

# ANÁLISIS EÓLICO EN EL AÑO 2003 / 04

**Carlos Alés Esteban**  
Ingeniero Industrial

## 1.- Objetivo

Analizar el comportamiento de la generación de origen eólico a partir de los gráficos del año 2003 y 2004 (hasta julio) que posee **Red Eléctrica Española (REE)** en su página [www.ree.es](http://www.ree.es), donde han quedado recogidas las curvas de producción diaria real de electricidad generada por los parques eólicos en los que Red Eléctrica posee teled medida, y que representan aproximadamente, según sus datos, el 80% del total de parques eólicos que se encuentran en España.

El estudio, por tanto, se hace sobre el 80% de los parques eólicos repartidos por todo el país, con una **Potencia Nominal Controlada (PNC)** de 3.257 MW en enero hasta una potencia final de 4.500 MW en diciembre de 2003.

Posteriormente se comprueban los resultados obtenidos con los siete primeros meses de 2004 donde la Potencia Nominal de Control ya es de 5.092 MW.

Al ser la Potencia eólica la suma de cientos de unidades aéreo-generadoras, los resultados obtenidos se pueden fácilmente extrapolar para futuras potencias, ya que, si bien la tecnología podrá mejorar el rendimiento de los equipos, por ejemplo, ampliando el rango de velocidad del viento útil o con algún asentamiento sobre el mar, también los primeros emplazamientos han sido en los territorios mejores y más ventosos, por lo que es previsible que estas y otras variaciones no modifiquen sustancialmente las conclusiones finales, que como se puede apreciar a lo largo del análisis, están basadas sobre todo en la simultaneidad de funcionamiento de los Parques.

Por otro lado, es conocido que el *Plan de Infraestructuras* de nuestro país ha puesto, en principio, como límite del potencial eólico instalado para 2011 en 13.000 MW y, puesto que el estudio se realiza sobre más de 4.000 MW reales, es decir en torno al 30% del previsto, se puede pensar que los resultados son totalmente extrapolables para la totalidad.

## 2.- Generación puntual máxima y mínima

A lo largo de 2003, la máxima cota de generación simultánea de los parques eólicos se consiguió el **24 de febrero** sobre las tres de la tarde, alcanzando 2.778 MW de los 3.088 MW posibles, es decir el 72% de la PNC.

Del análisis de los máximos del año se aprecia que en 55 días (15 % del año) se superó en algún momento el 50% de la potencia nominal de los parques eólicos, con el máximo del 72%.

En cuanto a la generación puntual mínima, en ningún momento (según los datos de que se dispone) se alcanzó el cero total, si bien hay dos días (el **8 de junio** y el **13 de octubre**)

en los cuales la potencia que se generaba disminuyó hasta el 0.1 % de la PNC, dándose en ambos días un mínimo de 4 MW de los 3.882 MW posibles.

Del resto del año se observa que, durante 165 días, la potencia eólica estuvo por debajo del 10% de la Potencia Nominal Controlada, PNC, agrupándose estos días en los meses finales de primavera y durante el verano, y dándose esta situación tanto durante las horas diurnas como nocturnas.

## 3.- Producción media diaria Máxima y mínima

Si bien se ha analizado entre qué rangos máximo y mínimo se comportó la simultaneidad del conjunto de los parques eólicos, es también importante analizar cuál fue su aportación media de MWh cada día y cómo fue esa producción.

Respecto a "cuánto", el cálculo de la Producción media diaria se obtendría de la integral de la curva que se encuentra en la pantalla que muestra **Red Eléctrica** en sus web [www.ree.es](http://www.ree.es), lo que resulta de una

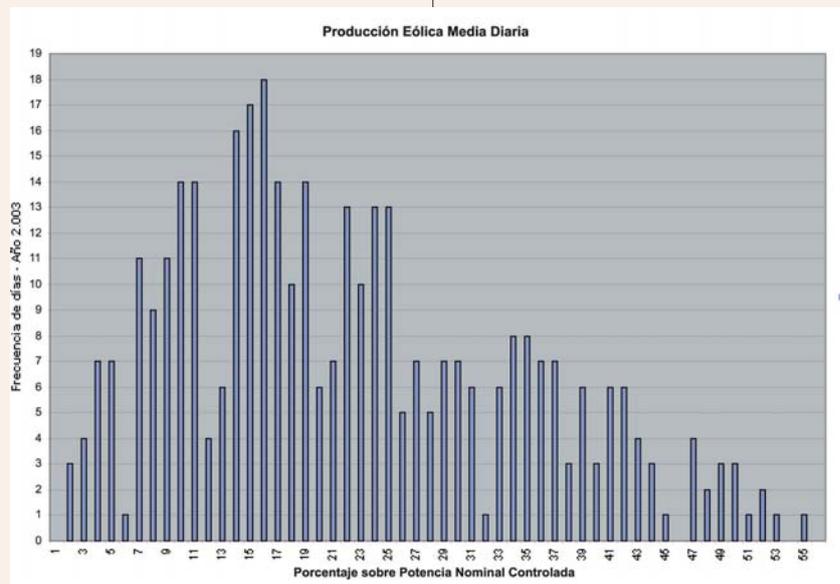


Gráfico 1

gran dificultad, motivo por el que, de una manera muy simple, pero suficiente, se considera en AnEo - 2.003/04 como producción de un día, la media entre la máxima potencia alcanzada y la mínima, (información que sí aporta la pantalla) y se supone que esta media se mantiene durante las 24 horas.

Si se agrupan en días con igual porcentaje de producción media, nos sale una curva típica donde la moda de 2003 es del 18% de la PNC y la media del 24%. Por lo tanto, los parques eólicos, actuaron como si hubiesen estado produciendo energía al 24 % de su capacidad durante todas las horas del año. (Gráfico 1).

Asimismo, si se realiza la misma agrupación y curva añadiendo los 213 días primeros de 2004, resulta una curva de idénticas características en donde la moda es el 14% y la media se sigue manteniendo en el 24% de la PNC.

Como producción máxima diaria, habría que destacar 12 días del año en los que se alcanzó el 50% o más de producción media diaria del total de la PNC, destacándose el **3 de abril** con un 57% y el **24 de febrero** con un 55 %

En cuanto a la producción mínima, en ningún día fue cero, dándose 42 días del año en que la producción media fue igual o inferior al 10 % de la PNC, pudiendo observarse siete días, los mínimos, en los que fue inferior al 5 %.

#### 4.- Variaciones rápidas o permanentes de la potencia de generación

En cuanto a "cómo", habría que comenzar diciendo que la generación eólica es una fuente de energía sobre la que no se posee ningún control, sólo se puede actuar sobre ella en el sentido de incorporarla o no al *Sistema Eléctrico Nacional*, cuando la hay, y no pudiéndose tomar ninguna decisión cuando no la hay.

Por lo tanto, será muy importante analizar su comportamiento, ya que el Operador del Sistema (**OS**) de Red Eléctrica de España, (Organismo que controla y vigila que en cada momento la generación eléctrica que se pro-

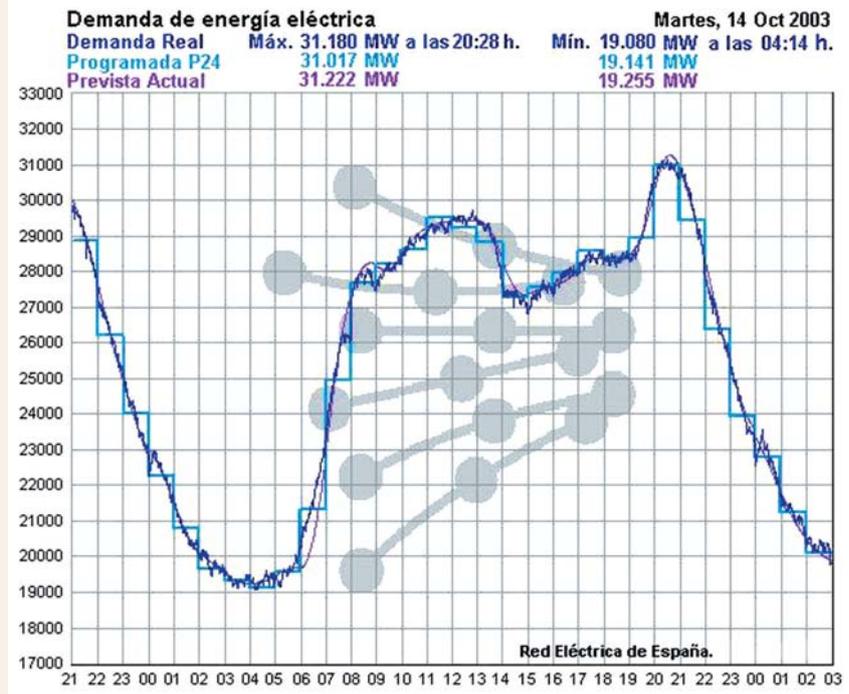


Gráfico 2

duce sea capaz de abastecer la demanda de energía diaria que requiere el país) tendrá que saber si el viento puede producir aportaciones o disminuciones masivas de energía, en qué período de tiempo y cómo pueden darse esos cambios de tendencia. En la medida que esto esté acotado se podrá extrapolar para futuras ampliaciones de potencia y conocer el potencial admisible de Generación eólica que se pueda instalar, sin que ello suponga un riesgo para el equilibrio del sistema.

En el análisis de las 365 curvas de 2003 se aprecian distintas formas de comportamientos típicas que son interesantes agrupar en función del tiempo que tardan en producirse, y mediante coeficientes sobre la PNC acotar entre qué rangos actúa. De esta manera se podrá evaluar cómo se comportará la generación eólica en el futuro cuando se vaya incrementando la potencia instalada.

#### a) Descensos de la potencia

Si nos fijamos en los descensos bruscos, considerando los que se producen en un periodo de aproximadamente una hora y que representan una significativa caída de la generación, se deduce que, bajo determinadas circunstancias climatológicas,

que ya se han dado, habrá caídas bruscas en torno a coeficientes de 0,15; es decir, que para una PN de 13.000 MW se darán días en los que, en menos de una hora, habrá pérdidas de 1.950 MW.

Por otro lado, puesto que la demanda diaria de electricidad posee ciclos de crecimiento y bajada que suelen tener una duración de seis / siete horas, y que dan lugar a la clásica curva tipo de ojiva de camello, (la cual tiene alguna variación en su forma, dependiendo de la época del año o del día de la semana), es interesante analizar cómo se puede llegar a comportar la energía eólica durante el intervalo de tiempo entre una y seis horas.

Del análisis de las curvas se obtienen coeficientes que aplicados a una PN de 13.000 MW, dan pérdidas de generación mantenidas de 940 MW/h durante 2,5 horas o de 800 MW/h durante 5 horas.

En cuanto a estas disminuciones durante periodos más prolongados, se obtiene de nuevo que para una PN de 13.000 MW, habrá caídas de potencia mantenidas durante 11 horas de 440 MW/h (como el **28 de junio**) y, con cierta frecuencia, pérdidas constantes de 275 MW/h durante 12 y 24 horas

**Generación de energía eólica**  
 Generación real Máx. 474 MW a las 24:56 h. Mín. 34 MW a las 16:14 h.  
 Máxima teledorada 3.882 MW 3.882 MW

Martes, 14 Oct 2003

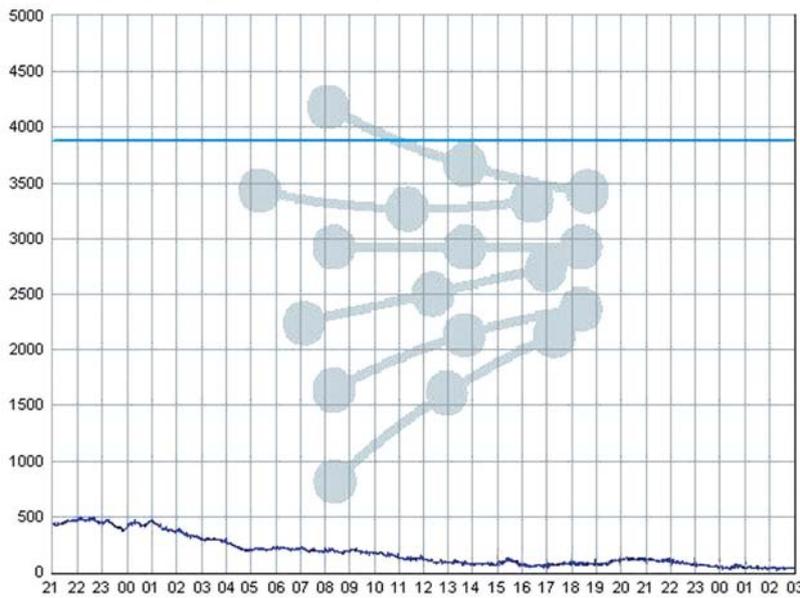


Gráfico 3

## b) Incrementos de potencia

Aplicando para los crecimientos los mismos criterios anteriores nos llevan a las siguientes conclusiones:

En el periodo de una hora y para una potencia de 13.000 MW habrá incrementos de 2.500 MW (coeficiente 0,193) y para periodos superiores habrá subidas de potencia de 1.130 MW/h durante 2 h como el **3 de febrero** o de 1.050 MW/h durante 4 h. como el **15 de marzo**, y durante varios días al año se darán crecimientos mantenidos de 430 MW/h durante periodos de 8 y 10 horas.

## 5.- Curvas irregulares

A lo largo del año se puede apreciar que, con mucha frecuencia, la generación eólica se comporta de forma caprichosa.

Hay numerosos días en los que dándose un gran consumo, la producción eólica es prácticamente nula, por ejemplo el **14 de octubre**, cuando la demanda era de 31.128 MW, la energía eólica apenas generaba 50 MW, con un coeficiente del 0,015 de la PNC. (Gráficos 2 y 3).

La curva es, a veces, realmente errática. Sirva como ejemplo, entre otros, el **8 de septiembre**, en el que comienza a las 10:00 h una subida durante 4 horas, pero a las 15:00

cambia de tendencia bajando, sin embargo, a las 20:00 h parece que va a experimentar una fuerte subida, pero a la hora cae, para luego, a las 22:00 h, volver a subir hasta 1.900 MW y ya durante la noche.

Con mucha frecuencia se aprecia esta tendencia de bajadas y subidas a lo largo del día, como ocurre los días 3 de junio, 31 de julio, 16 de noviembre, etc., sin que la tendencia tenga

que coincidir con la de la demanda real de ese momento, ni se pueda garantizar a qué hora se va a producir.

Esta poca fiabilidad sobre lo que va a ocurrir unas horas después, y teniendo en cuenta los criterios que se exigen para la adecuada gestión del sistema eléctrico, (Resolución de 30 de julio/1998 del **Ministerio de Industria y Energía**) la generación eólica debe ser para el Centro de Control Eléctrico, (CECOEL) de **REE** un motivo de constante atención, especialmente cuando se estén produciendo porcentajes altos de generación eólica con un comportamiento errático.

Recientemente se ha comenzado un estudio de la *Plataforma Empresarial Eólica* cuyo objetivo es obtener resultados y variables climatológicas que permitan predecir el viento y, por tanto, la Producción.

Del análisis eólico del año 2003/04 se puede apreciar la gran dificultad que encierra este estudio, ya no tanto por lo complejo que será predecir qué días habrá o no una determinada cantidad de viento, sino vaticinar, con ciertas garantías, la caprichosa curva quebrada que, muy a menudo, describe la generación eólica durante el día. No obstante, el reto está servido.

### Tabla de rangos en la generación con Parques eólicos

#### Generación y producción

#### para P = 13.000 MW

Generación máxima puntual (MW) =  $P * 0,75$  P 13.000 = 9.750 MW

Generación mínima puntual (MW) =  $P * 0,0001$  P 13.000 = 15 MW

Producción máx. media diaria (MWh) =  $P * 0,55 * 24$  P 13.000 = 170 GWh

Producción mín. media diaria (MWh) =  $P * 0,001 * 24$  P 13.000 = 310 MWh

Producción máx. mensual GWh =  $P * 0,40 * 720$  P 13.000 = 3.740 GWh

Producción mín. mensual GWh =  $P * 0,12 * 720$  P 13.000 = 1.120 GWh

Producción media máx. anual GWh =  $P * 0,30 * 8.760$  P 13.000 = 34.160 GWh

Producción media mín. anual GWh =  $P * 0,17 * 8.760$  P 13.000 = 19.360 GWh

#### Variaciones de potencia

Pérdida máxima en 1 hora (MW) =  $P * 0,15$  P 13.000 = 1.950 MW

Pérdida Cte. máx. en < 6 h. (MW/h) =  $P * 0,075$  P 13.000 = 970 MW/h

Pérdida Cte. máx. en > 6 h. (MW/h) =  $P * 0,035$  P 13.000 = 450 MW/h

Ganancia máx. en 1 hora (MW) =  $P * 0,2$  P 13.000 = 2.600 MW

Ganancia Cte. máx. en < 6 h (MW/h) =  $P * 0,09$  P 13.000 = 1.170 MW/h

Ganancia Cte. máx. en > 6 h (MW/h) =  $P * 0,055$  P 13.000 = 710 MW/h

## Tabla de rangos en 2004 (Enero – Julio)

Generación y producción	Año 2004
Generación máx. puntual $< P * 0,75$	9 de enero = $P * 0,56$
Generación mín. puntual $> P * 0,0001$	14 de febrero = $P * 0,0012$
Producción máx. media diaria $< P * 0,55 * 24$	2 de enero = $P * 0,51 * 24$
Producción mín. media diaria $> P * 0,001 * 24$	29 de mayo = $P * 0,007 * 24$
Generación máx. mensual $< P * 0,4 * 720$	enero = $P * 0,33 * 720$
Generación mín. puntual $> P * 0,12 * 720$	mayo = $P * 0,2 * 720$
<b>Variaciones de potencia</b>	
Pérdida máx. en 1 hora = $P * 0,15$	28 de febrero = $P * 0,12$
Pérdida Cte. máx. en $< 6$ h = $P * 0,075$	5 de mayo = $P * 0,066$ (2 h)
Pérdida Cte. máx. en $> 6$ h = $P * 0,035$	28 de enero = $P * 0,027$ (11 h)
Ganancia máx. en 1 hora = $P * 0,20$	17 de enero = $P * 0,13$
Ganancia Cte. máx. en $< 6$ h = $P * 0,09$	1 de enero = $P * 0,09$ (2,3 h)
Ganancia Cte. mín. en $> 6$ h = $P * 0,05$	1 de marzo = $P * 0,034$ (9 h)

En la medida del éxito que alcance esta predicción y conociendo entre qué parámetros actúa, el OS podrá contar más con ella y saber hasta qué punto, y en cada momento, cómo puede afectar al Sistema.

## 6.- Magnitudes por las que se rige la energía eólica

Si bien las 365 curvas analizadas dan un modelo del comportamiento de la generación eólica, al ser el viento un elemento sometido a los parámetros de presión y temperatura, y éstos, a factores muy diversos, siempre se podrán dar días y años excepcionales que amplíen las magnitudes que se obtienen en él AnEo 2.003/04, pero desde luego se mantendrán dentro de estos rangos y será la excepción lo que confirme la regla.

Esas excepciones irán evaluándose a medida que se incremente el número de días y sobre todo cuando se den las circunstancias climatológicas extremas, lo que no le quita valor a conocer entre qué orden de magnitud se encuentra la generación eólica para una determinada **Potencia Nominal de Generación – P** – y que, según el análisis descrito, son:

Si se analizan los siete primeros meses de 2004, se puede apreciar que, a lo largo de los 213 días y ya con una Potencia Nominal Controlada de 5.029 MW, todos los valores obtenidos se encontraban dentro de los rangos máximos y mínimos obtenidos durante 2003.

Los días que más se han acercado a dichos valores han sido:

## 7.- Conclusiones

Según este estudio, hay cuatro aspectos importantes relacionados con la Energía eólica sobre los que se podría afirmar lo siguiente:

a) La Energía eólica y la Producción de Electricidad.

La importancia de la Energía eólica transformada en electricidad para su uso debe ser incuestionable, dado que cualquier kW que así se produzca y que desplace a otro generado por una materia prima finita, contaminante o ambas cosas a la vez, debe ser motivo para estar orgullosos de nuestro raciocinio y de nuestro alcance tecnológico.

Según este punto de vista, se debería conseguir lo más rápidamente posible la Potencia Máxima de Generación (P) que se establezca para nuestro país.

Los valores que se pueden alcanzar de producción anual no son ya nada despreciables, así en 2003 se estiman en 11.987 GWh (Informe anual **UNESA** 2003) de un total de 262.731 GWh, lo que representa un 4,5 % de energía total generada en nuestro país y que, de haber tenido un parque de 13.000 MW, podría haber alcanzado valores comprendidos entre un 13 y un 15 %.

Además, esto representa una importante aportación de energía sin

emisión de CO<sub>2</sub> en el complejo *Compromiso de Kioto*.

## b) La Energía eólica y la Garantía de potencia.

La electricidad tiene el carácter de esencial y produce una paralización de nuestra actividad cuando falta. Por lo tanto, por encima de otros aspectos, es necesario compaginar producción y consumo.

En España la responsabilidad de este equilibrio entre generación y demanda, como se ha comentado, la tiene el Operador del Sistema (OS) de Red Eléctrica (**REE**), siendo el modelo de nuestro país un ejemplo a seguir.

La generación eólica tiene en este aspecto un punto débil. La realidad es demasiado contundente. Durante muchos días al año la aportación que realiza al Sistema Eléctrico es inapreciable para las necesidades de los consumidores. Esto obliga a que, para garantizar la demanda, sea necesario contar con centrales de generación de otras fuentes de energía como si el Parque eólico de generación prácticamente no existiese.

Es interesante recordar los 165 días del año en los que la Generación eólica no superaba en algún momento el 10 % de la PNC.

## c) La Energía eólica y la estabilidad del Sistema.

Existe otro factor, como se ha comentado, no menos importante, que es el equilibrio del Sistema Eléctrico Nacional.

La Energía eólica, como se ha visto, tiene a veces un comportamiento errático a lo largo del día y, aunque dentro de unos parámetros, hoy por hoy es incontrolable. En este aspecto ya no se trata de que si habrá o no producción de energía eólica, sino que, cuando la hay, hasta qué punto puede equilibrar o desequilibrar el Sistema.

Incluso para una potencia nominal de 13.000 MW, los coeficientes de pérdida o ganancia de potencia que se obtienen en la Tabla de rangos, no son alteraciones a los que no estén acostumbrado el OS, ya que diariamente sufre variaciones de más de 2.000 MW/h durante varias horas;

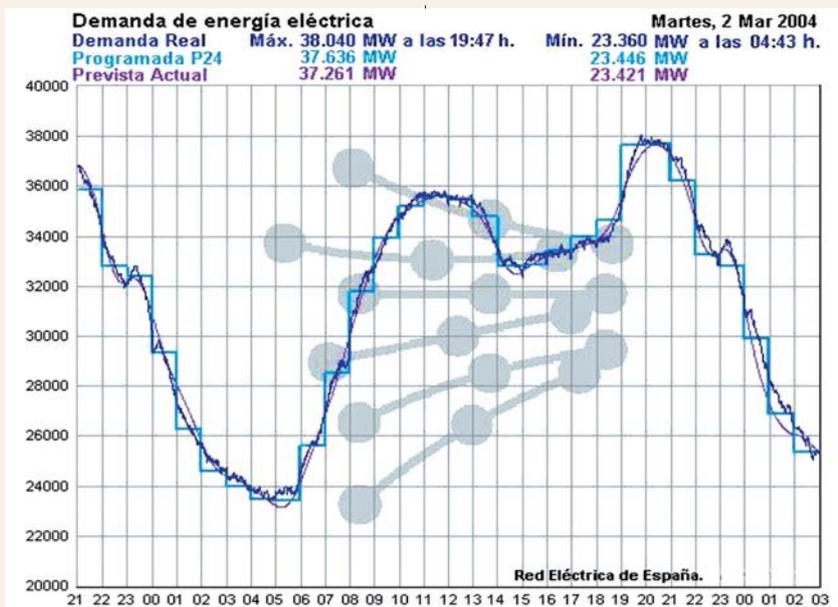


Gráfico 4

Es, por tanto, ese conocimiento de los recursos de generación y reservas que poseemos, el que debe determinar cuál debe ser el Parque de Generación Eólica (P) admisible, pudiendo este ir variando en el tiempo a medida que se mejoren los recursos y las predicciones que de él se puedan alcanzar.

#### d) Coste de la Energía eólica

Si bien el coste de la Energía eólica es un factor muy importante, deliberadamente no se trata en este análisis, ya que dependiendo del valor que se le quiera dar a distintos argumentos muy de actualidad, se podrían alcanzar resultados subjetivos y nada concluyentes, pensemos simplemente en cómo se realizará el reparto de emisiones de CO<sub>2</sub> debido al *Compromiso de Kioto* y, por tanto, cómo influirá en el precio del kWh de una térmica convencional para poderlo comparar con uno de origen eólico.

Actualmente la Energía eólica está primada respecto al precio horario del *Pool* o precio horario de compra-venta del *Mix* de generación. (Véase Tarifa del mercado regulado, RD.-1.802/2003, Anexo IV).

#### 9.- Resumen

La energía eólica a lo largo de la Historia ha tenido gran importancia. Pensemos en el mundo marino o rural, siendo hoy, gracias a la técnica, una importante fuente de energía limpia y renovable, que debe ser potenciada y apoyada sin reservas, estando su límite en tres factores: su capacidad de intervenir en la garantía de potencia, su influencia en la estabilidad del sistema eléctrico y del coste asumible por el País.

Habría que evitar, sin embargo, confundir a la Sociedad mezclando la gran aportación que puede suponer esta energía limpia y renovable, con la idea de que es una fuente de energía que puede resolver los problemas medioambientales / sociales que soportan otras, ya que su carácter incierto y cambiante, no le permite ocupar ese papel en un sector donde la Garantía de potencia y el equilibrio del Sistema son imprescindibles. ■

el problema podría darse cuando, en un momento crítico, la energía eólica puede tener una de sus variaciones de comportamiento y pasar de estar contribuyendo con toda su capacidad, a trabajar en contra de las necesidades del momento.

Véase, por ejemplo (Gráficos 4 y 5) el 2 de marzo de 2004, un día que ha sido récord de demanda y en el que, a medida que iba subiendo la carga desde las 6:00 de la mañana, la generación eólica iba disminuyendo todo el día, lentamente, siendo mínima en las horas en las que se alcanzaron los 38.040 MW de punta y cuando el CECOEL estaría necesitan-

do cualquier posible aportación adicional de generación.

Nadie mejor que los técnicos de OS conocen las circunstancias que se dan cuando hay un gran apagón (Véase revista DYNA - Mayo 2004, "Visión general de los apagones del verano de 2003" por Luis Imaz. Dir. de Operación de REE), así como las reservas que en cada momento tiene el parque de generación para estabilizar el Sistema, pero cuando se producen los accidentes que lo desestabilizan, y siempre son varias circunstancias en cadena, 500 MW más o menos, pueden ser determinantes.

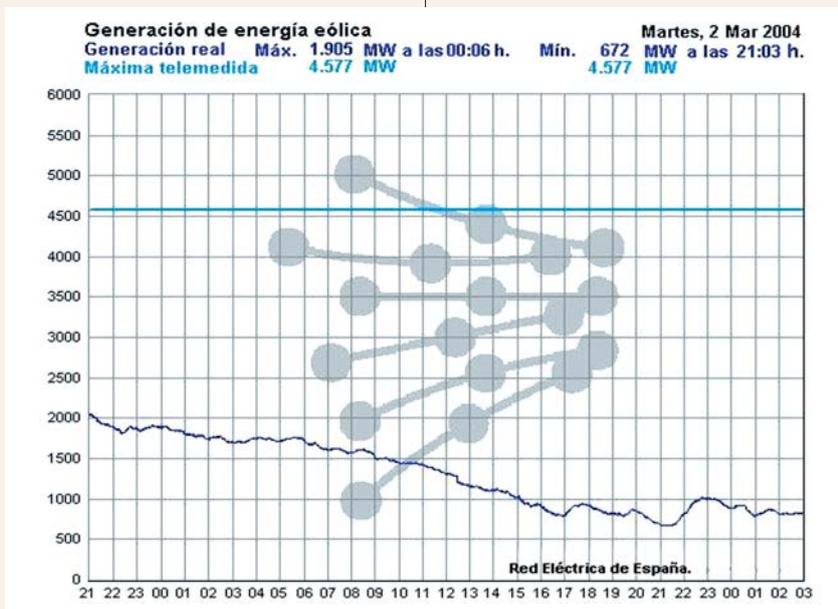


Gráfico 5