

Informe de Diseño, Requerimientos Técnicos e Implementación del AGC del SEN

Diciembre 2020

Versión	Fecha	Comentarios	Realizó	Revisó	Aprobó
1	29 diciembre 2020		AOG/FRM	JVC/VRJ	REV

Contenido

1. INTRODUCCIÓN	5
2. REQUERIMIENTOS SISTEMICOS DEL AGC Y REQUERIMIENTOS PARA LAS UNIDADES GENERADORAS CONTROLADAS POR EL AGC	5
2.1 ASPECTOS GENERALES	5
a. Filosofía de control.....	5
b. Determinación del Error de Control de Área (ECA).....	6
c. Determinación de la Característica de Regulación de Frecuencia	6
d. Factores de Participación de Regulación	6
e. AGC y Despacho Económico en línea	7
f. Principales Parámetros Sistémicos del AGC (Banda muerta del ECA, ECA Filtrado y Límite Permisivo).....	7
2.2 REQUERIMIENTOS NORMATIVOS	7
a. Definición de CSF.....	7
b. Documentos y Normas aplicadas.....	8
2.3 REQUERIMIENTOS FUNCIONALES DEL AGC	8
a. Número mínimo de configuraciones en AGC.....	8
b. Número máximo de configuraciones en AGC	8
c. Rampas Sistémicas	8
d. Funcionamiento del AGC en Islas.....	9
e. Banda de Operación del AGC	9
2.4 REQUERIMIENTOS DE DISEÑO DEL AGC	9
3. REQUERIMIENTOS PARA LAS UNIDADES GENERADORAS QUE PARTICIPAN EN EL AGC	10
3.1 REQUERIMIENTOS FUNCIONALES	11
a. Límites de Regulación de las unidades generadoras	11
b. Tiempos de Retardo (segundos)	11
c. Rampas de aumento y reducción de generación (MW/minuto)	13
d. Consignas de Potencia o Pulsos	13
e. Estatismo Permanente (%), Banda muerta de Potencia (MW).....	14

f. Lazos de Control de las unidades generadoras.....	14
3.2 REQUERIMIENTOS PARA LA VERIFICACIÓN DE LA PRESTACIÓN DEL SC DE CSF	14
4. REQUERIMIENTOS DE COMUNICACIONES PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL AGC	15
4.1 DOCUMENTOS Y NORMAS APLICADAS.....	15
4.2 ARQUITECTURA DE COMUNICACIONES.....	15
4.3 REQUERIMIENTOS TÉCNICOS.....	16
a. Listado de Señales.....	16
b. Adquisición de datos	16
c. Prestaciones del Sistema.....	17
d. Confiabilidad	17
e. Disponibilidad de Enlaces.....	18
f. Redundancia – Criterio de Disponibilidad.....	18
4.4 REQUERIMIENTOS BÁSICOS DE DISEÑO	19
a. Requerimientos Operativos	19
b. Requerimientos respecto a comunicaciones y redes de datos.....	19
4.5 PRUEBAS REQUERIDAS.....	20
a. Pruebas Punto a Punto.....	20
b. Prueba de Disponibilidad del SITR.....	21
c. Cumplimiento de disponibilidad de enlaces	22
d. Arquitectura de Comunicaciones.....	22

1. INTRODUCCIÓN

El AGC (Automatic Generation Control) del Coordinador tiene como objetivo controlar en forma remota las unidades generadoras que prestan el Servicio Complementario (SC) de Control de Frecuencia Secundario (CSF) de manera automática y centralizada desde el Centro de Despacho y Control (CDC) del Coordinador, de manera de llevar la frecuencia del SEN a un valor cercano a los 50 Hz (Error de control de Área (ECA) igual a cero). Para el control de las unidades generadoras en forma remota, se debe disponer de una infraestructura de comunicaciones que le permite al AGC la adquisición de las variables analógicas y estados de la red eléctrica, y el envío de consignas o pulsos a las unidades dentro de los tiempos requeridos para el AGC.

2. REQUERIMIENTOS SISTEMICOS DEL AGC Y REQUERIMIENTOS PARA LAS UNIDADES GENERADORAS CONTROLADAS POR EL AGC

2.1 ASPECTOS GENERALES

a. Filosofía de control

Para efectos de realizar la regulación de frecuencia, el AGC verifica cada un ciclo de AGC (4 segundos) los valores de frecuencia del SEN y la transferencia neta de intercambio con otras Áreas de Control (en caso de estar interconectado con otros sistemas eléctricos). La imagen 1, representa la operación del AGC durante un ciclo de AGC.

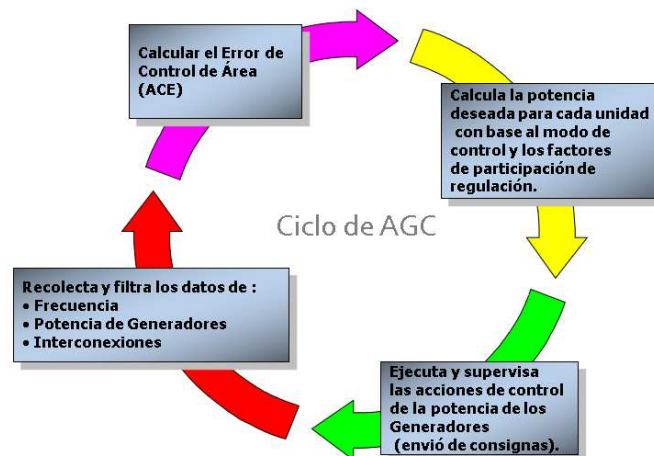


Imagen 1. Ciclo del AGC

b. Determinación del Error de Control de Área (ECA)

Para poder determinar la contribución de cada una de las unidades controladas por el AGC, se hace necesario determinar el ECA, que representa la desviación en MW de la frecuencia con respecto al valor nominal y/o la desviación del intercambio neto programado con otras Áreas de Control. Las siguientes expresiones representan los métodos de cálculo del ECA, dependiendo de las características del sistema de potencia.

Frecuencia Constante (Sistema Aislado, situación actual del SEN)

$$ECA_{CF} = -10 B_f (f_a - f_s)$$

Intercambio y Frecuencia Constantes (SEN interconectado con otra Área de Control)

$$ECA_{TLB} = -10 B_f (f_a - f_s) + I_a - (I_s + I_{ic} + I_{ds}) + I_{me}$$

Donde:

f_a = Frecuencia actual (Hz)

f_s = Frecuencia programada (Hz)

B_f = Constante de potencia/frecuencia (MW/0.1Hz)

I_a = Intercambio actual (MW)

I_s = Intercambio programado (MW)

I_{ic} = Intercambio Inadvertido

I_{ds} = Intercambio dinámico neto

I_{me} = Ajuste por error de medición

c. Determinación de la Característica de Regulación de Frecuencia

Para determinar la desviación de frecuencia en MW, se hace necesario la determinación de la Característica de Regulación de Frecuencia (BIAS) del SEN expresada en MW/Hz. El BIAS es determinado a partir de la estadística de contingencias de generación, en donde no se hayan activado EDAC por baja frecuencia u otros automatismos de desconexión de generación/carga. Periódicamente se determina un valor promedio del BIAS, el procedimiento actual para su determinación se encuentra en la página web del Coordinador, a través del siguiente enlace <https://www.coordinador.cl/operacion/documentos/plataformas-para-la-operacion/control-automatico-de-generacion-agc/>.

d. Factores de Participación de Regulación

Una vez determinado el ECA, este se distribuye entre las unidades generadoras controladas por el AGC a través de la utilización de factores de participación de regulación, determinados de acuerdo con un criterio técnico - económico, que considera los márgenes asignados para subir o bajar generación, ante una subfrecuencia o sobrefrecuencia, respectivamente.

e. AGC y Despacho Económico en línea

Junto con la componente de regulación, se puede incorporar una componente económica proveniente de la solución de un despacho económico en línea, que determina la potencia base de las unidades que se encuentran controladas por el AGC. De esta forma, pueden ser controladas por el AGC unidades que prestan el Servicio Complementario (SC) de CSF y que hacen seguimiento de la demanda, o bien unidades que sólo realizan seguimiento de la demanda o unidades que sólo prestan el SC de CSF.

f. Principales Parámetros Sistémicos del AGC (Banda muerta del ECA, ECA Filtrado y Límite Permisivo)

Mínimo ECA: Cuando el ECA se encuentra por debajo del límite de mínimo ECA, el AGC no realiza acciones de control sobre las unidades generadoras (cálculo de potencia deseada, y envío de consignas). Actualmente, el valor de Mínimo ECA es 5 MW.

ECA Filtrado: La determinación del ECA Filtrado, es el resultado de aplicar un filtro de ruido de potencia ajustable por el mantenedor del AGC sobre el valor del ECA. La aplicación del filtro al ECA es según rangos o bandas de filtrado.

Límite Permisivo: Para efectos de impedir un empeoramiento del ECA producto de una modificación en la potencia base de las unidades en AGC que vaya en sentido opuesto al de disminución del ECA, se determina un límite permisivo que limita la potencia base de la unidad cuando el ECA se encuentra fuera del límite permisivo. El valor actual del límite permisivo es de ± 60 MW.

2.2 REQUERIMIENTOS NORMATIVOS

a. Definición de CSF

Corresponde a acciones de control destinadas a restablecer la frecuencia del sistema eléctrico en una banda en torno a su valor nominal. Esta categoría de servicio considera las subcategorías de Control Secundario de Frecuencia por Subfrecuencia o para Subir (CSF+) y de Control Secundario de Frecuencia por Sobre frecuencia o para Bajar (CSF-).

El CSF deberá operar de forma centralizada y automática a través de un esquema de control centralizado (AGC). Las instalaciones que participen del CSF deberán entregar el 100% de la reserva comprometida dentro de un tiempo de 5 min, y deberán ser capaces de mantener su aporte por un tiempo de 15 min.

b. Documentos y Normas aplicadas

- Norma Técnica de SyCS.
- NT SSCC, en lo que respecta a la prestación del servicio de CSF.
- Anexo Técnico: Verificación de Instalaciones para la Prestación de SSCC.
- Instructivos de Verificación de SSCC: Protocolo de pruebas de Sintonización y Guía de Verificación de Control de Frecuencia.

2.3 REQUERIMIENTOS FUNCIONALES DEL AGC

a. Número mínimo de configuraciones en AGC

El número de configuraciones mínimas en control deberán ser a lo menos 3, para cumplir con los siguientes requerimientos de seguridad operacional:

- Cumplir con la holgura para entregar una rampa de variación superior a 20 MW/min y estar preparados para la indisponibilidad de una de las unidades en AGC (la rampa máxima de subida para evitar una sobre-regulación por unidad es 20MW/min, como se describe en el literal c)
- Cumplir holgura para aumentar generación y disminuir generación de acuerdo con la Reserva de CSF requerida, y su aporte comprometido en un tiempo no mayor a 5 minutos.
- Mantener la confiabilidad ante la indisponibilidad de enlaces de comunicaciones de una o más configuraciones en control de AGC. Para cumplir con la disponibilidad de las configuraciones en el AGC, se cuenta con un set de configuraciones que se comunican con él, a través de diferentes canales de comunicación.

b. Número máximo de configuraciones en AGC

Para efectos de evitar la determinación de factores de participación de regulación muy bajos, se debe restringir el número de configuraciones que participan en el AGC. Lo anterior tiene como objeto evitar el envío de consignas que puedan estar dentro de la banda muerta del Error de Control de Unidad (ECU) de cada configuración (Potencia deseada – Potencia actual), afectando el desempeño de las configuraciones y al AGC en su respuesta sistémica. Actualmente, el número máximo de unidades, está delimitado por los márgenes mínimos programados de CSF(+) y CSF(-) para cada unidad que participa en el SC de CSF, cuyo valor es de 5 MW, cuyo valor es mayor al ECU máximo ($\pm 1,5$ MW) de todas las unidades configuradas en el AGC.

c. Rampas Sistémicas

La rampa sistémica está definida como la razón entre el margen de reserva de CSF requerido y el aporte comprometido en un tiempo no mayor a 5 minutos de las configuraciones que prestan el

servicio de CSF (AGC). Por ejemplo, para una reserva de ± 130 MW el valor de la rampa sistémica resultante es de ± 26 MW/min.

La rampa de cada configuración sintonizada en el AGC está limitada a un valor de rampa máxima de ± 20 MW/min. Esta limitación es utilizada para evitar sobre respuestas de potencia de las configuraciones que empeoran la regulación de frecuencia, en particular, las respuestas provenientes de las centrales hidráulicas que pueden llegar a poseer rampas sobre los 100 MW/min. Por otra parte, la rampa mínima de cada configuración está limitada a la banda muerta de potencia de cada unidad, estimada en torno a ± 1 MW.

d. Funcionamiento del AGC en Islas

El AGC tiene la capacidad de operar en islas. La detección de las islas es entregada por el estimador de estado, con lo cual se detecta que unidades están operando en control del AGC en cada isla formada en el SEN. Para cada isla se determina un BIAS que es proporcional a la demanda de la isla. Cabe señalar que la operación del AGC en islas es una condición excepcional en el SEN.

e. Banda de Operación del AGC

Se definen tres bandas de operación en función del ECA Filtrado:

Banda de operación deseada: Se determina a partir del valor de la desviación estándar de la frecuencia promedio – minuto, determinada durante un periodo de 12 meses. El valor de la desviación estándar actual de la frecuencia es de 0.05 Hz. De esta forma para un intervalo de confianza de un 95% (dos desviaciones estándar), se determina una banda de operación deseada de ± 0.1 Hz.

Banda de operación en estado normal: Se establece en ± 0.2 Hz, de tal forma de cumplir con el valor de la frecuencia dentro de la banda definida en la NT de SyCS, al menos, durante al menos el 97% del periodo.

Banda de operación en estado de alerta: Se establece en ± 0.3 Hz, de tal forma de no interferir con la acción del CPF. En un valor del ECA fuera de esta banda, el AGC se suspende.

2.4 REQUERIMIENTOS DE DISEÑO DEL AGC

- La disponibilidad del sistema principal del AGC será de, al menos, un 99.95%.
- Por la criticidad de esta aplicación, se integra el módulo AGC, tanto en el SCADA principal del Coordinador, como en sus respaldos.
- El desempeño del control secundario de frecuencia en el SEN será establecido por el AGC, mediante el control de la potencia de salida de las unidades generadoras participantes.

- El monitoreo de la reserva secundaria o de regulación con respecto a los límites preestablecidos es realizado por el AGC.
- El cumplimiento de los estándares de calidad de la frecuencia deberá garantizarse, tanto para las condiciones de operación normales, alerta, emergencia, como para la contingencia simple más severa de generación.
- La excedencia en el cumplimiento de los requisitos de control de frecuencia no es considerada como positiva, ya que representan sobrecostos por regulación para el SEN
- Las unidades generadoras que participan cada momento en el CSF a través del AGC son, de preferencia, aquellas que fueron consideradas en el Programa de Generación. En caso de existir una indisponibilidad de unidad programada para prestar el CSF, se debe considerar primero el margen de regulación que tenía asignado y luego comprobar que la rampa que aporta la unidad que la reemplace permita cumplir con el requerimiento mínimo de rampa del sistema al momento de su reemplazo.
- Los márgenes de CSF(+) y CSF(-) de las unidades en control del AGC, son presentados al despachador en los despliegues del AGC.
- La capacidad de control individual o por grupo de un generador es utilizado para despachar unidades en modo 'Programado' a los fines de realizar un despacho acorde con un plan de producción.
- La totalidad de la generación supervisada es modelada en el AGC sin perjuicio que parte de esa generación sea no controlable, de manera que la generación agregada pueda ser utilizada como entradas en los distintos reportes, resúmenes y cálculos que se realizan tanto en el AGC como en las aplicaciones complementarias que se integren.
- El AGC está completamente integrado al Simulador de Entrenamiento, OTS, en dicho sistema la integración del AGC no representa ninguna limitación en cuanto a funcionalidad o capacidad de simulación o representación dinámica de los generadores.
- El AGC deberá considerar que, por cada central o unidad asignada al control de la generación secundaria, se establece un sub-lazo cerrado de control del tipo proporcional-integral que deberá monitorizarse a los fines de verificar que cumple con las asignaciones de error de control de unidad que le corresponden (UCE). El lazo de control principal se establece con el fin de minimizar el ECA a partir de los sub-lazos de control de las unidades en control secundario de frecuencia.

3. REQUERIMIENTOS PARA LAS UNIDADES GENERADORAS QUE PARTICIPAN EN EL AGC

3.1 REQUERIMIENTOS FUNCIONALES

a. Límites de Regulación de las unidades generadoras

Los límites de regulación inferior y superior establecen el rango permitido para la regulación de CSF de la unidad generadora, donde la unidad pueda entregar el servicio de CSF en forma efectiva y segura. De acuerdo con la tecnología y zonas de operación de las unidades, se establecen los siguientes criterios:

Unidades térmicas de vapor (TV): Estas unidades pueden presentar diferentes zonas de operación, dependiendo del número de pulverizados que se encuentren en servicio para alimentar de carbón la caldera. Para efectos de verificar la prestación del SC de CSF, el coordinado debe definir los rangos de operación, cuidando que no existan problemas de sobrepresión o atemperamiento del vapor al interior de la caldera.

Ciclos combinados (CC): En este tipo unidades, se pueden presentar diferentes configuraciones, dependiendo de las componentes en servicio del CC. Asimismo, en esta etapa el coordinado, deberá informar, si la consigna remota recibida por el DCS de la central será recibida por el bloque generación (TG+TV) o solo por la TG. Cabe señalar, que los límites de regulación solicitados se limitan exclusivamente a las unidades que se encuentran en control de AGC. El coordinado deberá informar todas las configuraciones del CC que puedan operar en AGC, para efectos de determinar en cada una de ellas, los límites de regulación correspondientes. Adicionalmente, se deben informar los límites de regulación, en caso de que las unidades operen en el AGC con distintos tipos de combustibles.

Centrales Hidráulicas (CH): Para este tipo de unidades, el coordinado deberá informar en qué rango de niveles de cota del embalse de regulación podrán participar en la operación del AGC. Asimismo, el coordinado informará el rango de regulación permisible dependiendo de las condiciones especiales de operación (vertimiento, vertimiento evitable y agotamiento).

Energías Renovables Variables (ERV): En este tipo de unidades, el coordinado, deberá integrar la señal de la potencia máxima disponible del parque en MW, para efectos de utilizar este valor como el límite de regulación superior. Asimismo, el coordinado deberá definir un valor fijo para el límite de regulación inferior del parque, que asegure la no desconexión de los paneles solares o aerogeneradores, según corresponda. Ambos límites de regulación serán definidos en el punto de conexión del parque.

b. Tiempos de Retardo (segundos)

Para garantizar un adecuado desempeño de la respuesta de las unidades a los comandos del AGC, se determina y define un límite al tiempo de retardo máximo a partir del cual las unidades inician su cambio de generación visto por el módulo AGC del SCADA del Coordinador. Este tiempo de retardo de referencia máximo es de 20 segundos. Para la disminución del tiempo de retardo, el Coordinado debe llevar a cabo una sintonización de los lazos de control que gobiernan los procesos

de generación para disminuir al máximo el tiempo de retardo. No obstante, de acuerdo con los resultados obtenidos durante las pruebas de sintonización, los valores de los tiempos de retardo podrían ser mayores a los 20 segundos, dependiendo de la tecnología de la central, como se establecen en la tabla 2:

Tabla 1 Tiempos de Retardo admisibles (segundos)

Tecnología	Tiempo de Retardo admisibles (segundos)	Observaciones
Térmica a Vapor	Hasta 45 segundos	Su tiempo de retardo, suele aumentar durante las inversiones de sentido de la consigna de potencia producto de la inercia térmica de la caldera. No obstante su tiempo de retardo supera los 20 segundos, su respuesta es adecuada para prestar el SC de CSF
Ciclo Combinado	Hasta 30 segundos	Su tiempo de retardo, suele aumentar durante las inversiones de sentido de la consigna de potencia producto del seguimiento de la TG por parte de la TV del CC.
Ciclo Abierto	Hasta 25 segundos	Supera los 20 segundos en aquellas zonas donde actúan controles locales, como el control de temperatura de los gases de escape de la TG.
Hidroeléctrica de Embalse	Hasta 20 segundos	Sus tiempos tienden a aumentar ante depresiones importantes en la cota de los embalses, que puedan traer problemas en la presión de la tubería de aducción.
Energía Renovable Variable	Hasta 20 segundos	Sus tiempos en general son menores a 20 segundos. Su tiempo de retardo se puede ver aumentado por el control del PPC cuando conecta o desconecta paneles o aerogeneradores de acuerdo con la potencia generada.

c. Rampas de aumento y reducción de generación (MW/minuto)

Las unidades deberán operar en el AGC respondiendo a los envíos de consigna para aumentos o reducción de generación, observando una respuesta lineal de la rampa, cuyo valor será válido para todo el rango de regulación. Los valores de rampa se deberán informar para las diferentes condiciones operacionales de las unidades, de acuerdo con la evidencia de los valores de rampas efectivos registrados durante las pruebas de sintonización de las unidades del SEN. La tabla 3, presenta los valores admisibles de rampa de acuerdo con el tipo de configuración y tecnología utilizadas:

Tabla 2 Requerimiento de Rampas (MW/min)

Tecnología	Rampas admisibles (MW/min)	Observaciones
Térmica a Vapor	Mayor o igual 1.5 MW/min	Su valor puede diferir para rampas de subida y bajada, y diferentes zonas de regulación.
Ciclo Combinado	Mayor a 6 MW/min	Dependiendo de las configuraciones en AGC y tipo de combustible utilizado, su valor de Rampa de subida y bajada puede ser diferente.
Ciclo Abierto	Mayor a 7 MW/min	Su valor de Rampa puede ser afectada por la temperatura de los gases de la TG.
Hidroeléctrica de Embalse	Mayores a 3 MW/min	Su valor de Rampa puede ser afectado por la cota del embalse de regulación.
Energía Renovable Variable	Mayores a 10 MW/min	Su valor de Rampa puede ser afectado por el lazo de control del PPC del parque, ante el retiro o conexión de paneles o aerogeneradores dependiendo de la potencia generada.

d. Consignas de Potencia o Pulsos

Los cambios de potencia podrán ser en función de la configuración del controlador de la central enviados desde el AGC, en base a consignas absolutas (Potencia deseada), diferenciales (Cambio de Potencia Solicitada) o Pulsos de Control para subir o bajar potencia, permitiendo una resolución de número de pulsos para subir o bajar de ancho configurable.

Los cambios de potencia activa (incremento o reducción) podrán ser agregados por central o en forma individual para cada unidad generadora.

e. **Estatismo Permanente (%), Banda muerta de Potencia (MW)**

Para efectos de verificar el comportamiento de la unidad en control del AGC, se deben informar el valor de Estatismo Permanente (%) para considerar su acción sobre el control de la unidad en el AGC, pudiendo hacer que durante las pruebas de sintonización se modifique el valor del límite de regulación inferior por acción del CPF. El valor de la banda muerta de Potencia es requerido para su comparación con el valor de la banda muerta determinada para la consigna de potencia.

f. **Lazos de Control de las unidades generadoras**

Entrega de información técnica; planos, diagramas funcionales, memorias de cálculo, protocolos de ensayo, modelos matemáticos y parámetros ajustados en diagrama de bloques, catálogos de fabricantes y documentación técnica que permita verificar la filosofía de operación de las configuraciones en el AGC, y que respalden los valores de rampa y límites de regulación informados.

3.2 REQUERIMIENTOS PARA LA VERIFICACIÓN DE LA PRESTACIÓN DEL SC DE CSF

A continuación, se presenta un cuadro resumen de las exigencias técnicas verificadas durante las pruebas de sintonización de las unidades generadoras, junto con el nivel de cumplimiento requerido para cada ítem, como lo indica la tabla 4:

Tabla 3 Nivel de Cumplimiento

Ítem	Requisito	Cumplimiento
1	Pruebas de respuesta de la señal de control de la instalación de generación	Reconocimiento de una consigna externa cuando el selector de la unidad está en Remoto
2	Medición de rampa de reducción de potencia de la instalación [MW/min].	Verificación del valor efectivo de la rampa, y nivel de linealidad (desviaciones menores a 15% durante todo el rango de regulación)
3	Medición de rampa de toma de carga de la instalación [MW/min].	Verificación del valor efectivo de la rampa, y nivel de linealidad (desviaciones menores a 15% para todo el rango de regulación)
5	Medición de los límites de regulación superior e inferior, entre los cuales las instalaciones participarán en el CSF a través del AGC.	100%
6	Tiempo de entrega en que la instalación es capaz de mantener el recurso técnico.	Valor de potencia solicitado en un periodo de tiempo de 5 minutos de acuerdo con la Rampa configurada
7	Medición de las bandas de operación prohibidas, dentro de las cuales las instalaciones no participan en el CSF a través del AGC	Confirmación de zonas prohibidas
8	Medición de tiempos de retardo ante el envío de una consigna de potencia activa	Tiempo admisible, dependiendo de la tecnología

9	Verificación del estado final de la potencia activa con respecto a su potencia solicitada.	Valor de la potencia generada en torno al valor de consigna solicitado. Se admite una diferencia menor o igual al valor de la banda muerta de potencia informada
10	Verificación de sub o sobre amortiguamiento de la potencia activa con respecto al valor de consigna.	Sobre paso <5% del valor final de potencia
11	Verificación de la estabilidad de la potencia activa, considerando el estatismo y banda muerta de la frecuencia parametrizados en el controlador potencia - frecuencia de la instalación.	Estabilidad de la potencia generada en torno a la consigna, considerando la acción del estatismo permanente

4. REQUERIMIENTOS DE COMUNICACIONES PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL AGC

Esta sección describe los requisitos de comunicaciones para el cumplimiento del “Anexo Técnico: Verificación de Instalaciones para la Prestación de SSCC” para las exigencias técnicas de acuerdo con el TITULO 3-3 de la NT SSCC para la prestación del servicio de CSF.

4.1 DOCUMENTOS Y NORMAS APLICADAS.

Estos requerimientos se basan en las siguientes normas:

- Norma Técnica de Seguridad y Calidad de Servicio.
- Anexo Técnico: “Definición de Parámetros Técnicos y Operativos para el Envío de Datos al SITR”

4.2 ARQUITECTURA DE COMUNICACIONES.

Toda instalación que preste servicio de Control Secundario de Frecuencia (CSF) debe contar con un diseño de arquitectura para la adquisición e intercambio de los datos y señales de acuerdo con los siguientes parámetros:

Tabla 4 Requerimiento de Parámetros y Disponibilidad

Prestaciones para el Enlace y Arquitectura del AGC Local/Coordinado	Confiabilidad	MTBF $\geq$ 8.760 horas. Promedio de tiempo (en horas) transcurrido entre una falla y la siguiente
	Disponibilidad de enlaces	Disponibilidad $\geq$ 99,95%
	Redundancia	Criterio de Falla Simple: establece que ninguna función crítica del Enlace AGC Local/Coordinado deberá ser bloqueada por falla de un elemento, y refleja un sistema de alta disponibilidad. Este criterio se puede cumplir de 2 maneras:

		a. Utilizar componentes de alta fiabilidad y duplicar solamente aquellos, dónde se hace absolutamente necesario por razones de seguridad o por la aplicación del criterio de falla simple.
		b. Utilizar componentes con una disponibilidad comercial en una arquitectura redundante
	Mantenibilidad	MTTR $\geq$ 12 horas
	Tiempo de Reposición	MRT $\leq$ 6 horas
Edad del dato	Tiempo en segundos de los datos de información crítica para la implementación del AGC o de otros datos que deberán integrarse a la base de datos de Tiempo Real del SCADA del Coordinador	Para señales críticas del AGC: 2 segundos, para otros datos: 5 segundos

4.3 REQUERIMIENTOS TÉCNICOS

En la Tabla 5 se establecieron los requisitos de cumplimiento de la solución propuesta para el Enlace AGC Local/Coordinado; en esta sección se especifican con mayor detalle estos requisitos en lo que tiene que ver con los aspectos de diseño, aspectos funcionales, de comunicaciones, hardware y de prestaciones del sistema.

a. Listado de Señales.

El listado general de señales y variables que se requieren para la plataforma AGC supervisión, indicado en la norma técnica, es información mínima, sin embargo, la lista deberá ser actualizada y ajustada de acuerdo con la ingeniería de detalle desarrollada y conforme a las características de los equipos y sistemas específicos que sean suministrados. La lista de señales y variables que se desarrollen en la etapa de ingeniería detallada del Enlace AGC Local/Coordinado deberá ser sometida a revisión y aprobación del Coordinador.

b. Adquisición de datos

Los datos y señales requeridas por el sistema AGC podrán ser adquiridos mediante cualquiera de las siguientes modalidades: interrogaciones (polling) periódicas (relación maestro/esclavo entre el SCADA del Coordinador y la fuente de datos), mediante reportes espontáneos (peer to peer) y por demanda. De acuerdo con los protocolos de comunicaciones utilizados y la configuración de las comunicaciones, en la etapa de ingeniería detallada del Enlace AGC Local/Coordinado, los ciclos de

adquisición se programarán para que se cumplan los tiempos exigidos en la NTSyCS y en este documento.

c. Prestaciones del Sistema

Los requisitos de Confiabilidad, Disponibilidad y Mantenibilidad de (RAM-Reliability, Availability and Maintainability) son factores claves para la determinación de la arquitectura del Enlace AGC Local/Coordinado, así como para la selección de los equipos. El Suministrador de la solución para el Enlace AGC Local/Coordinado deberá entregar cálculos y datos que comprueben y atiendan los requisitos RAM de preferencia. Los cálculos deben ser suministrados en forma de especificación RAM, que incluya los siguientes cálculos estadísticos, basados en datos prácticos:

- Probabilidad de falla de los componentes del Enlace AGC Local/Coordinado
- Confiabilidad del Enlace AGC Local/Coordinado.
- Disponibilidad del Enlace AGC Local/Coordinado.
- Mantenibilidad del Enlace AGC Local/Coordinado.

El Coordinado deberá presentar el cálculo de la disponibilidad del Enlace AGC Local/Coordinado, realizado para la arquitectura seleccionada en el diseño detallado, y deberá utilizar los datos RAM de los modelos de los componentes propuestos.

Deberá implementarse un proyecto seguro o “fail safe”, es decir, no deberá haber ningún tipo de falla que haga que el Enlace AGC Local/Coordinado inicie una acción de control no deseada. Además, las fallas en componentes del Enlace AGC Local/Coordinado no deberán deshabilitar las funciones de control de la operación de las centrales o sus unidades. El Coordinado deberá explicar las capacidades que tendrá el sistema para permitir su reinicio en caso de una falla. Todos los programas se deben activar y/o programar de acuerdo con una secuencia de inicialización predeterminada, independientemente de qué programas estaban ejecutándose antes de reiniciar el sistema y no deberá ser necesaria ninguna intervención manual.

La definición detallada de la arquitectura, implementada con base en la arquitectura referencial solicitada, deberá considerar aspectos como: la seguridad, operación, mantenimiento y costo.

d. Confiabilidad

La confiabilidad del Enlace AGC Local/Coordinado, incluyendo todos los componentes individuales y los subsistemas, deberá cumplir con lo establecido en la Normas IEC 60870-4 Sección 3.1.

Tabla 5 Clase de Confiabilidad conforme IEC 60870-4

Clases de Confiabilidad	MTBF5
R1	MTBF $\geq$ 2 000 h
R2	MTBF $\geq$ 4 000 h
R3	MTBF $\geq$ 8 760 h

MTBF (en inglés Mean Time Between Failure), en español Tiempo Medio Entre Fallas: se entiende como el promedio de tiempo, en horas, transcurrido entre una falla y la siguiente.

e. Disponibilidad de Enlaces

La disponibilidad del Enlace AGC Local/Coordinado, incluyendo todos los componentes individuales y los subsistemas, deberá cumplir con lo establecido en la Normas IEC 60870-4 Sección 3.2.

Tabla 6 Clase de Disponibilidad conforme IEC 60870-4

Clases de Disponibilidad	Disponibilidad A
A1	$A \geq 99.00\%$
A2	$A \geq 99.75\%$
A3	$A \geq 99.95\%$

Para el Enlace AGC Local/Coordinado deberá ser utilizada una clase de disponibilidad A3 como define la Norma IEC 60870.4. Por lo tanto, el Coordinado deberá demostrar que el Enlace AGC Local/Coordinado tendrá una disponibilidad medida del 99,95%

Todos los componentes del Enlace AGC Local/Coordinado son esenciales para mantener el monitoreo y control de la plataforma AGC. El Enlace AGC Local/Coordinado se considerará disponible cuando la totalidad de las funciones especificadas, estén operando según lo especificado, dentro de la periodicidad programada y dentro de los parámetros de ejecución y el hardware este cumpliendo con sus requerimientos de desempeño, es decir de acuerdo con la clase de disponibilidad solicitada.

f. Redundancia – Criterio de Disponibilidad.

La arquitectura del Enlace AGC Local/Coordinado debe tener en cuenta la importancia de este subsistema dentro de la Plataforma de AGC y se debe por tanto considerar la aplicación del criterio de falla simple, que también es una regla general para la disponibilidad. El criterio establece que ninguna función del Enlace AGC Local/Coordinado deberá ser bloqueada por falla de un elemento, y por lo tanto deberá garantizar un sistema de alta disponibilidad. Desde la óptica de la confiabilidad los componentes más importantes del Enlace AGC Local/Coordinado son la RTU, y el procesador de comunicaciones. De manera general hay dos formas de alcanzar una alta disponibilidad funcional, en los componentes más importantes:

- Utilizar componentes de alta fiabilidad y duplicar solamente aquellos, dónde se hace absolutamente necesario por razones de seguridad, por corresponder a una función crítica o por la aplicación del criterio de falla simple.
- Utilizar componentes con una disponibilidad comercial en una arquitectura redundante.

Los dos métodos parecen conducir a la misma disponibilidad operacional, sin embargo, la opción de arquitectura redundante necesitará muchos más repuestos y esfuerzos para la reparación, lo que podría significar mayores acciones de mantenimiento y por lo tanto mayores fuentes de error y costos asociados.

Utilizando el criterio de componentes de alta fiabilidad, se deben duplicar las fuentes de alimentación, las unidades de procesamiento CPU y los puertos de comunicación; adicionalmente cada puerto de comunicación debe permitir operar con un conjunto de protocolos de comunicación de datos estandarizados.

Con el propósito de tener la alta disponibilidad operacional requerida, se deberá considerar también la redundancia en las fuentes de alimentación al Enlace AGC Local/Coordinado.

4.4 REQUERIMIENTOS BÁSICOS DE DISEÑO

a. Requerimientos Operativos

I. Para la comunicación entre la plataforma AGC Local/Coordinado y el Sistema de Monitoreo del Coordinador (sistema SCADA), se utilizará los protocolos sobre TCP/IP DNP3.0 o IEC0104 o IEC61850.

II. El estampado de las variables digitales debe tener una precisión de 5 milisegundos. La solución para sincronismo deberá satisfacer los requisitos de disponibilidad, precisión y resolución establecidos en la regulación chilena.

III. El Enlace AGC Local/Coordinado deberá incluir instalación con servidor GPS propio, así como todos los componentes y materiales necesarios para soportar el conjunto y para ajustar la posición de la antena.

IV. Para el equipamiento entre las unidades del AGC y la plataforma de control AGC se deberá implementar una comunicación redundante y todo el equipamiento de control y protección deberá reportar en protocolos eléctricos que posean estampa de tiempo ajustado a la NTSyCS, para efectos de evitar la integración de protocolos que no soporten estampas de tiempo.

b. Requerimientos respecto a comunicaciones y redes de datos

I. El Enlace AGC Local/Coordinado de la central deberá disponer de una red de datos de área local (LAN) propia e independiente de la red de la central y a la cual se conectarán todos los equipos que conforman este sistema.

II. La conexión entre estas redes se deberá realizar utilizando un Firewall que garantice la independencia entre redes, de forma tal que se pueda tener seguridad contra accesos de terceros no autorizados.

III. El Coordinado deberá implementar todas las directrices de seguridad que sean necesarias para la configuración de la red del Enlace AGC Local/Coordinado, conforme al estado del arte.

IV. La red LAN del Enlace AGC Local/Coordinado deberá seguir estándares industriales permitiendo la interoperabilidad y conexión de dispositivos de uso inmediato (plug and play). Los principios de

las arquitecturas abiertas podrían incluir el uso de protocolos estandarizados de la industria (por ejemplo, TCP/IP, Ethernet 802.x).

V. La tecnología LAN empleada deberá adaptarse al ambiente de las centrales de generación y facilitar la interconexión e intercambio hacia los sistemas con los cuales se comunica. El nivel de aislamiento e inmunidad al ruido (eléctrico) deberá ser el requerido en aplicaciones para centrales de generación.

VI. La topología de la red podrá ser anillo, estrella o una combinación de ambas. La red LAN deberá ser redundante e ir por cables de fibra óptica diferentes. La red LAN deberá obedecer a una arquitectura del tipo abierta normalizada, de alta velocidad de transmisión y deberá ser determinística.

VII. La red de comunicación de datos se deberá implementar utilizando fibra óptica, que permita garantizar una completa inmunidad a la interferencia electromagnética. Esto aplica también para las conexiones de las RTUs con sus módulos remotos distribuidos, si aplica.

VIII. El Coordinado deberá disponer de todo el cable de fibra óptica requerido para la red redundante del Enlace AGC Local/Coordinado, junto con los demás accesorios que sean requeridos, como ODF's, entre otros.

IX. El equipamiento de la red de datos del Enlace AGC Local/Coordinado deberán ser gestionables, de tipo industrial y cumplir con los requisitos especificados por el área de gestión de la información del Coordinado. Será responsabilidad del Coordinado garantizar que el Suministrador configure los requisitos de seguridad de acuerdo con el modelo de seguridad de la información suministrado por el Coordinado y con las mejores prácticas del mercado.

4.5 PRUEBAS REQUERIDAS

A continuación, se detallan las pruebas que deben realizarse para comprobar que se hayan cumplido los requerimientos de este documento.

a. Pruebas Punto a Punto

El Coordinado deberá hacer pruebas punto a punto de todas las señales que participan en el AGC previo a las pruebas de sintonización del AGC.

Durante las pruebas punto a punto se verificará lo siguiente:

- Magnitud de las medidas.
- Estampa de tiempo de las señales de estado.
- Edad del Dato de las señales de estado.
- Pruebas de redundancia y conectividad de enlaces de Comunicación.

La información requerida para el SITR debe contar con la debida sincronización horaria, para lo cual será transmitida desde las instalaciones de los Coordinados al CDC con su marca de Tiempo Real de ocurrencia, entendiéndose por tal, la indicación de la Hora Oficial de ocurrencia de cada evento, con un error máximo de +5 [ms], respecto de la base de tiempo establecida por el reloj patrón. El reloj patrón será la señal GPS ajustada a la Hora Oficial.

Los datos que se integren a la base de datos de Tiempo Real del CDC deberán registrarse con un retardo no superior a 5 segundos contados desde el momento de su ocurrencia. En el caso de los cambios de estado estos deberán ser enviados con la respectiva estampa de tiempo, usando la versión adecuada del protocolo de comunicación.

Para la implementación del AGC, la DO podrá exigir edad de datos de 2 segundos para cierta información crítica que se defina necesaria para el proyecto.

b. Prueba de Disponibilidad del SITR

Las pruebas de disponibilidad que se deberán llevar a cabo para demostrar que la disponibilidad de los datos SITR del Coordinado y que los dispositivos estén de acuerdo con los criterios especificados.

La prueba de disponibilidad se deberá llevar a cabo después de que el AGC Local/Coordinado haya finalizado exitosamente las pruebas SAT y pruebas punto a punto con el Coordinador.

La duración mínima de la prueba de disponibilidad deberá ser de 15 días consecutivos de tiempo de prueba.

Después de que han transcurrido 15 días consecutivos de tiempo de prueba y de acuerdo con las condiciones señaladas anteriormente, la disponibilidad SITR del AGC Local/Coordinado se calculará de acuerdo con el anexo técnico: “Definición de parámetros técnicos y operativos para el envío de datos al SITR.”

$$d_{ij}[\%] = \frac{td_{ij}}{T}$$

Dónde:

- d_{ij} : Disponibilidad porcentual de la variable “i” (analógica, estado o alarma) del Coordinado “j”
- td_{ij} Tiempo de disponibilidad de la variable “i” durante el periodo de análisis, en minutos
- T: Minutos totales del periodo considerado

Si los requerimientos de disponibilidad del SITR AGC Local/Coordinado, que se presentan no se han cumplido, la prueba deberá continuar hasta cuando se logre la disponibilidad específica. Alternativamente y, según criterio del Coordinador Eléctrico Nacional, la prueba podrá reiniciarse.

c. Cumplimiento de disponibilidad de enlaces

Para la verificación del cumplimiento de disponibilidad de enlaces requerido para el envío de la consigna desde el módulo AGC del SCADA del Coordinador hasta la unidad generadora, el Coordinado deberá certificar mediante una declaración de su empresa de telecomunicaciones que certifique el cumplimiento de disponibilidad mínima de un 99.95% mensual.

d. Arquitectura de Comunicaciones

Mediante la presentación de un Layout de la arquitectura de comunicaciones para la transmisión de las señales requeridas para el AGC el Coordinado deberá demostrar que posee la redundancia necesaria del equipamiento, para el cumplimiento de la disponibilidad mensual requerida del 99.95% y que todos los requerimientos de este documento se están cumpliendo. El Coordinador revisará y entregará sus comentarios, observaciones o reparos a la arquitectura propuesta, sin embargo, la responsabilidad del correcto diseño para el cumplimiento de la disponibilidad requerida sigue siendo del respectivo Coordinado.