

L2 Introducción a la cogeneración



Sistemas de Potencia - Tecnología Energética
Máster Universitario en Ingeniería Industrial
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Estructura Tecnología Energética Sistemas de Potencia

1. Demanda de energía y generación
- 2. Introducción a la cogeneración**
3. Tecnologías de cogeneración. TV
4. Tecnologías de cogeneración. TG
5. Tecnologías de cogeneración. MCIA
6. Evaluación de la demanda
7. Evaluación económica
8. Sistemas de almacenamiento de energía
9. Otras tecnologías de generación

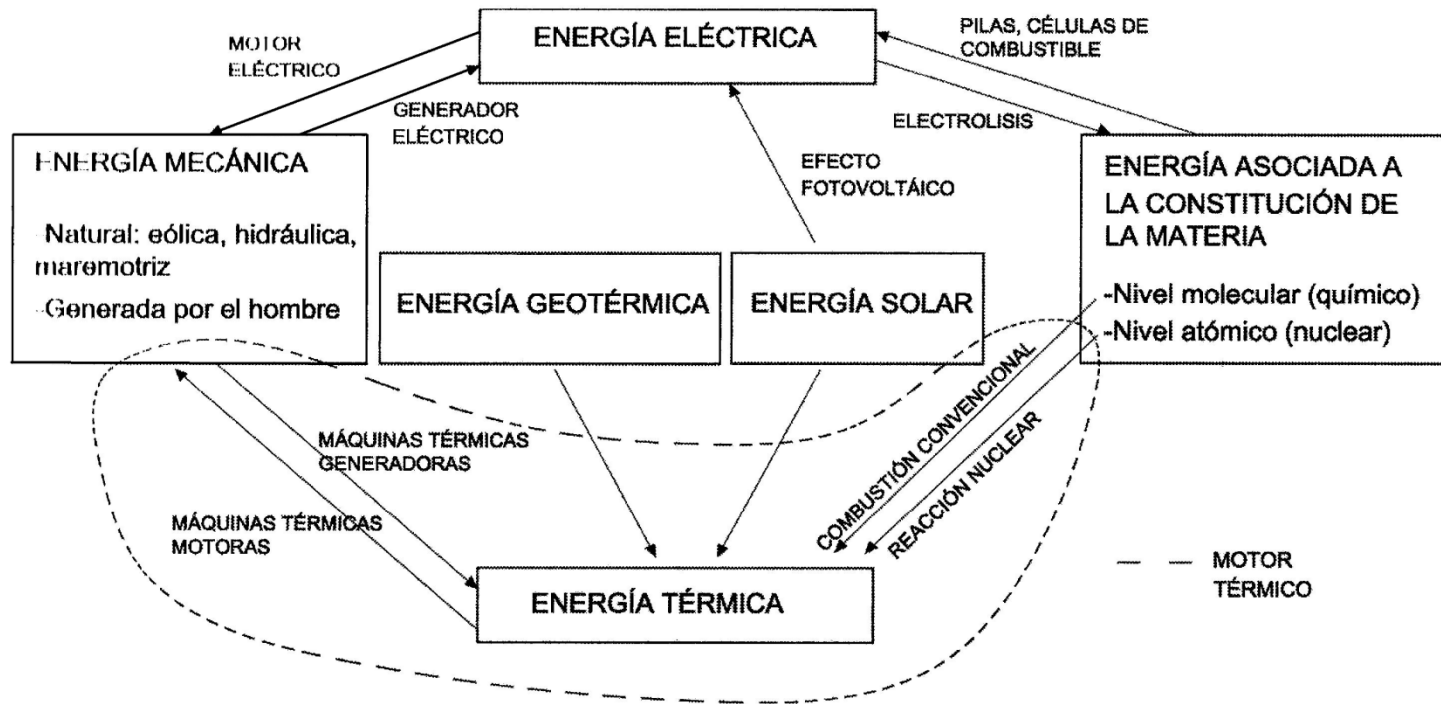
Estructura

1. Transformaciones energéticas
2. Concepto de cogeneración
3. Sistemas de cogeneración
4. Ventajas e inconvenientes de la cogeneración
5. Parámetros de un sistema de cogeneración
6. La cogeneración en el mix energético.

Objetivos

1. Conocer las posibles transformaciones energéticas
2. Conocer qué es la cogeneración
3. Conocer la historia de la cogeneración
4. Conocer los tipos de cogeneración
5. Entender los parámetros que caracterizan un sistema de cogeneración
6. Implicaciones de la cogeneración en distintos entes del mercado energético

Transformaciones energéticas



¿ Qué es la cogeneración?

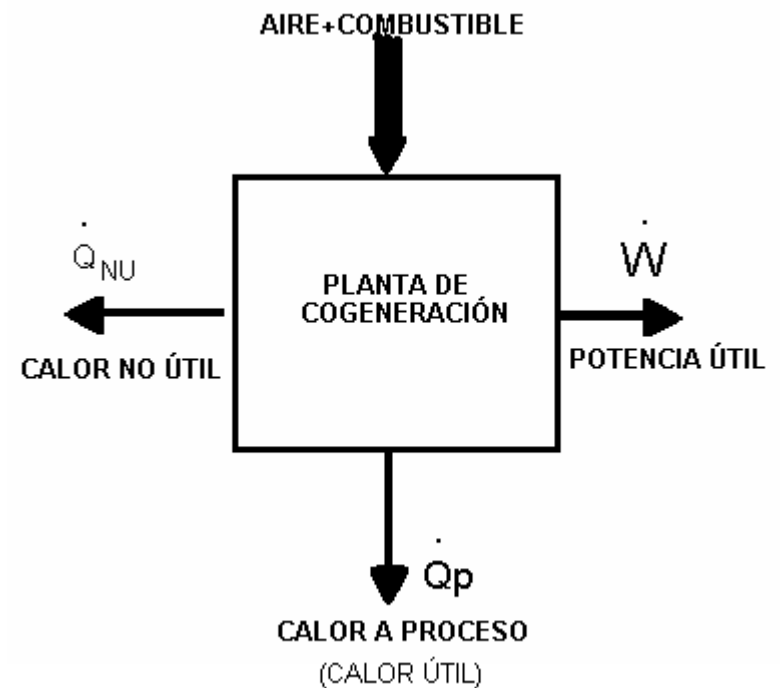
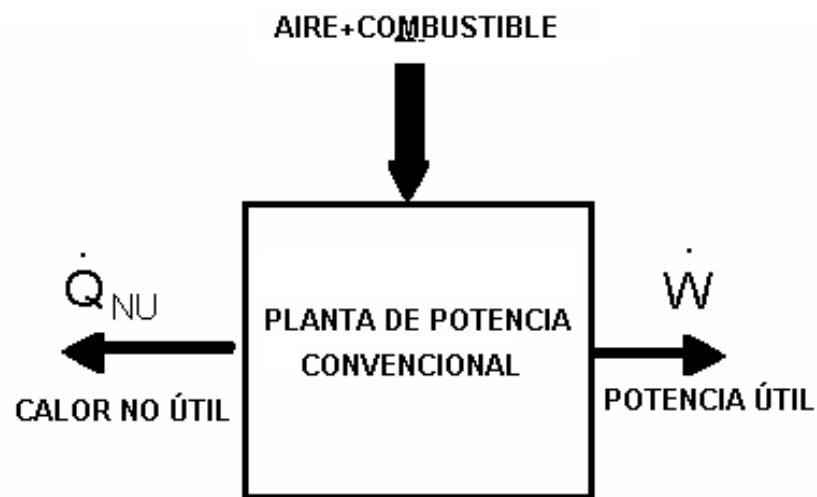
- Distintos términos para el mismo concepto:

Cogeneración – CHP (combined heat and power) – Sistemas de energía total – Calefacción de Distrito (DH)

- Varias definiciones aceptadas:
 - Cogeneración es la producción, en proceso secuencial, de manera termodinámica, de 2 o más formas de energía útiles a partir de una fuente de energía primaria.
 - Cogeneración es la producción combinada de electricidad (o energía mecánica) y de energía térmica útil a partir de una fuente de energía primaria.
 - la generación simultánea de energía térmica y de energía eléctrica o mecánica en un solo proceso (DIRECTIVA 2012/27/UE)
- Conceptos importantes (DIRECTIVA 2012/27/UE):
 - Calor útil: el calor producido en un proceso de cogeneración para satisfacer una demanda económicamente justificable de calefacción o refrigeración
 - Demanda económicamente justificable de calor: la demanda que no supere las necesidades de calefacción o refrigeración y que, de no recurrirse a la cogeneración, se satisfaría en condiciones de mercado mediante procesos de producción de energía distintos de la cogeneración

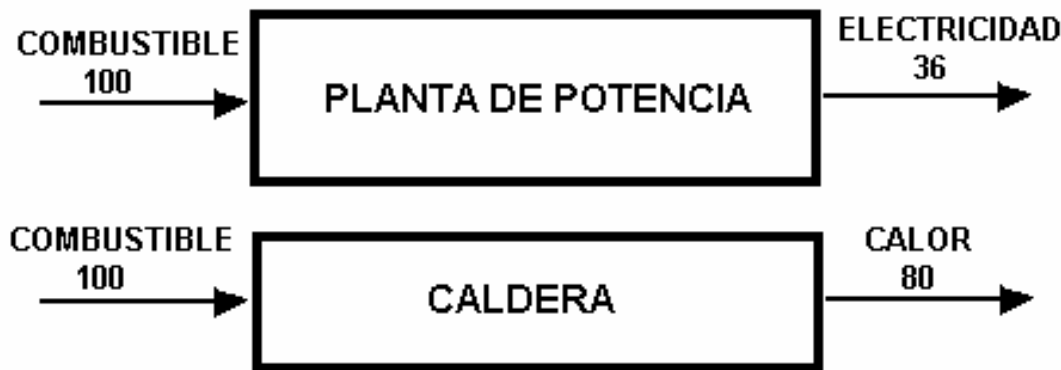
¿ Qué es la cogeneración?

Cogeneración es la producción, en proceso secuencial, de manera termodinámica, de 2 o más formas de energía útiles a partir de una fuente de energía primaria.



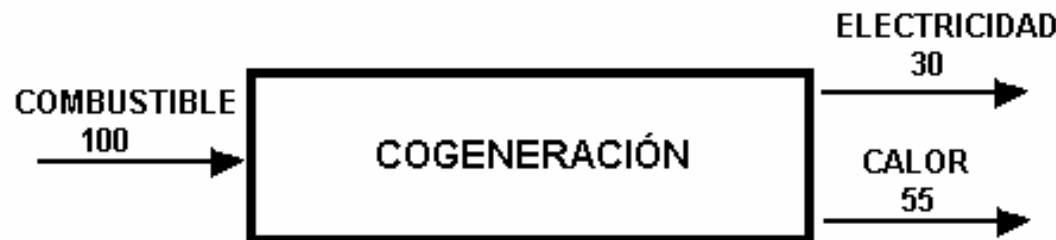
¿ Qué es la cogeneración?

DEMANDA: 36 UNIDADES DE ENERGÍA ELÉCTRICA y 80 UNIDADES DE ENERGÍA TÉRMICA



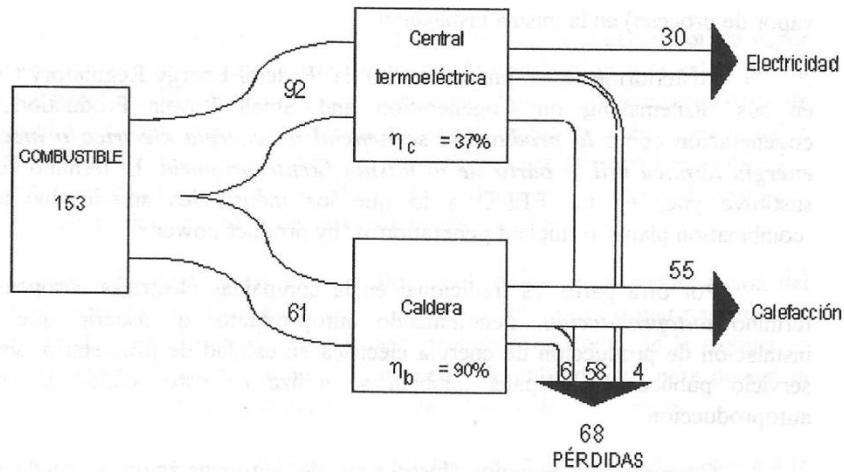
$$\eta = \frac{36 + 80}{200} = 0,58$$

DEMANDA: 30 UNIDADES DE ENERGÍA ELÉCTRICA y 55 UNIDADES DE ENERGÍA TÉRMICA

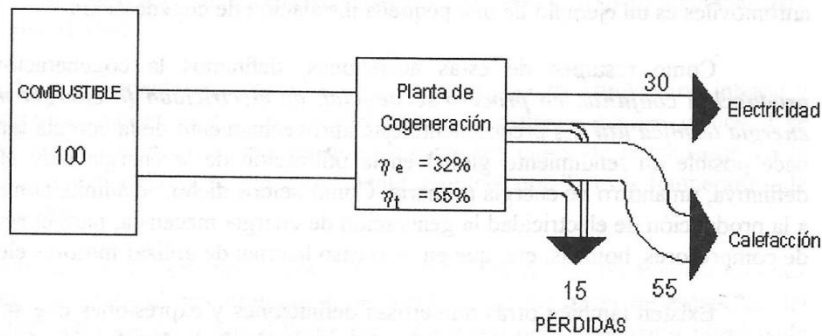


$$\eta = \frac{30 + 55}{100} = 0,85$$

¿ Qué es la cogeneración?



SISTEMA COGENERACIÓN



Porcentaje de ahorro de energía primaria

$$AEP\% = \left(1 - \frac{100}{153}\right) \cdot 100 = 35\%$$

Tipos de sistemas de cogeneración

- **Proyectos en los que intervienen las compañías eléctricas:**
 - En colaboración con clientes industriales
 - Participan en el mercado como cogeneración
 - Con clientes residenciales minimizan horas valles y punta
 - Diversifican su negocio
 - Disminuyen el coste de capital de financiación
 - Aportan personal cualificado
- **Proyectos de cogeneración industriales:**
 - Reducen costos de adquisición de energía eléctrica y térmica
 - Dependen de legislación
- **Sistemas de calefacción de distrito (district heating):**
 - Dos grupos: ciudades enteras / urbanizaciones
 - Fluido de trabajo: vapor a baja presión / agua o líquido presurizado a la temperatura de servicio
 - Distancias cortas desde la central hasta el núcleo
 - Posibilidad de generación de frío
 - Dependen de legislación
- **Sistemas de energía total / sistemas de energía total integrado.**

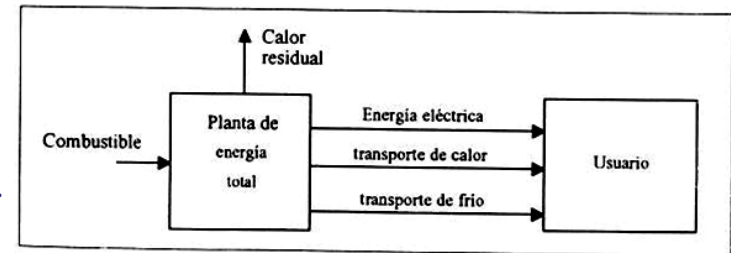
Tipos de sistemas de cogeneración

- Sistemas de energía total:

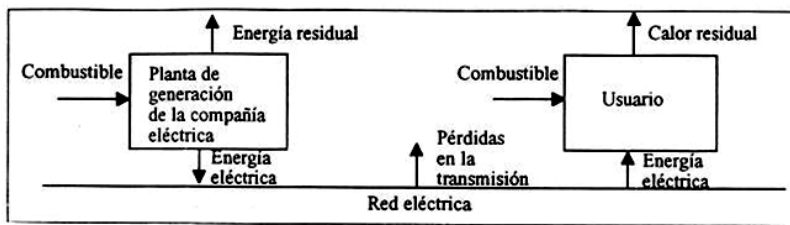
- Más pequeños que Sistemas de calefacción de distrito.
- La demanda térmica tiene un valor elevado durante pocas horas al año y una base durante el resto.
- La demanda eléctrica tiene más horas punta y valle, con costes elevados.
- Suministran electricidad, calefacción, refrigeración, ACS
- Potencias inferiores a 10 MW.
- Funciona siguiendo a energía eléctrica

- Sistemas de energía total:

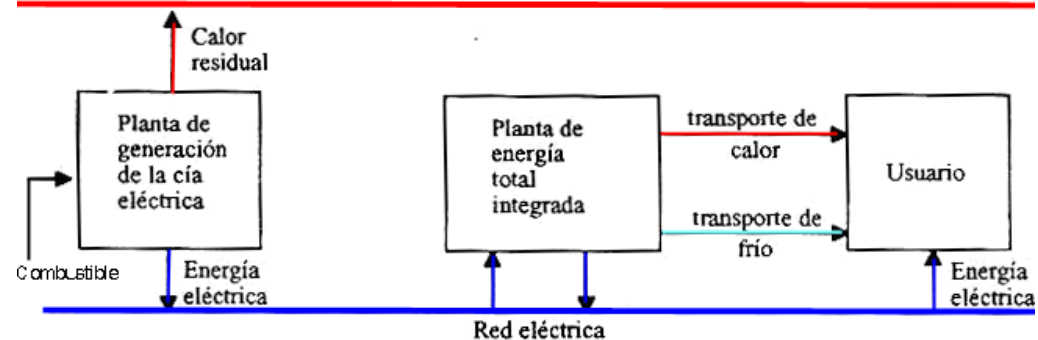
- Entrega energía eléctrica a la red y consume de ella.
- Funciona siguiendo a demanda térmica



SISTEMA ENERGIA TOTAL



SISTEMA CONVENCIONAL



SISTEMA ENERGIA TOTAL INTEGRADO

Ventajas e inconvenientes de la cogeneración

VENTAJAS PARA UN PAIS:

- Ahorro de energía primaria: este ahorro es consecuencia, en los ciclos de cabecera, de la menor cantidad de combustible atribuible a la electricidad (valores típicos son de 5850 kJ/kWh frente a 10450 kJ/kWh en un sistema convencional) y en los ciclos de cola, debido al aprovechamiento de los calores residuales.
- Mayor diversificación energética: menor dependencia de combustibles importados. Esto es debido a que la cogeneración permite aprovechar calores residuales y combustibles derivados del proceso.
- Disminución de la contaminación: incluyendo CO₂. Es el resultado del menor consumo global de combustible, como consecuencia del mejor aprovechamiento de la energía en la generación de electricidad, al no disiparse en el ambiente grandes cantidades de calor (como ocurre en los condensadores de las centrales termoeléctricas o nucleares).
- Ahorro económico: es imputable al menor coste en la generación y distribución de electricidad, respecto a los sistemas Convencionales
- Mejora de la estabilidad de la red: reduce la congestión así como el ' peak-shaving'

INCONVENIENTES PARA UN PAÍS:

- Normativa: es necesaria una reglamentación adecuada, para regular y resolver los numerosos puntos conflictivos que pueden presentarse en las relaciones cogenerador-compañía eléctrica.
- Infraestructura: se requiere una infraestructura adecuada para el correcto mantenimiento de las instalaciones.
- Requiere agentes promotores

Ventajas e inconvenientes de la cogeneración

VENTAJAS PARA LAS COMPAÑÍAS ELÉCTRICAS:

- Incremento en la garantía del suministro eléctrico
- Posibilidad de rebajar la potencia de reserva, como consecuencia del aumento de las instalaciones generadoras.
- Utilización más económica de sus medios de producción, al sustituir la cogeneración a aquellas centrales con costes de generación más altos.

INCONVENIENTES PARA LAS COMPAÑÍAS ELÉCTRICAS:

- Problemas de regulación de la red. La conexión en paralelo de los equipos del cogenerador con la red de distribución puede crear problemas de regulación de la red. Debido a los intercambios de energía entre ambos y como consecuencia de los posibles fallos de suministro de los equipos del autogenerador.
- Menor mercado. El cogenerador reduce el suministro de la compañía eléctrica con su propio autoabastecimiento y con la posible venta a la red o a terceros.

Ventajas e inconvenientes de la cogeneración

VENTAJAS PARA EL USUARIO:

- Ahorro económico, como consecuencia del menor coste de la electricidad autoconsumida y el beneficio adicional por la venta.
- Mayor garantía de suministro, ante un posible fallo de la red, puede seguir suministrando electricidad, al menos a los equipos considerados como críticos.

INCONVENIENTES PARA EL USUARIO:

- Inversión adicional, y además en una actividad apartada de las líneas normales de actuación de la empresa. Por otra parte, el empresario se enfrenta con riesgos poco conocidos para él, como evolución de los precios de la electricidad, etc.
- Aumento de la contaminación local, como consecuencia del mayor consumo de combustibles en la propia factoría (se entiende, para los ciclos de cabecera).

Eficiencia de las plantas de cogeneración

Rendimiento del generador $\eta_m = \frac{\dot{W}_n}{\dot{H}_f} = \frac{\dot{W}_e}{\dot{m}_f H_p}$

Rendimiento eléctrico $\eta_e = \frac{\dot{W}_e}{\dot{H}_f} = \frac{\dot{W}_e}{\dot{m}_f H_p}$

Rendimiento térmico $\eta_t = \frac{\dot{Q}}{\dot{H}_f} = \frac{\dot{Q}}{\dot{m}_f H_p}$

Rendimiento total o global o Factor de utilización de energía (FUE): $\eta = \eta_e + \eta_t = \frac{\dot{W}_e + \dot{Q}}{\dot{H}_f}$

para un ciclo se puede considerar $\text{FUE} = \frac{\dot{W}_e + \dot{Q}}{\dot{Q}}$

Relación Potencia Calor: $\text{PHR} = \frac{\dot{W}_e}{\dot{Q}}$

$$\text{PHR} = \frac{\eta_e}{\eta_t} = \frac{\eta_e}{\eta - \eta_e}$$

Relación Calor/Electricidad: $\text{RCE} = \frac{\dot{Q}}{\dot{W}_e}$

\dot{W}_n : potencia del motor en el eje

\dot{W}_e : potencia eléctrica del motor en el eje (considerando pérdidas por elementos auxiliares)

\dot{H}_f : potencia térmica consumida por el motor

\dot{Q} : calor útil

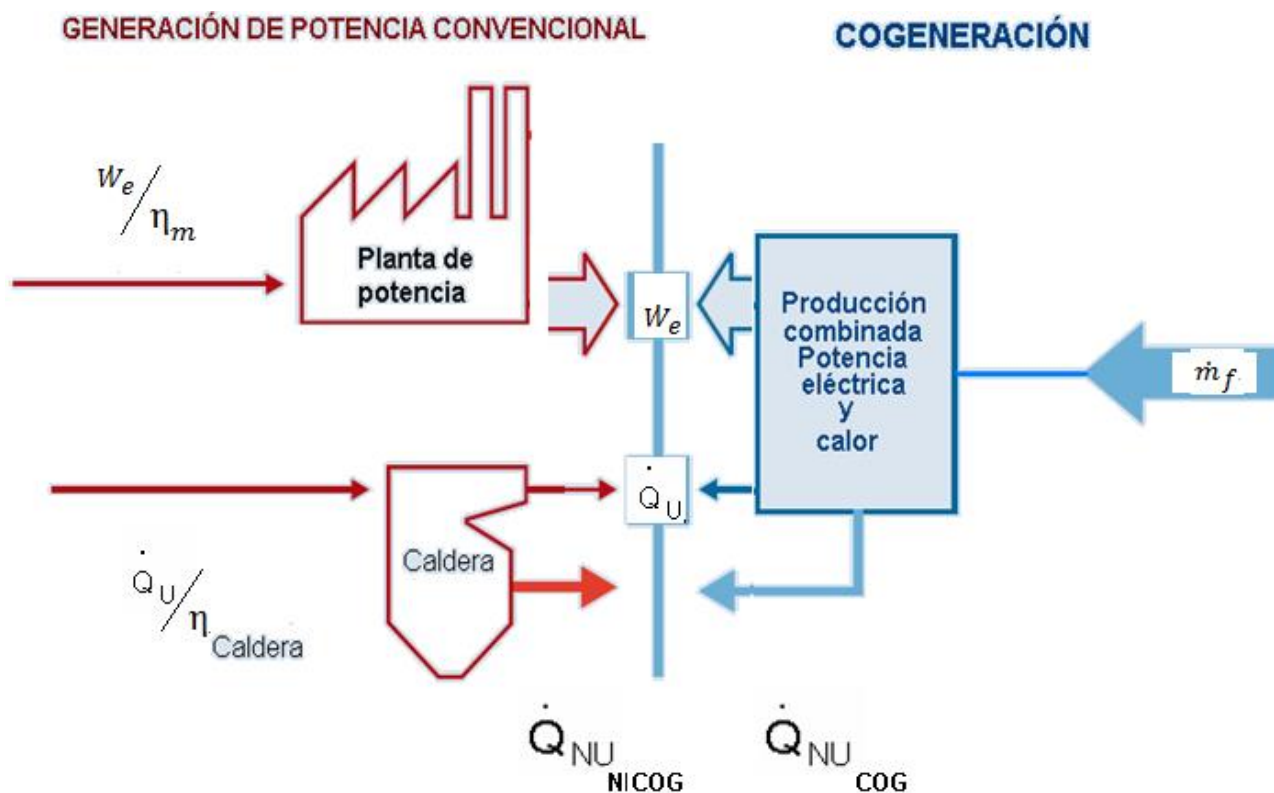
\dot{m}_f : gasto másico de fuel

H_p : poder calorífico inferior del fuel

Eficiencia de las plantas de cogeneración

Ahorro de energía primaria (AEP, ΔF):

$$\Delta F = \left(\frac{\dot{W}_e}{\eta_m} + \frac{\dot{Q}_u}{\eta_{caldera}} \right) - \dot{m}_f H_p$$



Eficiencia de las plantas de cogeneración

Interesa conocer el ahorro porcentual de energía primaria, más que su valor absoluto.

Índice de Ahorro de Energía:

$$IAE = \frac{\Delta F}{\frac{\dot{W}_e}{\eta_m} + \frac{\dot{Q}_u}{\eta_{caldera}}} \quad IAE = 1 - \frac{\frac{\eta_m}{\eta_e}}{1 + \left(RCE \frac{\eta_m}{\eta_e} \right)}$$

En la normativa (Directiva 2012/27/UE, RD 616/2007, RD 413/2014) se define el **Ahorro porcentual de energía primaria (Primary Energy Savings, PES)**:

$$PES = \left(1 - \frac{1}{\frac{CHP H\eta}{Ref H\eta} + \frac{CHP E\eta}{Ref E\eta}} \right) \times 100$$

CHP H η es la eficiencia térmica de la producción mediante cogeneración definida como la producción anual de calor útil dividida por la cantidad de combustible utilizada para generar la suma de la producción de calor útil y electricidad de cogeneración

Ref H η es el valor de referencia de la eficiencia para la producción separada de calor.

CHP E η es la eficiencia eléctrica de la producción mediante cogeneración definida como la electricidad anual de cogeneración dividida por la cantidad de combustible utilizada para generar la suma de la producción de calor útil y electricidad de cogeneración

Ref E η es el valor de referencia de la eficiencia para la producción separada de electricidad

Eficiencia de las plantas de cogeneración

Rendimiento eléctrico equivalente (REE):

Rendimiento eléctrico comparable con una planta de sólo generación de energía eléctrica, descontando del combustible consumido el necesario para producir por sistemas convencionales el calor.

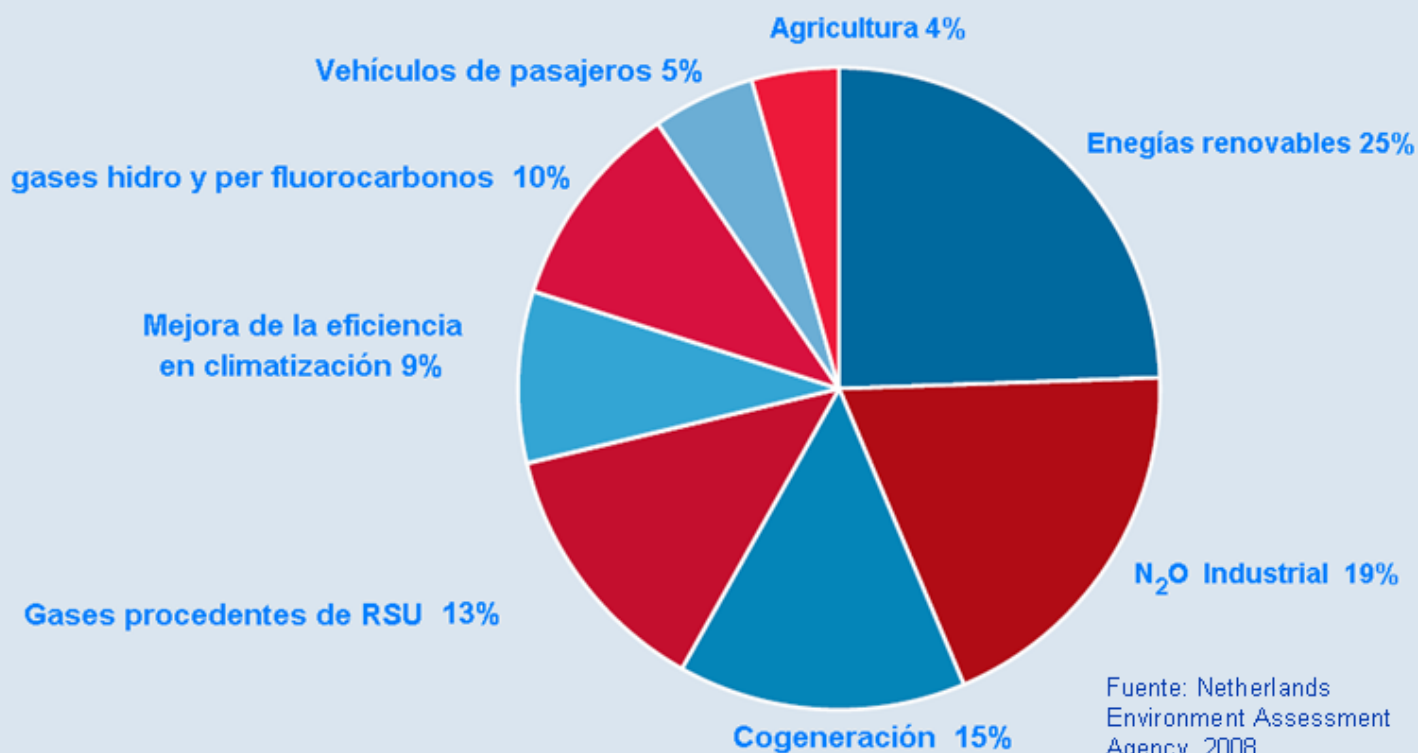
Permite comparar la eficiencia eléctrica de una planta de cogeneración con el rendimiento eléctrico o global de una planta de sólo producción de energía eléctrica.

$$REE = \frac{E}{\frac{E}{Ref E_{\eta}} - AEP}$$

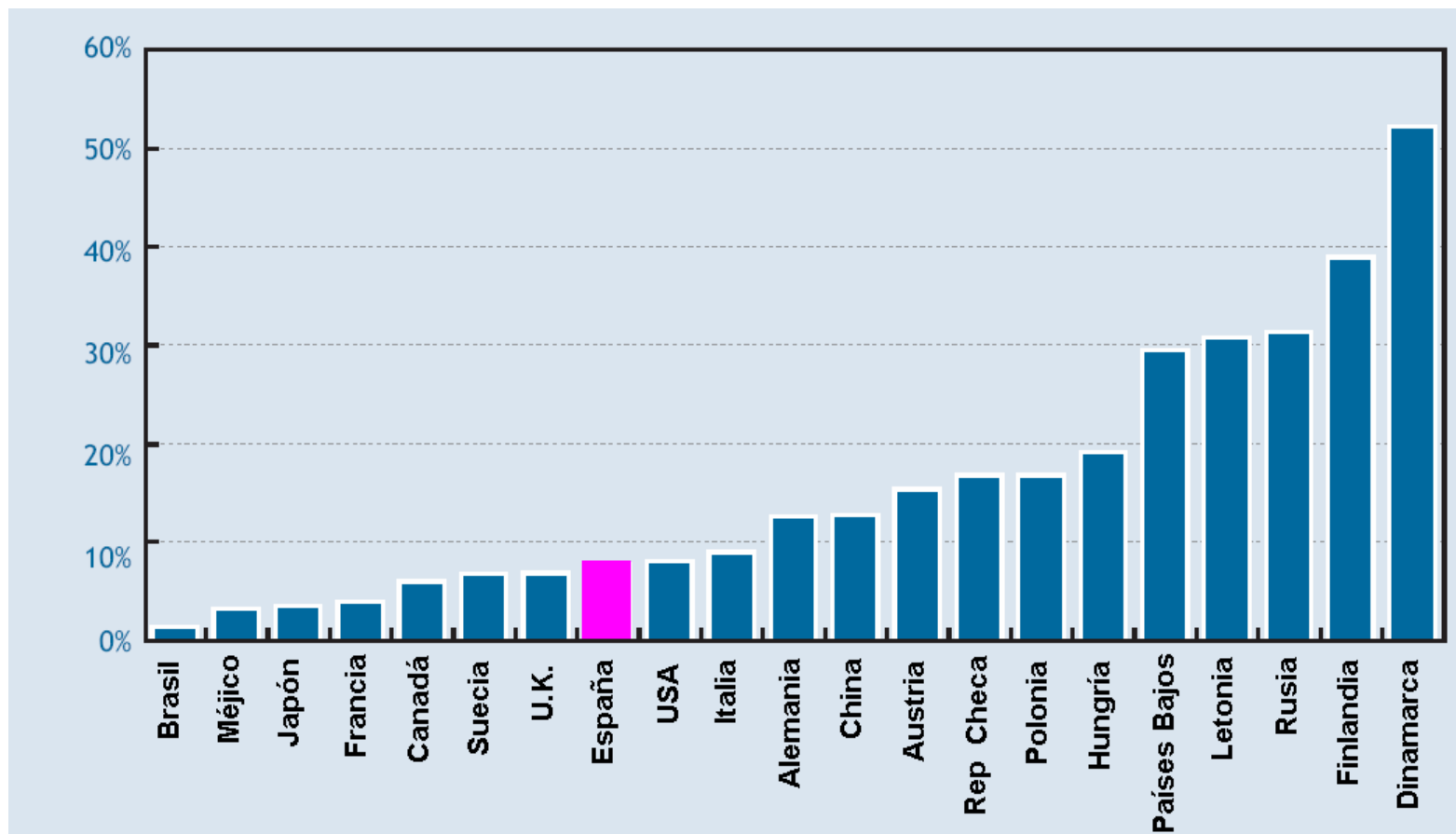
El PES se utiliza más que el REE como parámetro para catalogar un Sistema de Cogeneración.

Algunos datos sobre cogeneración

REDUCCIÓN DE GASES DE EFECTO INVERNADERO EN EU - 25 EN EL PERÍODO 1990 - 2005 CON DIFERENTES ESTRATEGIAS



La cogeneración en España

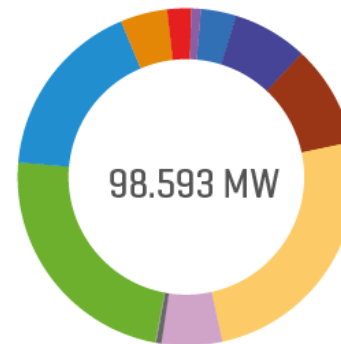


- Fuente: IEA a partir de 2001, 2005 y 2006

La cogeneración en España

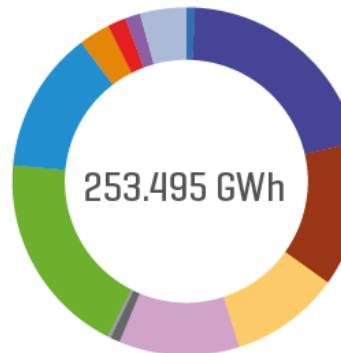
Potencia eléctrica instalada peninsular a 31 de diciembre del 2018 [%]

■ Nuclear	7,2%	■ Eólica	23,4%
■ Carbón	9,7%	■ Hidráulica	17,3%
■ Ciclo combinado	24,9%	■ Solar fotovoltaica	4,5%
■ Cogeneración	5,8%	■ Solar térmica	2,3%
■ Residuos no renovables	0,5%	■ Otras renovables	0,9%
■ Turbinación bombeo	3,4%	■ Residuos renovables	0,1%



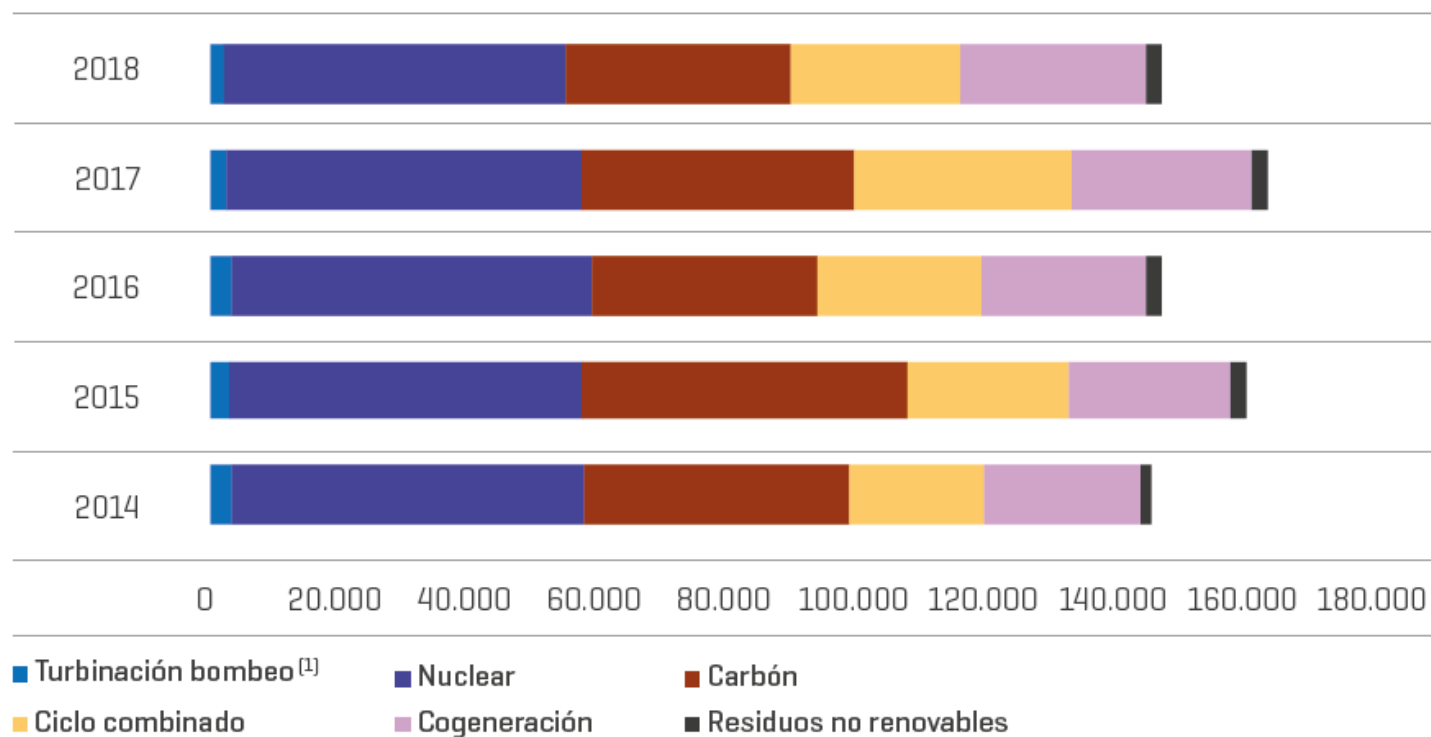
Cobertura de la demanda eléctrica peninsular. Año 2018 [%]

■ Nuclear	20,6%	■ Eólica	19,0%
■ Carbón	13,5%	■ Hidráulica	13,2%
■ Ciclo combinado	10,2%	■ Solar fotovoltaica	2,9%
■ Cogeneración	11,2%	■ Solar térmica	1,7%
■ Residuos no renovables	0,9%	■ Otras renovables	1,4%
■ Turbinación bombeo ⁽¹⁾	0,8%	■ Residuos renovables	0,3%
		■ Saldo importador de intercambios internacionales	4,3%



La cogeneración en España

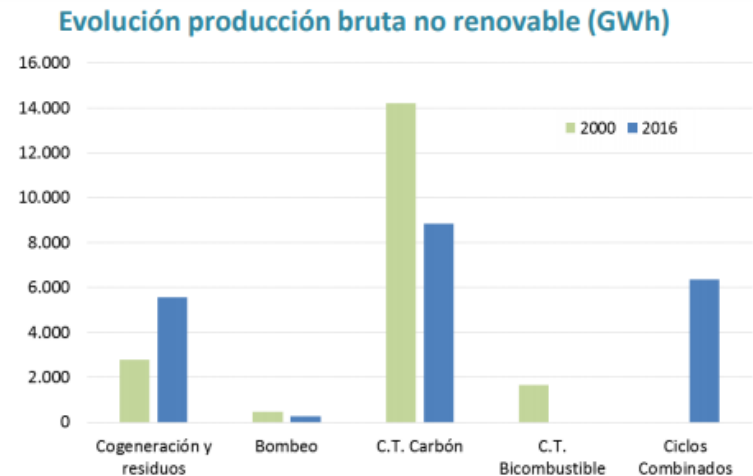
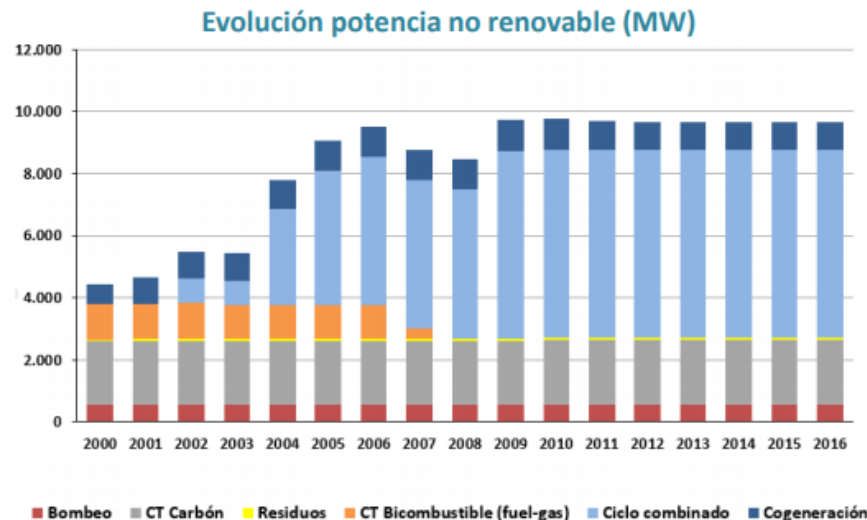
Evolución de la generación eléctrica peninsular no renovable [GWh]



^[1] Turbinación de bombeo puro + estimación de turbinación de bombeo mixto.

La cogeneración en España

Generación eléctrica con fuentes fósiles



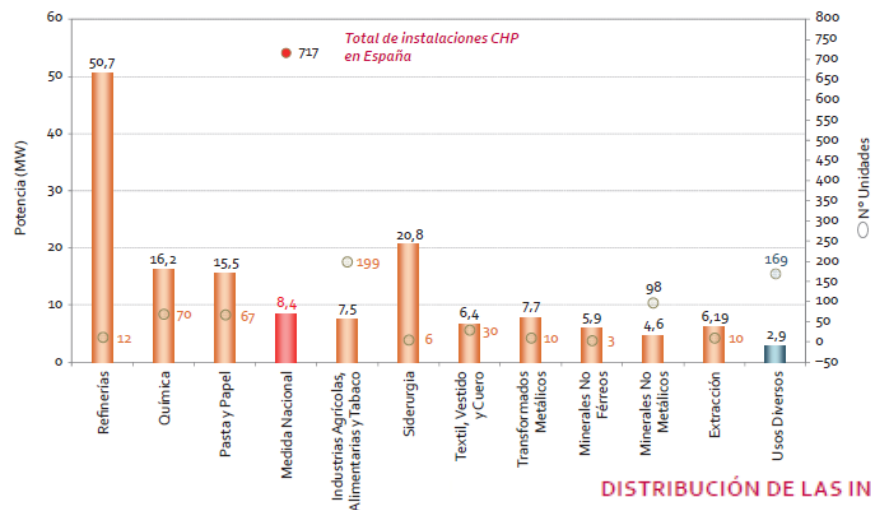
- La potencia eléctrica con fuentes fósiles representa el 61% de la potencia instalada, con una producción del 20.996 GWh (61% de la energía eléctrica total generada).
- En 2016 las centrales de carbón redujeron su producción en 34% y los ciclos combinados la incrementaron un 10%.
- Las instalaciones de **cogeneración** representan el 26% de la energía eléctrica generada con fuentes fósiles.

La cogeneración en España

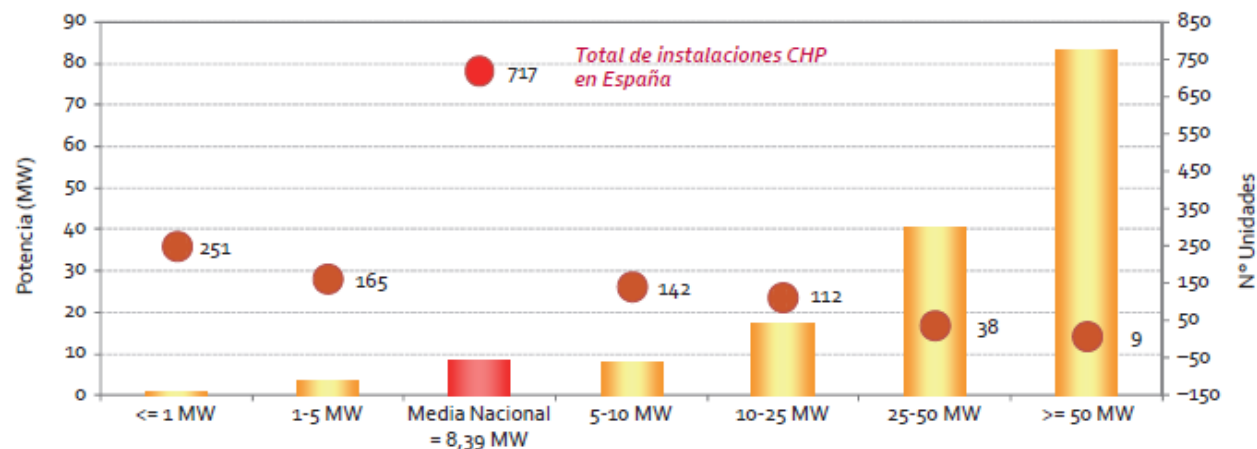
TODAS LAS PLANTAS	POTENCIA INSTALADA (MW)									
	2013	2014	2015	2016	2017	ENE'18	DIF MES ANT	DIF '16-'15	DIF '17-'16	DIF '18-'17
REGISTRADA	5.979	6.089	6.102	5.997	5.757	5.679	-79	-105	-240	-79
NO OPERATIVA ÚLT. 36 MESES (TIPO III)	299	n/d	1.054	909	1.214	1.135	-79	-65	245	-79
NO OPERATIVA ÚLT. 24 MESES (TIPO II)	30	1.172	86	429	27	29	2	343	-402	2
NO OPERATIVA ÚLT. 12 MESES (TIPO I)	182	91	582	140	24	26	2	-442	-116	2
NO OPERATIVA	471	1.263	1.702	1.538	1.264	1.189	-75	-164	-274	-75
OPERATIVA	5.508	4.826	4.400	4.459	4.493	4.489	-4	59	34	-4
% no operativo por la reforma	7,9%	20,7%	27,9%	25,6%	22,0%	20,9%				

La cogeneración en España

DISTRIBUCIÓN DE LAS INSTALACIONES OPERATIVAS DE COGENERACIÓN EN 2015
POR SECTORES Y TAMAÑO MEDIO



DISTRIBUCIÓN DE LAS INSTALACIONES DE COGENERACIÓN SEGÚN RANGO DE POTENCIA, 2015



- <https://energia.gob.es/balances/Balances/LibrosEnergia/energia-espana-2016.pdf>

La cogeneración en España

- 2018: estabilizarla en 4.489 Mw operando a enero de este año - con una base instalada de 5.679 MW
- 2018: La cobertura a la cobertura a la demanda eléctrica nacional bruta es 10,7%
- Reglamentación principal: Ley 23/2013 del sector eléctrico, y su desarrollo normativo en el RD 413/2014
- La cogeneración lleva asociada una elevación de la eficiencia del sistema eléctrico español y una disminución de las emisiones contaminantes, principalmente las de gases de efecto invernadero

La cogeneración en el mundo. Previsiones

- Para EU-25, se estima que el potencial de la cogeneración se sitúa en el rango 150 – 250 GWe, doblando la potencia actual instalada para 2025. En este escenario la potencia eléctrica instalada con plantas de cogeneración superará el 17% (COGEN Europe 2006)
- El Gobierno Canadiense estimó en 2002, un potencial de la cogeneración del orden de 15,5 GWe en 2015, cerca del 12% de la potencia instalada en esa fecha.
- Para EEUU, el potencial de cogeneración en términos de potencia eléctrica instalada es de 110 – 150 GW en 2015, alcanzando un 12 – 21 % de la potencia total instalada en la fecha.
- El Gobierno de U.K. ha estimado que el potencial de la cogeneración es del 17% de la potencia eléctrica total instalada en 2010 (actualmente es del 7,5%)
- El objetivo marcado por el Gobierno Alemán en 2007 fue el de duplicar, en 2020, la potencia eléctrica instalada en esa fecha con plantas de cogeneración.
- En la India, el potencial de cogeneración en el sector industrial supera los 7,5 GWe (Powerline 2007)
- El potencia de cogeneración en Japón para 2030 se ha identificado en 29,4 GWe, , más del 10% de la potencia eléctrica prevista en la fecha

Referencias

- Otros procesos sostenibles de generación de energía: Plantas de cogeneración (http://www.somorrostro.com/pdf/plantas_de_cogeneracion.pdf)
- Libro de la Energía en España 2016
- Lizarraga, J. M. S., & María, J. (1994). Cogeneración: aspectos termodinámicos, tecnológicos y económicos. Universidad del País Vasco, Servicio Editorial.
- Orlando, J. A. (1997). Cogeneration planner's handbook. PennWell Books.
- COGEN Europe. (2001). A Guide to Cogeneration.
- EDUCOGEN, E. (2001). European Education Tool on Energy-Efficiency Through the Use of Cogeneration. The European Association for the Promotion of Cogeneration, Brisel.
- De cogeneración, a. D. E. P. (2008). Guía técnica para la medida y determinación del calor útil, de la electricidad y del ahorro de energía primaria de cogeneración de alta eficiencia.

L2 Introducción a la cogeneración



Sistemas de Potencia - Tecnología Energética
Máster Universitario en Ingeniería Industrial
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla