



MIX DE GENERACIÓN EN EL SISTEMA ELÉCTRICO ESPAÑOL EN EL HORIZONTE 2030



RESUMEN Y CONCLUSIONES

RESUMEN Y CONCLUSIONES

Consideraciones previas

Desde que en el primer cuarto del siglo diecinueve empiezan a formularse las leyes de la electricidad, y en el siguiente cuarto de siglo comienzan a construirse equipos y elementos de acuerdo con estas leyes teóricas, el avance que se ha producido en la Humanidad, gracias al desarrollo de esta industria, ha conducido a una forma de vida que supone el mayor salto cualitativo en el desarrollo social que no se había conocido en la historia, desde el punto de vista tecnológico y de bienestar.

Los sistemas eléctricos actuales se basan en los diseños que originariamente se consideraron al inicio del desarrollo de los mismos, esto es el sistema es síncrono y la energía se produce en máquinas rodantes, denominadas alternadores o generadores síncronos, que producen corriente alterna y trabajan en paralelo sobre una red que hace que todo el conjunto se mantenga estable, esto es, que las máquinas se mantengan en condiciones de sincronismo, siendo capaces en caso de perturbación de mantenerse acopladas entre ellas.

Para alimentar la demanda variable en condiciones adecuadas de continuidad y calidad de suministro, un sistema síncrono estable necesita:

- Potencia activa (MW).
- Potencia reactiva (MVar).
- Frecuencia constante, dentro de un margen muy limitado.
- Tensión constante, dentro de márgenes establecidos y de forma de onda adecuada.

Es decir, un sistema eléctrico estable requiere unas condiciones técnicas, incluyendo un sistema de control, que solo es efectivo en sistemas síncronos, para aportar en todo momento la energía (MWh) necesaria para dar el servicio demandado.

Las necesidades indicadas anteriormente solo se consiguen en su totalidad, con la tecnología actual, por medio de grandes máquinas rotativas, capaces de mantener los valores de tensión y frecuencia, además de aportar la energía necesaria a los consumidores. Se han desarrollado otras tecnologías que hasta la fecha cumplen solo de manera parcial estas necesidades.

El equilibrio del sistema exige, por tanto, mantener una cierta proporción entre las grandes máquinas convencionales y el resto, de forma que la base estable del sistema quede asegurada en todo momento.

a) INTRODUCCIÓN

El objeto del presente estudio es realizar un análisis de las condiciones técnicas que se deben cumplir en el **diseño básico del parque de generación ("mix")** de un sistema eléctrico, y su aplicación al **sistema eléctrico peninsular español en el horizon-**

No se tienen en cuenta en este estudio los aspectos sociales, de política energética y medioambiental ya que se ha dado prioridad al cumplimiento del servicio, lo que no obsta a que se haga mención a dichos aspectos en algunos casos.

te 2030, teniendo en cuenta de manera prioritaria que este parque de generación debe cubrir la demanda prevista y proporcionar una operación del sistema eléctrico **segura y estable**.

No se tienen en cuenta en este estudio los aspectos sociales, de política energética y medioambiental ya que se ha dado prioridad al cumplimiento del servicio, lo que no obsta a que se haga mención a dichos aspectos en algunos casos.

En el estudio realizado se han señalado cuáles pueden ser las **limitaciones que sobre el sistema eléctrico puede imponer un "mix" de generación que no tenga en cuenta las diferentes características de las centrales y los problemas que los diferentes tipos de estas pueden ocasionar al sistema**. Es por tanto un estudio dirigido al análisis de las condiciones técnicas de funcionamiento de un sistema eléctrico y el mantenimiento de sus parámetros, más que a analizar en detalle cuál va a ser la demanda o a dar una solución única para el "mix".

Desde este punto de vista se han analizado cuáles son las condiciones de operación de un sistema eléctrico, qué parámetros han de controlarse y qué **tipos de centrales permiten un mejor control de estos parámetros**, con el fin de poder dar una idea de las que han de preverse para conseguir un sistema equilibrado, donde la única limitación sea la seguridad y calidad de servicio a los usuarios.

Se ha hecho un análisis teórico del funcionamiento de un sistema eléctrico en respuesta a su demanda, básicamente desde el punto de vista del **control de frecuencia-potencia**, de las necesidades de regulación primaria, secundaria y terciaria, para conseguir una explotación equilibrada y segura, y un análisis de cómo los grupos actualmente en el mercado (es difícil que en el período estudiado existan nuevas tecnologías que modifiquen los procedimientos de generación de electricidad) son capaces de responder a estos requerimientos.

Por otro lado se ha realizado un análisis genérico del comportamiento de la demanda del sistema eléctrico español, de forma individual y englobado en el conjunto del sistema interconectado europeo, UCTE, con el fin de prever una posible banda de demanda en el año horizonte del estudio, 2030.

En la previsión de la generación necesaria no se han tenido en cuenta las interconexiones, siguiendo las indicaciones de la UCTE de no considerarlas para el estudio de cobertura base. Por otra parte, conseguir unas interconexiones con el sistema europeo (Francia) de calidad y en cantidad suficiente, supone no solo llegar a construir otras líneas de 400 kV, sino el refuerzo de la red en ambos países en el nivel de 220 kV y 400 kV, teniendo en cuenta que **alcanzar una capacidad de interconexión de 4.000 MW exigiría dos nuevos dobles circuitos de 400 kV** (Planificación de transporte de gas y electricidad 2006, apartado 7.11); se requeriría una planificación más adecuada a las necesidades propias del conjunto de la red para conseguir una mayor capacidad de interconexión en el período del estudio.

El conjunto de los dos aspectos, **el orden de magnitud de la demanda esperada y las condiciones básicas de funcionamiento del sistema permiten determinar unas bandas para la potencia instalada de distintas tecnologías en el "mix" de**

generación, de forma que dentro de las mismas se cumplan los requerimientos señalados.

b) SENDAS DE CRECIMIENTO DE LA DEMANDA

La previsión de la demanda requiere unas hipótesis de partida cuya variación, aun dentro de márgenes no muy amplios, da resultados muy diferentes, por lo que se ha optado por evaluar distintos escenarios.

Se han construido las siguientes sendas de previsión:

- Extrapolación de los datos de demanda de los últimos diez años a futuro, de forma directa, con lo que se obtendría una **senda superior de demanda extrema**, ya que los valores de los últimos años dan un crecimiento acumulado de casi el 4,5% anual, lo que no parece "mantenible" en el futuro.
- Proyección del dato actual de demanda utilizando el crecimiento económico establecido por las autoridades económicas a futuro, considerando que existe una ligazón directa entre el aumento del PIB y el aumento de consumo de electricidad, lo que proporciona una senda de crecimiento mínimo o **senda inferior de demanda**, ya que la previsión de crecimiento del PIB a partir del 2020 es de un 1% anual.
- Proyección del dato actual de demanda, de acuerdo con el PIB, pero mayorado en cuatro puntos porcentuales, lo que da una senda parecida a la actual en la correlación entre PIB y demanda, con unos valores que se pueden considerar conservadores, como **senda intermedia de la demanda**.

En estas proyecciones se ha mantenido la relación punta/valle existente a la vista del comportamiento de los últimos 10-15 años. **La relación punta-valle es una cuestión clave**, ya que define varios aspectos: el dimensionamiento máximo del sistema (por el valor punta), la necesidad de operación flexible (por las rampas), la necesidad base (el valor del valle) y la pauta de consumos, ya que un consumo más ordenado daría una relación más plana. El problema es tanto el horizonte de estudio (es difícil aventurar comportamientos a largo plazo, incentivos y sobre todo cómo va a responder el conjunto de la demanda a tales incentivos), como el margen de seguridad que se desea; el estudio hace un supuesto conservador y mantiene los ratios punta/valle observados en los últimos 10-15 años. En este sentido, es pesimista a la hora de considerar la toma de conciencia por parte de la sociedad en relación con el problema del abastecimiento energético y con unos hábitos más ordenados de consumo.

Por otro lado aspectos como la interrumpibilidad y gestión de la demanda, se han considerado como medidas de operación, de acuerdo con las prácticas actuales, y no como elemento de diseño del sistema.

Con estas hipótesis se obtienen para el año 2030 los valores de punta de demanda y energía total que se indican en el siguiente cuadro:

Hipótesis		Potencia punta MW	Energía anual TWh
Extrapolación datos actuales	Senda superior	84.200	486
PIB + 4/100	Senda media	72.600	436
PIB	Senda inferior	68.400	410

Se ha considerado que entre estos márgenes se encuentra, en una expectativa razonable, la demanda real del sistema eléctrico peninsular español en el horizonte de estudio.

c) CARACTERÍSTICAS DE LAS TECNOLOGÍAS GENERADORAS

Un sistema eléctrico debe contener un soporte de generación estable de dimensión suficiente para atender a las variaciones de demanda, generación y topología que se consideren “normales”. Esto equivale a decir que se establecen unos determinados criterios de diseño, donde se especifican las contingencias o perturbaciones a las que se somete el sistema, las variaciones admisibles de los parámetros fundamentales —frecuencia, tensión...—, y las repercusiones admisibles —o lo que es lo mismo, la calidad final del servicio—. Un criterio más riguroso significa una mayor exigencia al sistema, es decir, que se debe contar con más medios para atender a perturbaciones más severas; pero también significa una mayor calidad del servicio prestado. A la inversa, un sistema con menor exigencia degrada su calidad, de forma que el servicio puede encontrarse con problemas de continuidad de suministro, de calidad de onda, etc.

El estudio se ha centrado en los aspectos primordiales de funcionamiento, el comportamiento del sistema ante los desequilibrios generación-demanda, y ha tratado de determinar los requisitos mínimos en lo referente a su respuesta inercial y de regulación automática. En el documento se encuentra una explicación detallada de cómo se produce esta respuesta y de su tratamiento matemático.

Muy brevemente, el equilibrio necesario entre generación y demanda se consigue haciendo que los generadores sigan a la demanda en todo momento, tanto cuando aumenta como cuando disminuye, lo que se consigue gracias a que la capacidad de regulación de un alternador es muy alta, y su velocidad de respuesta normalmente satisfactoria, sobre todo en grandes sistemas, donde teóricamente la inercia de las máquinas hace posible que las oscilaciones de demanda no originen grandes oscilaciones en los parámetros de control de la red, dando tiempo a los equipos de regulación a actuar sin que se vea afectada la calidad del servicio.

De la magnitud de las fluctuaciones de la demanda, de su rapidez de ocurrencia y de la capacidad de respuesta del conjunto de los generadores depende que el sistema sea capaz de mantener su estabilidad (y que las máquinas “mantengan el sincronis-

mo” entre ellas), o que por el contrario se produzca una pérdida generalizada de estabilidad, conduciendo al sistema al colapso. La señal básica de que el sistema está en equilibrio estable es que la frecuencia se mantenga constante, dentro de un rango muy limitado de variación admisible. Cuando se rompe el equilibrio generación-demanda, la frecuencia cambia: sube si hay un exceso de generación, baja si hay un exceso de demanda; en esta estrecha relación se basan los sistemas de control del desequilibrio, que por ello se conocen como “regulación frecuencia-potencia”.

La dimensión del desequilibrio entre la producción y el consumo conduce a actuaciones sobre diferentes elementos, con tiempos de respuesta diferentes. En unos casos serán respuestas individuales, en otros respuestas colectivas y en otros órdenes de actuación globales a los elementos del sistema.

Técnicamente existen dos tipos de regulación de potencia:

- La respuesta mecánica de las máquinas rodantes, que almacenan energía cinética en razón de su propia inercia, y pueden aportarla en un momento dado, antes de la actuación de los sistemas de control.
- La respuesta controlada de las máquinas rodantes, dotadas de unos reguladores automáticos, que a su vez se puede clasificar en:
 - La regulación primaria, que es la respuesta individual de cada alternador para tratar en primer lugar de recuperar el equilibrio, cuando detecta variaciones de la potencia de referencia o cambios en la velocidad de la máquina accionante (la turbina), que actúa en un rango de unos pocos segundos. Por las características de los reguladores, si las máquinas solo estuvieran dotadas de este control primario, al recuperar el equilibrio generación-demanda el sistema quedaría funcionando a una frecuencia distinta de la original. Por ello debe establecerse un segundo modo de control, que restablezca la condición inicial, que es la regulación secundaria.
 - La regulación secundaria, más lenta, que trata de recuperar el valor establecido de frecuencia y los intercambios deseados entre las distintas áreas del sistema, actuando tras un proceso de comprobación de parámetros de la red y comparación con los puntos de ajuste, en el que interviene la respuesta de otras áreas de regulación. Se trata, por lo tanto, de una regulación compartida, cuyo tiempo de actuación se extiende en el rango de unos minutos.

Esta segunda regulación, que responde normalmente a grandes variaciones de carga, requiere disponer de una reserva de potencia en las máquinas que están en funcionamiento. Cuando esa reserva se utiliza (y queda “perdida”) es necesario conseguir su recuperación, a plazo más largo, de forma que el sistema cuente siempre con la reserva suficiente para poder cubrir las posibles nuevas modificaciones que se produzcan en la demanda. Esta recuperación de la reserva (secundaria) es la regulación terciaria, que puede ser llamada a entrar en servicio en un rango de horas.

En esta breve explicación es preciso señalar la importancia de la magnitud tiempo; en efecto, si bien el seguimiento lento de un cambio de demanda (por ejemplo, los que se producen normalmente a lo largo del día) puede predecirse dentro de un margen y

por tanto programar la generación que la atiende, otros cambios suceden de forma casi instantánea (por ejemplo, la desconexión de una central por un fallo) y **el sistema tiene que estar preparado para afrontar tanto unos cambios como otros.**

En este análisis se han planteado las necesidades de inercia y regulación, postulando unos determinados incidentes, capacidad de recuperación requerida, etc. A partir del mismo, se han determinado las bandas de generación que cubrirían estas necesidades, ya que en el momento actual **no todas las tecnologías tienen la misma capacidad de respuesta inercial, primaria y secundaria.** En el texto se comenta en detalle este diferente comportamiento, que se resume en la tabla siguiente:

Tabla 1
Características de las tecnologías de generación

Tecnología	Aporte inercial	Regulación primaria	Regulación secundaria	Regulación terciaria
Hidráulica	SI	SI	SI	Límite disponibilidad
Nuclear	SI	SI	Uso no habitual	Uso no habitual
Térmica carbón	SI	SI	SI	SI
Ciclo combinado (*)	SI	NO	Se emplea en seguimiento "lento" de demanda	SI
Minihidráulica	SI	Viable por tecnología No se aprovechan por dispersión/atomización		
Régimen especial térmico	SI			
Eólica y fotovoltaica	NO	NO	NO	NO (podría emplearse "a bajar")

(*) Un ciclo combinado es una central mixta con turbina de gas y caldera de recuperación con turbina de vapor, donde la máquina dominante es la turbina de gas.

En la tabla se dan conceptos generales, lo que no quiere decir que algunos de los comportamientos no sean posibles, sino que no son los más adecuados para cubrir lo que se les pide. Por ejemplo no es habitual regular en secundaria con una central nuclear, pero es posible hacerlo, y deberá hacerlo si como se indica en este estudio se incrementa la capacidad de producción con este tipo de energía; por el contrario no es, o no debe ser normal, regular secundaria con un ciclo combinado, por pérdida de rendimiento y aumento de contaminación, pero puede hacerse, y de hecho se hace si el sistema lo necesita.

Este cuadro indica la necesidad y conveniencia de que, con el fin de preservar las características del sistema en cualquier condición de operación, una parte de las centra-

Una mayor proporción de generación con turbinas de vapor permite una mayor generación no gestionable en servicio.

les a instalar en el futuro sean del tipo de turbinas de vapor, dada la limitación de instalación de nueva generación hidráulica y las limitaciones de funcionamiento de los otros tipos de máquinas generadoras. Esto lleva a tener que mantener en el sistema, hasta que se encuentren fuentes alternativas con iguales o mejores características de funcionamiento, centrales convencionales de carbón o nucleares en cantidad suficiente y suficientemente flexibles, por diseño, para que cubran los requerimientos del sistema en condiciones extremas de explotación.

Es importante hacer notar que este tipo de centrales ha de operar en mayor medida cuanto más energía no gestionable¹ esté en servicio, eólica y solar fotovoltaica, con el fin de cubrir con mayor seguridad las deficiencias de estas últimas en la respuesta ante oscilaciones en el sistema. Dicho de otra forma, **una mayor proporción de generación con turbinas de vapor permite una mayor generación no gestionable en servicio.**

d) BANDAS PARA LA CONFIGURACIÓN DE UN "MIX" VIABLE. COBERTURA DE LA PUNTA DE DEMANDA

Se tiene en cuenta que:

- Por necesidades de inercia y de regulación primaria, se ha observado que la generación hidráulica, la de carbón y la nuclear deben estar presentes en la proporción adecuada en cada instante de la producción de energía.
- Para cubrir la demanda total se utilizarán, además, otros tipos de tecnologías, como los ciclos combinados, con el fin de diversificar la generación y por ende la dependencia de las fuentes primarias, aportar energía base con capacidad de regulación secundaria para seguimiento de la demanda y rapidez de respuesta en momentos de altas pendientes de demanda y limitar la emisión de ciertos contaminantes.
- La potencia neta disponible se obtiene corrigiendo la potencia instalada con una serie de factores de indisponibilidad por mantenimiento, fallos de equipos y de recurso primario (por ejemplo, la hidráulica instalada y no utilizable simultáneamente). En cuanto a las energías renovables, la parte no gestionable no puede ser tenida en cuenta para la cobertura de la demanda, al no ser controlable y no poder disponerse de ella en toda ocasión, excepto en una proporción mínima (10% del total instalado).
- El "mix" de generación conjunto de todas las centrales debe proporcionar la demanda requerida más las reservas necesarias, con un cierto margen de seguridad (10%).

¹ Se considera energía no gestionable aquella que es predecible pero no programable, como la generación eólica o la fotovoltaica, con independencia de la definición de "no gestionable" dada en el RD 661 de 25/05/2007.

- Como se ha indicado no se ha considerado el efecto de las importaciones, por su grado de incertidumbre, ni de las medidas de gestión y ahorro energético, por lo que los resultados tienen un cierto margen de cálculo.

El “mix” de generación que se elija, dentro de estas bandas, debería atender a los siguientes criterios:

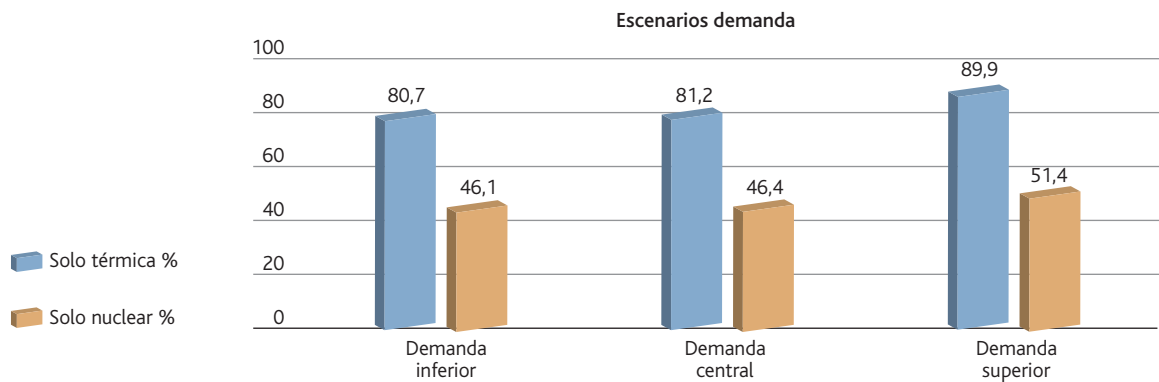
- **Respetar los requerimientos de fiabilidad del sistema.**
- **Utilizar todos los tipos de combustibles.**
- **Obtener un nivel de emisiones reducido.**
- **Integrar la mayor cantidad de renovables posible en el sistema.**

Respecto a este último punto, como síntesis, se puede decir que la mayor o menor integración de las energías renovables en el sistema depende de su capacidad para asimilarse al comportamiento de un generador síncrono gestionable; en la medida en la que no lo sean, existirá un límite técnico a la potencia que puede estar en cada momento en servicio. Las diferencias principales se describen con mayor detalle en el texto:

- Aleatoriedad del recurso primario en centrales eólicas y fotovoltaicas.
- Son fuentes de energía activa que en general no aportan otros servicios complementarios del sistema, lo que quiere decir que otras centrales deben estar en servicio para proveerlos; hablamos de inercia, regulación frecuencia-potencia, control de tensión, etc.
 - En algunos casos, por sus características intrínsecas y su forma de explotación, por ejemplo en eólica y fotovoltaica la falta de aportación de inercia y regulación.
 - En otros casos, por su atomización, que impide la gestión de los recursos de forma centralizada, aunque el RD 661/2007 ya contempla la integración en un despacho de las plantas superiores a 10 MW.
- En el caso particular de las centrales eólicas instaladas actualmente, su comportamiento ante la modificación de los parámetros del sistema cuando este sufre una perturbación (por ejemplo, una caída de la tensión frente a un cortocircuito) es la desconexión de la red, que agrava el problema inicial y puede precipitar el sistema al colapso, o retrasar o hacer imposible la recuperación de los niveles normales cuando el resto de generadores del sistema intentan restaurarlos, por la demanda de reactiva.

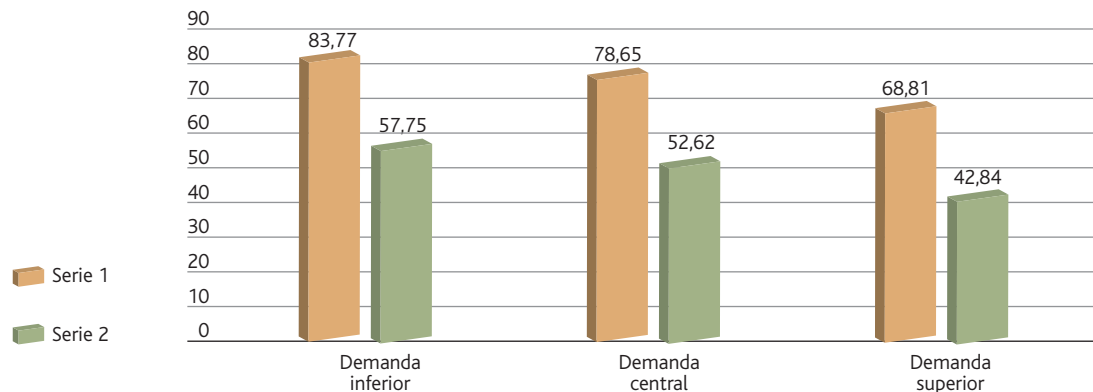
Con las premisas y criterios anteriores, en el estudio se llega a que el "mix" del sistema debe estar dentro de los siguientes márgenes:

Figura A
Valores por requerimientos de inercia (incidente extremo) en las condiciones de máxima demanda de los escenarios inferior, central y superior (valores en %), suponiendo instalación alternativa "solo nuclear" o "solo térmica" (carbón+ciclos combinados)



En la figura A se han representado los valores necesarios por tecnologías por requerimientos de inercia ante un incidente extremo en las condiciones de máxima demanda de los escenarios inferior, central y superior. En la figura A se observa cómo la menor inercia de las centrales térmicas (tecnologías carbón y ciclos combinados) frente a la generación nuclear hace que la proporción de las primeras deba ser mayor, si no existiera generación nuclear en el sistema.

Figura B
Valores de generación nuclear + térmica de carbón por necesidades de regulación primaria ante un incidente severo con distintos grados de exigencia en la respuesta del sistema (valores en %)



En la figura B se han representado los valores necesarios por requerimientos de regulación primaria, suponiendo que la capacidad de recuperación requerida se aporta de forma autárquica por el sistema español (sin apoyo del sistema interconectado europeo), ante un incidente severo, en las condiciones de máxima demanda de los escenarios inferior, central y superior, y suponiendo una determinada capacidad de aportación de regulación primaria por parte de la generación nuclear y térmica de carbón en servicio. Las series 1 y 2 representan una mayor o menor exigencia a la respuesta del sistema (la serie 1 corresponde a mantenimiento de la frecuencia en los límites establecidos en el sistema europeo y la serie 2 corresponde a mantenimiento de la frecuencia hasta el límite de disparo de los grupos).

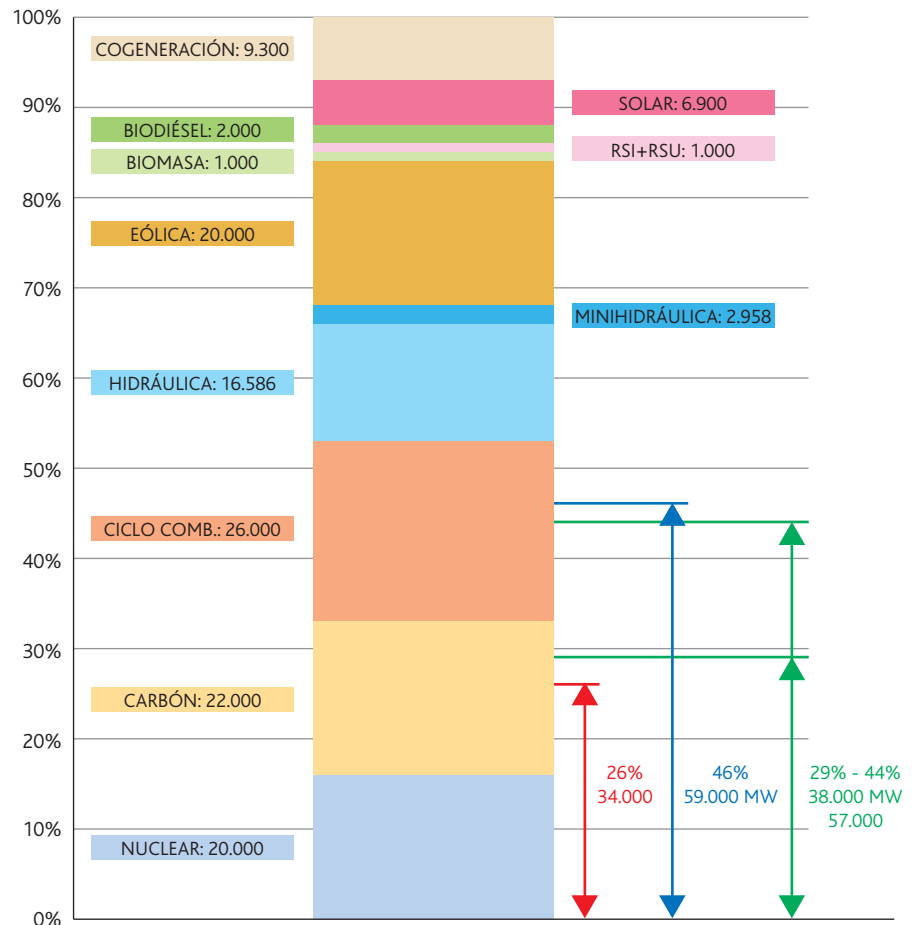
Las figuras anteriores representan unas necesidades básicas del sistema, e indican que **tiene que haber un peso importante de generación con aporte de inercia y regulación primaria**. Hay que indicar que en estas gráficas se ha considerado que la aportación hidráulica es limitada (en particular, la regulación primaria se ha calculado solo en base a la aportación de carbón y nuclear) y que el sistema peninsular español solo cuenta con sus propios recursos. En este sentido, cabe hacer dos observaciones:

Tiene que haber un peso importante de generación con aporte de inercia y regulación primaria.

- El sistema eléctrico peninsular español y el sistema eléctrico peninsular portugués forman en realidad un único sistema frente al sistema interconectado europeo. Esto significa que se puede disponer de más recursos de inercia y regulación, siempre que el incidente que se postule para el conjunto sea de la misma magnitud y que los operadores de ambos sistemas establezcan reglas de funcionamiento y necesidades comunes.
- De la misma forma, el sistema interconectado europeo, ante un incidente de la misma magnitud, tiene en conjunto más recursos que cada sistema aislado. Pero es importante recordar que, a efectos de cobertura, las reglas de la UCTE indican que no se deben tener en cuenta las posibilidades de intercambio, es decir, que cada sistema nacional debería ser capaz de contar con sus propios recursos, aunque luego pueda hacer uso de los del conjunto. El mismo razonamiento se ha aplicado en este análisis para determinar las necesidades máximas de inercia y regulación.

En la figura C se representa un ejemplo de aplicación de las condiciones anteriores en el escenario medio de demanda, en el que se han tenido en cuenta tanto los valores necesarios por requerimientos de inercia y regulación (según la serie 2), la disponibilidad máxima de hidráulica, y el resto de criterios indicados en este apartado, como diversificación de combustibles e integración de renovables.

Figura C
Ejemplo de aplicación de los criterios establecidos
en el escenario de demanda media
(valores en % referidos al total de potencia instalada)



NOTA: los porcentajes de la figura C se refieren al valor total de la potencia instalada; los porcentajes de las figuras A y B se refieren al valor máximo esperado de la demanda (la diferencia entre ambos valores se corresponde con el margen de cobertura establecido).

En la figura C se señalan las bandas de potencia instalada por requerimientos de inercia y regulación para este escenario:

- en rojo, alternativa "solo nuclear" por inercia (34.000 MW);
- en azul, alternativa "solo térmica" (carbón + ciclo combinado) por inercia (59.000 MW);
- en verde, nuclear+carbón por regulación primaria (entre 38.000 y 57.000 MW dependiendo de la exigencia de la respuesta, series 2 y 1).

La necesidad de cubrir el máximo de la demanda, con un margen de seguridad, obliga a la instalación de un número de centrales que hace que alguna de ellas permanezca ociosa durante parte del año.

De la combinación de las necesidades establecidas en los diferentes escenarios de demanda por inercia y regulación y de la disponibilidad máxima de hidráulica se puede observar que **es necesario entre un 55% y un 60% de generación hidráulica, térmica convencional y nuclear en servicio en condiciones de demanda alta y media, debiendo ser superior este porcentaje en demandas menores, con el fin de mantener la respuesta adecuada ante incidentes o perturbaciones del sistema.**

Los valores relativos propuestos coinciden con el reparto de tecnologías de generación existente hasta la fecha, donde la generación de este tipo de centrales, sobre todo en demandas muy altas, es de aproximadamente un 59%, lo que hacía del "mix" de generación español peninsular uno de los más fiables del mundo (en el anexo 7 se incluye un gráfico con la potencia instalada en diferentes países en el año 2003).

Como se puede comprender, la necesidad de cubrir el máximo de la demanda, con un margen de seguridad, obliga a la **instalación de un número de centrales que hace que alguna de ellas permanezca ociosa durante parte del año.**

Con las mismas premisas se han estudiado diversas propuestas para los distintos escenarios de demanda considerados, incrementando o reduciendo la generación térmica de carbón y ciclo combinado. **Como observación, por su grado de incertidumbre, no se ha considerado el posible efecto de las restricciones en emisiones de CO₂, ya que en el horizonte 2030 los escenarios posibles son muchos, desde el desarrollo consolidado de tecnologías de carbón limpias hasta la limitación de emisiones en tal grado que esto conduzca a un porcentaje de generación base nuclear aún mayor del que señalarían las necesidades de inercia y regulación.**

e) DEMANDA DE ENERGÍA

Por último, se ha verificado que este "mix" de generación propuesto es capaz de suministrar la energía demandada en el año 2030, teniendo en cuenta indisponibilidades por fallos, los períodos de mantenimiento, etc.

Como se ha indicado, la necesidad de cubrir la punta lleva a que la capacidad total de producción de energía en el conjunto del año sea superior a las necesidades de la demanda. En el análisis de energía se han considerado todas las tecnologías, tanto en "régimen ordinario" como en "régimen especial", con sus correspondientes horas equivalentes de funcionamiento a plena carga, tomadas de datos estadísticos de los últimos años. De nuevo, se observa que **es necesario disponer de un mayor número de centrales gestionables para cubrir con su energía la indisponibilidad de las no gestionables por falta de recurso primario, ya que estas funcionan un número limitado de horas al año.**

f) UBICACIÓN DE CENTRALES Y DESARROLLO DE RED

El "mix" de generación resultado de un estudio de cobertura a nudo único no determina un perfil de generación viable, sino que este debe pasar los filtros técnicos de un

conjunto de estudios red-demanda-generación, tanto desde el punto de vista estático como dinámico.

Un problema general es la ubicación de la nueva generación, ya que en la situación actual lo que se observa es que esta se sigue concentrando en los lugares donde ya existen centrales, con lo que aumenta la gravedad del fallo potencial, así como su extensión, incrementándose además la potencia de cortocircuito en esos puntos. Por otro lado se observa asimismo una concentración en los puntos de consumo, lo que obliga a reforzar las líneas de transmisión en los corredores de suministro hacia estos centros.

El incremento del riesgo debido a la concentración de energía en los centros de producción, obligaría, con el fin de evitar problemas de gran pérdida de generación por fallo en una subestación, a desmallar, permanente y/o temporalmente, mediante los mecanismos adecuados, la red de transporte, de forma que algunas de las generaciones tengan unión directa con los centros de consumo principales, Madrid, Valencia, Barcelona, Sevilla, etc. Esto supone un cambio cualitativo en la forma de operar el sistema, pero será inevitable por el aumento de la generación y por la concentración de la misma, pudiendo llevar asociada la necesidad de construcción de nuevos corredores de transporte directo.

Realmente la ubicación de la generación térmica está muy limitada por la posibilidad de encontrar emplazamientos, la oposición social, la necesidad de agua y el acceso al combustible. **Lo ideal sería acercar los centros de generación a los de consumo, por lo que las nuevas instalaciones deberían situarse lo más cerca posible de las zonas de gran demanda:** zona centro, (Cáceres, Guadalajara, Madrid), zona de levante, (Comunidad Valenciana) y zona sur oriental, (Andalucía oriental), aunque hay que reconocer que todos los emplazamientos tienen problemas por motivos medioambientales o sociales.

Debería analizarse la explotación desmallada del sistema, con el fin de evitar la concentración de energía y la saturación de las redes de transporte, teniendo en cuenta que un aumento de la red supone una mayor posibilidad de inestabilidad del sistema ante una falta en el mismo, con grandes valores de cortocircuito y fuertes caídas de tensión en zonas muy amplias, que pueden afectar el funcionamiento de un sistema que puede estar muy "cargado" de eólicos. En este sentido se hacen notar las limitaciones indicadas en el apartado d, ya que toda generación con comportamiento asíncrono hace depender al sistema de la generación disponible síncrona.

CONCLUSIONES

A la vista del estudio se llega a las siguientes conclusiones:

- Hay que prever una potencia instalada para el año 2030 de al menos 125 GW, con el fin de cubrir tanto la punta extrema como la energía total demandada en el año (escenario medio).
- Esta demanda debe ser cubierta con todos los tipos de generación existentes en las proporciones adecuadas.
- Combinando los resultados por necesidades de inercia y regulación y teniendo en cuenta la disponibilidad de hidráulica, al menos un 50%-60% de la generación en servicio ha de ser del tipo turbina de vapor e hidráulica.
- Aplicando los resultados a un escenario de demanda media, teniendo en cuenta la limitación de hidráulica en la península, se puede hablar de un escenario de potencia instalada centrado en los siguientes valores:
 - Una generación con turbinas de vapor de al menos 42 GW, de la que por viabilidad de construcción podrían ser 20 GW de tecnología nuclear y 22 GW de carbón.
 - En este supuesto se dispondría de aproximadamente el 20% de suministro de energía con renovables, si hay recursos disponibles, en el período estudiado. Su grado de utilización dependería de las condiciones reales de explotación del sistema.
 - El resto de generación, aproximadamente 26 GW, podría ser cubierto con otro tipo de generación (se han considerado ciclos combinados).
- Dentro de los valores requeridos, que definen unas bandas de tipos de generación, son posibles otros muchos escenarios de potencia instalada, pero siempre teniendo en cuenta las necesidades estructurales que definen estas bandas, que con la tecnología disponible solo pueden ser proporcionadas por un determinado tipo de centrales.

El estudio ha supuesto la misma capacidad de regulación a las centrales nucleares que a las centrales térmicas de carbón, por lo que la construcción de estas deberá tener en cuenta estos requerimientos. Cuanto mayor sea el peso de las centrales nucleares en el "mix" deberán tenerse en cuenta en mayor medida estos aspectos.

- **La proporción de centrales con comportamiento asíncrono en el sistema tiene un límite técnico en cada momento de funcionamiento del mismo.**
- La ubicación de las centrales debería diversificarse, situándose en zonas próximas al consumo, o bien se debería establecer un diseño de red que permita la conexión directa entre generación y consumo.
- Podría ser interesante la realización de centrales de trabajo en punta y para regulación, con respuesta rápida para cubrir de forma parcial o total la reserva secundaria en apoyo a la hidráulica, que cada vez tendrá menos peso específico en la generación y regulación del sistema.

La proporción de centrales con comportamiento asíncrono en el sistema tiene un límite técnico en cada momento de funcionamiento del mismo.