

# red eléctrica

## ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL

COMPENSADOR SÍNCRONO SANTA PONSA 220 KV Y  
AMPLIACIÓN DE LA SE SANTA PONSA 132 Y 220 KV

T.M. de Calvià (Mallorca)

Anexo 7. Compensadores síncronos en el sistema eléctrico balear.  
Justificación técnica

Marzo de 2023



ÍNDICE

1 OBJETO..... 3

ANEXO: EXTRACTO DE LA PLANIFICACIÓN ELÉCTRICA

## 1 OBJETO

---

Se presente a través del presente anexo del EsIA del “Compensador síncrono Santa Ponsa 220 kV y ampliación de la SE Santa Ponsa 132 y 220 kV” una documentación correspondiente a un extracto del Plan de Desarrollo de la Red de Transporte de Energía Eléctrica para el período 2021-2026.

Concretamente se trata de un anexo técnico de la misma que justifica técnicamente la necesidad de implantar compensadores síncronos en el sistema eléctrico balear.

Mediante el mismo se pretender reforzar la justificación de la necesidad de la actuación evaluada en el presente EIA.

## Anexo: Extracto de la Planificación Eléctrica

### 3. ANEXO- COMPENSADORES SÍNCRONOS EN EL SISTEMA ELÉCTRICO BALEAR: JUSTIFICACIÓN TÉCNICA

#### 3.1. INTRODUCCIÓN

El sistema eléctrico balear (SEB) es relativamente pequeño, poco mallado y con poca inercia, por lo que presenta una mayor dificultad para la resolución de desequilibrios generación-demanda y la integración de energías renovables. Con actuaciones como la puesta en servicio del enlace HVDC LCC ("*Line Commutated Converter*") que une la península ibérica con la isla de Mallorca y la puesta en servicio de los enlaces submarinos Mallorca-Ibiza que unió los subsistemas de Mallorca-Menorca e Ibiza-Formentera, se integró el sistema eléctrico balear en el mercado eléctrico ibérico y se mejoró la fiabilidad del suministro eléctrico en todas las islas del SEB a la vez que se reducía significativamente sus costes de generación usando energía libre de emisiones.

Sin embargo, la descarbonización del SEB (cero generadores síncronos) supone un reto relevante por las propias particularidades del SEB y por las características técnicas del enlace HVDC LCC. El enlace HVDC presenta limitaciones de operación derivadas de la necesidad de potencia de cortocircuito trifásico (Scc) en su punto de conexión, lo que exige contar con un número mínimo de generadores síncronos conectados en el SEB. Estos generadores síncronos, además de incrementar la potencia de cortocircuito, contribuyen al control de tensión (sobre todo en períodos valle) y al control de frecuencia en régimen estático y transitorio (inercia) para garantizar la seguridad y continuidad del suministro.

Resulta por tanto imprescindible resolver las problemáticas que aparecen ante una operación con cero generadores síncronos en el SEB y preparar el sistema para ser explotado con absolutas garantías de seguridad en esas condiciones.

#### 3.2. PROBLEMÁTICAS DE OPERACIÓN ANTE UN SEB 100% DESCARBONIZADO

A continuación, se describen las tres problemáticas identificadas derivadas de la necesidad de operar el SEB sin generación síncrona acoplada:

- **Control de tensión:** las tensiones en los nudos deben permanecer dentro de unos límites aceptables tanto en situación normal de operación como ante contingencia en régimen transitorio. Para ello, no es suficiente con elementos de control de tensión estáticos (reactancias/condensadores), sino que se precisa capacidad de control dinámica y continua de la tensión.

En el SEB esta situación es crítica en los períodos valle, pues típicamente se registran elevadas tensiones de operación fruto de las características intrínsecas de la Red de Transporte existente, la baja demanda, el bajo perfil de absorción de reactiva del parque generador y la actual interconexión HVDC LCC. El enlace HVDC LCC presenta en operación normal unos niveles de potencia reactiva absorbida que debe ser compensada mediante la conexión y desconexión de una serie de filtros que presentan una característica

capacitiva a frecuencia nominal. Sin embargo, para mantener la calidad de onda necesaria, los filtros deben eliminar los armónicos generados por el propio enlace por lo que, en ocasiones, deberán estar conectados aunque provoquen sobretensiones en el sistema. Esta situación, ya desfavorable en sí misma, se agrava ante la desconexión de los generadores síncronos, pues a través de su sistema de excitación, son capaces de controlar la tensión mejorando de este modo la estabilidad del sistema.

- **Control de frecuencia en régimen estático y transitorio (inercia):** la frecuencia es un parámetro fundamental en los sistemas interconectados en corriente alterna pues los generadores y las cargas de los motores giran a velocidades proporcionales a ella. Por su parte, la inercia es la cualidad del sistema que define su capacidad para resistir y sobreponerse a posibles desbalances generación-demanda que suceden en él. Si un sistema eléctrico dispone de poca inercia, como es el caso del SEB, y ocurre una perturbación, se puede producir una caída importante de la frecuencia en poco tiempo pudiendo provocar deslastre de cargas o un apagón completo, en caso de que la caída de frecuencia sea tan rápida, que los sistemas de deslastre de carga no fueran capaces de contrarrestar el desequilibrio generación-demanda. Hasta el momento, el SEB se opera con número mínimo necesario de generadores síncronos que son los que proporcionan la inercia necesaria en el sistema a través de la energía cinética almacenada en sus masas rodantes.
- **Nivel necesario de Scc en los nudos del SEB:** es necesario un nivel adecuado de Scc para garantizar, entre otras cosas, el correcto funcionamiento de los sistemas de protección de las islas y, en concreto, en la SE 220 kV Santa Ponça para permitir una explotación del enlace HVDC LCC fiable<sup>5</sup> y en plenas condiciones operativas.

El nivel de Scc en SE 220 kV Santa Ponça está fuertemente ligado a:

- *Mallado de la red:* que caracteriza y determina la impedancia equivalente entre la actual generación síncrona acoplada del sistema y la subestación de Santa Ponça. Esta subestación constituye una antena en 220 kV, conectada únicamente mediante el doble circuito 220 kV Valldurgent-Santa Ponça a la red de transporte existente. Adicionalmente está conectada a Ibiza mediante los dos enlaces en alterna en 132 kV. Es por lo tanto una subestación con debilidad estructural y es crítico garantizar los umbrales de Scc necesarios.
- *Generación síncrona conectada:* que hasta ahora ha sido la encargada de proveer al sistema la suficiente inercia y Scc para cumplir con los requisitos de operación normal del enlace HVDC LCC y del sistema en su conjunto.

Tal como se avanzaba anteriormente, el nivel de Scc en SE 220 kV Santa Ponça es crítico, pues operar el enlace HVDC LCC con unos valores inadecuados de Scc podría desencadenar en inestabilidad de tensiones, que podrían derivar a su vez en oscilaciones en la potencia transportada por el enlace, en un disparo o bloqueo del propio enlace, lo que desencadenaría en sobretensiones transitorias, o incluso, en magnificación de los armónicos en el sistema eléctrico al que está conectado.

<sup>5</sup> La tecnología HVDC LCC requiere de manera inherente un nivel mínimo de Scc para conmutar las válvulas de las estaciones convertoras del estado de conducción al estado de bloqueo pero necesita un valor superior de Scc para mantenerse estable.

La gravedad de cada uno de estos efectos y los valores de  $S_{cc}$  a los que se presentan, entre otras cosas, es función de las características propias del enlace y su punto de operación y de las características de la red.

Cuando se habla de un valor mínimo de  $S_{cc}$  necesario es una simplificación, ya que lo realmente importante para el correcto funcionamiento de un enlace HVDC LCC es el mantenimiento de la tensión en bornas del convertidor que depende de la impedancia Thévenin del sistema eléctrico. De esta forma, con valores bajos de  $S_{cc}$ , el sistema eléctrico es incapaz de mantener la tensión en terminales de la estación convertidora y los primeros problemas que surgen son la inestabilidad de tensiones y las sobretensiones en caso de disparo o bloqueo de la misma.

Para evitar estos funcionamientos anómalos ante situaciones de baja  $S_{cc}$ , se ha implementado en las convertoras del HVDC una función de estabilidad que limita su potencia activa de acuerdo a las restricciones siguientes:

- $S_{cc} \geq 1300$  MVA: funcionamiento normal con capacidad máxima de intercambio de potencia de 400 MW (sin restricciones).
- $500 \leq S_{cc} < 1300$  MVA: funcionamiento con capacidad máxima de intercambio de potencia del 40% de la nominal (160 MW) y con operación monopolar.
- $S_{cc} < 500$  MVA: implica necesariamente el disparo de enlace.

### 3.3. SOLUCIONES TECNOLÓGICAS DISPONIBLES

Ante la inminente necesidad de independizar el SEB de la generación convencional basada en combustibles fósiles y reducir o eliminar el requisito de usar este número mínimo de generadores síncronos una vez en servicio el refuerzo Península-Baleares incluido en este plan de desarrollo de la red de transporte en el horizonte 2026, resulta imprescindible explorar soluciones tecnológicas en las islas que contribuyan en los factores arriba mencionados. Sin llegar a ser exhaustivos, algunas posibles soluciones tecnológicas serían:

- **Condensadores y reactancias en paralelo:** constituyen un medio sencillo de inyectar o consumir potencia reactiva en el nudo en el que son conectados, sin embargo, no aportan ni inercia ni  $S_{cc}$  ni control dinámico de tensión.
- **Actuaciones en el enlace HVDC LCC que reduzcan su dependencia a la  $S_{cc}$  en su nudo de conexión:** posible evolución tecnológica en las actuales estaciones convertoras del extremo de SE 220 kV Santa Ponça que permitan disminuir su dependencia a la  $S_{cc}$  en el nudo de conexión. Reduce la necesidad de generación síncrona en el sistema pero no la eliminan completamente.
- **Instalación de compensadores síncronos:** máquina síncrona cuyo eje no está conectado a ninguna turbina y que puede controlar tensión de una manera continua, aportar  $S_{cc}$  e inercia.
- **Instalación de equipos FACTS:** equipos que mediante un convertidor electrónico u otras soluciones tecnológicas, ayudan a mantener la tensión de un nudo generando/consumiendo potencia reactiva de manera dinámica.

**Figura 13. Problemáticas en las que las diferentes soluciones tecnológicas contribuyen**

	Inercia	Control de tensión	Scs	Madurez del desarrollo tecnológico
Condensadores y reactancias	-	+	-	++
Actuaciones en el HVDC LCC	-	+	+	-
Compensadores síncronos	+	++	++	++
FACTS	-	++	+	++

- poco/nulo; + limitado; ++ elevado

De las distintas soluciones, los compensadores síncronos se postulan como la mejor de las opciones para conseguir un SEB 100% descarbonizado (Figura 18), pues asegurarían la Scs mínima requerida por el enlace HVDC LCC y ayudarían a la solución de los problemas de inestabilidad de tensiones, atenuando posibles sobretensiones ante disparo o bloqueo del enlace. Adicionalmente, conferirían la capacidad de arranque en vacío (“Blackstart”) a la estación convertidora en el extremo de Santa Ponça.

### 3.4. ESTUDIOS JUSTIFICATIVOS DE LA NECESIDAD DE COMPENSADORES SÍNCRONOS

Con esta premisa, los estudios realizados se han focalizado en determinar el número mínimo de compensadores síncronos necesarios para conseguir un SEB totalmente descarbonizado.

Para ello se han considerado dos escenarios de estudio distintos, ambos fundamentados en un mismo escenario base. El primero es un escenario cercano al actual en el que se sustituyen los generadores síncronos por compensadores síncronos. El segundo escenario considera la existencia de 2 enlaces de 200 MW cada uno entre la SE 400 kV de El Fadrell en la Península (subestación incluida en el plan de desarrollo de la red de transporte 2021-2026) y la SE 220 kV San Martín en Mallorca.

El escenario base representa un periodo valle de demanda, ya que es la situación más desfavorable en cuanto a tensiones y Scs, y sin ningún generador síncrono acoplado en el sistema. En Mallorca sólo se considera acoplados los productores de RSU de Tirme a su mínimo técnico y el enlace HVDC LCC.

Sobre estos escenarios de red se ha evaluado el número y potencia asociada a los compensadores síncronos necesarios en Mallorca para poder conseguir una Scs igual o superior a 1300 MVA en SE 220 kV Santa Ponça, y que permitiría por lo tanto un funcionamiento normal del enlace HVDC LCC sin restricciones de operación ante diversas situaciones.

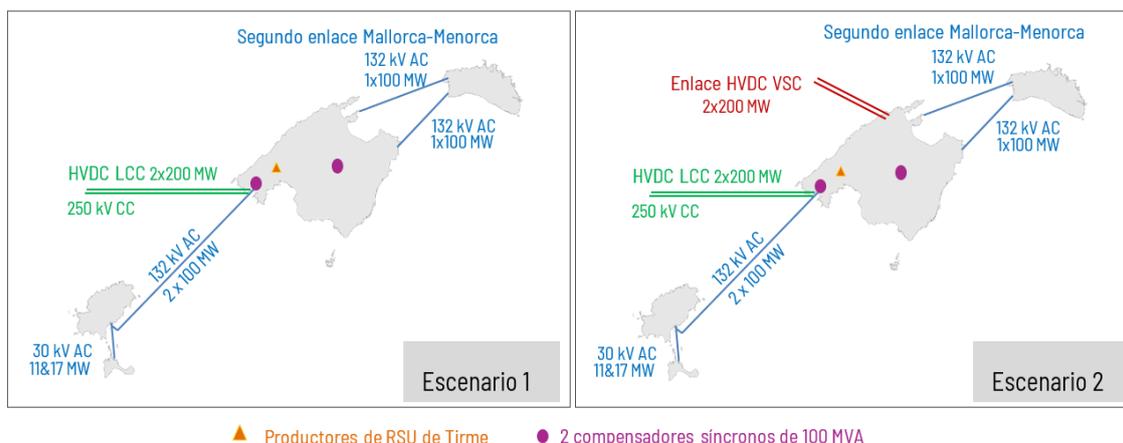
**Figura 14. Necesidad de compensadores síncronos en el SEB**

Número de compensadores síncronos necesarios en Mallorca	Scs en Santa Ponça 220 kV (MVA)
200 MVA en Santa Ponça 220 kV	980 MVA
200 MVA en Santa Ponça 220 kV + 100 MVA en Llubí 220 kV	1285 MVA
200 MVA en Santa Ponça 220 kV + 200 MVA en Llubí 220 kV	1537 MVA

A tenor de los resultados de la Figura 19, y teniendo en cuenta exclusivamente los requisitos de Scs en SE 220 kV Santa Ponça para poder garantizar un funcionamiento sin restricciones de operación en el enlace HVDC LCC, ante un escenario sin generadores síncronos serían necesarios compensadores síncronos equivalentes a 200 MVA en Santa Ponça y 200 MVA en Llubí 220 kV.

La configuración más apropiada sería 2 compensadores síncronos de 100 MVA en SE 220 kV Santa Ponça y otros dos compensadores síncronos de 100 MVA en SE 220 kV Llubí. Sin embargo, en virtud del cumplimiento de los requisitos de seguridad (N-1) en la operación del sistema establecido en el P.O.1, resultaría imprescindible considerar un compensador síncrono adicional de 100 MVA preferiblemente en alguna subestación cercana a SE 220 kV Santa Ponça, como es por ejemplo en SE 220 kV Valldurgent.

**Figura 15. Escenarios de estudio**



Adicionalmente, ante estos dos escenarios se han postulado varias contingencias con el fin de analizar la evolución del sistema desde el punto de vista de la estabilidad transitoria, que han permitido validar la solución planificada.

### 3.5. CONCLUSIONES

Atendiendo a todo lo anterior, podría concluirse lo siguiente:

- Resulta imprescindible preparar el sistema para poderlo explotar con garantías sin la presencia de generación síncronos.
- Las principales necesidades del sistema en ausencia de generación síncrona acoplada son inercia, Scs y control dinámico de la tensión.

- Los compensadores síncronos son actualmente la alternativa más apropiada, pues son capaces de aportar estas tres propiedades al sistema con la suficiente madurez tecnológica.
- Los estudios preliminares realizados indican la necesidad de al menos 500 MVA de compensación síncrona, 200 de ellos conectados en la SE 220 kV Santa Ponça.
- Con la instalación de 500 MVA de compensación síncrona en Mallorca se avanzaría hacia un Sistema Eléctrico Balear 100% descarbonizado, aunque para lograrlo en su plenitud serían necesarias actuaciones adicionales como por ejemplo un segundo enlace HVDC VSC con la península.

Aunque estas son las actuaciones identificadas como necesarias en el horizonte de estudio, en función del límite del valor de la inversión de la planificación y de las prioridades establecidas conforme a los análisis coste-beneficio con la metodología PINT secuencial de los diferentes elementos que componen la actuación de refuerzo de la interconexión Península-Mallorca, cuatro de estos equipos se incorporan en el horizonte posterior a 2026. Hasta la puesta en servicio de estos cuatro compensadores síncronos será necesario mantener generación síncrona en el sistema balear para asegurar las necesidades del sistema por inercia, Scc y control dinámico de la tensión.