

La Electricidad cambió el Mundo *Introducción II*

Luis Ximénez Herráiz
Doctor en Ciencias y Doctor en Humanidades
Tutor Máster Historia de la Ciencia

Necesidades

En cualquier caso, para poder utilizar la energía eléctrica, bien sea continua o alterna, hay que:

- *PRODUCIRLA en las Centrales Eléctricas.*
- *TRANSPORTARLA a los centros de consumo*
- *DISTRIBUIRLA a los usuarios.*
- *ALMACENARLA si ello fuere posible*

Damos a continuación unos conceptos muy generales de estos procesos.

Producción de energía eléctrica

Como postuló Faraday y matizó Maxwell más adelante, cuando tenemos una espiral, fabricada de un material conductor¹, dentro de un campo magnético y la hacemos girar sobre su eje, las líneas de fuerza del campo magnético, inducirán, sobre la espira del conductor, una corriente eléctrica².

Este es el principio fundamental de los generadores de corriente.³

Podemos decir que gracias a este dispositivo, ***convertimos la energía mecánica en energía eléctrica.*** Este principio es la base

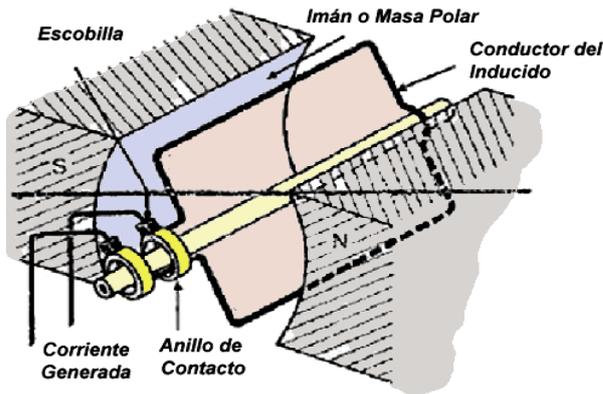
¹ Como el Cobre, entre otros conductores.

² ALCALDE SANMIGUEL, P.: *Electrotecnia*, Editorial Paraninfo, Madrid (2011) pp.219 s.s.

³ *Dinamos y Alternadores.*

fundamental de los generadores de corrientes eléctricas, tanto de naturaleza continua como alterna.⁴

En un principio la corriente eléctrica⁵, se generaba mediante una serie de pilas⁶, conectadas en serie o en paralelo.⁷ Años después se obtenía mediante el movimiento generado en maquinas de vapor, que movían primitivos generadores de electricidad.



En la actualidad, la electricidad, que es una forma de energía, puede producirse de diferentes maneras. Recibe diferentes nombres según su origen.

Estudiamos brevemente, de forma muy simple, los mecanismos de generación de corriente eléctrica, en cada una de ellas.

GENERADOR ELEMENTAL DE ELECTRICIDAD *Convertor de energía mecánica en energía eléctrica.*

Fuente: *Elaboración propia*

FUENTES DE ENERGÍA	
RENOVABLES	NO RENOVABLES
Agua almacenada en los pantanos (energía hidráulica) El Sol (energía solar) El viento (energía eólica) Las mareas (energía mareomotriz)	Combustibles fósiles: Carbón, Petróleo, Gas Natural. Geotérmica Uranio (energía nuclear de fisión)
Fuente: Red Eléctrica Española	

Centrales Hidroeléctricas

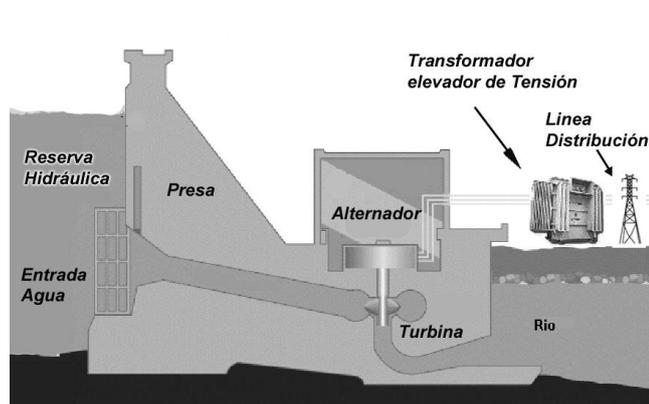
⁴ Todos los datos sobre sistemas de producción de corriente eléctrica, han sido tomados del Área de Educación de Red Eléctrica Española, en <http://www.ree.es/educacion/educacion.asp>

⁵ También se llamaba entonces "fluido eléctrico"

⁶ Tipo Volta

⁷ Ver tratados elementales de electricidad.

Fueron las primeras centrales eléctricas importantes que se construyeron. Una central hidroeléctrica es aquella en la que la energía potencial del agua, almacenada en un embalse, se transforma en energía cinética necesaria para mover el rotor de un generador, y posteriormente transformarse en energía eléctrica. Por ese motivo, se llaman también centrales hidráulicas. Se cimentan en los cauces de los ríos, creando un embalse, para retener el agua. Para ello se construye un muro grueso de piedra, hormigón u otros materiales, apoyado generalmente en los laterales de dos montañas que sostienen el cauce del río.



PRODUCCIÓN ENERGÍA ELÉCTRICA

Origen Hidráulico

Fuente: Elaboración propia

La masa de agua embalsada se conduce a través de una tubería, hacia los álabes de una turbina, que suele estar a pie de presa, la cual está conectada al generador. Así, el agua transforma su energía potencial en energía cinética, consiguiendo mover los componentes móviles del generador de corriente, que según su diseño, pueden ser de corriente continua o alterna.

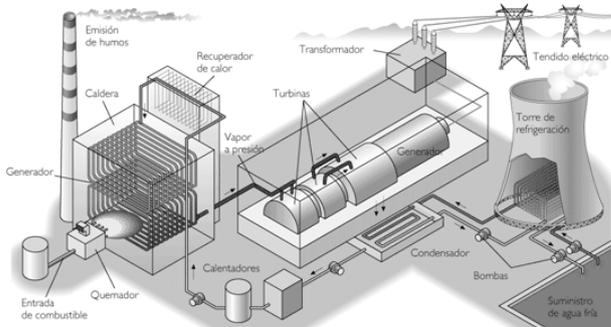
Centrales Térmicas

Una central térmica para producción de energía eléctrica, es una instalación en donde la energía mecánica que se necesita para mover el rotor del generador y por tanto para obtener la energía eléctrica, se obtiene a partir del vapor formado al calentar agua en una caldera.

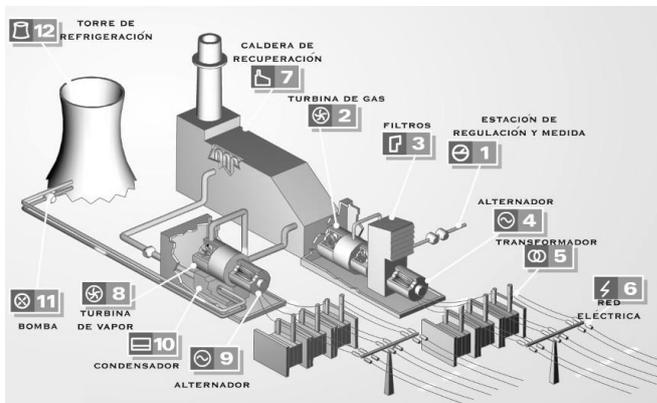
El vapor generado tiene una gran presión, y se hace llegar a las turbinas para que su expansión sea capaz de mover los álabes de las mismas.

Las denominadas termoeléctricas clásicas son de: carbón, de fuel o gas natural. En dichas centrales la energía de la combustión del carbón, fuel o gas natural se emplean para realizar la transformación del agua en vapor a presión.

Se denominan centrales de ciclo combinado en la generación de energía, a la coexistencia de dos ciclos termodinámicos en un mismo sistema; uno cuyo fluido de trabajo es el vapor de agua y otro, cuyo fluido de trabajo es un gas producto de una combustión.



Central Térmica



Central Térmica y de Ciclo Combinado

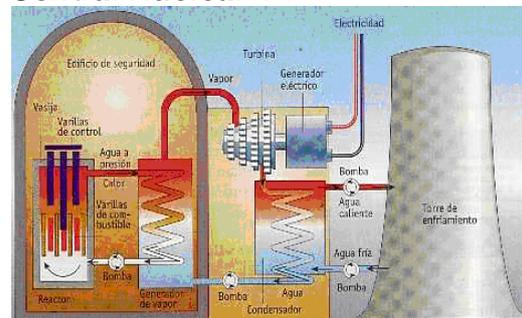
Fuente: Red Eléctrica de España

vapor. La principal ventaja de utilizar el ciclo combinado es su alta eficiencia, ya que se obtienen rendimientos superiores, al rendimiento de una central de ciclo único y mucho mayores que los de una de turbina de gas.

Centrales Nucleares

Una central nuclear, básicamente es una central térmica. La diferencia fundamental entre las centrales térmicas nucleares y las térmicas clásicas, reside en la fuente energética utilizada.

Central Nuclear



Fuente: Red Eléctrica de España

⁸ Todas las descripciones de los sistemas generadores de corriente eléctrica, en gran medida, se han tomado de la sección educativa en www.ree.es

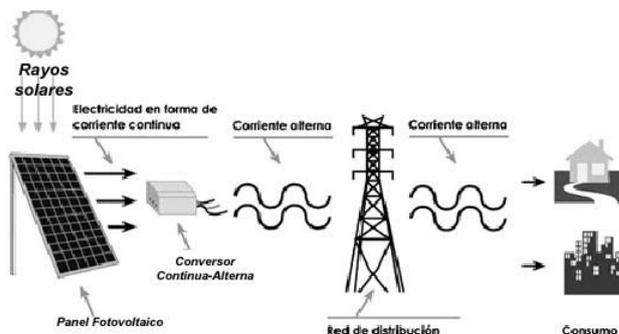
En las primeras, el uranio enriquecido y en las segundas, la energía de los combustibles fósiles.

Una central nuclear es, por tanto, una central térmica en la que actúa como *caldera* un reactor nuclear. La energía térmica se origina, por las reacciones de fisión en el combustible nuclear, formado por un compuesto de uranio⁹. El combustible nuclear se encuentra en el interior de una vasija herméticamente cerrada. El calor generado por el combustible del reactor y transmitido después a un refrigerante, por llamarlo de alguna manera, se emplea para producir vapor de agua, que va hacia la turbina, transformándose su energía, en energía eléctrica gracias al alternador que lleva acoplado.¹⁰

Centrales Solares

Una central solar, es una instalación en la que se aprovecha la radiación solar para producir energía eléctrica.¹¹

Este proceso puede realizarse mediante dos vías:



PRODUCCIÓN ELÉCTRICA Origen Solar

Fuente: Red Eléctrica Española

Fotovoltaica: Hacen incidir las radiaciones solares sobre una superficie de un cristal semiconductor, llamada célula solar, que es capaz de producir, de forma directa, una corriente eléctrica, gracias al efecto fotovoltaico.¹²

Este tipo de centrales se están instalando en países donde el transporte de energía eléctrica se debería de realizar desde mucha distancia, y hasta ahora su empleo es básicamente para iluminación, y algunas aplicaciones domésticas.

⁹ Que no detallamos aquí.,

¹⁰ Todo lo aquí citado es extraordinariamente simplista, ya que una central nuclear es muy compleja y su funcionamiento requiere muchos técnicos especializados.

¹¹ En este caso, no se convierte la energía cinética en energía eléctrica.

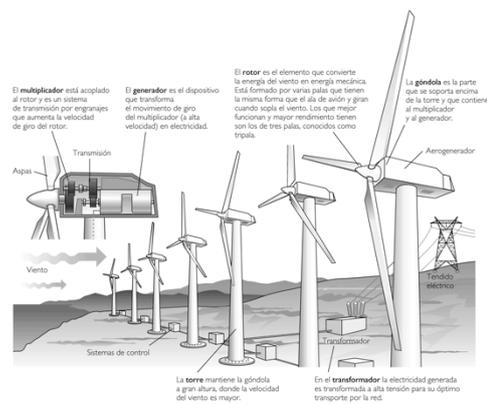
¹² El efecto Fotovoltaico, fue explicado por Albert Einstein y recibió el premio Nobel de Física en 1921.

Foto térmica: En las centrales solares que emplean el proceso foto térmico, el calor de la radiación solar, calienta un fluido y produce vapor que se dirige hacia la turbina produciendo posteriormente, energía eléctrica. El proceso de captación y concentración de la radiación solar se efectúa en unos dispositivos llamados helióstatos, que actúan automáticamente, para seguir la variación de la orientación del Sol respecto a la Tierra.

Centrales Eólicas

Una central eólica es una instalación en donde, la energía cinética del viento, se puede transformar en energía mecánica de rotación. Para ello se instala una torre, en cuya parte superior existe un rotor con múltiples palas,¹³ orientadas en la dirección del viento.

Las palas o hélices, giran alrededor de un eje horizontal que actúa sobre un generador de electricidad, que se denominan aerogeneradores. A pesar de que aproximadamente un 1% de la energía solar que recibe la Tierra, se transforma en movimiento atmosférico, esta energía no se distribuye uniformemente, lo que limita su aprovechamiento. Existen además limitaciones tecnológicas para alcanzar potencias superiores a un Megavatio, lo cual hace que su utilidad esté muy restringida.¹⁴ Un Parque Eólico no es más que un conjunto de aerogeneradores que envían toda su energía producida a la REE¹⁵.



Parque Eólico

Fuente: Red Eléctrica de España

Centrales Geotérmicas

Una central geotérmica son unas instalaciones que aprovechan la energía geotérmica para producir energía eléctrica.

¹³ Tres generalmente.

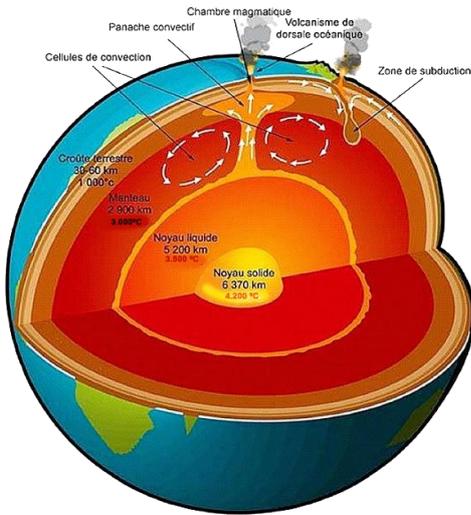
¹⁴ Este proceso cada vez es más eficaz. ¹⁴ El efecto Fotovoltaico, fue explicado por Albert Einstein y recibió el premio Nobel de Física en 1921.

¹⁴ Tres generalmente.

¹⁴ Este proceso cada vez es más eficaz.

¹⁵ Red Eléctrica Española

No es nada más que, una central térmica, donde la caldera para generar vapor de agua, ha sido reemplazada por el reservorio geotérmico donde la que la energía, es suministrada por el calor natural a distintas profundidades de la Tierra, en vez del petróleo u otro combustible.

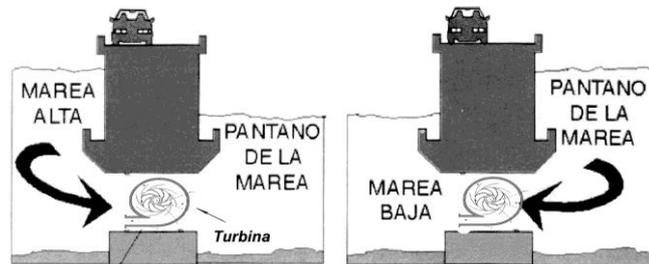


Este concepto de central eléctrica, ideal en principio, es muy difícil de llevar a la práctica, pues hay muy pocos lugares en el mundo que podrían satisfacer los requerimientos técnicos necesarios para su rentabilidad.

Central Mareomotriz

La energía mareomotriz es la energía asociada a las mareas provocadas por la atracción gravitatoria del Sol y principalmente de la Luna.

Las mareas se aprecian, como una variación del nivel del mar, que ocurre cada 12h 30 minutos y puede suponer una diferencia del nivel desde unos 2 metros hasta unos 15 metros, según la diferencia de la topografía costera.



Sistema idealizado de producción mareomotriz de Electricidad.

Fuente: Elaboración propia

La técnica utilizada consiste en encauzar el agua de la marea en una cuenca y, en su camino, accionar las turbinas de una central eléctrica. Cuando las aguas se retiran, también podrían generar electricidad, usando un generador de turbina reversible.

No es objeto de este trabajo discutir qué tipo de centrales productoras de corriente eléctrica resulta más eficaz y rentable.¹⁶

¹⁶ No es objeto de este trabajo estudiar los diferentes rendimientos de producción de energía eléctrica, de cada uno de estos tipos de centrales. Simplemente se citan para un mejor entendimiento de sus exigencias y necesidades

Transporte desde el lugar de producción a los grandes centros de consumo

Una vez “*fabricada*”, la electricidad, se debe transportar desde las centrales de producción, hasta los centros de consumo. Esta operación es realmente compleja.

Experimentalmente observamos, que al circular una corriente eléctrica por un conductor metálico, este se calienta.¹⁷ Es debido a que los metales, tienen generalmente una estructura cristalina,¹⁸ ocupando los átomos o moléculas que lo componen, los vértices de las celdas unitarias, y a veces también el centro de la celda o de sus caras.

Cuando el “*cristal*”¹⁹ es sometido a una diferencia de potencial, los electrones son impulsados por el campo eléctrico a través del sólido, debiendo en su recorrido atravesar la intrincada red de átomos que lo forman, generando una *cierta resistencia* al paso de la corriente y consecuentemente, un cierto calentamiento.

Este hecho, resulta extraordinariamente importante a la hora de transportar la corriente eléctrica a grandes distancias, pues como hemos visto, en un conductor que circula corriente eléctrica, parte de la energía cinética de los electrones, se transforma en calor debido a los choques que sufren con los átomos del material conductor por el que circulan, elevando la temperatura del mismo. Esta pérdida de energía es cedida en forma de calor. Este efecto es conocido como Efecto Joule²⁰. Lo definió de la siguiente manera:

[...] "La cantidad de energía calorífica producida por una corriente eléctrica, depende directamente del cuadrado de la intensidad de la corriente, del tiempo que ésta circula por el conductor y de la resistencia que opone el mismo, al paso de la corriente".

Matemáticamente se expresa como

¹⁷ En menor o mayor medida según su conductividad, sección, longitud, etc.

¹⁸ La estructura cristalina mecanográfica, es parecida a otras estructuras cristalinas más conocidas, como el Cloruro Sódico, pero con ciertas diferencias.

¹⁹ Componente unitario de una red cristalina, que puede ser de diferentes geometrías.

²⁰ En honor a su descubridor el físico británico James Prescott Joule, que lo estudió en la década de 1860.

$$Q = 0,24 \cdot I^2 \left[\rho \frac{l}{s} \right] t \text{ Calorías/segundo}$$

Donde:

- Q = energía calorífica disipada por el paso de la corriente
- l = intensidad de la corriente que circula y se mide en amperios.
- ρ = coeficiente de resistividad del conductor
- l = longitud en metros
- s = sección del conductor y se mide en mm²
- t = tiempo, el cual se mide en segundos.

De esta expresión observamos que al estar la Intensidad de la corriente, al cuadrado, cuanto menor sea esta, también menor será la pérdida de energía, en forma de calor.

Por todo ello, resulta muy importante disminuir la Intensidad de corriente, que circula por el conductor, para que disminuyan también las pérdidas de calor. La forma de conseguirlo consiste, como sabemos por los estudios de electricidad elemental, que la potencia *W*, es igual a la diferencia de potencial *V*, multiplicada por la intensidad *I*, de corriente que circula por el conductor.

$$W = V \cdot I$$

En otras palabras: si *mantenemos la potencia en un valor dado*, aumentando la diferencia de potencial, tendrá que disminuir la intensidad de corriente que circula por el conductor, para seguir manteniendo la potencia constante.

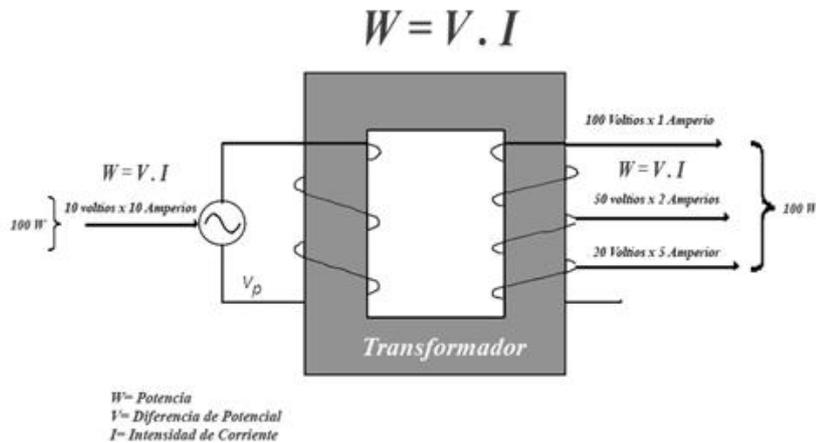
Esta operación se realiza con facilidad mediante el uso de un *transformador de corriente*.

En líneas generales, un transformador, es un dispositivo eléctrico que permite aumentar o disminuir el voltaje, en un circuito de corriente alterna, manteniendo la frecuencia.²¹

En otras palabras, el transformador es el dispositivo que convierte la energía eléctrica alterna, de un cierto nivel de voltaje, **en otra energía alterna de otro nivel muy superior**, por medio de la acción

²¹ Los primeros trabajos sobre el uso de transformadores fue realizado en los años 1884 y 1885 por los ingenieros húngaros Zipernowsky, Bláthy y Deri de la compañía Ganz

de un campo magnético²². Gracias a la expresión anterior, disminuirá la intensidad de la corriente transformada. Lo entenderemos mejor estudiando el gráfico siguiente:



Variación de la Intensidad de Corriente por la diferencia de potencial.
Fuente: Elaboración propia

En la figura observamos como al elevar la tensión de entrada, 10 voltios en el ejemplo, en un transformador de corriente, a 20 Voltios, la intensidad de corriente disminuye a 5 amperios. Si la subimos a 50 Voltios la intensidad baja a 2 Amperios y si alcanzamos 100 Voltios, la intensidad disminuye hasta un Amperio.

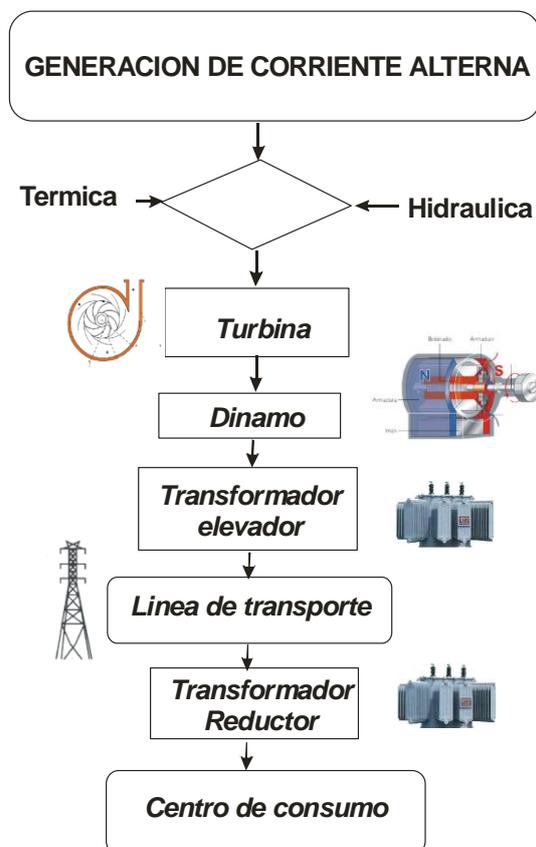
Esta ecuación es lineal hasta valores muy altos de diferencia de potencial. Por estas y alguna razón más²³, resulta muy eficaz, que en el centro de producción de energía eléctrica, la energía generada, se eleve hasta valores muy elevados, la diferencia de potencial, con lo cual *bajará mucho la intensidad de la corriente y consecuentemente la pérdida de energía en forma de calor cuando se transporte.*

²² Más información sobre transformadores puede encontrarse en PEREZ, P.A. : Transformadores de distribución, Teoría, calculo, construcción y pruebas, Reverte Ediciones, México D.F.(2001) pp. 6 ss., KOSOW, I.L.: Máquinas eléctricas y transformadores, Prentice Hall Hispanoamericana, México D.F.(1993), entre otros muchos.

²³ Otros efectos asociados al paso de corriente son la histéresis o las corrientes de Foucault.

En términos prácticos, en las centrales de producción de energía eléctrica, el voltaje de salida, suele ser muy alto, próximo a los 400.000 voltios, lo que equivale a intensidades de corriente muy bajas, con pérdidas en forma de calor, muy reducidas.

En los primeros años de la electricidad, los generadores eran de corriente continua, que como hemos visto, no es fácil, ni económico elevar su voltaje. Por esta razón todas las centrales **necesariamente deberían estar situadas próximas a los centros de consumo para evitar pérdidas en calor**, que reducirían el beneficio de sus propietarios.



Etapas de producción de corriente alterna, hasta los lugares de consumo.

Fuente: Elaboración propia

A partir de 1900, cuando empieza en España a desarrollarse la generación de corriente alterna, las centrales empezaron a situarse muy alejadas de los lugares de consumo²⁴, pues las altas tensiones del transporte, hacen muy pequeño el valor de las pérdidas por disipación de calor.

Como el consumidor, generalmente utiliza 220 voltios,²⁵ resulta necesario reducir drásticamente el elevado voltaje de transporte a los valores de utilización. Para ello, la necesaria bajada de tensión se realiza, también con transformadores,²⁶ en varias etapas, a distintas distancias del centro de producción.

²⁴ En ciertos lugares geográficos donde el agua puede embalsarse, próximos a los yacimientos carboníferos, en lugares costeros donde grandes barcos puedan llegar con materias primas energéticas, próximos a refinerías de petróleo, etc.

²⁵ En Madrid durante muchos años fue de 110 voltios.

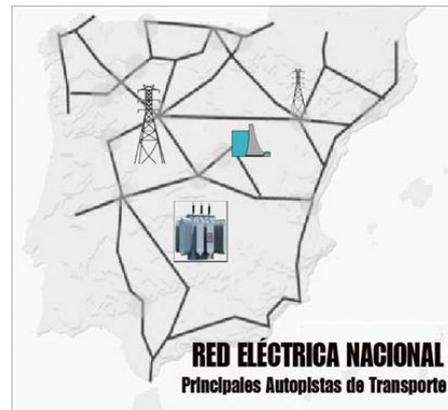
²⁶ Con transformadores que operan al revés, es decir a su entrada el voltaje es muy alto y a la salida su voltaje es menor.

Para hacer posible esta distribución de energía eléctrica, España está cubierta por una densa red de transporte de energía eléctrica, que incluye desde las principales líneas de alta tensión²⁷ hasta otros ramales secundarios, como el cable que lleva energía al frigorífico de nuestra cocina y a todos los puntos de consumo.

Como ya hemos citado, la tensión eléctrica desde el centro de producción, se eleva entre 100.000 y 400.000 voltios (100 - 400 KV) en las grandes estaciones de transformación que reciben energía, de las centrales de producción.

A partir de ahí, inicia su viaje por los gruesos cables de las líneas de alta tensión, soportados por altas torretas metálicas. Todo este desplazamiento tiene lugar en una red enormemente compleja, que llamamos Red Eléctrica Española.

Conecta todos los centros de producción, con todos los puntos de consumo. Su longitud total en España es de más de 600.000 Km; podría dar 15 veces la vuelta a la Tierra. La red de alta tensión, entre 110 y 400 Kw, tiene más de 50.000 Km. de longitud. El ángulo noroeste muestra una gran concentración de líneas de transporte (la zona de Valladolid en especial), pues ahí confluyen muchas líneas de las centrales térmicas e hidroeléctricas de Galicia, Asturias y León. Por el contrario, el ángulo sureste, fuera de la costa, presenta la menor densidad de líneas y subestaciones, debido a la ausencia de centrales de producción y a *la ausencia de grandes centros de consumo*.



Red Eléctrica Española

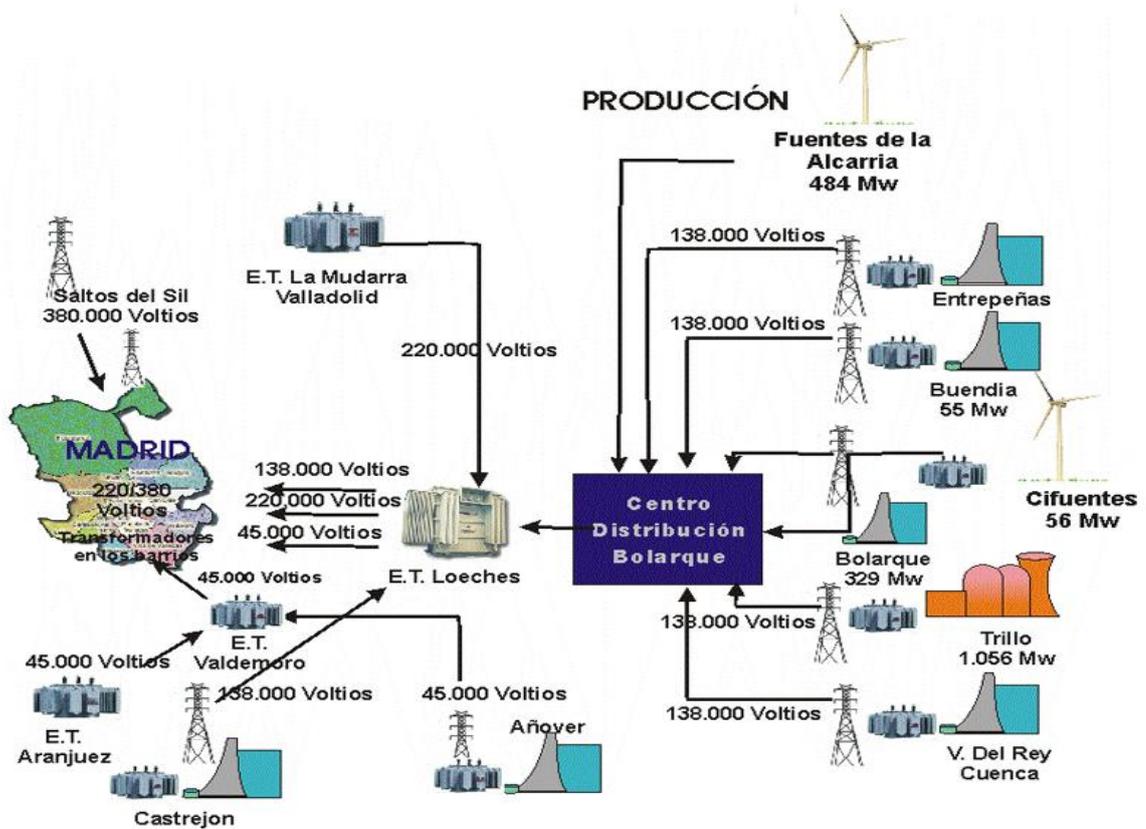
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de REE.

Tomamos como ejemplo, el suministro de electricidad a la ciudad de Madrid, representados en el esquema desde los centros de producción de energía eléctrica más próximos.

Observamos fácilmente, como el fluido eléctrico alcanza la capital de España, a la velocidad de la luz, proveniente desde los Saltos del Sil en Galicia, de los diferentes pantanos de las provincias de

²⁷ *Auténticas autopistas de comunicación*

Guadalajara, Cuenca y Toledo,²⁸ de la Central Nuclear de Trillo, de las nuevas centrales Eólicas, situadas en Fuentes de la Alcarria y Cifuentes, también en Guadalajara entre otras. La mayoría de los centros de producción elevan su voltaje hasta los 136.000 voltios con grandes transformadores de potencia. La energía mecánica o eólica es transformada en electricidad, desplazándose hasta Madrid, haciendo una parada en Loeches,²⁹ cerca de Alcalá de Henares, donde en muchos casos es reducida a unos 45.000 Voltios y desde allí camina hasta los alrededores de Madrid donde volverá a ser reducida nuevamente.³⁰



Centrales de Producción de Energía Eléctrica próximas a Madrid (2010)

Fuente: Esquema simplificado de elaboración propia con la información personal facilitada por las compañías eléctricas.

²⁸ Pantanos de Entrepeñas, Buendía, Bolarque, Villalba del Rey, Añover, Castrejon.

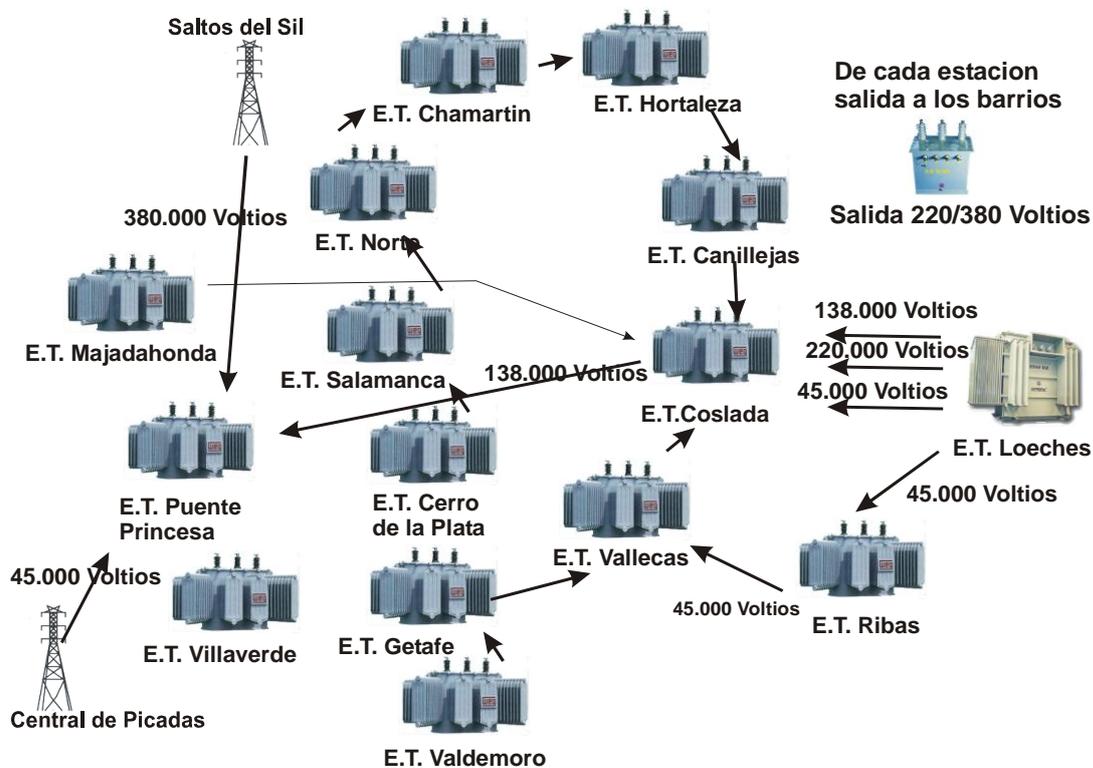
²⁹ También en otros lugares de menor relevancia.

³⁰ Los valores en voltaje, no siempre son los correctos. Únicamente pretendo poner de manifiesto la dificultad tecnológica de recibir grandes cantidades de energía desde puntos muy lejanos.

Distribución de la energía eléctrica.

Una vez toda la energía se encuentra en los alrededores de los centros de consumo, es necesario distribuirla a los barrios, mediante otros transformadores, necesarios para bajar la tensión, a niveles más bajos, en torno a los 5.000 Voltios (5 Kw), lo que se llama *media tensión*. Más adelante, otros transformadores reducen esa tensión a los niveles que necesita la industria o los hogares, 220 voltios en este último caso.

Por fin, cuando conectamos un aparato a un enchufe y cerramos el circuito, obtenemos trabajo útil de la corriente eléctrica (luz, calor, movimiento, etc.).³¹



Distribución de la Corriente Eléctrica en Madrid

Fuente: Esquema simplificado de elaboración propia con la información personal facilitada por las compañías eléctricas.

Esta complejísima red, nos da una idea de la cantidad de tareas que tienen que realizarse, para que en nuestras casas se encienda una simple bombilla, cuando presionamos el interruptor de

³¹ En los esquemas, deliberadamente se ha omitido algún punto de la red, por razones estratégicas.

encendido. Sin darnos cuenta, damos fin a un proceso de transporte de energía, de miles de kilómetros de longitud.

Aunque parezcan unos pasos sencillos, en la práctica es una tarea extraordinariamente complicada, con multitud de variables, llena de la más alta tecnología y que ocupa en España a miles de ingenieros superiores, de grado medio, contra maestros, personal especializado, electricistas, etc.

Almacenamiento de la electricidad

Por su propia naturaleza dinámica, no resulta fácil almacenar la energía eléctrica, tan fácilmente como en el caso del carbón, el gas o los barriles de petróleo. Existen métodos para hacerlo de manera más o menos indirecta. Los describimos brevemente a continuación.

Pilas y baterías químicas

Las pilas y baterías³² son capaces de almacenar electricidad en forma de *energía química*. A grandes rasgos, consisten en dos electrodos capaces de intercambiar cargas eléctricas positivas y negativas a través de una interfase, que se suele llamar electrolito. Si se conectan los dos electrodos con un cable, se produce una corriente eléctrica.

Los electrodos son diversos compuestos químicos (por ejemplo, níquel y hierro).

Producen energía eléctrica mientras se descargan, y se cargan al ser alimentados por electricidad.

Pilas y baterías no son una buena forma de almacenar electricidad comercial, pues tienen una potencia limitada y se pierde mucha de ella en el proceso de conversión de



Batería convencional
Fuente: Archivo personal

³² <http://www.sapiensman.com/electrotecnia/problemas9.htm>

energía eléctrica a energía química. No obstante, son imprescindibles para proporcionar electricidad a pequeños aparatos portátiles, con una gama de tensiones baja, en torno a los 10 a 24 voltios.

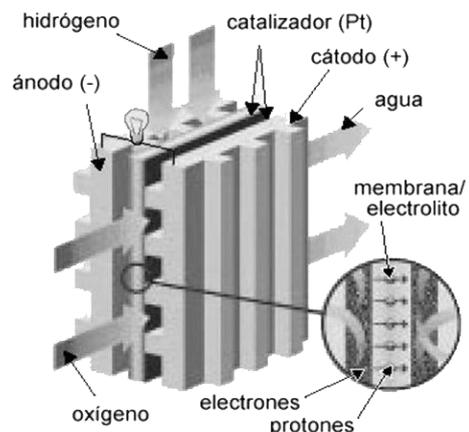
Las pilas y baterías desechables son un tipo de residuo potencialmente peligroso, por el tipo de sustancias que contienen. Por eso actualmente se tiende a eliminar de su composición, los compuestos tóxicos y a sustituirlas por otras más inertes.

Como hemos visto existen muchas formas de pilas, y en potencia existen todavía, muchas más combinaciones posibles por realizar. Gracias a las pilas se han logrado muchos avances utilizándose en radios, pequeños instrumentos, telecomunicaciones, equipos portátiles de sonido..., donde las pilas están continuamente presentes. Sin ellas el nivel de confort que disfrutamos, no sería posible. En la actualidad las pilas siguen siendo usadas para variadísimas formas de uso. Suponemos que en el futuro veremos grandes avances en pilas y baterías³³, construidas con diferentes electrolitos, haciéndolas más económicas y con un alto grado de capacidad de almacenamiento, muy superior al que tenemos en la actualidad.

Pilas de combustible

Se está gastando mucho dinero en la investigación en las llamadas *pilas de combustible*, porque pueden ser una buena solución para almacenar energía de manera limpia, desde el punto de vista del medio ambiente³⁴.

Este tipo de almacenamiento de energía, consiste en *descomponer el agua mediante una corriente eléctrica*³⁵. El hidrógeno obtenido se puede almacenar y utilizarse como combustible en una pila, donde se combinará posteriormente, con el oxígeno del aire, para producir nuevamente, corriente eléctrica y



³³ *Pilas alcalinas, de sales de Litio, etc.*

³⁴ HOOGERS, G, HOOGERS, H. - *Fuel Cell Technology Handbook*, CRC Press, (2003)

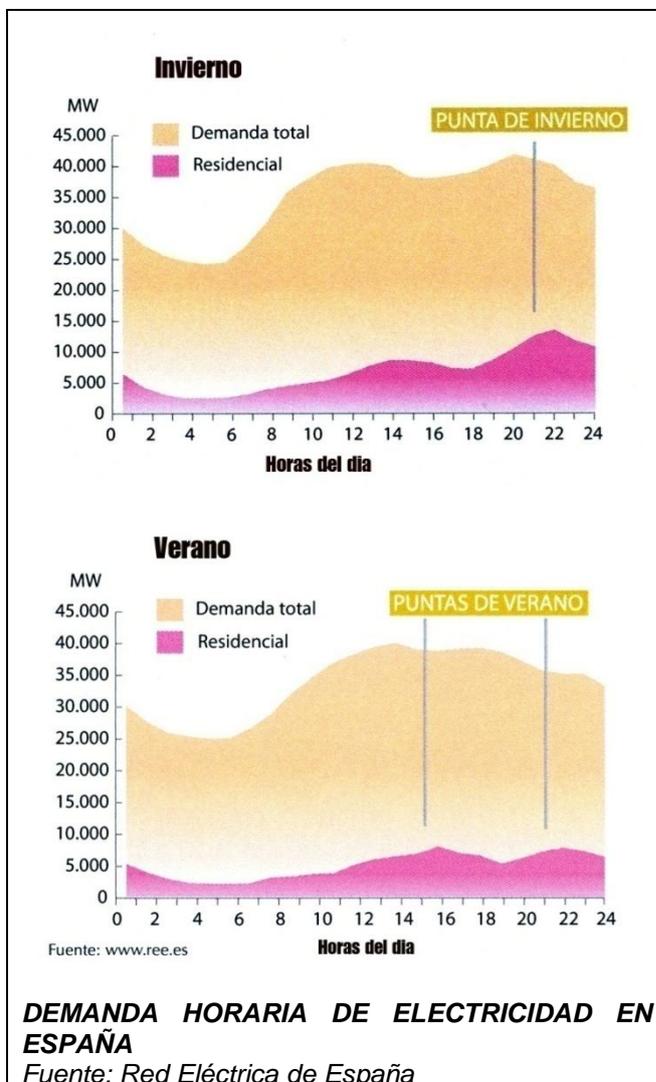
³⁵ *Por Electrolisis.*

agua como subproducto. Los reactivos típicos utilizados en este sistema son Hidrógeno en el ánodo y Oxígeno en el cátodo (en el caso de celdas de Hidrógeno).

Actualmente en el mercado existen multitud de diferentes baterías eléctricas que utilizan recursos “químicos” para almacenar la energía eléctrica, como las “pilas alcalinas”, las que utilizan litio, entre otras. Cualquiera de ellas proporciona buenos resultados en equipos portátiles de bajo consumo.

Mantenimiento del Equilibrio Producción-Consumo

Por su propia naturaleza dinámica, no resulta fácil almacenar la



energía eléctrica, tan fácilmente como en el caso del carbón, el gas o los barriles de petróleo, en grandes cantidades.

Este hecho nos conduce a una necesidad ineludible: “la electricidad hay que producirla en el momento que se consume”.³⁶

En términos prácticos, la energía eléctrica que consume una bombilla, por ejemplo, *debe ser producida exactamente en el mismo momento en que la encendemos.*

El consumo nacional de energía eléctrica, es muy variable. Es mayor durante el día que durante la noche y no es igual, en invierno que en verano.³⁷ Esto es debido a que los mayores

³⁶ Puesto que viaja a la velocidad de 300.000 Kilómetros por segundo.

³⁷ Las días de más consumo del año son los de Nochebuena y Fin de año.

consumidores son la Industria y los Comercios, los cuales comienzan su actividad sobre las ocho de la mañana y la terminan sobre las 9 de la noche.³⁸

Afortunadamente el consumo domestico o residencial, empieza a crecer sobre las nueve de la mañana y adquiere el máximo nivel de consumo sobre las 10 de la noche, momento en que empieza a decrecer. En los meses de verano, los perfiles de consumo, industrial y domestico, son parecidos, pero la distribución horaria difiere un poco. En invierno el mayor consumo de unos 40.000 MW ocurre a las 20 horas y el mínimo a las 5 horas. En verano los consumos son equivalentes pero el máximo se sitúa a las 14 horas y el mínimo a las 6 aproximadamente³⁹.

Las centrales productoras de corriente, deben estar preparadas para compensar esas diferencias de consumo, estimadas en unos 13.000 MW, que es una cantidad de energía enorme. Además para mayor dificultad, no es constante a lo largo del día.

Como sabemos, en España disponemos de Centrales Nucleares, Térmicas, Eólicas y cantidades mínimas de producción en las Fotovoltaicas.

La producción de energía eléctrica por medios nucleares, es muy rentable y cuesta, relativamente poco, conseguir el equilibrio óptimo de producción. Una vez alcanzado este equilibrio, disminuirlo o variarlo, es lento y costoso. Lo mismo le ocurre a la producción eléctrica de origen térmico⁴⁰, que cuesta mucho tiempo alcanzar el nivel máximo de producción y variarlo, económicamente no resulta rentable. En la producción hidráulica, resulta más sencillo, puesto que siempre se pueden cerrar las compuertas que alimentan de agua las turbinas, disminuyendo de esta forma, su producción de electricidad, incluso puede cerrarse alguna. Por otra parte, la producción de energía por medios fotovoltaicos, su rendimiento es función de la intensidad de emisión de los rayos solares, decreciendo a lo largo del día y siendo nula, al atardecer y durante la noche. Lo mismo ocurre con la energía producida por las torres eólicas, que dependen de la intensidad del viento, donde su intensidad, será definitiva en su rendimiento. Consecuentemente,

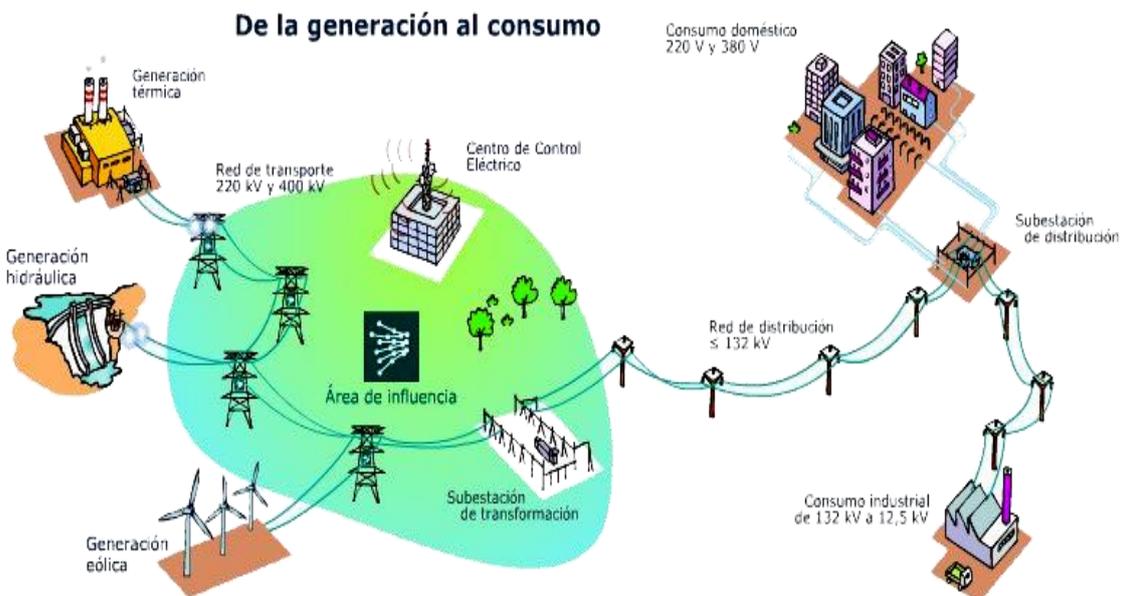
³⁸ Muchos de ellos

³⁹ RED ELÉCTRICA ESPAÑOLA, *El Sistema Eléctrico Español, Red Eléctrica Corporación, Informes anuales (2008-2011)*

⁴⁰ Con carbón o gas.

esos 13.000 MW de diferencia de consumo a lo largo del día, es necesario gestionarlos de alguna manera. En otras palabras, el consumo a lo largo del día, que varía enormemente, nos obliga de forma imperiosa a tener que mantener un efectivo equilibrio *Producción-Consumo*. Si este no se consigue, con un cierto intervalo de tolerancia, los conductores se sobrecalentarían excesivamente, lo que supondría una *pérdida económica grande por disipación de energía inútil*. Si el consumo es mayor que la producción, la tensión baja a niveles que pueden ser intolerables para muchas máquinas. Si la *calidad de la corriente eléctrica* no cumple la normativa establecida por ley, los problemas técnicos y las pérdidas económicas, pueden ser muy importantes.

Para intentar favorecer este equilibrio, absolutamente necesario, en España, la mayoría de las redes de suministro de energía eléctrica, están interconexas, formando una Red Eléctrica Nacional, dedicada en exclusividad, al transporte de electricidad y a la operación de sistemas eléctricos, que envía y distribuye energía eléctrica, a aquellos lugares que la precisan en cada momento, cubriendo todo el territorio nacional. En determinados momentos, incluso la exportan a países próximos. En la actualidad existen numerosos contratos establecidos, con los países vecinos, donde se establecen todas las condiciones técnicas normativas así como los precios de suministro. Red Eléctrica Española, transporta prácticamente toda la energía eléctrica en alta tensión. Para ello,



gestiona las infraestructuras eléctricas que componen la red de transporte y **conectan las centrales de generación, con los puntos de distribución a los consumidores**. La Ley 17/2007, de 4 de julio,

confirmó la condición de Red Eléctrica Española, como gestor de la red de transporte y le atribuyó la función de transportista único, en régimen de exclusividad. En 2010, Red Eléctrica ha adquirido, en cumplimiento de esta Ley, los activos de Baleares y Canarias y el resto de los activos peninsulares pendientes de transferir de las empresas eléctricas. Esta compra supone la consolidación definitiva del modelo de transportista único y operador del sistema eléctrico. La red de transporte está compuesta por más de 38.000 kilómetros de líneas de alta tensión, más de 4.000 posiciones de subestaciones y más de 72.000 MVA de capacidad de transformación. Estos activos, configuran una red mallada, fiable y segura, que ofrece unos índices de calidad de servicio de máximo



nivel al sistema eléctrico. Como gestor de esta red, Red Eléctrica es responsable del desarrollo y ampliación de la red, de realizar su mantenimiento, de gestionar el tránsito

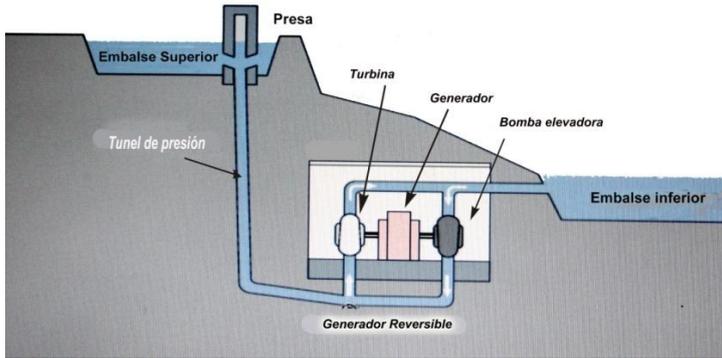
de electricidad entre sistemas exteriores y la península y garantizar el acceso de terceros a la red de transporte en régimen de igualdad.

Para optimizar el aprovechamiento de toda la Red Eléctrica Española, se potenció el uso de las *centrales reversibles*⁴¹.

Este tipo de centrales aprovecha la propiedad de los alternadores, de poder trabajar de dos formas: *transformando la energía mecánica del agua en energía eléctrica, así como exactamente al revés, funcionando como motor de elevación de agua si se le aplica una corriente eléctrica.*⁴²

⁴¹ <http://www.urbanity.es/foro/infraestructuras/17208-centrales-reversibles.html>

⁴² *La excedente de producción en Nucleares, Térmicas y Eólicas.*



Central Reversible

Fuente: Elaboración propia

Operando de esta forma, los excedentes de corriente eléctrica de las centrales térmicas, nucleares y eólicas, se aplicarían a las bombas elevadoras de agua, devolviendo el agua a su lugar original.⁴³

Para ello, algunos de ellos, disponen de un embalse o zona de almacenamiento a la salida del agua de las turbinas. Por lo general, durante las horas punta, el agua del embalse superior fluye por las turbinas para asegurar el suministro eléctrico, almacenándose en el embalse inferior. Durante las horas valle, la electricidad excedente producida por las centrales con excedentes de energía eléctrica, se envían a la central de bombeo. En el caso más sencillo, el generador funciona como motor eléctrico, y envía el agua del embalse inferior hasta el superior, donde el agua queda nuevamente embalsada, lista para ser usada en las próximas horas punta.

Existen actualmente en España 24 centrales reversibles o de bombeo, con una potencia total de 5.000 MW (la potencia total hidroeléctrica es de 20.000 MW). Para poder gestionar toda la producción de electricidad generada en España, se ha creado el Centro de Control Eléctrico de Red Eléctrica (Cecoe), que emite las instrucciones de operación del sistema de producción y transporte con el fin de garantizar la seguridad y calidad del suministro

Centrales Reversibles

Villarino (Salamanca)
La Muela I (Valencia)
Estany-Sallente (Lerida)
Aldealdávila II (Salamanca)
Tajo de la Encantada (Malaga)
San Miguel-Aguayo (Cantabria)
Camba-Conso (Ourense)
Moralets (Huesca)
Valdecañas I, II y III (Caceres)
Guillena (Sevilla)
Bolarque I y II (Guadalajara)
Torrejón (Cáceres)
Tanes (Asturias)
Gabriel y Galán (Caceres)
Montamara (Lérida)
Ip (Huesca)
Soutelo II (Ourense)
Valparaíso (Zamora)
Puente Bibey (Ourense)
Guijo de Granadilla (Caceres)
Santiago Jares I y II ¿?
Pintado (Sevilla)
Urdiceto (Huesca)
Gobantes (Málaga)

Fuente: <http://www.urbanity.es/foro/infraestructuras/17208--centrales-reversibles.html>

⁴³ Es evidente que el coste energético es elevado, pero mucho menor que cualquier otra alternativa.

eléctrico.

Para hacer frente a las variaciones de la demanda y a la falta de disponibilidad de los generadores, se programa la producción y los intercambios internacionales.⁴⁴ Adicionalmente, es preciso emitir protocolos de operación de los elementos de la red de transporte, para que las variables de control permanezcan dentro de los márgenes establecidos en los procedimientos de operación.

El Cecoel controla de forma permanente el estado de la red y sus parámetros eléctricos, mediante una red de telecomunicaciones, actuando sobre las variables de control, para mantener la seguridad y calidad del suministro o para restablecer el servicio en caso de que se haya producido un incidente.

El Cecoel se encuentra soportado por un sistema de control de última generación, cuya misión es gestionar la información que se recibe en tiempo real desde las centrales y las instalaciones de la red para presentarla a los operadores en una forma gráfica fácilmente comprensible y efectuar los estudios que permitan garantizar la seguridad del sistema eléctrico. Trabajar con una Red Nacional Interconectada, hace posible y rentable todo este equilibrio *Producción-Consumo*. Utilizar este sistema supone manejar energía a niveles de potencia muy superiores a la de un arma nuclear, que además viaja a la velocidad de la luz.

Un mínimo error acarrea:

- *La falta de suministro eléctrico en toda o gran parte de España*
- *Molestias inimaginables (Sanidad, Industria, Comunicaciones)*
- *Pérdidas económicas multimillonarias.*

En la actualidad existen numerosos contratos establecidos, con los países vecinos, donde se establecen todas las condiciones técnicas normativas así como los precios de suministro, para importar-exportar los excedentes de corriente eléctrica, con los países próximos.

Podemos concluir esta breve introducción diciendo que en aproximadamente un siglo, la electricidad ha irrumpido en nuestra vida diaria, en multitud de facetas diferentes, transformando

⁴⁴ *Cuando son oportunos.*

nuestros hábitos y costumbres, de una forma que nuestros padres, no pudieron imaginar.

En fin, en poco tiempo apareció:

- Alumbrado en todas partes
- Fuerza motriz que sustituía el esfuerzo del hombre
- Generación de frío y calor, cuando quisiéramos
- Usos industriales: Siderurgia , Electroquímica, etc.
- Procesar señales de naturaleza Electrónica.
- Los computadores
- La nueva sociedad digital
- Etc.



Todo ello generaría un impacto social, muy superior a todos los cambios acaecidos en la historia del hombre.