

# El consum de combustible en un cotxe

## 1.1 Energia per al transport

Segons el darrer informe publicat a la web de l'Institut Català de la Energia, gairebé el 40% de l'energia que es consumeix a Catalunya es destina al transport. Això és una quantitat molt elevada d'energia, i indica d'una forma clara la importància que té el seu control a l'hora de reduir la despesa energètica al nostre país. L'increment en el preu del petroli a mida que aquest recurs es va esgotant fa encara més necessari aquest control. Així doncs veiem que és molt necessari fer un estudi detallat de la despesa que fem en aquest apartat per tal de saber de quina forma podem reduir-la al màxim.

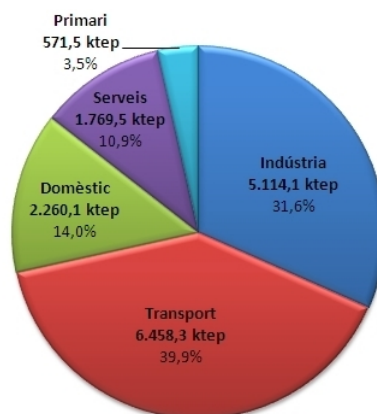


Figura 1.1: Despesa d'energia a Catalunya per sectors.

## 1.2 A què destina el cotxe la benzina?

Aquesta pregunta és la que hem de respondre i, evidentment quan parlem de benzina ens estem indirectament referint a l'energia, ja que és just a través de cremar combustible que un cotxe aconsegueix aquesta energia.

Amb la utilització de fórmules molt senzilles de la física general, podem arribar a fer-nos una idea clara de quins són els aspectes més importants que influeixen en el consum d'un vehicle. Nosaltres n'estudiarem quatre en concret:

- **Fricció amb l'aire:** És el resultat de les colisions de les partícules d'aire contra un cos a mesura que aquest es va desplaçant a través seu. Cada xoc s'emporta una petita part de l'energia cinètica del cos que es desplaça. Una sola partícula no dissipa gaire energia, però com aquest procés es repeteix amb una quantitat molt elevada de partícules, al final l'efecte es fa perceptible.
- **Fricció amb els eixos:** Els engranatges del cotxe freguen quan ens posem en moviment. Aquesta fricció transforma energia cinètica en calor dels eixos, que com a conseqüència s'escalfen. Per tal de reduir al màxim aquesta, engreixem el motor, però tot i així sempre es produirà en aquests elements una dissipació d'energia quan el cotxe estigui avançant.
- **Inèrcia:** Per tal d'augmentar la velocitat d'un objecte (és a dir accelerar-lo), necessitem fer un aport d'energia. Al augmentar la velocitat, un cos augmenta la seva energia cinètica. Aquesta ha de sortir obviament del combustible consumit.
- **Rendiment:** Tot motor porta associat un rendiment termodinàmic ( $\eta$ ) que indica quina quantitat de l'energia consumida està destinada realment a fer un treball útil (un desplaçament en el nostre cas). La resta de l'energia es perd en forma de calor. Termodinàmicament es pot demostrar que és impossible aprofitar absolutament tota l'energia en una màquina tèrmica.

Els tres primers termes estan relacionats amb la mecànica, mentre que l'últim ho està amb la termodinàmica. Un cop haguem analitzat tots quatre termes, serem capaços de fer-nos una idea de quina és la millor forma d'estalviar energia quan parlem de transport.

### **Poder Calorífic**

Per tal de poder relacionar d'una forma més objectiva energia i benzina, necessitem una magnitud anomenada poder calorífic (PC). Aquesta ens indica quanta energia per unitat de massa podem obtenir al cremar un combustible.

Combustible	PC (MJ/kg)
Hidrogen	114,0
Propà	50,35
Butà	49,51
Benzina	46,0 - 47,3
Petroli cru	42 - 44
Gasoil (carburant Diesel)	44,8
Gas natural	30 - 33
Etanol	29,7
Hulla d'alta qualitat	27 - 29
Carbó comú	22 - 24
Lignit d'alta qualitat	18 - 20
Fusta	14 - 15

Taula 1.1: Taula de poders calorífics de diferents combustibles. A través d'aquest valor podem calcular quanta energia es pot extreure d'una quantitat d'una determinada substància. En el cas del combustible d'automòbil, dependrà de si es tracta d'un vehicle de benzina, diesel, que utilitza gas-oil, d'etanol o que funciona amb pila d'hidrògen.

A la Taula 1.1 es dona el poder calorífic (PC) de diferents substàncies. Observem que la benzina i d'altres derivats del petroli es troben en les posicions més altes de la taula. Això és perquè són una de les substàncies més energètiques que es coneixen, i aquest és el motiu per el qual la nostra societat no els pugui reemplaçar de forma tan fàcil com voldria.

A través d'aquest poder calorífic, si calculem la demanda d'energia d'un desplaçament ( $\Delta E$ ), podrem calcular la demanda en combustible ( $m_c$ ) tot utilitzant aquest paràmetre a través de l'expressió

$$m_c = \frac{\Delta E}{PC}, \quad (1.1)$$

així doncs, aquesta magnitud ens permetrà saber la quantitat de litres de combustible que gasta el nostre vehicle en funció de l'us que en fem.

### 1.3 Conceptes físics relacionats amb el transport

Els conceptes més importants que s'utilitzen en aquest capítol són bàsicament els de força, energia i potència. Tots tres conceptes estan íntimament relacionats, però cadascun descriu una cosa diferent. Tot i que totes tres són paraules àmpliament conegudes, val la pena dedicar un esforç a distingir-los físicament per tal de poder parlar amb propietat.

Transport significa moure objectes d'un punt a un altre. Si volem moure un objecte que inicialment no ho està fent, el que volem fer és modificar la seva

velocitat. En física anomenem acceleració a aquest fenomen i per aconseguir-ho hem de fer necessàriament una força. Segons la llei de Newton, si volem provocar una acceleració  $a$  a un objecte de massa  $m$ , hem de fer una força igual a

$$F = ma. \quad (1.2)$$

El motor d'un cotxe és el que ha de realitzar aquesta força sobre el vehicle.

La força que fem sobre un objecte però, no ens indica pas si els efectes que aquesta ha causat són grans o petits. Així doncs, podem fer una força molt gran però durant un temps massa petit com perquè l'objecte que la rep es mogui (p. e. donar un cop de puny a un cotxe) o una petita força durant un temps prou gran perquè l'objecte acabi movent-se (com quan empenyem un cotxe que s'ha avariat). L'energia és la magnitud que ens descriu fins a quin punt els efectes d'una força s'han fet significatius. Per tal d'ajudar a quantificar l'energia necessitem introduir el concepte de treball. Definim el treball realitzat per una força com el producte de la força per el desplaçament en el que aquesta ha actuat.

$$W = \vec{F} \cdot \vec{d}. \quad (1.3)$$

Així doncs, per fer un gran treball, hem de fer una gran força durant un desplaçament també gran. Aquesta magnitud és l'energia que ha guanyat el vehicle i en relació amb el tema tractat en aquest capítol (transport), està íntimament relacionat amb la quantitat de benzina consumida.

Un altre fet important en el transport és la rapidesa amb la que aconseguim la velocitat requerida. Aquesta està relacionada amb un altre concepte físic, la potència. Definim aquesta com el ritme al quan es consumeix energia. Així doncs, si gastem una quantitat d'energia  $\Delta E = W$  durant un temps  $\Delta t$ , haurem desenvolupat una potència

$$P = \frac{\Delta E}{\Delta t}. \quad (1.4)$$

Per entendre-ho a la pràctica podem pensar que gairebé tots els vehicles poden arribar a una velocitat de 50 km/h, i per tant obtenir la mateixa energia cinètica (si tenen la mateixa massa). La diferència entre un vehicle i un altre ve per el temps que necessiten per aconseguir aquesta velocitat, essent més potent el que necessita menys temps. La representació tradicional d'un cotxe d'alta potència és la d'un vehicle esportiu i associem a conducció d'alta potència com aquella que es fa a unes acceleracions molt elevades o a més velocitat si ens estem referint a un trajecte a velocitat constant.

Tot seguit veurem com utilitzar aquests tres conceptes en relació amb el moviment d'un cotxe en diferents situacions com poden ser conduït per autopista o per ciutat.



Figura 1.2: La fricció amb l'aire

## 1.4 Fricció amb l'aire

A mesura que ens desplaçem per un fluid, anem xocant amb les partícules que formen aquest. Cada xoc frontal serveix per transferir una quantitat de moviment cap a la partícula. La suma d'una infinitat de petites transferències com aquesta aconseguen frenar-nos.

No cal, però, calcular la quantitat d'energia que perdem xoc a xoc. En comptes d'això disposem d'expressions per a calcular de forma efectiva la força de fricció que experimenta un cos quan es mou a través de l'aire en funció de diferents magnituds relacionades amb aquest. Aquesta expressió és

$$F_a = \frac{1}{2} \rho C A v^2, \quad (1.5)$$

on  $\rho$  és la densitat del medi on es mou l'objecte (en aquest cas l'aire),  $A$  és l'àrea transversal del vehicle (l'àrea que aquest té si el veiem frontalment),  $v$  la velocitat a la que es mou l'objecte i  $C$  és el coeficient aerodinàmic, que indica la facilitat que té aquest per moure's a través de l'aire. Aquest coeficient és el que intenten millorar molts enginyers en els túnels de vent.

Quan un cotxe es mou, el motor fa una força ( $F_m$ ), i aquesta ha de vencer la resta de forces que s'oposen al moviment ( $F_f$ ). Partint de la llei de Newton

$$F_m - F_f = ma \quad (1.6)$$

A l'iniciar el moviment la força de fricció amb l'aire és despreciable, però a mesura que ens anem accelerant, aquesta força esdevé cada cop més important. Quan el vehicle viatja per una autopista a velocitat constant, el motor ha de fer una força per oposar-se a la fricció que majoritàriament ve provocada per l'aire. Si el cotxe va a velocitat constant ( $a = 0$ ), tota la força que fa el motor es dedica exclusivament a contrarrestar la fricció exercida per l'aire. Així doncs, per calcular quanta força ha de fer el motor per anar a una velocitat concreta tenim que igualar les forces.

$$F_m = F_f = \frac{1}{2} \rho C A v^2 \quad (1.7)$$

Per tenir alguna referència, calcularem algun exemple concret. Suposem que viatgem en un utilitari standard que té una àrea transversal de  $A = 2 \text{ m}^2$  i un coeficient aerodinàmic de  $C = 0.3$ . La densitat de l'aire és de  $\rho = 1.2 \text{ kg/m}^3$ .

Amb aquestes dades podem calcular la força que ha de fer el motor per anar a una velocitat constant de 80 o 160 km/h. Primerament, si volem calcular aquesta força en Newtons hem de passar la velocitat a les unitats del SI (m/s). Les dues velocitats corresponen a 22.22 i 44.44 m/s respectivament

$$F_m(22.22) = \frac{1}{2} \cdot 1.2 \cdot 0.3 \cdot 2 \cdot 22.22^2 = 177.7 \text{ N} \quad (1.8)$$

$$F_m(44.44) = \frac{1}{2} \cdot 1.2 \cdot 0.3 \cdot 2 \cdot 44.44^2 = 711.0 \text{ N} \quad (1.9)$$

Veiem que l'exponent 2 de la velocitat ha fet que es multipliqui per 4 la força que ha de fer el motor. Això ja ens permet invalidar la falsa creença que cal el doble de força per anar el doble de ràpid.

Podem comparar les dades obtingudes amb alguna referència de pes per tal de fer-nos una idea del que significa. 177.7 N és el pes de 18 kg i 711.0 N és el pes de 72.6 kg. Així doncs, el motor d'un cotxe ha de fer la mateixa força per anar a 160 km/h que la que hauriem de fer per aguantar una persona a l'aire.

## Potència

La segona magnitud que podem calcular és la potència desenvolupada. Aquesta es pot obtenir de  $P = Fv$ . On  $F$  és la força que fa el cotxe i  $v$  és la velocitat a la que circula. Substituint l'expressió que hem obtingut per a la força,

$$P_m = F_m v = \frac{1}{2} \rho C A v^3 \quad (1.10)$$

Veiem que en aquest cas, el quadrat s'ha transformat ara en un cub. Així doncs, ja podem preveure que per anar el doble de ràpid necessitem un cotxe que sigui vuit vegades més potent. Tornant a l'exemple anterior, la potència desenvolupada per el cotxe anant a 80 o a 160 km/h és

$$P_m(22.22) = \frac{1}{2} \cdot 1.2 \cdot 0.3 \cdot 2 \cdot 22.22^3 = 3949 \text{ W} \quad (1.11)$$

$$P_m(44.44) = \frac{1}{2} \cdot 1.2 \cdot 0.3 \cdot 2 \cdot 44.44^3 = 31595 \text{ W} \quad (1.12)$$

Una de les coses que podem observar és que el Watt és una unitat massa petita per descriure la potència d'un motor. Per a això disposem d'una magnitud més addient com és el cavall de vapor (CV) (1 CV=735.5 W). Així doncs, la potència desenvolupada per el motor anant a 80 o a 160 km/h és de 5.37 i 42.6 CV.

Podem observar que les dades que hem obtingut són del tot coherents amb la realitat. Les potències dels utilitaris ronden entre els 70 i els 90 CV. Tal i com veurem més endavant, la potència nominal d'un cotxe s'ha de multiplicar per el rendiment per tal d'obtenir la potència útil. Per fer una aproximació, hem de comptar que la potència útil és aproximadament de l'ordre de la meitat de la nominal (per tant, entre 35 i 45 CV). Així, hem vist que quan un cotxe circula a màxima potència (útil) es mou a 160 km/h, que correspon amb les velocitats màximes a les que poden circular aquest tipus de vehicles.

Aprofitem el càlcul que hem fet per comparar-lo amb el consum d'electricitat. Tot sovint anem amb molt de compte en apagar les llums de casa quan a l'habitació no hi ha ningú. Tenim molta consciència que hem de reduir el consum en electricitat. Però podem veure que en comparació les despeses energètiques en automoció són considerablement superiors.

Una bombeta de baix consum dissipa, pel cap alt, uns 20 W de potència. Si comparem la potència dissipada per el cotxe quan circula amb la que dissipa una bombeta podem veure a quantes bombetes enceses equival circular a les velocitats que hem caluclar tot dividint ambdues magnituds.

$$P_m(22.22) = 3949W \cdot \frac{1 \text{ bombeta}}{20W} \simeq 198 \text{ bombetes} \quad (1.13)$$

$$P_m(44.44) = 31595W \cdot \frac{1 \text{ bombeta}}{20W} \simeq 1580 \text{ bombetes} \quad (1.14)$$

Podem veure així que circular a 80 km/h equival a tenir enceses unes 198 bombetes, mentre que fer-ho a 160 k/h equival a encendre 1580 bombetes. Així doncs, quan a l'autopista decidim anar a 160 en compte de a 80, a més de l'augment en el risc de patir un accident, equival a tenir 1580-190=1390 bombetes addicionals enceses amb el corresponent malbaratament que això significa.

La vigilància que fem de les llums enceses és una bona forma de prendre consciència de que l'energia és un bé que no hem de malgastar, però acabem d'observar que el problema de l'energia al planeta no recau precisament en el consum de llum que fem sinó que hi ha d'altres formes d'utilització de l'energia, com per exemple el transport, que suposen despeses molt més elevades; són precisament aquestes, doncs, que cal optimitzar de manera especial per tal d'augmentar la nostra eficiència.

## 1.5 Fricció amb els eixos

Si posem el cotxe en punt mort, agafem una bàscula com les que tenim a casa i empenyem el cotxe a través d'aquesta per tal que marqui quanta força estem fent, ens adonarem que no cal pas gaire força per tal de desplaçar el cotxe.

Amb una força d'uns 5 kp\* podem arribar a moure un cotxe. Això són aproximadament uns 50 N de força. Si comparem aquest valor amb el valor de les forces obtingudes anteriorment, ens adonem de la poca importància que aquest té en el consum global quan circulem a altes velocitats. Circulant a 80 km/h aquest significa un 20 % del que consumim per efecte de la fricció amb l'aire, mentre que a 160 significa el 7 % d'aquest terme.

L'energia dissipada per efecte de la fricció amb els eixos en un trajecte de, per exemple 1 km és de

$$E = F \cdot d = 50 \cdot 1000 = 50.000 \text{ J.} \quad (1.15)$$

\*El kilopondi és la quantitat de força que s'ha de fer per sostenir un objecte d'1 kg de massa. Com que la balança està graduada per donar-nos el valor en kilograms, el que ens dona la mesura quan parlem de forces són kilopondis. L'equivalència amb el S.I. entre unitats és  $1 \text{ kp} = 9.8 \text{ N}$ .

## 1.6 Inèrcia

Un tercer aspecte per analitzar és el paper que té la inèrcia sobre el consum. La inèrcia d'un objecte pot interpretar-se com la resistència a canviar el seu estat de moviment. Reescribint l'equació que hem utilitzat abans

$$F_m = ma + F_f, \quad (1.16)$$

observem que la força del motor es destina a dues tasques diferents, per una part vèncer la fricció ( $F_f$ ), i per l'altra a accelerar el cotxe ( $ma$ ). En la secció de fricció amb l'aire hem considerat que el cotxe anava a velocitat constant i per tant el terme  $ma$  es feia zero. Ara calcularem el cas contrari, suposarem que anem a una velocitat prou petita perquè la fricció amb l'aire sigui despreciable i per tant anularem  $F_f$ , mantenint tan sols el terme inercial. Aquesta situació és la que ens trobem quan conduïm normalment per ciutat, on les velocitats són petites i estem constantment accelerant i frenant per causa dels semàfors.

Per tal d'obtenir valors de referència, plantejem el següent problema. Suposem que ens trobem en un semàfor en vermell amb un cotxe de 800 kg de massa. Quan es posa verd, accelerem fins que aconseguim una velocitat  $v_{max} = 30 - 60$  km/h a meitat del trajecte, a uns 100 m de distància del semàfor. Un cop aconseguim aquesta velocitat, i veient que el següent semàfor també es troba en



vermell, anem reduint la velocitat fins a quedar aturats. Quanta benzina haurem gastat i en què s'ha transformat finalment?

El que podem calcular inicialment és l'acceleració que cal portar per tal de passar d'estar aturats a anar a una velocitat de 30/60 km. Passades a unitats del SI, les velocitats són 8.33/16.67 m/s. L'acceleració la podem calcular a través de l'equació cinemàtica en un moviment MRUA

$$v_f^2 - v_0^2 = 2ad, \quad (1.17)$$

on  $v_{i,f}$  són la velocitat inicial o final,  $d$  és l'espai recorregut i  $a$  és l'acceleració que volem calcular. En el nostre cas sortim del repòs, per tant  $v_i = 0$ . Aïllant l'acceleració obtenim

$$a = \frac{v_f^2}{2d}. \quad (1.18)$$

Per a les dues velocitats finals les acceleracions respectives valen

$$a(8.33) = \frac{8.33^2}{2 \cdot 100} = 0.347 \text{ m/s}^2 \quad (1.19)$$

$$a(16.67) = \frac{16.67^2}{2 \cdot 100} = 1.389 \text{ m/s}^2. \quad (1.20)$$

Amb l'acceleració podem calcular la força a través de la segona llei

$$F(8.33) = 800 \cdot 0.347 = 277.6 \text{ N} \quad (1.21)$$

$$F(16.67) = 800 \cdot 1.389 = 1111.2 \text{ N}. \quad (1.22)$$

Així doncs, si en comptes d'accelerar fins a 30 km/h ho fem a 60 km/h, estem gastant 4 vegades més.

Per tal de comprovar que no hem comès un gran error al eliminar la fricció amb l'aire, compararem els valors obtinguts amb la força que cal per tal de vèncer la fricció amb l'aire si circulem a la velocitat típica per ciutat que és d'uns 50 km/h = 13.89 m/s. Si fem servir les dades que hem utilitzat en la secció dedicada a la fricció amb l'aire obtenim una força de

$$F_m(13.89) = \frac{1}{2} \cdot 1.2 \cdot 0.3 \cdot 2 \cdot 13.89^2 = 69.5 \text{ N}. \quad (1.23)$$

Així doncs, obtenim un valor de força que també és petit en comparació amb el valor obtingut quan considerem la inèrcia.

## Energia i Potència

Calculem tot seguit, quanta energia consumim quan fem aquests desplaçaments. Obtindrem l'energia tot calculant el treball realitzat per les forces que hem ob-

tingut.

$$E(8.33) = 277.6 \cdot 100 = 2.776 \cdot 10^4 \text{ J} \quad (1.24)$$

$$E(16.67) = 1111.2 \cdot 100 = 11.112 \cdot 10^4 \text{ J}. \quad (1.25)$$

Aquesta és l'energia dividida per el temps que dura el tram d'acceleració ens donarà la potència desenvolupada. El temps es pot obtenir a través de

$$d = \frac{1}{2}a\Delta t^2, \quad (1.26)$$

ja que la velocitat inicial és 0. Això ens permet calcular el temps en cada cas

$$\Delta t(8.33) = \sqrt{\frac{2 \cdot 100}{0.347}} = 24.0 \text{ s} \quad (1.27)$$

$$\Delta t(16.67) = \sqrt{\frac{2 \cdot 100}{1.389}} = 12.0 \text{ s}, \quad (1.28)$$

de forma que els valors de potència són

$$P(8.33) = \frac{2.776 \cdot 10^4}{24} = 1156 \text{ W} \quad (1.29)$$

$$P(16.67) = \frac{11.112 \cdot 10^4}{12} = 9260 \text{ W}. \quad (1.30)$$

S'observa, doncs, que accelerar bruscament implica una despesa energètica molt elevada. Decidir accelerar fins a 60 km/h requereix una potència vuit vegades més gran que si decidim anar a 30 km/h.

Si fem la mateixa comparació que en el cas de la fricció amb l'aire

$$P(8.33) = \frac{1156\text{W}}{20\text{W}} = 58 \text{ bombetes} \quad (1.31)$$

$$P(16.67) = \frac{9260\text{W}}{20\text{W}} = 463 \text{ bombetes} \quad (1.32)$$

Com a conclusió podem doncs dir que quan circulem per ciutat, el consum d'un vehicle va bàsicament destinat a modificar la seva velocitat i no pas a vèncer friccions. Per tant, moderar l'acceleració és una bona mesura quan parlem d'estalvi energètic. Una conducció suau i no pas agressiva pot ajudar-nos a estalviar significativament el consum de benzina en ciutat!

## 1.7 Rendiment

Tota màquina tèrmica, i el motor com a exemple típic d'aquestes, converteix en treball útil l'energia que obté d'una font. En el cas d'un cotxe, l'energia s'obté

de la combustió de la benzina. Aquest aprofitament però, no pot ser total. Tota màquina perd sempre una part d'aquesta energia en forma de calor.

L'esquema general d'una màquina tèrmica seria el de la Figura ???. Aquesta obté una quantitat d'energia  $Q_c$  d'una font calenta a una temperatura  $T_c$ . Part d'aquesta energia es converteix en treball útil  $W$ , però la resta es destina a escalfar una font freda a  $T_f$  cedint-li una quantitat d'energia  $Q_f$ . Segons la conservació de l'energia

$$Q_c = W + Q_f. \quad (1.33)$$

Definim el rendiment com el quocient entre l'energia útil i la que s'ha tret de la font freda

$$\eta = \frac{W}{Q_f}. \quad (1.34)$$

així doncs, si el rendiment és 1, tota l'energia extreta de la font calenta s'utilitza de forma útil en treball, mentre que si és 0, el treball útil és zero i tota l'energia es perd en forma de calor. El rendiment d'una màquina real està enmig d'aquests extrems. Podem sempre millorar el rendiment d'una màquina, però existeix una llei termodinàmica que en limita el màxim al que es pot arribar en funció de les temperatures de funcionament ( $T_c, T_f$ ),

$$\eta \leq 1 - \frac{T_f}{T_c}. \quad (1.35)$$

En el cas d'un cotxe, la temperatura calenta correspon a la temperatura a la que crema el combustible (uns  $600^\circ \text{C} = 873 \text{ K}$ ), mentre que la freda està propera a la temperatura ambient ( $20^\circ \text{C} = 293 \text{ K}$ ). Amb aquestes temperatures, el rendiment màxim que podem obtenir és de

$$\eta \leq 1 - \frac{293}{873} = 0.66. \quad (1.36)$$

Aquest doncs és el rendiment màxim que podem aconseguir a través d'un motor de cotxe.

## 1.8 Estalvi energètic en xifres

Veiem doncs quan comparem les potències dissipades amb la potència dissipada per una bombeta que la conducció agressiva implica el malbaratament equivalent al d'engegar innecessàriament moltíssimes bombetes de baix consum. Podem ara avaluar d'una forma més quantitativa que la mesura d'apagar els llums a casa quan no els necessitem és més aviat una forma de conscienciar la població que una forma correcta d'afavorir l'estalvi energètic ja que, comparada amb el

consum d'un vehicle veiem que aquesta última és ordres de magnitud superior a la primera.

Molt sovint es plantejen mesures d'estalvi que pretenen reduir el consum. Algunes d'elles poden ser molt eficients, com per exemple hem vist reduir la velocitat de la circulació. D'altres són fins a cert punt més un acte simbòlic que a una mesura d'estalvi real, ja que, com hem vist, determinats consums resulten insignificants en comparació amb altres despeses energètiques.

La Taula 1.2 presenta una comparació de l'estalvi energètic aproximat que representen alguns petits gestos quotidians que hom pot realitzar.

Mesura	Estalvi (MJ)
Apagar un stand-by durant 24h	0.3
Descongela 1kg de carn de forma tradicional	0.3
Reduir el temps de dutxa de 10' a 5'	2
Passar de conducció esportiva a conservadora (1/2 h)	10

Taula 1.2: Estalvi energètic

## Exercicis

1. Medeix l'amplada, la llargada i l'altura de la teva mà. Calcula l'àrea i a partir d'aquesta, i fent servir un coeficient aerodinàmic d'aproximadament  $C = 0.5$  calcula la força que has de fer per mantenir la mà en posició vertical o horitzontal quan la treus per la finestra del cotxe si aquest circula a 100 km/h. Compara els resultats obtinguts amb les masses que tenen els pesos igual a les forces obtingudes. És coherent el resultat?
2. Un cotxe de F1 té una potència útil d'uns 350 CV (700 CV nominals) i pot arribar a anar a uns 300 km/h. 'La seva àrea transversal és d'aproximadament 1.7 m<sup>2</sup>. A partir d'aquestes dades, calcula el seu coeficient aerodinàmic. Et resulta sorprenent en resultat? (Es creu falsament que els cotxes de F1 tenen coeficients aerodinàmics molt petits quan en realitat això no és cert. En realitat estan dissenyats per transformar part de la força de fricció amb l'aire en una força cap avall per tal que el cotxe "s'agafi" més a la pista. Així en les corbes i en les acceleracions el cotxe té més adherència.
3. Un dels termes no tractats al llarg del capítol és el de l'acció dels frens sobre un vehicle. Aquest no és una altra forma de fricció que es suma a la resta de termes quan premem el pedal del fre. Suposem que un cotxe de 750 kg que circula a 50 km/h frena de cop i necessita 15 metres per quedar completament aturat. Calcula

- a) L'energia cinètica del vehicle quan s'estava movent a 50 km/h
  - b) La força que fan els frens si considerem que en la frenada són els únics que estan fent treball.
  - c) Compara la força calculada anteriorment amb la força de fricció amb l'aire si el cotxe tingués un coeficient aerodinàmic de  $C=0.3$  i una àrea transversal de  $2 \text{ m}^2$ . Resulta important aquest terme en comparació amb els frens?
  - d) La distància de frenat que necessitaria el mateix vehicle si en comptes d'anar a 50 km/h anés a 100 km/h.
4. Una de les circumstàncies del tràfic en les quals el nostre consum augmenta més en els embussos. A continuació fem un exercici per a comparar els consums en un mateix tram depenent de si el fem a velocitat constant, amb unes poques parades (semafors) o en un embús. Suposem que el nostre cotxe té una massa de 1.500 Kg, una àrea efectiva de  $2 \text{ m}^2$ , un coeficient aerodinàmic de 0,3 i una força de fregament intern de 50 N.
- a) Calculeu l'energia gastada en fregament amb els eixos en recórrer un trajecte de 1Km.
  - b) Calculeu (també en 1 Km) l'energia gastada en fregament amb l'aire si anem a velocitat constant de 60 Km/h.
  - c) Calculeu l'energia que gastariem en accelerar des de 0 fins a 60 Km/h, i l'energia que gastariem en accelerar des de 0 fins a 30 Km/h.
  - d) Calculeu la distància recorreguda
  - e) Calculeu l'energia gastada en quedar-nos aturats 15 segons, tenint en compte que el cotxe consumeix 1 litre de benzina per hora quan està aturat (poder calorífic de la benzina: 40.000 J/l).
  - f) Feu servir tots els resultats anteriors per comparar ara el cost energètic total de recórrer 1 Km *i*) a velocitat constant de 60 Km, *ii*) fent 4 parades pel mig i quedant-nos 15 segons aturats cada vegada (accelerant de 0 a 60 Km/h per reprendre la marxa cada vegada en un temps que considerarem menyspreable), *iii*) fent 20 parades pel mig i quedant-nos aturats 15 segons cada vegada (accelerant de 0 a 30 Km/h per reprendre la marxa cada vegada en un temps que considerarem menyspreable).
5. Molta gent opina que comprar un cotxe gran (un tot terreny, per exemple) és poc ecològic perquè té un consum major. Podem fer una estimació teòrica de fins a quin punt això és cert. Compararem un vehicle més aviat

petit (1200 Kg de massa i 1,5 m<sup>2</sup> d'àrea efectiva) amb un tot terreny gran (1.800 Kg de massa i 2 m<sup>2</sup> d'àrea efectiva).

- a) Si el fregament intern del cotxe petit és de 50 Newtons i suposem que el fregament amb els eixos és proporcional a la massa, deduiu el fregament intern del cotxe gran. Quantes vegades més consumeix en fregament intern el cotxe gran que el petit?
  - b) Si el coeficient aerodinàmic dels dos cotxes és igual a 0,3 calculeu quantes vegades més consumeix en fregament amb l'aire el cotxe gran.
  - c) Quantes vegades més consumeix en accelerar el cotxe gran?
  - d) Si suposem que, fent-ne un ús combinat per ciutat i carretera, el 10% de la despesa d'un cotxe és fregament intern, el 40% és fregament amb l'aire i el 50% és deguda a acceleracions, calculeu quantes vegades més en global consumeix el cotxe gran.
  - e) Quantes vegades més potència necessita el motor del cotxe gran per a vèncer el fregament amb l'aire? I per accelerar?
6. Imagineu que fem experiments per tal de mesurar la força de fregament intern d'un cotxe de 1.500 Kg.
- a) Primer posem el cotxe en pla i l'empenyem amb una balança. Observem que per tal de mantenir un moviment a velocitat constant hem de fer una força tal que la balança marca 6 Kg. Quina és la força de fregament?
  - b) Una vegada ja està en moviment deixem anar el cotxe en pla fins que s'aturi. El cotxe recorre així 3 metres i triga 8 segons en aturar-se. Suposant que la força de fricció amb els eixos sigui la mateixa tota l'estona deduiu el valor de l'acceleració de frenada i el de la força de fricció.
7. **Consum d'un cotxe en pendent.** Farem una estimació per a veure com varia el consum de benzina d'un cotxe de 1.500 Kg quan pujem o quan baixem una muntanya.
- a) Quanta energia potencial és necessària per a pujar un desnivell de 500 metres?
  - b) Si el cotxe destina el 50% de l'energia a vèncer l'energia potencial, quanta benzina necessita per a pujar la muntanya de l'apartat anterior, suposant que el rendiment del cotxe és del 25% (poder calorífic de la benzina: 40.000 KJ/litre).

- 
- c) Si la carretera té un pendent del 20% vol dir que hem d'avançar 100 metres de carretera per a superar un desnivell de 20 metres. Quina potència necessita fer el cotxe per a pujar aquest pendent a 50 Km/h (considerant tots els fregaments menyspreables)?
- d) En baixar el cotxe gairebé no necessita gastar energia, només el consum corresponent al cotxe aturat i el necessari per a accelerar després de cada corba, tenint en compte que les corbes a la muntanya són molt tancades. Si la muntanya té 30 corbes i a la sortida de cada una hem d'accelerar des de 30 Km/h fins 60 Km/h calculeu la despesa (en litres de benzina) que cal per baixar (agafeu de nou un rendiment del 25%).

