



Grupo Red Eléctrica

Documento apoyo Entregable 3 *“Propuesta de criterio para el cálculo de la capacidad de ac- ceso de MPE ligado a la poten- cia de cortocircuito”*

Dirección de **Desarrollo de la Red**
Dpto. **Fiabilidad del sistema eléctrico**

26 de junio de 2019



Índice

1. Resumen ejecutivo	1
2. Antecedentes	2
3. Propuesta de criterio ligado a la potencia de cortocircuito	4
4. Justificación y desarrollo de la propuesta de criterio de Scc.....	5
4.1. Consideraciones para la determinación de la potencia de cortocircuito	6
4.2. Consideraciones para la determinación de la zona de influencia eléctrica.....	6
4.3. Consideraciones para la determinación de la capacidad de acceso en base al criterio ligado a la potencia de cortocircuito	8
5. Resultados preliminares	9
5.1. Sistema eléctrico peninsular	9
5.2. Sistemas eléctricos insulares.....	10
6. Consideraciones adicionales	12
6.1. De carácter general	12
6.2. De carácter particular.....	12
Anexo: Esquema resumen de la metodología.....	13
Referencias	14

1. Resumen ejecutivo

El presente documento establece una propuesta de evolución del actual criterio de evaluación de capacidad de acceso para módulos de parque eléctrico (MPE) ligado a la potencia de cortocircuito fruto del trabajo realizado por el grupo de trabajo "Revisión del criterio del 1/20 Scc" cuyos términos de referencia [1] se encuentran publicados en la web de Red Eléctrica de España [2]. La propuesta aquí presentada puede considerarse como una propuesta conjunta del grupo de trabajo con las salvedades recogidas en el apartado 6.2.

La propuesta de evolución del criterio para el sistema eléctrico se encuentra recogida en el apartado 3, y supone una evolución del criterio actual, en tanto se propone un criterio zonal en vez de nodal, basado en el índice WSCR (*Weighted Short Circuit Ratio*) recogido en la literatura técnica (Entregable 1 del grupo de trabajo [3]), y cuyos parámetros de aplicación están fundamentados en valores proporcionados por las asociaciones sectoriales eólica y fotovoltaica en base a las capacidades y necesidades de los MPE ya conectados en el sistema y futuros (Entregable 2 del grupo de trabajo [4] y [5]). El criterio propuesto es un criterio seguro y con metodología de aplicación sistemática, trazable y suficientemente estable. En el caso de los sistemas no peninsulares, se muestra la necesidad de adoptar criterios basados en análisis específicos de detalle para cada uno de los sistemas eléctricos que permita maximizar la integración segura de renovables en el sistema a través del diseño adecuado de los controles de los MPE conforme a las características (debilidad) de estos sistemas aislados.

El documento en el apartado 4 recoge la justificación de la propuesta y los detalles de aplicabilidad de la metodología propuesta.

Así mismo, en el apartado 5, se muestran resultados preliminares del impacto de aplicabilidad de este criterio a un conjunto de 278 nudos de interés del sistema eléctrico peninsular. El nuevo criterio, teniendo en cuenta las hipótesis y premisas del estudio, permitiría incrementar la capacidad de acceso de MPE en el conjunto de estos nudos un 16%, concentrándose el incremento en 51 nudos.

El vehículo normativo para la implementación de la propuesta debe ser proporcional al grado de detalle que se especifique. En particular, y tal y como se recoge en el apartado 6.1, se entiende que los criterios generales podrían quedar recogidos en la Circular de Acceso y Conexión. Los detalles más específicos sobre metodología, aplicabilidad y determinados umbrales, es recomendable que se definan en vehículos normativos de menor rango para dotar de una mayor flexibilidad de modificación de los detalles técnicos conforme al desarrollo tecnológico de la generación renovable y del sistema, y para disponer de más tiempo para profundizar en los análisis técnicos requeridos, con la participación de tecnólogos en su caso, para ajustar los detalles de umbrales y metodologías de aplicación.

2. Antecedentes

La decidida apuesta de la Unión Europea por una senda progresiva y ambiciosa de descarbonización plantea un paradigma de transformación de profundas implicaciones para el sector eléctrico.

La propuesta del Plan Nacional de Energía y Clima, pone de manifiesto la apuesta por las energías eólica y fotovoltaica como vectores de descarbonización del sistema eléctrico. La generación renovable eólica y fotovoltaica se caracteriza por conectarse al sistema eléctrico mediante un interfaz basado en Electrónica de Potencia (EP), a diferencia de los generadores síncronos convencionales.

La actual regulación (RD 413/2014) establece como limitación al acceso de la generación no gestionable (entre otras, eólica y fotovoltaica) que su capacidad de generación no supere $1/20$ de la potencia de cortocircuito trifásica (Sc_c) del punto de conexión. Esta limitación está asociada a asegurar la propia estabilidad del funcionamiento de dicha generación y evitar interacciones no deseadas con otros elementos del sistema (inestabilidad de tensión, interacción de controles, interacciones subsíncronas [6], etc.). La referencia al valor “ $1/20$ Sc_c” aparece por primera vez en la normativa española en el año 1.985, y ya el RD 661/2017 lo establece como criterio para la concesión de los permisos de acceso para la generación no gestionable. La propuesta de *Circular de la Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia, por la que se establece la metodología y condiciones de acceso y de la conexión a las redes de transporte y distribución de las instalaciones de producción de energía eléctrica*, propone una evolución de este criterio estableciendo un umbral de $1/5$ de la potencia de cortocircuito, si bien, la memoria justificativa alude al grupo de trabajo y a sus conclusiones a efectos de establecer una recomendación y valoración sobre esta propuesta.

Teniendo en cuenta la evolución tecnológica, las nuevas capacidades técnicas de los generadores conectados con EP y la propia experiencia ganada en la integración de las energías renovables, resulta procedente reflexionar sobre la idoneidad del actual criterio basado en Sc_c. Este criterio, fundamental y de gran importancia, se basa en una estimación de la fortaleza de la red y permite determinar el contingente de generación máxima “no síncrona” que puede acceder a la red en condiciones de seguridad para el sistema y para el correcto funcionamiento de los propios Módulos de Parque Eléctrico (MPE). El actual criterio y sus particularidades de aplicabilidad no son del todo adecuado desde la perspectiva técnica. En concreto:

- Aplica a generación no gestionable, si bien la gestionabilidad no es la característica técnica relevante conforme a lo referido en el párrafo anterior. En puridad, debería aplicar a la generación no conectada mediante un generador síncrono a la red (MPE, de acuerdo a la terminología utilizada en el Reglamento UE 2016/631 en materia de requisitos de conexión de generadores).
- Aplica a nivel de nudo de conexión de red de transporte, si bien debiera tener en cuenta la influencia de MPE conectados en nudos colindantes eléctricamente próximos.
- Se aplica sobre un valor Sc_c correspondiente al percentil 50 esperado en el horizonte de planificación vigente. Por lo que no tiene en cuenta el valor mínimo de Sc_c que es el límite real que determina el correcto funcionamiento de los generadores y del sistema.
- El límite de $1/20$ de la Sc_c ha sido superado debido a la mejora de los nuevos MPE que se prevé instalar en un futuro próximo.

Habida cuenta de todo lo anterior el actual criterio vinculado a la Sc_c podría revisarse bajo las premisas de que:

- Asegure el correcto funcionamiento de los MPE ya conectados –conforme a sus capacidades técnicas– y de los futuros –conforme a las capacidades técnicas derivadas de los nuevos diseños que se implementen de acuerdo a los requerimientos establecido en la propuesta de Orden Ministerial por la que se establecen los Requisitos Técnicos de Conexión a la Red Necesarios para la Implementación de los Códigos de Red Europeos de Conexión y el venidero desarrollo tecnológico– garantizando el correcto funcionamiento del conjunto del sistema.
- Habilite nueva capacidad de acceso para viabilizar la transición energética aprovechando la mejora de las características de los nuevos MPE.

Por tanto, para avanzar hacia una transición energética segura se precisa actualizar los criterios para la concesión de los permisos de acceso y conexión, y en particular su umbral y aplicación concreta, manteniendo los niveles de calidad y seguridad de suministro actuales y que viabilice la senda de integración de renovables que venga establecida por la política energética nacional. A este respecto, se ha formado un grupo de trabajo entre REE, gestores

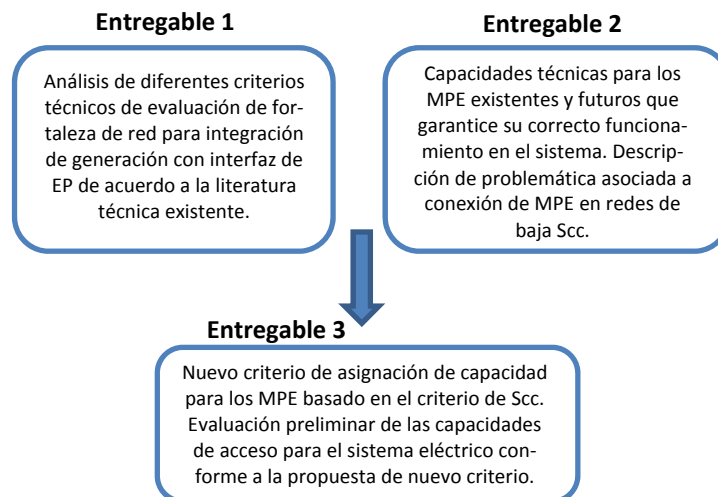
de la red de distribución y asociaciones de generadores eólicos y fotovoltaicos, con el objetivo de realizar una revisión del criterio para determinar la capacidad de acceso a la red de transporte basado en 1/20 de la potencia de cortocircuito (como criterio principal para determinar la capacidad de acceso de nueva generación renovable a la red de transporte), en el que se identifiquen potenciales propuestas de modificación del mismo

La propuesta de evolución del criterio y sus condiciones de aplicación debe fundamentarse en las premisas actuales de:

- Preservar el carácter de criterio seguro, desde la perspectiva de los derechos adquiridos por los agentes a los que les ha sido otorgado un permiso de acceso, de manera que valores inferiores de capacidad resultantes de la aplicación del criterio en nuevos escenarios de planificación no invalidan, en ningún caso, accesos otorgados previamente.
- Definir una metodología con aplicabilidad sistemática y trazable, y suficientemente estable.

Los entregables de los que se compone este grupo de trabajo son los indicados en la siguiente figura.

Entregables grupo de trabajo revisión criterio Scs 1/20



3. Propuesta de criterio ligado a la potencia de cortocircuito

Con carácter general, para determinar la capacidad máxima de acceso para MPE que pretendan conectarse a redes de tensión superior a 1 kV del sistema eléctrico se considerará el índice WSCR (*Weighted Short Circuit Ratio*) aplicado al conjunto de nudos de una zona de influencia eléctrica. El valor de este índice aplicado al conjunto de nudos de la zona de influencia no podrá ser inferior a 20, en zonas de influencia en las que estén conectado o con permiso de acceso otorgado algún MPE al que no le sea de aplicación los requisitos técnicos del Reg. (UE) 2016/631, ni inferior a 6 para el resto de casuísticas. En todo caso, las capacidades de acceso calculadas con este criterio no invalidarán capacidades ya otorgadas.

Se define el índice WSCR como la relación ponderada entre la suma de potencias de cortocircuito del conjunto de nudos de la zona de influencia y la suma de capacidades máximas de MPE conectados o con permiso de acceso otorgado a estos nudos de influencia, de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$WSCR = \frac{\sum_i^N SCC_i \cdot P_{MPE_i}}{(\sum_i^N P_{MPE_i})^2} \quad (1)$$

Siendo:

SCC_i : La potencia de cortocircuito trifásica (percentil 1) del nudo i de la zona de influencia eléctrica

P_{MPE_i} : La capacidad máxima¹ de MPE conectados o con permiso de acceso otorgado al nudo i de la zona de influencia eléctrica

N : El número de nudos que constituyen la zona de influencia eléctrica

Se define zona de influencia eléctrica a los efectos del criterio anterior como el conjunto de nudos colindantes y eléctricamente próximos sobre los que un nudo particular tiene un cierto impacto desde la perspectiva de la influencia de las variaciones de tensión del nudo en dichos nudos colindantes.

Para determinar la zona de influencia eléctrica se utilizará el índice MIIF (*Multi Infeed Interaction Factor*), definido conforme a la siguiente fórmula:

$$MIIF_{ij} = \frac{\Delta V_j}{\Delta V_i} \quad (2)$$

Siendo:

ΔV_i : Variación de tensión en el nudo i

ΔV_j : Variación de tensión inducida en el nudo j como consecuencia de la variación de tensión del nudo i

Dos nudos pertenecerán a la misma zona de influencia si su índice MIIF es mayor o igual que un determinado valor $MIIF_{umbral}$.

En el caso de que el criterio general propuesto proporcionara valores inferiores de capacidad de acceso a las capacidades ya otorgadas de acuerdo al criterio vigente ($1/20 SCC$), los permisos de acceso y conexión vigentes no se verán afectados por dichos valores inferiores, sin perjuicio de que los gestores de red puedan exigir la realización de estudios específicos de detalle para determinar la necesidad de requerir controles, parámetros o diseños específicos para los MPE implicados u otros eléctricamente cercanos, que garanticen la evacuación de la generación renovable prevista en condiciones de seguridad.

Adicionalmente, debido a las singularidades que presentan los sistemas eléctricos no peninsulares, derivados entre otros de su tamaño y características propias, debería contemplarse la posibilidad de establecer mecanismos alternativos al asociado al WSCR para determinar la capacidad de acceso cuando así se requiera por la administración competente con objeto de dar respuesta a los planes energéticos que se establezcan. Para ello resultaría necesaria la elaboración de estudios exhaustivos de detalle a nivel global o zonal del sistema, con la colaboración de

¹ Entendiendo "capacidad máxima", de acuerdo a las alegaciones presentadas por el OS a la propuesta de RD para la implementación de los códigos de red de conexión, en la que se definía "capacidad máxima" como "la potencia utilizada para la valoración de la capacidad de acceso a las redes de transporte o distribución y será la máxima potencia activa que puede producir el módulo de generación de electricidad cumpliendo simultáneamente las capacidades de potencia reactiva requeridas a dicha capacidad máxima establecidas en el Reglamento 2016/631 y en la orden ministerial que apruebe los requisitos que deben establecer los gestores de red pertinentes de conformidad con lo establecido en dicho reglamento".

tecnólogos, que aseguren que el contingente de MPE objeto de estudio, así como los MPE existentes o con permisos otorgados de acceso, puedan funcionar correctamente, sin impacto para el sistema. Asimismo, es necesario tener en cuenta que de los resultados de estos estudios podría derivarse la necesidad de requerir controles, parámetros o diseños específicos para los MPE, que viabilicen el acceso y conexión segura de dichos MPE. Estos estudios podrían estar asociados a mecanismos concurrentes de acceso, y en ningún caso se realizarían individualmente para cada una de las solicitudes de un nudo.

4. Justificación y desarrollo de la propuesta de criterio de Scc

De acuerdo a las premisas de partida, el criterio propuesto preserva el carácter seguro, y la metodología es de aplicación sistemática, trazable y suficientemente estable, manteniendo siempre las capacidades de acceso otorgadas previamente. En este sentido, en caso de que el nuevo criterio proporcione valores inferiores de capacidad de acceso de MPE a la capacidad otorgada, no se modificarán los valores de capacidad existentes, dada la firmeza de los permisos de acceso otorgados, sin perjuicio de que los gestores de red puedan exigir la realización de estudios específicos de detalle para determinar la necesidad de requerir controles, parámetros o diseños específicos para los MPE implicados u otros eléctricamente cercanos, que garanticen la evacuación de la generación renovable prevista en condiciones de seguridad. Esto significa en la práctica que la capacidad de acceso de un determinado nudo del sistema (RdT o RdD), de acuerdo a la aplicación del nuevo criterio, debe ser en todo caso igual o superior a la capacidad otorgada hasta la fecha.

La propuesta anterior se justifica, en todo caso, en base a los Entregables 1 y 2 elaborados en el ámbito del grupo de trabajo "Revisión del criterio del 1/20 Scc" [3], [4] y [5].

Por un lado, el índice WSCR es uno de los índices recogidos en [3] y que la literatura técnica recomienda para evaluar la fortaleza de una red a la hora de conectar MPE y garantizar un funcionamiento estable de los propios MPE y, por ende, del sistema. La propuesta considera la influencia que MPE cercanos puedan tener sobre el nudo a evaluar al objeto de preservar la seguridad (funcionamiento estable), no solo de los MPE, sino también del propio sistema en su conjunto. Este carácter zonal del criterio, inexistente en el criterio vigente, se identificó como una de las posibles mejoras técnicas necesarias a introducir.

Por otro lado, los parámetros de referencia propuestos para este índice vienen soportados por las recomendaciones dadas en el grupo de trabajo por las asociaciones empresariales ([4] y [5]), tal y como se detalla en 4.2. En particular, en las referencias anteriores:

UNEF recomienda:

- En nudos donde no exista conexión previa de generación no gestionable (FV o eólico principalmente): $1/5 \text{ Scc} \rightarrow \text{SCR (Short Circuit Ratio)}^2 = 5$
- En nudos con parques existentes, hay que considerar las capacidades de las máquinas ya instaladas. En este caso se debe mantener el 1/20 Scc en ausencia de estudios específicos que analicen el impacto de potencias de cortocircuito inferiores en el funcionamiento y diseño de las instalaciones $\rightarrow \text{SCR (Short Circuit Ratio)} = 20$

AEE recomienda:

- Un límite de SCR inferior al actual sería válido para la conexión de nuevos parques eólicos, en nudos en los que no hubiera afectación a parques antiguos. En este caso, por parte del sector se considera aceptable un límite de SCR=6 en punto de conexión. Se podría habilitar la opción de que los proyectos con SCR<6 también pudieran conectarse, siempre y cuando se realicen estudios de integración adicionales entre el operador de red, desarrollador y tecnólogos $\rightarrow \text{SCR (Short Circuit Ratio)} = 6$
- Imposibilidad de evaluar con carácter general la repercusión que una bajada de SCR tendría sobre parques existentes. Por ello creen necesario realizar estudios o simulaciones específicas, entre operador de red, desarrolladores y tecnólogos, que permitan analizar las implicaciones operativas y funcionales de los parques existentes \rightarrow Se mantiene el umbral actual, es decir, SCR (Short Circuit Ratio)=20

² SCR (Short Circuit Ratio): ratio entre la potencia de cortocircuito en el punto de conexión y la potencia nominal del MPE. El índice WSCR si se aplica a una zona de influencia con un único nudo se convierte en el índice SCR.

La evolución tecnológica de los MPE, reflejada por ejemplo en el cumplimiento de los requisitos técnicos del Reg. (UE) 2016/631, de reciente entrada en aplicación, supone un cambio sustancial en las capacidades técnicas de los MPE que se conectan a la red. Se propone por tanto establecer como criterio para delimitar lo que debe considerarse como “instalaciones existentes o nuevas”, a efectos de aplicación de los párrafos anteriores, el cumplimiento con el reglamento.

A continuación se presentan las consideraciones particulares, con su correspondiente justificación, para la aplicación del criterio propuesto en el punto 3 del presente documento.

4.1. Consideraciones para la determinación de la potencia de cortocircuito

El valor de Scc necesario para determinar el índice WSCR se refiere al percentil 1 esperado en el año horizonte de planificación, ponderado con el percentil 1 de la historia registrada los últimos 6 años al objeto de contemplar un escenario medio que incorpore de una manera más estable la variabilidad anual respecto a la red y la generación.

Al considerar un percentil 1 se asegura que únicamente el 1% del tiempo, 86 horas al año, los valores de Scc son inferiores al valor considerado en el cálculo. Estas situaciones se asocian principalmente a momentos puntuales en la operación como pueden ser descargos, incidentes o maniobras topológicas no habituales (situaciones de red que ocasionan redes más débiles) pero que no representan la característica habitual de la fortaleza de la red.

El percentil de Scc considerado, es un aspecto de especial relevancia para garantizar un correcto funcionamiento de las máquinas en cualquier escenario de operación, reduciendo al máximo la probabilidad de riesgo de interacciones entre controles o un posible mal funcionamiento de los equipos o del propio sistema.

4.2. Consideraciones para la determinación de la zona de influencia eléctrica

Se denomina zona de influencia de un determinado nudo al conjunto de nudos colindantes y eléctricamente próximos sobre los que dicho nudo ejerce un cierto impacto. Este impacto se evalúa mediante el índice MIIF (*Multi Infeed Interaction Factor*) que relaciona el incremento de tensión de un nudo colindante j cuando se produce una pequeña variación de tensión en el nudo i de estudio, tal y como indica la ecuación (2).

Cabe destacar que el factor $MIIF_{i,j}$ puede ser distinto al factor $MIIF_{j,i}$, ya que la influencia del nudo i sobre el nudo j puede ser distinta a la que ejerce el nudo j sobre el nudo i. Esta particularidad se explica principalmente por los distintos dispositivos y perfiles de generación conectados en cada nudo, dado que será más improbable lograr incrementos de tensión en aquellos nudos en los que exista un control de tensión activo que en aquellos en los que no se disponga. Por lo tanto, si se calculase el factor MIIF de cada nudo con respecto al resto de los N nudos que componen el sistema eléctrico, se obtendría una matriz de tamaño NxN, con diagonal igual a la unidad (la influencia de un nudo sobre sí mismo es el máxima) y asimétrica ($MIIF_{i,j}$ puede ser igual o distinto a $MIIF_{j,i}$).

Matriz MIIF del sistema eléctrico completo

$$\begin{array}{l} \text{Nudo 1} \\ \text{Nudo N} \end{array} \rightarrow \begin{pmatrix} 1 & \cdots & MIIF_{1,N} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ MIIF_{N,1} & \cdots & 1 \end{pmatrix}$$

El valor umbral MIIF ($MIIF_{\text{umbral}}$) definirá el límite para considerar la pertenencia de un nudo en la zona de influencia de otro:

- Si el factor $MIIF_{i,j}$ es igual o superior a $MIIF_{\text{umbral}}$ indicará una fuerte influencia del nudo i sobre el nudo j y, por lo tanto, el nudo j pertenece a la zona de influencia del nudo i.
- Si el factor $MIIF_{i,j}$ es inferior a $MIIF_{\text{umbral}}$ indicará una influencia reducida del nudo i sobre el nudo j y, por lo tanto, el nudo j no pertenece a la zona de influencia del nudo i.

En función de la cantidad de nudos cuyo MIIF supere el $MIIF_{\text{umbral}}$, la zona de influencia del nudo puede estar compuesta por un único nudo (el nudo sólo tendría impacto significativo en sí mismo) o por varios nudos. De este modo, valores de MIIF elevados favorecen que haya mayor número de nudos independientes y reducen el tamaño de las zonas de influencia.

Con carácter general, para la red de transporte se propone utilizar el valor de $MIIF_{umbral}$ igual a 0.95. Estudios de sensibilidad realizados sobre el valor $MIIF_{umbral}$ apuntan a que, con carácter general, el valor $MIIF_{umbral}=0,95$ es un valor elevado (lo que reduce el número de zonas de influencia eléctrica y su tamaño), pero suficientemente conservador, para garantizar la identificación de nudos del sistema con fuerte interacción eléctrica entre sí.

El cálculo de las zonas de influencia eléctrica se realizará sobre el escenario del año horizonte de planificación que debe contemplar la nueva red planificada así como la previsión del mix de generación esperado en ese horizonte, habida cuenta de que la capacidad de acceso se realiza para un horizonte futuro.

Por último destacar que la zona de influencia de un nudo aportará información muy valiosa acerca de posibles malos funcionamientos o posibles interacciones entre los controles de los MPE conectados en el propio nudo y el resto de MPE conectados en los nudos que integran dicha bolsa o zona de influencia.

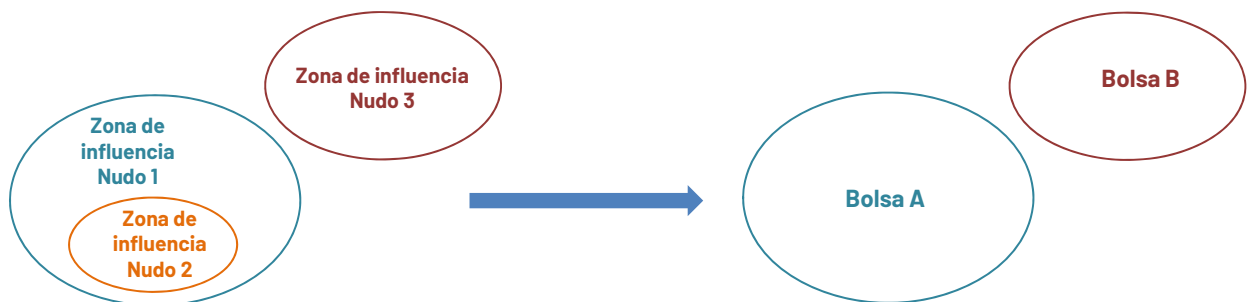
Bolsa de nudos

Una vez determinadas las zonas de influencia conforme a la fórmula (2), resulta procedente realizar un análisis y un tratamiento de los resultados para asegurar la integridad y coherencia desde el punto de vista del conjunto del sistema para la posterior aplicación del índice WSCR. Para ello, se define *bolsa de nudos* como aquella zona de influencia que está compuesta por más de un nudo, que no pertenece enteramente a otra zona de influencia y que puede contener completamente zonas de influencia de menor tamaño.

La figura siguiente muestra un ejemplo de aplicación de este concepto con un sistema eléctrico de tres nudos:

- La zona de influencia del nudo 1 contiene a la zona de influencia del nudo 2. Esto sucede cuando los nudos de la zona del nudo 2 también están contenidos en la zona de influencia del nudo 1. La Bolsa A corresponde a la agrupación de nudos de la zona de influencia del nudo 1, y por consiguiente, también contendría a los nudos de la zona de influencia del nudo 2.
- La zona de influencia del nudo 3 corresponde a la Bolsa B y es independiente a la Bolsa A.

Obtención de las bolsas de nudos a partir de las zonas de influencia



Todos los nudos pertenecientes a una misma bolsa se caracterizan por llevar asociados el mismo $WSCR_{Bolsa}$. La capacidad máxima de acceso asociada a cada nudo $P_{MPE i}$ se explica en el apartado 4.3.

Definición de $WSCR_{Bolsa}$ a partir de los valores de SCR de los nudos que componen la bolsa

El índice WSCR relaciona la S_{cc} y la capacidad máxima de los MPE (P_{MPE}) existentes en la zona de influencia del nudo de conexión (N nudos incluyendo el propio nudo de conexión), tal como indica la ecuación (1). Teniendo en cuenta las recomendaciones dadas por las asociaciones empresariales en [4] y [5] (detalladas en el apartado 4 de este documento) y dado que el índice WSCR coincide con el índice SCR cuando la zona de influencia está formada por un único nudo, en aras de maximizar la seguridad para los MPE tanto actuales como futuros y, por tanto, del sistema en su conjunto, se propone que $WSCR_{Bolsa}$ sea igual al máximo umbral SCR individual de los nudos que componen la bolsa. De este modo podrá tomar exclusivamente dos valores (6 ó 20), siendo 20 si alguno de los nudos de la bolsa posee un $SCR=20$, o por el contrario, siendo 6 si todos los nudos disponen de $SCR=6$, tal como se muestra en los ejemplos siguientes para un sistema eléctrico de 3 nudos.

Ejemplo 1	Nudo 1 → SCR = 6 Nudo 2 → SCR = 6 Nudo 3 → SCR = 6	WSCR _{Bolsa} = 6
Ejemplo 2	Nudo 1 → SCR = 6 Nudo 2 → SCR = 20 Nudo 3 → SCR = 6	WSCR _{Bolsa} = 20

4.3. Consideraciones para la determinación de la capacidad de acceso en base al criterio ligado a la potencia de cortocircuito

Conforme a la propuesta definida en el apartado 3, la capacidad máxima teórica admisible de acceso de MPE en un nudo del sistema eléctrico ($P_{MPE\ Teórica\ i}$) se determina teniendo en cuenta el índice WSCR. Para su cálculo, han de tenerse en cuenta las siguientes consideraciones.

El criterio WSCR es sencillo de aplicar cuando se evalúa el efecto de un MPE sobre el sistema eléctrico, no obstante, no es de aplicación directa, cuando se pretende determinar la capacidad máxima de MPE que pueden conectarse en un nudo ($P_{MPE\ Teórica}$ del nudo), es decir, cuando se pretende despejar el término $P_{MPE\ i}$ de la ecuación (1). La dificultad radica en que el número de soluciones posibles es infinito por lo que se requiere una hipótesis adicional para encontrar una solución única en cada nudo del sistema. La hipótesis adoptada es que la potencia asignada a un nudo perteneciente a una bolsa es proporcional a su potencia de cortocircuito. Esta hipótesis se ve reflejada en las ecuaciones (3) y (4):

$$P_{MPE\ base\ i} = \frac{Scc_i(MVA)}{WSCR} \quad (3)$$

$$P_{MPE\ Teórica\ i} = k * P_{MPE\ base\ i} \quad (4)$$

$$WSCR = \frac{\sum_i^N Scc_i \cdot P_{MPE_i}}{(\sum_i^N P_{MPE_i})^2} = \frac{\sum_i^N Scc_i \cdot k \cdot P_{MPE\ base\ i}}{(\sum_i^N k \cdot P_{MPE\ base\ i})^2} = \frac{\sum_i^N Scc_i \cdot P_{MPE\ base\ i}}{k \cdot (\sum_i^N P_{MPE\ base\ i})^2} \quad (5)$$

$$k = \frac{\sum_i^N Scc_i \cdot P_{MPE\ base\ i}}{WSCR (\sum_i^N P_{MPE\ base\ i})^2} = \frac{\frac{1}{WSCR} \sum_i^N Scc_i^2}{\frac{1}{WSCR} (\sum_i^N Scc_i)^2} = \frac{\sum_i^N Scc_i^2}{(\sum_i^N Scc_i)^2} \quad (6)$$

Siendo Scc_i el percentil 1 de la potencia de cortocircuito trifásica de los nudos pertenecientes a la bolsa en estudio.

La capacidad máxima teórica admisible de MPE en un nudo del sistema eléctrico ($P_{MPE\ Teórica\ i}$) es tal y como se formula en la ecuación (7):

$$P_{MPE\ Teórica\ i} = \frac{\sum_j^N Scc_j^2}{(\sum_j^N Scc_j)^2} \cdot \frac{Scc_i}{WSCR_{Bolsa}} \quad (7)$$

Considerando que el parámetro k definido en (6) es constante para una bolsa dada, la capacidad máxima de acceso de MPE teórica individual de cada nudo perteneciente a una bolsa es función de su valor de Scc percentil 1.

Teniendo en cuenta que las capacidades de acceso otorgadas no deben reducirse al objeto de preservar el carácter estable del criterio, la capacidad máxima de acceso para un nudo ($P_{MPE\ i}$) será el máximo entre el valor teórico calculado mediante la teoría anterior ($P_{MPE\ Teórico\ i}$) y el valor otorgado ($P_{MPE\ Otorgada}$) de tal manera que:

- Si $P_{MPE\ Teórica\ i} < P_{MPE\ Otorgada}$ → la capacidad asignada al nudo es $P_{MPE\ i} = P_{MPE\ Otorgada}$
- Si $P_{MPE\ Teórica\ i} > P_{MPE\ Otorgada}$ → la capacidad asignada al nudo es $P_{MPE\ i} = P_{MPE\ Teórica\ i}$

5. Resultados preliminares

A continuación se muestran los resultados preliminares tras aplicar el criterio basado en WSCR propuesto en el presente documento diferenciado por sistemas eléctricos (peninsular e insular).

Para este análisis preliminar, por simplicidad, se han utilizado los últimos valores de Scc publicados en la web de Red Eléctrica de España [2], correspondientes al año 2017, en su percentil 1 (en lugar de los valores del horizonte de planificación ponderados con el histórico de los últimos años) y, para la identificación de las bolsas o zonas de influencia del sistema eléctrico, se ha tomado como referencia un escenario actual representativo del año 2018.

Hay que indicar que los estudios de detalle propuestos en 3 para los sistemas insulares no forman parte del alcance de este grupo de trabajo y, por tanto, no se incluyen en el presente documento.

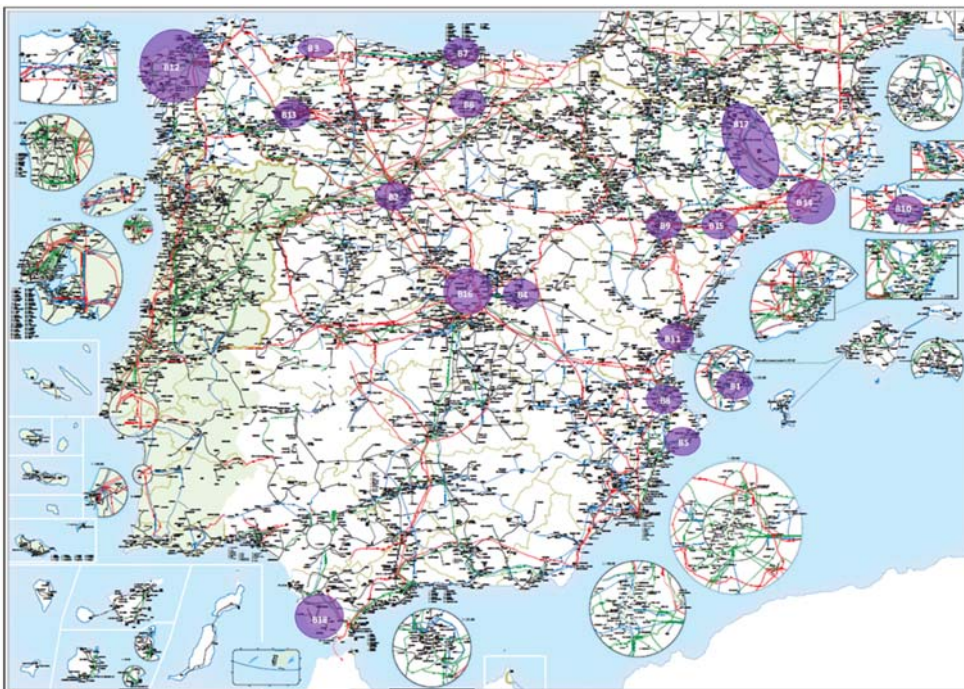
5.1. Sistema eléctrico peninsular

Teniendo en cuenta la metodología y umbrales definidos en el documento, y en base a las hipótesis del estudio realizado, a continuación se muestran resultados de capacidad máxima de acceso de MPE para la red de transporte del sistema eléctrico peninsular.

Bolsa de nudos

Las diferentes bolsas de nudos para el sistema eléctrico peninsular obtenidas a partir de las zonas de influencia se han determinado mediante un escenario actual representativo del año 2018. En base a este escenario y teniendo en cuenta un umbral de MIIF de 0,95, las bolsas identificadas de más de tres nudos son las indicadas en la siguiente figura.

Bolsas de nudos de más de 3 nudos en el sistema eléctrico peninsular



Bolsas de nudos
sistema eléctrico
peninsular

Escenario: 2018
MIIF: umbral 0,95

Capacidad máxima de acceso de MPE

Teniendo en cuenta la propuesta de criterio basado en WSCR presentada en el presente documento, la capacidad máxima de acceso ligada a criterios de potencia de cortocircuito de MPE para el total de los nudos de la red de transporte del sistema eléctrico peninsular se estima en unos 340 GVA, no obstante, esta capacidad no es 100% aprovechable ya que no todos los nudos de la RdT son "interesantes" para conectar MPE, bien sea por disponibilidad de recurso energético primario, por condicionantes físico-técnicos o ambientales para la ubicación de las instalaciones.

Restringiendo el análisis a los 278 nudos sobre los que a fecha de inicio del presente estudio su capacidad de acceso estaba disponible en [2] y teniendo en cuenta la metodología propuesta, resultaría una capacidad de acceso ligado a potencia de cortocircuito de 134 GVA, frente a los 115 GVA resultantes del criterio actual. El incremento esperado de capacidad es por tanto de 19 GVA (16%) repartido entre 51 nudos del sistema, tal y como se muestra a continuación:

Distribución de nudos con capacidad de acceso publicada donde se produce un incremento en su capacidad



Resumen de resultados para el sistema peninsular

Incremento respecto a los valores de capacidad publicados¹

Percentil 1 de Sc_c de 2017¹

Umbral WSCR_{bolsa}: 20 (nudos con MPE existentes o con permiso de acceso que no cumplen el Reg. (UE) 2016/631) y 6 (resto de nudos)

Nudos evaluados: 278

Nudos con incremento: 51

Incremento capacidad total: 19 GVA (16%)

¹ Valores publicados en la web de REE [2]

5.2. Sistemas eléctricos insulares

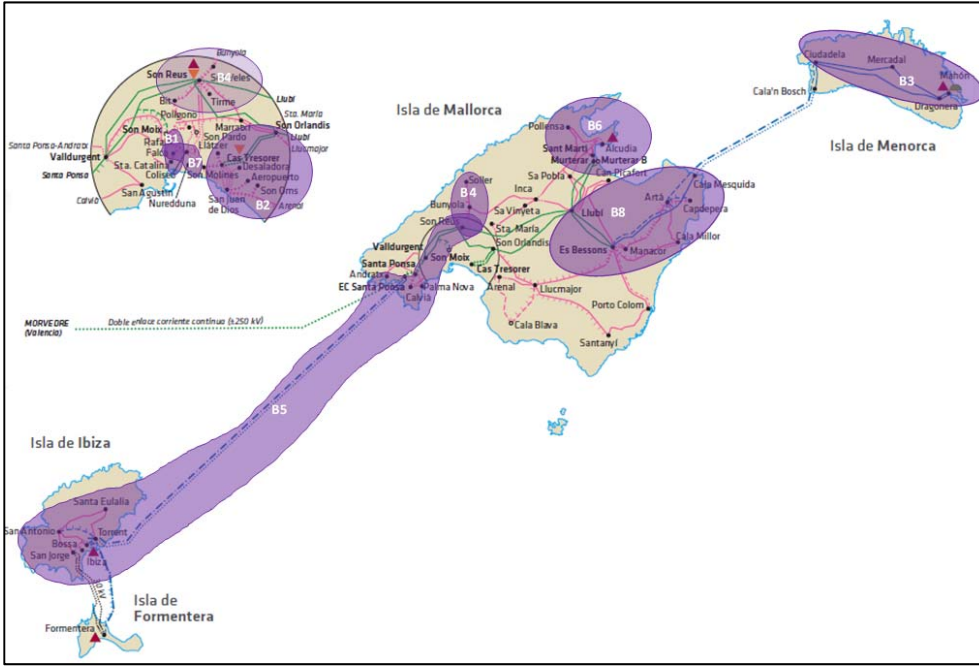
Tal y como se expone en [3], los índices para evaluar la fortaleza/debilidad de la red al conectar MPE, son aproximaciones y simplificaciones que pueden utilizarse para determinar la capacidad de acceso de los MPE, si bien, son los estudios específicos de detalle los que en todo caso permiten analizar en profundidad el funcionamiento de los MPE y del propio sistema. Los sistemas insulares, por su tamaño y propia naturaleza aislada (sistemas muy débiles), por la concentración de la generación síncrona en muy pocos nudos de la red, son sistemas en los que estas metodologías "screening" (índices) para evitar estudios de detalle, podrían no dar resultados adecuados. En particular, criterios basados en SCR, como es el vigente, llevan a que los MPE se concentren en los nudos en los que ya actualmente hay un elevado contingente de generación síncrona conectada, lo cual no es razonable, ni desde el punto de vista de diseño del sistema (necesidad de reforzar en exceso la red para asegurar la capacidad de evacuación), ni desde el punto de vista de la seguridad del sistema al convertir a determinados nudos en nudos críticos por su nivel de concentración de generación (riesgo de afección total al suministro conjunto del sistema en caso de incidente en el nudo).

Además en general, en estos sistemas aislados, la influencia eléctrica del conjunto de los nudos del sistema entre sí, es muy elevada, por lo que a la hora de determinar las bolsas de nudos (zonas eléctricas de influencia) necesarias para aplicar el criterio basado en WSCR propuesto, podría resultar que prácticamente el conjunto de los nudos del sistema insular constituyen una única bolsa, y esto llevaría en la práctica a que la capacidad de acceso por criterio de potencia de cortocircuito (según la metodología propuesta) sería muy reducida.

En base a estas consideraciones, la metodología general del apartado 3 podría llevar a capacidades de acceso no acordes con las necesidades de integración de renovables de la política energética nacional. En estos casos, sería recomendable la realización de estudios de sistema específicos para maximizar la integración segura de MPE, tal y como se recoge en la propia metodología propuesta en el apartado 3.

Para ilustrar lo comentado en párrafos anteriores, a continuación se muestran los resultados de bolsas de nudos para los sistemas eléctricos insulares de Baleares, Gran Canaria, Tenerife y Lanzarote-Fuerteventura, obtenidas a partir de las zonas de influencia conforme a un escenario actual representativo de 2018. En base a este escenario y teniendo en cuenta un umbral de MIIF de 0,95, las bolsas identificadas son las indicadas en las siguientes figuras:

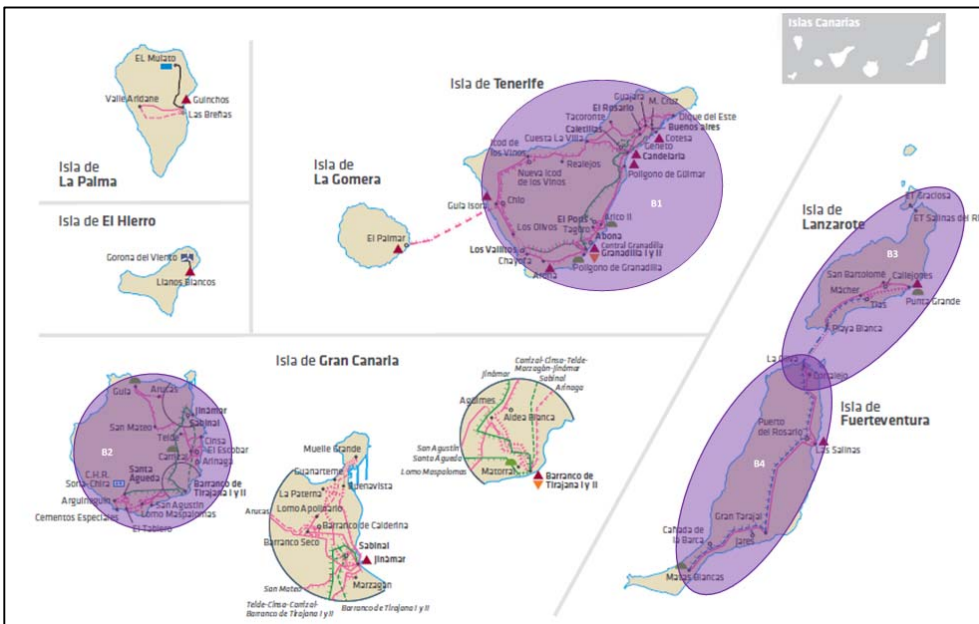
Bolsas de nudos en el sistema eléctrico balear



Bolsas de nudos sistema eléctrico balear

Escenario: 2018
MIIF: umbral 0,95

Bolsas de nudos en el sistema eléctrico canario



Bolsas de nudos sistema eléctrico canario

Escenario: 2018
MIIF: umbral 0,95

En base a lo anterior, el criterio basado en WSCR aplicado para los sistemas eléctricos insulares proporcionaría valores excesivamente conservadores. Por esta razón, se identifica la necesidad de estudios de detalle más exhaustivos a nivel global o zonal del sistema para determinar los controles y parámetros que maximicen la integración de MPE en estos sistemas, y para asegurar que las capacidades ya otorgadas pueden integrarse en el sistema de manera segura y fiable para el sistema y para el propio funcionamiento de los MPE.

6. Consideraciones adicionales

6.1. De carácter general

Otros criterios para determinar la capacidad de acceso

Tal y como recoge la propuesta de Circular de la CNMC en materia de acceso y conexión, además del criterio aquí propuesto (ligado a la potencia de cortocircuito), la capacidad de acceso debe tener en cuenta otros criterios adicionales ligados a la capacidad de evacuación estática de la red (cumplimiento de criterios de funcionamiento del sistema en régimen permanente) y a la estabilidad dinámica del sistema eléctrico. En ningún caso, debe entenderse esta propuesta como el único criterio a aplicar para evaluar la capacidad de acceso de los MPE.

Implementación normativa de la propuesta

Considerando el marcado carácter técnico del criterio propuesto y su dependencia con la evolución tecnológica, las consideraciones generales para la valoración de la capacidad de acceso de MPE ligada a la fortaleza de la red (potencia de cortocircuito), deberían contemplarse en la Circular de acceso y conexión de la CNMC, si bien, los detalles técnicos y metodología de aplicabilidad de los mismos, convendría quedaran desarrollados en vehículos normativos de menor rango (procedimientos de operación o resoluciones aprobadas por la propia CNMC). De esta manera se asegura, por un lado, una mayor flexibilidad para modificación de los detalles técnicos conforme al desarrollo tecnológico de la generación renovable y del sistema, y por otro lado, disponer de más tiempo para profundizar en los análisis técnicos requeridos, con la participación de tecnólogos en su caso, para ajustar los detalles de parámetros y metodologías de aplicación aquí propuestos.

Aplicabilidad del nuevo criterio ligado a potencia de cortocircuito

Tal y como viene recogido en la propuesta de Circular de la CNMC, la modificación para evaluar la capacidad de acceso deben venir acompañada de una modificación de los criterios y procedimientos para la concesión de los permisos de acceso y conexión que ordene y dé un horizonte de factibilidad al elevado número de proyectos que actualmente disponen de permiso de acceso o han solicitado el mismo y se encuentran en curso, así como para agilizar la tramitación de los procedimientos, maximizar la utilización de la red de transporte y evitar conductas de acaparamiento del bien escaso que es la capacidad de acceso. Adicionalmente, parece razonable que el nuevo criterio propuesto basado en el índice WSCR, al tener que aplicarse a un escenario de planificación, comience a considerarse una vez se haya aprobado el nuevo ejercicio de desarrollo de la red de transporte de energía eléctrica con horizonte 2026.

Aplicabilidad del criterio particular de estudios específicos ligado a potencia de cortocircuito ligado a los sistemas no peninsulares

La complejidad y novedad del tipo de estudios que se proponen de manera particular y adicional al criterio general (estudios EMT de transitorios electromagnéticos que, hasta la fecha, no se realizan en el sistema de manera global o zonal, sólo específicamente ligados a proyectos, localizaciones y situaciones de red muy específicas) requieren de un tiempo de maduración y desarrollo suficiente, de la participación de tecnólogos (habida cuenta de que están muy condicionados por las particularidades y características tecnológicas de las instalaciones), y deben acometerse de manera global o zonal para el sistema (asociados a procesos concurrentes de acceso) y no de manera individual para cada una de las solicitudes de acceso, con objeto de determinar y viabilizar la integración de nuevos contingentes de MPE en los sistemas insulares de manera segura.

6.2. De carácter particular

Aquí se recogerían las matizaciones que quieran introducir las distintas asociaciones en caso de que no estén de acuerdo con la propuesta o crean conveniente incluir algún aspecto o modificación respecto a lo establecido de manera general en el documento

Anexo: Esquema resumen de la metodología

Propuesta de criterio de Scc para el cálculo de la capacidad máxima de acceso de un nudo

Cálculo de la P_{MPE} de un nudo

Capacidad máxima de acceso de MPE en el sistema peninsular

Cálculo de la $P_{MPE Teórica i}$: Se calcula para cada nudo de la bolsa

$$P_{MPE i} = \frac{\sum_j^N Scc_j^2}{(\sum_j^N Scc_j)^2} \cdot \frac{Scc_i}{WSCR_{Bolsa}}$$

SCC = **Percentil 1** escenario horizonte de planificación calculado considerando la historia registrada en los últimos 6 años

Existirá un $WSCR_{Bolsa}$ único para todos los nudos de la bolsa:

- **WSCR = 20** para nudos con MPE existentes o con permisos de acceso que no cumple con el Reg. (UE) 2016/631
- **WSCR = 6** para el resto de nudos

Asignación de la $P_{MPE i}$ definitiva a cada nudo:

Se compara la P_{MPE} teórica calculada de acuerdo a la fórmula anterior con la capacidad otorgada:

- Si $P_{MPE Teórica i} < P_{MPE Otorgada i} \rightarrow P_{MPE i} = P_{MPE Otorgada i}$
- Si $P_{MPE Teórica i} > P_{MPE Otorgada i} \rightarrow P_{MPE i} = P_{MPE Teórica i}$

Propuesta de metodología para determinar una zona de influencia

La zona de influencia se basará en el índice MIIF que mediante variaciones de tensión determinará el conjunto de nudos del sistema eléctrico con afección mutua teniendo en cuenta un umbral de 0,95.

Determinación de la zona de influencia de un nudo

Información relevante para conocer interacciones entre nudos

Zona de influencia: conjunto de nudos colindantes y eléctricamente próximos sobre los que un nudo particular tiene un cierto impacto.

Se determina a partir del Multi Infeed Interaction Factor (MIIF):

$$MIIF_{i,j} = \frac{\Delta V_j}{\Delta V_i}$$

Si $MIIF \geq 0,95 \rightarrow$ nudo j pertenece a la zona de influencia del nudo i



Determinación de las bolsas de nudos de un sistema eléctrico

Definición de las zonas definitivas de interacción entre nudos en un sistema eléctrico

Bolsas de nudos: zona de influencia compuesta por dos o más nudos, que puede contener zonas de influencia de menor tamaño.

Propuesta para casos particulares en los sistemas eléctricos no peninsulares

En el caso particular de sistemas eléctricos no peninsulares donde la aplicación del criterio basado en WSCR no sea recomendable o se requiera de un análisis adicional.

Cálculo de la P_{MPE} en casos particulares

Capacidad máxima de acceso de MPE en los sistemas eléctricos no peninsulares

Posibilidad de establecer mecanismos alternativos al criterio WSCR, cuando así se requiera por la administración competente, basados en **estudios exhaustivos de detalle a nivel global o zonal del sistema** en colaboración con los tecnólogos. Estos estudios deben determinar, si fuera necesario, los **controles y parámetros** que viabilicen el acceso y la conexión segura de los MPE y, por ende, el correcto funcionamiento del sistema.

Referencias

- [1] «Grupo de Trabajo "Revisión criterio 1/20 Sc_c" [GT_Sc_c] Términos de Referencia (diciembre 2018)».
- [2] «Red Eléctrica de España (www.ree.es)».
- [3] «Grupo de Trabajo "Revisión criterio 1/20 Sc_c" (GT-SCC) Entregable 1 (documento REE y GRD, marzo 2019)».
- [4] «Grupo de Trabajo "Revisión criterio 1/20 Sc_c" (GT-SCC) Entregable 2 (documento AEE, marzo 2019)».
- [5] «Grupo de Trabajo "Revisión criterio 1/20 Sc_c" (GT-SCC) Entregable 2 (documento AELEC, marzo 2019)».
- [6] «Subsynchronous Interaction Between Direct-Drive PMSG Based Wind Farms and Weak AC Networks,» *IEEE*, 2017.



Paseo del Conde de los Gaitanes, 177
28109 Alcobendas (Madrid)

Tel. 91 650 85 00 / 20 12

www.fsc.org