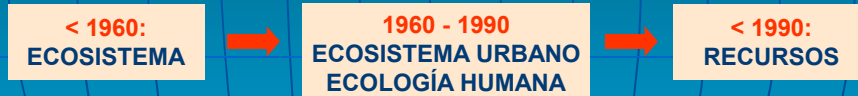


## 1. INTRODUCCIÓN

**CONTAMINACIÓN (tradicional):**  
Alteración en la **composición**  
de un ecosistema por efecto de  
la actividad humana

CT, CA

**CONTAMINACIÓN (actual):**  
Cualquier **efecto no deseado**  
provocado por la alteración  
humana del medio ambiente



Física del Medio Ambiente.



## 2. DEFINICIONES. CALOR Y TRABAJO

**Sistemas: ecuaciones de estado y equilibrio**

- ◆ Sistema termodinámico
- ◆ Entorno
- ◆ Variables termodinámicas: **VARIABLES DE ESTADO**

Extensivas  
Intensivas

Externas  
Internas

- ◆ Grados de libertad
- ◆ Estado estacionario / proceso termodinámico

**EQUILIBRIO TERMODINÁMICO:** Variables macroscópicas (P, T, V)  
constantes, variables intensivas no varían entre puntos del sistema

Física del Medio Ambiente.



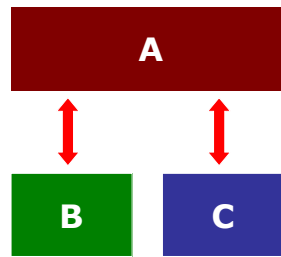
## 2. DEFINICIONES. CALOR Y TRABAJO

### INTERACCIONES DE UN SISTEMA TERMODINÁMICO

- ▶ Interacción másica
- ▶ Interacción mecánica
- ▶ Interacción térmica



### PRINCIPIO CERO DE LA TERMODINÁMICA



## 3. EFECTOS DE LA CONTAMINACIÓN TÉRMICA

- 1 Muerte de las especies
- 2 Reemplazamiento de poblaciones
- 3 Trastornos en el ciclo reproductor
- 4 Modificaciones de los tipos y abundancia de microorganismos
- 5 Crecimiento rápido de las algas
- 6 Disminución del oxígeno disuelto → **DBO**
- 7 Reducción de la viscosidad del agua
- 8 **SINERGIAS:** Situación en la cual la acción combinada de dos o más agentes actuando simultáneamente es superior a la acción provocada por la de cada uno por separado
- 9 Aceleración de los procesos metabólicos

Tiempo máximo de exposición de un organismo a T: Fórmula de Coutant

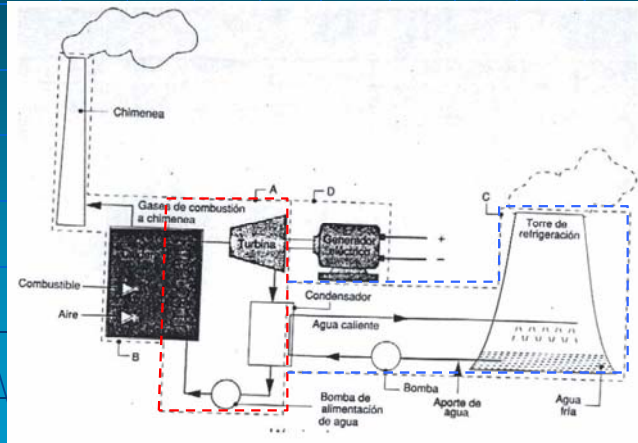
$$\log t = a + bT$$



## 4. CENTRALES TÉRMICAS

### SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA Y MECÁNICA:

Ciclos de vapor, turbinas de gas, sist. de combustión interna, plantas hidráulicas, ...

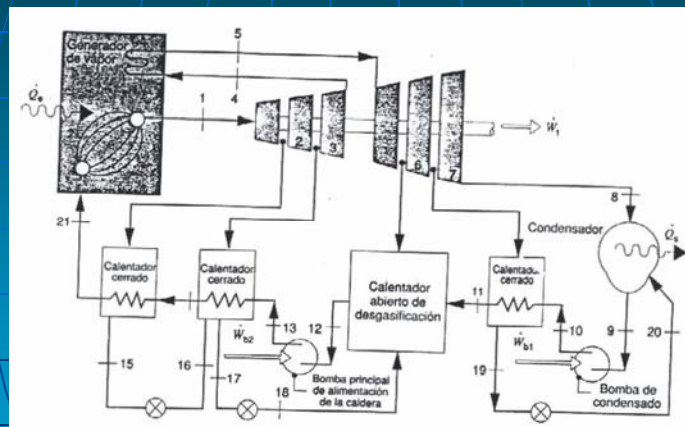


Física del Medio Ambiente.



## 4. CENTRALES TÉRMICAS

### Generación de trabajo en una turbina de vapor



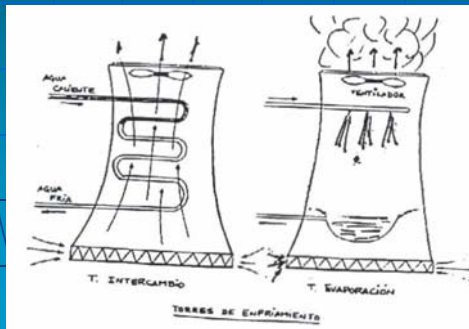
Física del Medio Ambiente.



## 4. SOLUCIONES DE CONTROL: CENTRALES TÉRMICAS

### Sistemas de refrigeración de una central energética

- ◆ Enfriamiento único
- ◆ Pantano de enfriamiento
- ◆ Torres de evaporación
- ◆ Torres de intercambio



Física del Medio Ambiente.



## 4. CENTRALES TÉRMICAS

	Impacto	Coste	Eficacia
Enfriamiento único	1º	4º	4º
Pantano de enfriamiento	2º	3º	3º
Torre de evaporación	3º	2º	1º
Torre de intercambio	4º	1º	2º

### ESTRATEGIAS DE MINIMIZACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN TÉRMICA Y EL IMPACTO AMBIENTAL:

- ◆ Investigación en los sistemas de producción de energía

$$\eta_c = 1 - \frac{T_f}{T_c}$$

CT:  $\eta_c = 52\%$       $\eta_{real} \approx 40\%$

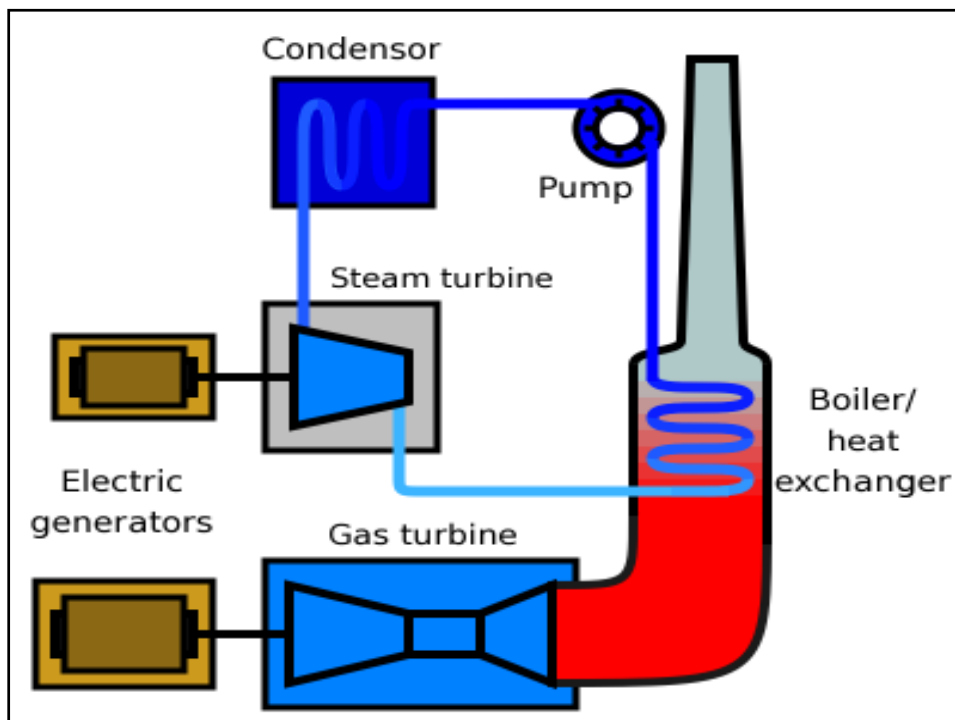
CN:  $\eta_c = 45\%$       $\eta_{real} \approx 33\%$

Física del Medio Ambiente.

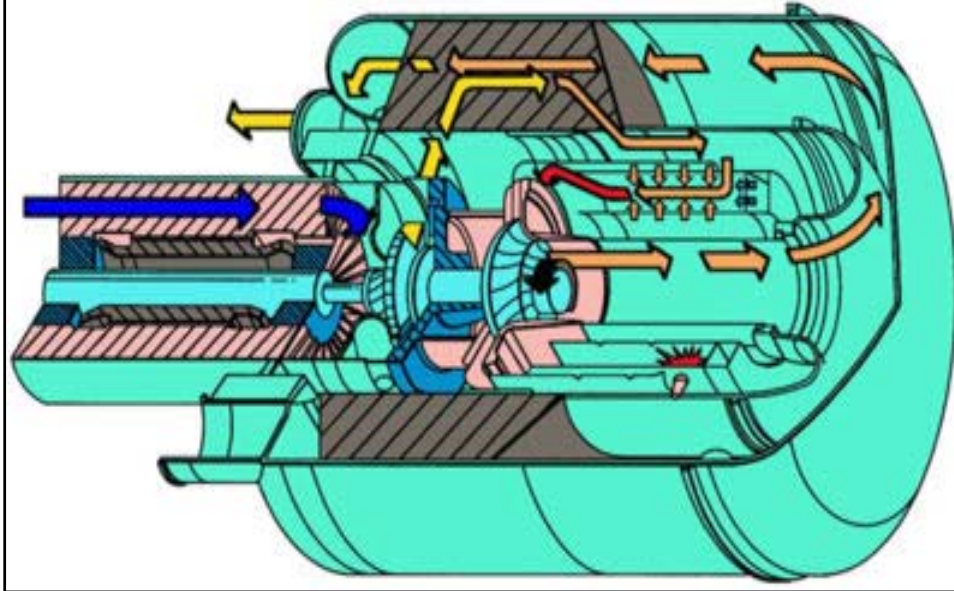


## 5. CENTRALES DE CICLO COMBINADO

- Utiliza gas natural como combustible
- Tiene una turbina a gas y otra a vapor
- El vapor que mueve la turbina a vapor es generado por el calor de los gases de la turbina a gas
- La única parte que no compare en una central termica clasica es la turbina a gas

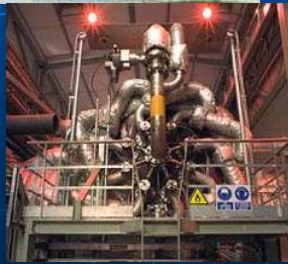


## TURBINA DE GAS



- Reducido coste de instalacion
- Vertido casi nulo de SO<sub>2</sub>
- Menos emisiones de CO<sub>2</sub> por kWh producido
- Menos emisiones de NO<sub>2</sub> por kWh producido
- Rendimiento del 55%

# CENTRALES DE CICLO COMBINADO



CONCENTRACIÓN PRODUCIDA POR CENTRALES TÉRMICAS gr/kWh

CONCEPTO		TIPOS DE CENTRALES			
		Carbón	Carbón con tto. de azufre	Gas	Ciclo combinado de gas
Óxido de Nitrógeno	NO <sub>2</sub>	1,29	1,29	0,23	0,10
Dióxido de azufre	SO <sub>2</sub>	17,2	0,86	0,00	0,00
Dióxido de Carbono	CO <sub>2</sub>	884	884	740	345
Eficiencia energética	%	33 a 36	33 a 36	36 a 39	53 a 58



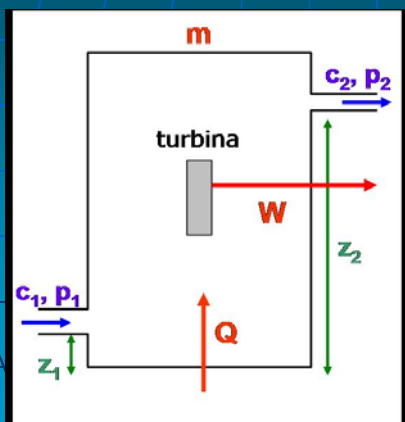
TURBINA DE VAPOR

TURBINA DE GAS

## 6. FORMA DE JOUGUET DEL 2º PRINCIPIO

Primer principio de la termodinámica

$$dE = \delta Q - \delta W \xrightarrow{\text{Sistemas simples}} dU = \delta Q - \delta W = \text{func. de estado}$$



Aplicación a sistemas abiertos en estado estacionario

Trabajo sobre el sistema =  $m p_1 v_1$   
 Trabajo realizado por el sistema =  $W + m p_2 v_2$

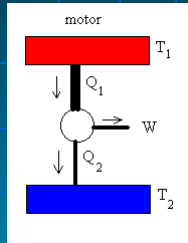
$$Q - W = \Delta H + \Delta E_C + \Delta E_P$$



## 6. FORMA DE JOUGUET DEL 2º PRINCIPIO

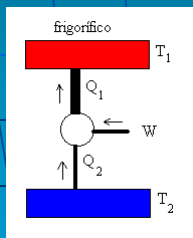
### Máquinas térmicas: rendimiento y eficacia

#### MÁQUINA TÉRMICA:



$$\text{Rendimiento} = \eta = \frac{|W|}{|Q_1|} = 1 + \frac{Q_2}{Q_1}$$

#### MÁQ. FRIGORÍFICA/ TERMOBOMBA



#### Frigorífico:

$$\text{Eficacia} = \text{COF} = \varepsilon_f = \frac{|Q_2|}{|W|} = \frac{|Q_2|}{|Q_1 - Q_2|}$$

#### Termobomba:

$$\text{Eficacia} = \text{COF} = \varepsilon_t = \frac{|Q_1|}{|W|} = \frac{|W| + |Q_2|}{|W|} = 1 + \varepsilon_f$$

Física del Medio Ambiente.

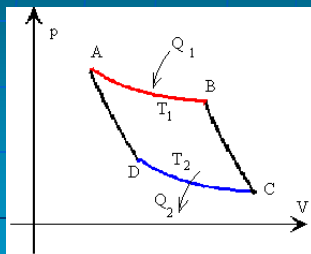


## 6. FORMA DE JOUGUET DEL 2º PRINCIPIO

### Segundo principio de la termodinámica

- ♦ Enunciado de Carnot
- ♦ Enunciado de Kelvin-Planck
- ♦ Enunciado de Kelvin
- ♦ Enunciado de Clausius

#### Consecuencias: Teorema de Carnot



#### MÁQUINA DE CARNOT:

$$\eta_c = 1 - \frac{T_2}{T_1} \quad \varepsilon_f = \frac{T_2}{T_1 - T_2} \quad \varepsilon_t = \frac{T_1}{T_1 - T_2}$$

- 1)  $\eta_c$  es máximo
- 2) El rendimiento de cualquier máquina reversible es  $\eta_c$  independientemente de su SA
- 3)  $\eta_c = \eta_c(T_1, T_2)$

Física del Medio Ambiente.



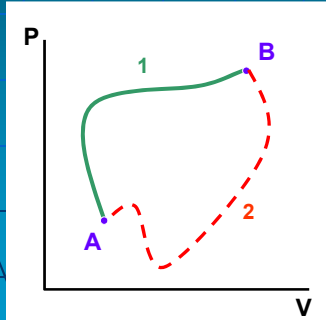


## 6. FORMA DE JOUGUET DEL 2º PRINCIPIO

### Consecuencias: Teorema de Clausius

CICLO REVERSIBLE: Igualdad de Clausius  $\oint_R \frac{\delta Q}{T} = 0$

IRREVERSIBLE: Desigualdad de Clausius  $\oint_I \frac{\delta Q}{T_f} < 0$



$$\int_{AB} \frac{\delta Q_R}{T} = \text{Función de estado} = S_B - S_A = \Delta S \text{ (J/K)}$$

$$\int_{AB} \frac{\delta Q_I}{T_f} < \Delta S \Rightarrow \delta Q_I < T dS$$

SISTEMA AISLADO:  $\delta Q_I = 0 \Rightarrow dS > 0$



## 6. FORMA DE JOUGUET DEL 2º PRINCIPIO

### Forma de Jouguet del segundo principio

$$\delta Q_I = T dS - \delta f \quad \delta f \geq 0 \quad \delta f = \text{Trabajo inutilizado}$$

$$dS = \frac{\delta Q_I}{T} + \frac{\delta f}{T} = dS_c + d\sigma \quad \sigma = \text{Entropía creada} = \Delta S_{\text{Universo}}$$

### Minimización de la energía inutilizada

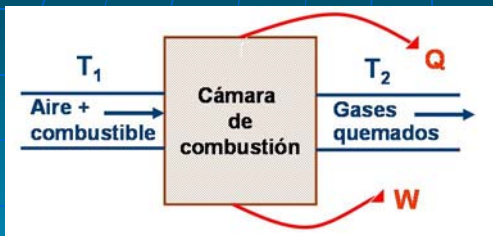
$$\delta f_{\min} = T_{\text{amb}} d\sigma$$

$$W_{\max}(T_1, T_2) = Q \left( 1 - \frac{T_{\text{amb}}}{T_1} \right)$$



## 7. EXERGÍA

### Transformación monoterma abierta REVERSIBLE



$$T_1 = T_2 = T_f = T_0$$

$$1^{\text{er}} \text{ princ.: } Q - W = \Delta H$$

$$2^{\text{o}} \text{ princ.: } \delta Q = T_f dS - \delta f$$

0 (rev.)

$$W_{\text{rev}} = (H_1 - T_f S_1) - (H_2 - T_f S_2) = A_1 - A_2 = \text{EXERGÍA}$$

**EXERGÍA = Máximo trabajo utilizable a la temperatura del foco**



## 7. EXERGÍA

### Transformación monoterma IRREVERSIBLE

$$\delta Q = T_f dS - \delta f = T_f dS - T_f d\sigma \quad \Rightarrow \quad W = A_1 - A_2 - T_f \sigma$$

DESTRUCCIÓN DE EXERGÍA

### Balance exergético para sistemas cerrados

$$A_2 - A_1 = \int_1^2 \delta Q \left( 1 - \frac{T_0}{T_f} \right) - [W - P_0 (V_2 - V_1)] - T_0 \sigma$$

VARIACIÓN DE EXERGÍA TOTAL

CONT. EXERGÉTICO DEL CALOR

CONT. EXERGÉTICO DEL TRABAJO

EXERGÍA DESTRUIDA

$T_0$  = Temp. ambiente     $P_0$  = Presión ambiente

$T_f$  = Temp. de frontera



## 7. EXERGÍA

Uso eficiente de los combustibles.  
Integración de procesos

Balance energético:

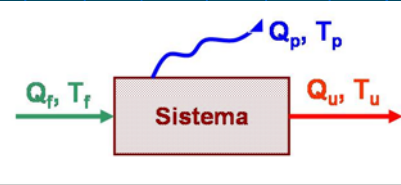
$$\dot{Q}_f = \dot{Q}_u + \dot{Q}_p$$

Balance exergético:

$$\dot{Q}_f \left(1 - \frac{T_o}{T_f}\right) = \dot{Q}_u \left(1 - \frac{T_o}{T_u}\right) + \dot{Q}_p \left(1 - \frac{T_o}{T_p}\right) + T_o \frac{d\sigma}{dt}$$

Eficiencia energética:

$$\eta = \frac{\dot{Q}_u}{\dot{Q}_p} \quad \begin{array}{l} \text{Productos} \\ \text{Recursos} \end{array}$$



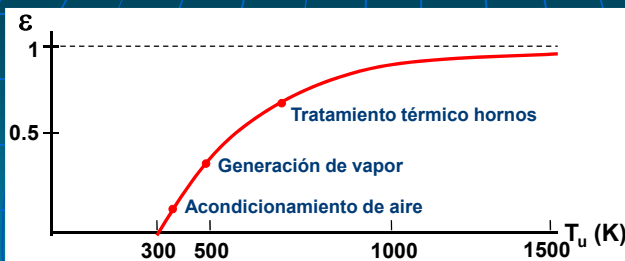
Eficiencia exergética:

$$\varepsilon = \frac{\left(1 - \frac{T_o}{T_u}\right) \dot{Q}_u}{\left(1 - \frac{T_o}{T_f}\right) \dot{Q}_f} = \eta \frac{\left(1 - \frac{T_o}{T_u}\right)}{\left(1 - \frac{T_o}{T_f}\right)}$$

Física del Medio Ambiente.



## 8. SOLUCIONES: COGENERACIÓN.



$\eta = 100\%$

$T_f = 2200 \text{ K}$

INTEGRACIÓN DE PROCESOS:

- ◆ **COGENERACIÓN:** Generación simultánea de energía eléctrica y térmica útil a los procesos industriales, a partir de la misma fuente de energía primaria.
- ◆ Recuperación de potencia
- ◆ Recuperación de calores residuales

Física del Medio Ambiente.



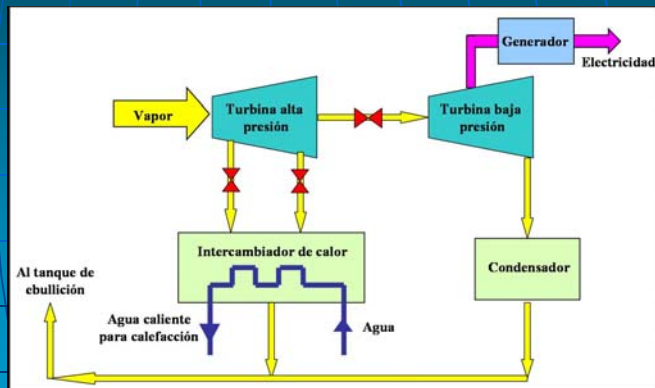
## 8. SOLUCIONES: ENERGÍA TOTAL

### a) Desechos térmicos. Calefacción distrito y energía total

Utilización de los desechos térmicos de una central energética para calefacción de un barrio o sección de una ciudad

PROBLEMA:  
Baja eficiencia

BALANCE  
ELECTRICIDAD-  
CALEFACCIÓN



Física del Medio Ambiente.



## 8. SOLUCIONES: CALEFACCIÓN

### a) Desechos térmicos. Calefacción distrito y energía total

**MOTOR DIESEL:**

$$\eta \approx 40\%$$

Recuperación  $E_{\text{humos}} \approx 50\%$

→ Energía total producida: 70%

**TURBINA DE GAS:**

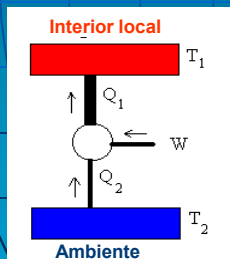
$$\eta \approx 15\%$$

Recuperación gas alta  $T \approx 70\%$

→ Energía total producida: 75%

Capacidad de recuperación energética de los residuos

### b) Bomba de calor. Calefacción y acondicionamiento térmico de locales



15-20% del consumo de energía eléctrica de las ciudades

TERMOBOMBA

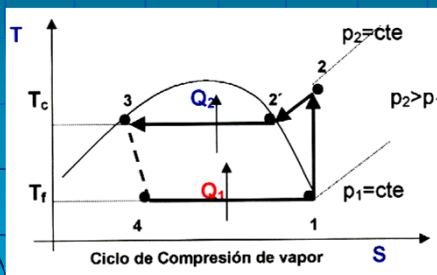
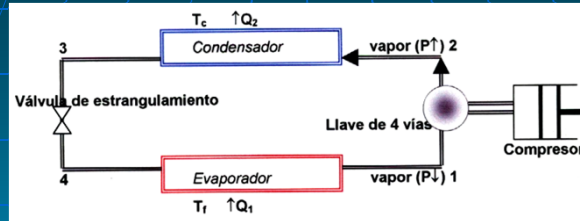
- Por compresión de vapor
- Por absorción

Física del Medio Ambiente.



## 8. SOLUCIONES: CALEFACCIÓN

### Bomba de calor por compresión de vapor



- 1-2 Compresión del vapor con aporte de trabajo
- 2-3 Condensación hasta líquido a Tc: cesión de calor
- 3-4 Expansión isentrópica
- 4-1 Evaporación hasta vapor saturado a Tf: aporte de calor

Física del Medio Ambiente.



## 8. SOLUCIONES: CALEFACCIÓN

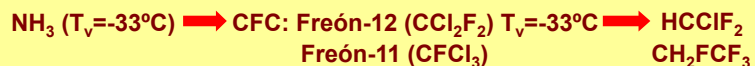
### b) Bomba de calor. Calefacción y acondicionamiento térmico de locales

$$COF_t = \frac{Q_1}{Q_1 - Q_2} = \frac{T_c}{T_c - T_f}$$

$\approx 2 - 4$  para calefacción  
 $\approx 1,5 - 2,5$  para refrigeración

#### OTRAS CARACTERÍSTICAS

- Numerosas fuentes de calor posibles
- Rendimiento variable en función de las condiciones climatológicas
- Uso como refrigeradores: **Evolución del fluido refrigerante**



- $COF > 1$   $\rightarrow$  Permiten aprovechar el **100%** del contenido energético del combustible en central

Física del Medio Ambiente.



## 8. SOLUCIONES: AISLAMIENTO

### c) Aislamiento. Confort térmico

$T_{\text{aire}}, ^\circ\text{C}$	%HR	$V_{\text{aire}}, \text{m/s}$	$T_{\text{paredes}}, ^\circ\text{C}$	$T_{\text{suelo}}, ^\circ\text{C}$
16	100	0	16	16
22	55	3	22	22

$$T_{\text{efectiva}} = 16 ^\circ\text{C}$$

**TEMPERATURA EFECTIVA:** T del aire de un recinto similar al considerado, que con una velocidad del aire de 0,2 m/s, un 50% de HR y elementos de contorno a la misma T que el aire produce la misma sensación térmica que el local considerado

$$T_e \text{ verano: } 18\text{-}26 ^\circ\text{C}$$

$$T_e \text{ invierno: } 16\text{-}24 ^\circ\text{C}$$



## 8. SOLUCIONES: AISLAMIENTO

### c) Aislamiento. Pérdidas de calor por los cerramientos de una vivienda

$$K_G = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \sum_i \left( \frac{L_i}{\lambda_i} \right) + \frac{1}{h_e}}$$

$h_i, h_e$  = Coeficientes de transmisión de calor por convección del aire interior y exterior

$\lambda_i$  = Conductividad térmica de las superficies que constituyen el cerramiento

$L_i$  = Espesor de cada capa de cerramiento

#### Condensaciones en la construcción:

$$HR = \frac{P_v \text{ real}}{P_v \text{ saturación}} \times 100$$

$$\%HR = 100 \% \text{ a } T = T_{\text{rocío}}$$

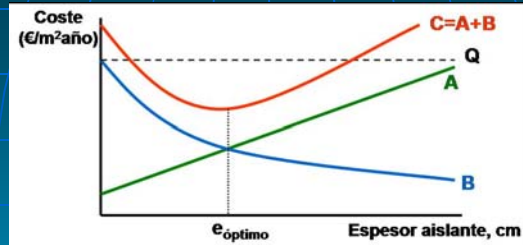
#### PRINCIPIO DE LA PARED FRÍA:

Las condensaciones aparecerán cuando la temperatura de la superficie de la pared interior sea inferior al punto de rocío del aire en contacto con la superficie



## 8. SOLUCIONES: AISLAMIENTO

### c) Aislamiento. Espesor óptimo de aislante.



### c) Aislamiento. Estrategias para un buen aislamiento térmico

Velocidad del viento, km/h	0	55
Tabique de ladrillo	70	115
Tabicón con hueco de 5 cm	28	36
Cristal sencillo de 0,3 cm	80	150
Doble cristal de 0,3 cm separados por 2,5 cm aire	45	65

→ Pérdidas caloríficas,  $W/m^2$

Física del Medio Ambiente.



## SEMINARIOS

### 1. GESTIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS PARA EL AHORRO DE ENERGÍA

- ◆ Conversión en abono orgánico (compost).
- ◆ Incineración a alta T, uso como combustible.
- ◆ Vertido controlado.
- ◆ Reciclado

### 2. EL AHORRO ENERGÉTICO EN LOS SISTEMAS DE TRANSPORTE

- ◆ Nuevos motores: turbinas de gas, motores ciclo Rankine, coches eléctricos, coches mixtos. Avances en el diseño del automóvil.
- ◆ Ventajas energéticas del uso del transporte público.
- ◆ Aspectos relacionados: tipo de conducción, de pavimento, ordenación del tráfico urbano.

Física del Medio Ambiente.



## CONTAMINACIÓN TÉRMICA: BIBLIOGRAFÍA RELACIONADA

- ◆ **Boecker, E., van Grondelle, R.** *Environmental science: physical principles and applications*. Chichester: Wiley, 2001
- ◆ **Catalá, J.** *Contaminación y conservación del medio ambiente*. Alhambra, 1986
- ◆ **Gómez, J.L., Monleón, M., Gallego, G.** *Termodinámica técnica*. Valencia: UPV, 2002
- ◆ **Mataix, C.** *Termodinámica técnica y máquinas térmicas*. Madrid: ICAI, 1993
- ◆ **Shen, T.H.** *Industrial pollution prevention*. Berlin: Springer-Verlag, 1995
- ◆ **Pepper, I.L., Gerba, C.P., Brusseau, M.L.** *Pollution Science*. Academic Press, Canada, 1996
- ◆ **White, I.D., Mottershead, D.N., Harrison, S.J.** *Environmental systems. An introductory text*. Chapman & Hall, London, 1993

