Apuntes

Eficiencia Energética

Temas 1 a 4

Máster Universitario en Ingeniería de la Energía

ETSI Minas y Energía

Hugo Torres Orejudo

Noviembre 2026

Elaborado con IA a partir del material de la asignatura. Material no oficial.

Índice general

1 Introducción: conceptos y legislación **2**
1.1 Ahorro frente a eficiencia . . . 2
1.2 Energía final, primaria y emisiones . . . 2
1.3 Marco legislativo . . . 3

2 Eficiencia en la edificación **3**
2.1 Demanda térmica . . . 3
2.2 CTE DB-HE: exigencias básicas . . . 3
2.3 Simulación con HULC . . . 3
2.4 Iluminación . . . 4

3 Eficiencia térmica en la industria **4**
3.1 Cogeneración . . . 4
3.2 Integración de procesos (análisis pinch) . . . 5
3.3 Certificados de ahorro energético (CAE) . . . 5

4 Eficiencia eléctrica en la industria **6**
4.1 Medida del consumo . . . 6
4.2 Compensación de energía reactiva . . . 6
4.3 Armónicos . . . 6

5 Cómo se pregunta en el examen **7**

Resumen

Resumen de los cuatro temas de la asignatura: conceptos y legislación, eficiencia en la edificación, eficiencia térmica en la industria (cogeneración, integración de procesos y certificados de ahorro) y eficiencia eléctrica. Los factores de paso y las definiciones de cogeneración siguen los documentos de referencia del curso. Los problemas completos están en el documento de ejercicios resueltos.

1 Introducción: conceptos y legislación

1.1 Ahorro frente a eficiencia

Ahorrar es consumir menos energía, aunque sea renunciando a un servicio. **Ser eficiente** es dar el mismo servicio (confort, producción, iluminación) con menos energía. Las medidas de eficiencia se evalúan por la energía que evitan, su coste y su periodo de retorno.

1.2 Energía final, primaria y emisiones

- **Energía final**: la que llega al usuario y se mide en el contador (kWh de electricidad, kWh PCI de gas).
- **Energía primaria**: la que hubo que extraer de la naturaleza para entregar esa energía final, contando transformación, transporte y pérdidas. Se separa en **renovable** y **no renovable**.
- **Emisiones**: kg de CO_2 asociados a cada kWh final.

El paso se hace con los **factores de paso** oficiales (documento reconocido del RITE). Los que más se usan:

Vector (por kWh final)	EP ren.	EP no ren.	EP total	kg CO_2/kWh
Electricidad convencional nacional	0,396	2,007	2,403	0,357
Electricidad convencional peninsular	0,414	1,954	2,368	0,331
Gas natural	0,005	1,190	1,195	0,252

Idea clave

Un kWh eléctrico "vale" unas dos veces más energía primaria que un kWh de gas. Por eso una bomba de calor con rendimiento estacional alto ahorra energía primaria frente a una caldera aunque consuma electricidad: lo que importa es el producto (energía final) × (factor de paso).

1.3 Marco legislativo

La Directiva de Eficiencia Energética de la UE fija objetivos de reducción del consumo y obliga a los Estados a ahorrar cada año; en España se concreta en el PNIEC, la Estrategia de Descarbonización a 2050, el Código Técnico de la Edificación (CTE), el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) y el sistema de Certificados de Ahorro Energético (CAE).

2 Eficiencia en la edificación

2.1 Demanda térmica

La demanda de calefacción es el calor que hay que aportar para mantener la temperatura interior. Sus componentes principales son las pérdidas por transmisión y por ventilación e infiltraciones, menos las ganancias solares e internas:

$$\dot{Q}_{trans} = \sum U_i A_i \,(T_i - T_e), \qquad U = \frac{1}{R_{si} + \sum e_j/\lambda_j + R_{se}}, \qquad \dot{Q}_{vent} = \dot{m}\, c_p \,(T_i - T_e).$$

Con grados-día (GD) la demanda anual por transmisión se estima como $Q = \sum UA \cdot GD \cdot 24$ (Wh si UA en W/K).

2.2 CTE DB-HE: exigencias básicas

- **HE0**, limitación del consumo energético: límites de consumo de energía primaria no renovable $C_{ep,nren}$ y total $C_{ep,tot}$ según zona climática.
- **HE1**, control de la demanda: transmitancia global de la envolvente K, control solar en verano $q_{sol;jul}$ y permeabilidad al aire.
- **HE2**, rendimiento de las instalaciones térmicas (remite al RITE).
- **HE3**, iluminación: valor de eficiencia energética de la instalación (VEEI) y potencia máxima instalada, más sistemas de control y regulación.
- **HE4**, contribución renovable mínima para ACS y climatización de piscinas.
- **HE5**, generación mínima de energía eléctrica renovable.

La **certificación energética** asigna letras de la A a la G según el consumo de energía primaria no renovable y las emisiones, comparando con los valores de referencia.

2.3 Simulación con HULC

La Herramienta Unificada LIDER-CALENER modela la geometría, la envolvente y las instalaciones del edificio, calcula la demanda hora a hora y comprueba el cumplimiento de HE0 y HE1 frente al edificio de referencia. Errores típicos: zonas mal asignadas, puentes térmicos olvidados y sistemas que no cubren toda la demanda.

2.4 Iluminación

Fórmulas clave

Iluminancia media E_m (lux = lm/m^2) según la tarea (UNE-EN 12464-1). VEEI = $\dfrac{100\,P}{S\,E_m}$ en W/m^2 por cada 100 lux.

Mejoras habituales: luminarias LED con alta eficacia (lm/W), regulación por aporte de luz natural, detección de presencia y zonificación.

3 Eficiencia térmica en la industria

3.1 Cogeneración

Producción simultánea de electricidad y calor útil a partir del mismo combustible. Esquemas: **ciclo de cabeza** (*topping*: primero electricidad y después calor, lo habitual con motores y turbinas de gas) y **ciclo de cola** (*bottoming*: se aprovecha calor residual de un proceso para generar electricidad). Con una máquina de absorción se produce también frío (**trigeneración**).

Indicadores de una cogeneración

E electricidad en bornes, H calor útil, F combustible (PCI).

$$\eta_E = \frac{E}{F} \qquad \eta_H = \frac{H}{F} \qquad \eta_{global} = \frac{E+H}{F}$$

Ahorro de energía primaria: $AEP = \dfrac{E}{Ref_E\eta} + \dfrac{H}{Ref_H\eta} - F$

$$PES = 1 - \frac{1}{\dfrac{\eta_H}{Ref_H\eta} + \dfrac{\eta_E}{Ref_E\eta}} \qquad REE = \frac{E}{F - \dfrac{H}{Ref_H\eta}}$$

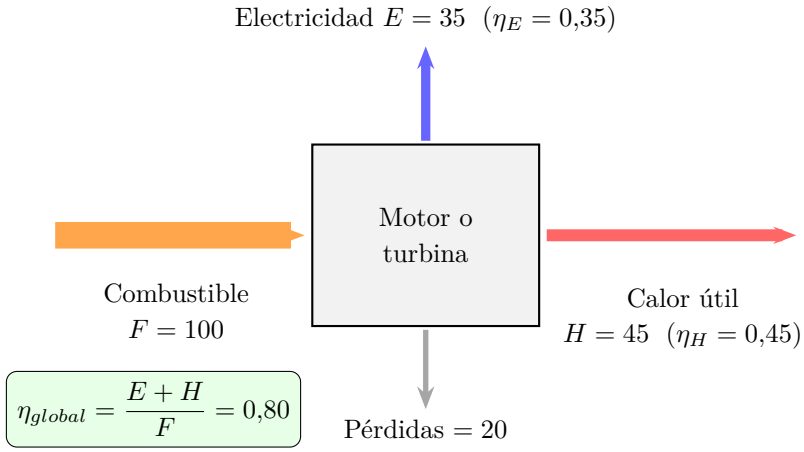


Figura 1. Balance de una cogeneración (valores ilustrativos en unidades de energía). El grosor de cada flecha es proporcional a la energía.

- $Ref_E\eta$ y $Ref_H\eta$ son los rendimientos de referencia de la producción separada (armonizados por la UE según combustible y año; el eléctrico se corrige por pérdidas de red).

- **Alta eficiencia**: $PES \geq 10\,\%$ (para pequeña escala y microcogeneración basta con que sea positivo).
- El **REE** mide el rendimiento eléctrico "descontando" el combustible que habría gastado una caldera para producir el mismo calor. El RD 413/2014 fija un mínimo por tecnología.

Calor útil a partir de gases calientes: $\dot{H} = \dot{m}\,(h_1 - h_2)$, con la entalpía de los gases que dé el enunciado.

3.2 Integración de procesos (análisis pinch)

Se trata de calentar las corrientes frías con las calientes antes de recurrir a servicios externos (caldera, frío).

1. Se identifican corrientes calientes (hay que enfriarlas) y frías (hay que calentarlas) con su capacidad calorífica $CP = \dot{m}\,c_p$ y sus temperaturas.
2. Se fija la aproximación mínima ΔT_{min} entre corrientes en el intercambiador.
3. Con las **curvas compuestas** en el diagrama T–H o con la **cascada térmica** (método algebraico por intervalos) se obtienen el calor recuperable, las mínimas necesidades de calor y de frío y el **punto pinch**.

> **Idea clave**
>
> Reglas del pinch: no transferir calor a través del pinch, no usar frío por encima de él ni calor por debajo. Un ΔT_{min} menor recupera más energía pero exige más superficie de intercambio.

Para comparar con y sin integración se pasa todo a energía primaria: calor de caldera $\dot{Q}/\eta_{caldera} \cdot f_{gas}$ y frío eléctrico $\dot{Q}/COP \cdot f_{elec}$.

3.3 Certificados de ahorro energético (CAE)

El sistema CAE permite acreditar ahorros de energía final de una actuación y venderlos a los sujetos obligados del Fondo Nacional de Eficiencia. El ahorro se calcula con **fichas estandarizadas** (por ejemplo, rehabilitación de la envolvente, sustitución de caldera por bomba de calor, variadores de velocidad, centrales frigoríficas o vehículos eléctricos), cada una con su fórmula, sus factores y la vida útil de la medida. En examen: identificar la ficha, aplicar su fórmula con los datos y dar el ahorro anual en kWh.

4 Eficiencia eléctrica en la industria

4.1 Medida del consumo

Contadores y analizadores de redes registran energía activa, reactiva, potencia máxima y armónicos. La factura distingue término de potencia, de energía, excesos de potencia y penalización por energía reactiva.

4.2 Compensación de energía reactiva

Las cargas inductivas (motores, transformadores) consumen reactiva, aumentan la corriente y las pérdidas y penalizan en la factura. Se compensa con baterías de condensadores:

$$Q_c = P\,(\tan\varphi_1 - \tan\varphi_2), \qquad C_\Delta = \frac{Q_c}{3\,\omega U^2}.$$

Con la misma potencia activa la corriente baja en proporción $\cos\varphi_1/\cos\varphi_2$ y las pérdidas con su cuadrado.

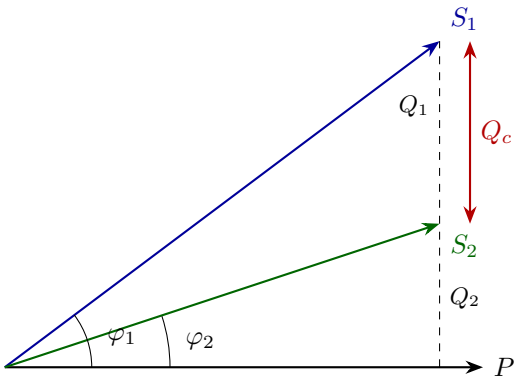


Figura 2. Triángulo de potencias antes y después de compensar. La batería de condensadores aporta $Q_c = P(\tan\varphi_1 - \tan\varphi_2)$, con lo que baja S y la corriente de línea.

4.3 Armónicos

Las cargas no lineales (variadores, rectificadores, fuentes conmutadas, LED) inyectan corrientes armónicas: calientan conductores y transformadores, sobrecargan el neutro (armónicos triples) y pueden entrar en resonancia con las baterías de condensadores. Se mitigan con filtros pasivos sintonizados, filtros activos o baterías con reactancias de rechazo. Indicador: distorsión armónica total $THD = \sqrt{\sum_{h\geq 2} I_h^2}/I_1$.

5 Cómo se pregunta en el examen

1. Pasar consumos finales a energía primaria y emisiones y comparar soluciones (caldera frente a bomba de calor).
2. Cogeneración: E, H, F y los indicadores; decir si es de alta eficiencia y comparar el REE con el mínimo.
3. Integración de procesos: necesidades de calor y frío con y sin integración y ahorro de energía primaria.
4. CAE: aplicar la ficha correspondiente.
5. Iluminación (VEEI) y compensación de reactiva.
6. Teoría: exigencias del DB-HE, conceptos de certificación, legislación.

Errores típicos

Mezclar energía final y primaria. Usar el factor de paso peninsular cuando el enunciado dice nacional (o al revés). Olvidar el rendimiento de la caldera o el COP antes de aplicar el factor de paso. Confundir η_E con REE.