

# 4<sup>to</sup> CONGRESO INTERNACIONAL

Supervisión del Servicio Eléctrico



## **Tema: Sistemas Eléctricos con gran alto grado de penetración de generación eólica: Impacto en la operación del Sistema, experiencia y soluciones.**

Autor: Gumersindo Queijo

Cargo: Ingeniero Senior, Profesor Asociado

Empresa u Organismo: REE, ETSI Industriales UNED

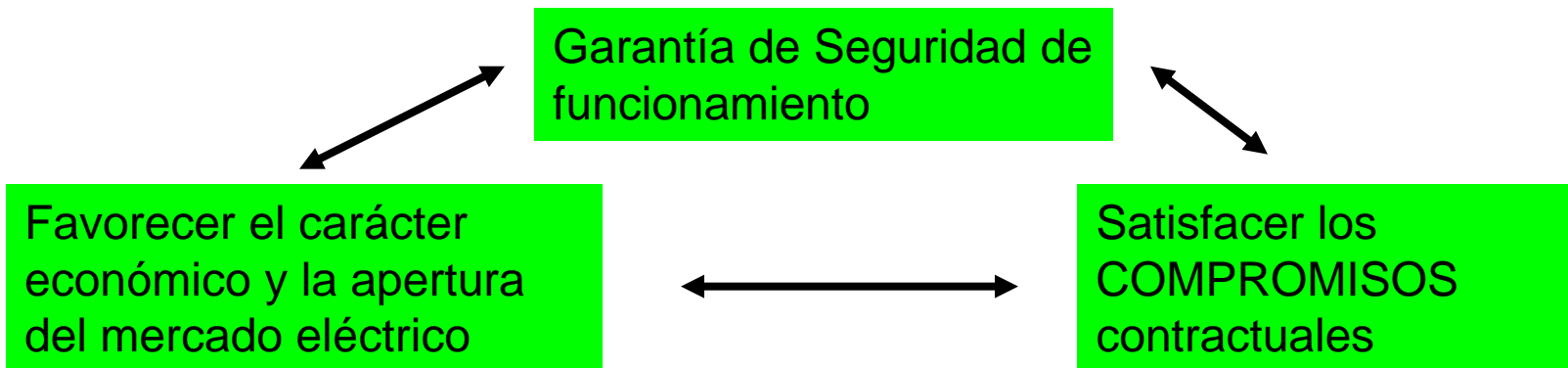


1. Características del sistema eléctrico
2. Impacto de las energías renovables
3. Energía eólica: características
4. Predicción
5. Cobertura de la demanda
6. Impactos en la potencia de regulación
7. Huecos de tensión
8. Control de tensiones
9. Control de potencia
10. Restricciones de generación eólica
11. Conclusiones



# Energía eléctrica: Características

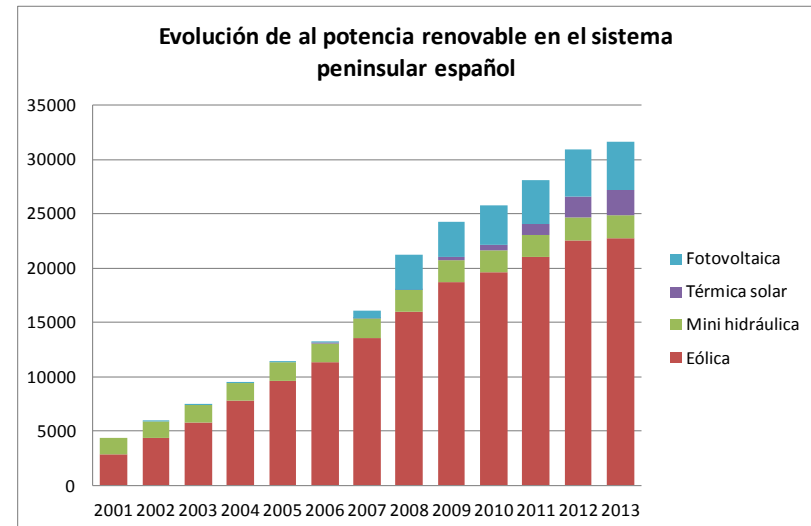
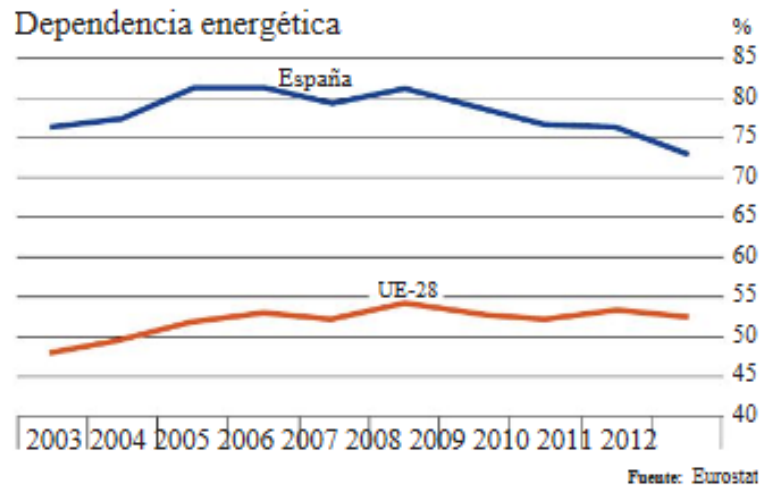
- Características del sistema eléctrico:
  - Seguridad de suministro:  
¿Qué ocurriría si en España no hubiese corriente?
  - Y además es un producto que todavía no es posible almacenar y que por tanto es necesario generar la misma cantidad que se consume.
- Objetivos que gobiernan la explotación del sistema eléctrico





# Necesidad de Energías renovables

## ■ Dependencia exterior



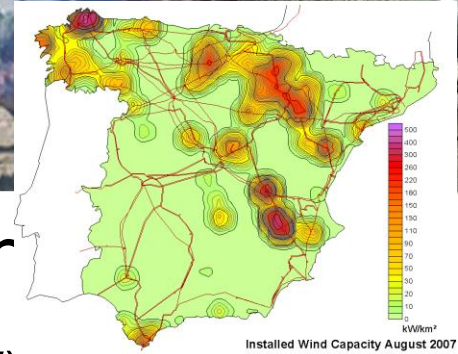
## ■ Objetivos medioambientales

20 20 20



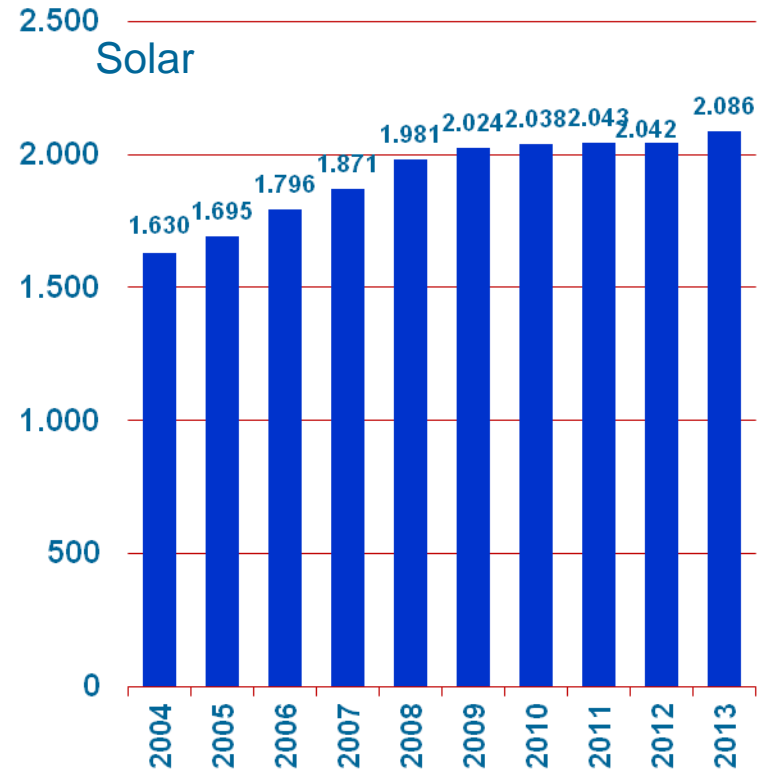
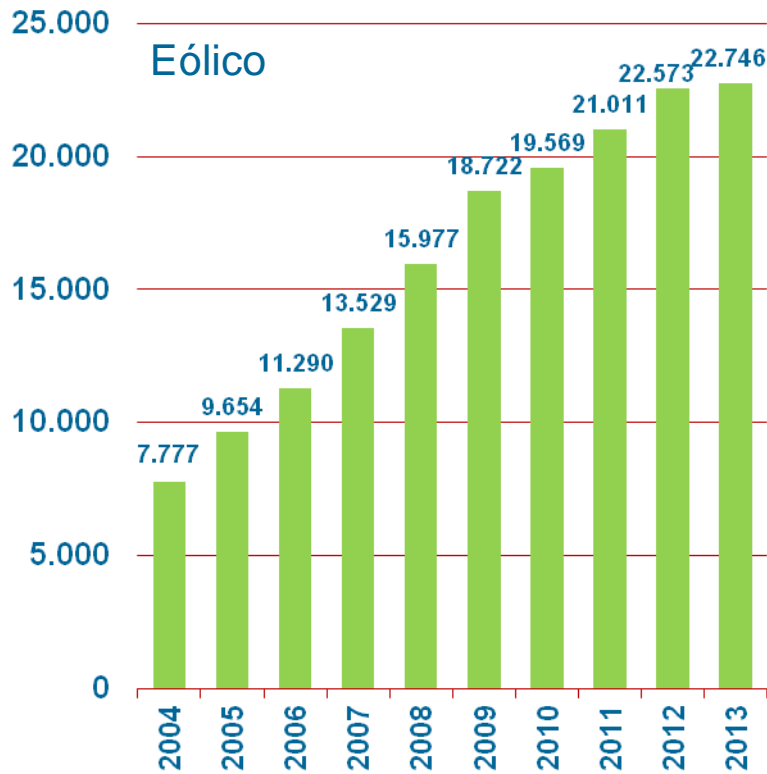
1. Características del sistema eléctrico
- 2. Impacto de las energías renovables**
3. Energía eólica: características
4. Predicción
5. Cobertura de la demanda
6. Impactos en la potencia de regulación
7. Huecos de tensión
8. Control de tensiones
9. Control de potencia
10. Restricciones de generación eólica
11. Conclusiones





# Energía eléctrica: Generación

Evolución de la potencia instalada de renovables (MW)

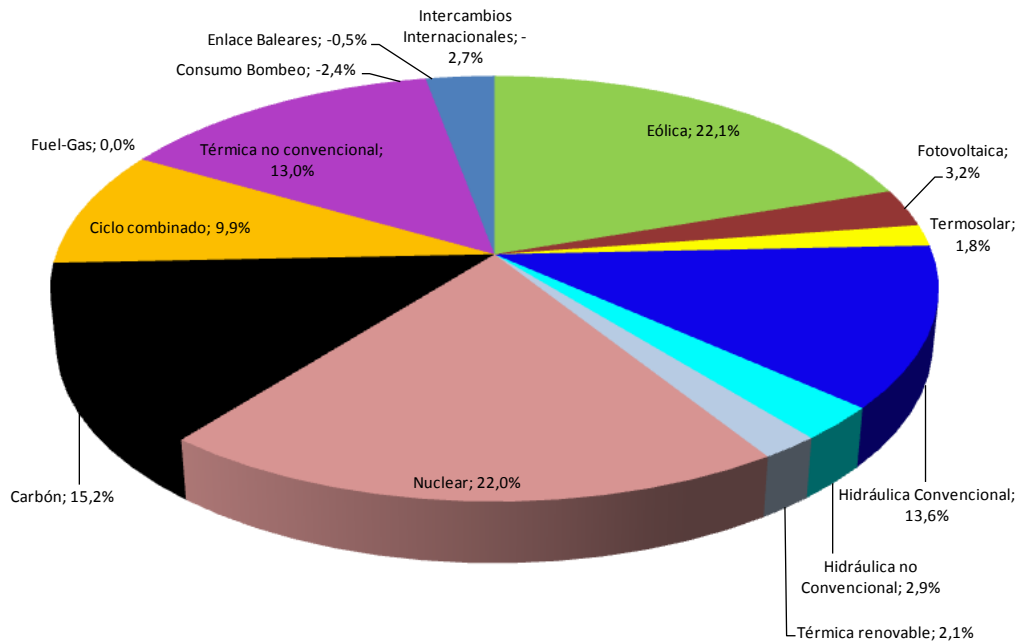




# Energía eléctrica: cobertura demanda

∑ Energía sin emisiones CO<sub>2</sub> ≈ 67%

∑ Energía Renovables = 45%



## Cobertura de la demanda en 2013

$$251.710 \text{ GWh} = + 260.164 \text{ Net Special Regime} \\ - 6.732 \text{ International exchanges} \\ - 5.958 \text{ Hydro-pump storage} \\ - 1.269 \text{ Baleares Interconnection}$$



Or A PR Agency?



HOME | RESOURCES | RESEARCH & ANALYSIS | SPAIN WAS IN 2013 THE FIRST COUNTRY WHERE WIND ENERGY WAS THE FIRST SOURCE OF ELECTRICITY FOR AN ENTIRE YEAR

## Spain was in 2013 the first country where wind energy was the first source of electricity for an entire year

WindEnergy Today

20/01/2014 10:04:00

### ARTICLE TOOLS

- Email to a friend
- Print version
- Plain text
- Submit an article

Share / Save   

### RELATED ARTICLES

- Spain sets unique record for wind power
- Wind power meets record demand in Spain: industry group
- Iberdrola First-Half Net Drops 2.6% to \$1.9 Billion as One-Time Gains Fall
- Spanish wind power sets new record
- Gamesa consolidates its leadership of the Spanish wind energy industry with a market share of 50% in 2010



Wind power production during 2013 has been 54,478 GWh, representing a 13.2% increase over 2012.

**For the first time in history, wind has been the primary source of electricity in Spain in a whole year.**

Madrid, January 15, 2014. In fact, Spain is the first country in the world where wind is ranked as the technology that contributes most to the power demand coverage for an entire year. According to the 2013 advance report of the system operator Red Eléctrica de España (REE), the power demand coverage using wind was 20.9%, compared with 20.8% coming from nuclear.

Wind power production during 2013 has been 54,478 GWh, representing a 13.2% increase over 2012. According to calculations by the Spanish Wind Energy Association (AEE), this generation is enough to supply 15.5 million households, a 90% of the total. Nuclear produced 2,337 GWh more than wind last year, but its contribution to the power demand coverage was lower because it consumes more electricity than wind to run its facilities, and this is deducted when calculating power demand coverage.

Wind power beat other maximum levels in 2013. On February 6th, it scored a new record of instantaneous power, with 17,056 MW at 3,49pm. That very same day, between 3pm and 4pm, it also exceeded the previous historic highs for hourly power, with 16,918 MWh.

During January, February, March and November, wind energy technology was the greatest contributor to total energy production of

### TAGS

No tags for this article

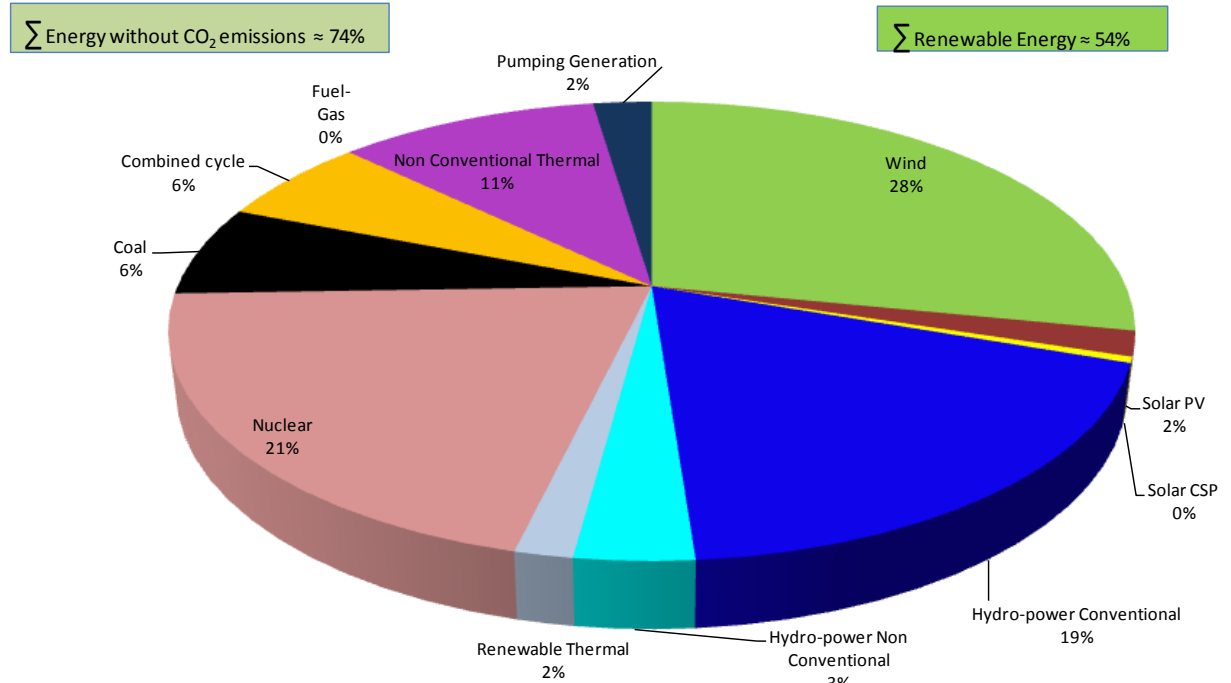
SUBMIT YOUR STORY



# Energía eléctrica: Estructura de generación

Enero y Febrero de 2014

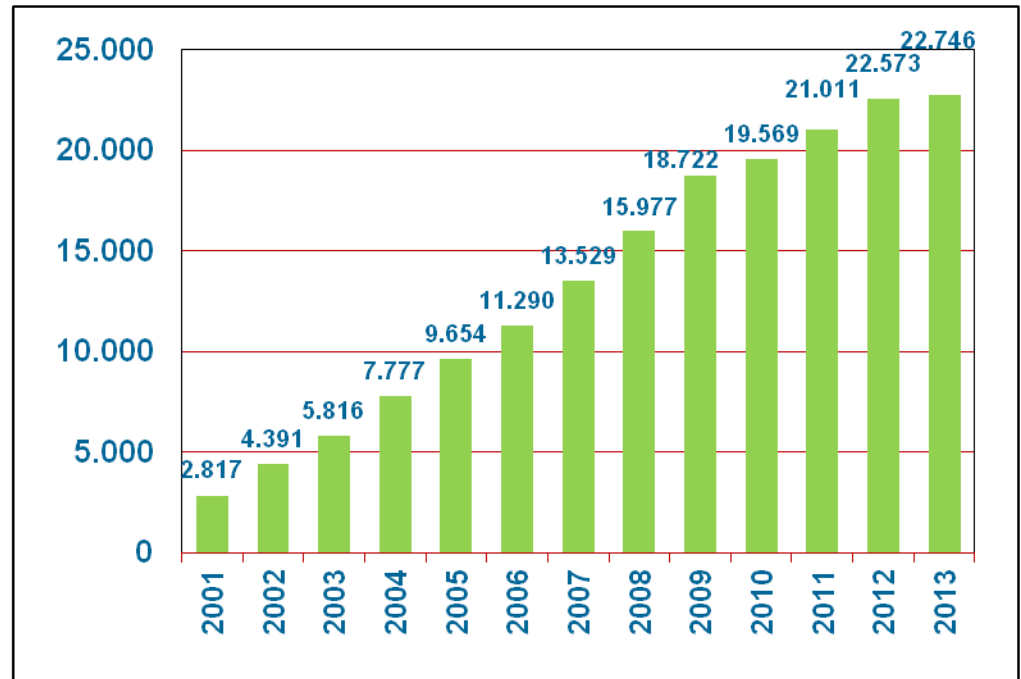
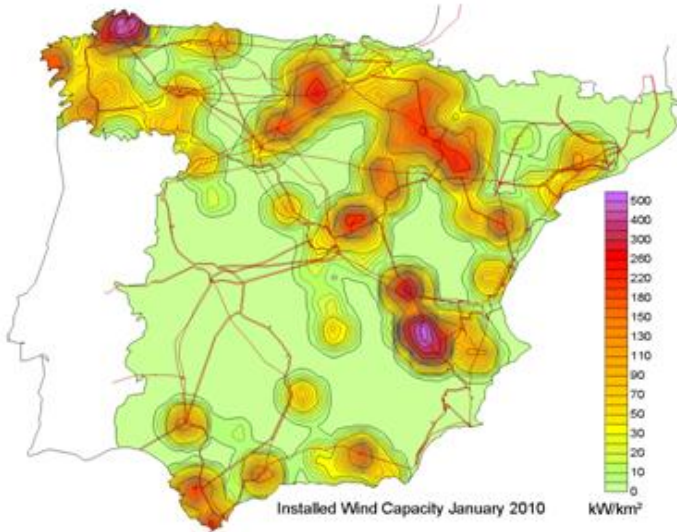
	GWh
Wind	12.509
Solar PV	781
Solar CSP	188
Hydro-power	8.242
Hydro-power Non Conventional	1.482
Renewable thermal	725
Nuclear	9.218
Coal	2.854
Combined cycle	2.760
Fuel	0
Thermal no Renewable	4.690
Hydro pump	1.052
<b>GENERATION</b>	<b>44.501</b>





# Energía eléctrica: Generación actual

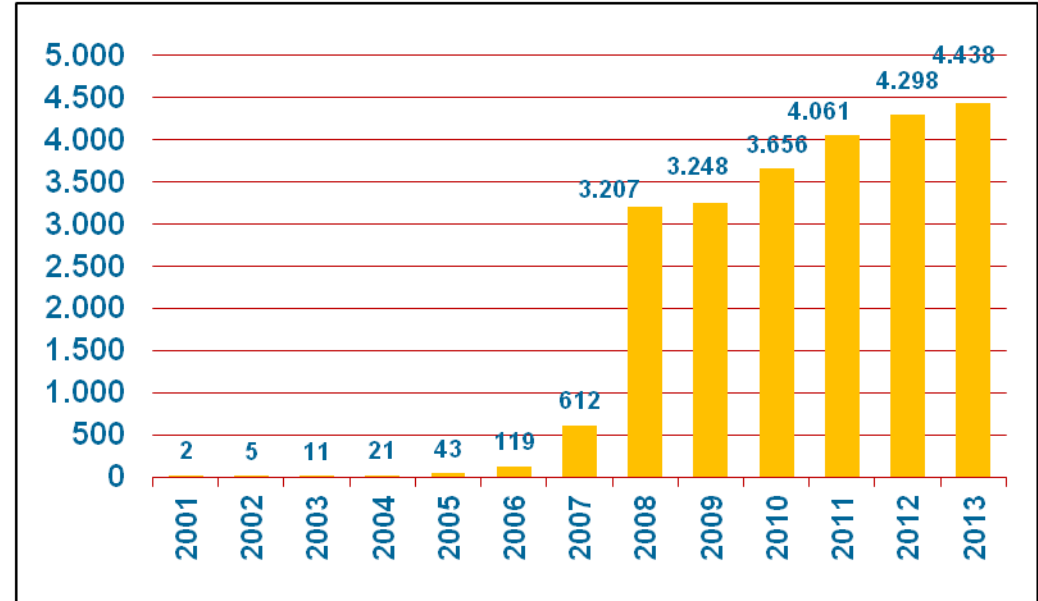
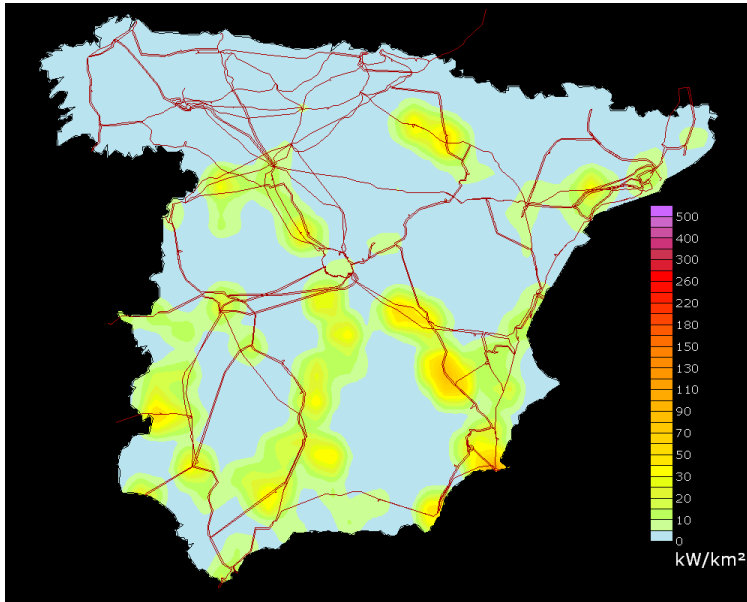
## Eólica





# Energía eléctrica: Generación actual

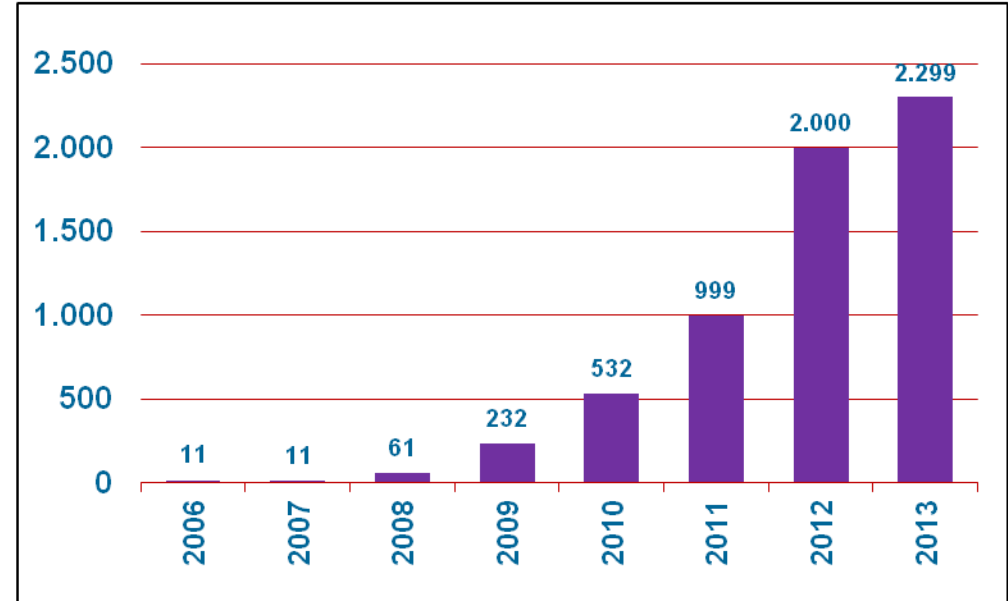
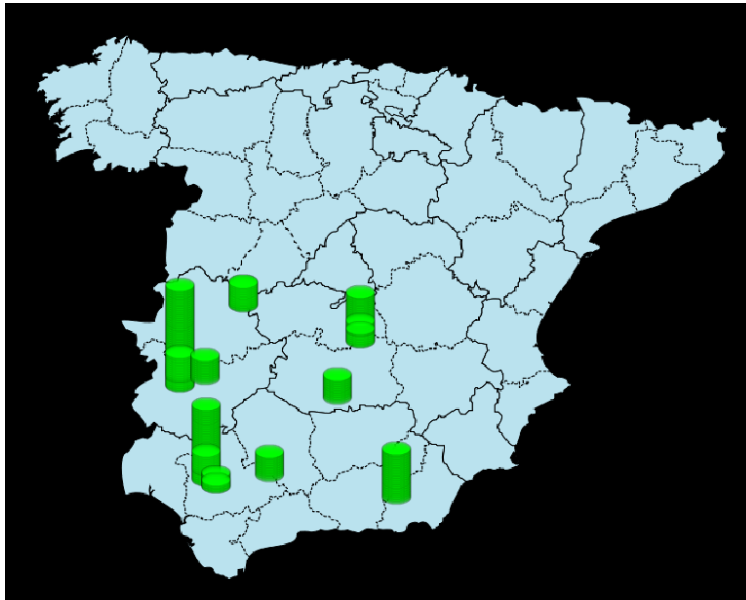
## Solar fotovoltaica





# Energía eléctrica: Generación actual

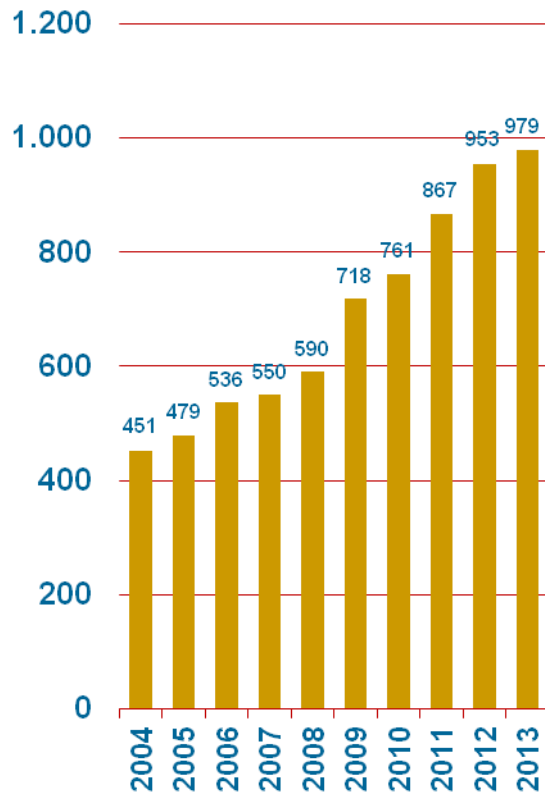
## Solar Termoeléctrica



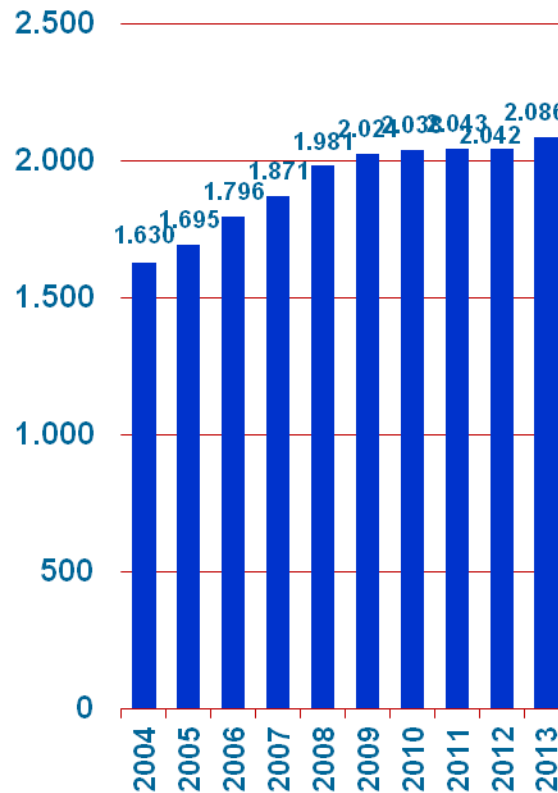


# Energía eléctrica: Generación actual

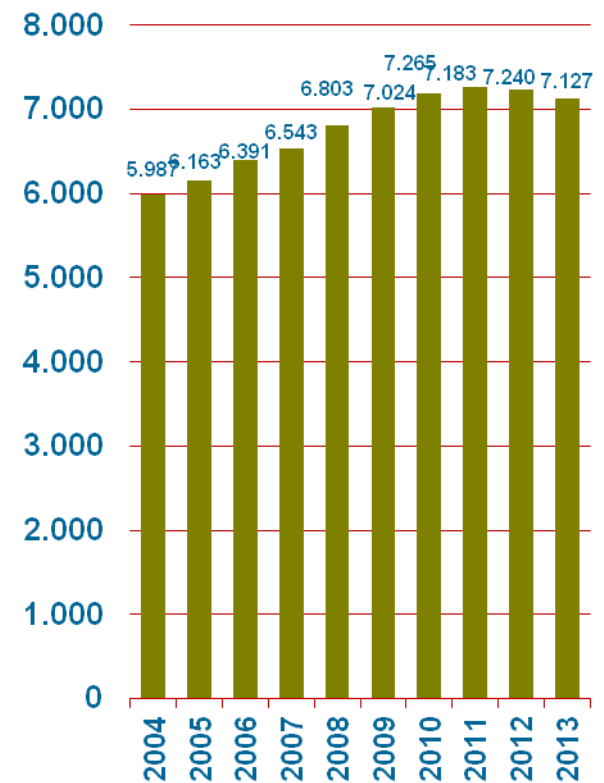
## Renovable térmica



## Mini-hidro



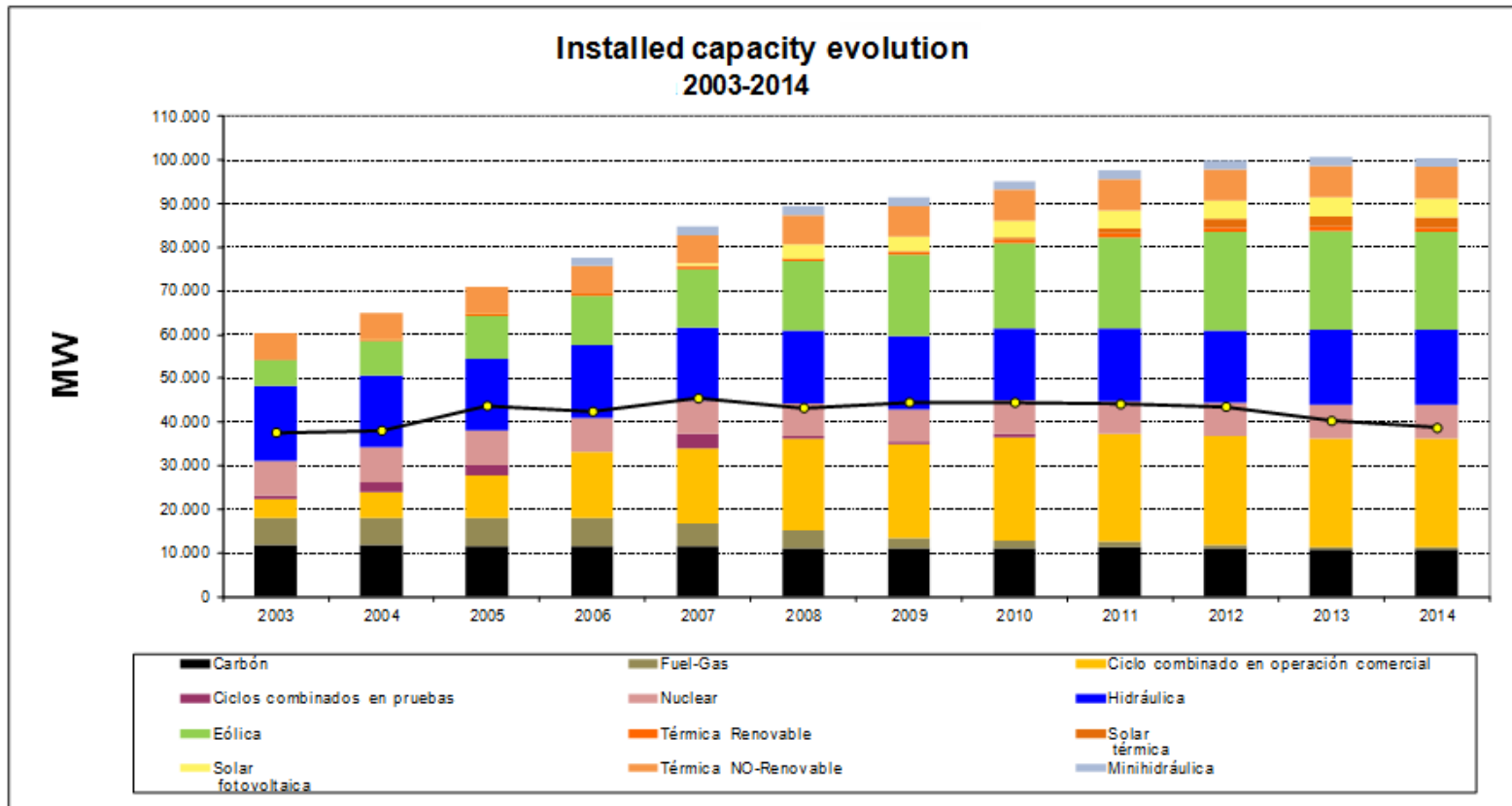
## CHP y otras





# Energía eléctrica: Generación eólica

Evolución de la potencia instalada con respecto al la punta



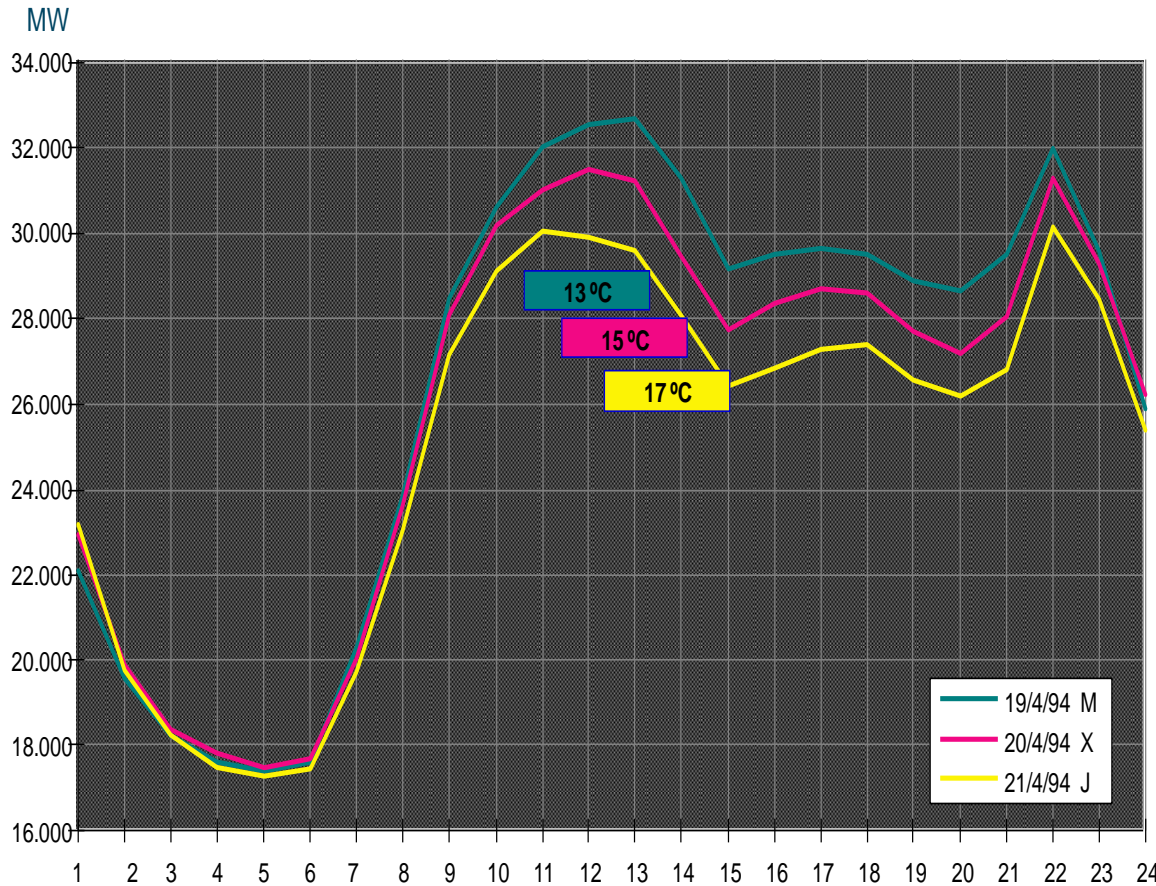


1. Características del sistema eléctrico
2. Impacto de las energías renovables
- 3. Energía eólica: características**
4. Predicción
5. Cobertura de la demanda
6. Impactos en la potencia de regulación
7. Huecos de tensión
8. Control de tensiones
9. Control de potencia
10. Restricciones de generación eólica
11. Conclusiones





# Energía eléctrica: Características



Curva de demanda



# Energía eléctrica: Características



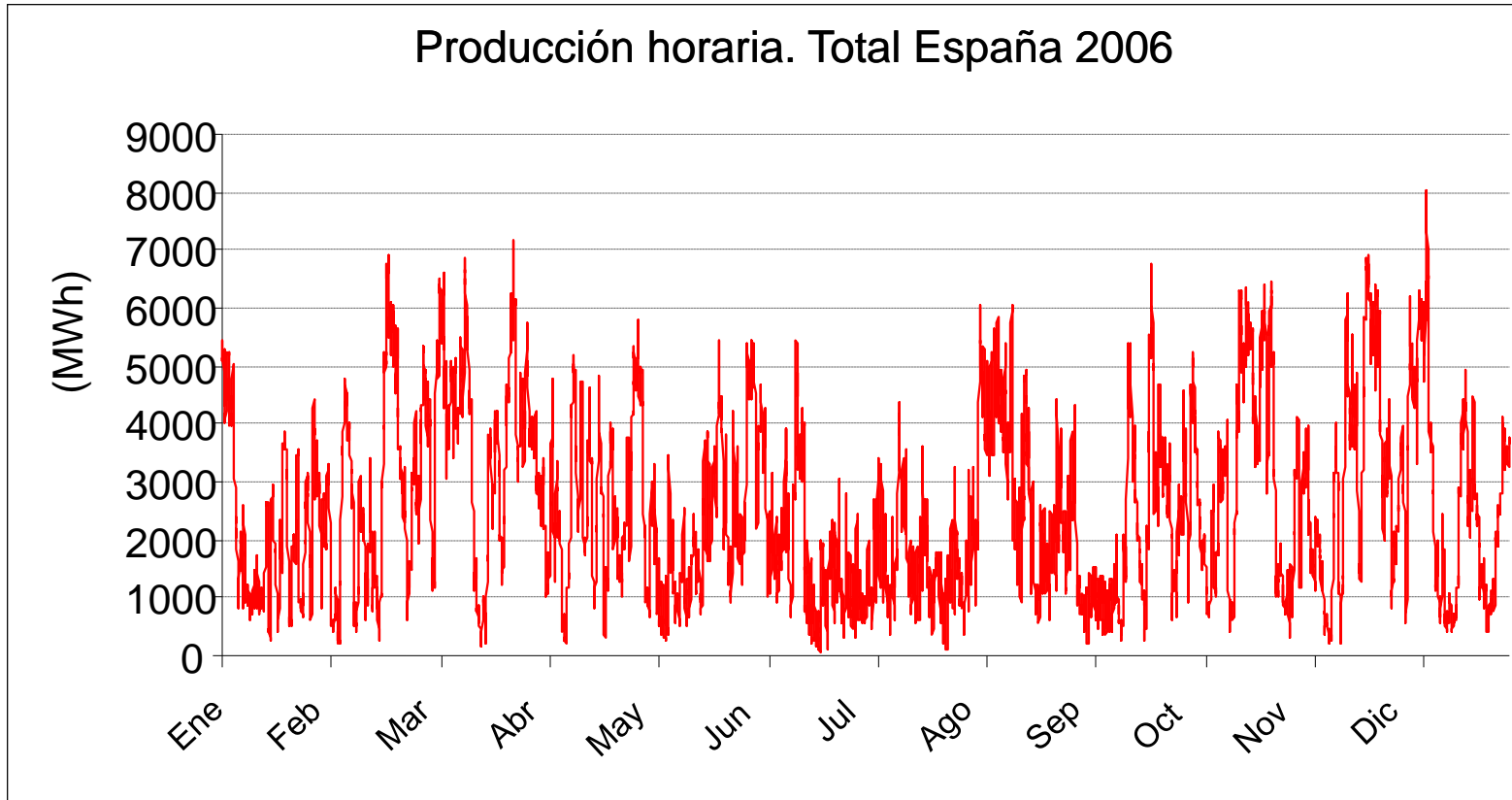
## Curva de demanda

Manifestación contra los atentados del 11 de marzo de 2004:

Parada a las 12.00 h durante 15' y manifestación a las 19.00 h

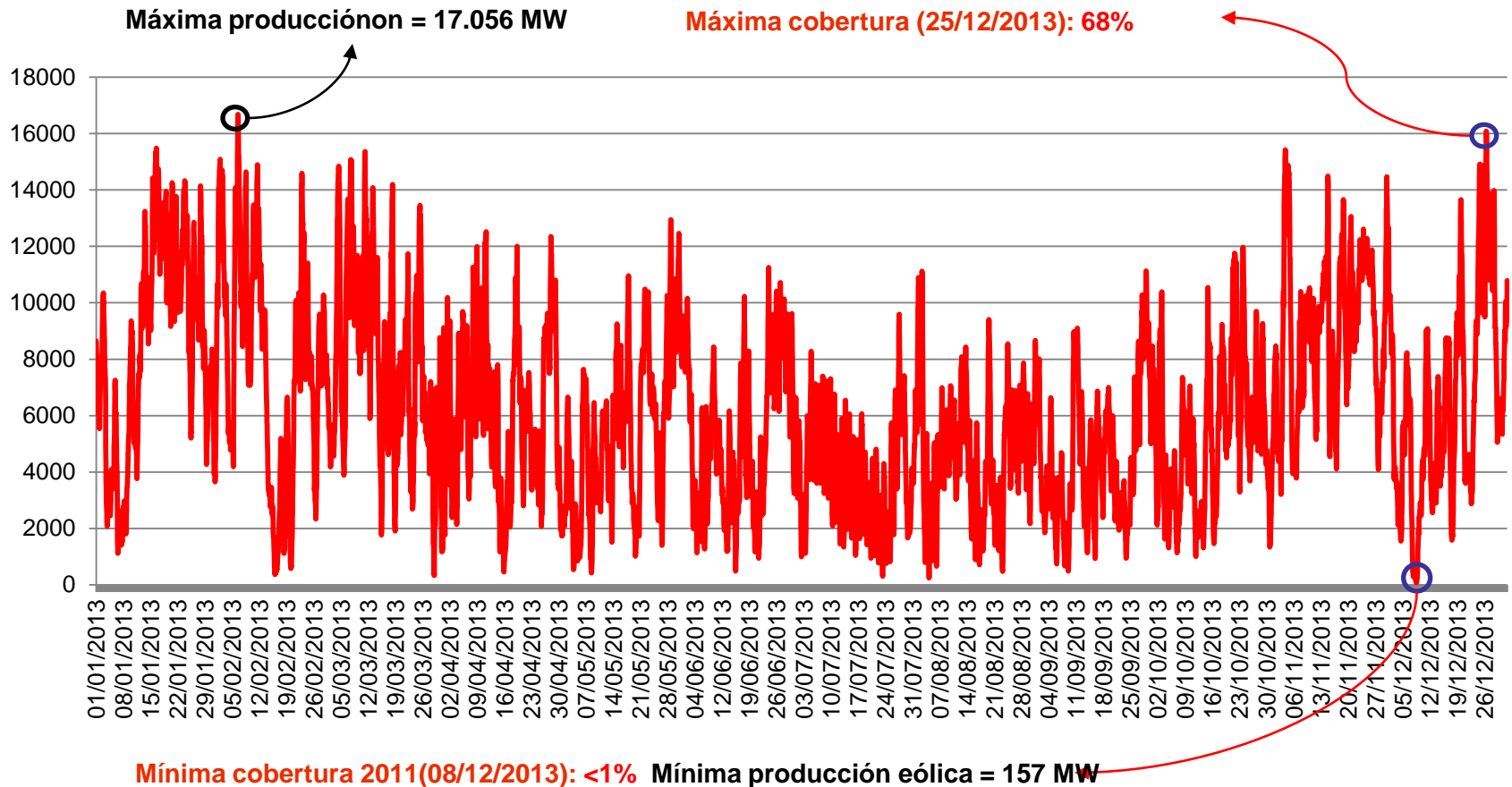


# Energía eléctrica: Generación eólica



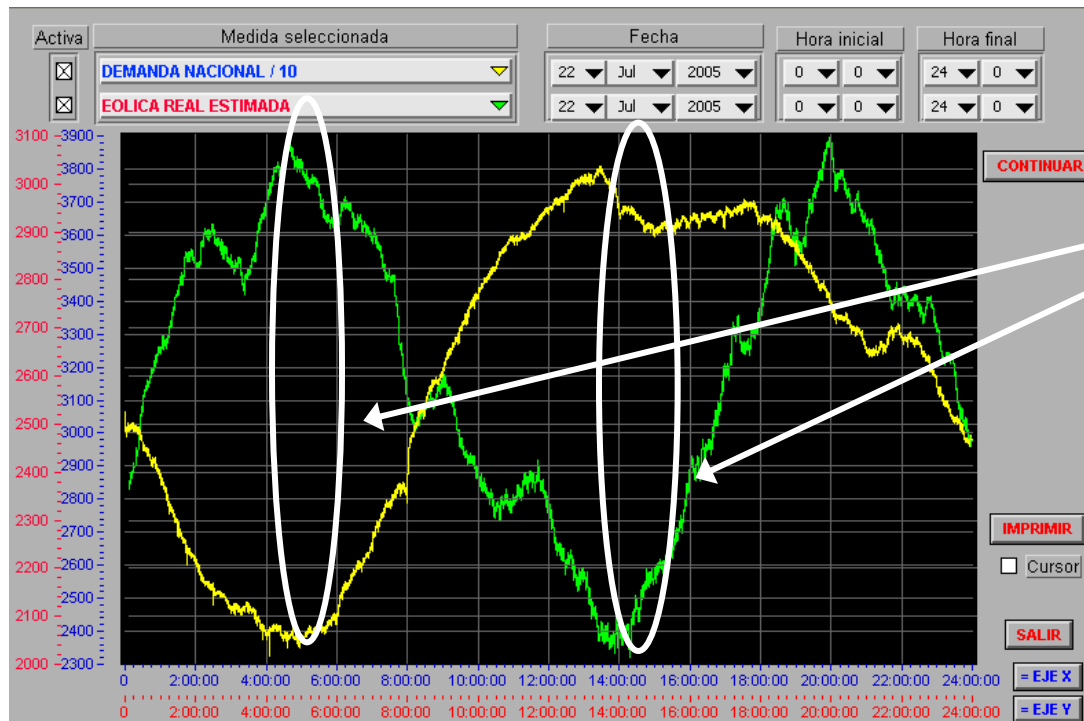


# Energía eléctrica: Generación eólica





# Energía eléctrica: Generación eólica



Comportamiento inverso en valle, transiciones valle-punta, en punta y transiciones punta-valle

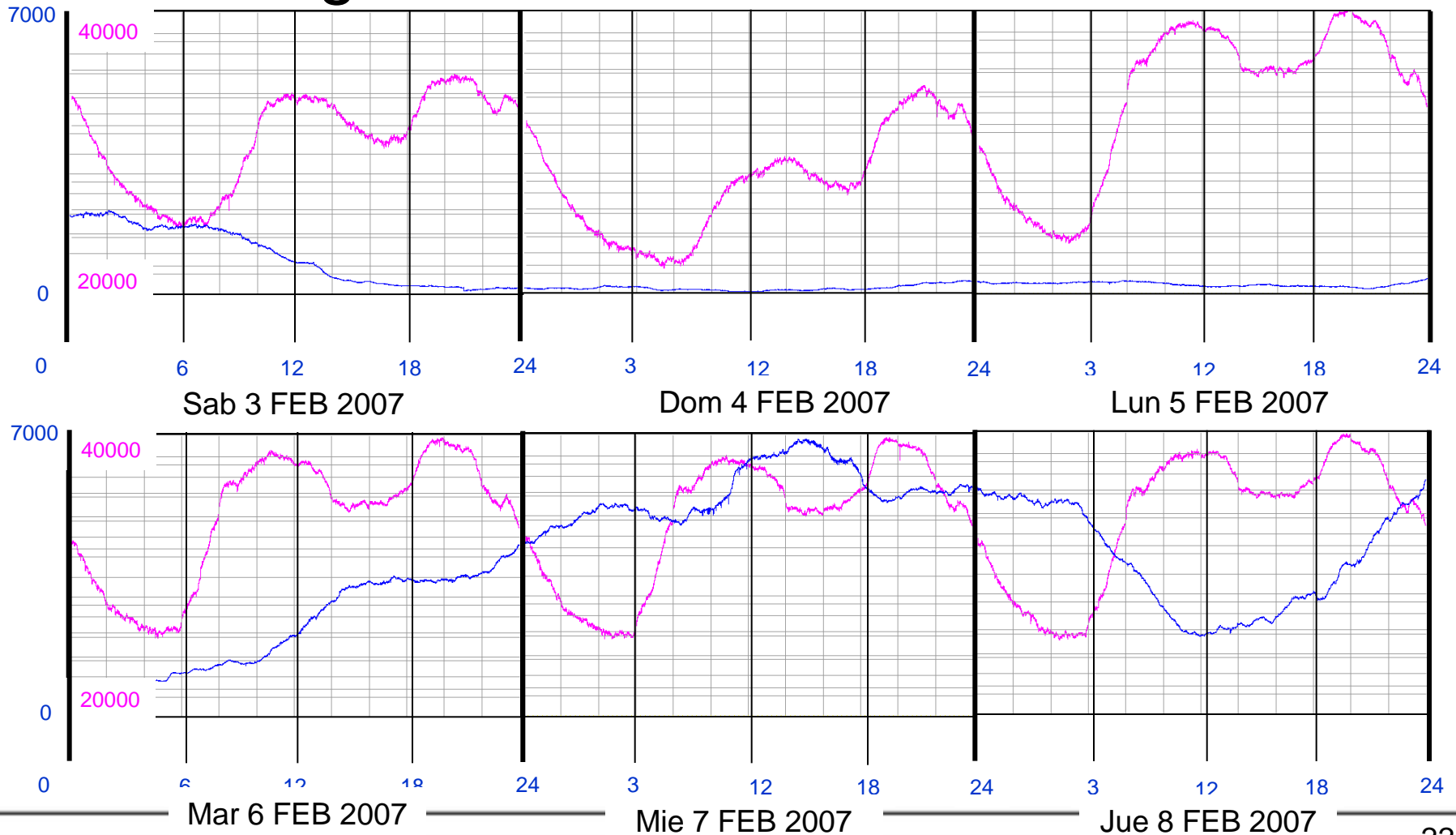
Necesario mantener mayores reservas de regulación con generación no eólica

Potencia eólica instalada año 2011: ~20.000 MW; Crecimiento medio demanda: ~5% → La necesidad de mantener acopladas plantas convencionales en valle, necesarias posteriormente para cubrir la punta de demanda y suministrar servicios auxiliares para la operación, la reducción de generación eólica puede llegar a ser inevitable



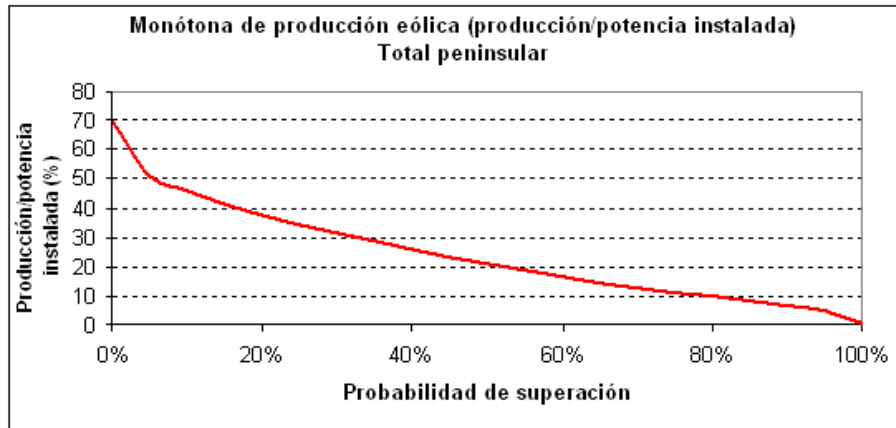
# Energía eólica

Producción eólica (MW)  
Demanda sistema peninsular español (MW)





# Energía eléctrica: Generación eólica

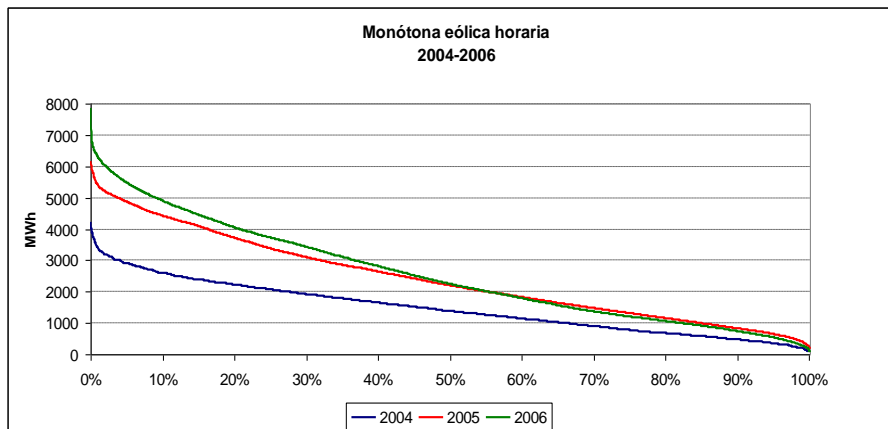


La probabilidad de superar una producción eólica del 69% es del 0%

La probabilidad de superar una producción eólica del 50% es del 6% (500 horas al año)

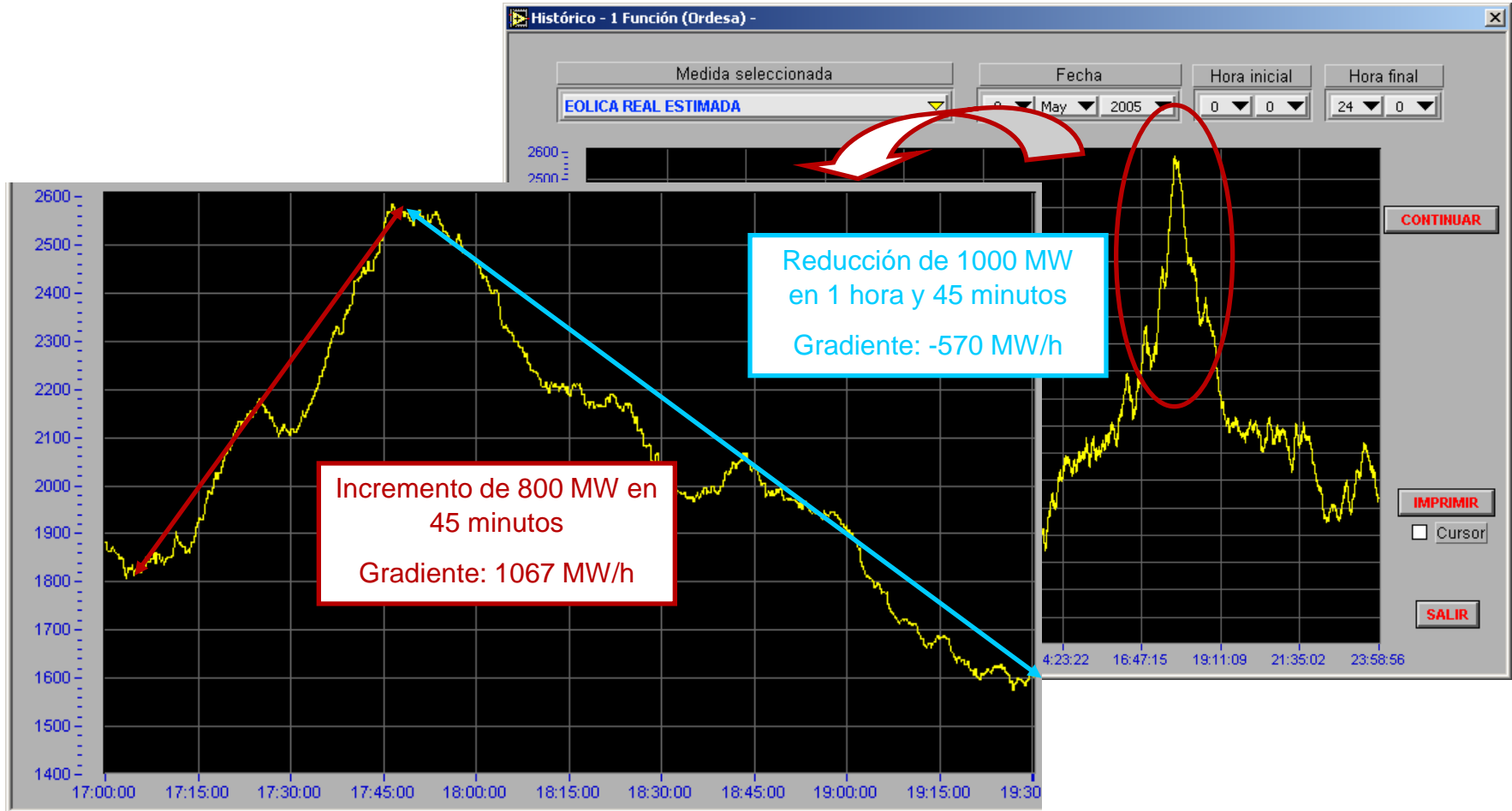
La probabilidad de superar una producción eólica del 21% es del 50%

La probabilidad de superar una producción eólica del 5% es del 95%





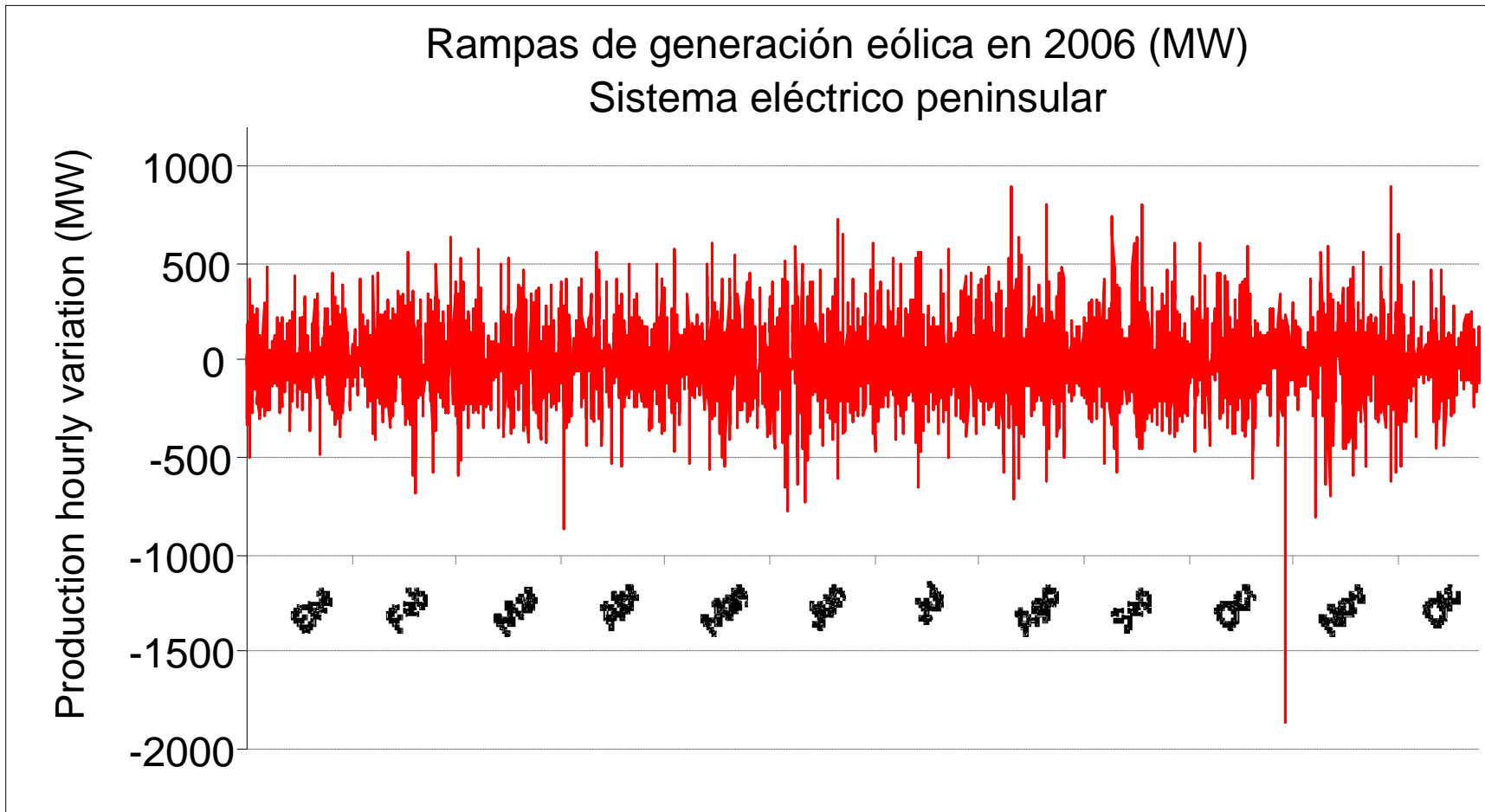
# Energía eléctrica: Generación eólica





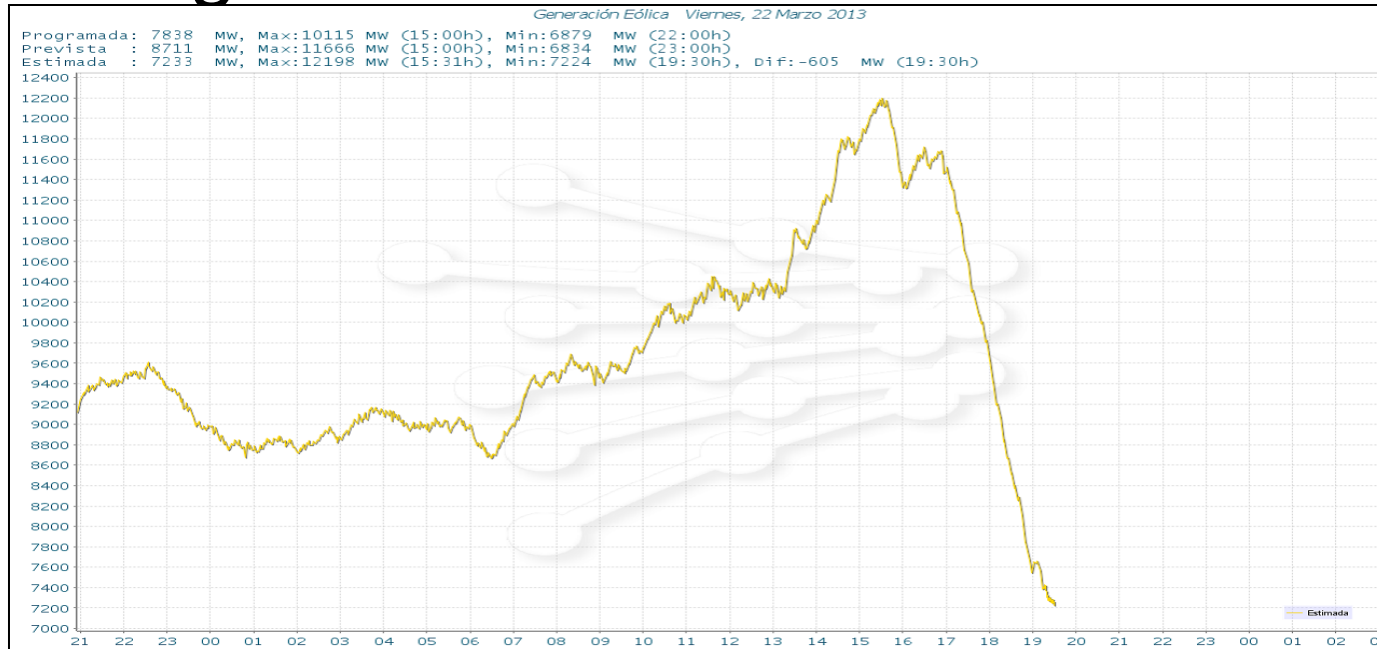


# Energía eléctrica: Generación eólica





# Energía eléctrica: Generación eólica



- q Actualmente los valores de las rampas pueden alcanzar los  $\pm 2.000$  MWh.
- q Las previsiones de viento pueden mitigar los efectos de la variabilidad del viento., pero es necesario márgenes de reserva adicionales si los errores son elevados



1. Características del sistema eléctrico
2. Impacto de las energías renovables
3. Energía eólica: características
- 4. Predicción**
5. Cobertura de la demanda
6. Impactos en la potencia de regulación
7. Huecos de tensión
8. Control de tensiones
9. Control de potencia
10. Restricciones de generación eólica
11. Conclusiones



# Energía eléctrica: Predicción

## SIPREOLICO

- q **A FIN DE ANALIZAR LAS RESERVAS NECESARIA Seguridad de suministro.**
- q **REE tiene su propio programa de predicción de la generación eólica :**

### SIPREÓLICO

**Previsiones horarias para los 10 próximos días (se recalcula cada hora)**

**Previsiones horarias para las próximas 48 horas por zona o nudo del sistema de transporte (se recalcula cada 15 minutos+)**

**Cálculo de la banda de previsión horaria del total de producción por percentiles 12, 50 y 85**



# Energía eléctrica: Predicción

## SIPREOLICO

- q **A FIN DE ANALIZAR LAS RESERVAS NECESARIA Seguridad de suministro.**
- q **REE tiene su propio programa de predicción de la generación eólica :**

### SIPREÓLICO

**Previsiones horarias para los 10 próximos días (se recalcula cada hora)**

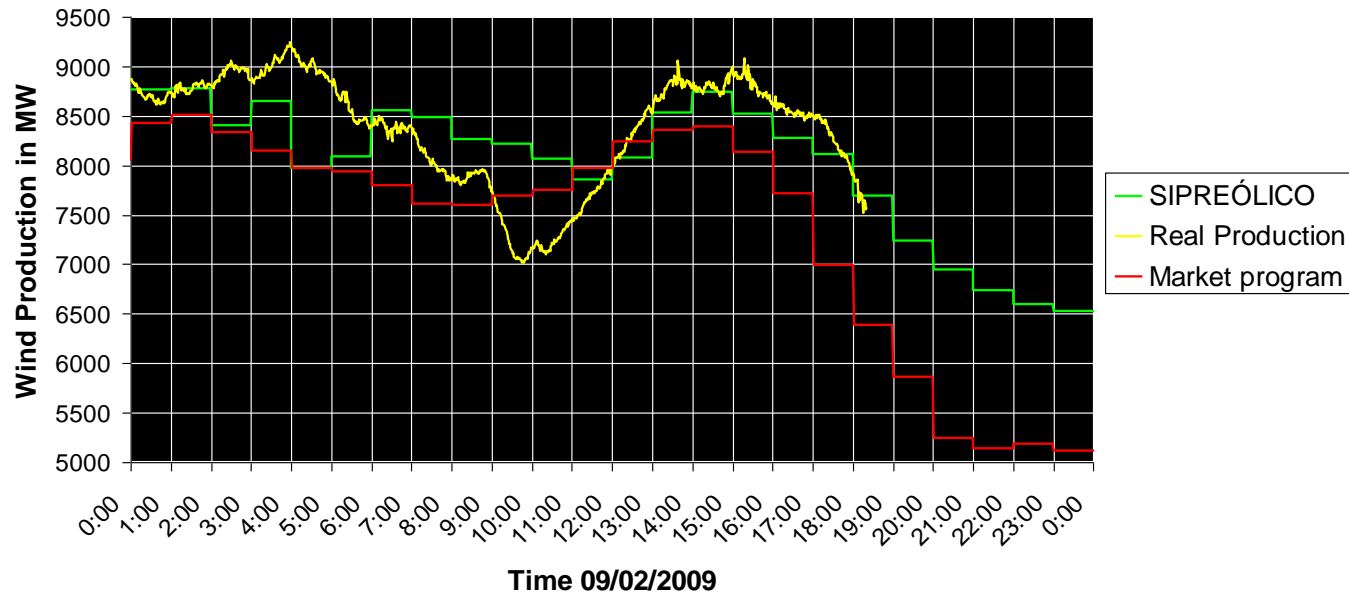
**Previsiones horarias para las próximas 48 horas por zona o nudo del sistema de transporte (se recalcula cada 15 minutos+)**

**Cálculo de la banda de previsión horaria del total de producción por percentiles 12, 50 y 85**



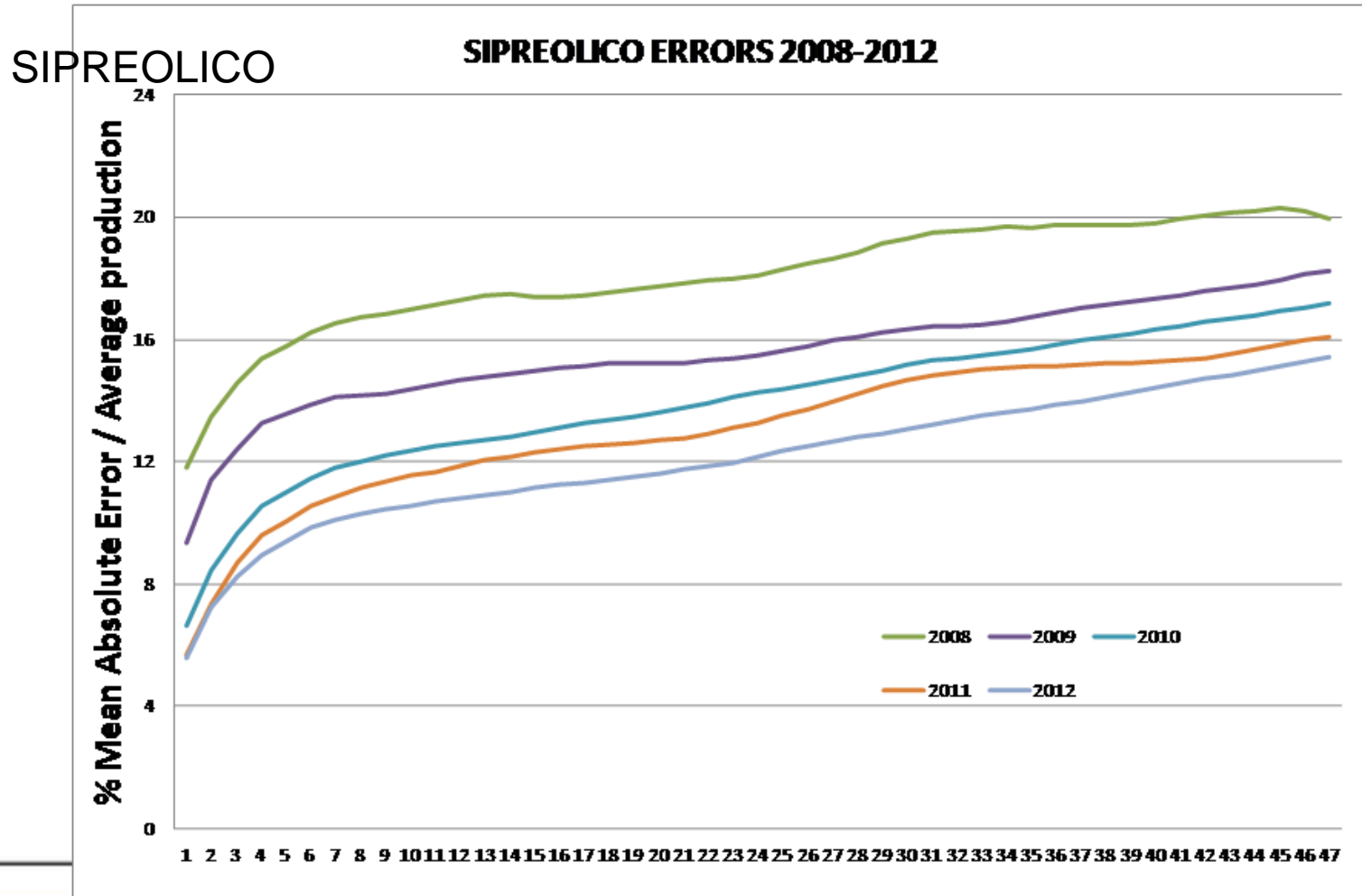
# Energía eléctrica: Predicción

SIPREOLICO





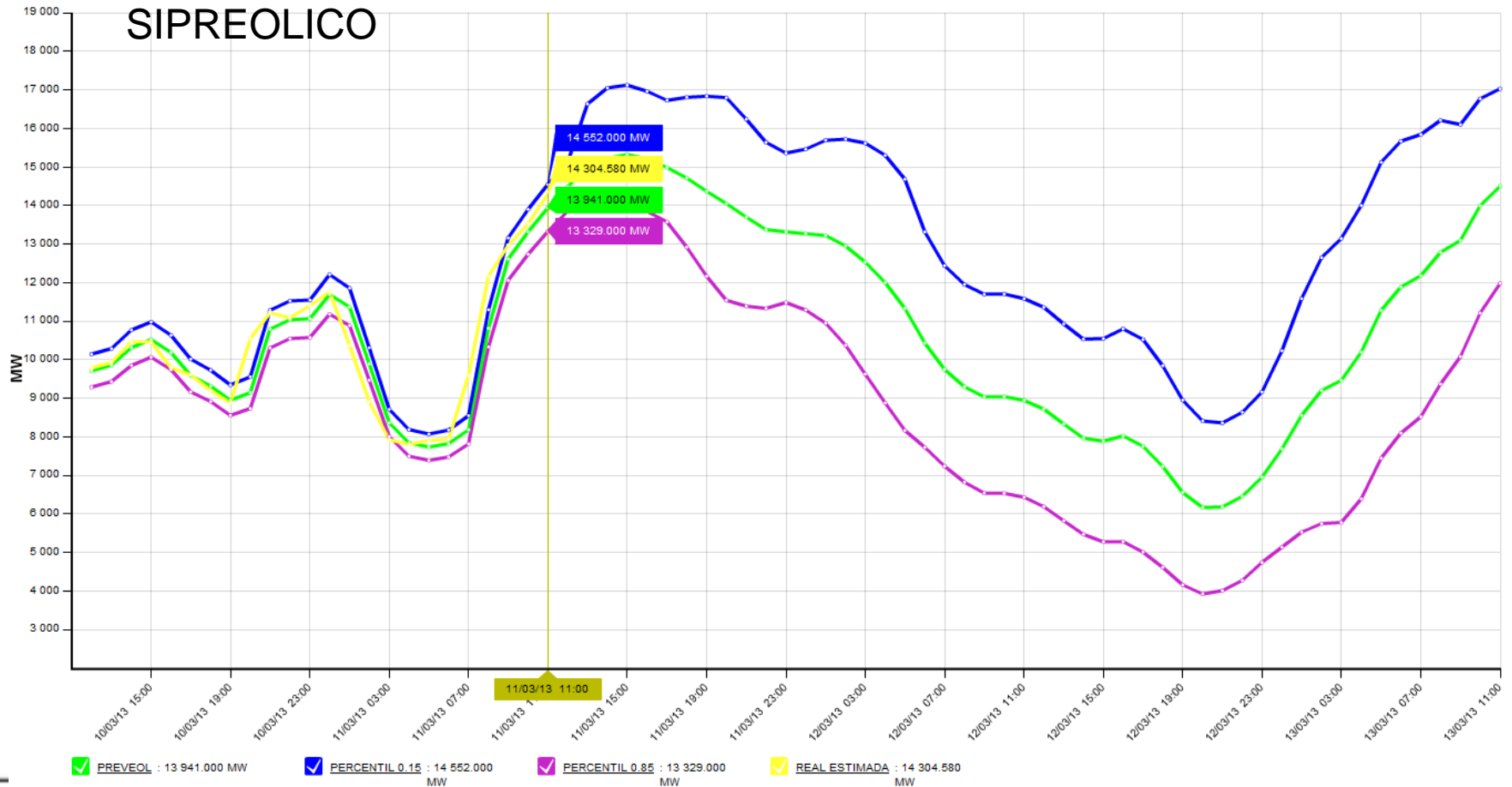
# Energía eléctrica: Predicción





# Energía eléctrica: Predicción

PREVISIÓN DE ENERGÍA EÓLICA (INTERVALOS)







1. Características del sistema eléctrico
2. Impacto de las energías renovables
3. Energía eólica: características
4. Predicción
- 5. Cobertura de la demanda. Potencia firme**
6. Impactos en la potencia de regulación
7. Huecos de tensión
8. Control de tensiones
9. Control de potencia
10. Restricciones de generación eólica
11. Conclusiones



# Energía eléctrica: Generación Renovable

Aportación de potencia firme de la energía renovable a la potencia firme a largo plazo es pequeña

	Fotovol.	Termoeléctrica <b>sin</b> alacenam.	Termoeléctrica <b>con</b> almacena.	Eólica
Ene.	0,00	0,00	0,28	0,07
Feb.	0,00	0,00	0,34	0,06
Mar.	0,00	0,00	0,38	0,07
Abr.	0,08	0,10	0,4	0,06
May.	0,09	0,12	0,4	0,07
Jun.	0,15	0,17	0,47	0,05
Jul.	0,16	0,18	0,47	0,05
Ago.	0,12	0,14	0,47	0,07
Sep.	0,09	0,10	0,48	0,04
Oct.	0,06	0,07	0,39	0,05
Nov.	0,00	0,00	0,34	0,09
Dic.	0,00	0,00	0,27	0,06



# Energía eléctrica: Generación Renovable

Se precisa:

- Potencia firme térmica
- Potencia firme Renovable no gestionable - hidráulica de almacenamiento – bombeo
- Medidas de interrumpibilidad - Modificación de la utilización de la electricidad



1. Características del sistema eléctrico
2. Impacto de las energías renovables
3. Energía eólica: características
4. Predicción
5. Cobertura de la demanda
- 6. Impactos en la potencia de regulación**
7. Huecos de tensión
8. Control de tensiones
9. Control de potencia
10. Restricciones de generación eólica
11. Conclusiones



# Energía eólica: impacto en la regulación

Type	Definition	Influence of Wind Power on Reserve
Primary Regulation	Action of speed regulators from generator units responding to changes in system frequency (<30 s to 15 minutes)	Not influenced by wind power
Secondary Regulation	Automatic action of central algorithm and AGCs in the generation units that provide this service responding to changes in system frequency and power deviations with respect to France. (≤100 s to 15 minutes)	Only slightly affected by wind generation ramps when these ramps are opposite to system demand. Presently, no need to contract further reserve bands.
Tertiary Regulation	Manual power variation with respect to a previous program in less than 15 minutes. (<15 min to 2 hours)	Only slightly affected by wind generation ramps when these ramps are opposite to system demand.
Running Reserves or Hot Reserves	Manageable generation reserves that can be called upon within 15 minutes to approximately 2 hours. Include tertiary reserves and consist of the running reserves of connected thermal units and hydro and hydro pump storage reserves. (15 min-2 hours to 4-5 hours)	Significant influence of wind power. Reserve provision must be increased to take into account wind power forecast errors. Reserves are checked from day D-1 once market results are received until real time.

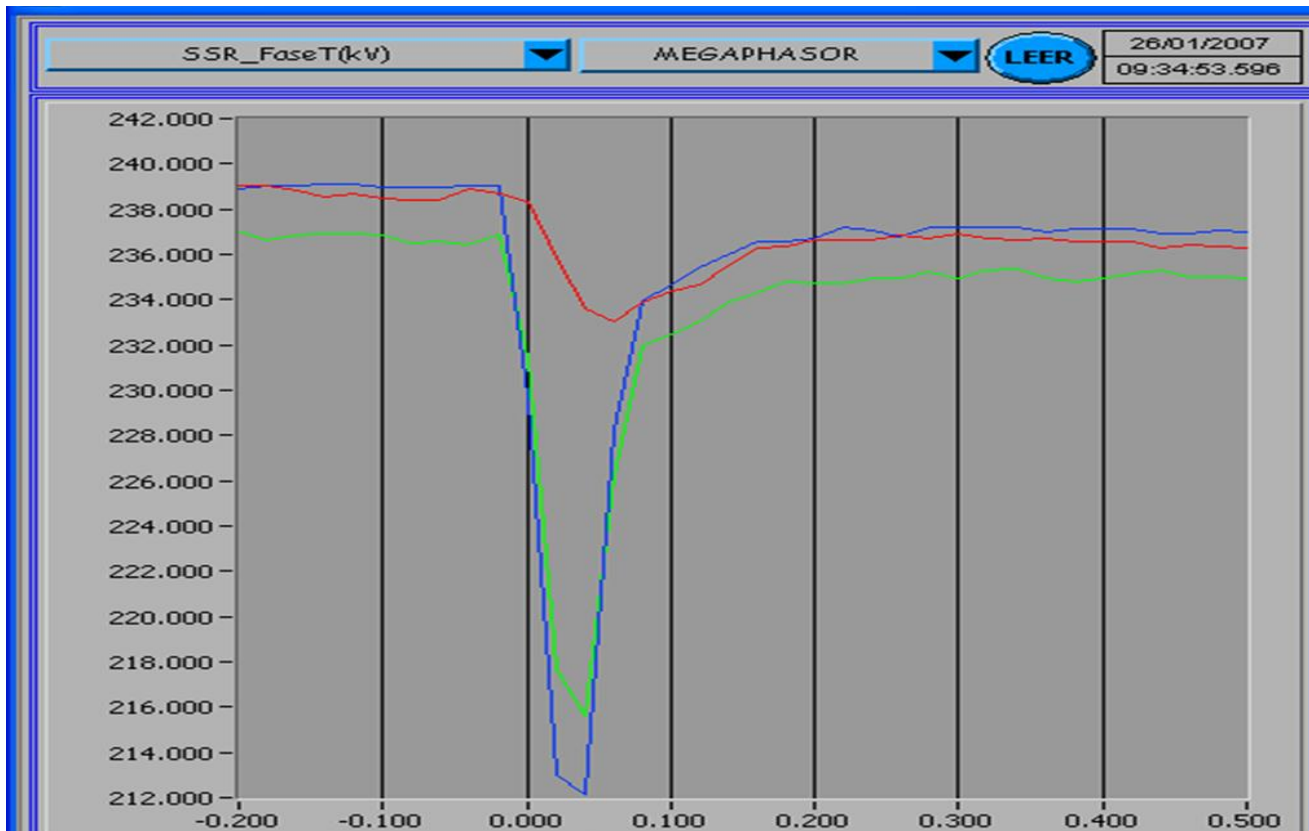


1. Características del sistema eléctrico
2. Impacto de las energías renovables
3. Energía eólica: características
4. Predicción
5. Cobertura de la demanda
6. Impactos en la potencia de regulación
- 7. Huecos de tensión**
8. Control de tensiones
9. Control de potencia
10. Restricciones de generación eólica
11. Conclusiones



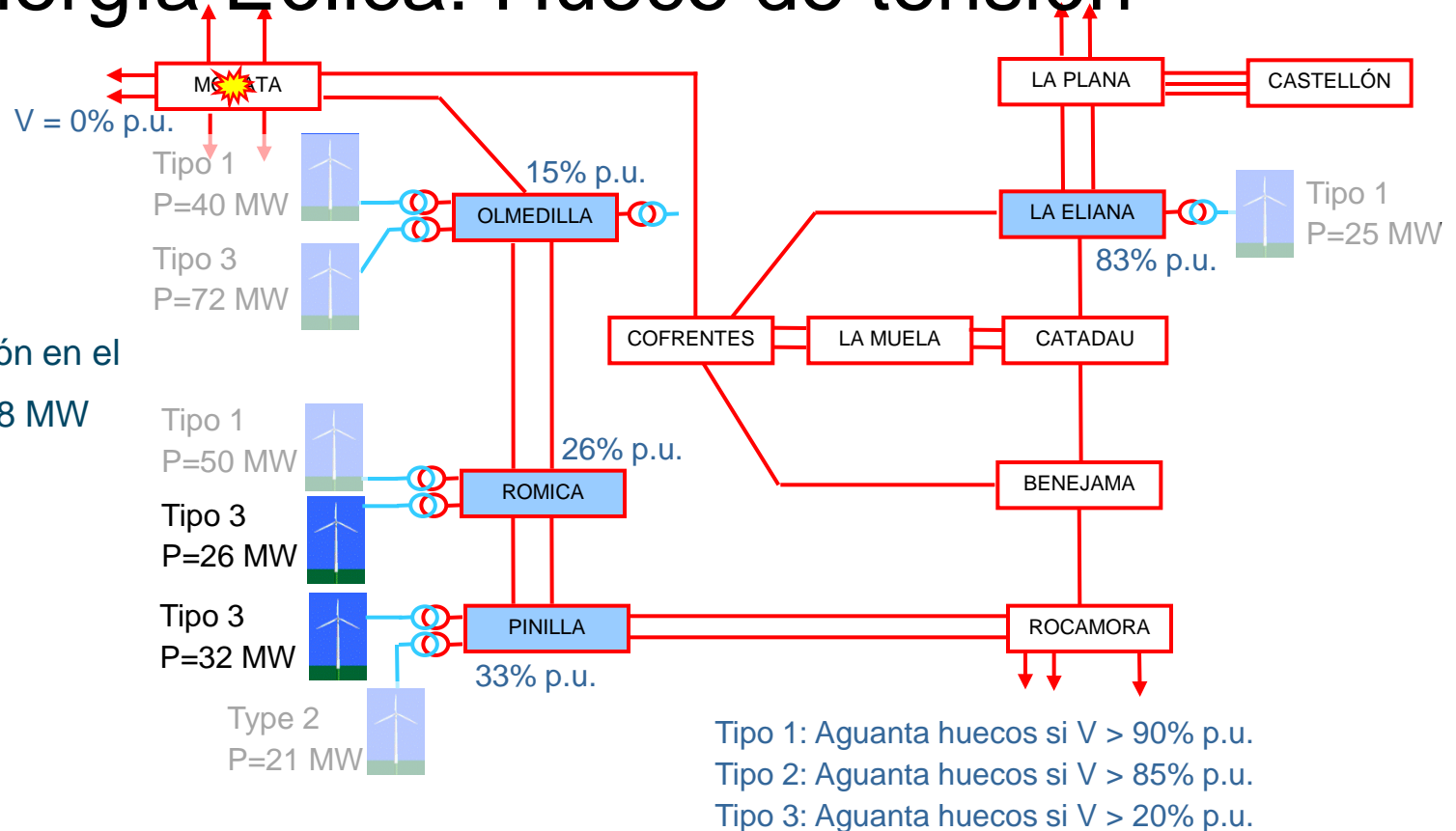
# Energía Eólica: Hueco de tensión

Es una disminución brusca de la tensión seguida de su restablecimiento después de un corto tiempo. Su duración oscila entre 10ms y 1 minuto





# Energía Eólica: Huevo de tensión



Pérdida de generación en el ejemplo  $P_{\text{Pérdida}} = 208 \text{ MW}$

Comportamiento del parque de generación eólica ante perturbaciones:

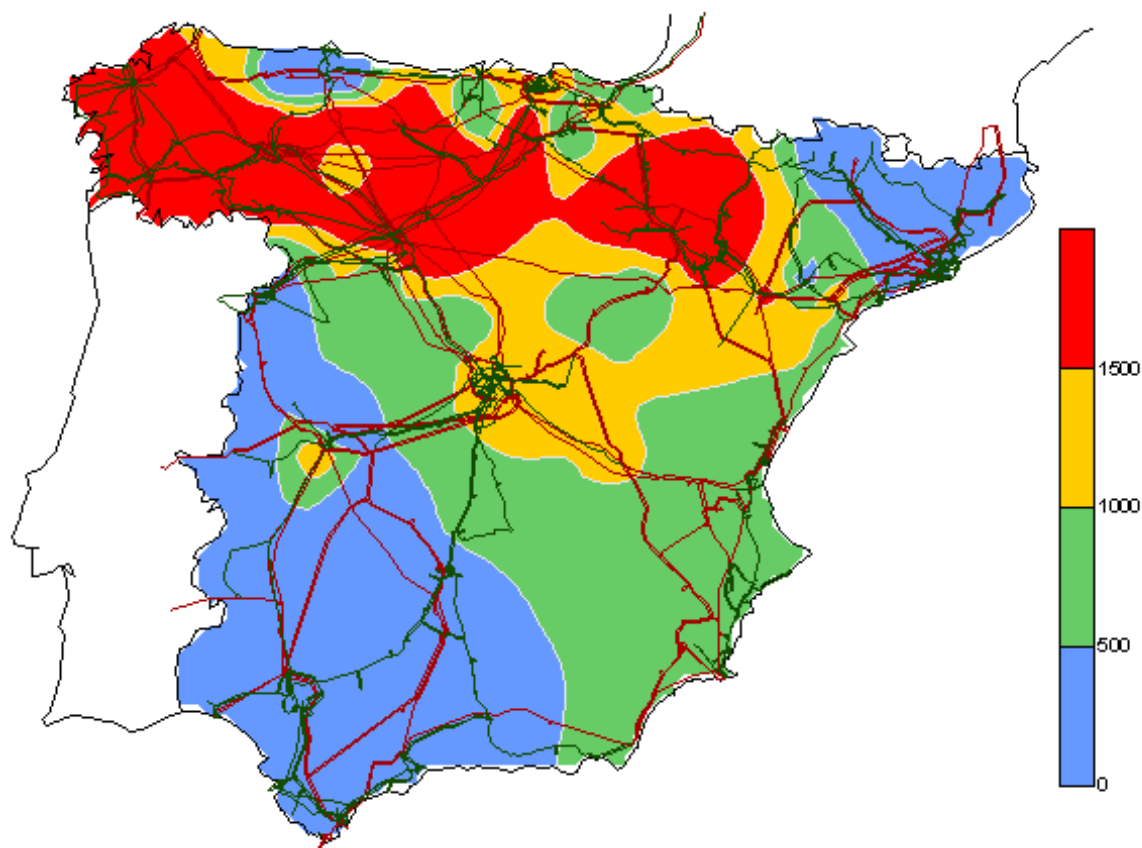
56,6% Potencia eólica instalada → Desconexión  $V < 0.85$

52,6% Potencia eólica instalada → Desconexión  $V < 0.90$





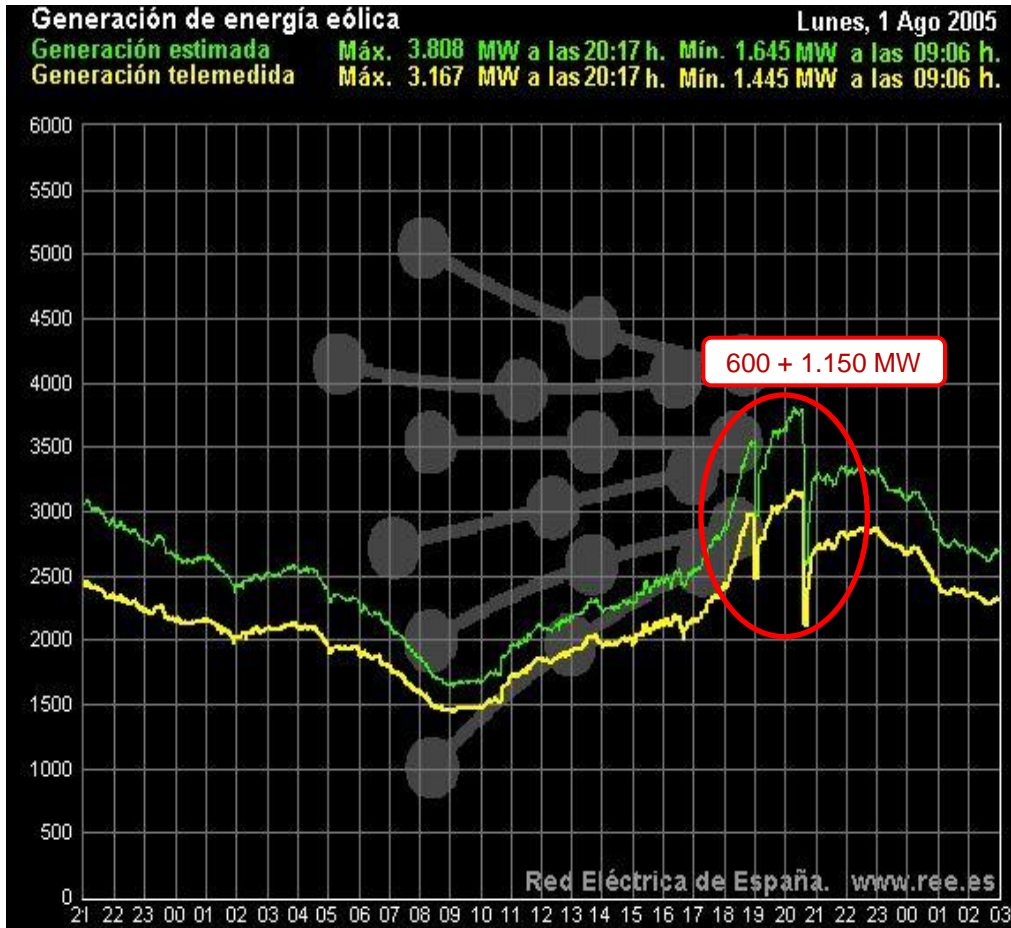
# Energía Eólica: Huevo de tensión



Pérdida de generación eólica aproximada por huecos de tensión debidos a falta trifásica correctamente despejada (100 ms)



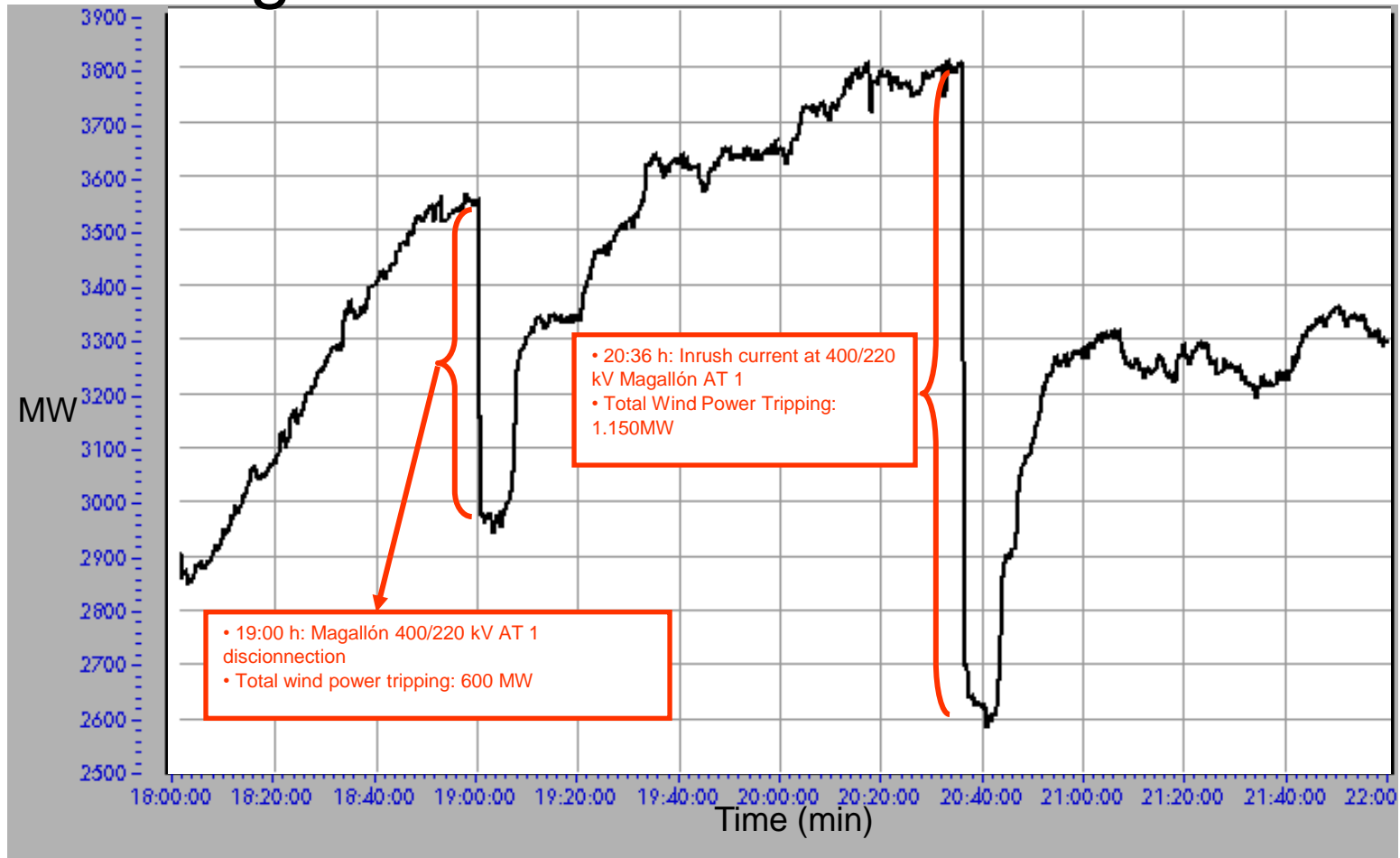
# Energía Eólica: Hueco de tensión



Incidente en transformador Magallón  
400/220 kV (01/08/2005)



# Energía Eólica: Hueco de tensión



AT-1 400/220 kV / Magallón 1/8/2005



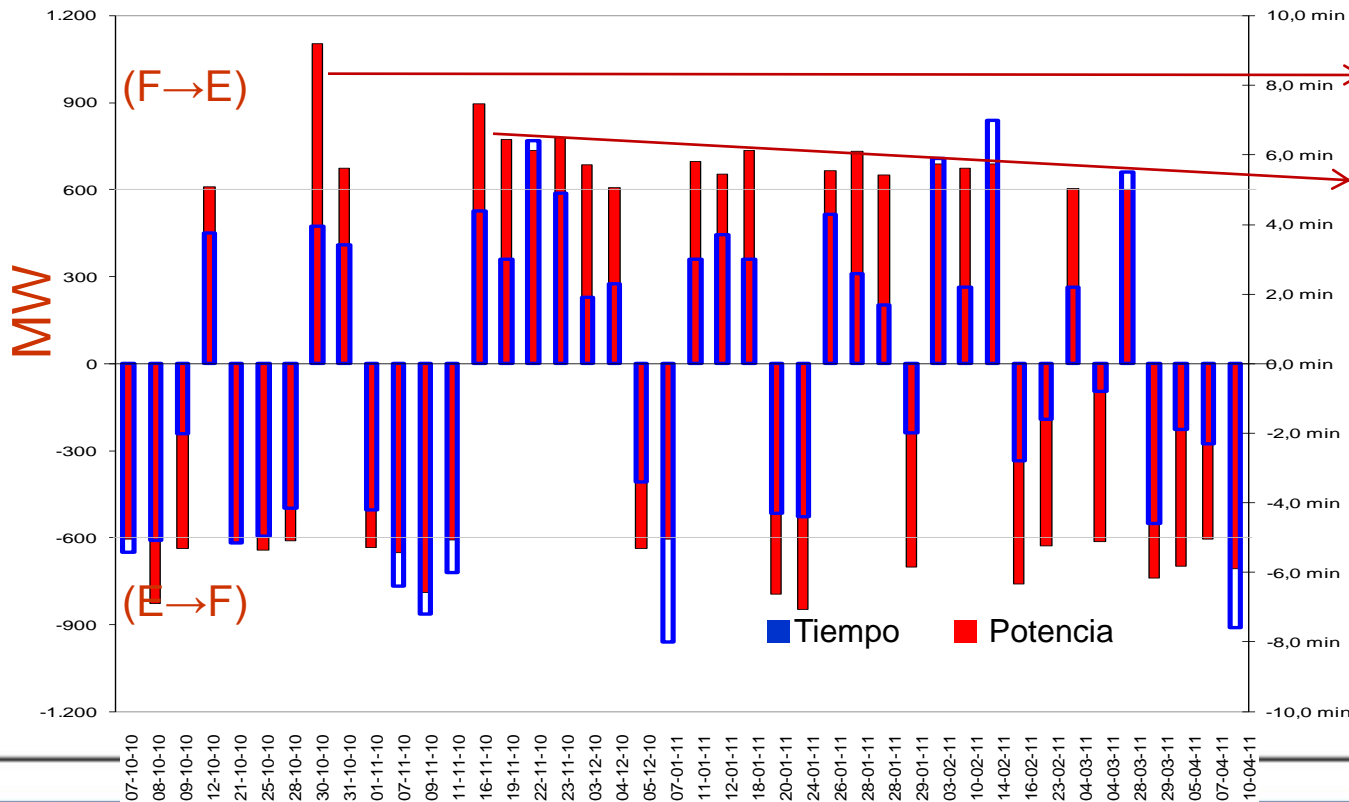
# Energía Eólica: Hueco de tensión





# Energía Eólica: Huevo de tensión

- El 30 de octubre de 2010 en el que se produjo un desvío con Portugal de 1000 MW y con Francia de 1100 MW. El desvío, se debió a la pérdida simultánea de aproximadamente 1000 MW (850 MW eólicos y 150 MW no eólicos) en Portugal y 400 MW (eólicos) en España por un hueco de tensión. Un cortocircuito bifásico entre Lindoso y Pedralva originó el hueco de tensión, que afectó a los casi 1250 MW eólicos



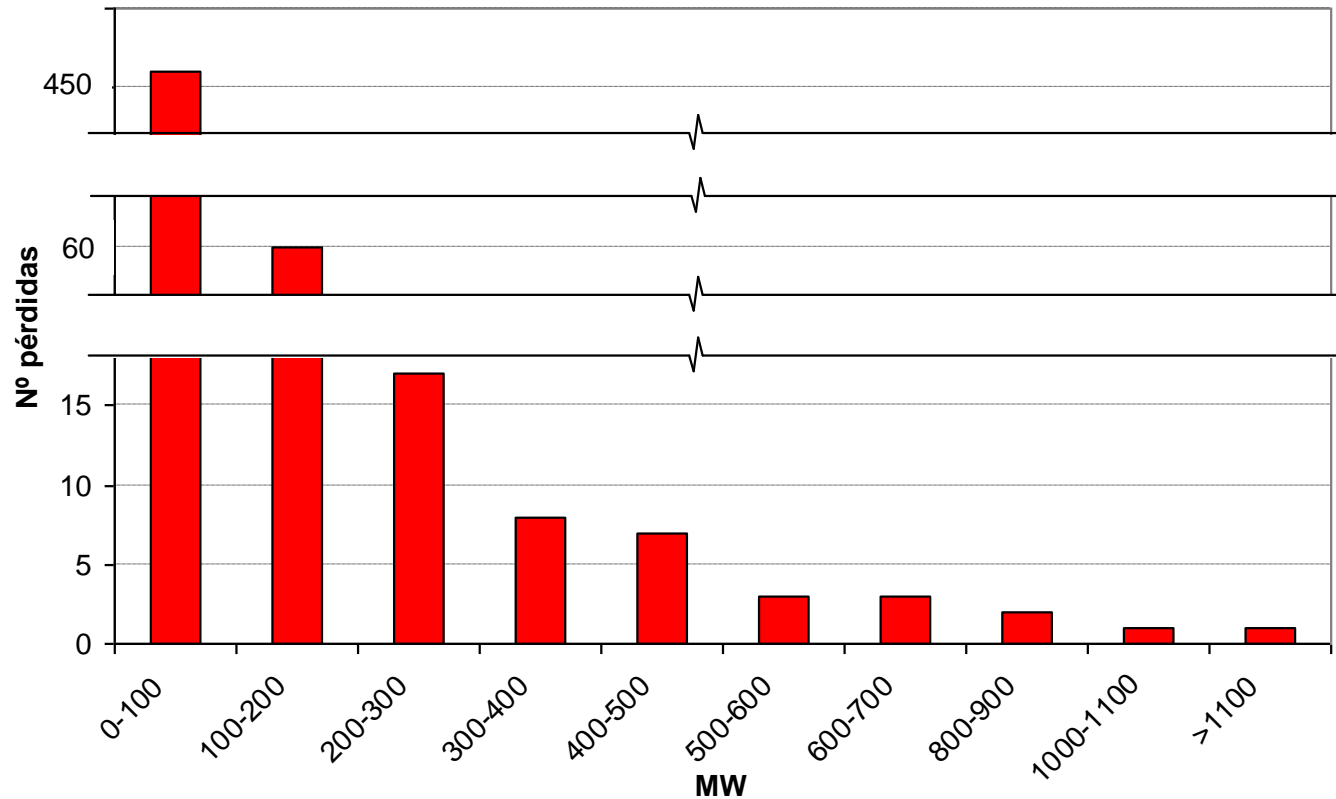
Pérdida de generación eólica en Portugal

Pérdida de la central nuclear de Trillo



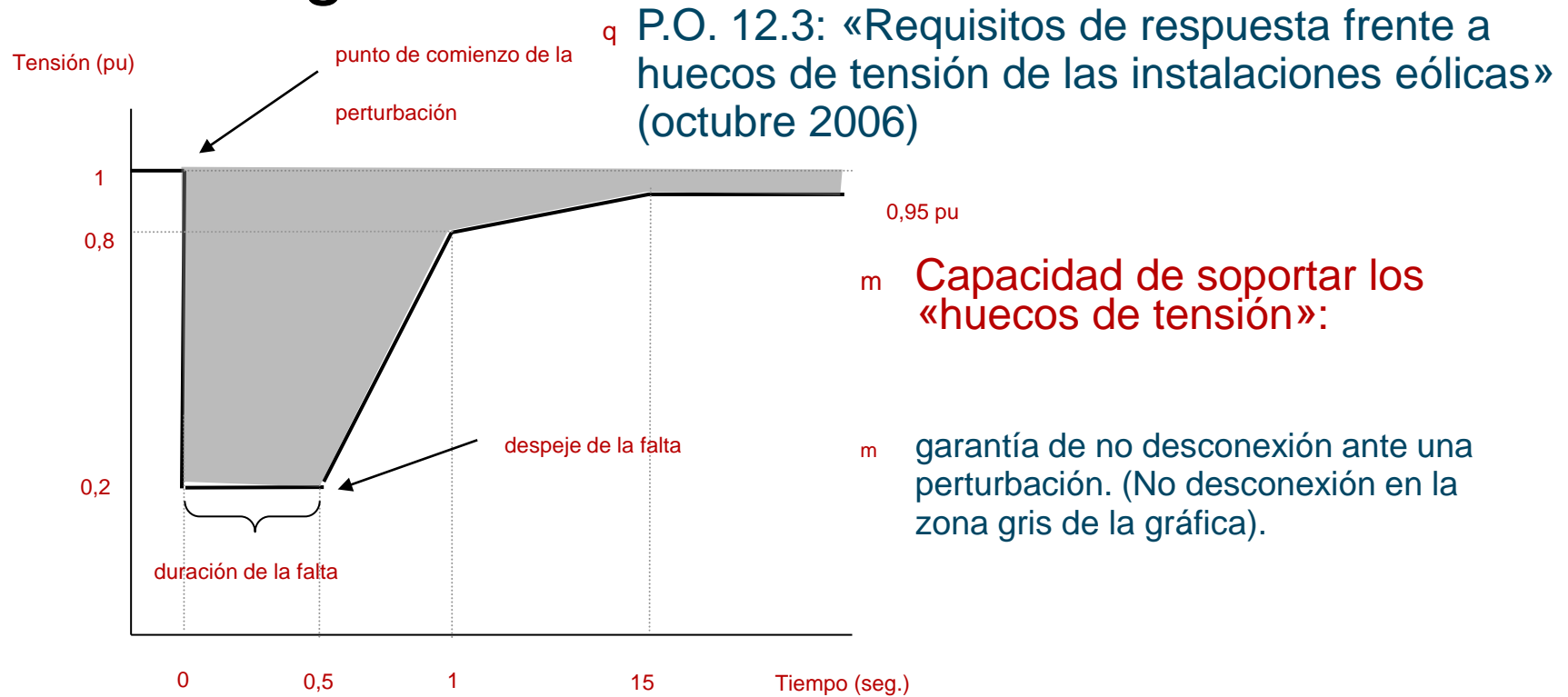
# Energía Eólica: Huevo de tensión

Pérdidas de generación eólica 2005-06





# Energía Eólica: Huevo de tensión



- Para faltas bifásicas aisladas de tierra la tensión mínima es 0,6 pu en lugar de 0,2
- También se establecen limitaciones al consumo de potencia activa y reactiva durante la perturbación



1. Características del sistema eléctrico
2. Impacto de las energías renovables
3. Energía eólica: características
4. Predicción
5. Cobertura de la demanda
6. Impactos en la potencia de regulación
7. Huecos de tensión
- 8. Control de tensiones**
9. Control de potencia
10. Restricciones de generación eólica
11. Conclusiones





# Energía Eólica: Control de tensión

- RD 436/2004: Complemento por energía reactiva para parques eólicos. Define tres tipos de horas y factores de potencia

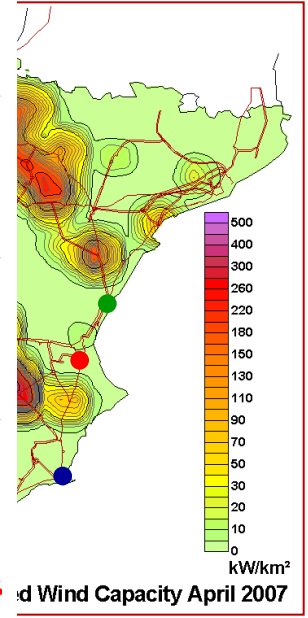
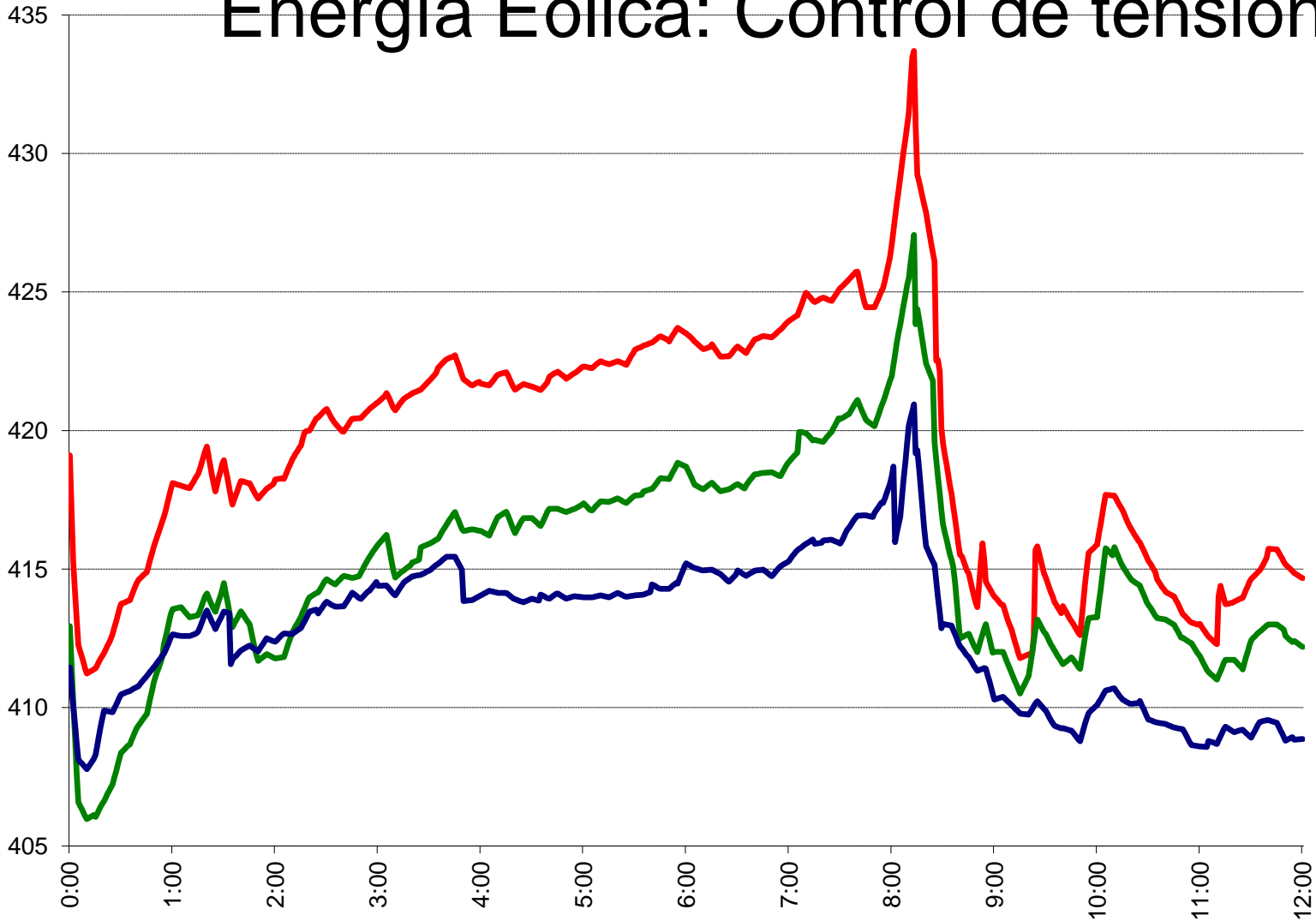
Reactive Power Bonus				
Type of	Power Factor	Bonus (%)		
		Peak	Inter	Off-Peak
Inductive	< 0,95	-4	-4	8
	< 0,96 y ≥ 0,95	-3	0	6
	< 0,97 y ≥ 0,96	-2	0	4
	< 0,98 y ≥ 0,97	-1	0	2
	< 1 y ≥ 0,98	0	2	0
Capacitive	1	0	4	0
	< 1 y ≥ 0,98	0	2	0
	< 0,98 y ≥ 0,97	2	0	-1
	< 0,97 y ≥ 0,96	4	0	-2
	< 0,96 y ≥ 0,95	6	0	-3
	< 0,95	8	-4	-4

Zona	Invierno			Verano		
	Punta	Llano	Valle	Punta	Llano	Valle
Zona 1	16-22	8-16 22-24	0-8	8-14	14-24	0-8
Zona 2	17-23	8-17 23-24	0-8	9-15	8-9 15-24	0-8
Zona 3	16-22	8-16 22-24	0-8	9-15	8-9 15-24	0-8
Zona 4	17-23	8-17 23-24	0-8	10-16	8-10 16-24	0-8
Zona 5	16-22	7-16 22-23	0-7 23-24	17-23	0-1 9-17 23-24	1-9
Zona 6	16-22	7-16 22-23	0-7 23-24	17-23	8-17 23-24	0-8
Zona 7	17-23	8-17 23-24	0-8	18-24	0-1 9-18	1-9

- q No se diferencia entre días festivos y laborables que tienen diferente requerimiento de reactiva.
- q Se entiende como posibilidad de conexión /desconexión de los bancos de condensadores a determinadas horas.



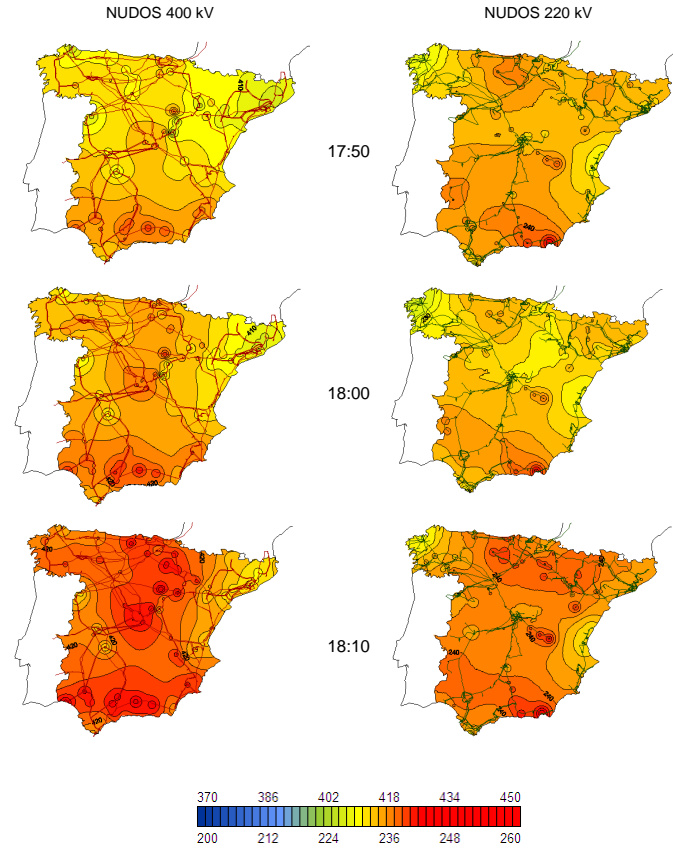
# Energía Eólica: Control de tensión





# Energía eléctrica: Generación eólica

- q Generación con renovables: Bono o penalización por el control de reactiva. Desde l +8% al -4% de 78.44 €/MWh dependiendo del factor de potencia.
- q Desde 1/4/2009: el factor de potencia ha de estar entre 0,98 y 0,99 inductivo.
  - Eliminar elevados valores de tensiones
- q Desde noviembre de 2010 el bono máximo se da si el factor de potencia  $r = 1$  y sin penalización para factores de potencia  $>0.98$ .
- q El OS puede dar instrucciones específicas para modificar este conjunto de factores de potencia..
- q La solución futura: control continuo de la tensión para potencias  $P > 10$  MW, incluidas las renovables.

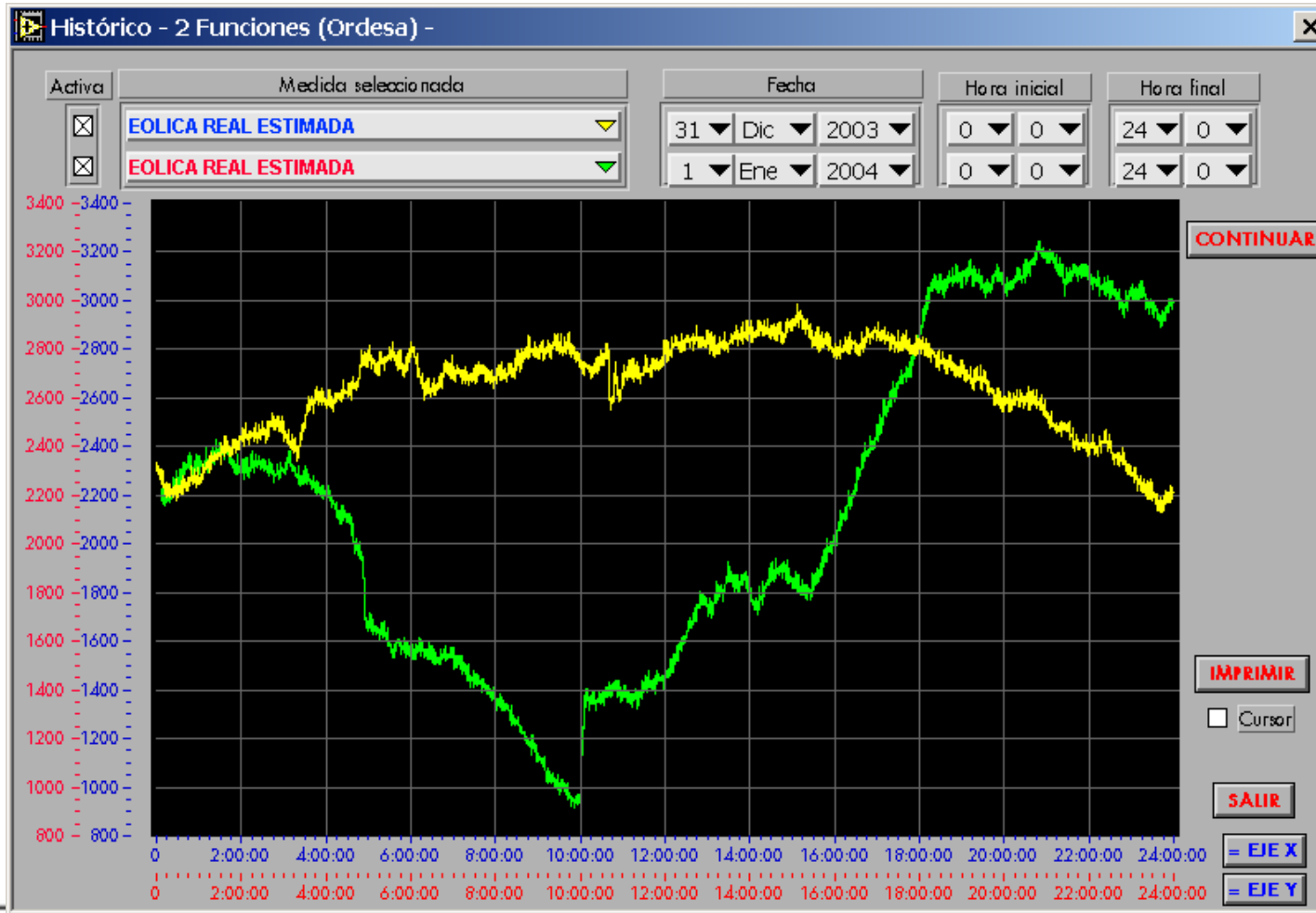




1. Características del sistema eléctrico
2. Impacto de las energías renovables
3. Energía eólica: características
4. Predicción
5. Cobertura de la demanda
6. Impactos en la potencia de regulación
7. Huecos de tensión
8. Control de tensiones
- 9. Control de potencia**
10. Restricciones de generación eólica
11. Conclusiones



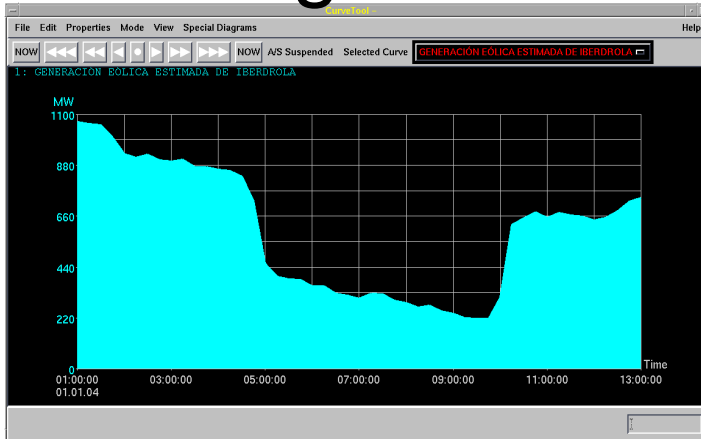
# Energía eólica: Necesidad de control



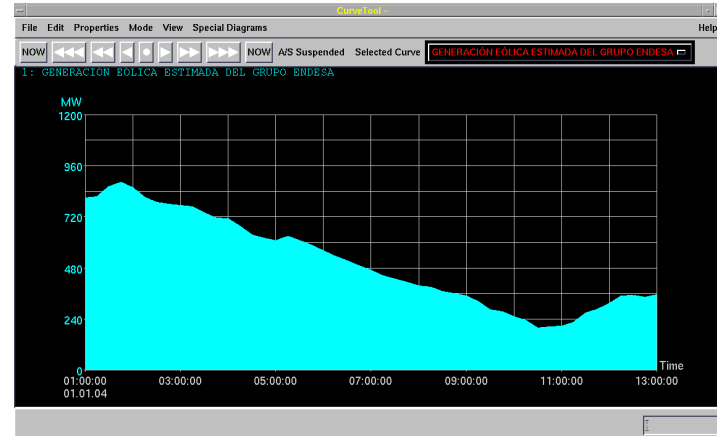
Caso de un día de muy baja demanda  
1 Ene 04



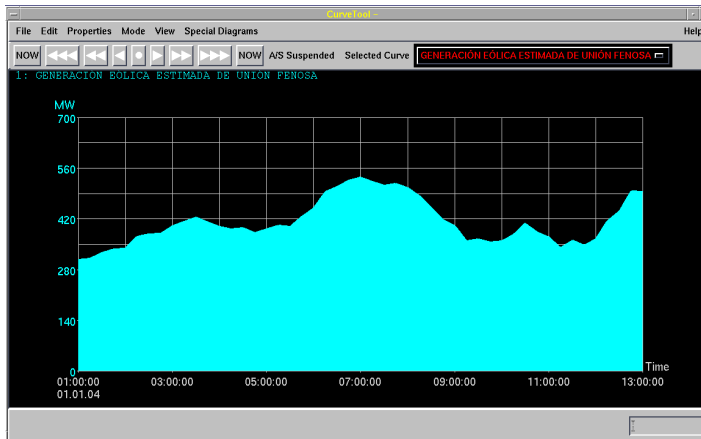
# Energía eólica: Necesidad de control



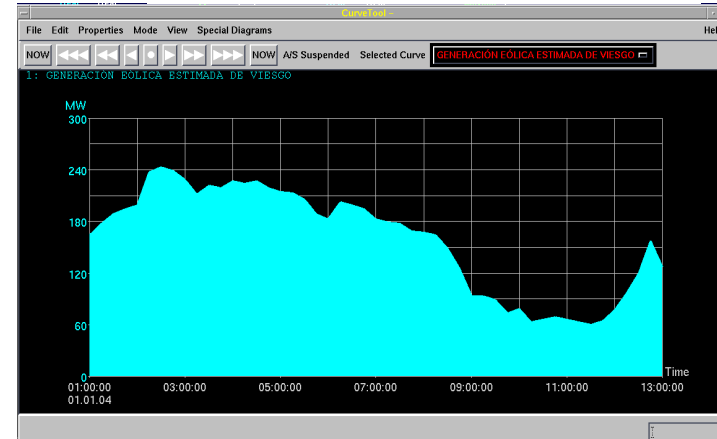
Distribution Zone A



Distribution Zone B



Distribution Zone C



Distribution Zone D



# Energía eólica: Necesidad de control

## Problemas de falta de respuesta

- Unidades abandonadas
- Zona A y D: Compañías eléctricas tradicionales con experiencia en operación de centrales
- Zona B y C: Inversores privados

## Soluciones encontradas

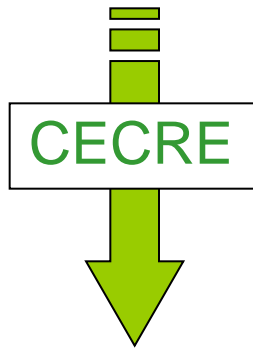
- Creación del CECRE (National control center for renewable)
- Nueva regulación imponiendo la obligación de que cualquier central > 10 MW ha de estar conectadas a un centro de control llamado Centro de control delegado
- Todo centro de control ha de estar conectado al CECRE 24/24 y con posibilidad de recibir órdenes de éste y enviar órdenes de control a las centrales conectadas a ellos



# Energía eólica: Necesidad de control

## q Generación eólica.

- m Potencia eólica instalada (12.695 MW):  
~ 15% total instalada.
- m Producción muy variable.  
Difícil previsión.
- m Desconexión ante perturbaciones.



- m Necesidad de Supervisión y Control de todos los generadores.
- m Necesidad operativa de agrupar a los generadores en Centros de Control (CC) y de coordinar a éstos.





# Energía eólica: Necesidad de control

- **RD 661/2007:**
  - Todas las instalaciones de régimen especial con potencia superior a 10 MW deberán estar adscritas a un centro de control de generación, que actuará como interlocutor con el operador del sistema, remitiéndole la información en tiempo real de las instalaciones y haciendo que sus instrucciones sean ejecutadas con objeto de garantizar en todo momento la fiabilidad del sistema eléctrico. Esta adscripción será necesaria para el cobro de las primas.
  - Estas instalaciones disponen hasta el 30 de junio de 2007 para la adscripción a un centro de control
  - Aquellas instalaciones eólicas con fecha de inscripción definitiva en el RAIPRE anterior al 31 de diciembre de 2001, podrán realizar una modificación sustancial cuyo objeto sea la sustitución de sus aerogeneradores por otros de mayor potencia, en unas condiciones determinadas. Estas instalaciones han de estar adscritas a un centro de control y cumplir el P.O. 12.3.
- **P.O. 3.7: «Programación de la Generación Renovable No Gestionable» (octubre 2006)**
  - Procedimiento en el que se describe los flujos de información y los procesos necesarios para la programación de la generación renovable no gestionable, que permitan la máxima integración posible de potencia y de energía de este tipo compatible con la operación segura y estable del sistema.



# Energía eólica: Necesidad de control

- Objetivo: Posibilitar la integración de la generación en régimen especial en la operación de forma compatible con la seguridad del sistema eléctrico.
- Función Principal: articular la integración de la producción de energía eléctrica del régimen especial en función de las necesidades del sistema eléctrico.
  - Ser la interlocución única en tiempo real con el CECOEL y con los Centros de Control que serían los encargados de telemandar las instalaciones.
  - Recibir la información sobre las unidades de producción necesaria para la operación en tiempo real y remitirlos al CECOEL.
  - Satisfacer la necesidad de supervisión y control de todos los generadores, mediante su agrupación en Centros de Control y coordinar a los mismos.



# Energía eólica: Necesidad de control

- Aportar desde la Operación del Sistema, seguridad y eficiencia Operativa.
- Permitir sustituir hipótesis de simultaneidad zonal (necesariamente conservadoras) y criterios preventivos, por control de la producción en tiempo real, lo que redundará en:
  - Mayor energía producida
  - Mayor potencia instalada (decisión de los agentes)

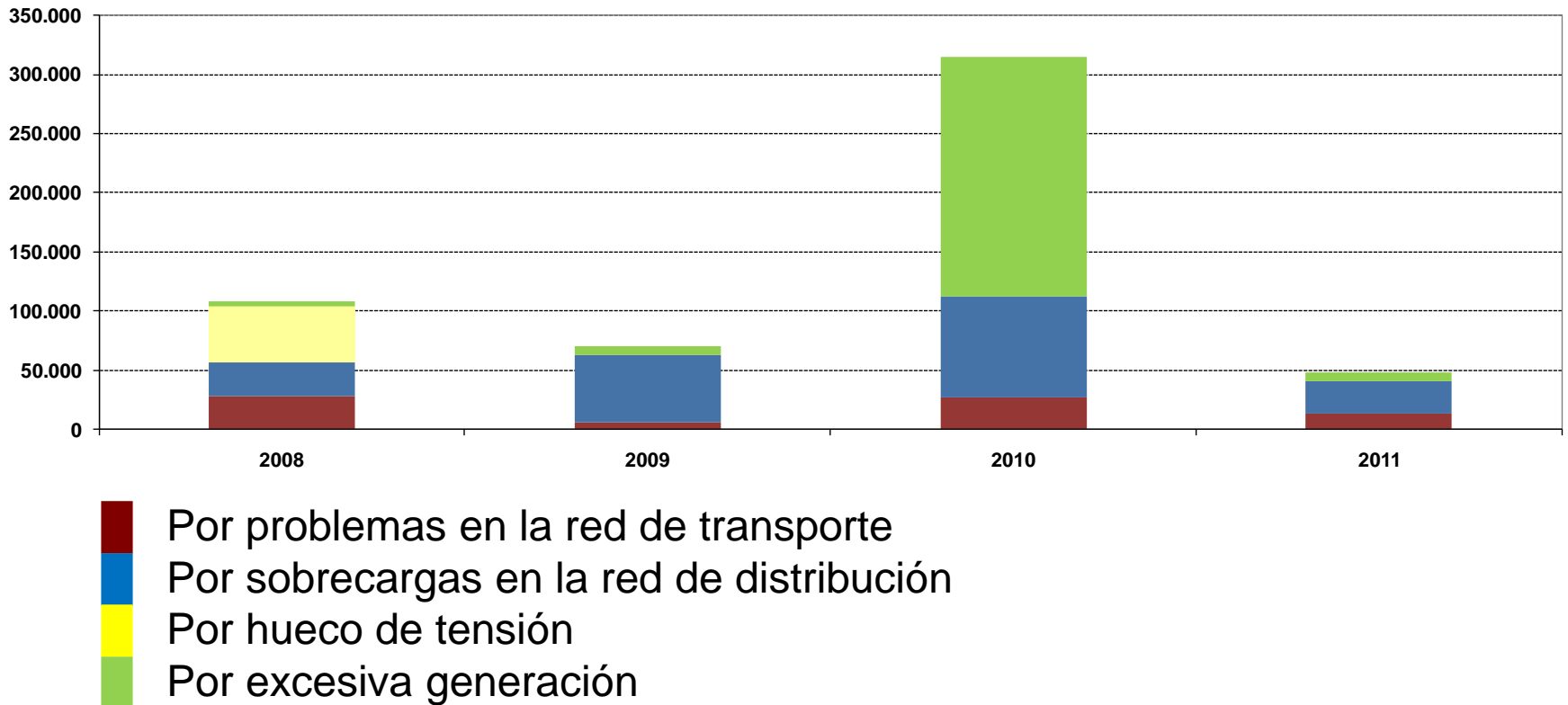


1. Características del sistema eléctrico
2. Impacto de las energías renovables
3. Energía eólica: características
4. Predicción
5. Cobertura de la demanda
6. Impactos en la potencia de regulación
7. Huecos de tensión
8. Control de tensiones
9. Control de potencia
- 10. Restricciones de generación eólica**
11. Conclusiones



# Energía eólica: Restricciones

## Reducciones de generación eólica





# Energía eléctrica: Generación eólica



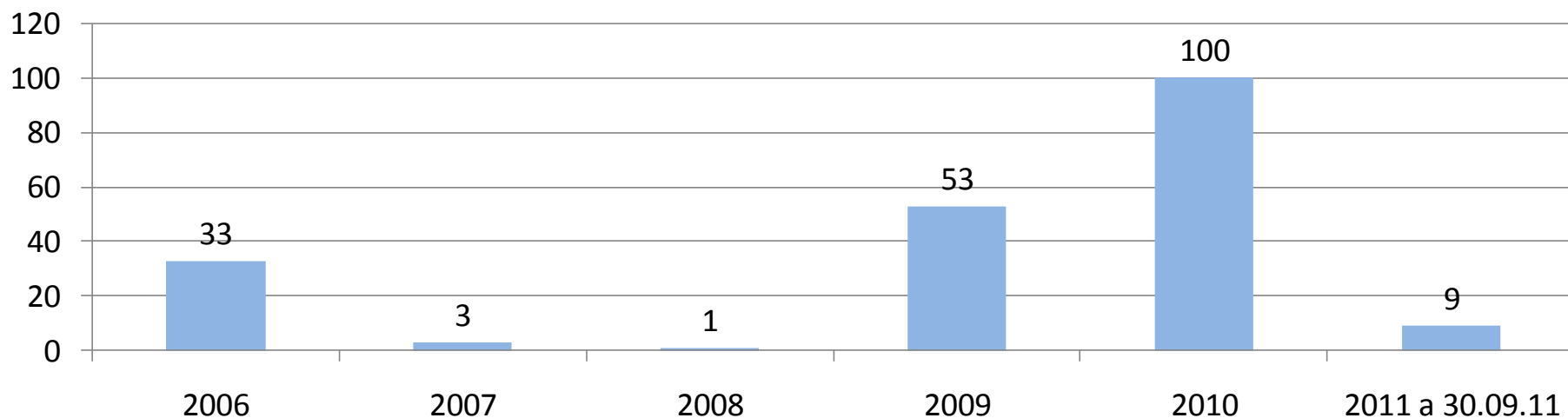
## Vertidos de energía del Régimen Especial

Esta situación se produjo por primera vez en 2008, se repitió en algunas ocasiones al final del año 2009, y adquirió una notable relevancia durante el año 2010, en que sucedió durante el 2,5% de las horas del año y vertiéndose 0,6% del producible eólico.



# Energía eólica: Restricciones

Número de grupos térmicos desacoplados para la intergración de la generación eólica entre 2006-2011





1. Características del sistema eléctrico
2. Impacto de las energías renovables
3. Energía eólica: características
4. Predicción
5. Cobertura de la demanda
6. Impactos en la potencia de regulación
7. Huecos de tensión
8. Control de tensiones
9. Control de potencia
10. Restricciones de generación eólica
- 11. Conclusiones**





## Energía eléctrica: Generación eólica

- ❖ El incremento de energía renovable implica una mayor incertidumbre
- ❖ Puede originar problemas de estabilidad de carga y de tensión, de sobrecarga en las líneas de transmisión, estabilidad dinámica y falta de corriente de cortocircuito,
- ❖ Pueden ser resueltos o limitados mediante el control de la cantidad total, del tipo de generador instalados y de los modelos de previsión de la producción de este tipo de energías



## Energía eólica: Conclusiones

- ❖ Su incertidumbre y variabilidad puede producir mayores necesidades de regulación que disminuyen con la aproximación al tiempo real, con la calidad de los modelos utilizados, con la forma específica de evolución de viento en la zona, y el conocimiento por parte del Despacho del comportamiento de las tecnologías, de la evolución real de la producción local, y en general del factor eólico y solar.
- ❖ Pero estos problemas no son irresolubles, aunque se necesitan una gran cooperación de todos los agentes
- ❖ Futuro reeducación del consumidor y hacerle parte del sistema de regulación



## Energía eólica: Conclusiones

- ❖ Su incertidumbre y variabilidad puede producir mayores necesidades de regulación que disminuyen con la aproximación al tiempo real, con la calidad de los modelos utilizados, con la forma específica de evolución de viento en la zona, y el conocimiento por parte del Despacho del comportamiento de las tecnologías, de la evolución real de la producción local, y en general del factor eólico y solar.
- ❖ Pero estos problemas no son irresolubles, aunque se necesitan una gran cooperación de todos los agentes
- ❖ Futuro reeducación del consumidor y hacerle parte del sistema de regulación