



Física y Tecnología Energética

4 - Generación de Energía Eléctrica. La Red Eléctrica

Energía eléctrica.

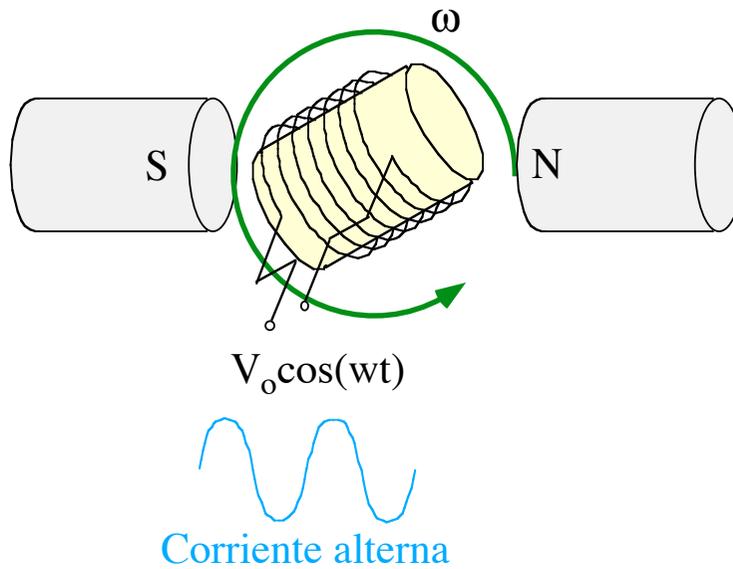
- Gran parte de la energía se consume en forma de energía eléctrica
 - En el mundo desarrollado de 5000 a 20000 kWh / hab
 - su consumo aumenta más (6% / año) que el de energía en general (3% / año)
- Es fácil de generar
 - Trabajo mecánico  Energía eléctrica
- Es fácil de transportar
 - Red de cables conductores
- Es limpia, fácil y versátil de usar
 - Motores de trabajo mecánico.
 - Luz.
 - Calor.
 - Energía química (electrólisis).
 - Electrónica

Generación de electricidad

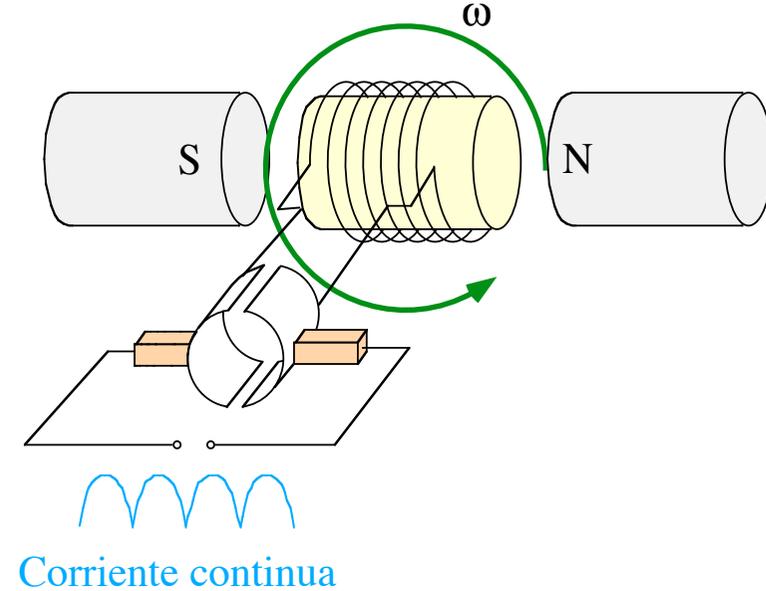
Haciendo rotar una bobina en un campo magnético se induce en la misma una fuerza electromotriz y por lo tanto una corriente.

$$\varepsilon = nBS\omega \cos(\omega t)$$

Alternador



Dinamo



Son máquinas reversibles - Motores eléctricos

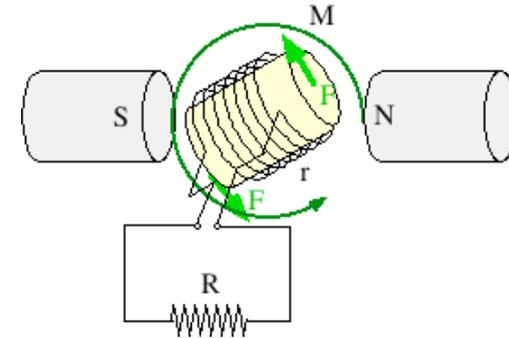
Generación de electricidad

•Para hacer girar la bobina, hace falta un par de fuerzas cuyo momento compense las fuerzas magnéticas

$$M = \frac{n^2 B^2 S^2 \omega}{R + r} \cos^2(\omega t)$$

– La potencia mecánica se convierte en eléctrica

$$P_{\text{mec}} = M\omega = \varepsilon I = \frac{\varepsilon^2}{R + r}$$



– La eficiencia depende de la resistencia interna de las bobinas y la resistencia de carga $r \ll R$

$$P_{\text{el-sal}} = VI = \varepsilon I - I^2 r$$

$$\eta = \frac{P_{\text{el-sal}}}{P_{\text{mec}}} = 1 - \frac{r}{R + r} = \frac{R}{R + r}$$

•Se consiguen alternadores de hasta 600 MW, que giran a 3000 rpm (50 Hz) con eficiencias $\eta = 98.5 \%$

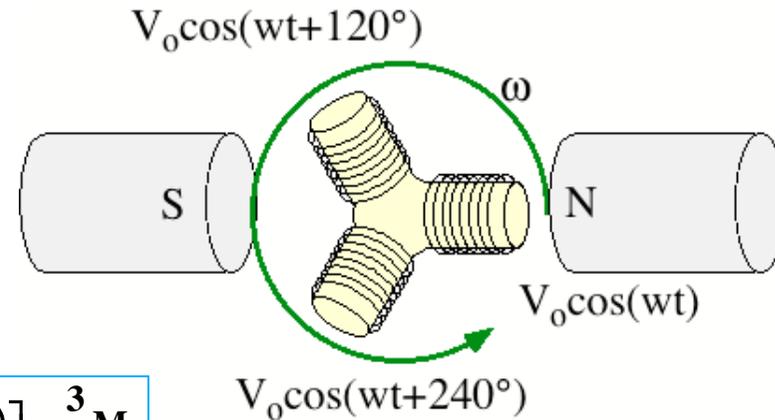
– Europa 50 Hz, USA y parte de Japón 60 Hz

Generación trifásica.

- Con una bobina el par de fuerzas es

$$M = M_o \cos^2(\omega t)$$

- Con tres bobinas desfasadas 120° , el par de fuerzas que hay que aplicar es constante



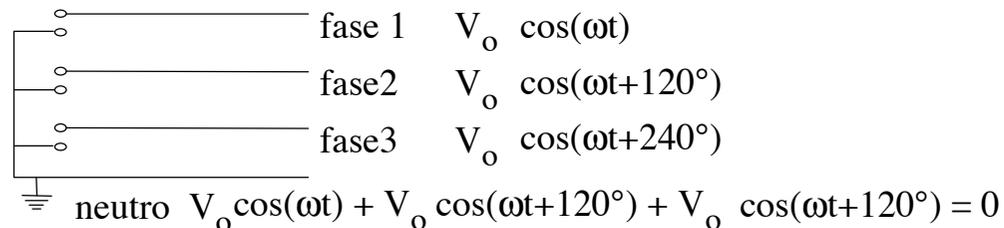
$$M = M_o [\cos^2(\omega t) + \cos^2(\omega t + 120^\circ) + \cos^2(\omega t + 240^\circ)] = \frac{3}{2} M_o$$

- Solo hacen falta cuatro cables
- Para el consumo doméstico se puede tomar una fase y el neutro o dos fases:

$$V_o \cos(\omega t) \quad V_o \cos(\omega t + 120^\circ) - V_o \cos(\omega t) = \sqrt{3} V_o \cos(\omega t - 30^\circ)$$

110 y 220 V, o bien 220 y 380 V (tensiones eficaces)

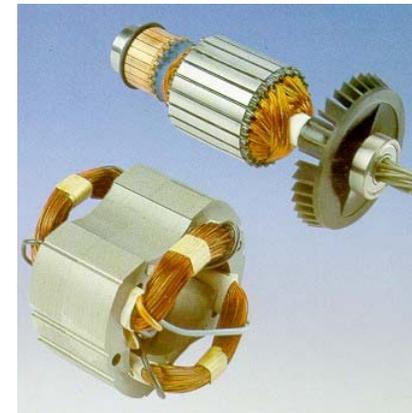
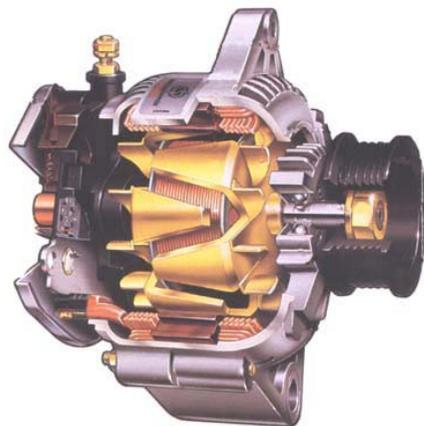
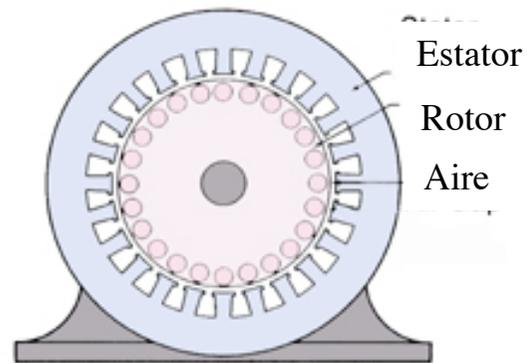
- Los motores pueden funcionar directamente con la corriente trifásica



Alternadores

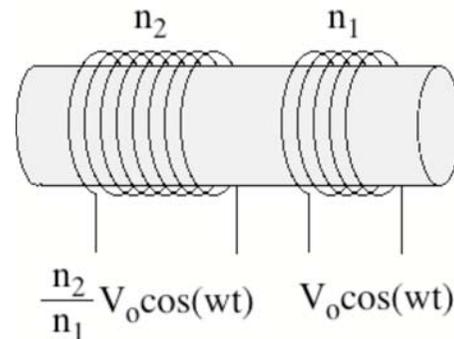
Para generar C.A. a 50 Hz el alternador debe girar a 3000 r.p.m si tiene dos polos

En uno multipolar $\frac{6000}{N^{\circ} \text{Polos}}$ r.p.m. .

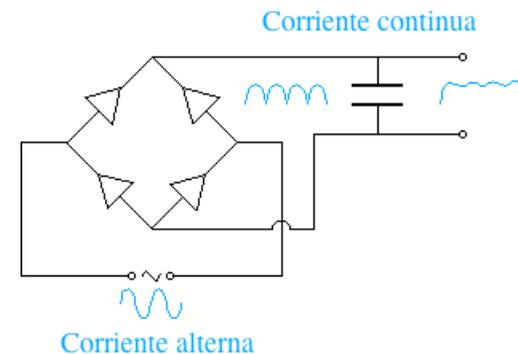


Corriente alterna

- Con la corriente alterna es fácil cambiar los voltajes
 - Transformador. Se genera un campo magnético variable que induce una fuerza electromotriz variable.
 - Las pérdidas por energía disipada en resistencia interna y magnetizaciones son pequeñas ($< 5\%$)



- La corriente alterna puede convertirse en continua empleando diodos (solo dejan pasar la corriente en un sentido)

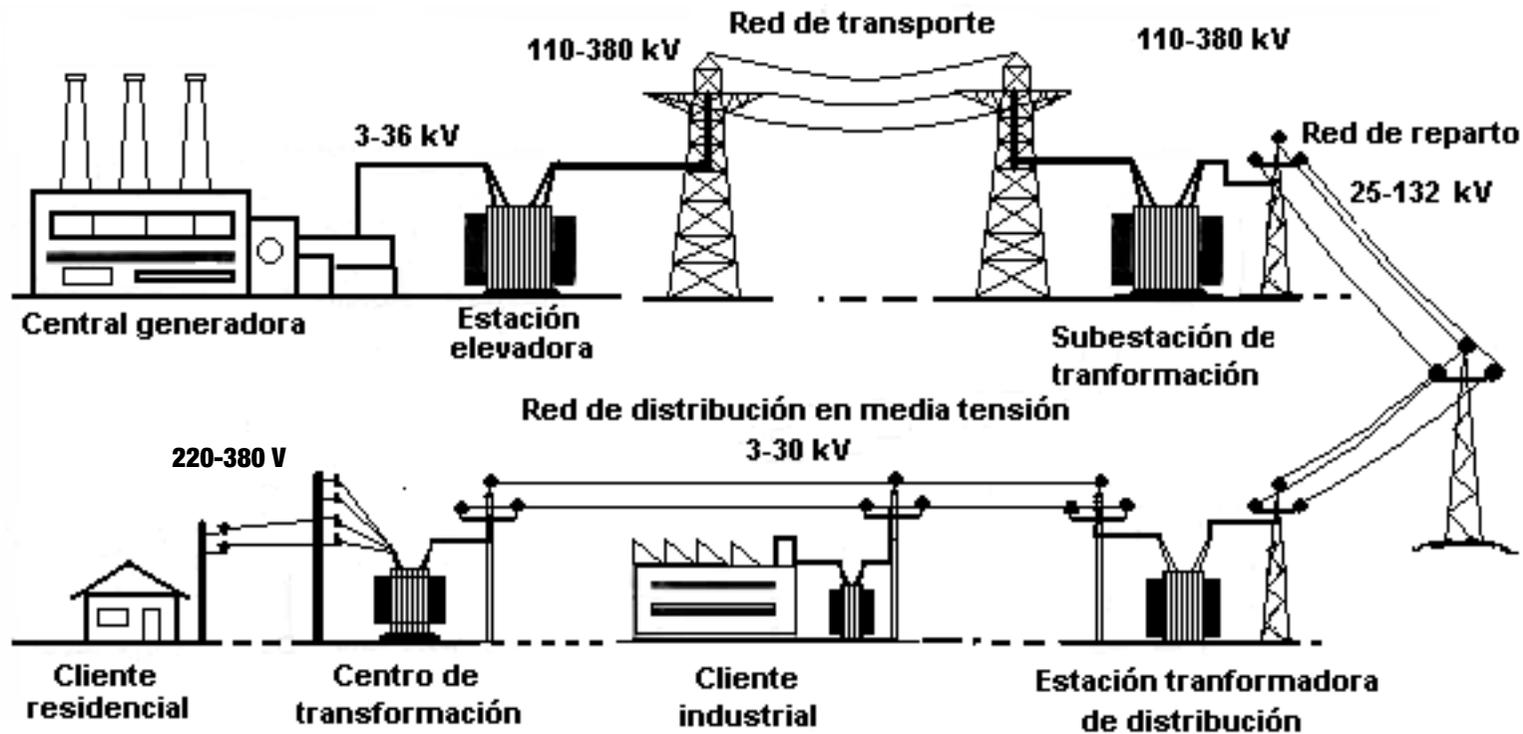


Transformador



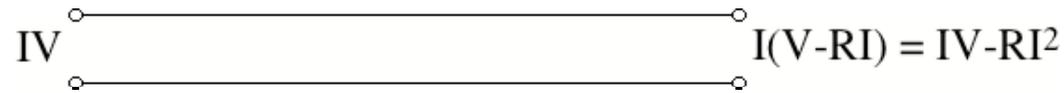
Los transformadores de alta potencia necesitan refrigeración

Distribución de la energía eléctrica



- **En las casas** - línea de 220/380 V, a 50 Hz y de 3 a 600 kW de potencia
- Hay que repartir la carga entre las tres fases
- El voltaje no puede variar más del 5% en las ciudades o del 10 % en entornos rurales alejados.

Transmisión de la energía eléctrica.



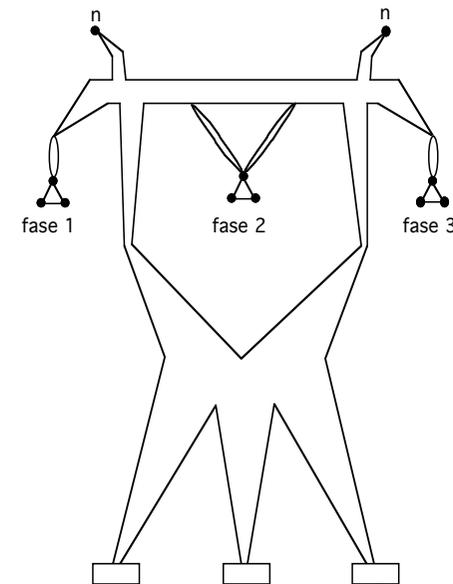
- La misma potencia transmitida con alto voltaje tiene menores pérdidas $\sim I^2$.

$R = 0,1 \text{ m}\Omega$	Potencia: $5\text{MW} = 500\text{kV} \cdot 10\text{A} = 50\text{V} \cdot 100\text{kA}$
	Pérdidas: $10 \text{ mW} \qquad 1\text{MW}$

- También se podría disminuir mucho la resistencia con cable más grueso \rightarrow es muy caro.
- Para no ionizar el aire a 500 kV es necesario:
un cable de Cobre o Aluminio con \varnothing 64 mm, y peso = 6 kg/m
o bien varios cables más pequeños separados 30 cm
- Se necesitan grandes torres de 20 m de altura con una separación de 150 - 300 m para no tener problemas con la catenaria.
- Cables subterráneos - deben estar muy bien aislados y separadas las tres fases \rightarrow más caro

- Problemas.

- Líneas expuestas a rayos, vientos y colisiones.
- Poco estéticas.
- Son necesarias pero nadie las quiere cerca de su casa.
- Aunque parece ser que no, ¿provocan enfermedades ?



Campos e.m. variables y salud humana

- Las ondas e.m. con frecuencia elevada (u.v., rayos X y γ) pueden alterar, ionizar y romper las moléculas
- Las ondas e.m. de baja frecuencia (radio, microondas, infrarojo) únicamente tienen efectos térmicos.
- Los campos magnéticos variables inducen corrientes en medios conductores

Las líneas de alta tensión generan ondas de 50 Hz con campos a 30 m de $E = 300 \text{ V/m}$ y $B = 0,2 \mu\text{T}$

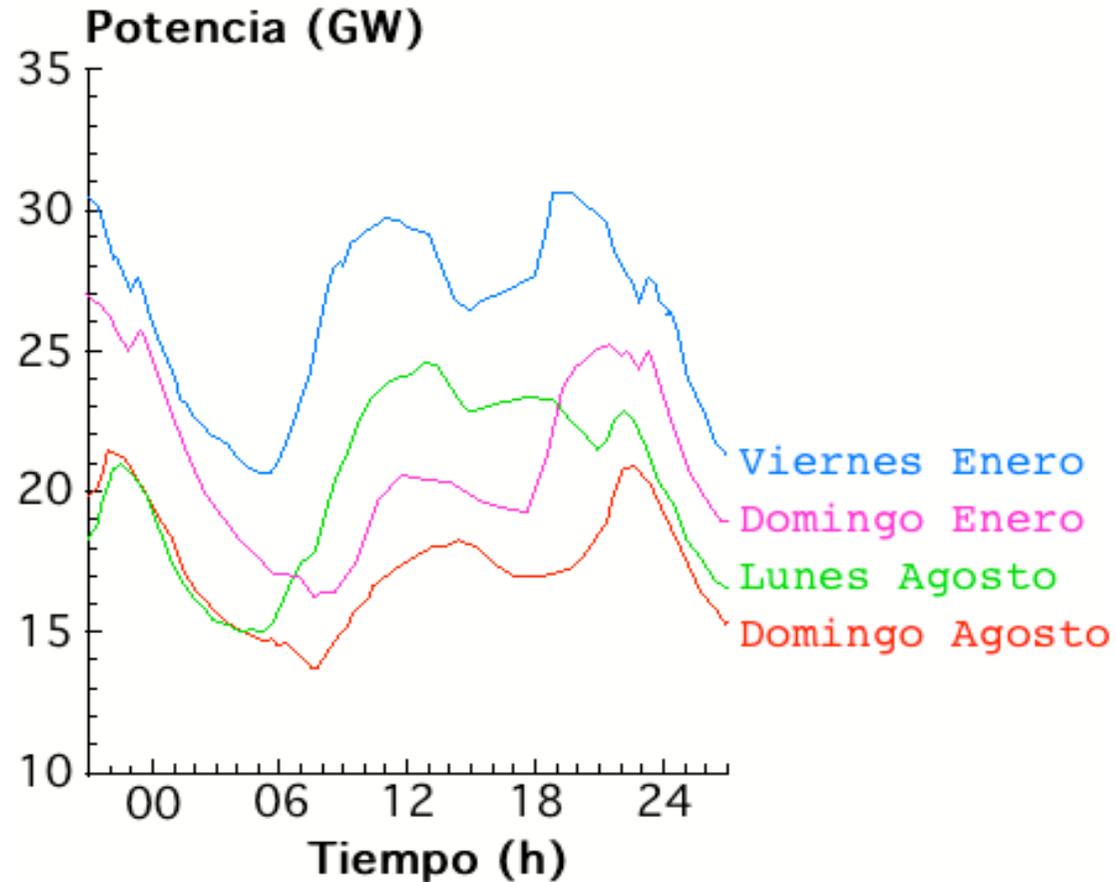
Desde los años 70 se han realizado numerosos estudios en campos de corta frecuencia:

- Epidemiológicos
 - No hay ningún efecto, excepto un ligerísimo aumento del riesgo de leucemia infantil
(La mera asociación estadística no sirve para establecer relaciones causa-efecto)
- Experimentación animal
 - Ningún efecto en mamíferos, malformaciones en pollos con campos e.m. intensos
- De mecanismos biofísicos
 - Para la intensidad de los campos e.m. creados por las líneas de alta tensión, ningún efecto molecular, bioquímico ni celular observable.
(La ausencia de prueba no constituye prueba de la ausencia)

La O.M.S recomienda el “Principio de precaución”

Consumo diario

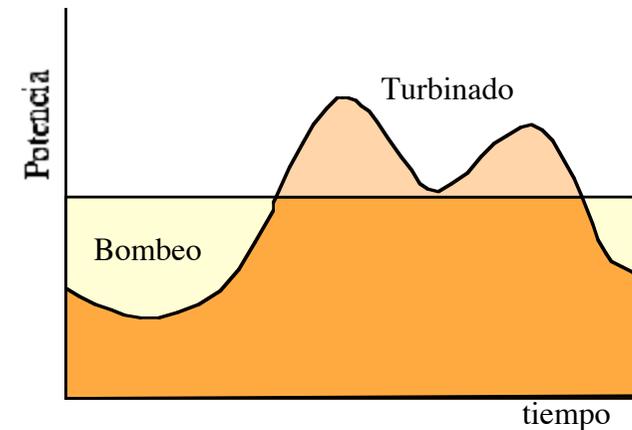
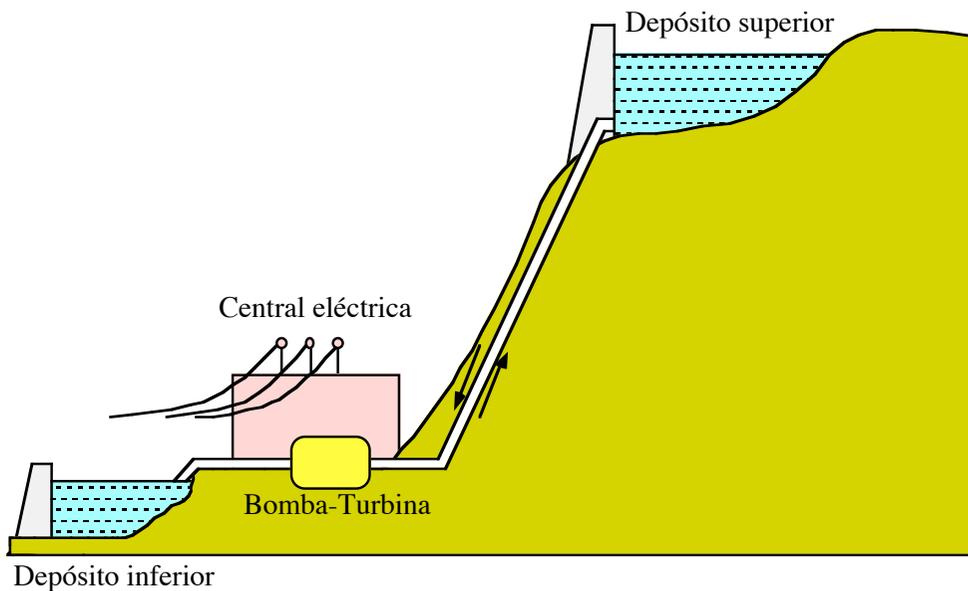
La demanda de potencia varía a lo largo del día, de la semana, del mes y del año.



Hay que producir en cada momento los GW que se consumen, no hay depósitos eléctricos eficientes

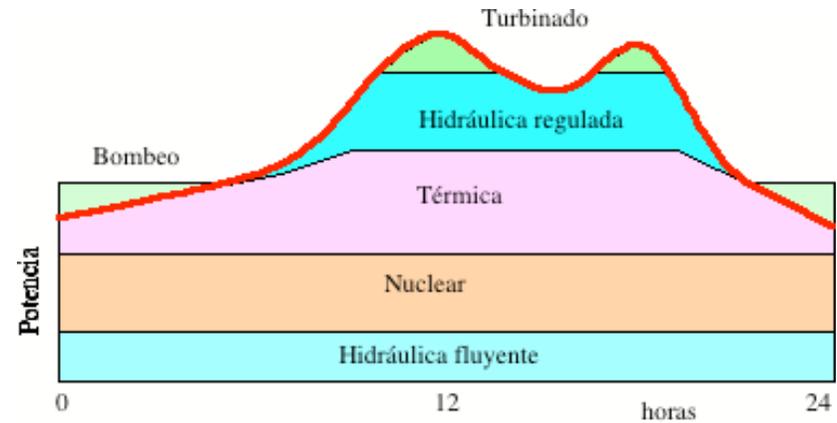
Bombeo y almacenamiento.

- Las centrales nucleares funcionan con potencia constante, las térmicas pueden variar su potencia pero lentamente, mientras que las centrales hidroeléctricas si son capaces de variar su potencia rápidamente.
- Para adaptarse a la demanda, manteniendo una producción constante, se bombea y almacena energía en las horas de baja demanda para consumirla en las puntas.



Red interconectada

- Para cubrir la demanda - producción en varias centrales.
 - Centrales térmicas, hidráulicas, nucleares ,... todas ellas conectadas a la misma red.
- Interconexión.
 - Resuelve muchos problemas. Flexibilidad y uso eficiente
- Capacidad de generación necesaria
 - Máximo anual de la demanda.
 - Sólo se consume $IV\cos\theta$ (potencia activa en kW) pero hay que generar IV (en kVA)
 - Condiciones de emergencia, Paros para mantenimiento.
- Margen de reserva
 - 15% del máximo. 2 unidades de producción mayores (7-10% cada una)
- Problemas técnicos.
 - El complejo problema de preveer el flujo de potencia necesario y como se va a proporcionar
 - Control de numerosos relés e interruptores de seguridad
 - Si falla el sistema interconectado (demanda > producción) hay bajones de tensión y se puede producir un gran apagón en áreas extensas.



Red española



Longitud de la red (2006)

- 17 042 km 400 kV
- 16 685 km 200 kV
- 21 366 km 110 kV
- Total 55 093 km**

Potencia instalada (2007)

- Hidroeléctrica 18 GW
- Eólica 13 GW
- T. Carbón 11 GW
- T. Fuel/gas 6 GW
- T. C Comb. 21 GW
- Nuclear 8 GW
- Total 86 GW**
- Máxima demanda 45 GW

Producción eléctrica en España (2007)

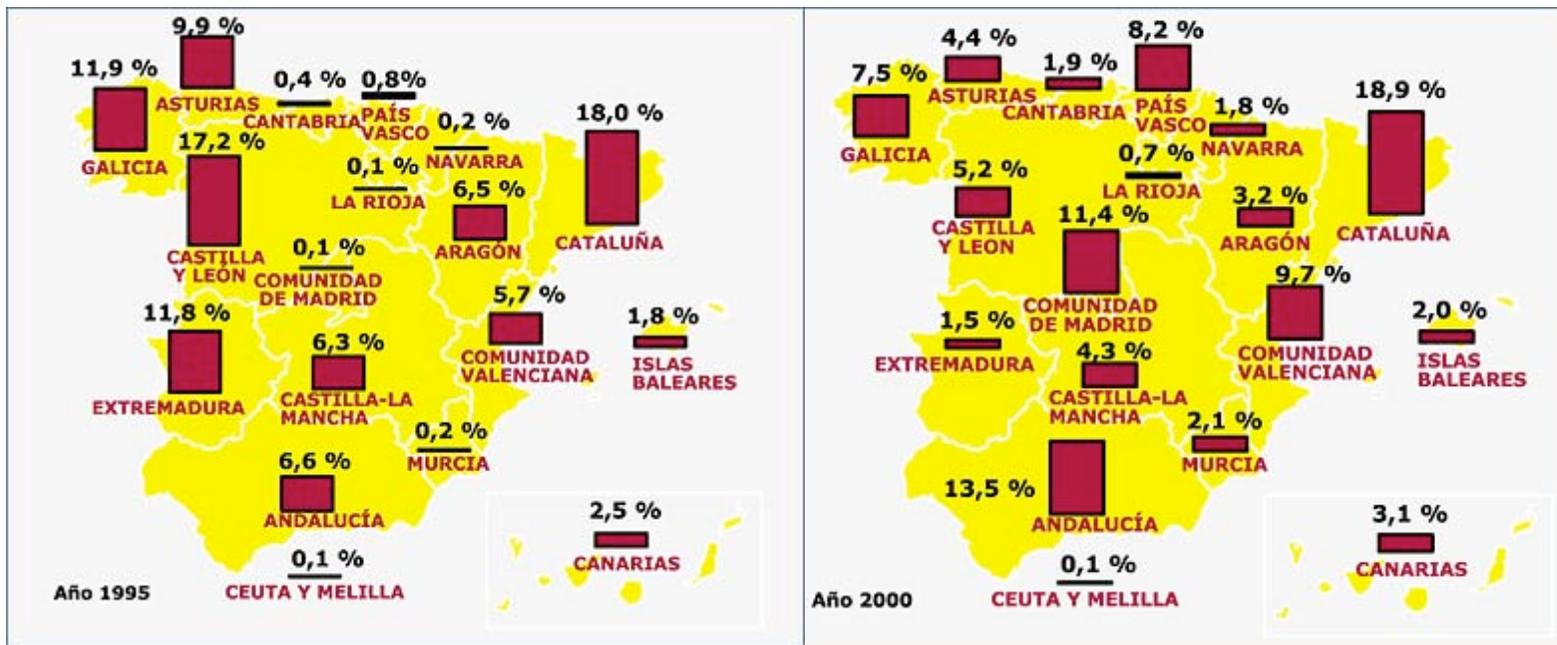
– Hidroeléctrica	26 381 GWh
– Eólica	26 668 GWh
– Térmicas	142 534 GWh
• Carbón	71 846 GWh
• Fuel/gas	2 384 GWh
• Ciclo combinado	68 304 GWh
– Nuclear	55 046 GWh
– Otras(Cogeneración, residuos..)	29 086 GWh
• Producción bruta	279 715 GWh
– Consumos propios	
• Generación	-8 655 GWh
• Bombeo	-4 421 GWh
• Producción Neta	266 639 GWh
• Importaciones(Francia)	5 356 GWh
• Exportaciones(Port.,Marr)	-11 159 GWh
– Saldo internacional	-5 803 GWh
• Energía en el Mercado	260 836 GWh
– Pérdidas por distribución	-20 969 GWh
• Consumo neto	239 867 GWh

Balance por Comunidades Autónomas

Energía eléctrica

Producción

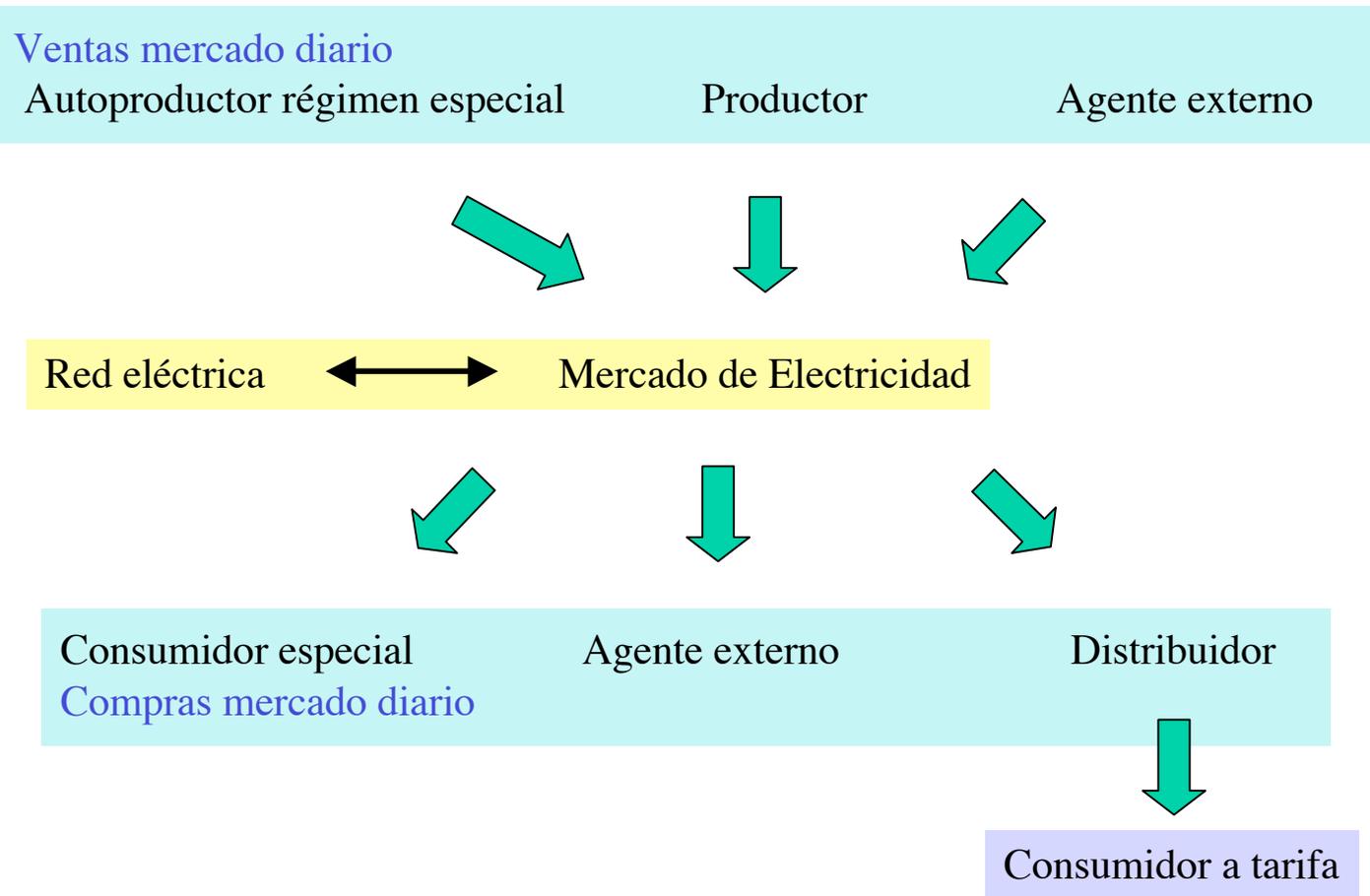
Consumo



Evolución del negocio eléctrico

- **Electrificación incipiente.**
 - Pequeñas productoras locales.
 - Concesiones municipales.
 - Industrias
- **Electrificación madura**
 - Grandes compañías regionales.
 - Redes propias con varias plantas generadoras.
 - Monopolios naturales.
 - Comisiones reguladoras del estado.
 - Precios fijos.
 - Medios de producción también regulados y planificados por el estado.
- **Actual. Liberalización**
 - Separación de producción y distribución
 - Todas las redes interconectadas. La red se gestiona independientemente.
 - Mercado mayorista de Producción eléctrica. No hay precios fijos.
 - Derecho de terceros y pequeños productores al acceso a la red de transporte y distribución.
 - Libertad de contratación del cliente.
- **Futuro. Redes continentales y mundiales.**

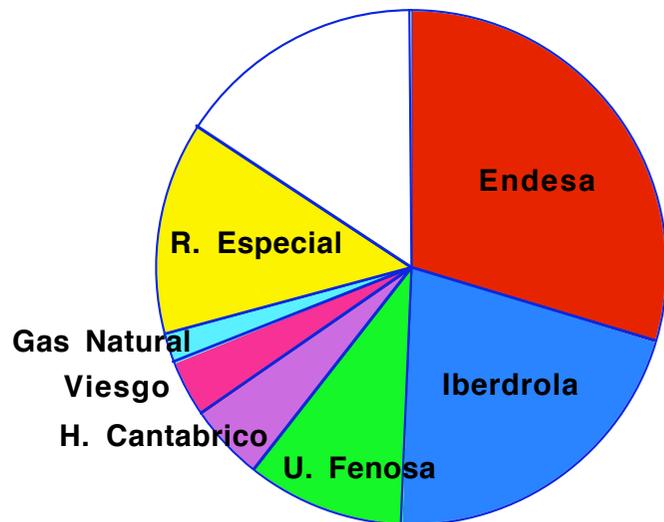
Agentes del mercado eléctrico



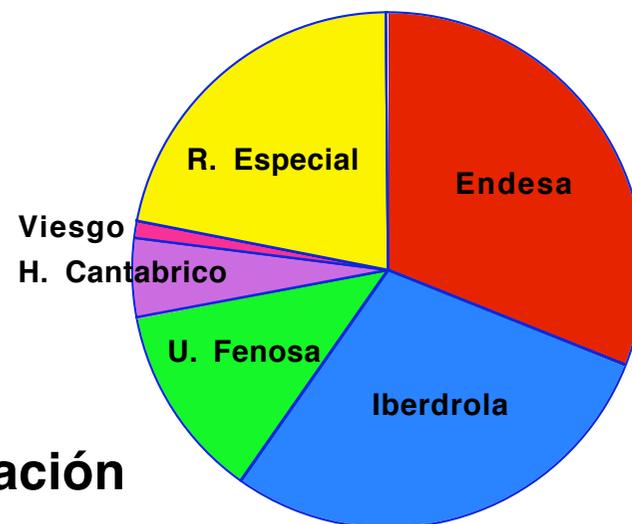
En el mercado intradiario todos pueden ser compradores y vendedores

Reparto del mercado eléctrico español (2005)

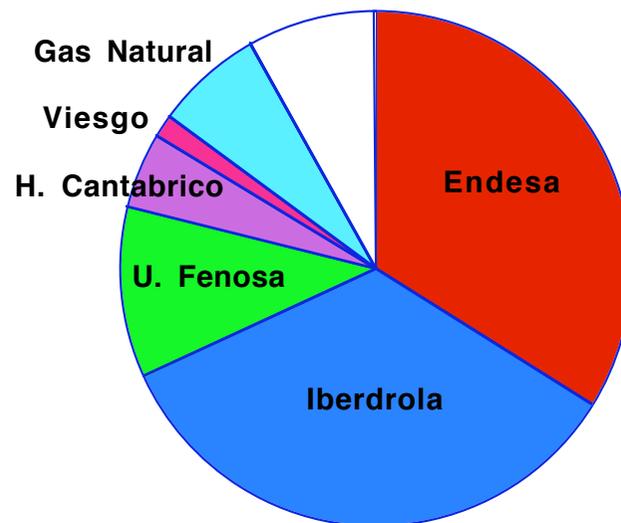
Generación



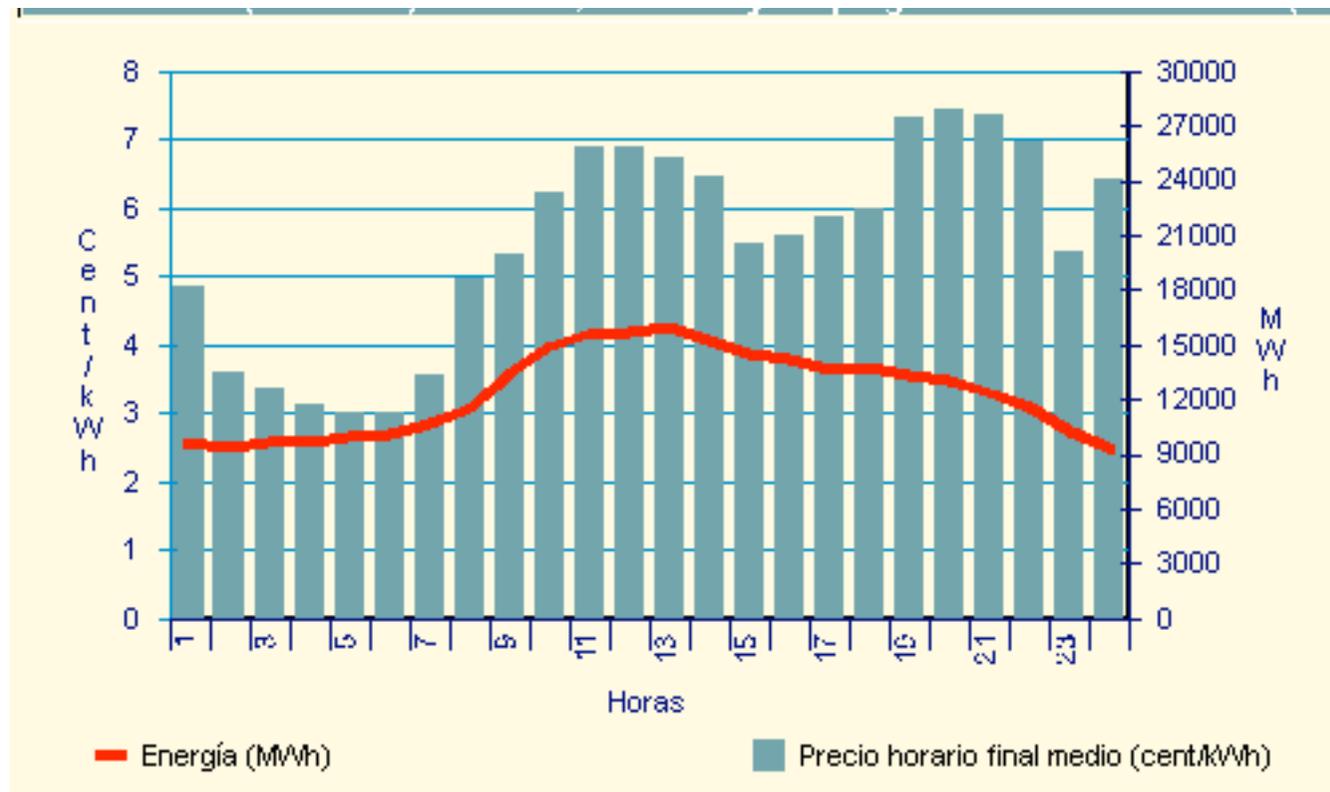
Distribución



Comercialización



Variaciones del Mercado Eléctrico



Precio de la electricidad en España (2008)

Tarifa eléctrica

- Se cobra por potencia y por consumo de energía

$$t = t_p + t_e \cdot c$$

- Baja Tensión $t_p = 1,634 \text{ €/kW al mes}$
 $t_e = 0,093 \text{ €/kWh}$
- Alta Tensión $t_p = 2,1 - 12,0 \text{ €/kW/mes}$
 $t_e = 0,01 - 0,09 \text{ €/kWh}$

Además

- Impuestos especiales 5,1%
- Alquiler de contadores 0,81 €/mes
- Iva 16%

Precios medios en otros países europeos

Centimos €/kWh	Industrial	Doméstico	Centimos €/kWh	Industrial	Doméstico
UE25	8,65	14,16	España	7,57	11,47
Alemania	9,94	18,32	Finlandia	5,63	10,78
Dinamarca	8,01	23,62	Francia	5,78	12,05
Holanda	9,57	20,87	Grecia	6,68	7,01
Italia	12,08	21,08	Hungría	7,61	10,75
Luxemburgo	8,95	16,03	Reino Unido	8,22	10,2