

TEMPERATURA, CALOR I TERMODINÀMICA

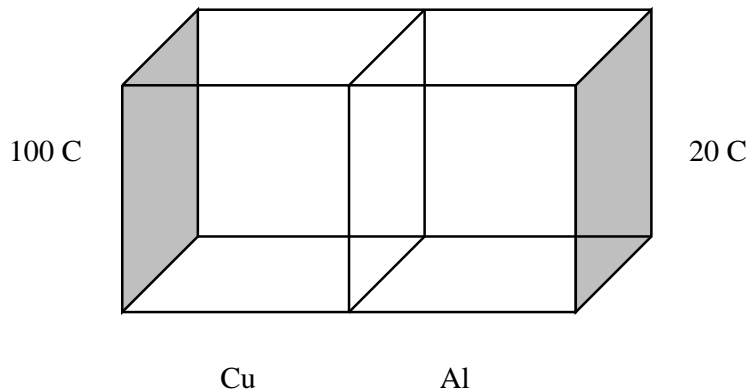
Per resoldre aquests problemes podeu utilitzar les dades numèriques de la Taula final.

1. Transformeu a graus Fahrenheit -38.9°C i 357°C , i a graus Celsius -179°F i 173°F .
 Resp.: -38.0°F , 675°F , -117°C , 78°C .
2. Quina és la distància mitjana que hi ha, aproximadament, entre dues molècules d'aigua (estant en fase líquida)? I entre dues molècules d'aire?
 Resp.: $L_{AIGUA} = 3 \times 10^{-10} \text{ m}$, $L_{AIRE} = 30 \times 10^{-10} \text{ m}$,

Canvis d'estat. Conducció de la calor.

3. En un calorímetro que contine 200 g de hielo a -8°C se introducen 50 g de vapor de agua a 100°C . El equivalente en agua del calorímetro es 20 cal/K. Determinar el estado final de la mezcla.
 Resp.: 55.7°C
4. El calor específico de una sustancia está dado por la ecuación empírica: $c = a + bt^2$, donde a y b son constantes y t es la temperatura centígrada. Calcular:
 - a) Calor necesario para elevar la temperatura de una masa m de sustancia desde 0 hasta t .
 - b) ¿Cuál es el calor específico medio $\langle c \rangle$ de la sustancia en el intervalo comprendido entre 0 y t ?
 - c) Comparar este valor medio con el calor específico correspondiente a la temperatura media entre 0 y t .
 Resp.: a) $Q = m \left(at + \frac{1}{3}bt^3 \right)$; b) $\langle c \rangle = a + \frac{1}{3}bt^2$; c) $c \left(\frac{t}{2} \right) = a + b\frac{t^2}{4}$
5. ¿Cuánto vapor de agua a 100°C se ha de inyectar en un recipiente metálico de 30 kg de masa, y cuyo calor específico es 0.20 cal/gK, que contiene 100 kg de hielo a -20°C para que quede a la temperatura de 25°C , sabiendo que previamente se habían añadido 15 kg de agua a 100°C ? ¿En qué condiciones térmicas se encontraba el baño cuando se comenzó a inyectar vapor?
 Resp.: a) 17.07 kg; b) 92.75 kg de hielo a 0°C , 22.25 kg de agua a 0°C
6. Un cuerpo de calor específico 0.40 cal/gK se deja caer deslizando sobre un plano inclinado 60° respecto a la horizontal. Si el coeficiente de rozamiento entre el cuerpo y el plano vale 0.60, encontrar la variación de temperatura T del cuerpo con el tiempo t suponiendo que el 20% de la energía de rozamiento contribuye al calentamiento del cuerpo.
 Resp.: $T = T_0 + 9.754 \times 10^{-4}t^2$, (t en s y T en K)
7. Un estanque tiene una capa superficial de hielo de 8 cm de espesor. Si la temperatura del medio ambiente exterior permanece constante en -15°C , estimar el tiempo que tardará en aumentar 4 cm el espesor del hielo.
 Resp.: $\Delta t = 38.3$ hores

8. El gradiente longitudinal de temperatura en una barra de cobre aislada es de $-2.5^{\circ}\text{C}/\text{cm}$.
- Determinar la diferencia de temperatura entre dos puntos de la barra separados por una distancia de 5 cm.
 - Determinar el flujo calorífico a través de la sección de la barra.
- Resp.: a) 12.5°C ; b) $2.295 \text{ cal}/(\text{cm}^2\text{s})$
9. Las ventanas de una habitación tienen en conjunto un área total de 3 m^2 y el espesor de los vidrios en las mismas es de 3 mm. Las temperaturas en el interior y el exterior de la habitación son de 20°C y 10°C respectivamente. Calcular cuantas calorías por segundo se pierden por conducción a través de las ventanas.
- Resp.: 2600 cal/s
10. Dos barras, una de latón y la otra de cobre, se sueldan por uno de sus extremos. Ambas barras tienen la misma sección recta de 2 cm^2 , y sus longitudes respectivas son de 100 cm y 50 cm, respectivamente. El extremo libre de la barra de cobre se mantiene a una temperatura de 100°C y el de la barra de latón a 0°C .
- ¿Cuál es la temperatura de la soldadura?
 - Calcular el gradiente de temperaturas en cada una de las barras.
 - ¿Cuánto vale la corriente calorífica una vez alcanzado el estado estacionario?
 - Representar gráficamente la temperatura a lo largo del conjunto de las dos barras.
- Resp.: a) 87.59°C ; b) (latón) $0.8759^{\circ}\text{C}/\text{cm}$; (cobre) $0.248^{\circ}\text{C}/\text{cm}$; c) 0.455 cal/s
11. Se colocan de lado dos cubos metálicos de cobre y aluminio de 3 cm de arista como se indica en la figura con las superficies más alejadas entre sí a las temperaturas de 100°C y 20°C , respectivamente.



Calcular:

- Resistencia térmica de cada cubo y resistencia total del sistema.
- Flujo de energía calorífica.
- Temperatura en el contacto entre los dos cubos.
- Temperatura en el contacto si se intercambia la posición de los cubos.

Resp.: a) (cobre) 0.0831 K/W ; (aluminio) 0.1406 K/W ; (total) 0.2237 K/W ; b) 357.5 W ; c) 70.3°C ; d) 49.7°C

12. Un cilindro de metal A se coloca a continuación de otro de metal B exactamente igual con el eje común. El extremo libre del cilindro de metal B se mantiene a 0°C y el extremo libre del de A a 100°C . Sabiendo que la conductividad térmica del metal B es 11 veces mayor que la del A , ¿qué temperatura existe en el punto de contacto cuando se alcanza el régimen estacionario? Se supone que no hay pérdidas laterales.

Resp.: 8.33°C

Primer Principi i motors tèrmics.

13. En un depósito cerrado de paredes rígidas hay 2.5 moles de un gas ideal diatómico a 20°C . Si se calienta dicho depósito suministrándole al gas 400 calorías, ¿qué temperatura alcanzará dicho gas?

Resp.: 52.2°C

14. Un cilindro de paredes aislantes está dotado de un émbolo sin rozamiento. A cada lado hay 8 moles de un gas perfecto ($\gamma = 1.4$) a 20°C y 1 atm. Mediante una resistencia eléctrica se proporciona una cantidad de trabajo w al gas, que de esta forma se expande y comprime el gas que está en el otro lado del émbolo hasta una presión de 3 atm. Calcule:

- El trabajo realizado por el émbolo.
- La temperatura a los dos lados.
- La cantidad de calor w aportada por la resistencia.

Resp.: a) 1.79×10^4 J; b) 401 K; 1356.9 K; c) 1.949×10^5 J

15. Un mol de un gas ideal se encuentra en el estado inicial $P = 2$ atm y $V = 10$ l. El gas se expande a presión constante hasta un volumen de 300 l y después se enfría a volumen constante hasta una presión de 1 atm. A continuación se comprime a presión constante hasta su volumen original y finalmente se calienta a volumen constante hasta su estado original.

- Determine la temperatura de cada uno de los cuatro estados finales después de los procesos a P ó V constantes que realizamos.
- Suponiendo que el gas es monoatómico encuentre el calor absorbido en cada etapa del ciclo.
- Calcule el trabajo de cada etapa.
- Determine la variación de energía interna en cada uno de los procesos.
- ¿Qué trabajo realiza el gas en todo el ciclo? ¿Qué cantidad de calor se absorbe en el ciclo completo?

Resp.: a) 243.8 K, 7317 K, 3658.5 K, 121.9 K;

b) 1.471×10^5 J, -4.712×10^4 J, -7.207×10^4 J, 1.521×10^3 J;

c) 5.883×10^4 J, 0 J, -2.942×10^4 J, 0 J;

d) 8.825×10^4 J, -4.712×10^4 J, -4.266×10^4 J, 1.521×10^3 J;

e) 2.947×10^4 J, 1.486×10^5 J

16. Un recipiente de 20 L contiene un gas diatómico a la presión de 120 atm y a la temperatura de 20°C . Realizamos una transformación reversible hasta llegar a los 40 L. Encuentre:

- El peso del gas, si éste es nitrógeno.

- b) El trabajo realizado, aumento de la energía interna, el calor suministrado y la presión y temperatura finales si la transformación es isoterma.
- c) Lo mismo si es adiabática.
- d) Representélas en los diagramas PV , PT y VT .

Resp.: a) 2.79 kg; b) $W = 1.685 \times 10^5$ J, $\Delta U = 0$, $\Delta Q = 1.685 \times 10^5$ J, $P = 6.078 \times 10^6$ Pa, $T = 293$ K; c) $W = 1.47 \times 10^5$ J, $\Delta U = -1.47 \times 10^5$ J, $\Delta Q = 0$, $P = 4.606 \times 10^6$ Pa, $T = 222$ K.

17. La masa $m = 327$ g de un gas ideal diatómico de peso molecular $M = 20$ g/mol realiza los siguientes procesos cuasiestáticos: desde un estado inicial (estado 1) en el que ocupa un volumen $V_1 = 400$ L es comprimida adiabáticamente hasta que ocupa un volumen DIEZ veces menor que el volumen inicial (estado 2). La temperatura del gas durante esta compresión aumenta hasta $T_2 = 202^\circ\text{C}$. Desde el estado 2 el gas se calienta a volumen constante hasta que alcanza la temperatura $T_3 = 639^\circ$ (estado 3). A continuación el gas experimenta una expansión adiabática hasta ocupar de nuevo el volumen inicial (estado 4). Finalmente, el sistema cede calor a volumen constante hasta alcanzar la temperatura correspondiente al estado 1. Para estos procesos se pide:

a) Dibujar el diagrama PV del ciclo y calcular P , V y T en cada uno de los estados 1, 2, 3 y 4. Dar los resultados en forma de tabla.

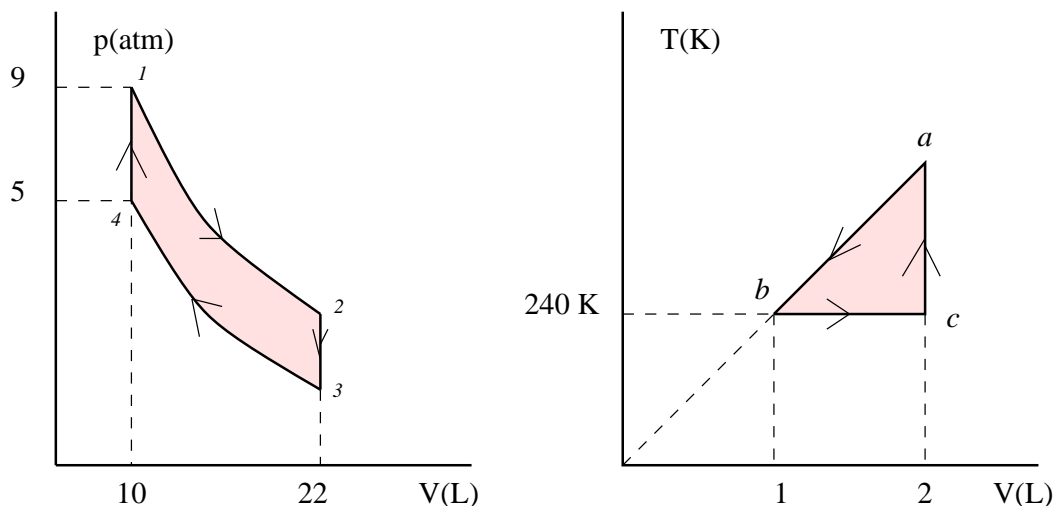
b) Calcular Q , W y ΔU correspondientes a cada proceso dando los resultados en forma de tabla. Comprobar que la energía interna U es una función de estado y calcular el rendimiento del ciclo.

18. Un mol de gas ideal monoatómic segueix el cicle següent. De l'estat (1), $V_1 = 25$ L, $P_1 = 100$ kPa, va a l'estat (2) mantenint el volum constant, fins que la pressió és doble que en l'(1); del (2) al (3) isotèrmicament, fins que la pressió és la mateixa que l'estat (1), i, finalment, del (3) a l'(1) mantenint la pressió constant. Dibuixar el cicle en el diagrama PV . Si tots els processos són reversibles, esbrineu Q , W y ΔU corresponents a cada procés donant els resultats en forma de taula i quin és el rendiment *eta* del cicle.

Resp.: $\eta = 13.39\%$

19. Dos moles de gas ideal diatómico recorren el ciclo mostrado en la figura (abajo, a la izquierda), constituido por dos isotermas y dos isocoras, y recorrido en el sentido indicado en la propia figura. Con los datos de presión y volumen de la propia figura (es decir, $p_1 = 9$ atm, $V_1 = V_4 = 10$ L, $p_4 = 5$ atm, $V_2 = V_3 = 2$ L), determinar para cada uno de los cuatro procesos: a) el trabajo (en julios) realizado por el gas, b) el calor que ha absorbido y c) el rendimiento del ciclo.

Resp.: a) $W_{1 \rightarrow 2} = 7188$ J; $W_{3 \rightarrow 4} = -3993$ J; b) $Q_{1 \rightarrow 2} = 7188$ J; $Q_{2 \rightarrow 3} = -10130$ J; $Q_{3 \rightarrow 4} = -3993$ J; $Q_{4 \rightarrow 1} = 10130$ J; c) $\eta = 18.45\%$



20. Un mol de gas ideal monoatómico describe el ciclo de la derecha de la figura de arriba. Determinar el trabajo realizado.
 Resp.: -612.58 J
21. Una máquina de Carnot, con un rendimiento del 40%, funciona entre dos fuentes térmicas, siendo la temperatura más baja de 27°C . Queremos obtener un rendimiento del 50%.
- En cuantos grados hemos de aumentar la temperatura de la fuente más caliente si mantenemos a 27°C la fuente más fría?
 - En cuantos grados hemos de disminuir la temperatura de la fuente fría si mantenemos la temperatura inicial de la fuente más caliente?
- Resp.: a) 100 K ; b) 50 K .
22. Dejamos expandir isotérmicamente 1 litro de gas ideal que está a 1 atm de presión hasta duplicar su volumen. Después se comprime a presión constante hasta su volumen inicial y finalmente se comprime isotérmicamente hasta la presión original.
- Represente el proceso en el diagrama PV y calcule el trabajo total.
 - Sabiendo que el sistema cede 60 J de calor en la compresión a presión constante. ¿Cuál es la variación de energía interna del gas en todo el proceso?
- Resp.: a) -15.57 J ; b) -9.28 J .
23. Un frigorífico funciona según un ciclo de Carnot reversible que coge calor de agua a 0°C y a la presión atmosférica y lo da al aire que está a 24°C . Si se fabrican 250 kg de hielo, calcular el trabajo W que se necesita y el calor Q cedido al aire.
 Resp.: $W = 7.349 \times 10^6 \text{ J}$; $Q = 90.95 \times 10^6 \text{ J}$
24. Una termobomba funciona reversiblemente entre dos focos de 5°C y 25°C . El trabajo aportado al ciclo es de 1 kW/h . Determine:
- El rendimiento de la termobomba, funcionando como máquina calorífica.
 - La cantidad de calor comunicado al foco caliente.

c) El coeficiente de eficacia de la termobomba, funcionando como máquina frigorífica.

Resp.: a) 6.7%; b) 53.64 MJ; c) 14.9

25. Un cilindro de sección 10 cm^2 y de altura 20 cm contiene un gas ideal diatómico a 1 atm y 27°C . Un émbolo tapa el cilindro. Se sigue el siguiente proceso:

- 1) Se coloca un peso de 10 kg sobre el émbolo que comprime el gas rápidamente (sin darle tiempo para intercambiar calor).
- 2) Se deja el tiempo necesario para que el gas recupere la temperatura inicial.
- 3) Se quita el peso y el gas se expande rápidamente.
- 4) Se deja que el gas recupere otra vez la temperatura inicial.

Se pide:

- a) Representar en un diagrama PV las cuatro transformaciones.
- b) Calcular los valores P , V y T en los puntos extremos de cada proceso.
- c) Calcular las cantidades de calor absorbidas y cedidas por el gas.

Datos: $C_v = 5/2R$; $C_p = 7/2R$

Resp.: b) $P_1 = 101300 \text{ Pa}$, $V_1 = 2 \times 10^{-4} \text{ m}^3$, $T_1 = 300 \text{ K}$; $P_2 = 199300 \text{ Pa}$, $V_2 = 1.2334 \times 10^{-4} \text{ m}^3$, $T_2 = 364 \text{ K}$; $P_3 = 199300 \text{ Pa}$, $V_3 = 1.016 \times 10^{-4} \text{ m}^3$, $T_3 = 300 \text{ K}$; $P_4 = 101300 \text{ Pa}$, $V_4 = 1.648 \times 10^{-4} \text{ m}^3$, $T_4 = 247.22 \text{ K}$; c) $Q_{2-3} = -15.127 \text{ J}$, $Q_{4-1} = 12.475 \text{ J}$

26. Tenemos 1 kg de aire, de $M = 28.9 \text{ g/mol}$ y $\gamma = 1.4$, a la presión de 0.989 atm y a la temperatura de 300 K (estado 1). Mediante una evolución adiabática, el sistema pasa a un estado 2 en el que ocupa una sexta parte del volumen que corresponde al estado 1. A continuación pasa a un estado 3 mediante un proceso isocoro, en el que se le suministra una cantidad de calor de 273.7 kJ . Del estado 3 pasa al 4 siguiendo un proceso adiabático hasta que el volumen es igual al inicial. A partir de aquí enfriamos isocóricamente hasta que la presión sea la inicial.

- a) Dibuje el ciclo en un diagrama de Clapeyron (diagrama PV)
- b) Determine el trabajo, la cantidad de calor comunicado y la variación de energía interna en cada uno de los procesos.
- c) Compruebe que la energía interna es función de estado.
- d) Encuentre el rendimiento del ciclo.

Resp.: apartado b)

Proceso $_{1-2}$: $W = -226.0 \text{ kJ}$; $Q = 0 \text{ J}$; $\Delta U = 226.0 \text{ kJ}$;

Proceso $_{2-3}$: $W = 0 \text{ J}$; $Q = 273.7 \text{ kJ}$; $\Delta U = 273.7 \text{ kJ}$;

Proceso $_{3-4}$: $W = 366.1 \text{ kJ}$; $Q = 0 \text{ J}$; $\Delta U = -366.1 \text{ kJ}$;

Proceso $_{4-1}$: $W = 0 \text{ J}$; $Q = -133.7 \text{ kJ}$; $\Delta U = -133.7 \text{ kJ}$;

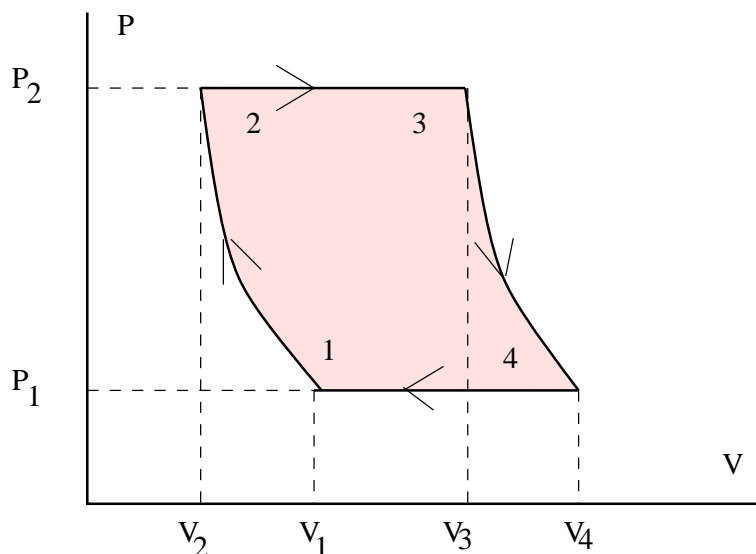
d) 51.16%

27. Tenemos 0.24 moles de oxígeno que a la presión de 10^5 Pa ocupan un volumen de 8 litros . Se comprimen isobáricamente desde este estado inicial 1 hasta un estado 2, para lo cual se efectúa un trabajo de 400 J . Encontrar el volumen V_2 y la temperatura T_2 , la variación de energía interna y la cantidad de calor transmitida en la transformación. A continuación pasamos del estado 2 a un estado 3 mediante la isocora $V = V_2$ hasta que la presión se duplica. Del estado 3 pasamos al 1,

cerrando el ciclo, mediante la transformación definida por $PV^k = \text{const.}$. Determinar k y el trabajo efectuado de 3 a 1. Encuentre la densidad ρ del gas en el estado 1. Dato: Se sabe que la relación entre los calores molares vale 1.4.

Resp.: $V_2 = 4 \times 10^{-3} \text{ m}^3$, $T_2 = 200.465 \text{ K}$, $\Delta U = -1000 \text{ J}$, $Q = -1400 \text{ J}$, $k = 1$, $W = 554.517 \text{ J}$, $\rho = 0.96 \text{ kg/m}^3$.

28. Un ciclo Joule (ver figura adjunta) es recorrido por un gas perfecto de coeficiente adiabático γ .



Calcular el rendimiento η en función de P_1 y P_2 .

Resp.: $\eta = 1 - \left(\frac{P_1}{P_2}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$

29. Un cubito de 10 g de hielo a -15°C se coloca dentro de un lago que está a una temperatura de 15°C . Calcule el cambio de entropía del agua del lago y del universo. Datos: calor específico del hielo, 0.502 cal/gK ; calor latente de fusión del agua, 79.7 cal/g ; calor específico del agua, 1 cal/gK .

Resp.: $\Delta S_{\text{universo}} = 0.188 \text{ cal/K}$; $\Delta S_{\text{lago}} = -3.549 \text{ cal/K}$

30. Un dipòsit de parets adiabàtiques està dividit per una paret en dos compartiments iguals. En un dels compartiments hi ha n mols d'un gas ideal mentre l'altre és buit. Si en un cert moment obrim un forat en la paret i deixem que el gas s'expansioni lliurement per tot el dipòsit, demostreu que la variació de l'entropia del gas val

$$\Delta S = nR \ln 2$$

Taula de dades numèriques

- Constant universal dels gasos ideals: $R = 8.3145 \text{ J/mol K} = 0.082058 \text{ atm L/mol K}$
- Massa molecular efectiva de l'aire: $M = 0.0290 \text{ kg/mol}$
- Massa molecular de l'aigua: $M = 0.0180 \text{ kg/mol}$
- Constant de Stefan-Boltzmann: $\sigma = 5.670 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$

- Factors de conversió

{	Atmosfera estàndar:	1 atm	=	101.33 kPa
		1 atm	=	760 mm Hg (Torr)
	Atmosfera-litre (treball):	1 atm L	=	101.33 J
	Equivalent mecànic de la calor:	1 cal	=	4.184 J
	Cavall de vapor (potència):	1 CV	=	745.7 CV

- Densitats, en kg/m^3

{	Aigua (4°C)	1000
	Gel	920
	Ferro/acer	7960
	Mercuri (0°C)	13596
	Aire (0°C i 1 atm)	1.293

- Mòdul de Young, en 10^9 Pa

{	Acer	200
	Alumini	70
	Coure	110
	Llautó	90

- Calors específiques, a 20°C , en $\text{kJ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$

{	Aigua	4.18
	Gel (-10°C)	2.05
	Ferro	0.447
	Alumini	0.900
	Coure	0.386
	Mercuri	0.140
Plom	0.128	

- Calors latents

{	de fusió del gel	$L_f = 333.5 \text{ kJ/kg}$
	de vaporització de l'aigua	$L_v = 2257 \text{ kJ/kg}$

• Conductivitats tèrmiques: en $\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$	{	Aire (27°C)	0.026
		Aigua (27°C)	0.609
		Gel	0.592
		Vidre	1
		Alumini	237
		Coure	401
		Llautó	109
		Ferro	80