

R_i : Es el i-ésimo valor de la señal real proveniente de la prueba.

S_i : Es el i-ésimo valor de la señal simulada proveniente del modelo.

$\bar{R}$: Es el valor promedio de la señal real proveniente de la prueba.

$\bar{S}$: Es el valor promedio de la señal simulada proveniente del modelo.

ERROR ABSOLUTO MEDIO NORMALIZADO (EAMN):

Este error es el promedio del valor absoluto de las diferencias punto a punto entre la señal real y la señal simulada.

Cada punto de las señales debe estar normalizado por el mínimo valor entre el aporte de la señal real y la señal simulada. Se define aporte de la señal real como la máxima diferencia entre la señal real y el valor inicial y aporte de la señal simulada como la máxima diferencia entre la señal simulada y el valor inicial. El error se reporta en porcentaje.

$$EAMN = 100 * \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |(\bar{R}_i - \bar{S}_i)|$$

Donde,

$\bar{R}_i$: Es el i-ésimo valor de la señal real proveniente de la prueba normalizado por el mínimo valor entre el aporte de la señal real y la simulada.

$\bar{S}_i$: Es el i-ésimo valor de la señal simulada proveniente del modelo normalizado por el mínimo valor entre el aporte de la señal real y la simulada.

n : Es el número de muestras de las señales.

ERROR COMBINADO (EC):

Es el error que considera el EAMN y el CCL

$$EC = \frac{EAMN + 100(1 - CCL)}{2}$$

Los valores de referencia para los índices de coherencia, las pruebas y las señales sobre las que estos se aplican, son definidos en la Tabla B3 para el control de tensión/potencia reactiva, en la Tabla B4 para los perfiles de carga y descarga y en las Tablas B5 y B6 para el control por alivio de restricciones:

Prueba	Señal	Índice	Valor de referencia
Escalón en la tensión de referencia.	Tensión en punto de conexión	ES	<=10%
		EVF	<=5%
		ETR	<=5%
		ETE	<=5%
		ETRI	<=5%
		CCL	>=0.75
		EAMN	<=12%
	Q	ES	<=15%
		EVF	<=10%
		ETR	<=5%
		ETE	<=5%

		ETRI	$\leq 5\%$
		CCL	≥ 0.75
		EAMN	$\leq 12\%$
1. Registros durante eventos del sistema	V_{poi}, Q	EC	$\leq 20\%$

Tabla B3. Índices de coherencia para el modelo del control de tensión/potencia reactiva.

Prueba	Señal	Índice	Valor de referencia
Consigna de carga/descarga	Carga/descarga del SAEB y potencia activa medida en el punto de conexión	ES	$\leq 10\%$
		EVF	$\leq 5\%$
		ETR	$\leq 5\%$
		ETE	$\leq 5\%$
		ETRI	$\leq 5\%$
		CCL	≥ 0.75
		EAMN	$\leq 12\%$

Tabla B4. Índices de coherencia para el modelo del perfil de carga, perfil de descarga

Prueba	Señal	Índice	Valor de referencia
Validación de esquema de control para alivio de restricciones: tiempo de respuesta	Potencia activa medida en	ES	$\leq 10\%$
		EVF	$\leq 2\%$
		ETR	$\leq 2\%$

	el punto de conexión	ETE	$\leq 2\%$
		ETRI	$\leq 2\%$

Tabla B5. Índices de coherencia para el modelo del esquema de control para alivio de restricciones: tiempo de respuesta

Prueba	Señal	Índice	Valor de referencia
Validación de esquema de control para alivio de restricciones: operación del esquema	Potencia activa medida en el punto de conexión	ES	$\leq 10\%$
		EVF	$\leq 2\%$
		ETR	$\leq 2\%$
		ETE	$\leq 2\%$
		ETRI	$\leq 2\%$
		CCL	≥ 0.75
		EAMN	$\leq 12\%$

Tabla B6. Índices de coherencia para el modelo del esquema de control para alivio de restricciones: operación del esquema

Se considera que un modelo pasa exitosamente la etapa de validación, si todos los índices de coherencia para cada nivel de carga, calculados para cada prueba, son menores o iguales a los valores de referencia indicados en las Tabla B3 a B6. De lo contrario, el CND informará al Agente sobre los índices incumplidos para que este realice los ajustes necesarios en el modelo o en el sistema si no se cumple con los requisitos mínimos establecidos en el presente Acuerdo.

Los umbrales de tolerancia definidos en las Tablas B4 a B6 podrán ser revaluados a valores inferiores de acuerdo con las condiciones particulares de cada proyecto según los requerimientos definidos por la UPME.

AB.2.8 GUÍA DE PRUEBAS MÍNIMAS PARA REALIZAR LA VALIDACIÓN DE LOS MODELOS DE CONTROL DE LOS SAEB.

A continuación se presenta una guía con pruebas que como mínimo deben ser realizadas para verificar la validez de los modelos de los controles de los SAEB. Tener en cuenta los siguientes aspectos generales:

- Todas las protecciones y los limitadores del sistema de control del SAEB deben estar en servicio durante cualquier prueba en línea o fuera de línea.
- Para las pruebas relacionadas se deben tomar mínimo 100 muestras por segundo hasta que la señal se estabilice.
- Antes de comenzar las pruebas deben definirse los grupos bajo los cuales se va a realizar la definición de las unidades equivalentes, de acuerdo con los criterios de agrupación establecidos en el presente Acuerdo.
- **Validación del modelo del control de potencia reactiva/tensión por unidad equivalente**

La validación del modelo del control de potencia reactiva/tensión debe hacerse en vacío y para tres niveles de carga del conjunto de inversores que componen todas las unidades equivalentes (en P_{min} , en carga media -en estado de carga y descarga- y al 90 % de la capacidad nominal-en estado de carga y descarga), en modo control automático, y se deben realizar como mínimo las siguientes pruebas:

- Prueba en vacío. Esta prueba debe realizarse en los casos en los que se cuente con la tensión de referencia requerida para operación en vacío. En este caso se debe determinar la respuesta al escalón con uno de los inversores que componen la unidad equivalente en vacío con el control de potencia reactiva/tensión en modo de control de tensión. La prueba debe realizarse tanto en condiciones en las que se exciten todas las dinámicas no lineales del modelo en operación en vacío (limitadores de corriente reactiva) como en condiciones en las que no se activen estas no linealidades. Se deben verificar los siguientes requerimientos:
 - El escalón en la referencia del voltaje en terminales del inversor debe ser al menos un 2% del voltaje nominal del inversor.
 - Se debe almacenar el registro de el voltaje en terminales del inversor el cual será utilizado como variable de comparación para realizar la validación del modelo.
 - Se deben comparar los registros almacenados del sistema real con la respuesta del modelo. Se debe verificar una coherencia entre la forma de la curva, el valor inicial, el tiempo de retardo, el sobreimpulso, el tiempo de establecimiento, el tiempo de respuesta inicial, la magnitud y el valor final.
- Determinar la respuesta al escalón con los inversores que componen cada una de las unidades equivalentes del SAEB, sincronizados a la red y con el control de potencia reactiva/tensión configurado en los 3 modos de control (tensión, potencia reactiva y factor de potencia) en las condiciones de carga definidas. Las pruebas deben realizarse tanto en condiciones en las que se exciten todas las dinámicas no lineales del modelo

(Limitadores de potencia reactiva) como en condiciones en las que no se activen estas no linealidades. Se deben verificar los siguientes requerimientos:

- Para cada caso se deben aplicar al menos dos escalones en la referencia del voltaje de los inversores que hacen parte de la unidad equivalente, uno ascendente y otro descendente, con una variación no inferior al 2% del voltaje nominal del punto.
- Se deben almacenar los registros de al menos la potencia reactiva de la unidad equivalente y el voltaje en el punto de conexión, los cuales serán utilizados como variables de comparación para realizar la validación del modelo.
- Se deben comparar los registros almacenados del sistema real con la respuesta del modelo. Se debe verificar una coherencia entre la forma de la curva, el valor inicial, el tiempo de retardo, el sobreimpulso, el tiempo de establecimiento, el tiempo de respuesta inicial, la magnitud y el valor final.
- **Validación del modelo del control de potencia reactiva/tensión para el control centralizado**

La validación del modelo del control de potencia reactiva/tensión debe hacerse para tres niveles de carga del SAEB (Pmin, en carga media -en estado de carga y descarga- y al 90 % de la capacidad nominal-en estado de carga y descarga), en modo control automático. Para los niveles de carga baja y media se deben probar al menos dos combinaciones diferentes de inversores de tal forma que se logre la misma potencia activa y se deben realizar como mínimo las siguientes pruebas:

- Determinar la respuesta al escalón con el SAEB sincronizado con el control de potencia reactiva/tensión configurado en los 3 modos de control (tensión, potencia reactiva y factor de potencia) en las condiciones de carga definidas. Las pruebas deben realizarse tanto en condiciones en las que se exciten todas las dinámicas no lineales del modelo (Limitadores de potencia reactiva) como en condiciones en las que no se activen estas no linealidades. Se deben verificar los siguientes requerimientos:
 - Para cada caso se deben aplicar al menos dos escalones en la referencia del voltaje en el punto de conexión, uno ascendente y otro descendente, con una variación no inferior al 2% del voltaje nominal del SAEB.
 - Se deben almacenar los registros de al menos el voltaje en el punto de conexión, y potencia reactiva en este punto, los cuales serán utilizados como variables de comparación para realizar la validación del modelo.
 - Se deben comparar los registros almacenados del sistema real con la respuesta del modelo. Se debe verificar una coherencia entre la forma de la curva, el valor inicial, el tiempo de retardo, el sobreimpulso, el tiempo de establecimiento, el tiempo de respuesta inicial, la magnitud y el valor final.
- Se debe almacenar la respuesta del SAEB a una perturbación del sistema que verifique los siguientes criterios:

- La perturbación debe originar un cambio repentino en el voltaje del sistema de al menos el 2% del voltaje nominal en el punto de conexión o un cambio de al menos el 10% de la potencia reactiva respecto a los MVA nominales.
- Las variables almacenadas incluyen potencia activa y reactiva en el punto de conexión del SAEB y voltaje en el punto de conexión.
- El control de potencia reactiva / tensión debe estar en su modo normal de operación.
- Los datos almacenados se comparan con los del modelo considerando una perturbación modelada del voltaje del sistema. Debe haber coherencia entre la potencia activa y reactiva generada y el voltaje en el punto de conexión en términos de: forma y magnitud de las curvas de acuerdo con los índices de coherencia definidos en el presente Acuerdo.

Adicional a estas pruebas, se realizará la validación en el modelo de los valores de curva de carga obtenidos en las pruebas a esta característica considerando su función en el dominio de la tensión.

- **Validación del perfil de carga/descarga del SAEB**

- Para la prueba de carga se debe partir del estado de carga mínimo del SAEB y una potencia activa igual a P_{min} . En este estado, se debe enviar una consigna igual a la máxima potencia activa de absorción del SAEB, la cual se debe mantener hasta que el SAEB llegue a su máximo estado de carga teniendo en cuenta el perfil de carga del SAEB. Se deberá validar con el CND si es posible por restricciones del sistema llevar el SAEB a su máxima potencia en carga, en caso contrario el CND definirá el valor de consigna de la potencia activa.
- Para la prueba de descarga se debe partir del estado de carga máximo del SAEB y una potencia activa igual a P_{min} . En este estado, se debe enviar una consigna igual a la máxima potencia activa de entrega del SAEB, la cual se debe mantener hasta que el SAEB llegue a su mínimo estado de carga teniendo en cuenta el perfil de descarga del SAEB. Se deberá validar con el CND si es posible por restricciones del sistema llevar el SAEB a su máxima potencia de descarga, en caso contrario el CND definirá el valor de consigna de la potencia activa.

En cada caso se debe registrar y enviar el nivel de carga con una resolución no inferior a 1 muestra por segundo y la potencia activa en el punto de conexión con una resolución mínima de 100 muestras por segundo.

Se deberán comparar los registros almacenados de las señales de carga y descarga y de potencia activa del SAEB en el punto de conexión con las señales obtenidas con el modelo y calcular los índices definidos en la Tabla B4 teniendo como referencia la señal de consigna.

- **Validación del esquema de control para alivio de restricciones**

Esta validación se divide en dos pruebas, una requerida para validar el tiempo de respuesta del SAEB y la otra requerida para validar el esquema de control de operación del SAEB.

- Validación del tiempo de respuesta del SAEB para alivio de restricciones: Partiendo del estado de flotación del SAEB, se debe realizar a nivel local un escalón en la potencia de referencia del SAEB correspondiente al 20 % de su capacidad, otro al 50 % y otro correspondiente al 100 % de su capacidad (El valor del escalón deberá ser revisado con el CND en función de las condiciones de seguridad del sistema).

En cada caso se debe registrar y enviar el nivel de carga con una resolución no inferior a 1 muestra por segundo y la potencia activa en el punto de conexión con una resolución mínima de 100 muestras por segundo.

Se deberán comparar los registros almacenados de la potencia activa del SAEB en el punto de conexión con la señal obtenida con el modelo y calcular los índices definidos en la Tabla B5 teniendo como referencia la señal de consigna. Para los propósitos de la operación del SAEB, el tiempo para alcanzar la consigna se define como el tiempo de establecimiento de la señal de potencia activa ante el envío de la consigna. Este tiempo deberá ser inferior o igual a un segundo.

- Validación de operación del esquema de control de operación del SAEB para alivio de restricciones: Se deben inyectar señales en la(s) entrada(s) del control a través de la cuales se lleva a cabo la activación/desactivación del esquema de control, para verificar la correcta actuación de este: al menos una que no active el esquema de control y otra que lo active en el mínimo valor de funcionamiento de este. En todos los casos se debe registrar en una misma ventana de tiempo las señales que definen la actuación del esquema, el estado de carga del SAEB, la señal de salida del control al SAEB y la potencia de salida del SAEB. Los registros deben reportarse de forma que incluyan un segundo antes del cambio en la señal de entrada al control y cuando se alcance el tiempo de establecimiento de la potencia de salida del SAEB.
- En cada caso se debe registrar y enviar el nivel de carga con una resolución no inferior a 1 muestra por segundo, la potencia activa en el punto de conexión con una resolución mínima de 100 muestras por segundo y la señal de activación del esquema con la mejor resolución disponible.
- Se deberán comparar los registros almacenados de la potencia activa del SAEB en el punto de conexión con la señal obtenida con el modelo y calcular los índices definidos en la Tabla B6 teniendo como referencia la señal de consigna. Para los propósitos de la operación del SAEB, el tiempo para alcanzar la consigna se define como el tiempo de establecimiento de la señal de potencia activa considerando la actuación del esquema. Este tiempo deberá ser inferior a tres segundos.

El modelo correspondiente debe incluir todas las lógicas de operación del esquema de control en función de las señales de activación del mismo de manera que se relacionen los valores de la(s) señal(es) de activación con la potencia de consigna al SAEB.

○ **Validación de la limitación de rampas operativas.**

- Realizar dos escalones en la consigna operativa de potencia activa, uno ascendente y otro descendente considerando los tamaños de escalón definidos en la Tabla A1, de la capacidad nominal (C_n) del SAEB tanto para subir como para bajar teniendo en cuenta cada uno de los siguientes ajustes de rampa en una condición de flotación: Mínimo valor de rampa, un valor intermedio entre el mínimo valor de rampa y el 14% C_n/min considerando la granularidad del ajuste, el 14 % C_n/min , y el máximo valor que alcance si este es superior al 14 % C_n/min .
- Registrar la potencia activa en cada caso con una resolución no inferior a 100 muestras por segundo.
- Para cada caso, comparar los registros almacenados con los obtenidos con el modelo. Se debe verificar la coherencia entre la forma de la curva y la magnitud a través del índice *EC*.

○ **Verificación de inyección rápida de reactivos y Voltage Ride Through**

Las pruebas descritas a continuación son realizadas para verificar los modelos asociados al lazo de inyección rápida de reactivos y a la función de *Voltage Ride Through*. Para esto, se debe presentar el detalle y los resultados de las simulaciones realizadas para verificar el comportamiento ante fallas en el punto de conexión del SAEB considerando los parámetros de operación sincronizada. Esta validación se basa en simulaciones y no incluye pruebas en campo. En este campo se debe incluir como mínimo la siguiente información:

- Descripción de las condiciones iniciales del SAEB: voltaje en punto de conexión (V_{poc}), potencia activa en el punto de conexión (P_{poc}), potencia reactiva en el punto de conexión (Q_{poc}), voltaje en terminales de las unidades equivalentes en servicio (V_t), potencia activa de las unidades equivalentes en servicio (P), potencia reactiva de las unidades equivalentes en servicio (Q), número de inversores en las unidades equivalentes en servicio e impedancia equivalente de la red.
- Curva de carga obtenida durante las pruebas correspondientes a este parámetro: Se debe parametrizar cada unidad equivalente cuidando que la característica de curva de carga en el punto de conexión sea igual a la que se encuentre reportada ante el CND.
- Para la simulación del desempeño de la función de *Voltage Ride Through*, se deben realizar dos cortocircuitos trifásicos con impedancia cero en el punto de conexión: uno de 100 ms de duración y otro de 200 ms de duración. Éstos se deben realizar en los 3 modos de control posibles del PPC. Para cada falla, se debe reportar una gráfica por cada una de las siguientes variables: Tensión en el punto de conexión con la

característica de VRT superpuesta, potencia activa en el punto de conexión y potencia reactiva en el punto de conexión.

- Adicionalmente, el modelo de la función *Voltage Ride Through* debe incluir el aporte de las componentes de secuencia positiva y negativa durante huecos de tensión simétricos y asimétricos. Para verificar que cuenta con este aporte, se deben simular dos fallas: una monofásica y otra bifásica a tierra con impedancia cero en el punto de conexión y de 100 ms de duración. Para cada falla, se debe reportar una gráfica por cada una de las siguientes variables medidas en el punto de conexión: Voltaje de secuencia positiva con corriente de secuencia positiva superpuestos con la potencia reactiva y voltaje de secuencia negativa con la corriente de secuencia negativa superpuestos con la potencia reactiva. En estas pruebas se verificará que la corriente reactiva adicional de secuencia positiva sea proporcional al cambio del voltaje de secuencia positiva y que el aporte de corriente reactiva de secuencia negativa sea proporcional al cambio del voltaje de secuencia negativa. Estos valores deberán ser tabulados y evaluados en dos puntos: entre 2-3 ciclos y entre 5-6 ciclos de iniciada la falla o hueco de tensión tal como se muestra en las Tabla B7 y B8.

Tipo de falla:	Monofásica a tierra					
Tiempo	Voltaje de secuencia positiva (p.u.)	Corriente de secuencia positiva (p.u.)	Ángulo de corriente de secuencia positiva con respecto al voltaje de secuencia positiva (°)	Voltaje de secuencia negativa (p.u.)	Corriente de secuencia negativa (p.u.)	Ángulo de corriente de secuencia negativa con respecto al voltaje de secuencia negativa (°)
Transitoria						
Permanente						

Tabla B7. Información falla monofásica a tierra

Tipo de falla:	Bifásica a tierra					
Tiempo	Voltaje de secuencia positiva (p.u.)	Corriente de secuencia positiva (p.u.)	Ángulo de corriente de secuencia positiva con respecto al voltaje de secuencia positiva (°)	Voltaje de secuencia negativa (p.u.)	Corriente de secuencia negativa (p.u.)	Ángulo de corriente de secuencia negativa con respecto al voltaje de secuencia negativa (°)
Transitoria						
Permanente						

Tabla B8. Información falla monofásica a tierra

Para la simulación del desempeño de la función de inyección rápida de reactivos, se debe realizar un escalón de tensión de 0.15 p.u. ascendente y descendente con 1 s de duración. Ésta se debe realizar en los 3 modos de control posibles del PPC. Para cada escalón, se debe reportar una gráfica por cada una de las siguientes variables: Tensión en el punto de conexión, potencia activa en el punto de conexión y potencia reactiva en el punto de conexión.

AB.3 MODELOS VALIDADOS EMT DE LOS SAEB.

Los modelos EMT que se reporten deben ser representativos del comportamiento real de los SAEB para lo que deben cumplir con los siguientes requisitos:

- Contar con las funciones básicas asociadas al control de potencia reactiva – tensión (incluyendo los modos de control de potencia reactiva, factor de potencia y tensión), inyección rápida de corriente reactiva, modo de falla (VRT) y curva de carga.
- Ser parametrizables por el usuario para lo cual se debe indicar la función de cada una de las variables.
- La parametrización con que se reporta el modelo debe corresponder al ajuste del SAEB.
- Ser modelos de usuario.
- A través de pruebas Hardware In the Loop (HiL) se debe demostrar el modo falla (VRT) para fallas simétricas y asimétricas, el aporte de potencia reactiva ante huecos de tensión, el comportamiento ante variaciones de frecuencia, las modificaciones en los set-point de tensión, para todos los modos de control disponibles en el SAEB. El modelo debe operar adecuadamente considerando un paso mínimo entre 20 y 200 microsegundos.
- Se deben listar todas las funciones incluidas en el modelo.

AB.2.4 SEGUIMIENTO A LA CALIDAD DE LOS MODELOS.

El CND realizará seguimiento a la calidad de los modelos de los SAEB a través del procedimiento que se presenta a continuación:

- Se evaluará la calidad de los modelos del SAEB en las siguientes variables:
 - Control de potencia reactiva/tensión: Voltaje en punto de conexión, potencia reactiva en punto de conexión y potencia reactiva de las unidades equivalentes (siempre y cuando se cuente con la supervisión de estas en tiempo real).
 - Control para alivio de restricciones: variable(s) de activación vs. Potencia de salida del SAEB visto en el punto de conexión, perfiles de carga y descarga.

Para la validación del control de potencia reactiva/tensión se realizará el siguiente procedimiento:

Se tomarán registros de perturbaciones de tensión del semestre anterior con la mejor resolución disponible con un ancho de ventana tal que se tenga 1 segundo antes de iniciada la perturbación y un minuto después. Se define perturbación de tensión aquella variación superior al 2 % de la tensión en el punto de conexión del SAEB.

En caso de que el CND requiera registros que el agente representante tenga disponibles, el Agente deberá enviárselos, a más tardar 8 días calendario después de la solicitud del CND considerando la mejor resolución disponible a través de los medios que el CND disponga para este intercambio de información. El CND tendrá 2 días después de pasado el evento para hacer la solicitud correspondiente. Para todos los registros se calcularán los índices de coherencia EAMN, CCL y EC definidos en el Numeral AB2.7 del presente Acuerdo. Se considerará que el seguimiento es exitoso si se cumple al menos con una de las siguientes condiciones:

- EC cumple $\leq 30\%$.
 - Error absoluto máximo obtenido al comparar las señales simulada y real en toda la ventana de tiempo de análisis, es menor o igual al error de medición siempre y cuando el índice CCL sea mayor a 0.45.
-
- En caso de que se tengan menos de 10 registros por control en el semestre de análisis, se acumularán los mismos con los periodos de análisis posteriores.
 - En caso de que se superen los umbrales definidos en al menos uno de los índices en 5 casos o más que tengan el mismo patrón (Ver Figura B.2), se enviará al agente un informe con el resultado del seguimiento para que este lo analice e informe al CND a más tardar 8 días calendario después si identifica alguna causa para esta condición. En caso de no encontrarse una justificación, el agente y el CND revisarán conjuntamente el tema en un plazo no superior a 5 días hábiles a partir de la respuesta del agente.

A continuación se presenta la definición de los patrones para el proceso de seguimiento a la calidad de los modelos:



Figura B.2. Patrones definidos para el seguimiento a modelos.

Los patrones indicados en la Figura 1 se detallan a continuación:

- **Desfase entre la señal medida y la simulada:** Patrón asociado a diferencias en los tiempos de actuación de la señal real en comparación a los obtenidos con el modelo.
- **Ruido en los registros:** Casos en los cuales el ruido de la señal real afecta el cálculo de los índices de coherencia establecidos.
- **Tiempo de muestreo de los registros:** Está asociado a registros con baja frecuencia de muestreo que no capturan las dinámicas del SAEB y por lo tanto no pueden ser comparadas adecuadamente con la señal simulada.
- **Tiempo de respuesta/velocidad de respuesta:** Patrón asociado a diferencias en los tiempos de respuesta de la señal real en comparación a los obtenidos con el modelo.
- **Banda muerta:** Casos donde se evidencia que una de las señales (simulada o real) tiene zonas muertas que difieren a las definidas en la otra señal.

•*Respuesta oscilatoria/Inestabilidad:* Casos donde se evidencia una respuesta oscilatoria y/o inestable en solo una de las dos respuestas.

- A partir de la reunión de revisión se definirá si la respuesta inadecuada del modelo puede ser resuelta a través de un reajuste de parámetros o si se requiere actualizar el modelo de control. Para el primer caso, el CND en conjunto con el agente realizarán un ajuste del modelo sin la obligatoriedad de realizar pruebas adicionales.
- En el segundo caso el agente deberá enviar al CND el modelo validado cumpliendo con las pruebas y requerimientos establecidos en el presente Acuerdo en un plazo de 6 meses luego de recibida la notificación del CND.

Para la validación del control por alivio de restricciones se realizará verificación del adecuado desempeño del esquema cuando este opere vs. el modelo correspondiente, en caso de que se identifique que el tiempo de operación del esquema no es acorde con lo definido o el aporte/absorción de potencia es diferente a lo esperado, el agente representante deberá realizar nuevamente las pruebas de verificación y realizar los ajustes correspondientes. Las pruebas correspondientes deberán realizarse en un plazo no superior a 30 días calendario luego de la notificación del CND y el modelo actualizado deberá enviarse en un plazo no superior a 90 días calendario luego de la notificación correspondiente. La tolerancia de la diferencia entre lo esperado y lo obtenido se definirá en cada caso particular teniendo en cuenta el impacto de las desviaciones según los análisis realizados por la UPME.