

Sistemas eléctricos de potencia

Juan Alvaro Fuentes Moreno
juanalvaro.fuentes@upct.es

Departamento de Ingeniería Eléctrica
Universidad Politécnica de Cartagena

enero 2012

Índice

1 Introducción

2 Niveles del sistema eléctrico

■ Definición

Conjunto de máquinas eléctricas (generadores, transformadores, etc.) elementos eléctricos de maniobra o protección y de transporte de energía (líneas eléctricas), que tienen como misión **suministrar** una cierta energía en forma de **energía eléctrica** a unos consumidores receptores o cargas en un cierto instante de tiempo **t**, y con una cierta **calidad** en el suministro de esa energía.

■ Ventajas

■ Alto rendimiento energético: $\approx 80\%$

- Generación: 35 % (tradicional) a 60 % (ciclo combinado)
- Transporte y distribución: 93.9 % (energía vendida/energía generada)
- Cargas eléctricas:
 - Lámpara incandescente: 14 Lm/W (2 %)
 - Lámpara fluorescente compacta: 82 Lm/W (12 %)
 - LED: 80 Lm/W (12 %) para lámpara de 8.7W y límite teórico: 300 Lm/W (40 %)
 - Motor asíncrono: 88 %

■ Separación entre generación y consumo

- \uparrow aprovechamiento de la energía disponible
- \downarrow contaminación
- Mas barata

■ Inconvenientes

- Imposibilidad de almacenar la energía eléctrica en grandes cantidades y a bajo coste \Rightarrow
 - GENERACIÓN = CONSUMO

■ Electromagnetismo

- ≈ 600 ac: Tales de Mileto; Magnetismo y electricidad por frotamiento
- 1600: W. Gilbert; "De Magnete, Magneticisque Corporibus, et de Magno Magnete Tellure"
- 1785: Ch. A. Coulomb; Formulación cuantitativa de las leyes de la electrostática y magnetostática
- 1799: A. Volta; Inventor de la pila (primera fuente de continua)
- 1820: H. Ch. Oersted: Corriente eléctrica crea un campo magnético
- 1831: M. Faraday: Campo magnético variable crea una corriente eléctrica

■ Máquinas eléctricas

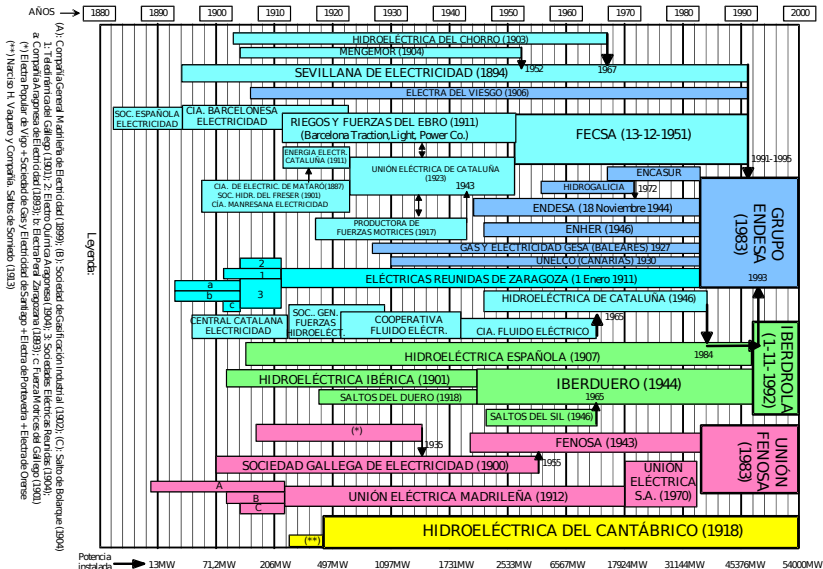
- 1831: M. Faraday: Primer generador eléctrico
- 1884: K. Zipernowsky, O. Bláthy, M. Déri; Transformador (alta eficiencia y núcleo cerrado)
- 1887: F. A. Haselwander, W. Bradley; Generador síncrono trifásico
- 1888: M. Dolivo-Dobrowolsky; Motor asíncrono trifásico de jaula de ardilla

■ Transmisión de energía

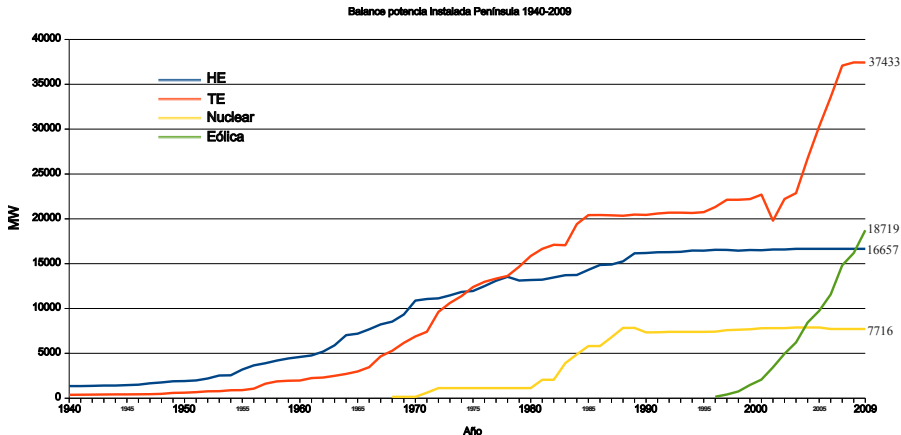
- 1891: Lauffen-Frankfurt; Primera transmisión en trifásica (200kVA, 40Hz, 169km)

Introducción: evolución del sector eléctrico español (I)

Fuente: Evolución histórica del Sector Eléctrico Español. Partes I y II. (7as Jornadas Hispano-Lusas de Ingeniería Eléctrica)



Introducción: evolución del sector eléctrico español (II)

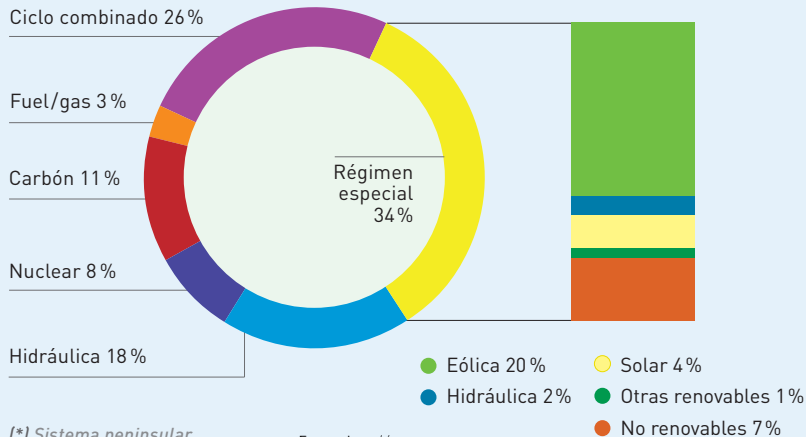


Fuente: <http://www.ree.es>

■ 2010

- Potencia instalada: 97 447 MW
- Demanda peninsular: 259 949 GWh
- Energías renovables: 35 % de la demanda

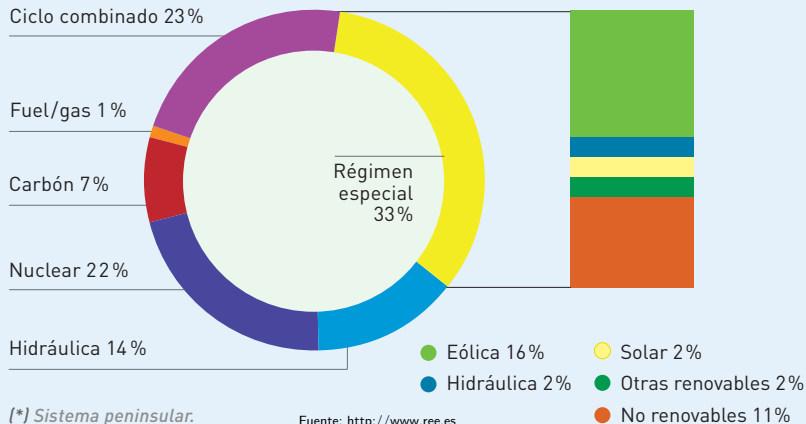
Potencia instalada a 31.12.2010 (*)



(*) Sistema peninsular.

Fuente: <http://www.ree.es>

Cobertura de la demanda anual de energía eléctrica (*)



Introducción: síntesis del sector eléctrico español (III)

Fuente: <http://www.ree.es>

Balance de energía eléctrica (GWh)

	Andalucía	Aragón	Asturias	Baleares	C. Valenciana	Canarias	Cantabria	Castilla-La Mancha	Castilla y León	Cataluña
Hidráulica	1.560	3.106	1.919	-	1.450	0	533	697	11.584	4.165
Nuclear	0	0	0	-	9.549	-	0	8.243	3.830	24.909
Carbón	7.489	1.948	5.289	3.381	0	-	0	255	301	516
Fuel/gas [1] [2]	0	0	0	1.371	0	5.900	0	1.765	0	60
Ciclo combinado	16.136	5.398	1.777	1.196	9.212	2.795	0	3.063	0	8.530
Régimen ordinario	25.185	10.452	8.985	5.948	20.211	8.695	533	14.023	15.715	38.180
- Consumos generación	-821	-364	-470	-377	-606	-487	-7	-919	-379	-1.480
Régimen especial	13.358	9.053	2.241	269	4.472	686	1.877	11.572	12.809	8.463
Generación neta	37.721	19.142	10.756	5.840	24.077	8.894	2.402	24.676	28.145	45.163
- Consumos bombeo	-546	-311	-48	-	-1.185	-	-636	-146	-863	-494
+ Saldo Intercambios [3]	884	-8.686	-18	-	4.679	-	3.002	-11.961	-12.684	5.545
Demanda (b.c.) 2010	38.059	10.145	10.691	5.840	27.572	8.894	4.768	12.568	14.598	50.214
Demanda (b.c.) 2009	37.243	9.858	10.293	5.991	26.865	9.103	4.598	12.313	13.949	48.422
% 10/09	2,2	2,9	3,9	-2,5	2,6	-2,3	3,7	2,1	4,7	3,7

	Ceuta	Extremadura	Galicia	La Rioja	Madrid	Melilla	Murcia	Navarra	País Vasco	Total
Hidráulica	-	4.049	9.002	115	54	-	79	75	265	38.653
Nuclear	-	15.460	0	0	0	-	0	0	0	61.990
Carbón	-	0	5.811	0	0	-	0	0	487	25.478
Fuel/gas [1] [2]	238	0	0	0	0	219	0	0	0	9.553
Ciclo combinado	-	0	2.191	1.306	0	-	7.410	3.508	6.072	68.595
Régimen ordinario	238	19.509	17.005	1.422	54	219	7.488	3.583	6.825	204.270
- Consumos generación	-21	-625	-488	-40	-1	-14	-260	-83	-130	-7.572
Régimen especial	0	1.163	12.732	1.419	1.584	8	2.544	4.465	3.151	91.866
Generación neta	218	20.046	29.250	2.801	1.637	214	9.772	7.965	9.846	288.563
- Consumos bombeo	-	-77	-152	0	0	-	0	0	0	-4.458
+ Saldo Intercambios [3]	-	-15.328	-8.366	-1.036	29.237	-	-1.730	-2.768	10.896	-8.333
Demanda (b.c.) 2010	218	4.641	20.731	1.766	30.874	214	8.043	5.198	20.742	275.773
Demanda (b.c.) 2009	212	4.483	20.006	1.713	29.817	206	7.832	4.945	19.864	267.711
% 10/09	2,8	3,5	3,6	3,1	3,5	3,6	2,7	5,1	4,4	3,0

[1] Incluye GICC (Elcogás). [2] En el sistema eléctrico de Canarias se incluye la generación con grupos auxiliares. [3] Valor provisional. Incluye saldo de intercambios de energía entre comunidades e internacionales. Un valor positivo indica un saldo de intercambios importador y un valor negativo exportador.

■ Búsqueda de nuevas fuentes de energía

■ Renovables

- hidráulica
- eólica onshore y offshore: *European Wind Energy Association*
- solar
- biomasa
- biocombustible
- geotérmica
- océano

■ Generación distribuida (GD): renovable y no renovable: *Tecnologías existentes de GD*

■ ¿Tecnologías futuras?:

<http://www.alternative-energy-news.info/technology/future-energy/>

■ Mejora de la tecnología

■ Búsqueda de nuevos materiales

- ↑ eficiencia fotovoltaica
- ↑ capacidad de almacenamiento
- LEDs para iluminación
- Superconductividad: *Tres Amigas Superstation*

■ Mejora de los diseños actuales

- Aerogeneradores de mayor potencia: *ENERCON 126m 7.5MW*
- Carbón + captura y almacenamiento de CO₂: *Carbon Capture Storage*
- ↑ uso de la electrónica de potencia + control
- Transmisión en corriente continua (HVDC): *ABB HVDC*
- Smartgrids: *http://www.smartgrids.eu/vision_and_strategy...*
- FACTS: *ABB FACTS*
- Optimización de consumos y pérdidas: *IDAE ahorro y eficiencia energética*

Índice

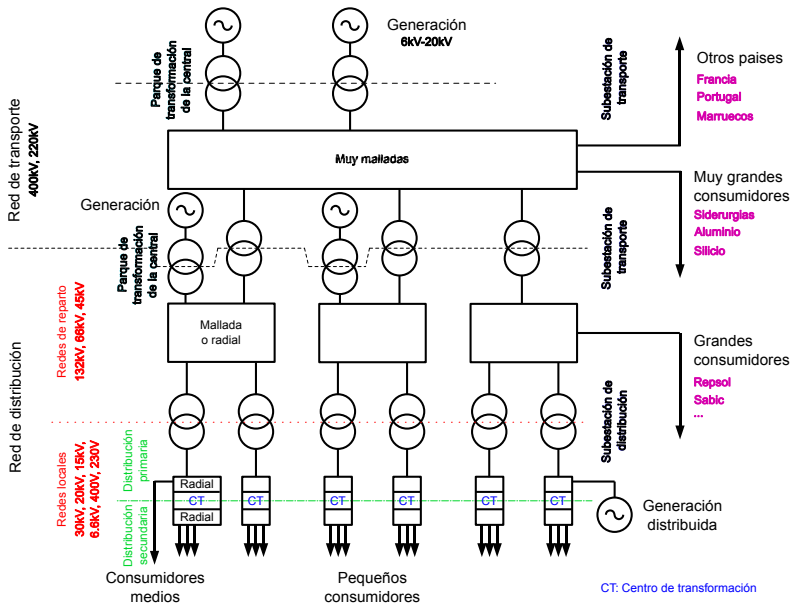
1 Introducción

2 Niveles del sistema eléctrico

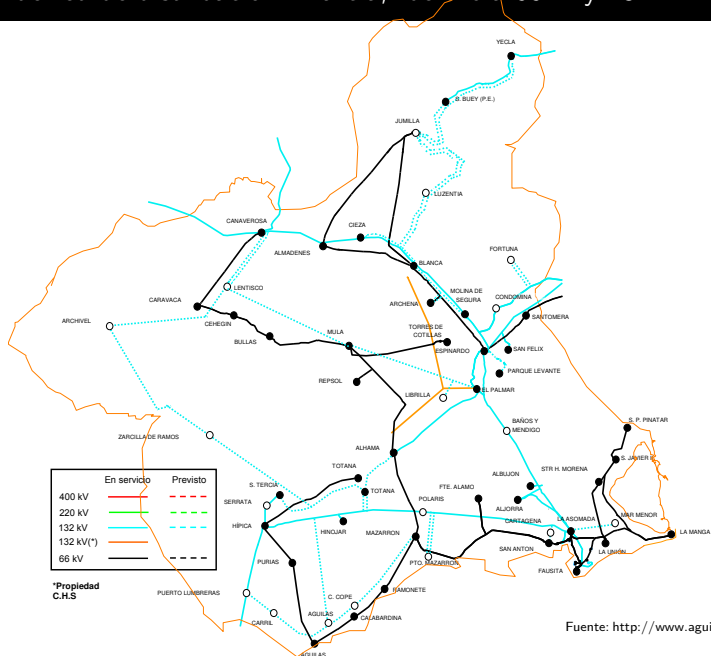
Niveles del sistema eléctrico (I)

- Los sistemas eléctricos se estructuran en
 - Producción \Rightarrow Generación
 - Transporte
 - Distribución
 - Consumo
 - Sistemas asociados \Rightarrow Protección y control
- Cada estructura requiere tensiones diferentes y se interconectan con *transformadores*
 - Generación \Rightarrow 6kV—20kV
 - Transporte \Rightarrow 400kV, 220kV
 - Topología mallada para incrementar la fiabilidad y el mantenimiento
 - Distribución
 - Topología principalmente radial pero a tensiones altas puede ser mallada
 - Clasificación:
 - *Redes de reparto*: 132kV, 66kV, 45kV y *locales*: 30kV, 20kV, 15kV, 6.6kV, 400V, 230V
 - *Distribución primaria*: 30kV, 20kV, 15kV, 6.6kV y *secundaria*: 400V
- Subestaciones
 - Son las interconexiones del sistema eléctrico (nudos)
 - Tipos:
 - Parque de transformación de las centrales
 - Subestaciones de transporte \Rightarrow 400kV y 220kV
 - Subestaciones de distribución \Rightarrow 132kV, 66kV, 45kV 30kV y 20kV
 - Centro de transformación \Rightarrow Alta tensión ($> 1000V$) a baja tensión ($\leq 1000V$)

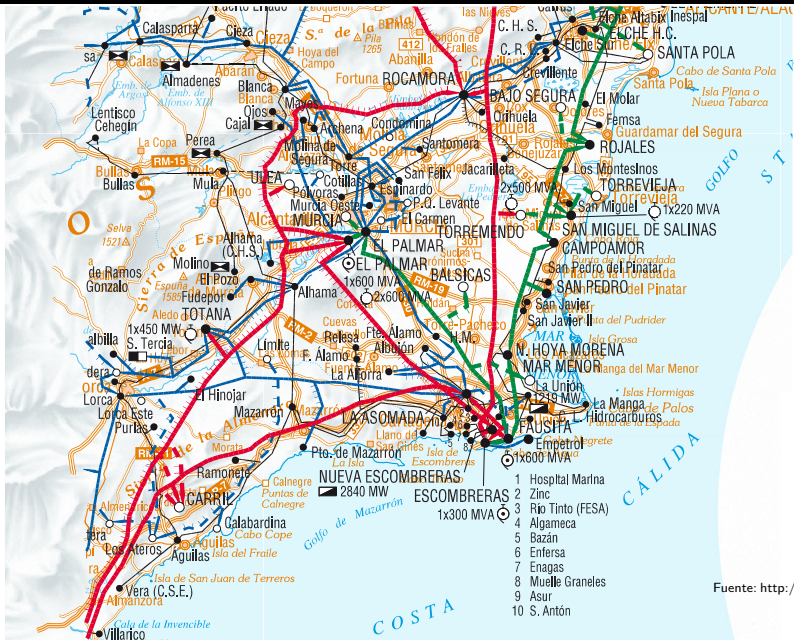
Niveles del sistema eléctrico (II)



Ejemplo de red de distribución: Murcia, Iberdrola 66kV y 132kV

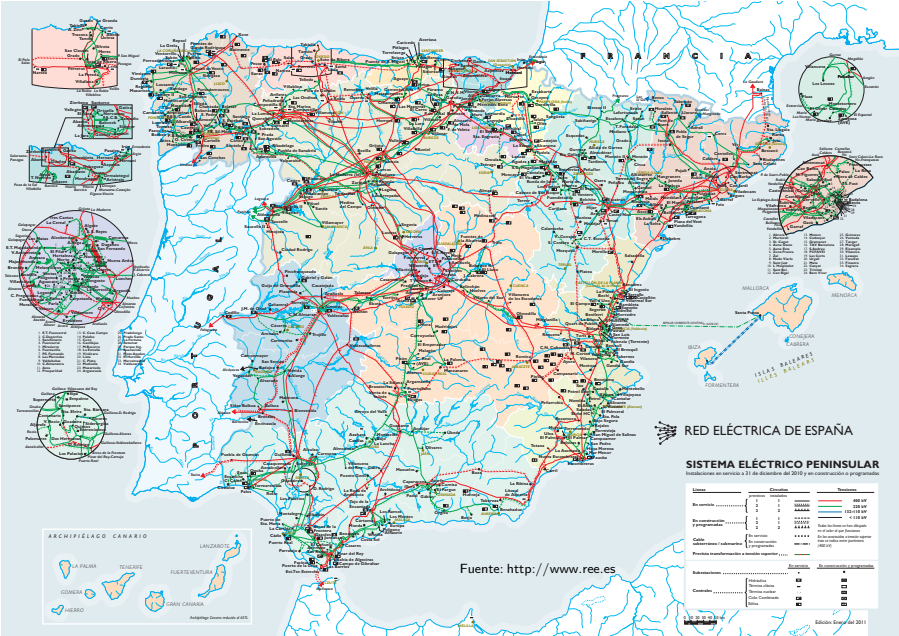


Ejemplo de red de transporte (I): detalle Murcia



Fuente: <http://www.ree.es>

Ejemplo de red de transporte (II): España



Energía intercambiada por las interconexiones con otros países



Fuente: <http://www.ree.es>

¿Porqué se interconectan los sistemas eléctricos?

- El número de empresas que operan el sistema eléctrico es variable
 - Monopolio
 - Francia ⇒ EDF hasta 1999
 - Pocas empresas
 - España
 - Muchas empresas
 - Estados Unidos
- Los sistemas de energía eléctrica se interconectan entre sí
 - Ventajas
 - Construcción de grandes y económicas centrales de generación ⇒ Economías de escala
 - Reducción de reservas de generación en las compañías ⇒ Ayuda frente a emergencias
 - Intercambio de generación ⇒ Comercio entre ellas
 - Inconvenientes
 - Un fallo en una pequeña parte puede tener grandes repercusiones en el resto ⇒ Apagón que afecte a millones de usuarios
 - El SEE Español pertenece al ENTSO-E (European Network of Transmission System Operators for Electricity)
 - Es el sistema eléctrico formado por la interconexión del sistema eléctrico Español junto con el de 23 países de Europa
 - Antiguamente: UCTE (Union for the Coordination of the Transmission of Electricity)

European Network of Transmission System Operators for Electricity (ENTSO-E, antigua UCTE)

