



Motor de calor. Llei dels gasos ideals.

1 Objectiu

Estudi del comportament dels gasos ideals i d'un motor de calor. Determinació el treball útil realitzat per aquest motor.

2 Material

Motor tèrmic (diàmetre del pistó: 32,5 mm, massa del pistó i plataforma: 35,0 g). Recipient d'alumini que constitueix un cambra d'aire. Sensor de pressió. Sensor de temperatura. Ordinador amb interfase per recollida de dades. Programa *Science Workshop* per lectura de dades. Disquet per guardar les dades.

3 Fonament Teòric

Encara que al món hi ha una gran quantitat de fonts d'energia disponible, no tota aquesta energia es troba en la forma adequada per poder obtenir d'ella la utilitat que li volem donar. Un dels avanços més importants del món modern va ser el disseny i construcció de màquines que fossin capaces de transformar l'energia tèrmica en treball mecànic. En aquestes màquines s'utilitza el moviment aleatori de les molècules d'un gas a alta temperatura per convertir-lo en un treball mecànic, $P\Delta V$, capaç de moure un braç (moviment de molècules ja ordenat) que pot permetre el desplaçament de grans masses, com per exemple la massa d'un automòbil. Aquesta transformació, que s'obté amb el motor de calor, cal que sigui cíclica per tal de poder repetir el procés tantes vegades com faci falta. Per aconseguir un màxim estalvi energètic, també cal que la transformació es faci amb el màxim **rendiment** possible. Rendiment que es defineix com el quocient entre el treball útil realitzat $W_{\text{útil}}$ (treball realitzat pel motor sobre l'entorn menys el treball realitzat per l'entorn sobre el motor) i la calor extreta d'una font a alta temperatura Q_c :

$$\epsilon = \frac{W_{\text{útil}}}{Q_c} \quad (1)$$

És important saber que aquest rendiment dels motors de calor que funcionen cíclicament no pot ésser mai del 100%, ja que el **segon principi de la termodinàmica** ens diu que cal cedir part d'aquesta calor a una font freda. Encara que des de l'aparició de les primeres màquines tèrmiques s'han anat efectuant millores als processos cíclics que han fet augmentar el rendiment dels motors, el segon principi fixa que el màxim rendiment és sempre inferior al que s'obtidria amb una màquina ideal que es coneix com a **Màquina de Carnot**. El rendiment d'aquesta darrera màquina que treballaria entre una font calenta a temperatura T_c , en graus Kelvin, i una font freda a temperatura T_f , en graus Kelvin, és

$$\epsilon = 1 - \frac{T_f}{T_c} \quad (2)$$

Aquest màquina funcionaria amb un gas ideal. En general, quan tenim un gas real a baixes pressions, o amb un quantitat de molècules molt reduïda, el seu comportament es pot assimilar al comportament d'un gas ideal i en aquest cas podem escriure la relació (o **Llei dels gasos ideals**)

$$PV = nRT \quad (3)$$

entre la temperatura en graus Kelvin (T), la pressió (P), el volum que ocupa el gas (V), el nombre de mols del gas (n) i la constant dels gasos ideals R . Aquesta darrera equació és un exemple senzill d'una **equació d'estat** que relaciona quatre de les variables termodinàmiques que s'utilitzen per caracteritzar qualsevol substància o sistema termodinàmic.

4 Mètode Experimental

4.1 Llei dels gasos ideals

Comprovarem de la Llei dels gasos ideals tot mantenim fix el nombre de mols i el volum de gas en un recipient tancat, de forma que, tal com es pot deduir de l'equació 3, la temperatura del gas serà directament proporcional a la pressió. Per tal de poder fer aquesta comprovació disposes d'un recipient d'alumini que conté un gas (aire). En posar aquest recipient en un bany d'aigua del qual aniràs augmentant la seva temperatura veuràs com també varia la pressió. La relació que hi ha entre aquestes dues magnituds la pots visualitzar a l'ordinador amb l'ajuda del programa *Science Workshop* i la interfase que et permet transferir la mesura que fas en volts d'aquestes magnituds a l'ordinador.

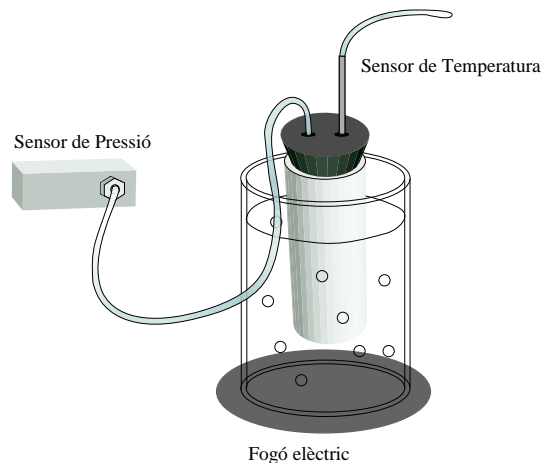


Figura 1: Muntatge per determinar la Llei dels gasos ideals.

1. Tapa el recipient d'alumini amb el tap que té dos forats, un per al sensor de temperatura i l'altre per a la connexió del tub d'aire. Connecta l'altre extrem d'aquest tub al sensor de pressió. (Tingues en compte que aquest sensor mesura diferències de pressió respecte la pressió atmosfèrica. Les unitats d'aquesta diferència són kPa). En aquesta primera experiència no cal utilitzar el pistó.
2. Comprova que tots els sensors estan connectats als ports A, B o C de la interfase, que aquesta interfase està connectada (LED de color verd a la part frontal encès) i ja pots iniciar l'ordinador. (La utilització del les funcions bàsiques d'aquest programa les trobaràs a l'**apèndix**. Si necessites més ajuda pots consultar el manual de l'usuari que hi ha al laboratori.)
3. Obre una finestra que et permeti fer una gràfica de la Temperatura en funció de la pressió i una taula que et permeti guardar aquestes dues mateixes magnituds. En la finestra del gràfic posa els límits de la temperatura entre 20 i 50°C, i els de la pressió entre 0 i 1 kPa. Amb el *sampling options* (vegeu apèndix) estableix la freqüència de presa de dades entre 4 i 5 segons.
4. Posa el recipient que conté l'aire dins del bany en aigua. (Fixar el recipient amb unes pinces de forma que a mesura que l'aigua s'escalfi no es bellugui i per tant surti fora del bany). Engega el

fogó elèctric i prem la icona REC per tal d'anar enregistrant les dades. **ALERTA: Assegura't que els tubs de plàstic i cables dels sensors no estan en contacte amb la placa elèctrica.**

5. Guarda la taula en un disquet (en format .txt) per poder fer després (amb qualsevol programa de tractament de dades que tinguis disponible) una representació gràfica de la Temperatura en funció de la Pressió.

4.2 Motor de Calor

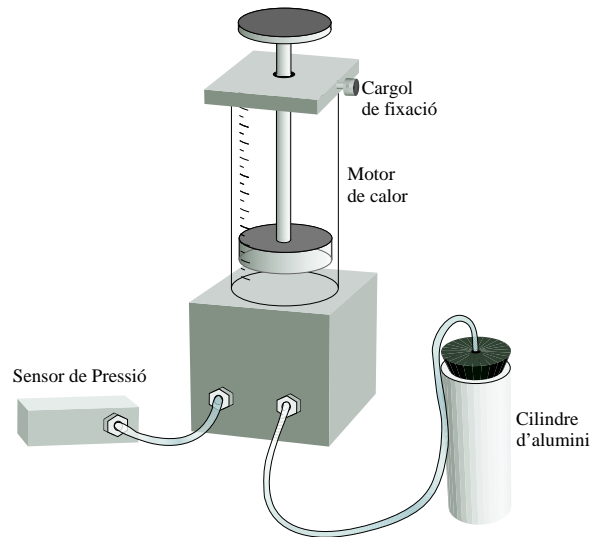


Figura 2: Motor de calor.

Les petites dimensions i la fragilitat dels materials dels quals està construït el motor que ens mostra la Figura 2 ens permeten fer només un petit treball útil, tanmateix, la simplicitat d'aquest motor t'ajudarà a entendre correctament els principis bàsics que regeixen el seu funcionament i que són els mateixos per a qualsevol motor tèrmic com, per exemple, el motor de combustió interna d'un automòbil. Fent treballar aquest motor entre dos banys tèrmics, un a una alta temperatura i l'altre a una baixa temperatura, farem que el motor segueixi un cicle del qual n'obtidrem un treball útil, que ens permetrà pujar una pesa fins a una certa alçada. El cicle que segueix el motor es el que es mostra en la Figura 3 i consta de dos processos a pressió constant (isobàrics) i dos adiabàtics. Aquest cicle es pot realitzar seguint els passos que es mostren a la Figura 4.

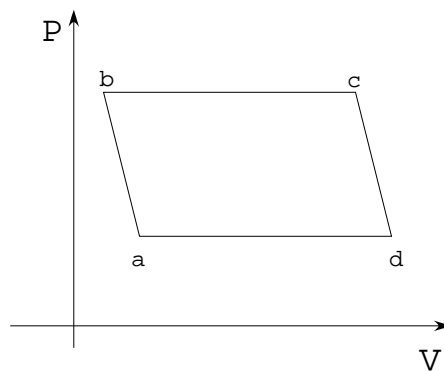


Figura 3: Cicle del motor de calor.

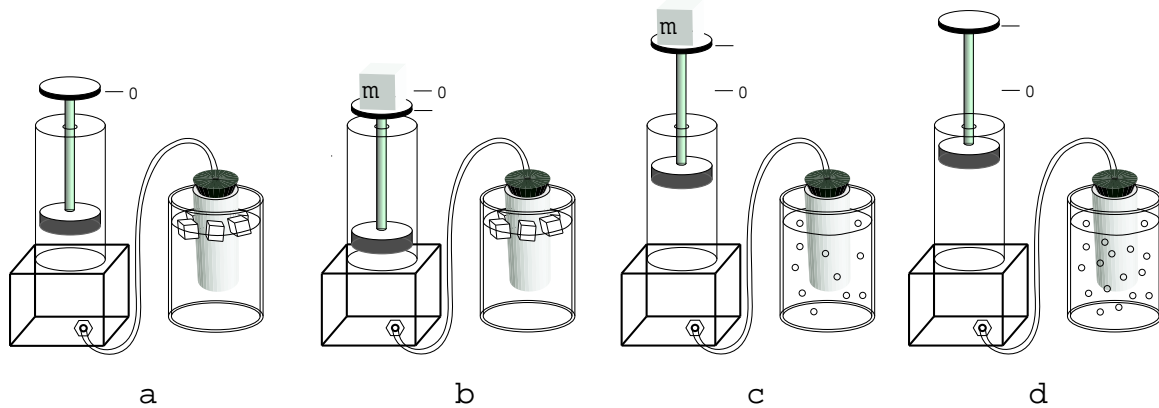


Figura 4: Passos del cicle del motor de calor. (Per simplicitat, el diagrama no mostra el sensor de pressió, connectat a l'altre port de la caixa del pistó.)

1. Prepara el bany d'aigua freda i el d'aigua calenta. Posa 5 o 6 glaçons amb aigua de l'aixeta en un dels termos. Mentrestant, escalfa aigua i un cop bulli la poses en un altre dels dos termos i així ja tens la font calenta de la qual extraurem l'energia.
2. Prem el cargol negre i fixa el pistó a una posició entre 20 o 30 cm d'alçada.
3. Connecta el sensor de pressió a un dels ports de la caixa del pistó.
4. Tapa el recipient d'alumini amb la tapa d'un forat i posa'l al bany d'aigua freda.
ALERTA: No apreteu excessivament el tap.
5. Agafa el tub de plàstic transparent i connecta un extrem al port que hagi quedat lliure de la caixa del pistó i introdueix l'altre pel forat del tap del recipient. Només cal que penetri una mica per tal que no entri l'aire, però sense fer malbé el forat del tap negre.
6. Afluixa el cargol que fixa la posició del pistó. Si has seguit els passos anteriors correctament, el pistó no s'hauria de bellugar, o com a molt baixarà una distància no superior a un mil·límetre.
7. Prepara el programa *Science Workshop* per poder mesurar pressions amb la icona dels Dígits. En aquest cas, amb el *sampling options* (vegeu apèndix), estableix la freqüència de presa de dades a 2 segons entre mesura i mesura.
8. Procés **a** → **b**: Anota la pressió i el volum inicials (Nota: L'escala que hi ha dibuixada a les parets del cilindre et permet mesurar l'alçada del pistó. Per obtenir el volum d'aire recorda que el diàmetre del pistó es de 32,5 mm). Afegeix una pesa no superior a 200 g i observa com l'aire es comprimeix. Quan el cilindre es pari el cicle haurà arribat al punt **b**. Anota la lectura de volum al mateix temps que la de la pressió.
9. Procés **b** → **c**: Trasllada el recipient en el bany a temperatura alta i observa com el pistó puja ràpidament en expandir-se l'aire. Quan s'aturi mesures de volum i pressió.
10. Procés **c** → **d**: Treu la pesa i observa com el pistó puja encara una mica més. Quan s'aturi repeteix les mesures de volum i pressió.
11. Procés **d** → **a**: Per completar el cicle, retorna el recipient d'alumini al bany fred i comprova com l'aire es comprimeix. Anota una altra vegada tant el volum com la pressió en el moment en que el cilindre s'atura.

12. A l'hora d'analitzar els resultats descarta aquestes primeres mesures que només les has fetes per familiaritzar-te amb el funcionament del motor tèrmic. Repeteix el cicle dues vegades més, i en l'anàlisi dels resultats, utilitza només aquestes dues darreres mesures.
13. Amb el sensor de temperatura determina la temperatura de la font calenta i la font freda.

5 Resultats

5.1 Llei dels gasos ideals

- Amb un programa de tractament de dades fes una representació gràfica de la Temperatura en funció de la Pressió.
- Dibuixa l'ajust corresponent i determina el pendent. Amb el valor del pendent que hagi obtingut calcula la densitat de l'aire. (La massa molar de l'aire es $M = 0,029 \text{ kg/mol}$ i la constant dels gasos ideals val $R = 0,082 \text{ atm l/K mol} = 8,3 \text{ J/K mol}$). Compara aquest valor amb el que puguis trobar en qualsevol llibre de l'assignatura de Física II). Justifica les discrepàncies que hi pugui haver.

5.2 Motor de calor

- Amb els valors del volum i la pressió corresponents a cada un dels quatre punts a, b, c i d del cicle i utilitzant paper mil·limetrat fes un diagrama tal com el de la Figura 3. Determina quina és l'àrea (en mm^2) tancada per les rectes que uneixen aquests quatre punts. Aquesta àrea és proporcional al treball útil, per tant fes les conversions d'unitats pertinents i determina aquest treball útil, en **Joules**, fet pel motor tèrmic.
- Indica en quins dels quatre processos que tanquen el cicle el motor fa treball sobre l'entorn i en quins l'entorn fa treball sobre el motor. Pensa en els processos en els quals canvia el volum del motor, i en com el motor ha estat capaç d'aixecar la pesa. Indica en quins processos hi ha intercanvi de calor entre el motor i el seu entorn i en quins no. Indica també la direcció d'aquest intercanvi de calor. Justifica totes les respostes.
- Amb l'equació 2 i fent servir els valors de la temperatura que has mesurat per a la font calenta i la font freda, determina quin seria el rendiment del motor si aquest funcionés com una Màquina de Carnot. Aquest seria el màxim rendiment que es podria obtenir d'una màquina tèrmica que treballa entre aquestes dues fonts de temperatura. El rendiment de la màquina tèrmica que has utilitzat és, evidentment, inferior.

6 Qüestions*

1. Fes un càlcul del treball utilitzant que

$$W_{util} = \oint P dV \quad (4)$$

i suposant que l'aire a l'interior del recipient es comporta com un gas ideal de capacitat calorífica a volum constant $C_v = \frac{5}{2}nR$. En els processos adiabàtics el treball es pot determinar fent servir que:

$$W = C_v(T_{final} - T_{inicial}) \quad (5)$$

Justifica les discrepàncies que hi pugui haver entre el treball útil determinat en aquesta qüestió i la mesura experimental.

2. Determina el rendiment del cicle que hagi obtingut. Per calcular la calor absorbida suposa que l'aire es comporta com un gas ideal diatòmic.
3. Compara el rendiment obtingut en la resposta de la cinquena pregunta de l'apartat 5.2 amb l'obtingut en la qüestió anterior i comenta la diferència que hi pugui haver.
4. Hi ha alguna discrepància entre l'estat inicial al punt **a** i l'estat final al mateix punt **a**? En cas afirmatiu, quines són les possibles causes d'aquesta discrepància? Contesta la pregunta tenint en compte que el dispositiu no és perfecte i, per tant, cap dels processos no és perfectament reversible.

*Consulta amb el teu professor quines qüestions has de respondre.

7 Apèndix

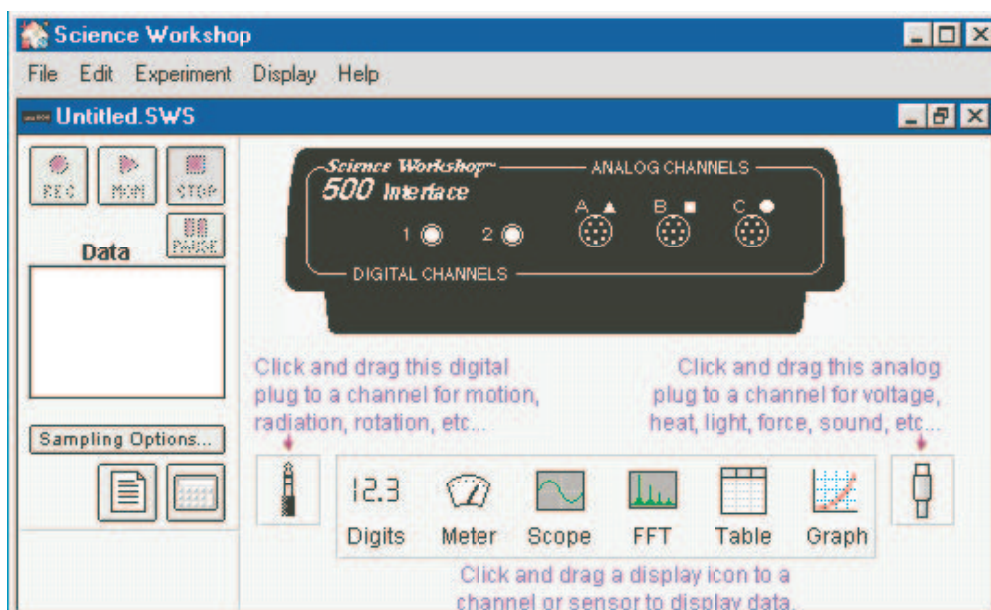


Figura 5: Imatge que apareix a la pantalla de l'ordinador.

7.1 Representació de les dades

Si vols fer una representació gràfica arrossega la icona *graph* fins a la icona que representa el port a on hi ha connectat cada un dels sensors. Només cal que la posis damunt un d'ells.

7.2 Magnitud a representar

Si en aquesta gràfica vols representar la temperatura en algun dels eixos, arrossega la icona que mostra un connector mascle i que es troba a l'extrem dret inferior del la finestra, i arrossega-la fins a damunt de la icona que representa el connector femella a on hi ha connectat el sensor de temperatura. En aquest moment apareix una àmplia selecció de sensors analògics. Escull el *Temperature Sensor*.

Si vols representar la pressió en algun dels eixos de la gràfica repeteix el procés anterior. En aquest cas escull el sensor que digui *Low Pressure Sensor (Gauge)*. Recorda que en aquest cas el sensor està connectat a un altre dels tres ports de la interfase.

Si tens alguna finestra repetida, com per exemple dos finestres on diu *Graph Display*, tanca'n una.

Si vols fer una taula fas el mateix amb la icona *Table*, i si vols un display digital cal fer el mateix amb la icona *Digits*.

7.3 Representació en cada eix

Per escollir el que vols representar a l'eix vertical de la gràfica, cliqueja la icona que es troba al costat d'aquest eix i t'apareixerà un selecció de tots el sensors que tens connectats, si prèviament has fet la selecció indicada anteriorment, i en quines unitats vols fer la representació. Escull el que correspongui en cada cas.

Per escollir el que vols representar en l'eix horitzontal, repeteix el procés cliquejant en aquest cas la icona que es troba per sota d'aquest eix. (Escull °C per a la temperatura i kPa per a la pressió)

Si vols canviar el límits de la representació gràfica senzillament cliqueja l'eix i fixa el límit inferior o superior que correspongui.

7.4 Freqüència de la mesures

El programa *Science Workshop* et permet fixar també l'interval de temps que vols que hi hagi entre una mesura i la següent. Això ho pots fer si a la finestra de la interfase cliquejes allà on diu *sampling options*. En la finestra que t'apareix marca *slow* i després amb la fletxa de l'esquerra o la dreta escull la periodicitat de les mostres. En general aquesta periodicitat hauria d'estar entre 1 i 5 segons. Per sortir fes OK. No canviïs cap dels altres paràmetres d'aquesta finestra.