

Bogotá D. C., 16 de marzo de 2018

Doctor
Henry Navarro
Experto Comisionado
Comisión de Regulación de Energía y Gas
Ciudad

CREG 16 MAR 2018 16:11

Asunto: Documento de "Consideraciones técnicas para la prestación del servicio de regulación primaria de frecuencia de plantas de generación del SIN.

Respetado Doctor Navarro:

Como resultado de las experiencias operativas del fenómeno El Niño 2015 – 2016, el Consejo Nacional de Operación en el segundo semestre del año 2016 dio inicio al análisis de la prestación del servicio de regulación primaria de frecuencia - RPF de las unidades de generación con el objetivo de identificar las necesidades del Sistema, las restricciones técnicas de algunas tecnologías para cumplir con la prestación de dicho servicio y un referenciamiento internacional de la prestación del mismo.

Se adjunta a la presente comunicación el documento en mención, el cual consideramos de relevancia en la revisión que la Comisión va a hacer del Código de Operación.

Atentamente,


ALBERTO OLARTE AGUIRRE
Secretario Técnico

Adjunto lo anunciado



CONSIDERACIONES TÉCNICAS PARA LA PRESTACIÓN DEL SERVICIO DE REGULACIÓN PRIMARIA
DE FRECUENCIA DE PLANTAS DE GENERACIÓN DEL SIN

Marzo de 2018

1. OBJETIVO

Describir las consideraciones y necesidades en la prestación del servicio de Regulación Primaria de frecuencia-RPF en el Sistema Interconectado Nacional-SIN, que consideramos deben ser tenidas en cuenta para garantizar la prestación efectiva de este servicio. Adicionalmente, presentar un referenciamiento internacional.

2. ANTECEDENTE REGULATORIO

En la Resolución CREG 023 de 2001, que modificó y dio alcance a la Resolución CREG 025 de 1995 (Código de Operación), se define la regulación primaria como el *"Servicio en línea que corresponde a la variación automática, mediante el gobernador de velocidad, de la potencia entregada por la unidad de generación como respuesta a cambios de frecuencia en el sistema. Los tiempos característicos de respuesta están entre 0 y 10 segundos. La variación de carga del generador debe ser sostenible al menos durante los siguientes 30 segundos"*. Adicionalmente, se define la reserva de regulación primaria como la *"Capacidad en las plantas y/o unidades de generación necesaria para la prestación del Servicio de Regulación Primaria de Frecuencia."*

En el artículo cuarto de la resolución antes mencionada, que modificó el numeral 5.61 de la Resolución CREG 025 de 1995 se prevé que:

"Todas las plantas y/o unidades de generación despachadas centralmente, deben estar en capacidad de prestar el servicio de Regulación Primaria de Frecuencia, equivalente al 3% de su generación horaria programada. Para dar cumplimiento a lo anterior, las plantas y/o unidades de generación deben estar habilitadas para incrementar o decrementar su generación, incluso cuando sean despachadas con la disponibilidad máxima declarada o en su mínimo técnico, durante los tiempos de actuación definidos en la presente Resolución para la Reserva de Regulación Primaria. Se exceptúa de lo aquí dispuesto, el decremento cuando las plantas y/o unidades operan en su mínimo técnico."

Para una adecuada calidad de la frecuencia, las unidades generadoras deberán tener una Banda Muerta de respuesta a los cambios de frecuencia menor o igual a 30 mHz. Este valor podrá ser revaluado por el CND cuando lo considere conveniente.

El Estatismo de las unidades generadoras despachadas centralmente debe ser un valor entre el 4% y el 6%, el cual deberá ser declarado por el agente al CND."

Asimismo, el artículo quinto dispone lo siguiente sobre la evaluación del servicio:

"Con base en la información que obtenga el CND de la operación de las plantas y/o unidades del SIN, y/o de la obtenida de las pruebas de campo que se efectúen a las mismas, el CND determinará la prestación efectiva del Servicio de Regulación Primaria de Frecuencia.

A más tardar un mes después de la entrada en vigencia de la presente Resolución, el CND informará al CNO el mecanismo que utilizará para determinar la prestación efectiva o no del Servicio de Regulación Primaria de Frecuencia por parte de los agentes generadores."

En este sentido, en el artículo sexto se estableció que las plantas y/o unidades de generación que no estén prestando efectivamente el Servicio de Regulación Primaria de Frecuencia, serán sujetos

de reconciliación por cada día de incumplimiento, de acuerdo al esquema previsto en la Resolución CREG 023 de 2001.

3. ANTECEDENTES CNO

En el año 2016 la situación crítica de hidrología, debida al fenómeno de El Niño con características de un evento fuerte y de alto requerimiento de generación térmica a máxima capacidad a partir del mes de septiembre de 2015, llevó a que los agentes generadores térmicos informaran al Consejo las dificultades asociadas al cumplimiento de la prestación del servicio de RPF, de acuerdo con lo previsto en la Resolución CREG 023 de 2001. El Consejo analizó la viabilidad de expedir un acuerdo técnico de operación, que estableciera exclusiones al seguimiento del cumplimiento de la prestación de dicho servicio, y concluyó que no tiene la competencia legal para hacerlo, por lo que se dio inicio al estudio técnico del tema con el objetivo de compartirlo con la CREG.

Por solicitud de la CREG del 1 de marzo de 2016 y en cumplimiento del literal i) del artículo 23 de la Ley 143 de 1994, el Consejo envió su concepto sobre la solicitud de TEBSA a la Comisión de incluir modificaciones a la Resolución CREG 023 de 2001, en el sentido de establecer excepciones a la prestación del servicio de RPF. Al respecto, mediante comunicación del 18 de abril de 2016, con número de radicado E-2016-004120, el Consejo emitió su concepto, manifestando que dicho servicio es de gran importancia para garantizar la atención de la demanda de forma confiable, segura y con calidad, ya que es la primera instancia de control para mantener la frecuencia lo más cerca de su valor nominal, a través de la respuesta de los generadores a los movimientos normales de la carga y eventos de desbalance carga/generación. Después de hacer los análisis técnicos, conceptuó que la regulación debía exceptuar del cumplimiento de la prestación del servicio de RPF en el siguiente sentido:

- Las unidades que tengan pruebas con intervención en el regulador de velocidad de las unidades de generación, dado que este es el control a través del cual se materializa el servicio de RPF y
- Las unidades a vapor que hacen parte de ciclos combinados, dado que se considera que efectivamente estas unidades no están en capacidad de aportar la potencia necesaria en los tiempos requeridos por la regulación.

El 12 de septiembre de 2016 el Consejo envió una comunicación a la Comisión (Radicado E-2016-009996), en complemento del concepto dado por el CNO a la CREG el 18 de abril de 2016, sobre la solicitud de TEBSA a la Comisión, en la que se enviaron algunas conclusiones que hasta la fecha se tenían sobre las restricciones técnicas de algunas plantas de generación para el cumplimiento de la presentación del servicio de RPF y el referenciamiento internacional sobre el tema.

4. INTRODUCCIÓN A LA PRESTACIÓN DEL SERVICIO DE RPF

La prestación efectiva del servicio de regulación primaria de frecuencia se requiere para garantizar una operación segura, confiable y de calidad del SIN. El no disponer de este servicio bajo las condiciones actuales del sistema eléctrico colombiano puede originar que, inclusive, en el 98 % de los eventos en frecuencia se produzca la actuación del EDAC.

Teniendo en cuenta esta premisa, en este documento se detallan consideraciones que se recomienda tener en cuenta dentro de la regulación, para que se logre una prestación efectiva del servicio de RPF.

5. DESCRIPCIÓN DE LA PRESTACIÓN DEL SERVICIO DE RPF SEGÚN TIPO DE TECNOLOGÍA

5.1 Consideraciones generales

Tiempos de respuesta en cumplimiento del servicio de RPF para unidades de generación

Las unidades de generación tienen tiempos de respuesta y de establecimiento diferentes, en función del tipo de tecnología. Se propone definir requerimientos específicos para cada tipo de tecnología.

Prestación del servicio en operación por debajo del mínimo técnico

Todas las unidades de generación presentan problemas de vibración e inestabilidad por debajo del mínimo técnico. Dada esta situación, no es posible garantizar la prestación del servicio de regulación primaria de frecuencia en esta condición operativa, con los requerimientos definidos en la regulación.

5.2 Consideraciones por tipo de tecnología

Unidades de vapor de ciclo combinado

En estas unidades no se controla la fuente de calor directamente, es decir, no hay un control de combustible para regular las condiciones del vapor. Por lo contrario, este se obtiene de la salida del recuperador de calor, que a su vez ha obtenido su energía de los gases de escape de las turbinas de combustión asociadas, aumentando los tiempos de respuesta ante los requerimientos de variación de potencia.

La respuesta de las unidades de vapor depende del tiempo de respuesta de las unidades de combustión, que a su vez está asociada a la duración y magnitud del evento en frecuencia.

En una primera etapa de toma de carga, las válvulas de admisión de vapor se abren de forma proporcional, con el fin de mantener una presión específica en la turbina de vapor. Después de superar el valor de presión definido, las válvulas deben abrir al 100 % por consideraciones de diseño, ello con el objetivo de evitar sobrepresiones en la caldera y garantizar flujo en la turbina y en los componentes de caldera, esto por consideraciones de refrigeración.

Por lo anterior, en este tipo de tecnologías ante variaciones de frecuencia del sistema, las unidades de vapor de ciclo combinado responden en tiempos superiores a los establecidos en la regulación vigente, dado que la misma depende de varios efectos termodinámicos.

Turbinas de combustión

Para prestar el servicio de regulación primaria de frecuencia las unidades de combustión deben dejar una reserva, que se define teniendo en cuenta la humedad relativa y la temperatura ambiente, las cuales afectan el flujo másico del aire, que después pasa a través de la turbina. Adicionalmente, la calidad o tipo del combustible afecta la energía química y calórica producida, y el flujo de combustible es directamente proporcional a la carga generada. Dada la incertidumbre y la

variabilidad de estas variables, no hay certeza sobre la reserva que se debe dejar para cumplir con el servicio de RPF.

El punto de operación óptimo de diseño en las turbinas de combustión se logra cuando se inyecta el máximo flujo de combustible, y se opera a temperatura máxima. En este punto de operación actúa el control por temperatura (los álabes y las partes calientes de la turbina alcanzan la máxima temperatura). En este modo se inhibe el control de frecuencia.

Centrales a filo de agua o de pasada

Estas centrales se caracterizan por la ausencia de embalse, que les proporcione almacenamiento de energía potencial. En este sentido, su energía depende del caudal de agua. Si la proporción en el requerimiento de aumento de potencia ante un evento de frecuencia es superior a la proporción de caudal que está ingresando por los afluentes, se generará una disminución en el nivel de tanque o cámara de carga, que, dependiendo de la magnitud y cantidad de eventos continuos, puede originar valores críticos para la operación, incluso niveles de disparo.

Unidades hidráulicas

En condiciones normales las unidades pueden prestar el servicio de RPF manteniendo el 100 % de la potencia declarada. Ante eventos de bajo nivel de embalse por la disminución de aportes hídricos, se requiere derratear las unidades para dejar la reserva de RPF, de acuerdo con la cota del embalse disponible.

Unidades a vapor simple

Las unidades pueden prestar el servicio de RPF manteniendo el 100 % de la potencia declarada.

Unidades eólicas y solares fotovoltaicas

Se debe tener en cuenta que estas unidades de generación requieren ser consideradas dentro de la revisión integral de la prestación del servicio de regulación primaria de frecuencia.

6. ELEMENTOS ADICIONALES PARA LA EVALUACIÓN DE LA PRESTACIÓN DEL SERVICIO DE RPF

Se requiere que la evaluación del servicio de RPF incorpore variables adicionales, como las consignas de AGC y carga, los cuales pueden influir en la respuesta de una unidad ante un evento en frecuencia.

7. PRUEBAS QUE SE PROPONE EXCEPTUAR DE LA EVALUACIÓN DE PRESTACIÓN DEL SERVICIO DE RPF

Teniendo en cuenta que se tienen contempladas pruebas que implican cambios y limitaciones en las funcionalidades del regulador de velocidad, se sugiere que durante la realización de las mismas, las unidades correspondientes no sean objeto de evaluación del servicio de regulación primaria de frecuencia. A continuación, se listan las pruebas correspondientes:

- Cargabilidad.
- Ajuste y/o verificación de regulador de velocidad de turbina.
- Estatismo y banda muerta.

- Después de un mantenimiento mayor u overhaul.
- Después de repotenciación de unidades.
- Heat Rate y/o Capacidad Efectiva Neta de plantas térmicas.
- Arranque autónomo o black start.
- Modernización o cambios de equipos de control y protecciones, cuando las intervenciones que se realicen estén asociadas al regulador de velocidad y/o el conjunto generador-turbina.
- Pruebas de factor de conversión.
- Prueba de modelos (asociado a reguladores de velocidad).

8. REFERENCIAMIENTO INTERNACIONAL

País	Carácter del servicio	Reserva	Observaciones
COLOMBIA	Obligatorio	3 %	Obligatorio unidades despachadas centralmente
PERÚ	Obligatorio	3.1 % Avenida 2.0 % Estiaje	Obligatorio para todas la centrales con capacidad superior a 10 MW
ESPAÑA	Obligatorio no retribuido para todos los generadores	1.5 % Pnom unidad	Debido al carácter obligatorio de la prestación del servicio, si por alguna razón algún agente no puede realizar RPF, bajo la supervisión del operador del sistema se le es permitido contratar el servicio con otro generador. El precio de la transacción es pactado entre las dos partes involucradas.
ARGENTINA	Obligatorio no retribuido para todos los generadores	Cada unidad debe declarar el valor de reserva que puede aportar, si no lo hace se asume que es 5% para unidades térmicas y 10% para unidades hidráulicas. El valor total de la reserva disponible en el sistema se calcula periódicamente, oscilando entre 3% y 3.3% de la demanda total del sistema.	Cada agente debe declarar el aporte diario de RPF que puede realizar. Si este aporte no es suficiente para cubrir su responsabilidad o no presta el servicio, debe de pagar por el servicio que está dejando de prestar. Existe un mercado. Ante incumplimiento, se considerará que no aportó a la RPF durante todo el correspondiente mes. Si en los siguientes 6 meses un nuevo incumplimiento, además, se declarará automáticamente inhabilitada para participar en la RPF

País	Carácter del servicio	Reserva	Observaciones
CHILE	Obligatorio	El porcentaje de reserva de los generadores se recalcula periódicamente.	Ya que la RPF es una obligación, pero no todas las unidades están en capacidad de prestar el servicio, aquellas que no lo suministren reconocen a aquellas que lo hagan la remuneración respectiva, la cual se ve reflejada en los costos marginales y los precios de nudo del sistema.
NORTE AMÉRICA (CALIFORNIA)	Obligatorio no retribuido para todos los generadores	Se puede prestar reserva sincronizada o reserva no sincronizada, cada unidad puede prestar uno y sólo uno de los dos servicios. En el caso de la reserva sincronizada se debe prestar automáticamente en un tiempo menor a 10 minutos, y para la reserva no sincronizada en un tiempo menor a 10 min después de que se solicita. El valor mínimo de reserva exigido es de 5%	En el estado de California existe un mercado para RPF. Por lo anterior, el servicio se puede prestar de la siguiente manera: Mediante recursos propios, mediante recursos de otros generadores por convenios pactados, mediante la compra de regulación en el mercado de regulación.
REINO UNIDO	Obligatorio para generadores de más de 50 MW	Entre el 3% y el 5% de la demanda total	En este país el servicio de RPF lo proveen grandes generadores síncronos de forma continua y grandes consumidores con su desconexión ocasional. A pesar de su obligatoriedad, la prestación del servicio es remunerada en base a los costos.

País	Carácter del servicio	Reserva	Observaciones
PAÍSES NÓRDICOS	Obligatorio, retribuido económicamente	No informa	Debido a la naturaleza del sistema, en estos países la RPF se debe estar realizando constantemente. A pesar de la obligatoriedad de la prestación del servicio, este es remunerado.
AUSTRALIA	Todos los generadores deben de contar con el sistema de control necesario para prestar el servicio.	No informa	En este caso el servicio de RPF es prestado por los generadores y además puede ser prestado por grandes consumidores mediante su desconexión.
BRASIL	Obligatorio. No existe la posibilidad de no cumplimiento, si no cumple, no se puede despachar.	Definida por ONS	Todas las unidades del sistema deben tener capacidad de ayudar el control primario de frecuencia, esto es obligatorio para todas las centrales hidro y térmicas, grandes y pequeñas.

8.1 Referenciamiento de Argentina

Reserva regulante máxima de una máquina

Si debido a limitaciones externas, la potencia operada de la central resulta menor que la suma de las potencias máximas generables por sus máquinas generando, se considera que esta limitación se reparte dentro de la central, restringiendo la reserva disponible de las máquinas en el orden dado por Costo Variable de Producción decreciente. Ante máquinas de igual costo, se considera que la limitación se reparte en forma proporcional a la potencia máxima de cada una de ellas. De este modo, para cada máquina de la central se obtiene su potencia operada resultante de la restricción.

Para el despacho de reserva regulante, en una hora la reserva regulante en una máquina habilitada para RPF es la diferencia que surge en el despacho entre su potencia operada y su potencia generada.

Junto con la solicitud de habilitación, el Generador puede presentar ante el Organismo encargado del Despacho-OED la reserva regulante máxima que oferta en las máquinas térmicas y centrales hidráulicas que solicita habilitar para RPF, adjuntando la necesaria documentación técnica que lo avale. El OED debe analizar la documentación presentada y, al habilitar la máquina térmica o central hidroeléctrica, asignarle el porcentaje declarado, salvo verificar que las características técnicas del equipamiento ofertado son insuficientes para aportar este nivel de reserva a la RPF. En este caso, debe informar al Generador el rechazo de su declaración, junto con el motivo que lo justifica.

Para aquellas máquinas térmicas o centrales hidroeléctricas habilitadas para RPF que no cuenten con una declaración de Reserva Regulante Máxima habilitada, el OED le debe asignar:

- El 5%, de tratarse de una máquina térmica.
- El 10%, de tratarse de una central hidroeléctrica.

Para una máquina térmica o central hidroeléctrica no habilitada para RPF, debe asignarle como porcentaje cero (0).

8.2 Referenciamiento de España:

Regulación Primaria: Es un servicio complementario de carácter obligatorio y no retribuido aportado por los generadores acoplados, y tiene por objeto corregir automáticamente los desequilibrios instantáneos entre producción y consumo. Se aporta mediante la variación de potencia de los generadores de forma inmediata y autónoma por actuación de los reguladores de velocidad de las turbinas como respuesta a las variaciones de frecuencia.

Determinación del requerimiento de regulación primaria: El Operador del Sistema-OS establecerá, antes del 31 de octubre de cada año, los requerimientos de regulación primaria para el conjunto del sistema eléctrico conforme al procedimiento P.O.-1.5.

La regulación primaria de los grupos generadores deberá permitir establecer un estatismo en su regulador, de manera que puedan variar su carga en un 1.5 por 100 de la potencia nominal. La variación de potencia resultante deberá realizarse en quince segundos ante perturbaciones que provoquen desvíos de frecuencia inferiores a 100 mHz, y linealmente entre quince y treinta

segundos para desvíos de frecuencia entre 100 y 200 mHz. La insensibilidad de los reguladores de los grupos debe ser inferior a $\pm 10\text{mHz}$ y la banda muerta voluntaria nula.

Obligatoriedad de la prestación del servicio: Todas las unidades de producción deberán disponer de regulación primaria.

En el caso en que técnicamente no sea posible contar con el equipamiento adecuado, el servicio complementario deberá ser contratado directamente por los titulares de las instalaciones obligadas a su prestación a otros agentes que puedan prestarlo. El contrato, que tendrá carácter reglado, será comunicado al OS, que certificará el servicio efectivamente prestado en ejecución de dicho contrato y se liquidará por las partes al precio que hubieran pactado.

9. RECOMENDACIÓN FINAL

Teniendo en cuenta la relevancia que tiene la prestación del servicio de regulación primaria de frecuencia para garantizar la operación segura y confiable del Sistema, y que existen los soportes técnicos de las restricciones que algunas tecnologías tienen para el cumplimiento de la prestación del mismo en los términos de la regulación vigente, se recomienda a la Comisión:

- Contemplar en sus análisis y los de su consultor en el marco de la revisión del Código de Redes, las condiciones técnicas expuestas en este documento, de cara al estudio integral de los servicios complementarios en el SIN.
- Estudiar la viabilidad de implementar alguno de los mecanismos expuestos en el referenciamiento, en relación con la asignación de la reserva y los esquemas de mercados inherentes.
- Posibilitar la interacción entre el Consejo y el consultor de la CREG, durante la revisión de la Resolución CREG 025 de 1995.

10. BIBLIOGRAFÍA REFERENCIAMIENTO INTERNACIONAL

<http://www.ree.es/es/>

<http://portalweb.cammesa.com/Pages/Institucional/defaultinstitucional.aspx>

<http://www.caiso.com/about/Pages/OurBusiness/Default.aspx>

<http://www.ree.es/es/sala-de-prensa/notas-de-prensa/2016/05/la-demanda-de-energia-electrica-desciende-un-1-en-mayo>

<http://energyalmanac.ca.gov/electricity/index.html#table>

<http://www.caiso.com/outlook/SystemStatus.html>

<http://www.cdecsic.cl/>

<http://www.aemo.com.au/Electricity/Planning/Related-Information/Generation-Information>

<http://www.nordpoolspot.com/Market-data1/Power-system-data/Consumption1/Consumption/Nordic/Hourly1/?view=chart>

www.creg.gov.co

<http://informesanuales.xm.com.co/2015/SitePages/operacion/2-6-Capacidad-efectiva-neta.aspx>

<http://busquedas.elperuano.com.pe/normaslegales/fijan-margen-de-reserva-rotante-para-la-regulacion-primaria-resolucion-no-308-2015-oscd-1328685-1/>