

CONSEJO NACIONAL DE OPERACIÓN CNO

ACUERDO No. 502 **Agosto 5 de 2010**

Por el cual se establecen los procedimientos y requisitos necesarios para la prestación del servicio de AGC por las unidades conectadas al SIN

El Consejo Nacional de Operación en uso de sus facultades legales, en especial las conferidas en el Artículo 36 de la Ley 143 de 1994, el Anexo general de la Resolución CREG 025 de 1995, su Reglamento Interno y según lo aprobado en la Reunión 330 del 5 de agosto de 2010 y

CONSIDERANDO:

1. Que mediante las Resoluciones CREG 025 de 1995, 198 de 1997, 083 de 1999 y 064 de 2000 se establecieron las reglas aplicables a la prestación del servicio de regulación secundario de frecuencia.
2. Que de acuerdo con la Resolución CREG 025 de 1995 Código de Operación, el AGC es un servicio asociado con la actividad de generación que prestan las empresas generadoras con sus unidades conectadas al SIN para asegurar el cumplimiento de las normas sobre calidad, confiabilidad y seguridad en la prestación del servicio.
3. Que mediante el Acuerdo CNO 003 de 1998 se interpretó la aplicación de la Resolución CREG 198 de 1997 desde el punto de vista de la oferta y asignación del AGC.
4. Que mediante el Acuerdo CNO 078 de 2000, se estableció un procedimiento para la prestación de servicio del AGC cuando se pierde el canal de comunicación con el Centro Nacional de Despacho.
5. Que mediante el Acuerdo CNO 082 de 2000 se aprobó el documento: "Entrada en operación de nuevas unidades al AGC Nacional ISA-UENCND-148-2000".
6. Que mediante el Acuerdo CNO 088 de 2000, se modificaron los Acuerdos 81 y 82 de 2000.
7. Que mediante el Acuerdo CNO 093 de 2000, se definió el valor mínimo para participar en el AGC.
8. Que mediante el Acuerdo CNO 101 de 2000, se aprobó el protocolo para entrada en operación de nuevas plantas al esquema del AGC Nacional, según el documento ISA-UENCND-198-2000.
9. Que mediante el Acuerdo 108 de 2000 se aprobó la velocidad mínima de cambio de carga para Regulación de Frecuencia.

CONSEJO NACIONAL DE OPERACIÓN CNO

10. Que mediante el Acuerdo CNO 139 de 2001, se aprobó la asignación de holguras horarias para plantas que realicen la Regulación Secundaria de Frecuencia en áreas aisladas.
11. Que mediante el Acuerdo CNO 225 de 2002 se acordó incluir en la oferta para AGC, además de la información de oferta de disponibilidad para AGC por unidad, el valor total correspondiente a la Planta.
12. Que mediante el Acuerdo CNO 226 de 2002 se aprobaron los criterios técnicos para la prestación del Servicio de Regulación Secundaria de Frecuencia a nivel nacional.
13. Que mediante el Acuerdo CNO 260 de 2003 se aprobó el procedimiento para realización de pruebas de canales de comunicación usados para la prestación del servicio de regulación secundaria de frecuencia.
14. Que mediante el Acuerdo CNO 263 de 2003 se aprobaron los criterios técnicos para la prestación de servicio de Regulación Secundaria de Frecuencia a nivel Nacional, según documento ISA-UENCND-052-2003.
15. Que el Subcomité de Estudios Eléctricos recomendó la
16. Que el Comité de Operación en su reunión 201 del 29 de julio de 2010 recomendó la aprobación del presente Acuerdo.

ACUERDA:

PRIMERO: Adoptar el "**Procedimiento para la realización de pruebas de canales de comunicación usados para la prestación del servicio de regulación secundaria de frecuencia**" que se presenta en el **Anexo 1** que hace parte integral del presente Acuerdo.

SEGUNDO: Para los períodos de prueba, el Centro Nacional de Despacho autorizará las desviaciones al Despacho Programado de aquellos generadores cuya generación sea afectada por la realización de las pruebas de canales de comunicación usados para la prestación del servicio de regulación secundaria de frecuencia.

TERCERO: Aprobar los "**Requisitos para la prestación del servicio de regulación Secundaria de frecuencia (AGC)**" que se presenta en el **Anexo 2** que hace parte integral del presente Acuerdo.

CUARTO: Adoptar el siguiente "**Procedimiento de cambio de parámetros**": Si como resultado de las pruebas para elegibilidad de plantas y/o cadenas para AGC, resulta algún cambio de parámetros, estos podrán ser modificados en el siguiente programa de despacho sin tener que seguir el procedimiento establecido en el Acuerdo

CONSEJO NACIONAL DE OPERACIÓN CNO

497 de 2010. Estos cambios deben ser informados al CND antes de las 06:00 horas de tal manera que el CND pueda informarlo a los agentes antes del envío de las ofertas.

QUINTO: El valor del mínimo técnico para regulación de AGC es de 23 MW por planta de generación y/o cadena.

SEXTO: Las holguras para regulación secundaria de frecuencia serán asignadas a las plantas y/o cadenas que sean consideradas elegibles, de acuerdo con lo establecido en la Resolución CREG 198 de 1997.

SÉPTIMO: En condiciones de aislamiento y/o eventos extraordinarios, el CND podrá definir la holgura horaria para el área o áreas afectadas y las plantas y/o cadenas elegibles para efectuar la regulación secundaria de frecuencia. En caso de aislamiento del Área Caribe que será reglamentado en otro Acuerdo, la holgura horaria definida, será el máximo que el CND podrá asignar entre las plantas y/o cadenas que requiera para efectuar la regulación secundaria de frecuencia.

OCTAVO: En la oferta para AGC se deberá incluir además de la información de oferta de disponibilidad para AGC por unidad, el valor total ofertado para la planta y/o cadena.

NOVENO: La suma de la disponibilidad para regulación secundaria de frecuencia de las unidades puede ser mayor que el total ofertado para la planta.

DÉCIMO: La oferta de disponibilidad para regulación secundaria de frecuencia, se hará por unidad y planta en el siguiente formato:

Identificador	Tipo	Disponibilida d AGC Hora 01	Disponibilida d AGC Hora 02	Disponibilida d AGC Hora ...	Disponibilida d AGC Hora 24
Nombre_Unida d 1	A	Valor 01	Valor 02	Valor ...	Valor 24
Nombre_Unida d 2	A	Valor 01	Valor 02	Valor ...	Valor 24
.
.
.
Nombre_Unida d n	A	Valor 01	Valor 02	Valor ...	Valor 24
Nombre_Planta	AP	Valor 01	Valor 02	Valor ...	Valor 24

Identificador: Nombre de la Unidad y Planta. Para la planta se debe utilizar el mismo nombre de la oferta de precios.

CONSEJO NACIONAL DE OPERACIÓN CNO

Tipo: Identificador del Tipo de Oferta. Se utiliza una AP para identificar la oferta de AGC de la planta y A para identificar la oferta de las unidades.

Disponibilidad: Números enteros que representan la disponibilidad en MW para Regulación Secundaria de Frecuencia.

DÉCIMO PRIMERO: Las características técnicas aplicables al servicio de regulación secundaria de frecuencia serán las correspondientes a las unidades, es decir, no se impondrán a la oferta para regulación secundaria de frecuencia de la planta, características técnicas relacionadas con el AGC adicionales a las declaradas para las unidades.

DÉCIMO SEGUNDO: Para el caso de ofertas insuficientes a que hace referencia el Literal d) del Numeral 3 del Anexo CO4 de la Resolución CREG 025 de 1995, modificado por la Resolución CREG 198 de 1997, y aquellas que la modifiquen o sustituyan, se procederá a recuperar la última oferta mayor que cero (0) que haya efectuado cada una de las unidades. Se asumirá que la oferta de la planta corresponde a la suma aritmética de las ofertas recuperadas de sus unidades.

DÉCIMO TERCERO: Para dar aplicación a lo establecido en el Literal e) del Numeral 3 del Anexo CO4 de la Resolución CREG 025 de 1995, modificado por la Resolución CREG 198 de 1997, y aquellas que la modifiquen o sustituyan, respecto a las causales de invalidez de Oferta de Disponibilidad para el Servicio de regulación Secundaria de Frecuencia, se tendrá en cuenta:

- ⇒ Errores de sintaxis en la oferta (p.e. Identificador, Tipo), se hace extensible a la oferta de la planta.
- ⇒ Oferta Incompleta. Debe contener 24 valores incluyendo el cero (0), se hace extensible a la oferta de la planta. Por tanto, toda oferta de disponibilidad para Regulación Secundaria de Frecuencia de las unidades, debe tener asociada la oferta de Regulación Secundaria de Frecuencia de la planta respectiva.
- ⇒ Oferta de disponibilidad por unidad mayor que la diferencia entre la disponibilidad total declarada y el mínimo para AGC de la unidad.
- ⇒ Cuando la oferta de disponibilidad para AGC que se efectúe por planta y/o la suma de ofertas de disponibilidad que se efectúen por unidad, resulte inferior al valor mínimo por planta para participar en el AGC.

DÉCIMO CUARTO: La distribución de los requerimientos de reserva de regulación secundaria de frecuencia entre las unidades elegibles, se efectuará de acuerdo a la reglamentación vigente, teniendo en cuenta que la asignación total por planta no puede ser superior a su disponibilidad total ofertada para AGC.

DÉCIMO QUINTO: Ante la indisponibilidad total de una unidad para la prestación del servicio de regulación secundaria de frecuencia, la reasignación del mismo se

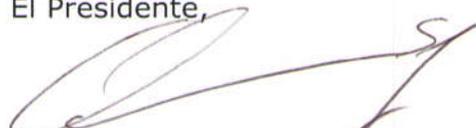
CONSEJO NACIONAL DE OPERACIÓN CNO

efectuará según se establece en el Artículo Décimo Quinto del presente Acuerdo. En esta reasignación participarán todas las unidades con oferta de AGC, incluidas las unidades que ofertaron para AGC de la planta a la que se le indispuso la unidad inicialmente mencionada.

DÉCIMO SEXTO: El presente Acuerdo sustituye los Acuerdos 03 de 1998, 78, 82, 88, 93, 101 y 108 de 2000, 139 de 2001, 225 y 226 de 2002, 260 y 263 de 2003.

DÉCIMO SÉPTIMO: El presente Acuerdo rige a partir de la fecha de su expedición.

El Presidente,



OMAR SERRANO RUEDA

El Secretario Técnico,



ALBERTO OLARTE AGUIRRE

10

CONSEJO NACIONAL DE OPERACIÓN CNO

INDICE

ANEXO 1: "Procedimiento para la realización de pruebas de canales de comunicación usados para la prestación del servicio de regulación secundaria de frecuencia".

ANEXO 2: "Requisitos para la Prestación del Servicio de Regulación Secundaria de Frecuencia (AGC)".

fp

CONSEJO NACIONAL DE OPERACIÓN CNO

ANEXO 1

Procedimiento para la realización de pruebas de canales de comunicación usados para la prestación del servicio de regulación secundaria de frecuencia.

Cuando durante la operación del SIN se registren problemas operativos en el desempeño del AGC, el Centro Nacional de Despacho verificará si la causa de estos problemas está asociada con el desempeño de la Unidad Terminal Remota RTU de la unidad y/o planta generadora o con el desempeño del canal de comunicación.

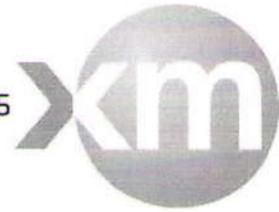
Si existe evidencia de problemas en el canal de comunicación o si se tiene información de que se hayan presentado cambios en este canal o en su tecnología asociada, el Centro Nacional de Despacho podrá solicitar y coordinar con los agentes generadores la realización de pruebas para verificar el desempeño de dicho canal en la prestación del servicio de regulación secundaria de frecuencia.

Para tal efecto, luego de la publicación del Despacho Programado, el Centro Nacional de Despacho solicitará y coordinará con el agente generador la realización de pruebas en alguno o algunos de los períodos horarios del día siguiente.

El CND verificará previamente que con la realización de la pruebas no se ponga en riesgo la seguridad de la operación del SIN.

10

LOS EXPERTOS EN MERCADOS

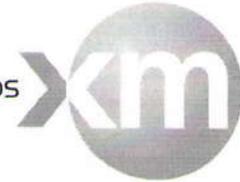


Anexo 2

Requisitos para la Prestación del Servicio de Regulación Secundaria de Frecuencia - AGC.

Gerencia Centro Nacional de Despacho
Dirección Planeación de la Operación
Documento XM CND 2010 - 115
Julio de 2010.

fo



Contenido

Antecedentes	1
Objetivos	3
Parámetros Requeridos para la Prestación del Servicio de Regulación Secundaria de Frecuencia	3
Tiempos y Bandas de Recuperación de la Frecuencia por Medio del AGC	4
Velocidad de Cambio del Sistema	5
Velocidad de Cambio de Carga por Unidad	6
Número Mínimo de Unidades	7
Reserva Total del Sistema (HO)	7
Participación Mínima en Regulación Secundaria	7
Tiempo de Retardo de la Unidad	8
Estatismo	8
Resumen Requerimientos Actuales para AGC	9
Integración de Unidades de Generación al Esquema de AGC Nacional	9
Nuevas Unidades que se Integran al Esquema de AGC	9
Sintonía de Unidades	10
Prueba de Regulación Autónoma	12
Aspectos Operativos de las Pruebas de AGC	12
Mantenimiento de Parámetros	14
Retiro de Unidades	15

10

Antecedentes

El Control Automático de Generación (**AGC**) o Regulación Secundaria de Frecuencia, es un sistema de control automático que lleva la frecuencia y/o los intercambios internacionales a su valor nominal a causa de desviaciones en el balance carga-generación ó después de ocurrida una perturbación en el sistema y una vez haya actuado la Regulación Primaria de frecuencia.

Después de ocurrida la perturbación, el SCADA calcula la desviación de frecuencia y/o intercambio teniendo en cuenta la frecuencia objetivo del Sistema Interconectado Nacional (**SIN**) y el valor del intercambio programado. Dependiendo de la desviación calculada, se envía una modificación a la consigna de potencia (a través de pulsos o set points) de los reguladores de velocidad de las unidades que prestan el servicio de AGC para aumentar o disminuir la inyección de potencia eléctrica al sistema y así mantener el balance carga – generación.

La desviación de la frecuencia y/o el intercambio se conoce como ACE (Area Control Error). El ACE total se calcula como se muestra en la Figura 1.

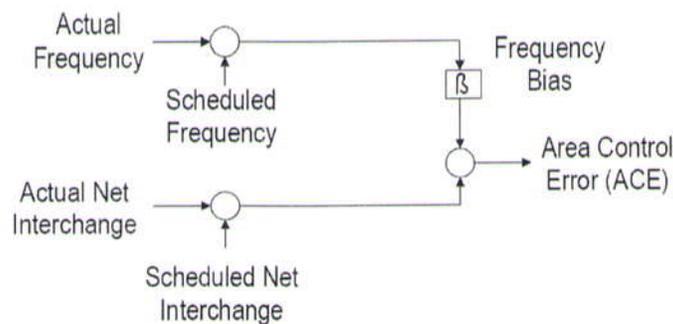


Figura 1. Cálculo del Error de Control de Área ACE

$$ACE = (\text{IntercambioProgramado} - \text{IntercambioReal}) + \beta(60 - \text{FrecuenciaReal}) \text{ [MW]}$$

$$ACE = \Delta P + \beta \Delta f \text{ [MW]}$$

Donde β es la Constante de Regulación Combinada del Sistema o BIAS en [MW/Hz].

Con base en el ACE total y la función de control que se muestra en la Figura 2, el programa LFC (Load Frequency Control) del SCADA calcula, cada 4 segundos, el total de la potencia deseada para corregir una desviación dada. Según los factores de participación de las unidades que estén prestando el servicio en el momento, se determina cuánta es la corrección en potencia que le corresponde a cada unidad.

aspecto. En la Resolución CREG 121 de 1998 se estipula la reglamentación para pruebas de AGC. Por otro lado, la Resolución CREG 064 de 2000 reglamenta la parte comercial del Servicio de Regulación Secundaria de Frecuencia y estipula la obligatoriedad comercial de todos los agentes despachados a contribuir con una reserva proporcional a su despacho horario

Finalmente, la operación del Sistema Interconectado Nacional, tanto desde el punto de vista económico como técnico, exige la coordinación y participación directa o indirecta de todos los agentes del Mercado de Energía Mayorista en la prestación del servicio de Regulación Secundaria de Frecuencia.

Objetivos

- Establecer los requerimientos técnicos mínimos para la prestación del Servicio de Regulación Secundaria de Frecuencia en el Sistema de Potencia Colombiano por parte de las unidades generadoras del Sistema Interconectado Nacional.
- Determinar los procedimientos necesarios para la verificación y aprobación de nuevas unidades en la prestación del servicio de Regulación Secundaria de Frecuencia.
- Especificar las pruebas necesarias a unidades suspendidas temporalmente del servicio de AGC o que hayan sido objeto de mantenimiento para que puedan declararse elegibles nuevamente para la prestación del servicio.
- Unificar los documentos: ISA UENCND 052-03 de Abril 14 de 2003, ISA UENCND 148-00 de Julio 27 de 2000 e ISA UENCND 198-00 de Septiembre 11 de 2000 aprobados por el CNO en los acuerdos 263 de 2003, 082 de 2000 y 101 de 2000 respectivamente. El presente documento se convierte en el anexo 2 del acuerdo por el cual se establecen los procedimientos y requisitos necesarios para la prestación del servicio de AGC por las unidades conectadas al SIN.

Parámetros Requeridos para la Prestación del Servicio de Regulación Secundaria de Frecuencia

A continuación se analizan los parámetros relacionados con la prestación del servicio de AGC de acuerdo con los estándares internacionales y la experiencia operativa del servicio recopilada por el CND. Estos parámetros son:

- Tiempos y bandas de recuperación de la frecuencia.
- Velocidad de cambio de carga del sistema.
- Velocidad de cambio de carga requerido por unidad.
- Número mínimo de unidades en regulación de frecuencia.
- Reserva total del sistema.
- Participación mínima de regulación secundaria por unidad.
- Tiempo de retardo de la unidad.
- Constante de Regulación Combinada del Sistema

La metodología para la evaluación de los parámetros requeridos para la prestación del servicio de AGC se basa principalmente en el análisis de eventos de frecuencia. Estos eventos permiten calcular valores heurísticos del Bias o Constante de Regulación Combinada del Sistema en MW/Hz y probables valores de desviación de la frecuencia en Hz que arrojan escenarios de recuperación en tiempos diferentes. Al encontrarse la velocidad de cambio total del SIN en MW/min se continúa con las velocidades de las unidades y el número de éstas que cumplan con dicha velocidad total. Adicionalmente, se incluyen requerimientos indispensables para el control del AGC y la correcta operación del mismo.

Tiempos y Bandas de Recuperación de la Frecuencia por Medio del AGC

Uno de los parámetros más importantes en la calidad de la frecuencia es el tiempo en el cual ésta se recupera después de ocurrido un desbalance carga - generación. Estos tiempos deben incluir rangos necesarios para que la señal al regulador del generador sea enviada y procesada, así como los tiempos de actuación del regulador de velocidad en la regulación primaria. También es de resaltar que el AGC representa un control proporcional integral que requiere de determinados tiempos para la ejecución de sus comandos.

A nivel internacional, los tiempos asociados a la recuperación de frecuencia no han sido completamente justificados desde una óptica operativa o económica. Sin embargo, basado en el seguimiento estadístico de las variaciones de frecuencia, los estándares internacionales, considerando que el Bias promedio del sistema colombiano bajo operación aislada de Ecuador es del orden de 700 MW/Hz y teniendo en cuenta tiempos (5,7 y 10 minutos) así como escenarios de recuperación de la frecuencia desde 59.5 Hz (casos 1, 2 y 3) y 59.7 Hz (casos 4,5 y 6) se presentan los siguientes resultados:

CASO	BIAS (MW/Hz)	DELTA f (Hz)	DELTA P (MW)	t 59.5 - 60 Hz (Min)	t 59.5 - 59.8 Hz (Min)	VEL Requerida (MW/Min)
1	700	0.5	350	5	3	70
2	700	0.5	350	7	4	50
3	700	0.5	350	10	6	35
4	700	0.3	210	5	1.7	42
5	700	0.3	210	7	2.3	30
6	700	0.3	210	10	3.3	21

Considerando la Interconexión con Ecuador, el Bias promedio es de aproximadamente 870 MW/Hz y los tiempos de recuperación anteriormente enunciados, se presentan los siguientes resultados:

CASO	BIAS (MW/Hz)	DELTA f (Hz)	DELTA P (MW)	t 59.5 - 60 Hz (Min)	t 59.5 - 59.8 Hz (Min)	VEL Requerida (MW/Min)
1	870	0.5	435	5	3	87
2	870	0.5	435	7	4	62
3	870	0.5	435	10	6	44
4	870	0.3	261	5	1.7	52
5	870	0.3	261	7	2.3	37
6	870	0.3	261	10	2.3	26

La Figura 3 ilustra los escenarios de recuperación de la frecuencia a través del AGC. Se concluye que una vez ocurrido un evento, las unidades que estén prestando el servicio de AGC deben recuperar la frecuencia a más tardar en un tiempo no superior a 7 minutos.

Velocidad de Cambio del Sistema

Al considerar los diferentes escenarios de recuperación de frecuencia (tiempos y frecuencias de estabilización después de eventos) la velocidad total del SIN varía entre 20 y 70 MW/min.

Los parámetros que se exigen para la prestación del servicio de Regulación Secundaria deben ser tales que compensen los valores de velocidad total del sistema sin deteriorar la calidad de frecuencia. Por lo anterior, se recomienda establecer los requerimientos para el AGC colombiano con base en una velocidad de 70 MW/min en periodos de punta y 50 MW/min fuera de ésta.

Al considerar los diferentes escenarios de recuperación de frecuencia (tiempos y frecuencias de estabilización después de eventos) para el sistema interconectado Colombia - Ecuador, la velocidad de cambio de ambos sistemas interconectados podría estar entre 26 y 87 MW/min. Sin embargo, es importante resaltar que como cada sistema es responsable por la calidad en su área de control y que la función de control responde al principio de solidaridad para la interconexión y responsabilidad del área, estas velocidades no deberían afectar los requerimientos de velocidad del AGC colombiano.

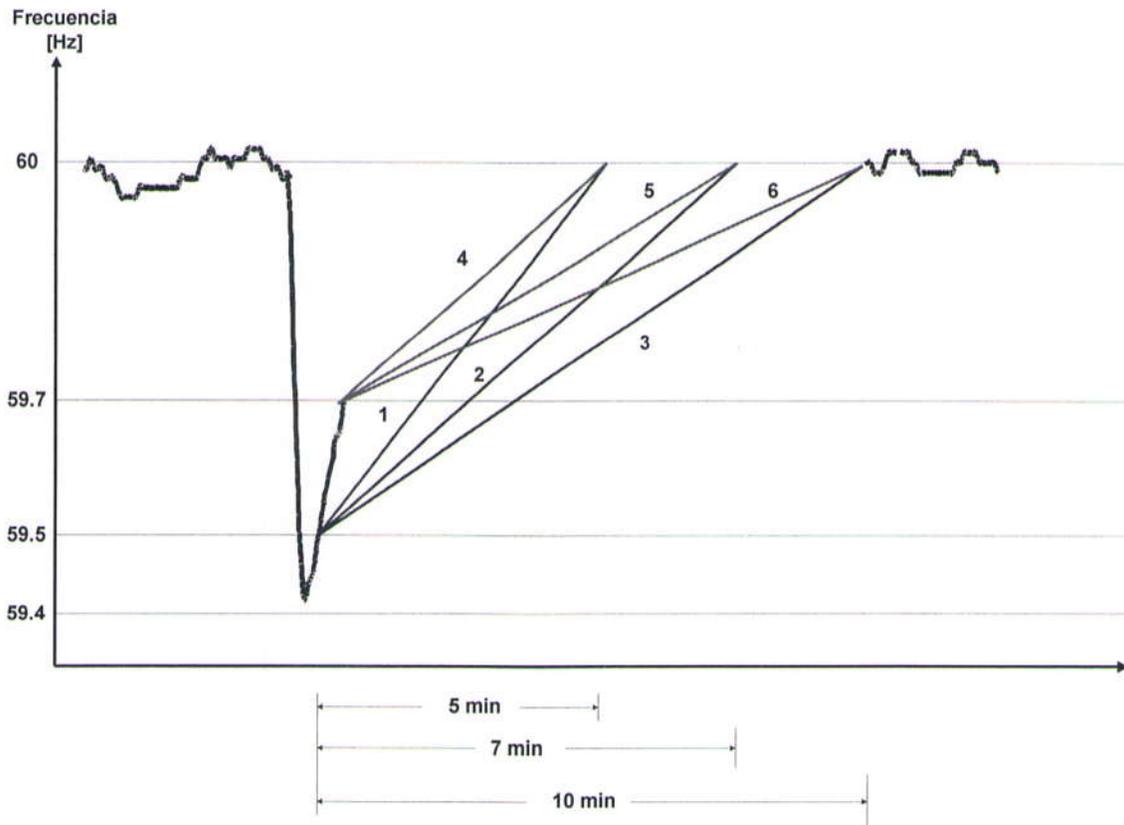


Figura 3. Escenarios de Recuperación de la Frecuencia a través del AGC

Todos los derechos reservados XM S.A. E.S.P.

Handwritten mark

Velocidad de Cambio de Carga por Unidad

Considerando las diferentes tecnologías de las plantas generadoras del SIN y la experiencia internacional, se recomienda una velocidad mínima por unidad de 10 MW/min medidos con el modo de pruebas del AGC en el CND.

Tal como la velocidad total de las unidades que estén prestando el servicio de AGC debe estar entre 50 - 70 MW/min como se describió en el numeral anterior, la velocidad de cambio de carga por unidad debe estar estrechamente ligada al número de unidades tal como se describe en la Tabla 1:

Tabla 1. Velocidad de Cambio de Carga por Unidad

VEL Requerida (MW/Min)	# Unidades Requeridas		
	10 MW/min	15 MW/min	20 MW/min
70	7	5	4
50	5	3	3
35	4	2	2
42	4	3	2
30	3	2	2
21	2	1	1

Teniendo en cuenta las particularidades tecnológicas y de control de las plantas de ciclo combinado, éstas deben considerarse para el AGC como una sola unidad.

Siguiendo la metodología actual de cálculo de número de unidades basada en la velocidad total de cambio del sistema y que la velocidad mínima aceptable sea 10 MW/min, el sistema sincronizado Colombia - Ecuador requeriría el número de unidades que se describe en la Tabla 2:

Tabla 2. Velocidad de Cambio de Carga por Unidad. Sistema Colombia - Ecuador

VEL Requerida (MW/Min)	# Unidades Requeridas		
	10 MW/min	15 MW/min	20 MW/min
87	9	6	4
62	6	4	3
44	4	3	2
52	5	3	3
37	4	2	2
26	3	2	1

La diferencia en número de unidades respecto al requerimiento para el sistema colombiano aislado es hasta de dos unidades. Este requerimiento se cumple ampliamente ya que en el sistema ecuatoriano se mantienen bajo AGC entre 3 y 5 unidades de 50 MW/min.

Número Mínimo de Unidades

Por Criterios de Confiabilidad se requiere un mínimo de 3 unidades prestando simultáneamente el servicio de Regulación Secundaria de Frecuencia.

Reserva Total del Sistema (HO)

El margen de reserva para el servicio de Regulación Secundaria de Frecuencia debe responder a los eventos y cambios normales de carga y generación en el SIN. En tal sentido, la reserva de AGC está relacionada directamente con la pérdida de unidades de generación, evolución de la demanda, variaciones del pronóstico de la demanda y los cambios de generación horarios originados por el cumplimiento del esquema comercial del mercado mayorista de electricidad colombiano.

A nivel internacional es común encontrar que el margen de Regulación Secundaria es un porcentaje de la demanda y/o la pérdida de la unidad más grande. Para el sistema colombiano, se recomienda un margen de regulación, tanto para subir como para bajar, correspondiente al mayor valor entre la unidad disponible más grande y el 5% de la demanda doméstica en cada hora, porcentaje que refleja las desviaciones normales en el pronóstico de la demanda. Dicho valor podrá ser modificado por el CND según lo establecido en las Resoluciones CREG 083 de 1999 y 064 de 2000.

Es importante resaltar que la asignación de reserva de regulación a una unidad estará limitada a dos veces (regulación hacia arriba y hacia abajo) el valor efectivo de potencia que pueda variar en 7 minutos, de acuerdo con su velocidad de cambio de carga medida durante las pruebas de AGC en el CND.

Participación Mínima en Regulación Secundaria

La participación mínima en AGC por planta son 23 MW como se establece en el acuerdo CNO 093 de 2000. Este valor es el mismo tanto para arriba como para abajo tal como se describe en la Figura 4:

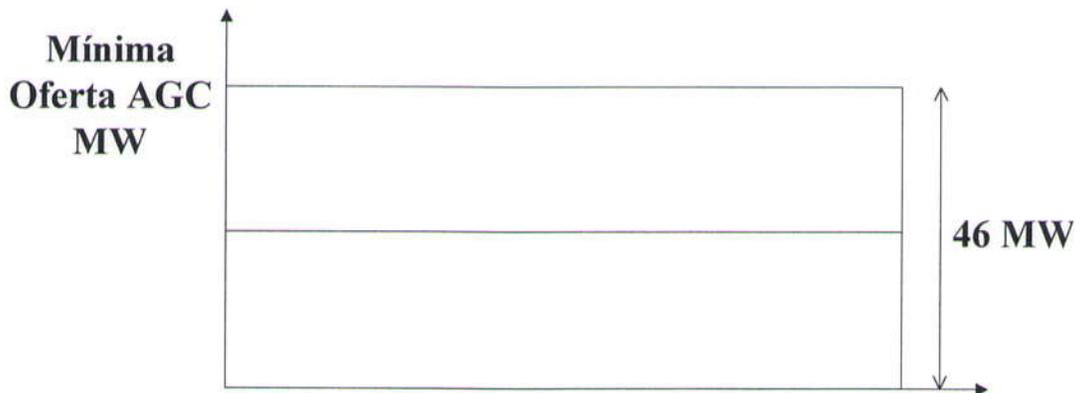
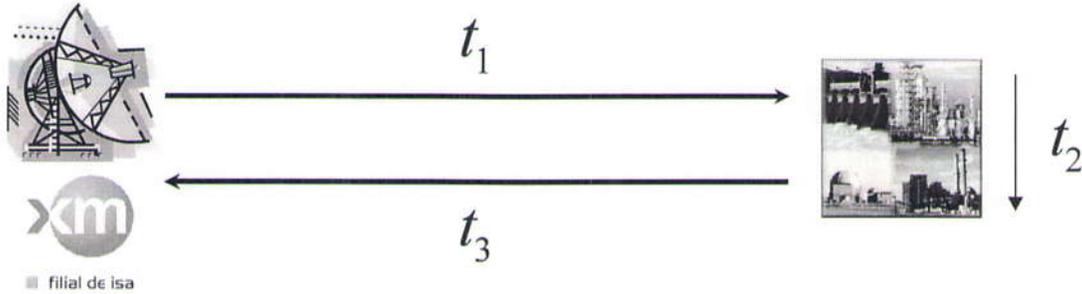


Figura 4. Mínima Oferta de AGC

Tiempo de Retardo de la Unidad

Para garantizar un adecuado desempeño de la respuesta de las unidades a los comandos del AGC, es necesario definir un límite al tiempo de retardo máximo desde el momento en que se envíe el comando de regulación desde el CND hasta que el sistema SCADA registre que la unidad que presta el servicio de AGC responde efectivamente. Teniendo en cuenta los tiempos de recuperación, las recomendaciones internacionales y la experiencia del CND, se recomienda aceptar sólo retardos máximos hasta de 20 segundos. Este concepto se ilustra en la Figura 5:



$$t_1 + t_2 + t_3 \leq \text{Tiempo de Retardo}$$

Figura 5. Tiempo de Retardo Permitido por Unidad

Estatismo

El Estatismo de la máquina es el que relaciona la variación de la frecuencia con la variación de la potencia como se muestra en la Figura 6:

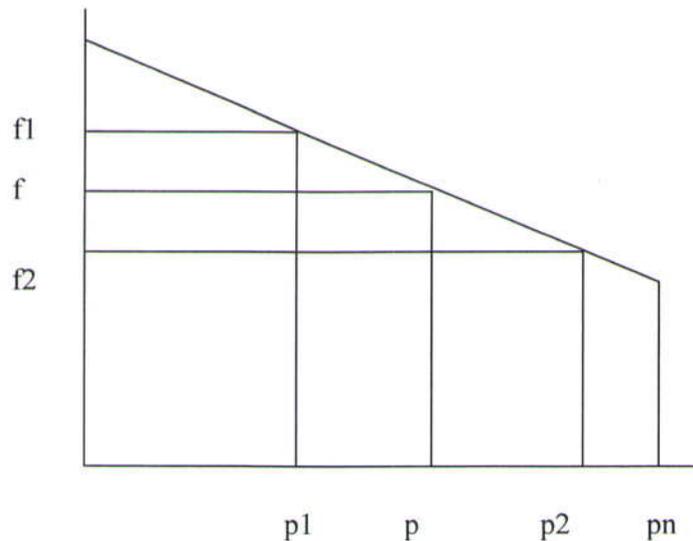


Figura 6. Estatismo de la Unidad de Generación

$$s = \frac{\Delta f / f_n}{\Delta P / P_n} \times 100\%$$

90

Si se tiene la máquina a una potencia P y frecuencia f y ocurre un aumento en la frecuencia a f_1 , la potencia de la máquina disminuye a p_1 . Si por el contrario, disminuye la frecuencia a f_2 , la potencia de la máquina aumenta a p_2 .

Para el sistema colombiano, el estatismo de las unidades de generación debe estar ajustado entre el 4 % y el 6 %. Los procedimientos para realizar las pruebas de Estatismo en las unidades del SIN se encuentran documentados en diferentes acuerdos del Consejo Nacional de Operación dependiendo del agente generador.

Resumen Requerimientos Actuales para AGC

Los parámetros requeridos para la prestación del servicio de AGC son:

Tabla 3. Parámetros Requeridos para la Prestación del Servicio de AGC

PARAMETROS	REQUERIMIENTO
Estatismo	<ul style="list-style-type: none"> Valores entre el 4 y el 6 %
Tiempos y Bandas de Recuperación de la Frecuencia por medio del AGC.	<ul style="list-style-type: none"> Después de un evento la frecuencia debe regresar a su valor nominal como máximo en 7 minutos.
Velocidad de Cambio del Sistema.	<ul style="list-style-type: none"> Valores entre 50 y 70 MW/min
Velocidad de Cambio por Unidad.	<ul style="list-style-type: none"> Mayor o igual a 10MW/min medidos durante las pruebas de sintonía para prestar el servicio de AGC.
Número Mínimo de Unidades.	<ul style="list-style-type: none"> 3 unidades. <p>NOTA: Teniendo en cuenta las particularidades tecnológicas y de control de las plantas de ciclo combinado, las mismas serán consideradas para el AGC como una sola unidad.</p>
Reserva de AGC.	<ul style="list-style-type: none"> Dicho valor será definido y modificado por el CND según lo establecido en las Resoluciones CREG 083 de 1999 y 064 de 2000.
Valor Mínimo para Participar en AGC	<ul style="list-style-type: none"> 23 MW por planta. Este valor es igual hacia arriba y hacia abajo.
Tiempo de Retardo de la Unidad en comenzar a responder una vez enviado el comando por el AGC.	<ul style="list-style-type: none"> Máximo de 20 segundos una vez enviado el primer comando de regulación.

Integración de Unidades de Generación al Esquema de AGC Nacional

Nuevas Unidades que se Integran al Esquema de AGC

Las unidades que van a participar en Regulación Secundaria de Frecuencia se deben integrar directamente al AGC del CND, para lo cual se efectúa el siguiente procedimiento:

- **Pruebas de Campo:** estas pruebas las debe realizar cada agente generador que desee participar en la regulación secundaria de frecuencia. Dichas pruebas son:

1. Medida del Estatismo de la Unidad.
2. Medida de Velocidad de Toma de Carga Sostenida.

Como resultado de estas pruebas, el agente responsable debe producir un documento técnico soportado con registros de campo y resultados de ingeniería que establecen la calidad del regulador y de la respuesta de la unidad en sitio.

Una vez recibido el informe, el CND tendrá hasta un día para revisión y análisis de los registros de las pruebas de campo, si éstos son satisfactorios el agente procederá a declarar sus pruebas de integración al servicio de Regulación Secundaria de Frecuencia, cumpliendo con los plazos y procedimientos establecidos para las pruebas en la reglamentación vigente.

En la Tabla 4 se resumen las anteriores pruebas de campo.

- **Pruebas de Integración a la Función de Control del CND:** con base en los datos obtenidos de las pruebas de campo y los suministrados por los agentes, se procede a realizar el ajuste de los parámetros de cada unidad que son usados por el programa de Regulación Secundaria de Frecuencia del CND.

Tabla 4. Pruebas de Campo

TIPO DE PRUEBA	DESCRIPCIÓN	CUMPLE	OBSERVACIONES
MEDIDA DE ESTATISMO	Los procedimientos utilizados para la obtención del parámetro se documentan en los acuerdos CNO vigentes.		
VELOCIDAD MÁXIMA SOSTENIDA DE CAMBIO DE CARGA MW/MIN	Se obtiene al hacer mediciones de potencia y tiempo al darle una orden de subir o bajar generación a la máquina, pasando de potencia nominal a cero y viceversa por medio de pulsos de igual longitud. De los datos obtenidos se obtiene la pendiente. Estos resultados deben mostrar pendientes similares en todo el rango de operación con el fin de que sean viables los ajustes con el AGC nacional. La experiencia indica que es admisible una desviación de hasta el 25%, cuyo indicador es el coeficiente de variación menor o igual 15%.		

Sintonía de Unidades

Una vez obtenidos los datos de campo, se procede a realizar el ajuste de los parámetros del modelo de cada unidad en el sistema SCADA del CND. Se realiza el siguiente procedimiento:

- Verificar la respuesta de las unidades con los parámetros originales. Para esto, se coloca la unidad en modo de prueba (Test) y se le envían varios pulsos de igual longitud (máxima), pasando de mínimo a máximo y viceversa y se evalúa la respuesta de la unidad.

- Determinar el factor de conversión (MW/Pulso). Este debe presentar un valor único para toma de carga y otro para bajar carga. Si durante las pruebas resulta una alta dispersión de este factor, no es posible obtener un valor para este parámetro. Constituyen referencia técnica las pruebas y registros preliminares de la unidad que deben garantizar el buen comportamiento.
- Se produce para las unidades un conjunto de datos recorriendo, en forma similar a la prueba de toma de carga, el ciclo completo de subida y bajada de generación, efectuando el ajuste necesario en los parámetros.
- Para determinar la calidad de la respuesta, se usan los siguientes indicadores: tiempo que tarda en responder la unidad una vez se envía el comando (**delay**), se establece que debe ser inferior a los 20 segundos; tiempo que toma para llegar al valor objetivo (menos de 1 minuto); y el valor final de potencia, se tiene una tolerancia de ± 2 MW.
- Se espera que la unidad llegue lo más rápido posible al valor objetivo y que lo haga en forma suave, esto es, se obtenga una respuesta amortiguada o ligeramente subamortiguada.
- Este proceso permite realimentar la información de los parámetros precalculados y realizar la mejor sintonía posible. En caso de no cumplir alguno de estos criterios, las pruebas se declaran no exitosas.

En la Tabla 5 se resume el procedimiento para pruebas de Sintonía de Unidades en el sistema SCADA del CND. Este sistema lleva a cabo función de control automático del AGC.

Tabla 5. Sintonía de Unidades

ITEM	PROCEDIMIENTO	CUMPLE	OBSERVACIONES
1	Verificación de respuesta de la unidad a los pulsos enviados desde el CND (respuesta lineal o no).		
2	Base de datos actualizada con los datos de las pruebas de campo.		
3	Unidad comandada desde el CND (remoto).		
4	Unidad en modo "Test".		
5	Envío de pulsos de igual tamaño hacia arriba y hacia abajo, mínimo 20 veces en cada sentido.		
6	Determinar el factor de conversión MW/Pulso (coeficiente de variación no mayor 15%).		
7	Tiempo que tarda en responder la unidad una vez se le envía el comando (delay) (menos de 20 seg).		
8	Tiempo que toma para llegar al valor objetivo (minuto a minuto y medio).		
9	Valor final de potencia (más o menos 2 MW).		
10	Determinar constante de tiempo (tiempo que tarda la unidad en alcanzar el 63% del objetivo).		

Prueba de Regulación Autónoma

El objetivo de esta prueba es establecer que las unidades que participan en AGC tengan la capacidad de regular la frecuencia en forma autónoma. Para esto es necesario que la unidad tenga instalado un frecuencímetro con muy buena resolución de toma de datos (al menos un dato por segundo). Igualmente se debe indicar al CND de qué modo se realizará el control local (en forma manual, por medio de software, etc.).

En la Tabla 6 se presenta el procedimiento para las Pruebas de Regulación Autónoma.

Tabla 6. Pruebas Autónomas

PROCEDIMIENTO	DESCRIPCIÓN	CUMPLE	OBSERVACIONES
Poseer Frecuencímetro.	Para esta prueba es necesario que la unidad tenga instalado un frecuencímetro digital de al menos dos decimales; igualmente se debe indicar al CND de qué modo se realizará el control local (en forma manual, por medio de software, etc.).		Deseable registrador de frecuencia con adecuada resolución de toma de datos (al menos tres muestras por segundo).
La unidad regula localmente.	La unidad hará el control localmente y será supervisada por el CND. Se le asignará su máxima capacidad de regulación.		
Seguimiento por parte del CND a la regulación.	Verificación de que la unidad cumpla los estándares de calidad de frecuencia para este tipo de regulación.		
Estándares de Calidad.	La frecuencia debe permanecer dentro de los límites establecidos por el Código de Operación, 59.8 y 60.2 Hz.		
	La frecuencia debe satisfacer un mínimo de un cruce por 60 Hz cada 10 minutos.		
	En caso de presentarse un evento (disparo de una unidad, por ejemplo), la frecuencia debe regresar a su valor nominal al cabo de 7 minutos como máximo.		
	No deben presentarse oscilaciones en la frecuencia por efectos de este tipo de regulación.		

Aspectos Operativos de las Pruebas de AGC

Algunos aspectos operativos para la realización de pruebas de Regulación Secundaria de Frecuencia (AGC) se describen a continuación:

- Una vez las pruebas de campo hayan sido aprobadas por el CND, el agente queda habilitado para iniciar las pruebas de integración al AGC nacional.
- El CND coordinará previamente con el personal de la unidad/planta la realización de las pruebas de AGC, acordando los períodos de ejecución de las mismas, el agente ofertará la máxima capacidad para regular en cada período horario, el tipo de prueba, etc.
- El agente informará al CND el programa específico de pruebas AGC en cada período horario, cumpliendo con los plazos y procedimientos para pruebas establecidos en la reglamentación vigente.
- Los agentes efectuarán sus ofertas en forma normal y la asignación en el Despacho se hará con base en estas ofertas, de acuerdo con las Resoluciones CREG 198 de 1997 y 121 de 1998.
- En la operación real se asignará el AGC de acuerdo con el plan acordado. De ser necesario retirar durante las pruebas, operativamente y en forma transitoria, alguna unidad del AGC, se dejará la programación original y se le solicitará a las unidades que tengan asignado el AGC estar pendientes para corregir la frecuencia si se presentan problemas.

En la Tabla 7 se resumen aspectos operativos para las pruebas de Regulación Secundaria de Frecuencia.

Tabla 7. Aspectos Operativos

PROCEDIMIENTO	DESCRIPCIÓN	CUMPLE	OBSERVACIONES
Envío de los resultados de las pruebas de campo.	El agente debe enviar un informe con la descripción de las pruebas realizadas y los registros con los resultados de las pruebas de campo.		
Revisión por parte del CND de los resultados.	El CND tiene un día para analizar los resultados.		
Agente preparado para iniciar pruebas de integración.	Comunicación escrita del CND indicando que el agente puede realizar pruebas y salir programado en el despacho al tercer día.		
Coordinación de las pruebas de integración.	Coordinación telefónica CND – Agente.		
Ofertas.	El agente ofertará la máxima capacidad para regular por unidad en cada período horario.		
	La asignación en el Despacho se hará con base en las ofertas, de acuerdo con las Resoluciones CREG 198 de 1997 y 121 de 1998.		
Retiro de unidades durante las pruebas.	Procedimiento de autorizaciones.		
Entrega de informe por parte del CND.	Una vez finalizadas las pruebas el CND tendrá hasta un día para enviar el informe.		
Agente habilitado para prestar el Servicio de Regulación de Frecuencia.	El agente podrá hacer sus ofertas en las fechas establecidas en el informe del CND.		

10

Mantenimiento de Parámetros

Los parámetros que utiliza la función AGC son sensibles a las modificaciones en cualquiera de los subsistemas asociados a ella (computadoras, sistemas de comunicación, dispositivos de acople a la unidad, regulador de velocidad); por lo tanto, es necesario volver a sintonizar estos parámetros cada vez que haya cambios originados ya sea por mantenimiento general o por cualquier otro tipo de mantenimiento.

Cada vez que una unidad sea retirada para efectuarle cualquier tipo de intervención al regulador de velocidad o algún otro dispositivo de control relacionado con la regulación primaria o secundaria, deberá ser reportado al CND. Dado que la unidad continúa siendo elegible para la prestación del servicio de regulación secundaria, debe coordinar pruebas con el CND con el fin de sintonizar parámetros de la unidad involucrada. Esta solicitud se hará la primera vez que haga regulación secundaria después del mantenimiento.

En caso de no ser satisfactorias las pruebas la unidad será retirada temporalmente de la lista de elegibles para la prestación del servicio de Regulación Secundaria.

Para la actualización y mantenimiento de los parámetros se realiza el procedimiento descrito en **Sintonía de Unidades**.

En la Tabla 8 se presenta el procedimiento para mantener actualizados los parámetros de las unidades que prestan el servicio de AGC.

Tabla 8. Ajuste de Parámetros Unidades después de Mantenimiento que Afecte la Regulación de Frecuencia

PROCEDIMIENTO	DESCRIPCIÓN	CUMPLE	OBSERVACIONES
El agente informa tipo de mantenimiento y/o cambios realizados. En caso de modificar un parámetro básico, se debe adjuntar informe.	Si como resultado de un mantenimiento al regulador o al actuador que afecta la regulación de frecuencia, se prevé un cambio en un parámetro, el agente reporta al CND. Se adjunta informe técnico.		Intervención que afecte estatismo, toma de carga y linealidad de respuesta.
Evaluación CND-Agente	Con base en el informe enviado por el agente, el CND acordará con él la realización de pruebas de sintonía de acuerdo con el procedimiento establecido.		
Pruebas de campo.	Sí es necesario se realizará de nuevo el procedimiento establecido para este tipo de pruebas.		
Solicitud de pruebas.	Dado que la unidad continúa siendo elegible para la prestación del servicio de regulación secundaria, debe coordinar pruebas con el CND con el fin de sintonizar parámetros de la unidad involucrada. Esta solicitud se hará		

90

	la primera vez que haga regulación secundaria después del mantenimiento.		
Sintonía de unidades	Se realizará de nuevo el procedimiento establecido para este tipo de pruebas.		

Retiro de Unidades

Si durante la operación normal el personal del Centro Nacional de Despacho observa alguna anomalía en una de las unidades que se encuentra prestando el servicio de regulación Secundaria de Frecuencia; luego de efectuar una revisión exhaustiva a todos los subsistemas asociados a la función AGC (enlace de comunicación, RTU, software, parámetros, regulador de velocidad, etc) y se determine que la anomalía presentada es originada por mal funcionamiento de la unidad, del regulador de velocidad o de la RTU, procederá de la siguiente manera:

- Se enviará una comunicación al agente con copia al CNO informándole que será retirada temporalmente de la lista de elegibles para la prestación del servicio de regulación de frecuencia, hasta que efectúe los ajustes necesarios en sus dispositivos de control asociados a este servicio.
- Una vez el agente haya efectuado los ajustes respectivos, debe enviar un informe al CND que contenga los correctivos realizados y datos gráficos de éstos.
- Una vez recibido el informe, el CND tendrá hasta un día para revisión y análisis de los registros si éstos son satisfactorios el agente procederá a declarar sus pruebas de integración al servicio de Regulación Secundaria de Frecuencia, cumpliendo con los plazos y procedimientos establecidos para las pruebas en la reglamentación vigente.
- El CND realizará las pruebas según la programación y siguiendo los procedimientos descritos en **Mantenimiento de Parámetros y Sintonía de Unidades**. El CND tendrá hasta un día para el análisis de los datos y resultados de estas pruebas.
- Si el resultado de las pruebas es satisfactorio, el CND enviará una comunicación informando que la unidad puede ser considerada nuevamente como elegible para prestar el servicio de Regulación Secundaria de Frecuencia.

En la Tabla 9 se resume el procedimiento a llevar a cabo cuando el CND detecte una respuesta inadecuada en alguna de las unidades que prestan el Servicio de AGC.

Tabla 9. Retiro de Unidades

PROCEDIMIENTO	DESCRIPCIÓN	CUMPLE	OBSERVACIONES
El CND detecta repuesta inadecuada en unidad reguladora.	El CND efectúa una revisión exhaustiva a todos los subsistemas asociados a la función LFC, control carga generación, (enlace de comunicación, software, parámetros, etc) y se determina la posible causa que origina la anomalía. Le informa al agente (telefónicamente, fax o correo electrónico).		

Todos los derechos reservados XM S.A. E.S.P.



El agente evalúa posible origen de la anomalía.	El agente realiza una revisión exhaustiva a la RTU y a todos los dispositivos de control de la unidad y determina si la anomalía está en esos dispositivos.		
Identificación de la anomalía.	Con base en los análisis del CND y del agente se establece el origen más probable de la anomalía. Se informan (CND y agente) vía correo electrónico, fax o telefónicamente. Se acuerdan los ajustes necesarios.		
Clasificación de la anomalía.	Con base en la información del agente, el CND clasifica la criticidad de la anomalía: Corto Plazo o Largo Plazo. Se establece si la solución de la anomalía requerirá o no nuevamente de pruebas de integración.		
Anomalía de Corto Plazo.	La disponibilidad para Regulación de frecuencia se hace cero hasta por las siguientes 48 horas a partir de la "Identificación de la Anomalía". Este momento se reportará por parte del CND. Se reasignará el AGC teniendo en cuenta el acuerdo 78/2000 del CNO. Si pasado este tiempo, el agente no ha solucionado el problema y no ha realizado el reporte respectivo, la unidad pasará a ser NO ELEGIBLE.		
Anomalía de Largo Plazo.	La unidad pasa a ser NO ELEGIBLE. El CND hará el procedimiento de información a los agentes y al CNO.		
Informe por parte del agente con los ajustes realizados.	Una vez el agente haya efectuado los correctivos, debe enviar un informe técnico al CND. El CND evaluará la naturaleza de los correctivos y definirá si se requieren pruebas para pasar a ser elegible nuevamente.		
Informe de aceptación por parte del CND de los ajustes efectuados.	Una vez recibido el informe, el CND tendrá un día para revisión y análisis de los registros. Si éstos son satisfactorios, el agente procederá a declarar sus pruebas de integración, si es el caso, al servicio de regulación secundaria		

Todos los derechos reservados XM S.A. E.S.P.

10

	de frecuencia, cumpliendo con los plazos y procedimientos establecidos para las pruebas en la reglamentación vigente.		
Retorno a calidad de Unidad ELEGIBLE.	Si la naturaleza del correctivo afecta los parámetros de la regulación de frecuencia, se procederá a programar y realizar nuevamente pruebas. En caso contrario, con el reporte del agente, el CND declarará la unidad como ELEGIBLE		
Pruebas de resintonía.	El CND realizará las pruebas según la programación y siguiendo el procedimiento establecido. El CND tendrá un día para el análisis de los datos y resultados de estas pruebas. El CND tiene un día para conceptuar por el informe técnico.		
Informe por parte del CND que la unidad es elegible.	Si el resultado de las pruebas es satisfactorio, el CND enviará una comunicación informando que la unidad puede ser considerada nuevamente como elegible para prestar el servicio de regulación secundaria de frecuencia.		

Observación:

El CND realizará seguimiento al desempeño de las unidades que se encuentren prestando el servicio de regulación secundaria de frecuencia de una manera no periódica y aleatoria. En caso de detectar alguna unidad o planta con un desempeño no adecuado, el CND se pondrá en contacto con el agente y seguirá el procedimiento Retiro de Unidades.

10