



Documento: Condiciones técnicas para la conexión de los sistemas de almacenamiento de energía a través de baterías - SAEB al SIN y las pruebas que deben cumplir estos equipos antes de su entrada en operación comercial

Abril de 2020

Tabla de contenido

1. Rangos de operación en frecuencia	3
2. Requerimiento de rampas operativas de entrada y salida	3
Para restricciones operativas:	3
Para restricciones eléctricas:	3
3. Control de tensión	3
4. Capacidad de potencia reactiva (Curva de capacidad PQ)	4
5. Comportamiento ante fallas	5
6. Control rápido de corriente reactiva	6
7. Modelos de simulación	7
Modelos de simulación eléctrica preliminares	7
Modelos de simulación eléctrica validados	7
8. Pruebas	7
9. Protecciones	8
Otros requisitos de protecciones en el punto de conexión	9
Sistema de interrupción	9
Sistema de puesta a tierra	9
Servicios Auxiliares	10
Equipos de registro de eventos	10
10. Supervisión, Control y Comunicaciones	10
Requerimientos supervisión de variables eléctricas	10
Medidas e información de los SAEB	11
La siguiente información debe ser transmitida al CND:	11
Telecomandos para el SAEB	11
Requerimientos de calidad y disponibilidad de las medidas eléctricas para los SAEB conectados al SIN	12
Canales y Protocolos de Comunicaciones	12
11. Coordinación de Mantenimientos	12

1. Rangos de operación en frecuencia

Los SAEB conectados al SIN deben operar normalmente para un rango de frecuencia entre 57.5 Hz - 63 Hz.

2. Requerimiento de rampas operativas de entrada y salida

Para restricciones operativas:

Para que sea efectivo el control de restricciones, los SAEB deben estar en capacidad de contar con una rampa de entrada del 100% de su capacidad en potencia activa, en un tiempo menor o igual a 1 segundo. El tiempo total de operación del SAEB considerando el tiempo de procesamiento de las señales y comunicaciones no debe superar los 3 segundos. Adicionalmente, el tiempo total de operación del SAEB puede ser reevaluado por el CND, considerando las condiciones tecnológicas y necesidades del SIN como la coordinación con los esquemas de protección y el nivel de enmallamiento de la red.

El SAEB debe tener una rampa operativa para entrada y salida ajustable entre el 0 y 100% de su capacidad nominal por segundo. El agente debe reportar la rampa máxima del SAEB en términos de su capacidad por segundo.

Este parámetro debe poder configurarse dependiendo del uso, las condiciones del sistema y de los estudios de planeamiento operativo realizados por el CND, considerando la rampa máxima reportada y debe coordinarse con el esquema de operación que le corresponda.

Para restricciones eléctricas:

Los SAEB deben tener una rampa operativa para descarga y carga ajustable. Inicialmente se define una rampa máxima del 14 % de la potencia nominal del SAEB, en MW/min, para lo cual:

- El agente debe reportar la rampa máxima real del SAEB.
- Este parámetro debe poder ajustarse dependiendo de las condiciones del sistema, considerando la rampa máxima reportada.
- El valor inicial de la rampa máxima del 14% podrá ser revaluado por el CND, considerando la rampa máxima reportada.

3. Control de tensión

Los SAEB deben controlar la tensión en forma continua en el rango operativo normal del punto de conexión, por medio de la entrega o absorción de potencia reactiva de acuerdo con la curva de capacidad PQ del SAEB declarada y según las consignas de operación definidas por el CND, para esto, se deberán cumplir los siguientes requisitos:

- El regulador de tensión deberá contar con los siguientes modos de control: tensión, potencia reactiva y factor de potencia.
- El regulador de tensión deberá disponer de un estatismo configurable para limitar la interacción inestable con otros recursos conectados al mismo punto de conexión o en subestaciones cercanas.
- El control de potencia reactiva / tensión, debe ajustarse de tal manera que sea estable y que, ante cualquier cambio en lazo abierto tipo escalón en la consigna de tensión, potencia reactiva o factor de potencia, la potencia reactiva del SAEB tenga

un tiempo de respuesta inicial menor a 2 segundos y un tiempo de establecimiento menor a 10 segundos.

- El control debe tener la capacidad de recibir comandos de tensión, potencia reactiva y factor de potencia de forma local y remota.

4. Capacidad de potencia reactiva (Curva de capacidad PQ)

Los SAEB deben cumplir como mínimo con lo presentado en la Figura 1, para tensión en el punto de conexión entre 0.9 p.u. y 1.1 p.u. para SAEB conectado a tensión menor o igual a 230 kV y entre 0.9 y 1.05 p.u para SAEB conectado a tensión mayor a 230 kV. Los SAEB deben estar en capacidad de operar en toda la región definida por la curva de capacidad PQ del SAEB, incluyendo su frontera.

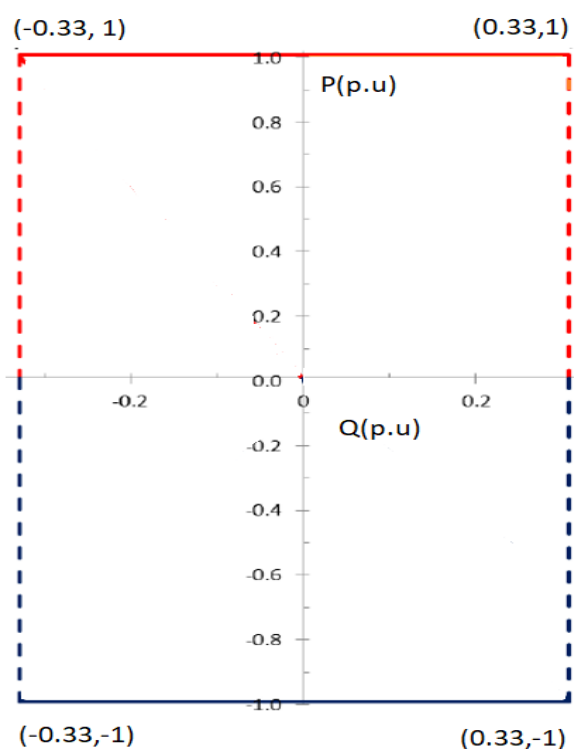


Figura 1. Curva de capacidad PQ de los SAEB.

Donde:

Q(p.u.): Potencia reactiva del SAEB en el punto de conexión/ Capacidad nominal del SAEB.

P(p.u.): Potencia activa del SAEB en el punto de conexión/ Capacidad nominal del SAEB.

El requerimiento de potencia activa aplica si el SOC es superior al SOC mínimo del SAEB definido en los documentos de selección de la UPME.

Antes de la entrada en operación comercial, se realizarán pruebas para verificar las curvas de capacidad y, posterior a la entrada en operación, el CND realizará seguimiento mensual a la capacidad de los SAEB conectados al STN y STR para controlar la variable requerida

según el modo de control definido por el CND (modo control tensión, modo control reactiva o modo control de factor de potencia).

5. Comportamiento ante fallas

Los SAEB deben tener un comportamiento ante desviaciones de tensión en el punto de conexión de acuerdo con la Figura 2, la cual indica que no se permite la desconexión del SAEB cuando el valor RMS de la tensión de línea – línea en el punto de conexión, tanto para fallas simétricas como asimétricas, se mantenga dentro del área delimitada por las líneas de la Figura 2. Durante la falla no se permite cesación momentánea de potencia activa y reactiva del SAEB.

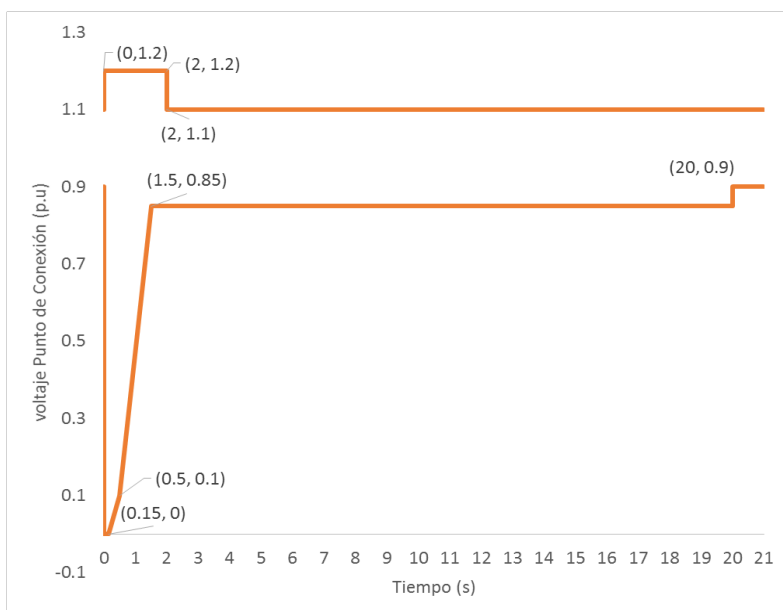


Figura 2. Característica de LVRT y HVRT SAEB.

Adicional a lo anterior, los SAEB deben superar huecos de tensión sucesivos por 30 segundos entre hueco y hueco.

El SAEB debe recuperar en un lapso de un segundo, el 90% de la potencia activa que estaba suministrando antes del hueco de tensión, una vez la tensión de línea – línea del punto de conexión sea mayor o igual a 0.85 p.u. El tiempo de recuperación puede ser redefinido por el CND en valores superiores teniendo en cuenta las condiciones del sistema.

Para el caso de los SAEB conectados en 500 kV, el límite superior de la curva de la Figura 2 es 1.05 p.u., en vez de 1,1 p.u.

En los análisis de eventos realizados por el CND se validará el cumplimiento de esta característica en los SAEB conectados al STN y STR que deben responder ante los eventos.

La característica definida en la Figura 2 aplica para SAEB conectados al STN y STR. Para el caso de SAEB conectados al SDL, el CND definirá la curva de soportabilidad para huecos de tensión.

6. Control rápido de corriente reactiva

Los SAEB deben priorizar 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 el tiempo necesario para la detección de la falla.

Esta función se debe cumplir en el punto de conexión con la característica de la Figura 3 y los siguientes criterios:

- La pendiente k de cada inversor debe ser ajustable con valores entre 0 y 10.
- El aporte de corriente reactiva adicional se limitará al 100% de la corriente nominal del SAEB.
- El CND determinará el valor de k a ser usado en el punto de conexión, después de realizar los estudios eléctricos con el modelo suministrado por el representante del SAEB. Cada SAEB debe determinar el valor de k a utilizar en cada inversor para cumplir con el valor de k definido por el CND en el punto de conexión, para lo cual se debe tener en cuenta una k parametrizable entre 0 y 10 del inversor.
- La banda muerta corresponde al rango de tensión de operación normal en el punto de conexión definido en el numeral 5.1 del Código de Operación de la Resolución CREG 025 de 1995 o aquellas que la complementen, modifiquen o sustituyan.
- El aporte de corriente reactiva adicional se debe mantener siempre que la tensión esté fuera del rango normal de operación.
- Se debe mantener un aporte de corriente 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.).

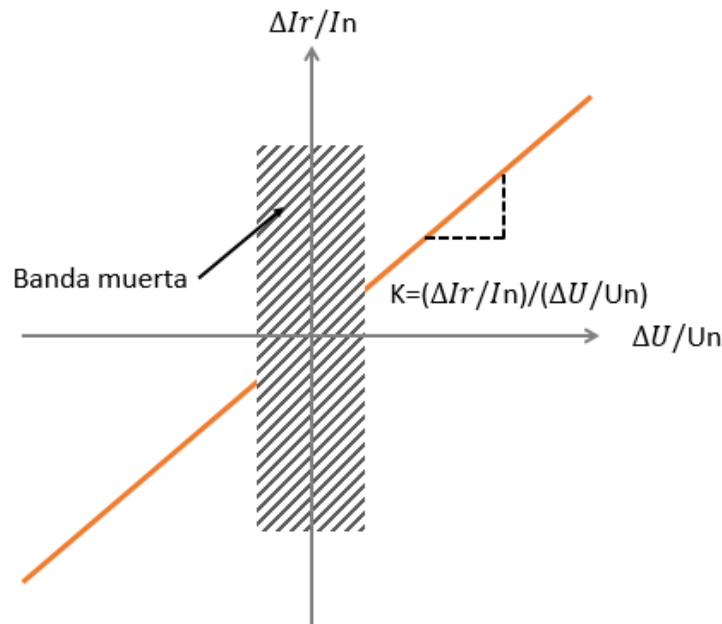


Figura 3. Característica de aporte adicional de corriente reactiva en el punto de conexión.

Para la Figura 3 se cumple:

- 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.

En caso de que el CND lo requiera, el agente operador del SAEB conectado al STN o al STR deberá disponer de la información (medidas de potencia activa, potencia reactiva, voltaje, corriente y frecuencia eléctrica), con una resolución inferior a la correspondiente a la operación de la función de inyección rápida de corriente reactiva definida en este numeral, para estar en capacidad de evaluar el funcionamiento de este servicio y su impacto en la operación en el punto de conexión.

Adicionalmente, los SAEB que se conecten al STN o STR, durante la entrega de corriente reactiva (I_r), deberán aportar corriente con componentes de secuencia positiva y negativa durante huecos de tensión simétricos y asimétricos. La corriente reactiva adicional de secuencia positiva debe ser proporcional al cambio del voltaje de secuencia positiva, asimismo la corriente reactiva de secuencia negativa debe ser proporcional al cambio del voltaje de secuencia negativa.

7. Modelos de simulación

Modelos de simulación eléctrica preliminares

Seis meses antes de la Fecha de Puesta en Operación Comercial, FPO el agente representante del SAEB que se conectará al SIN, debe entregar los modelos preliminares y sus controles asociados para los estudios de simulación RMS y EMT en las herramientas utilizadas por el CND. Estos modelos deben incluir los requisitos técnicos definidos en este documento y permitir el ajuste de los parámetros que definen estas funcionalidades.

Los requerimientos para estos modelos se incluyen en el Anexo B de este documento.

Modelos de simulación eléctrica validados

En los 30 días calendario posteriores a la fecha de entrada en operación comercial del proyecto, el agente que representa cada SAEB que se conecte al SIN, debe entregar los modelos de simulación RMS y EMT detallados en las herramientas de simulación que utiliza el CND, los cuales deben ser validados por el agente y parametrizables de acuerdo con los requisitos técnicos establecidos en este documento.

Los requerimientos para estos modelos y el proceso de verificación del cumplimiento de estos se incluyen en el Anexo B de este documento.

8. Pruebas

Antes de la fecha de entrada en operación del SAEB, el agente representante deberá entregar al CND los resultados de las siguientes pruebas, de acuerdo con los términos y plazos establecidos mediante Acuerdo CNO.

- Prueba de los modos de control tensión (factor de potencia, tensión y reactiva). Incluyendo tensión y estatismo.
- Pruebas de rampa operativa de entrada y salida
- Pruebas de potencia reactiva (curva de capacidad PQ del SAEB).
- Pruebas a los requerimientos de comportamiento ante fallas.
- Pruebas a los requerimientos de control rápido de corriente reactiva.
- Pruebas de carga y descarga del SAEB.
- Pruebas de verificación de la característica de activación del SAEB por operación para alivio de restricciones.
- Pruebas de verificación de recepción de consignas de potencia activa de forma local y remota.

Los procedimientos para la realización de estas pruebas se incluyen en el Anexo A de este documento.

Lo anterior, sin perjuicio de las pruebas de puesta en servicio propias del agente para su integración al Sistema Interconectado Nacional, las pruebas requeridas por el TN, TR u OR que entrega el punto de conexión y las demás pruebas establecidas en la regulación vigente y en los Acuerdos CNO para la entrada de nuevos proyectos.

9. Protecciones

Los SAEB deben cumplir requisitos mínimos para los sistemas de protección en el punto de conexión. En la Tabla 1 se presentan las funciones de protección mínimas requeridas para la conexión de los SAEB.

Función de Protección	Notas
Bajo voltaje (ANSI 27)	(1)
Sobre voltaje (ANSI 59)	(1)
Baja/Sobre Frecuencia (ANSI 81U/O)	(2)
Anti-isla	(3)

Tabla 1. Requisitos de protecciones para SAEB

- No todas las funciones de protección requeridas para el SAEB son mostradas en las tablas. Es responsabilidad del adjudicatario o responsable del SAEB instalar todas las funciones de protección requeridas para proteger estos equipos.

Notas relacionadas en las Tablas:

- (1) La medición para la función de protección de tensión debe ser trifásica con medición fase-tierra en el punto de conexión. Los criterios y ajuste de las funciones de protección de sobre y bajo voltaje serán definidos por el CND de acuerdo con las necesidades del SIN.
- (2) La medición para la función de protección de frecuencia puede ser monofásica.
- (3) Para el caso de conexiones al STN y STR se deberá coordinar con el Transmisor Nacional - TN o el Operador de Red - OR la necesidad de habilitar una protección anti-isla si se identifican riesgos de formación de islas no planeadas en el sistema, en caso de requerirse, esta deberá ser de tipo

Intertrip. Para el caso de SAEB conectadas al Sistema de Distribución Local - SDL el tipo de esquema de anti-isla dependerá de los resultados del estudio de conexión, en el cual se deberá evaluar que bajo diferentes escenarios de carga y topologías de red no se identifiquen desbalances de carga – generación que originen la formación de islas no intencionales entre el SAEB y la red del OR, además para conexiones en derivaciones se deberán coordinar los tiempos de esta protección con el recierre del circuito.

Otros requisitos de protecciones en el punto de conexión

- Los esquemas de protección de los SAEB que se conecten al SIN deberán ser selectivos y sus ajustes se deben coordinar con los sistemas de protección de la red existente. Es decir, que una falla interna del SAEB debe ser despejada por su esquema de protección. Además, los SAEB conectados al STN y STR, deberán disponer de esquemas de protección principal y de respaldo para proteger la instalación y su punto de conexión.
- El relé de sobre corriente en el punto de conexión de los SAEB deberá estar en capacidad de interrumpir las corrientes de corto circuito de la red ante fallas en el SAEB y sus ajustes deberán coordinar con las protecciones del sistema de potencia.
- Para el caso de los SAEB que se conecten al STN o STR a través de líneas de transmisión o transformadores, estos deberán estar dotados con esquemas de protección basados en protecciones diferenciales como esquema principal y disponer de esquemas de protección de respaldo.
- Los SAEB que se conecten a redes del SDL que sean aisladas (o con neutro aislado) deberán disponer de una protección ANSI 59N para detectar fallas a tierra. En caso de no usar la función de protección ANSI 59N se debe proponer un esquema de protección para detectar y despejar fallas a tierra en sistemas de potencia aislados.
- Los SAEB que se conecten al STN o STR se deberán conectar al barraje de una subestación a través de su propia bahía.

Sistema de interrupción

Todo SAEB conectado al STN y STR deberá disponer de una bahía con interruptor de potencia con la capacidad de abrir ante las máximas corrientes de cortocircuito que se presenten en el punto de conexión, para el caso del SDL se podrá instalar un reconectador siempre y cuando los resultados del análisis de corto circuito lo permitan. Además, para conexiones al STN y STR se deberá disponer de una protección tipo falla interruptor, la cual deberá ser implementada en un relé independiente de las protecciones principales del equipo protegido o podrá estar incluida como una función adicional en una protección diferencial de barras.

Sistema de puesta a tierra

El sistema de puesta a tierra de la instalación de todo SAEB, incluyendo el punto de conexión, además de cumplir con los requerimientos técnicos del RETIE¹, debe considerar

¹ Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas. El promotor del proyecto SAEB deberá presentar al TN u OR certificado de cumplimiento RETIE del punto de conexión.

en combinación con los sistemas de protección propuestos, el despeje oportuno de todo tipo de fallas a tierra.

Todos los SAEB que se conecten al STN y STR lo deberán hacer a través de transformadores con aterrizamiento en el lado de alta para garantizar aporte de secuencia cero al sistema de potencia. Para el caso de los SAEB conectados al SDL no se permite el aporte de secuencia cero a la red del OR, por tanto, el transformador de acoplamiento debe estar conectado en el lado de alta en conexión delta o “Y” no aterrizada.

Además, todo SAEB deberá disponer de un sistema de aterrizamiento para garantizar la detección y el despeje de fallas a tierra dentro del sistema de generación en la red de media tensión (MT), es decir, en los niveles de tensión 2 y 3.

Servicios Auxiliares

Todo SAEB deberá disponer de al menos un sistema de alimentación de respaldo que garantice la correcta operación de los equipos de protección y control durante fallas, incluso ante ausencia de tensión del alimentador principal.

Equipos de registro de eventos

Los SAEB con capacidad nominal mayor a 1 MVA conectados al SIN deberán disponer de registro cronológico de eventos (SOE). El SOE debe capturar el cambio de estado del equipo de corte, y el arranque y disparo de las funciones de protección habilitadas con resolución mínima de 1 ms.

Para los SAEB con capacidad nominal mayor a 5 MVA conectados al SIN, deberán disponer de registros oscilográficos en formato COMTRADE, con las señales análogas de tensión y corriente por fase y con las señales digitales de arranque y disparo de las funciones de protección habilitadas. Los registros oscilográficos de los equipos de protección deben capturar eventos con un tiempo mínimo de pre-falla de 500 ms y de post-falla mayor a 2 segundos, además, contar con una resolución mínima de muestreo de 1 KHz y almacenar mínimo 8 registros de fallas.

El error máximo de sincronización del SOE y/o registros oscilográficos no deberá ser superior a +/-200 ms.

10. Supervisión, Control y Comunicaciones

Requerimientos supervisión de variables eléctricas

Los SAEB conectados al SIN deben cumplir con la supervisión desde el CND con una de las siguientes formas:

- De manera directa por medio de unidades terminales remotas (RTU) o equivalentes,
- De manera indirecta, utilizando los protocolos de comunicación entre centros de control vigentes al momento de la integración, por medio de los protocolos de comunicación sobre la red pública de datos internet que sean soportados por el centro de supervisión y control del CND.

Los protocolos de comunicación deben haber sido avalados previamente por el CND y deben garantizar los criterios de seguridad y confiabilidad requeridos para la operación del Sistema Interconectado Nacional.

Los datos teledados deben llegar al CND con un retardo no mayor a cuatro (4) segundos, respecto a la estampa de tiempo de campo con las unidades y cifras decimales definidas por el CND. El agente debe asegurar la correcta sincronización de la estampa de tiempo de las señales enviadas al centro de control y supervisión del CND. El error máximo permitido no podrá exceder +/- 200 ms.

Medidas e información de los SAEB

La siguiente información debe ser transmitida al CND:

- a) Valor de potencia activa [MW], reactiva [MVAR] y factor de potencia [p.u]. Los valores son medidos en el punto de conexión.
- b) Tensión línea – línea [kV] y corriente de fase [A].
- c) Estado del modo del control de tensión [ON/OFF].
- d) Valor recibido de consigna control de tensión [kV].
- e) Valor recibido de consigna factor de potencia [p.u].
- f) Valor recibido de consigna potencia reactiva [MVAR].
- g) Valor recibido de consigna potencia activa [MW].
- h) Estado de carga [%].
- i) Nivel de carga actual [MW].
- j) Nivel de descarga actual [MW].
- k) Capacidad máxima disponible [MWh].
- l) Indicación de control Local/remoto para el control de potencia activa [L/R].
- m) Indicación de control Local/remoto para el control de tensión (tensión, factor de potencia y potencia reactiva) [L/R].
- n) Estado de la señal de activación del control para el alivio de restricciones [ON/OFF].

Los tiempos de muestreo, bandas muertas u otros asuntos de configuración serán definidos en cada caso con el CND y serán incluidos en los documentos de selección de la UPME.

Telecomandos para el SAEB

Los SAEB conectados al SIN, deben estar en capacidad de recibir de forma local y remota con la periodicidad definida por el CND:

- Consignas de carga o descarga de SAEB que sean remitidas desde el CND [MWh].
- Consignas de potencia activa [MW].
- Consignas de potencia reactiva [MVAR].
- Consignas de tensión [kV].
- Consignas de factor de potencia [p.u].
- Modo de operación de control de tensión (factor de potencia, tensión o potencia reactiva).

- Modo de control de potencia activa [L/R].

En todo caso, los operadores de estos equipos serán responsables de la correcta ejecución de las consignas. El CND realizará un seguimiento del cumplimiento de estos telecomandos cuando lo estime necesario.

Requerimientos de calidad y disponibilidad de las medidas eléctricas para los SAEB conectados al SIN

El CND hará seguimiento a la calidad y disponibilidad de los datos teledados de los SAEB conectados al SIN. En caso que se presenten errores o problemas con las señales de tiempo real, el representante del SAEB tiene la obligación de realizar las correcciones o los ajustes que se requieran, para garantizar la calidad, confiabilidad y disponibilidad de la información, de acuerdo con la regulación vigente.

Canales y Protocolos de Comunicaciones

El representante del SAEB coordinará con el CND las necesidades de canales y protocolos de comunicaciones u otros mecanismos, de acuerdo con lo establecido en la Resolución CREG 025 de 1995 Código de Conexión, Anexo CC3 o aquellas que la complementen, modifiquen o sustituyan.

11. Coordinación de Mantenimientos

Las empresas propietarias u operadoras de los SAEB conectados al SIN, ingresarán su programa de mantenimientos y/o desconexiones a través del sistema de información desarrollado por el CND, con el propósito de garantizar la operación confiable y segura del SIN, de acuerdo con los criterios, plazos y parámetros técnicos definidos en la regulación vigente y en los Acuerdos del CNO para la programación de los programas de mantenimientos.