

ANEXO II. Descripción técnica de la Regulación Compartida del Sistema Peninsular (RCP)

1. Introducción

El correcto funcionamiento de los sistemas eléctricos interconectados, desde el punto de vista de la seguridad y la fiabilidad de la operación, exige una adecuada coordinación de su regulación frecuencia-potencia.

La regulación secundaria forma parte de los sistemas automáticos de control frecuencia-potencia.

El sistema eléctrico español forma parte de la red síncrona europea continental y, por tanto, está obligado a cumplir los requisitos establecidos por la normativa europea y la acordada por todos los TSO que pertenecen a la red síncrona de Europa Continental.

El objetivo de la regulación secundaria es, tras un incidente, devolver la frecuencia y los intercambios con otros sistemas a los valores de consigna restaurando la reserva primaria utilizada, teniendo en cuenta asimismo las consignas recibidas de la plataforma europea de compensación de desequilibrios en tiempo real para evitar activaciones en sentido contrario en distintos bloques de control.

Para ello el sistema de regulación genera las señales de control adecuadas para modificar el punto de funcionamiento de las unidades conectadas a él de forma que:

- El valor de los intercambios de potencia con otros sistemas se mantenga en el valor programado, incorporando en su caso las correcciones que resulten del proceso europeo de compensación de desequilibrios (*Imbalance Netting*).
- El valor de frecuencia del sistema se mantenga en su valor de consigna, común y único en la red síncrona interconectada de Europa Continental.

El cumplimiento de los objetivos anteriores es equivalente a mantener el equilibrio generación-demanda del sistema interconectado.

En este Sistema de Regulación, el conjunto de la reserva rodante asignada es compartido por todas las empresas en orden a:

- La distribución equitativa entre las zonas de regulación, en función de su reserva rodante asignada, de las obligaciones de regulación con respecto a desvíos con Francia y Portugal (compensados, en su caso, de acuerdo con las consignas recibidas de la plataforma europea de compensación de desequilibrios) y variaciones de frecuencia.
- La utilización de las reservas de potencia del conjunto de las empresas de forma que se puedan solventar eficazmente los desequilibrios bruscos producción - consumo.

Para realizar esta función de la Regulación Compartida, RED ELÉCTRICA coordina directamente a los reguladores de zona, actuando de “Regulador Maestro”, es decir, de repartidor de señal de regulación, y transmitiendo a los diversos reguladores de zona los valores de potencia que deben aportar a la Regulación Compartida, de acuerdo con los factores de participación resultantes de la asignación de reservas en el mercado de la regulación secundaria. A su vez, genera los resultados del servicio utilizados para la liquidación del mismo.

RED ELÉCTRICA realiza su labor de “Regulador Maestro” desde su equipo regulador en el Centro de Control del CECOEL. Cuando éste no está disponible, el Centro de Control 2 de Red Eléctrica asume la función de “Regulador Maestro”, actuando como respaldo del sistema.

2. Definiciones

RCP: Regulación Compartida Peninsular.

Regulador maestro: Sistema de control de energía que recibe las señales básicas de la regulación compartida y genera el requerimiento de control de cada zona, así como los resultados utilizados para la liquidación del servicio.

Regulador de zona: Sistema de control de energía que, recibiendo el requerimiento de control del regulador maestro, controla la generación o el consumo de las unidades incluidas en su zona.

Control automático de generación (AGC): Función *software* utilizada por los reguladores de zona para realizar el control frecuencia – potencia, es decir, para ajustar de forma automática el punto de funcionamiento de sus unidades en función de unas consignas de potencia y frecuencia, anulando su error de control de área.

Error de control de área de la zona (ACE): Desvío, expresado en magnitudes de potencia, de los valores de potencia neta y frecuencia respecto a las consignas de una zona de regulación.

Generación o consumo de la zona (PI): Valor instantáneo del total de las potencias netas de cada una de las unidades pertenecientes a una zona de regulación.

Programa de generación o consumo de la zona (NSI): Valor instantáneo del total de potencia activa neta que corresponde a la suma del programa cuarto horario de las unidades de generación, almacenamiento o consumo pertenecientes a una zona de regulación.

Desvío de generación o consumo de la zona (NID): Diferencia entre el valor del programa de generación o consumo y la potencia activa neta real de una zona de regulación.

Potencia de generación o consumo en control de la zona (PGC): Valor instantáneo de la suma del consumo o la generación neta activa que está bajo el control del AGC de una zona de regulación.

Desvío del intercambio neto de regulación peninsular (NIDR): Desvío del intercambio neto respecto al programado entre el sistema eléctrico español peninsular y los sistemas francés y portugués.

Requerimiento total de la regulación peninsular (PRR): Potencia adicional que el regulador maestro requerirá al total de las zonas de regulación para anular el desvío del intercambio neto de regulación peninsular.

Contribución requerida a la regulación (MCRRFREC): Cantidad de potencia requerida por el regulador maestro a cada uno de los reguladores de zona para anular el desvío del intercambio neto de regulación peninsular y el desvío de frecuencia.

Reserva secundaria de regulación: Potencia activa a subir y a bajar que puede ser movilizada bajo control de una zona de regulación con una constante de tiempo de 100 segundos.

Reserva asignada a las zonas: Valor de consigna de la reserva secundaria a subir y a bajar que debe aportar una zona de regulación como resultado de los mecanismos de mercado.

ENTSOE-CE: Área síncrona interconectada de Europa Continental (CE), integrada en la Red Europea de Gestores de Redes de Transporte de Electricidad (ENTSOE).

3. Regulador de Zona

La RCP requiere que tanto el regulador maestro como el de zona permanezcan en comunicación, y realicen las funciones que se les encomiendan.

Entre otras, las funciones del regulador de zona son las que se detallan a continuación:

- Recibir la contribución requerida a la regulación de cada zona ($MCRRFREC_i$), enviada por el Regulador Maestro, quien lo determina por la función de la RCP tal y como se describe en los apartados posteriores.
- Reducir el valor de su propio error de control de área (ACE_i) a cero con la mínima demora. El ACE_i se calcula atendiendo a las siguientes ecuaciones:

$$ACE_i = \frac{1}{G} \cdot NID_i + MCRRFREC_i \quad (1)$$

$$NID_i = NSI_i - PI_i \quad (2)$$

donde:

ACE _i	= error de control de área de la zona i
NID _i	= desvío de potencia respecto a programa de la zona i
G	= factor de atenuación del desvío de zona
MCRRFREC _i	= contribución requerida a la regulación de la zona i
NSI _i	= programa de generación o consumo de la zona i
PI _i	= generación o consumo de la zona i

- En caso de que la zona esté utilizando su propia medida de frecuencia (modo de respaldo), el ACE_i de zona se calculará incluyendo dicha medida, tal y como se indica en el apartado 7.4.
- Transmitir a los Reguladores Maestros los siguientes valores:
 - Desvío de generación o consumo de la zona (NID_i).
 - Programa de generación o consumo de la zona (NSI_i).
 - Desvío de frecuencia (Δf_i).
 - Potencia de generación o consumo en control (PGC_i).
 - Suma de los límites reales¹ superiores de las unidades incluidas en el cálculo del PGC (PGCSUP_i).
 - Suma de los límites reales¹ inferiores de las unidades incluidas en el cálculo del PGC (PGCINF_i).
 - Potencia activa de cada unidad de la zona de regulación susceptible de formar parte del cálculo del PGC.
 - Estado de regulación de cada unidad de la zona de regulación susceptible de formar parte del cálculo del PGC.
 - Estado de activación o suspensión del AGC de la zona.
 - Estado que indique el regulador maestro utilizado por el AGC (CECOEL o Centro de Control 2).

4. Regulador Maestro

El regulador maestro es responsable de ejecutar la aplicación de la RCP propiamente dicha. Las funciones fundamentales de la RCP comprenden:

- Determinación del estado de cada zona.
- Determinación del modo de ejecución de la RCP.
- Cálculo del PRR y del MCRRFREC para cada zona.
- Supervisión de la respuesta de cada zona y ajuste de los factores de participación de cada una de ellas.
- Tratamiento de las reservas de la RCP.

¹ Se entiende por límites reales los límites alcanzables de cada unidad cumpliendo los requisitos de velocidad de respuesta del servicio de regulación secundaria.

5. Estados de Zona de Regulación

Cada zona de regulación tiene asociado un estado, que indica su condición actual y el tratamiento que le corresponde en términos de los cálculos utilizados en la función de la RCP.

El operador puede seleccionar e introducir por pantalla cuatro posibles **situaciones de zona**:

- ON cuando la zona participa en la regulación compartida.
- OFF cuando la zona no participa en la regulación compartida.
- OFF REE cuando la falta de participación de la zona en la regulación compartida se debe a un requerimiento del regulador maestro.
- PRUEBAS cuando la zona está realizando pruebas de regulación.

El **estado de regulación** de la zona se determina teniendo en cuenta:

- la situación ON/OFF/OFF REE/PRUEBAS introducida por el operador.
- el estado del AGC de la zona.
- el estado de control de las unidades incluidas en la zona.
- la validez de los datos de entrada de la zona.
- el resultado de la lógica de control de respuesta.

Los estados de zona de regulación son:

- **OFF:** La situación de zona introducida por el operador es OFF u OFF REE. Para salir de este modo el operador debe introducir el estado ON o PRUEBAS.
- **INACTIVO:** La situación de zona es ON o PRUEBAS, pero algún dato recibido del regulador de zona no permite que ésta participe en la RCP con normalidad. Se verifica alguna de las condiciones siguientes:
 - el AGC de la zona no está activo.
 - el NID es inválido.
 - el PGC es inválido.
 - el límite superior de regulación es menor o igual que el inferior.
 - no hay unidades regulando en la zona.
 - el programa de generación o consumo de la zona es inválido.
- **ACTIVO:** La situación de la zona es ON o PRUEBAS, todos los datos recibidos de la zona permiten que ésta participe en la RCP (no cumple los criterios de INACTIVO), y la zona no cumple con el criterio de paso a emergencia descrito en la sección **8.2**.
- **EMERGENCIA:** La situación de la zona es ON o PRUEBAS, todos los datos recibidos de la zona permiten que ésta participe en la RCP con normalidad (no cumple los criterios de paso a INACTIVO), pero la zona cumple con el criterio de paso a emergencia. El criterio de paso a emergencia de la zona se describe en la sección **8.2**.

Una vez que una zona está en este estado permanece en él hasta que se cumpla una de las siguientes condiciones:

- el operador ejecuta un *reset* de la RCP.
- la zona cumple las condiciones que se han descrito para pasar a estado INACTIVO.
- la zona cumple las condiciones para pasar a estado ACTIVO, tal y como se describe en la sección **8.2**.

Para evitar inestabilidades en el funcionamiento de la RCP, la salida de la zona del estado OFF y del estado INACTIVO debe ser al estado EMERGENCIA. El error de respuesta se inicializa tal y como se describe en la sección **8.1**.

6. Modos de la RCP

6.1. Descripción de los modos de la RCP

La RCP se ejecuta en cada momento en uno de los seis modos siguientes:

- **NORMAL:** El modo NORMAL de la RCP representa el estado más deseable de la operación del sistema conjunto.
- **FRECUENCIA:** El modo FRECUENCIA de la RCP es representativo de la situación en la cual el sistema peninsular, bien se ha quedado aislado de Francia, o bien se comporta como si se hubiese producido dicha situación de aislamiento. La función de la RCP toma las medidas apropiadas tendentes a mantener la seguridad del sistema, las cuales se traducen en regular en modo NORMAL suponiendo un desvío de intercambio nulo ($NIDR = 0$).

El modo FRECUENCIA permanece efectivo hasta que se restablece la conexión con Francia, o desaparece la situación que originó el paso a este modo. La sección 6.2 describe la lógica de paso a modo frecuencia y de la salida del mismo.

- **MODO CONTROL BLOCK A REGULAR PENÍNSULA:** En este modo, la RCP pasa a regular únicamente el desvío con Francia, actuando como si la Península Ibérica fuese un bloque de control único.

Este modo puede establecerse manualmente, o bien de forma automática cuando la medida del desvío de intercambio con Portugal es inválida durante un tiempo superior a un número de ciclos determinado **CBLIM**.

- **FROZEN:** Este modo de ejecución hace que todas las zonas de regulación en estado Activo o Emergencia pasen a regular en Modo Permisivo. En este modo se modifica el valor de la contribución requerida a cada zona, de forma que su Error de Control de Área sea igual a 0 en cada ciclo de ejecución. De esta forma se congela la respuesta esperada de cada zona.

El modo FROZEN se activa automáticamente ante situaciones de emergencia en el sistema europeo (desvíos de frecuencia mayores de **MFF** mHz con duración superior a **MFT** segundos). También se podrá conmutar manualmente a este modo cuando la RCP esté funcionando previamente en modo NORMAL o FRECUENCIA.

- **NULO:** Este modo se establece cuando el modo de la RCP no se puede determinar con certeza como NORMAL, FRECUENCIA, CONTROL BLOCK PENÍNSULA o FROZEN.

El modo NULO, una vez que se establece, permanece efectivo bien hasta que uno de los otros modos pueda determinarse sin ambigüedad, o bien hasta que, transcurrido un tiempo **NTOLIM** dado, la Regulación Compartida pase a modo suspendido automáticamente.

- **SUSPENDIDO:** La RCP se suspende preventivamente al estar en modo NULO más de un tiempo definido **NTOLIM**.

6.2. Determinación del modo de la RCP

El modo de la RCP se determina tras la asignación de los estados de zona, en el orden y forma siguiente:

1. Chequeo de modo NULO

Las condiciones de paso a NULO son cualesquiera de las siguientes:

- El valor del desvío del intercambio neto entre España y Francia (NID_F) es inválido (p.e. debido a la pérdida de alguna de las telemidas que forman este valor) y el Sistema Peninsular no está aislado de Francia.
- El valor de la frecuencia f_a^2 es inválido.

² La RCP dispone de varias medidas de frecuencia ordenadas por prioridad.

- No hay capacidad de regulación, es decir, no existen zonas cuyo estado sea ACTIVO o EMERGENCIA.
- No puede detectarse con certeza el estado de conexión con Francia.

2. Chequeo de modo FRECUENCIA

Si el modo no es NULO, se verifica si se cumple alguna de las condiciones de paso a modo FRECUENCIA:

- Se ha detectado que el sistema peninsular está aislado de Francia.
- El sistema se comporta como si estuviese desconectado de Francia. Para ello se deben cumplir las condiciones siguientes:
 - El desvío de frecuencia³ es del mismo signo que el desvío con Francia, es decir $\Delta f \cdot NID_F > 0$.
 - El valor absoluto del desvío de frecuencia es superior a un umbral **UM**, es decir $\Delta f > \mathbf{UM}$. Si en ciclo previo la RCP ya estaba en modo FRECUENCIA, dicho umbral se ve disminuido en una banda muerta **BM**, es decir $\Delta f > \mathbf{UM} - \mathbf{BM}$ [Hz].

3. Chequeo de modo CONTROL BLOCK PENÍNSULA

Las condiciones de paso a este modo son las siguientes:

- La medida del desvío de intercambio con Portugal es inválida.
- La condición anterior permanece durante un tiempo superior a un número de ciclos determinado **CBLIM**.

4. Chequeo de modo FROZEN

Las condiciones de paso a este modo son las siguientes:

- La medida del desvío de frecuencia es mayor de **MFF** [mHz].
- La condición anterior permanece durante un tiempo superior a un número de segundos determinado **MFT**.

5. Chequeo de modo NORMAL

Si tras las comprobaciones anteriores se determina que el modo actual no es NULO, FRECUENCIA, CONTROL BLOCK PENÍNSULA o FROZEN, entonces se deduce que el modo actual es NORMAL.

6.3. Suspensión y activación de la RCP

La RCP puede ser activada o suspendida por el operador a través de la pantalla por medio de un punto sensible.

Como se indica en la sección **6.1**, la RCP puede también ser suspendida automáticamente si el tiempo de funcionamiento en modo NULO supera un umbral **NTOLIM**.

Transcurrido un tiempo **OTOLIM** tras la suspensión, la situación de las zonas pasa automáticamente a OFF. La situación de las zonas deberá ser pasada manualmente a ON tras la activación.

7. Algoritmo de la RCP

7.1. Requerimiento total de la regulación peninsular PRR

El requerimiento total de la regulación peninsular se calcula siempre como sigue:

³ Nótese que el desvío de la frecuencia se calcula respecto al valor programado (dictado por ENTSOE para cada período), y no respecto al valor nominal.

$$PRR = F(CNID_R + ESTIGCC \cdot P_{corr}) - \sum_{i=1}^N \frac{1}{G} \cdot X_i \cdot NID_i \text{ si } |PRR| \geq DBPRR \quad (4a)$$

o bien:

$$PRR = 0 \quad \text{si} \quad |PRR| < DBPRR \quad (4b)$$

donde:

$F(CNID_R)$ = valor filtrado del desvío del intercambio neto de regulación NID_R, compensado en su caso (véase filtro no lineal en sección 7.2)

$CNID_R$ = $NID_R + ESTIGCC \cdot P_{corr}$

$ESTIGCC$ = estado de participación de España en IGCC (plataforma europea de compensación de desequilibrios; tomará valor 0 en caso de no participar y 1 en caso de que España esté participando en el proceso)

P_{corr} = Potencia de corrección del desvío recibida de la plataforma europea de compensación de desequilibrios *Imbalance Netting*.

G = factor de atenuación del desvío de zona

N = número de zonas de la Regulación Compartida

X_i = 1 si el estado de la zona i es ACTIVO
0 si el estado de la zona i no es ACTIVO

NID_i = desvío de generación o consumo de la zona i

DBPRR = banda muerta por debajo de la cual se hará $PRR = 0$

El cálculo de intercambio neto de regulación NID_R se realiza como sigue:

$$NID_R = NID_F - NID_P \quad (5)$$

$$NID_R = NID_F \quad \text{si RCP en } \mathbf{MODO CONTROL BLOCK A REGULAR PENÍNSULA} \quad (5b)''$$

Siendo

NID_R = desvío del intercambio neto de regulación

NID_F = desvío del intercambio neto de España con Francia

NID_P = desvío del intercambio neto de España con Portugal

El desvío de intercambio neto con Francia NID_F^4 , se calcula como sigue:

$$NID_F = \sum_{k=1}^M PI_k - NSI_F \quad (6)$$

donde:

NSI_F = intercambio neto programado de la Península Ibérica con Francia (positivo es una compra de España a Francia)

⁴ El valor absoluto del intercambio neto con Francia NID_F se compara con dos límites (uno mayor que el otro) generando sendas alarmas. A su vez, si dicho desvío permanece por encima de un tercer límite por un tiempo superior a un período preestablecido, se genera una alarma adicional.

- M = número de interconexiones entre España y Francia
 PI_k = intercambio neto filtrado por la interconexión k que cruza la frontera entre España y Francia⁵ (la dirección positiva es de Francia hacia España)

El desvío del intercambio neto con Portugal NID_P, se calcula como sigue:

$$NID_P = \sum_{k=1}^M PI_k - NSI_P \quad (7)$$

donde:

- NSI_P = intercambio neto programado entre España y Portugal (positivo es una compra de Portugal a España)
 M = número de interconexiones entre España y Portugal
 PI_k = intercambio neto filtrado por la interconexión k que cruza la frontera entre España y Portugal⁶ (la dirección positiva es de España hacia Portugal)

7.2. Filtrado del desvío de intercambio neto de regulación compensado CNID_R

El valor de la magnitud CNID_R puede contener perturbaciones, a menudo pequeñas, de carácter aleatorio. La función de la RCP incluye un filtro no lineal cuyo objeto es aprovechar la ventaja que supone el procesar la entrada básica o primaria (en este caso el NID_R) de un sistema de control a través de una lógica de filtrado diseñada para eliminar acciones de control innecesarias y sin efecto práctico y alcanzar, por añadidura, objetivos adicionales tales como la minimización de la integral del desvío compensado con Francia y Portugal (mejor dicho el valor de NID_R), lo cual supone, con una buena aproximación, la minimización del desvío de intercambio inadvertido. La lógica del filtro no lineal reduce la integral de CNID_R sin utilizar control integral.

El funcionamiento del filtro no lineal se resume como sigue:

$$FCNID_R = CNID_R \quad (8 a)$$

si el valor absoluto de CNID_R supera el umbral **NFK₂** o se inhibe el filtrado del desvío de intercambio con objeto de mantener la seguridad del sistema.

Un valor de CNID_R grande debe ser corregido sin mayores consideraciones.

$$FCNID_R = 0 \quad (8 b) \quad \text{cuando el valor absoluto del acumulador A es inferior al umbral } \mathbf{NFK}_1.$$

El acumulador A se calcula como el último valor de CNID_R más el valor de la integral de CNID_R (B⁶) multiplicado por una ganancia **NFK₃**. Un valor pequeño de A implica que tanto el valor del NID_R como el valor de su integral es pequeño, por lo que no precisa acción alguna de control, pudiendo considerarse el FCNID_R nulo.

$$FCNID_R = 0 \quad (8 c) \quad \text{cuando siendo el valor absoluto del acumulador A superior al umbral } \mathbf{NFK}_1, \text{ el signo del CNID}_R \text{ es opuesto al signo de su integral.}$$

En esta situación el propio CNID_R tiende a reducir el valor de la integral, y no se ejerce acción de control alguna, forzando el valor de FCNID_R a cero.

⁵ El valor del flujo de potencia por cada interconexión con Francia y Portugal se determina como el mejor entre el valor del flujo en el lado español y el valor del flujo en el lado francés y portugués cambiado de signo. El valor seleccionado se filtra por medio de un filtro de constante de tiempo **T** previamente a su utilización en el cálculo del NID_F y del NID_P.

$$PI_{\text{FILTRADO}}(t) = PI_{\text{FILTRADO}}(t-1) + \frac{PI - PI_{\text{FILTRADO}}(t-1) \cdot \Delta t}{T + \Delta t}$$

siendo Δt el tiempo transcurrido entre los instantes t-1 y t.

⁶ El algoritmo determina de forma independiente el valor de la integral de NID_R en las horas punta y en las horas valle, con el fin de corregir el error de energía correspondiente a cada tipo de horas en su período cuarto horario correspondiente.

$FNID_R = CNID_R \cdot NFK_4 (8 d)$ cuando el valor absoluto del acumulador A es superior al umbral NFK_1 y el signo del NID_R coincide con el de su integral.

La integral de $CNID_R$ tiende a crecer, por lo que se precisa una acción de control que tienda a reducir dicha integral, por lo que al valor de $CNID_R$ se le aplica una ganancia NFK_4 .

7.3. Cálculo de la contribución requerida a la regulación $MCRRFREC_i$

En este apartado se describe el cálculo de la contribución requerida a la regulación en el modo de funcionamiento habitual. En el apartado 7.4 se describe el cálculo de la regulación requerida cuando, de forma transitoria o en modo de respaldo, se modifica el cálculo de la contribución requerida a la regulación dependiendo del modo de corrección del desvío de frecuencia.

El cálculo del $MCRRFREC_i$ depende de diversos factores:

- modo de la RCP.
- estado de las zonas.
- si se cumplen o no las condiciones de *modo permisivo de regulación*.

Según lo anterior, el valor del $MCRRFREC_i$ se calcula de las formas que se detallan a continuación:

1. Para los modos de la RCP NORMAL o FRECUENCIA, los $MCRRFREC_i$ se calculan repartiendo el PRR entre los reguladores de zona que están en servicio, es decir, entre aquellos cuyo estado no es OFF ni INACTIVO:

- Si el estado de la zona es ACTIVO:

$$MCRRFREC_i = K_i \cdot PRR + TEFREC_i \quad (9)$$

- Si el estado de la zona es EMERGENCIA:

$$MCRRFREC_i = K_i \cdot \left(PRR - \frac{1}{G} \cdot NID_i \right) + TEFREC_i \quad (10)$$

En ambos casos, K_i es el factor de participación enviado a la zona i , según se detalla en la sección 8.3.

El regulador maestro calcula la señal del término de frecuencia centralizado $TEFREC_i$ de la zona de regulación i , como:

$$TEFREC_i = -10 \cdot BIASNORM_i \cdot \Delta f \quad (11)$$

$$BIASNORM_i = B \cdot CTBCAP_i \quad (11a)$$

$$\Delta f = f_a - f_s \quad (11b)$$

Siendo:

$CTBCAP_i$ = capacidad nominal de contribución a la regulación de la zona i , calculado como se describe en la sección 8.3.

Δf = desvío de frecuencia calculado por el Regulador Maestro.

f_a = frecuencia medida por el Regulador Maestro.

f_s = frecuencia programada.

B = constante de BIAS de frecuencia total del Sistema Peninsular, se establece anualmente según directrices de ENTSOE.

2. En los modos NORMAL o FRECUENCIA de la RCP una zona puede regular en **modo permisivo**. Las condiciones que se deben dar para que esto se produzca son:

- **El error de control de área de la zona es de signo contrario al error de control de área de la Península.**

El error de área de la zona se calcula suponiendo que el $MCRRFREC_i$ está dado por las ecuaciones (9) o (10) según sea el estado de la zona. Así pues:

$$ACE_i = MCRRFREC_i + \frac{1}{G} \cdot NID_i \quad (12)$$

El error de área global de la península, ACE_R , se calcula como:

$$ACE_R = CNID_R - 10 \cdot B \cdot \Delta f \quad (13)$$

- **El valor absoluto de ACE_R supera un determinado umbral.**

Una vez iniciada la regulación en modo permisivo, se mantiene mientras el valor absoluto del ACE_R sea superior al umbral **UMACE** menos una banda muerta **DBACE**.

Cuando se cumplen ambas condiciones, la acción de control de la zona tendería a incrementar el valor del ACE_R en lugar de a disminuirlo, aun cuando para el conjunto de las zonas la acción total sea correcta y tienda a disminuir dicho error de área global. Cuando el valor del ACE_R es grande, esta forma de actuar no es apropiada, por lo que, para evitarla, el $MCRRFREC_i$ de la zona se calcula como:

$$MCRRFREC_i = -\frac{1}{G} \cdot NID_i \quad (14)$$

Esto equivale a anular el ACE_i , con lo que se anula la acción de control durante el ciclo para la zona i. Sustituyendo en las ecuaciones anteriores:

$$ACE_i = MCRRFREC_i + \frac{1}{G} \cdot NID_i = -\frac{1}{G} \cdot NID_i + \frac{1}{G} \cdot NID_i = 0$$

3. En el modo NULO de la RCP los $MCRRFREC_i$ de cada zona se mantienen constantes en el último valor válido que tuviese en el modo anterior. Si el modo NULO se mantiene suficiente tiempo como para que la RCP se suspenda automáticamente, los $MCRRFREC_i$ dejarán de enviarse a los reguladores de zona.
4. En el modo FROZEN de la RCP todas las zonas de regulación en estado Activo o Emergencia pasan a regular en **modo permisivo**.

En este modo se modifica el valor de la contribución requerida a cada zona, de forma que su Error de Control de Área sea igual a 0 en cada ciclo de ejecución. El $MCRRFREC_i$ de cada zona se calcula como:

$$MCRRFREC_i = -\frac{1}{G} \cdot NID_i \quad (15)$$

7.4. Cálculo de la contribución requerida a la regulación $MCRRFREC_i$ en modo de respaldo.

En este apartado se describe el cálculo de la contribución requerida a la regulación cuando las zonas de regulación regulen de forma transitoria su desvío de frecuencia, o bien la corrección centralizada del desvío de frecuencia se efectúe utilizando la constante de BIAS zonal (constante). Estos modos de funcionamiento son previos a la implantación completa de la regulación centralizada de la frecuencia, si bien permanecerán como función de respaldo.

A estos efectos, se utilizará la señal MODFRECE intercambiada entre el regulador maestro y las zonas de regulación. Esta señal indica cuándo la Zona de Regulación debe excluir su Término de Frecuencia de su ACE y cómo está siendo calculado el Término de Frecuencia Centralizado TEFREC por el Regulador Maestro, incluido en la señal MCRRFREC. La señal podrá tomar los siguientes valores:

- MODFRECE= 0: Cálculo del Término de Frecuencia con BIAS zonal, por la ZR.
- MODFRECE= 1: Cálculo centralizado del Término de Frecuencia con BIAS zonal, por el Regulador Maestro.

- MODFRECE= 2: Cálculo centralizado del Término de Frecuencia con BIAS Normalizado, por el Regulador Maestro.

En caso de que la señal MODFRECE tenga valor MODFRECE=2, el cálculo de la contribución requerida a la regulación de cada zona i , $MCRRFREC_i$, se calculará como se indica en el apartado 7.3. En caso contrario, se calculará como se indica a continuación.

Asimismo, las zonas de regulación enviarán al Regulador Maestro la señal ZRMODFREC, que indica qué Término de Frecuencia está utilizando la Zona de Regulación en el cálculo de su ACE. Esta señal podrá tomar los siguientes valores:

- ZRMODFRECZONA = 0: Término de Frecuencia calculado por la ZR (MODFRECE=0)
- ZRMODFRECZONA = 1: Término de Frecuencia Centralizado (MODFRECE = 1 ó 2)

El Regulador Maestro utilizará esta señal con carácter informativo.

7.4.1. Si MODFRECE=0:

En este caso las zonas de regulación calculan el término de frecuencia a partir de su medida de frecuencia, por lo que el ACE de zona viene dado por:

$$ACE_i = MCRRFREC_i + \frac{1}{G} \cdot NID_i + TERMFREC_i \quad (16)$$

$$TERMFREC_i = -10 \cdot BIAS_i \cdot (f_i - f_s) \quad (16b)$$

Donde:

f_i = frecuencia real del sistema, medida por la zona i .

f_s = frecuencia programada en el sistema interconectado europeo continental.

$BIAS_i$ es el coeficiente de participación de cada zona. Su valor por defecto se comunica a las zonas anualmente, calculándose como la parte proporcional del coeficiente BIAS Peninsular establecido anualmente según directrices de ENTSOE. El valor por zona se calcula de acuerdo con la producción total, o bien con el consumo total, de energía en cada zona en el año natural anterior al momento del cálculo.

Adicionalmente, los coeficientes de participación por defecto se recalcularán ante cambios estructurales significativos en las zonas de regulación:

- Si se incorpora una nueva zona, se recalculará el reparto de coeficientes por defecto teniendo en cuenta la producción, o el consumo de energía de las unidades que la componen a lo largo del año natural anterior.
- Si se elimina una zona, se recalculará el reparto de coeficientes por defecto sustrayendo su producción o consumo en el año natural anterior.

Si se producen cambios significativos en la composición de alguna zona, se recalcularán igualmente los coeficientes por defecto teniendo en cuenta la producción o el consumo en el año anterior de las unidades que hayan entrado o salido de la zona.

Dependiendo del estado de zona, $MCRRFREC_i$ vendrá dado por:

Si la RCP está en modo normal o frecuencia:

- Si la zona de regulación está activa:

$$MCRRFREC_i = K_i \cdot PRR \quad (17)$$

- Si la zona de regulación está en emergencia:

$$MCRRFREC_i = K_i \cdot (PRR - \frac{1}{G} \cdot NID_i) \quad (18)$$

- Si la zona de regulación se encuentra en modo permisivo:

$$MCRRFREC_i = -\frac{1}{G} \cdot NID_i - TERMFREC_i \quad (19)$$

En el modo NULO de la RCP los MCRRFREC_i de cada zona en este caso se mantienen constantes en el último valor válido que tuviese en el modo anterior. Si el modo NULO se mantiene suficiente tiempo como para que la RCP se suspenda automáticamente, los MCRRFREC_i dejarán de enviarse a los reguladores de zona.

En el modo FROZEN de la RCP todas las zonas de regulación en estado Activo o Emergencia pasan a regular en **modo permisivo**.

En este caso, el MCRRFREC_i de cada zona se calcula como:

$$MCRRFREC_i = -\frac{1}{G} \cdot NID_i - TERMFREC_i \quad (20)$$

7.4.2. Si MODFRECE=1:

En este caso, el término de frecuencia se calcula de forma centralizada y se incluye dentro de la contribución requerida a la regulación MCRRFREC_i, con la diferencia respecto al funcionamiento descrito en el apartado 7.3 de que el valor de BIAS de zona no es el normalizado, sino el BIAS zonal:

El término de frecuencia centralizado TEFREC_i se calculará para cada zona como sigue:

$$TEFREC_i = -10 \cdot BIAS_i \cdot (f_a - f_s)_i \quad (20b)$$

Donde:

f_a = frecuencia real del sistema, medida por el Regulador Maestro.

f_s = frecuencia programada.

BIAS_i es el coeficiente de participación de cada zona

8. Supervisión de la Respuesta de una Zona

Con el fin de garantizar que se alcanzan los objetivos de la función RCP, resulta necesario incorporar una lógica que supervise el funcionamiento de cada zona y que determine si cada una de ellas responde razonablemente dentro de las condiciones que la Regulación Compartida atraviesa en cada momento.

Para ello se utiliza una lógica de control de respuesta al principio de la lógica general, para ver si la magnitud de estos valores es consistente con el MCRRFREC_i que se les envió en la ejecución anterior de la RCP. La lógica de supervisión de respuesta de zona es la responsable de determinar si una zona determinada cumple el criterio de emergencia. El estado de cada zona se determina por medio de esta lógica en cada ciclo de ejecución de la RCP.

8.1. Supervisión de la respuesta de potencia en control

- Potencia en control deseada de la zona i

En primer lugar se determina la potencia en control deseada para que la zona i anule su error de control de área. Se calcula como la potencia de generación o consumo en control PGC⁷ del ciclo anterior incrementada por el error de control de área de dicho ciclo:

⁷ El valor de PGC se recibe de los reguladores de zona, y se calcula a su vez a partir de las medidas de potencia de las unidades y de los estados de regulación enviados desde las zonas de regulación. Se puede elegir entre el valor telemedido o el valor calculado. A su vez existe la opción de que el valor escogido se filtre previamente a su utilización en el algoritmo.

$$PGCD_i(t) = PGC_i(t-1) + \frac{1}{G} \cdot NID_i(t-1) + MCRRFREC_i(t-1) \quad (21)$$

siendo:

- PGC_i(t-1) = PGC_i recibido de la zona i en el ciclo anterior
- NID_i(t-1) = NID_i recibido de la zona i en el ciclo anterior
- MCRRFREC_i(t-1) = MCRRFREC_i enviado a la zona i en el ciclo anterior

- Respuesta esperada de la zona i

La respuesta esperada de la zona i depende de si ha habido o no cambios en el estado de control de las unidades de la zona incluidas en el cálculo del PGC_i.

- Sin cambios de estado de control de las unidades:

Con el valor de PGCD_i, que como se ve tiene en cuenta el MCRRFREC_i que se le envió en el ciclo anterior, se modela la respuesta esperada de cada zona cuyo estado sea ACTIVO o EMERGENCIA. Para ello se utiliza una función simplemente exponencial de primer orden del tipo:

$$SUM1_i = \frac{1}{1 + s \cdot T1_i} \cdot PGCD_i(s)$$

Si no ha habido cambios en las unidades participantes en el cálculo del PGC, se expresa de la forma siguiente:

$$SUM1_i(t) = \alpha_{1i} \cdot PGCD_i(t) + (1 - \alpha_{1i}) \cdot SUM1_i(t-1) \quad (22a)$$

siendo:

- SUM1_i(t) = valor esperado de la potencia total de regulación de la zona para el ciclo actual de control
- SUM1_i(t-1) = valor esperado de la potencia total de regulación de la zona en el ciclo anterior de control
- T1_i** = constante de tiempo que simula la velocidad de respuesta de la zona i
- α_{1i}** = cociente entre el tiempo del ciclo de ejecución del algoritmo y la constante de tiempo T1_i

- Con cambios de estado de control de las unidades:

Si ha habido cambios en el estado de control de las unidades de la zona, la respuesta esperada se hará igual a la potencia actual más el error filtrado del ciclo anterior:

$$SUM1_i(t) = PGC_i(t) + SUM_i(t-1) \quad (22b)$$

- Error de respuesta de la zona i

Para determinar el error de respuesta se utiliza la siguiente lógica, con vistas a reducir el valor del error al mínimo:

- Si el valor de PGC_i es un valor comprendido entre el valor de SUM1_i y el valor de PGCD_i:

$$ERR_i(t) = 0 \quad (23a)$$

- Si el valor de PGC_i es más próximo a SUM1_i que a PGCD_i:

$$ERR_i(t) = SUM1_i(t) - PGC_i(t) \quad (23b)$$

- Si el valor de PGC_i es más próximo a PGCD_i que a SUM1_i:

$$ERR_i(t) = PGCD_i(t) - PGC_i(t) \quad (23c)$$

- Error de seguimiento retardado de la zona i

El error de respuesta de la zona resultante se pasa a través de un filtro de retardo, y se limita de la forma:

$$SUM_i = \frac{1}{1 + s \cdot T2_i} \cdot ERR_i(s)$$

que expresado de forma discreta:

$$SUM_i(t) = \alpha_{2i} \cdot ERR_i(t) + (1 - \alpha_{2i}) \cdot SUM_i(t - 1) \text{ si } |SUM_i(t)| \leq K3 \cdot AT_i \quad (24a)$$

$$SUM_i(t) = K3 \cdot AT_i \cdot \frac{SUM_i(t)}{|SUM_i(t)|} \text{ si } |SUM_i(t)| > K3 \cdot AT_i \quad (24b)$$

siendo:

- SUM_i(t) = error de seguimiento retardado de la zona para el ciclo actual de control
- SUM_i(t-1) = error de seguimiento retardado de la zona en el ciclo anterior de control
- T_{2i} = constante de tiempo de retardo del error de respuesta de la zona i
- α_{2i} = cociente entre el tiempo del ciclo de ejecución del algoritmo y la constante de tiempo T_{2i}
- K3 = constante que limita el error de respuesta retardado de la zona i
- AT_i = umbral de mala respuesta de la zona i

El valor absoluto del error retardado SUM_i está por lo tanto limitado a **K3** veces AT_i, con el fin de evitar que crezca de forma indefinida.

El uso de este filtro de retardo permite que un error de seguimiento persista durante un tiempo ajustable, que depende de la magnitud del error, antes de que alcance el umbral de mala respuesta AT_i para la zona. La constante de tiempo **T_{2i}** y los parámetros involucrados en la determinación del umbral de mala respuesta, deben ajustarse en función de los criterios de buena regulación que se establezcan.

- Cálculo del umbral de mala respuesta de la zona i

El umbral de mala respuesta de la zona AT_i se utiliza para compararlo con el valor absoluto del error retardado SUM_i, tal y como se detalla en la sección **8.2**. El valor de dicho umbral se calcula como:

$$AT_i = K2 \cdot CTBCAP_i \cdot (RESNUP + RESNDW) \text{ si } AT_i \geq K4 \quad (25a)$$

$$AT_i = K4 \text{ si } AT_i < K4 \quad (25b)$$

siendo:

- RESNUP = reserva nominal a subir de la RCP en el periodo cuarto horario en curso
- RESNDW = reserva nominal a bajar de la RCP en el periodo cuarto horario en curso
- CTBCAP_i = capacidad nominal de contribución a la regulación de la zona i en el periodo cuarto horario en curso
- K2** = constante para el cálculo de AT_i
- K4** = constante que limita el valor mínimo de AT_i

Para una descripción detallada del significado de RESNUP, RESNDW y de CTBCAP_i véase la sección **8.3**.

- Inicialización del error de seguimiento retardado de la zona i en el paso de EMERGENCIA a ACTIVO

El valor del error retardado SUM_i debe inicializarse si la zona entra o sale del estado EMERGENCIA, tal y como se indica a continuación:

$$SUM_i(t) = NPK2 \cdot \frac{SUM_i(t-1)}{|SUM_i(t-1)|} \cdot AT_i = SUM_{0i} \quad (26)$$

siendo:

NPK2	=	constante para la inicialización del error retardado
AT_i	=	umbral de mala respuesta de la zona i
$\frac{SUM_i(t-1)}{ SUM_i(t-1) }$	=	signo de error de retardo en el ciclo anterior

De esta forma si el error ERR_i sigue aumentando la nueva condición de mala respuesta se detecta inmediatamente en el ciclo siguiente, mientras que si disminuye no da lugar a nueva detección.

- Inicialización de las variables de seguimiento de respuesta de la zona i en el paso de OFF o INACTIVO a EMERGENCIA

La salida del estado OFF o INACTIVO de una zona siempre se produce al estado EMERGENCIA, tal y como se describe en la sección 5. Las variables de seguimiento de respuesta se inicializan conforme a lo expuesto a continuación:

PGCD_i	El valor de la potencia en control deseada de la zona i se determina según la ecuación (21), estimando mediante las ecuaciones (9), (10) y (14) (o (17), (18) y (19), en su caso) el valor de $MCRRFREC_i$ que la zona hubiese tenido durante el ciclo anterior (incluye la consideración de regulación en modo permisivo).
SUM1_i	El valor de la respuesta esperada de la zona i se inicializa al valor de $PGCD_i$.
ERR_i	El error de la respuesta de la zona i, se hace:
	$ERR_i = SUM1_i - PGC_i \quad (27)$
SUM_i	El error retardado de la respuesta de la zona i se iguala al umbral de mala respuesta AT_i con el mismo signo que ERR_i .

8.2. Cálculo de los factores de corrección: paso al estado EMERGENCIA

- Condición de mala respuesta

La participación de cada zona i en la regulación se define en cada periodo cuarto horario por medio de la capacidad nominal de contribución a la regulación de la zona $CTBCAP_i$, como se explica en la sección 8.3. El algoritmo realiza un seguimiento de la respuesta de la zona i determinando el error retardado de respuesta SUM_i , tal y como se ha descrito en la sección 8.1.

Estando la zona en estado ACTIVO, su respuesta no es la adecuada si se cumple la condición de mala respuesta:

$$|SUM_i| > AT_i \quad (28)$$

- Detección de mala respuesta por exceso o por defecto

La mala respuesta es por exceso si la diferencia entre la potencia en control deseada ($PGCD_i$) y la potencia en control (PGC_i) es de sentido contrario al PRR:

$$(PGCD_i - PGC_i) \cdot PRR < 0$$

Dado que el signo de la diferencia ($PGCD_i - PGC_i$) es habitualmente el mismo que el del error ERR_i ó que el del error retardado SUM_i , la condición de respuesta por exceso puede expresarse como:

$$SUM_i \cdot PRR < 0$$

Ahora bien, en condiciones normales ocurre que el PRR es pequeño y puede oscilar alrededor del valor nulo. Esto puede dar lugar a que una mala respuesta en estas situaciones se detecte alternativamente como por defecto o por exceso debido al cambio de signo del PRR, impidiendo

en último término el paso de la zona a EMERGENCIA. Para evitar esta situación se define una banda muerta **KD** que permite calcular la variable LPRR, la cual se determina como se indica a continuación:

$$LPRR = PRR \quad (29a) \quad \text{si } |PRR| > KD$$

$$\text{o si } |PRR| \leq KD \text{ y además } LPRR \cdot PRR > 0$$

$$LPRR = 0 \quad (29b) \quad \text{si siendo } |PRR| \leq KD \text{ se cumple } LPRR \cdot PRR \leq 0$$

La condición de mala respuesta por exceso se identifica por tanto si el error retardado SUM_i es de signo contrario al LPRR, es decir, si se cumple la desigualdad:

$$SUM_i \cdot LPRR < 0 \quad (30)$$

- Cálculo del factor de corrección de la zona i

En la situación de mala respuesta de la zona i, se debe proceder a ajustar la participación de dicha zona en la regulación por medio de factores de corrección, de tal manera que la respuesta deseada se aproxime a la respuesta real de la zona. Esto se consigue modificando por medio de los términos $\Delta 1$ y $\Delta 2$ los factores de corrección de zona, cuyo valor nominal es la unidad ($CORFTR_i = 1$):

- Mala respuesta por exceso: Si el estado de la zona i es ACTIVO, y cumple las condiciones de mala respuesta por exceso (20) y (22), dicha situación se rectifica **incrementando** el factor de corrección de la zona i.

$$CORFTR_i = CORFTR_i + \Delta 1 \cdot \frac{|SUM_i|}{AT_i} \quad (31a) \text{ si } CORFTR_i < 1$$

$$CORFTR_i = CORFTR_i + \frac{1}{\Delta 2} \cdot \frac{|SUM_i|}{AT_i} \quad (31b) \text{ si } 1 \leq CORFTR_i \leq 2$$

$$CORFTR_i = 0 \quad (31c) \text{ si } CORFTR_i > 2; \text{ en este caso el estado de la zona i pasa a EMERGENCIA}$$

- Mala respuesta por defecto: Si el estado de la zona i es ACTIVO, cumple la condición de mala respuesta (20), pero no la de respuesta por exceso (22), la situación se corrige **disminuyendo** el factor de corrección de la zona i.

$$CORFTR_i = CORFTR_i \cdot \Delta 2 \cdot \frac{AT_i}{|SUM_i|} \quad (32a) \text{ si } CORFTR_i > 1$$

$$CORFTR_i = CORFTR_i - \Delta 1 \cdot \frac{|SUM_i|}{AT_i} \quad (32b) \text{ si } CORFTR_i \leq 1$$

$$CORFTR_i = 0 \quad (32c) \text{ si } CORFTR_i \leq \Delta 1 \cdot \frac{|SUM_i|}{AT_i}; \text{ en este caso el estado de la zona i pasa a EMERGENCIA}$$

- Retorno a la buena respuesta: Si el estado de la zona i es EMERGENCIA, y el valor absoluto del error retardado es inferior al umbral de mala respuesta menos una banda muerta ATDB, la zona retorna a estado ACTIVO:

$$CORFTR_i = 1 \quad (33) \text{ si } |SUM_i| \leq AT_i \cdot (1 - ATDB); \text{ el estado de la zona i pasa a ACTIVO}$$

La inicialización del error retardado se hace según la ecuación:

$$SUM_i(t) = NPK2 \cdot \frac{SUM_i(t-1)}{|SUM_i(t-1)|} \cdot AT_i = SUM_{0i} \quad (34)$$

Debe hacerse notar que el hecho de que en un momento dado el factor de corrección no sea la unidad no presupone necesariamente una falta de reserva en dicha zona. Este hecho puede ser debido simplemente a que la respuesta de una zona sea sensiblemente distinta que la esperada. El ajuste de los factores de corrección juega en este caso un papel corrector que debe proporcionar estabilidad al sistema, exigiendo una contribución

transitoria mayor de aquellas zonas que se revelan capaces de suministrarla. De todas formas, una vez pasado el transitorio, los factores de corrección deben volver a tomar los valores representativos de la contribución en reserva de las zonas por lo que únicamente la reducción prolongada de dichos factores será indicativa de esta condición.

En resumen: Los factores de corrección son siempre números reales positivos. La lógica de control de respuesta modifica estos valores en la forma que se ha indicado anteriormente cuando se detecta mala respuesta, disminuyéndolos o aumentándolos.

8.3. Cálculo de los factores de participación

- Capacidad nominal de contribución a la regulación de la zona i ($CTBCAP_i$)

La distribución entre las zonas de regulación de la reserva del pool a subir ($RESNUP$) y a bajar ($RESNDW$) es consecuencia del proceso ofertas de regulación secundaria. Una vez conocidas dichas ofertas se determinan las capacidades nominales de contribución de dichas zonas a la RCP en p.u. para cada periodo cuarto horario en cuestión según la siguiente expresión:

$$CTBCAP_i = \frac{RESUP_i}{RESNUP} = \frac{RESDW_i}{RESNDW} \quad (35)$$

siendo

- $CTBCAP_i$ = capacidad nominal de contribución a la regulación de la zona i en el periodo cuarto horario en curso
- $RESUP_i$ = reserva nominal a subir de la zona i en el periodo cuarto horario en curso
- $RESDW_i$ = reserva nominal a bajar de la zona i en el periodo cuarto horario en curso
- $RESNUP$ = reserva nominal a subir de la RCP en el periodo cuarto horario en curso
- $RESNDW$ = reserva nominal a bajar de la RCP en el periodo cuarto horario en curso

Dado que la suma de reservas de cada zona es igual a la reserva total de la RCP se cumple:

$$\sum_{i=1}^N CTBCAP_i = 1 \quad (36)$$

siendo

- N = número total de zonas de la RCP

El proceso de determinación de los valores $RESNUP$, $RESNDW$ y $CTBCAP_i$ es externo al algoritmo. Se trata por tanto de datos de entrada a la RCP, que se cargan bien de forma automática, o bien manualmente por el operador. En cualquier caso, la RCP verifica que se cumple la condición definida en la ecuación anterior (27).

- Factor de participación en la regulación de la zona i (K_i)

La RCP reparte el requerimiento total de la regulación peninsular (PRR) entre las zonas que participan en la regulación (aquellas cuyo estado es ACTIVO o EMERGENCIA) atendiendo a los factores de participación en la regulación, según se define en las ecuaciones (9) y (10). Los factores de participación no normalizados se determinan en p.u. como:

$$K'_i = CTBCAP_i \cdot CORFTR_i \quad (37)$$

siendo

- K'_i = factor de participación no normalizado
- $CTBCAP_i$ = capacidad nominal de contribución a la regulación; es un dato de entrada propio de cada zona y de cada periodo cuarto horario
- $CORFTR_i$ = factor de corrección de la zona i ; es calculado en función de la respuesta de la zona tal y como se describe en la sección 8.2.

Los factores de participación se normalizan para su utilización en el algoritmo de la RCP de acuerdo con los siguientes principios:

- La suma de los factores de participación de las zonas en estado ACTIVO debe ser 1 (siempre que además estén respondiendo correctamente).
- La suma total de los factores de participación de todas las zonas con capacidad de regulación (ACTIVO o EMERGENCIA) no debe superar un valor máximo K_{MAX} .

Para normalizar los factores de participación se determina el término BETA, correspondiente a la suma de los factores de participación no normalizados de las zonas en estado ACTIVO:

$$BETA = \sum_{i=1}^N CTBCAP_i \cdot CORFTR_i = \sum_{i=1}^N K'_i \quad (38)$$

siendo

N = número de zonas en estado ACTIVO

Los factores de participación normalizados se calculan por lo tanto conforme a la ecuación:

$$K_i = \frac{CTBCAP_i}{BETA + CTBCAP_i \cdot (1 - CORFTR_i)} \quad (39)$$

Nótese que, si las zonas en estado ACTIVO responden correctamente, es decir todos sus $CORFTR_i$ son 1, y sustituyendo la ecuación (29) en (30), queda:

$$K_i = \frac{CTBCAP_i}{\sum_{i=1}^N CTBCAP_i \cdot CORFTR_i + CTBCAP_i \cdot (1 - CORFTR_i)} = \frac{CTBCAP_i}{\sum_{i=1}^N CTBCAP_i}$$

siendo

N = número de zonas en estado ACTIVO

Se verifica por lo tanto que los factores normalizados de las zonas en estado ACTIVO suman 1.

Por el contrario, para las zonas en estado EMERGENCIA, donde el valor de $CORFTR_i$ es 0, la ecuación (30) queda como:

$$K_i = \frac{CTBCAP_i}{BETA + CTBCAP_i}$$

Se comprueba por lo tanto que la existencia de zonas en estado EMERGENCIA provocan que la suma total de los factores de participación normalizados sea superior a la unidad. Para evitar un exceso de regulación, si la suma total de los factores de participación fuese superior a K_{MAX} , los factores de participación de las zonas en EMERGENCIA se determinarían como:

$$K_{LIMITADOi} = (K_{MAX} - \sum_{j=1}^N K_j) \cdot \frac{K_i}{\sum_{k=1}^M K_k} \quad (40)$$

siendo

- $K_{LIMITADOi}$ = factor de participación normalizado limitado de la zona i
- K_i = factor de participación sin limitar de la zona i
- K_j = factores de participación de las zonas en estado ACTIVO
- N = número de zonas en estado ACTIVO
- K_k = factores de participación sin limitar de las zonas en estado EMERGENCIA

En resumen, los factores de participación normalizados reflejan la fracción real en p.u. de la capacidad de contribución nominal que la zona está poniendo efectivamente a disposición de la Regulación Compartida.

9. Entradas y Salidas a la RCP

9.1. Entradas

Los siguientes valores deben ser introducidos por el operador a través de pantalla:

- Situación de cada zona (ON / OFF / OFF REE /PRUEBAS).
- Situación de “en antena hacia Francia” de cada una de las líneas.

Los siguientes valores se cargan de forma automática, aunque pueden ser introducidos por el operador a través de pantalla:

- Capacidad de contribución nominal CTBCAP, en p.u., para cada zona y para cada periodo cuarto horario.
- Programa de generación o consumo NSI para cada zona y para cada periodo cuarto horario⁸.
- Programas de intercambio internacional NSI F, NSI P y NSI M para cada periodo cuarto horario.
- Reserva nominal a subir total asignada a la RCP para cada periodo cuarto horario RESNUP.
- Reserva nominal a bajar total asignada a la RCP para cada periodo cuarto horario RESNDW.

Son constantes del algoritmo modificables por pantalla:

- Constante de tiempo $T1_i$ de respuesta para cada zona.
- Constante “Bias” B de frecuencia de la RCP.
- Límites de alarma en estas interconexiones y sus correspondientes bandas muertas.
- Corrección al error de área por potencia excesiva en la interconexión.

Los siguientes parámetros son modificables a través de pantalla, pero requiriendo la intervención de personal especializado:

- Incremento y decremento de los factores de corrección $\Delta 1$ y $\Delta 2$.
- Parámetros para realizar el cálculo el umbral de alarma para el control de respuesta de cada zona ATLIM (K2, K3 y K4).
- Parámetros utilizados en la lógica de control de respuesta para el ajuste de los factores de corrección y detección de mala respuesta (constante para el filtrado del error $T2_i$, umbral para el cálculo del LPRR KDPRR, etc.).
- Parámetros utilizados en el filtro no lineal de NIDR (NFK1, NFK2, NFK3 y NFK4).
- Umbrales y bandas muertas utilizados en las diferentes fases de la lógica (UM, BM, UMACE, DBACE, etc.).
- Los siguientes valores se toman de la base de datos de tiempo real (SCADA):
 - Estado de activación del AGC de cada zona.
 - NID de cada zona, señal filtrada a un valor que no supere NIDLIM.
 - NSI de cada zona.
 - PGC de cada zona.
 - LIMSUP y LIMINF de cada zona.
 - Estado de los interruptores de las interconexiones con Francia, Portugal y Marruecos⁹.

⁸ Programa disponible en SIOS. Se compara con el enviado por el regulador de zona, pudiendo pasar ésta a INACTIVO tal y como se describe en la sección 5.

⁹ Los estados incorrectos han de ser sustituidos de forma manual por el operador.

- Potencia de las interconexiones con Francia, Portugal y Marruecos¹⁰.
- Estado de control de las unidades con posibilidad de regular.
- Potencia individual de cada unidad.
- ZRMODFRECZONA: indica qué Término de Frecuencia está utilizando cada Zona de Regulación en el cálculo de su señal ACE.

9.2. Salidas

La salida primaria de la RCP la constituyen:

- El requisito de contribución a la regulación, MCRRFREC, para cada zona.
- La variable MODFRECE que indica el término de frecuencia a utilizar por las zonas de regulación.
- La constante de frecuencia ($BIAS_i$) de cada zona.
- El valor de BIAS normalizado, $BIASNORM_i$, de cada zona.
- El valor de desvío de frecuencia, Δf , calculado por el Regulador Maestro.
- El programa de frecuencia f_s programada en el sistema interconectado europeo continental.
- Los factores de participación normalizados, K_i , de cada zona.
- El término de corrección de frecuencia $TERMFREC_i$, calculado por el OS para cada zona.
- El término de corrección de frecuencia centralizado $TEFREC_i$, calculado por el OS para cada zona.
- La variable MAESTRO RCP, que indica cuál es el sistema de control del OS que está regulando: CECOEL o CECORE.
- El valor de la variable SigPRR0, que indica el sentido de la reserva demandada por la RCP cuando la zona está en EMERGENCIA o INACTIVO.

Además, se dispone de un sumario de alarmas propio de la RCP, donde se registran las siguientes alarmas y sucesos:

- Toda entrada manual a través de pantalla.
- Cambio en el estado de la Regulación Compartida.
- Cambio en el estado de conexión con Francia y Portugal.
- Cambio en el estado de una zona.
- Excesivo intercambio con Francia y Portugal.
- Excesivo flujo en una interconexión con Francia y Portugal.
- Ausencia de zonas activas.
- Desvío del intercambio con Francia y Portugal inválidos.
- Desvío del intercambio en una zona inválida.

Así como todas las demás que se estimen necesarias para el análisis del comportamiento de la RCP y de cada zona en particular.

10. Parámetros utilizados en la regulación compartida

A continuación se describen los parámetros que intervienen en la función de la Regulación Compartida, junto con los valores que deben tener en cada momento, tanto en el CECOEL como en el sistema de respaldo.

¹⁰ Las medidas de las interconexiones incorrectas han de ser sustituidas de forma manual por el operador.

Se entiende por parámetros de la RCP las magnitudes que pueden ser introducidas manualmente por el operador, a diferencia de otras variables de la RCP cuyo valor proviene de telemidas o se calcula durante la ejecución del programa.

En relación con los valores de dichos parámetros, esta sección debe recoger en cada momento los valores oficiales de los mismos. Por tanto, cualquier modificación del valor de alguno de ellos debe traducirse en una actualización de este apartado, publicándose a través de la Web privada de eSIOS la tabla completa de parámetros.

En cuanto a los valores con actualizaciones periódicas, se indica exclusivamente la periodicidad de su actualización, siendo otro documento u organismo los encargados de su actualización.

Los parámetros utilizados en la Regulación Compartida se pueden clasificar en los siguientes grupos:

- Parámetros generales.
- Parámetros de modos de funcionamiento.
- Parámetros para cálculo del requerimiento total.
- Parámetros para el filtrado del desvío de intercambio neto de regulación.
- Parámetros para la supervisión de respuesta de las zonas de regulación.

NOMBRE	DESCRIPCIÓN	VALOR
Parámetros generales		
B	Constante de BIAS de España (MW/Hz)	Anualmente es indicado por ENTSOE
G	Factor de atenuación del desvío de zona	5
$\Delta 1$	Constante de decremento de los factores de corrección	0,13
$\Delta 2$	Constante de incremento de los factores de corrección	0,89
NIDLIM	Valor máximo admitido del desvío de programa de la zona de regulación	+/- 3000 MW
Modos de funcionamiento		
CBLIM	Ciclos para paso a modo Control Block Península	30 ciclos
NTOLIM	Tiempo muerto hasta paso a modo Suspendido	600 segundos
OTOLIM	Tiempo muerto hasta paso a OFF	160 s
MFF	Desvío de frecuencia para paso a modo Frozen	200 mHz
MFT	Segundos para paso a modo Frozen	60 segundos
UM	Umbral de desvío de frecuencia para paso a modo Frecuencia	300 mHz
BM	Banda muerta del umbral de desvío de frecuencia para paso a modo Frecuencia	50 mHz
Requerimiento total de la regulación peninsular		
DBPRR	Banda muerta del umbral para el cálculo del PRR	0 MW
UMACE	Umbral del error de área para modo permisivo	100 MW
DBACE	Banda muerta del umbral del error de área para modo permisivo	25 MW
Filtrado del desvío de intercambio neto de regulación NIDR		
NFK ₁	Filtro no lineal del NID _R : umbral del acumulador	5
NFK ₂	Filtro no lineal del NID _R : umbral del NID _R	60
NFK ₃	Filtro no lineal del NID _R : ganancia de la integral de NID _R	0,05

NFK ₄	Filtro no lineal del NID _R : ganancia del NID _R	1
Supervisión de respuesta de las zonas de regulación		
T1i	Constante de filtrado de respuesta de zona	100
T2i	Constante de filtrado de error de seguimiento	13,3
K2	Constante para el cálculo del umbral de mala respuesta	7 %
K3	Constante para limitar el valor del error retardado de zona	2
K4	Valor mínimo del umbral de mala respuesta	1
ATDB	Banda muerta del umbral de mala respuesta	10 %
NPK2	Constante para la inicialización del error retardado	1
KD	Umbral del PRR para el cálculo del LPRR	25 MW
KMAX	Máximo de la suma de los factores de participación de las zonas	3
T	Constante de tiempo de filtrado de flujo de potencia activa por interconexión con Francia	13,3 s