

Tecnologia Industrial I

Energia. Treball. Potència

Tecnologia Industrial I
Energia. Treball. Potència.
Jordi Orts

1a Edició, setembre 2020

Aquesta obra (incloent les imatges de tot tipus) està subjecta a una llicència Reconeixement-No comercial-Compartir amb la mateixa llicència 3.0 Espanya de Creative Commons. Per veure'n una còpia, visiteu <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/deed.ca> o envieu una carta a Creative Commons, 171 Second Street, Suite 300, San Francisco, California 94105, USA.



Reconeixement - NoComercial - CompartirIgual (by-nc-sa): No es permet un ús comercial de l'obra original ni de les possibles obres derivades, la distribució de les quals s'ha de fer amb una llicència igual a la que regula l'obra original.

Empreses, productes o noms de serveis, citats a l'obra, poden ser marques registrades d'altres propietaris.

Aquest llibre ha estat redactat íntegrament amb LibreOffice, i ha estat maquetat especialment per a la seva visualització amb netbooks, lectors d'ebooks i tablets, i exportat a PDF amb aquesta mateixa eina. Les imatges han estat retocades amb GIMP.

Trobareu la darrera versió d'aquesta obra a la web de l'autor: <http://www.jorts.net>

Índex

. L'energia.....	7
Energia per moure el món.....	7
Energia per mesurar.....	7
Energia per transmetre informació.....	8
Definició d'energia.....	9
Treball.....	10
Potència.....	11
Factors de conversió.....	12
Rendiment.....	14
Xifres significatives.....	16
Formes d'energia.....	17
Energia cinètica.....	17
Principi de conservació del moment. Xocs. Explosions.....	21
Energia potencial.....	27
Energia mecànica.....	28
Energia pneumàtica, hidràulica i oleohidràulica.....	29
Energia elèctrica.....	32
Energia del corrent altern.....	33
Energia tèrmica.....	35
Conducció, convecció i radiació.....	35
Escalfament d'un objecte.....	36
Energia química.....	37
Energia nuclear.....	39

Energia radiant.....	40
Energia sonora.....	41
Transformacions energètiques.....	42

Annexos

Bibliografia.....	44
-------------------	----

. L'energia

Avui en dia ningú posa en dubte la importància de l'energia, una de les necessitats humanes que intenta satisfer la tecnologia. Les fonts d'energia convencional (combustibles fòssils, hidràulica, nuclear) s'esgoten, estan saturades o tenen greus problemes mediambientals (Txernòbil, Fukojima). Un camp on cal investigar, cada vegada més, per poder satisfer l'increment continu de la demanda mundial i optimitzar la seva despesa, i on cada dia es necessitem més tècnics i millor preparats.

Energia per moure el món

A la teva llar consumeixes energia elèctrica per fer funcionar els electrodomèstics, el gas (energia química) per escalfar el menjar i l'aigua. Els cotxes gasten benzina o gasoil (energia química) Metro, ascensor, llums, calefacció, semàfors, mòbils, màquines... tots gasten energia. Sense energia res funcionaria.

Energia per mesurar

Malgrat avui en dia està prohibida la seva venda, suposo que coneixeràs els termòmetres de mercuri.

Ens permeten mesurar la temperatura, ja sigui del nostre cos o de l'ambient. Quan s'escalfa el mercuri, degut a l'energia tèrmica del cos a mesurar, aquest modifica la seva energia interna i es dilata sobre una escala graduada.

Amb els termòmetres digitals, l'energia tèrmica es transforma en energia elèctrica que un microcontrolador interpreta i visualitza en una pantalla LCD.

Energia per transmetre informació

Si llegeixes aquest llibre en un tablet o notebook la imatge que veus i que interpretes com a lletres (informació) prové de la llum (energia radiant) que emet la pantalla mitjançant uns petits LEDs que s'encenen gràcies a l'energia elèctrica generada per la bateria (energía química), segons una informació emmagatzemada elèctricament en una memòria de silici segons una informació rebuda via WiFi (energia radiant) quan vas descarregar el fitxer del llibre, fitxer que ha viatjat per fibra òptica en forma de llum modulada des del meu servidor a USA.

Definició d'energia

A l'ESO es diu que l'energia és *allò que es capaç de fer funcionar les coses*. No podem dir que aquesta sigui una definició molt elegant. Però és que definir energia no és fàcil. Podeu fer una ullada a l'entrada corresponent a la Viquipèdia.

Molts llibres de text defineixen l'energia com la capacitat d'un cos de fer un treball. Malauradament, a continuació molts defineixen el treball com la variació d'energia, creant un cercle viciós. D'altres defineixen el treball com el producte de força per desplaçament, limitant el seu estudi al camp de la mecànica i les seves aplicacions i implicacions.

Estem d'acord que sense energia res funciona, ni tan sols el nostres cossos i ments. També estem d'acord en que el treball és la variació d'energia. Però necessitem una definició clara i universal del concepte energia.

La definició del concepte físic d'energia més amplia i potent és dir que energia és *allò que es conserva*. Aquesta és la seva veritable definició, herència de la *Ursache* de Mayer, que té una història molt interessant [GUI00].

De fet, estem utilitzant el principi de conservació de l'energia (l'energia ni es crea ni es destrueix, només es transforma) per definir-la. Però és així com Einstein va deduir l'equivalència massa-energia al seu article al 1905 [EIN04]: com trobava un terme que depenia de la massa igual a una variació d'energia que no es podia explicar, calia concloure que la massa és una forma d'energia. Ell va tenir el valor de dir-lo i publicar-lo:

$$E = mc^2$$

Representem l'energia per la lletra E. La unitat d'energia és el joule (pronunciat /'dʒaʊl/, no oblidem l'origen anglès del físic James Prescott Joule) i la representem per la lletra J.

Treball

Ja hem dit que l'energia es transforma. El treball es defineix com la variació d'energia associada a aquesta transformació, per tant la seva unitat és també el joule, i es representa amb la lletra W (de l'anglès work, treball):

$$W \equiv \Delta E$$

\equiv per definició Δ increment de

Potència

Definim la potència com el quocient entre el treball desenvolupat i el temps al llarg del qual s'ha realitzat aquest treball:

$$P \equiv \frac{W}{t}$$

Representem la potència per la lletra P. La potència es mesura en watts (W):

$$1 \text{ W} \equiv \frac{1 \text{ J}}{1 \text{ s}}$$

Exemple

Una estufa elèctrica de potència 800 W està encesa 7 minuts cada hora. Calcula l'energia dissipada en forma de calor després de 6 hores.

$$P \equiv \frac{W}{t} \Rightarrow W = P \cdot t$$

$$t = \frac{7 \text{ min}}{1 \text{ h}} \cdot 6 \text{ h} \cdot \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} = 2520 \text{ s}$$

$$W = P \cdot t = 800 \text{ W} \cdot 2520 \text{ s} = 2016000 \text{ J} = 2,016 \text{ MJ} \approx 2,02 \text{ MJ}$$

\approx aproximadament igual a

Recorda que el separador decimal a Espanya és la coma, no el punt. 2.016 MJ serien 2 mil setze MJ, no 2 coma 016 MJ, i seria incorrecte!!

Factors de conversió

A l'exemple anterior hem fet servir fraccions del tipus

$$\frac{7 \text{ min}}{1 \text{ h}}, \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}}$$

que expressen raonaments del tipus

- de cada hora de funcionament, l'estufa està 7 minuts activa (engegada)
- cada minut té 60 segons

En el primer cas, es tracta d'una informació pròpia del problema. No seria correcte pensar que l'estufa ha estat gastant les 6 h que ha estat funcionant. Només 7 minuts de cada hora l'estufa converteix (i gasta) energia elèctrica en calor. Per això introduïm aquest factor corrector.

En el segon cas, es tracta d'una relació universal ($1 \text{ min} \equiv 60 \text{ s}$), que hem introduït per obtenir el resultat en unitats del sistema internacional (volem expressar el resultat final em joules, i $1 \text{ J} = 1 \text{ W} \cdot 1 \text{ s}$). Tal vegada seria més clar si escrivim

$$t = \frac{7 \text{ min activa}}{1 \text{ h funcionament}} \cdot 6 \text{ h funcionament} \cdot \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} = 2520 \text{ s activa}$$

que és una expressió mes detallada però laboriosa d'escriure.

De fet, hem utilitzat altres factors de conversió sense adonar-nos:

- 1 J és 1 W · 1 s
- 1 MJ són 1000000 J

així que de forma detallada

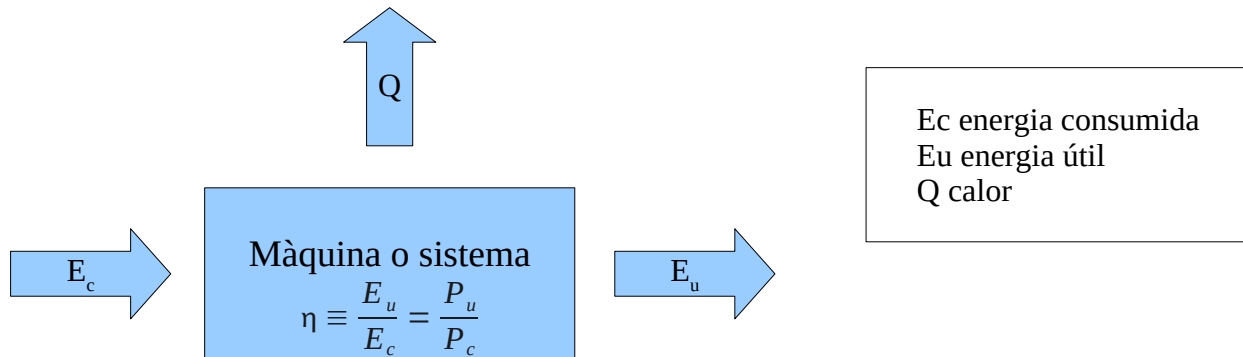
$$W = P \cdot t = 800 \text{ W} \cdot 2520 \text{ s} = 2016000 \text{ W} \cdot \text{s} \cdot \frac{1 \text{ J}}{1 \text{ W} \cdot 1 \text{ s}} = 2016000 \text{ J} \cdot \frac{1 \text{ MJ}}{1000000 \text{ J}} = 2,016 \text{ MJ} \approx 2,02 \text{ MJ}$$

Els factors de conversió són una eina potentíssima en la resolució de problemes. Molts problemes d'aquest curs (i dels que surten a les PAU de tecnologia industrial) es resolen amb aquest mètode.

Rendiment

Malauradament, quan transformem una forma d'energia en altre sempre tenim pèrdues en forma de calor. No és només una qüestió tècnica (fregaments als mecanismes, fuites ...). Es tracta d'una impossibilitat física que estudiarem a Tecnologia Industrial II i que respon al segon principi de la Termodinàmica (si no voleu esperar tant us recomano l'excel·lent llibre *Física de lo imposible* [KAK00], pot ser una bona lectura per a aquestes vacances de Nadal).

Definim el rendiment d'una màquina o sistema com el quocient entre l'energia útil (E_u) que obtenim i l'energia que consumeix (E_c). El rendiment es simbolitza amb la lletra grega eta minúscula (η):



Podem expressar el rendiment com el quocient de les respectives potències, només cal dividir numerador i denominador pel temps. Com es tracta d'un quocient entre valors de la mateixa magnitud (ja sigui entre energies o entre potències) el resultat serà adimensional (no porta unitats). Això si, aquest valor serà sempre inferior a 1, i només serà igual a 1 en el cas ideal d'un sistema sense pèrdues. Per això és habitual donar el rendiment en %.

$$\eta \equiv \frac{E_u}{E_c} = \frac{E_u/t}{E_c/t} = \frac{P_u}{P_c} \leq 1$$

Exemple

El carregador d'un netbook gasta 99 W, dels quals 33 W son aprofitats pel netbook. Quin és el rendiment d'aquest carregador?

$$\eta = \frac{P_u}{P_c} = \frac{33W}{99W} = 1/3 \simeq 0,33$$

Es a dir, el carregador té un rendiment de 0,33 o, el que és el mateix, del 33%

Atenció: aquest és dels pocs cassos que el resultat no té unitats. No oblideu posar les unitats quan cal (la majoria de vegades) o el resultat serà incorrecte.

Xifres significatives

A l'exemple anterior hem aproximat el valor $1/3$ per 0,33. Com les dades tenen dues xifres significatives (33 W, 99 W) sembla coherent donar el resultat amb el mateix nombre de xifres significatives (0,33, 33%).

Seria completament incorrecte donar totes les xifres que dona la calculadora en fer les operacions ($1/3 = 0,3333333333$) o, el que es pitjor, donar infinites xifres ($1/3 = 0,\hat{3}$). No podem donar resultats més precisos que les dades que ens donen. És un error conceptual greu penalitzat severament en les proves de les PAU.

No hem de confondre el nombre de xifres significatives amb el nombre de decimals. Els nombres següents tenen tots les mateixes xifres significatives (3):

 $124 \cdot 10^4$

0,356

7,81

90,3

333

0,000000458

Moltes calculadores permeten activar el format enginyeril, que dona el resultat amb un exponent múltiple de 3 i amb les xifres significatives fixades. Això permet obtenir el resultat correcte fàcilment i posar el múltiple o submúltiple adequat (45,79 MJ, 236,2 kW, 9,024 ms ...)

Formes d'energia

L'energia es presenta en diferents formes, entre les quals pot transformar-se mitjançant un treball.

Algunes d'aquestes formes d'energia són:

- ♦ Energia cinètica, la que té un cos a causa del seu moviment
- ♦ Energia potencial, la que té un cos a causa de la seva alçada
- ♦ Energia elèctrica, produïda pel moviment de les càrregues elèctriques
- ♦ Energia tèrmica, la que té un cos a causa de la seva temperatura
- ♦ Energia química, la que té un cos a causa dels enllaços entre els seus àtoms
- ♦ Energia nuclear, la que té un cos a causa de la unió de les partícules dels seus nuclis atòmics
- ♦ Energia radiant, transportada per les radiacions electromagnètiques
- ♦ Energia sonora, que respon a les ones de pressió que es desplacen

Energia cinètica

Quan un cos en moviment impacta amb un altre i ambdós queden en repòs s'allibera calor equivalent a l'energia del moviment. Si mai heu rebut una bufetada no tindreu cap dubte al respecte.

Aquesta energia cinètica depèn de la massa i de la velocitat del cos:

$$E_c = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

Si volem obtenir aquesta energia en joules, caldrà expressar la massa en kg i la velocitat en m/s.

Quan variem la velocitat d'un cos cal exercir una força sobre ell. Recordem la segona llei de Newton:

$$\vec{F} = \frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t} \equiv \frac{\Delta(m \cdot \vec{v})}{\Delta t} = \frac{\Delta m}{\Delta t} \cdot \vec{v} + m \cdot \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \dot{m} \cdot \vec{v} + m \cdot \vec{a}$$

si suposem la massa constant ($\dot{m} = 0$):

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a}$$

que és la versió simplificada (i restringida) de la segona llei de Newton que Eüler va proposar un segle després[FER00] i que tan popular s'ha fet a les escoles, oblidant la seva formulació original i les seves implicacions. Sense la dependència en la variació de massa de l'expressió original és impossible justificar, per exemple, per què un globus de goma inflat surt disparat quan desfem el nus i es desinfla, ja que cap força actua sobre el globus que no hi fos quan el tenien tancat amb el nus.

Com ja hem avançat a la pàgina 9 , en el cas del desplaçament d'un cos sobre el que actua una força el

treball desenvolupat és

$$W = \vec{F} \cdot \vec{d} \equiv F \cdot d \cdot \cos \alpha$$

essent α l'angle que formen els vectors \vec{F} i \vec{d} : com més paral·lels són aquests vectors, més gran és el treball realitzat (i, per tant, l'energia transferida), sent nul si són vectors perpendiculars.

Exemple

Dos cotxes amb massa $m = 1000$ kg circulen a 60 km/h i xoquen frontalment, quedant aturats. Calculeu

- L'energia alliberada en forma de calor per a cada cotxe.
- Els temps de frenada si els frens a cada cotxe exerceixen una força constant $F = 4$ kN
- L'espai recorregut en aquesta frenada
- Repetiu els apartats anteriors si la velocitat fos el doble (120 km/h)

El primer que hem de fer es passar les dades a sistema internacional, o farem malament els càlculs:

$$v_0 = 60 \frac{km}{h} \cdot \frac{1 h}{3600 s} \cdot \frac{1000 m}{1 km} = 16,67 m/s$$

com la força és constant, també ho serà l'acceleració: $F = m \cdot a \Rightarrow a = \frac{F}{m}$ i podrem utilitzar les equacions d'un moviment uniformement accelerat (en aquest cas amb acceleració negativa, ja que la força és de sentit contrari a la velocitat:

$$v(t) = v_0 + a \cdot t \quad r = r_0 + v_0 \cdot t + \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2$$

a) $E_c(v) = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \quad Q = \Delta E = E_c(16,67 \text{ m/s}) - E_c(0 \text{ m/s}) = \frac{1}{2} \cdot 1000 \text{ kg} \cdot (16,67 \text{ m/s})^2 \simeq 138,8 \text{ kJ}$

b)

$$F = m \cdot a \Rightarrow a = \frac{F}{m} = \frac{-4000 \text{ N}}{1000 \text{ kg}} = -4 \text{ m/s}^2$$

$$v(t) = v_0 + a \cdot t \Rightarrow t = \frac{v(t) - v_0}{a} = \frac{0 \text{ m/s} - 16,67 \text{ m/s}}{-4 \text{ m/s}^2} = 4,167 \text{ s}$$

c)

$$r = r_0 + v_0 \cdot t + \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2 = 0 \text{ m} + 16,67 \text{ m/s} \cdot 4,167 \text{ s} + \frac{1}{2} \cdot (-4) \text{ m/s}^2 \cdot (4,167 \text{ s})^2 = 34,72 \text{ m}$$

d) Podem aprofitar les fórmules anteriors, canviant el valor de v_0 , que en el sistema internacional té un valor de

$$v_0 = 120 \frac{\text{km}}{\text{h}} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} \cdot \frac{1000 \text{ m}}{1 \text{ km}} = 33,33 \text{ m/s}$$

$$Q = \Delta E = E_c(33,33 \text{ m/s}) - E_c(0 \text{ m/s}) = \frac{1}{2} \cdot 1000 \text{ kg} \cdot (33,33 \text{ m/s})^2 \simeq 555,6 \text{ kJ}$$

$$v(t) = v_0 + a \cdot t \Rightarrow t = \frac{v(t) - v_0}{a} = \frac{0 \text{ m/s} - 33,33 \text{ m/s}}{-4 \text{ m/s}^2} = 8,333 \text{ s}$$

$$r = r_0 + v_0 \cdot t + \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2 = 0 \text{ m} + 33,33 \text{ m/s} \cdot 8,333 \text{ s} + \frac{1}{2} \cdot (-4) \text{ m/s}^2 \cdot (8,333 \text{ s})^2 = 138,9 \text{ m}$$

A l'exemple anterior es manifesta la dependència quadràtica de l'energia cinètica amb la velocitat i el seu efecte en la frenada: duplicant la velocitat inicial l'energia cinètica (i consegüentment la calor alliberada) és multiplica per 4. El mateix passa amb la distància de frenada, com sabreu els que teniu carnet de conduir o esteu estudiant per treure'l.

Pot sorprendre el valor de la calor alliberada comparat amb l'obtingut a l'exemple de la pàgina 11. Penseu que la violència del xoc depèn tant de l'energia alliberada com del temps en que s'allibera. En el cas del xoc aquesta energia s'allibera en menys d'un segon, corresponent a una potència de l'ordre dels MW.

Principi de conservació del moment. Xocs. Explosions.

El producte $\vec{p} \equiv m \cdot \vec{v}$ present a la segona llei de Newton es denomina **quantitat de moviment** o **moment lineal** del cos. Aquesta magnitud va ser estudiada per Descartes mig segle abans de Newton, i que va formular el principi de conservació de la quantitat de moviment a la seva obra *El Món* (1633).

A partir de la 2a llei de Newton:

$$\vec{F} = \frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t} \Rightarrow \Delta \vec{p} = \vec{F} \cdot \Delta t$$

El producte $\vec{F} \cdot \Delta t$ s'anomena **impuls**. En absència de forces externes, el moment és constant, donant lloc al que s'anomena principi de conservació del moment lineal, molt útil per resoldre problemes de xocs entre cossos (de fet, Descartes va deduir aquesta llei després de les seves observacions com a jugador de billar, joc de moda a la França d'aquella època).

Si l'energia cinètica és conserva, parlem de xoc elàstics. En cas contrari, parlem de xocs inelàstics, on tot o part de l'energia es transforma en calor i deformacions. Si tota l'energia cinètica es perd i els dos cossos es fusionen en un sol degut a les deformacions, el problema té fàcil solució.

Exemple:

A una pista de gel un patinador de 50 kg en repòs rep un impacte a curta distància de una bola de pintura de 3,5 g a una velocitat de 90 m/s (valors típics del torneigs de paintball, on es prohibeix disparar a menys de 3 m de distància o més en funció de les regles). Quina energia porta el projectil? Quina serà la velocitat del patinador després de l'impacte? Quanta energia cinètica és transforma en calor?

Es tracta d'un xoc inelàstic, on no és conserva l'energia cinètica però si el moment lineal

$$E_i = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 = \frac{1}{2} \cdot 0,0035 \text{ kg} \cdot (90 \text{ m/s})^2 = 14 \text{ J}$$

$$p_1 + p_2 = p_{1+2} \Rightarrow m_1 \cdot v_1 + m_2 \cdot v_2 = (m_1 + m_2) \cdot v_{1+2}$$

$$v_{1+2} = \frac{m_1 \cdot v_1 + m_2 \cdot v_2}{m_1 + m_2} = \frac{0,0035 \text{ kg} \cdot 90 \text{ m/s} + 50 \text{ kg} \cdot 0 \text{ m/s}}{50,0035 \text{ kg}} = 6,3 \text{ mm/s}$$

La velocitat final és molt petita i, malgrat la massa del conjunt, podem menysprear l'energia cinètica final

$$E_f = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 = \frac{1}{2} \cdot 50,0035 \text{ kg} \cdot (0,0063 \text{ m/s})^2 = 0,99 \text{ mJ}$$

que no afecta significativament al càlcul de la calor dissipada:

$$Q = E_i - E_f = 14 \text{ J} - 0,99 \text{ mJ} = 13,911 \text{ J} \simeq 14 \text{ J}$$

A l'exemple anterior tornem a haver de matisar: si bé l'energia de la bola no és tan alta (té una massa molt petita), el fet de que l'impacte sigui molt localitzat (tenen un diàmetre de 18 mm) i en molt poc temps (porten una velocitat inicial propera als 300 km/h) obliguen a fixar unes distàncies mínimes, amb les que encara podem produir hematomes seriosos malgrat les proteccions dels participants.

Us pot semblar que la velocitat final sigui molt petita, però és apreciable (equivalent a un desplaçament d'uns dos palms després d'un minut), i sorprèn donada la diferència de masses entre el projectil i el patinador. Imagineu-vos una bala de veritat, amb una massa superior i velocitats entre els 300 i 1200 m/

s: el Schwarzenegger no s'hauria de moure amb tanta llibertat quan li crivellen al cinema.

Exemple:

En un joc de hoquei taula un jugador deixa anar la seva maça de 150 g que dona un cop a 0,6 m/s contra el disc de 39 g que anava a 1,6 m/s en sentit contrari. Calcula las velocitats finals de la maça i del disc.

Es tracta d'un xoc elàstic, on és compleix la conservació de l'energia cinètica, a més a més de la conservació del moment:

$$\frac{1}{2} \cdot m_1 \cdot v_{1i}^2 + \frac{1}{2} \cdot m_2 \cdot v_{2i}^2 = \frac{1}{2} \cdot m_1 \cdot v_{1f}^2 + \frac{1}{2} \cdot m_2 \cdot v_{2f}^2$$

$$m_1 \cdot v_{1i} + m_2 \cdot v_{2i} = m_1 \cdot v_{1f} + m_2 \cdot v_{2f}$$

posem les dades en unitats S.I., encara que ometrem les unitats per simplificar la feina:

$$\frac{1}{2} \cdot 0,15 \cdot 0,6^2 + \frac{1}{2} \cdot 0,039 \cdot 1,6^2 = \frac{1}{2} \cdot 0,15 \cdot v_{1f}^2 + \frac{1}{2} \cdot 0,039 \cdot v_{2f}^2$$

$$0,15 \cdot 0,6 + 0,039 \cdot 1,6 = 0,15 \cdot v_{1f} + 0,039 \cdot v_{2f}$$

Es tracta d'un sistema de 2 equacions amb 2 incògnites. Podem utilitzar el mètode de substitució. Fem els càlculs i aïllem v_{2f} a l'equació del moment::

$$0,1524 = 0,15 \cdot v_{1f} + 0,039 \cdot v_{2f} \Rightarrow v_{2f} = (0,1524 - 0,15 \cdot v_{1f}) / 0,039$$

$$0,07692 = 0,075 \cdot v_{1f}^2 + 0,0195 \cdot v_{2f}^2$$

ara substituïm v_{2f} per la seva expressió a l'equació de l'energia:

$$0,07692 = 0,075 \cdot v_{1f}^2 + 0,0195 \cdot ((0,1524 - 0,15 \cdot v_{1f}) / 0,039)^2$$

desenvolupem el quadrat:

$$0,07692 = 0,075 \cdot v_{1f}^2 + 0,0195 \cdot ((0,1524^2 - 2 \cdot 0,1524 \cdot 0,15 \cdot v_{1f} + 0,15^2 \cdot v_{1f}^2) / 0,039^2)$$

fem els càlculs:

$$0,07692 = 0,075 \cdot v_{1f}^2 + 0,2978 - 0,5862 \cdot v_{1f} + 0,2885 \cdot v_{1f}^2$$

agrupant termes:

$$(0,075 + 0,2885) \cdot v_{1f}^2 - 0,5862 \cdot v_{1f} + 0,2978 - 0,07692 = 0$$

arribem a l'equació de 2n grau:

$$0,3635 \cdot v_{1f}^2 - 0,5862 \cdot v_{1f} + 0,2209 = 0$$

que te les solucions

1,012 i 0,6003

calculem v_{2f} a partir de v_{1f} . Ens dona, respectivament,

0,01269 i 1,599

les segones solucions corresponen a l'estat inicial. Ens quedem amb les primeres solucions, i baixem a 3 les xifres significatives (ja heu vist com la quarta em ballava a les segones solucions) :

$$v_{1f} = 1,01 \text{ m/s}$$

$$v_{2f} = 0,01269 \text{ m/s}$$

Aquest darrer exemple mostra com de pesat pot arribar a ser un càlcul. Imagineu-vos si en lloc de xocar frontalment ho haguessin fet amb un cert angle... Sort dels ordinadors d'avui en dia!

Exemple:

El SAFER és un modul de propulsió que porten els astronautes pels passeigs extravehiculars (EVA). Aquest sistema porta 1,4 kg de N_2 a alta pressió i s'allibera per qualsevol dels 24 conductes de que disposa el sistema, permetent una variació màxima en la velocitat de 3,05 m/s.

Suposem que un astronauta amb el seu equip EVA en repòs amb una massa de 200 kg allibera N_2 que surt a 400 m/s fins que l'astronauta aconseguix una velocitat de 1 m/s. Quina quantitat de gas ha sortit?

Es compleix la conservació del moment, que inicialment es 0. Per tant, el moment del gas sortint ha de ser igual a la que agafa l'astronauta:

$$m_1 \cdot v_1 = m_2 \cdot v_2 \Rightarrow m_2 = m_1 \cdot \frac{v_1}{v_2} = 200 \text{ kg} \cdot \frac{1 \text{ m/s}}{400 \text{ m/s}} = 0,5 \text{ kg}$$

Aquest exemple aplicable a la resta de sistemes a reacció és molt semblant a la solució de problemes relacionats amb explosions: partim d'un objecte en repòs que es fragmenta en diferents cossos que surten disparats en diverses direccions, sense cap força externa. Utilitzant la conservació del moment lineal podem resoldre aquest tipus de problemes.



Figura 1: Astronauta prova l'equip SAFER.
Font: NASA

Energia potencial

Si deixem caure un bolígraf, aquest s'accelera degut a la força de la gravetat. Com aquesta força és conservativa, podem associar una energia potencial a la gravetat. Si ens limitem a treballar a un rang d'alçades raonable al voltant de la superfície del nostre planeta on podem considerar la g com a una constant igual a $9,81 \text{ m/s}^2$, la seva expressió és simplificada a

$$E_p = m \cdot g \cdot h$$

on m és la massa del cos i h la seva alçada respecte a una referència arbitrària.

Exemple:

Un martinet de massa 200 kg cau des d'una alçada de $3,75 \text{ m}$ sobre una estaca. Quina resistència ofereix la terra contra l'estaca, si aquesta penetra $0,5 \text{ m}$ amb cada cop?

$$E_p = m \cdot g \cdot h = 200 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 3,75 \text{ m} = 7,358 \text{ kJ}$$

aquesta energia potencial es transforma en la caiguda en energia cinètica que amb l'impacte amb l'estaca venç la força resistent del terra realitzant un treball

$$W = F \cdot d = E_c = E_p \Rightarrow F = \frac{E_p}{d} = \frac{7,358 \text{ kJ}}{3,75 \text{ m}} = 14,72 \text{ kN}$$

Energia mecànica

Un cos té una energia mecànica equivalent a la suma de les seves energies cinètica i potencial:

$$E_m = E_c + E_p$$

A molts problemes només apareix l'energia mecànica, de forma que la seva resolució potser força directe

Exemple:

La torre de Collserola té una alçada vista de 267,5 m. Imaginem que un caragol mal col·locat al seu extrem superior cau a terra. A quina velocitat tindria l'impacte?

Naturalment, menyspreem el fregament amb l'aire. En aquest cas es conserva l'energia mecànica, i tota l'energia potencial a dalt de la torre es converteix en energia cinètica quan impacta al terra:

$$E_{pi} = E_{cf} \Rightarrow m \cdot g \cdot h = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \Rightarrow v = \sqrt{2 \cdot g \cdot h} = \sqrt{2 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 267,5 \text{ m}} = 72,45 \text{ m/s}$$

Aquí no es tracta d'una bola de pintura. Estem parlant d'un caragol metàl·lic, molt semblant a una bala, que arriba a una velocitat de 260 km/h. Per això s'extremen les precaucions en la seva construcció.

Energia pneumàtica, hidràulica i oleohidràulica

Quan treballem amb fluids (gasos i líquids) acostumem a treballar amb magnituds macroscòpiques com la pressió (p), el volum (V) o la temperatura (T).

Si considerem el treball realitzat en empènyer una xeringa fins desplaçar una distància d un volum V de fluid amb una pressió p , veurem que

$$W = F \cdot d = F \cdot \frac{V}{S} = \frac{F}{S} \cdot V = p \cdot V$$

ja que el volum desplaçat és igual a l'àrea de la superfície pel desplaçament.

Si dividim pel temps obtenim la potència:

$$P = p \cdot \frac{V}{t} = p \cdot q$$

On q és el cabal.

Unitats de pressió

Al sistema internacional utilitzem el pascal, simbolitzat per les lletres Pa :

$$1 \text{ Pa} \equiv 1 \text{ N} / \text{m}^2$$

També podem trobar altres unitats:

Atmosfera: 1 atm = 101325 Pa

Bar: 1 bar = 100000 Pa

Mil·límetre de mercuri: 1 mmHg = 133,322 Pa

PSI: 1 psi = 6894 Pa

Exemple (PAU 2007) :

En el full de característiques d'una motobomba amb motor dièsel s'indiquen, entre d'altres, les dades nominals següents:

cabal, $q = 50 \text{ m}^3/\text{h}$

capacitat del dipòsit, $V = 4,6 \text{ l}$

potència del motor a $n = 2\,500 \text{ min}^{-1}$, $P_{\text{mot}} = 4,9 \text{ kW}$

pressió, $p = 0,25 \text{ Mpa}$

autonomia, $t_{\text{au}} = 4 \text{ h}$

El combustible utilitzat té un poder calorífic $p_c = 43 \text{ MJ/kg}$ i una densitat $\rho = 0,84 \text{ kg/dm}^3$.

Determineu:

a) El rendiment η_{bomba} de la bomba.

b) El rendiment mitjà mecanicotèrmic η_{mt} del motor.

c) El consum específic del motor c , en $\text{g}/(\text{kW}\cdot\text{h})$, entès com la relació entre la quantitat de combustible consumit i l'energia mecànica produïda.

$$\text{a) } \eta_{\text{bomba}} = \frac{P_{\text{hidr}}}{P_{\text{mot}}} = \frac{p \cdot q}{P_{\text{mot}}} = \frac{0,25 \cdot 10^6 \text{ Pa} \cdot 50 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}}}{4,9 \cdot 10^3 \text{ W}} = 0,7086$$

$$\text{b) } \eta_{\text{mt}} = \frac{P_{\text{mot}}}{P_{\text{dipòsit}}} = \frac{P_{\text{mot}} \cdot t_{\text{au}}}{E_{\text{dipòsit}}} = \frac{P_{\text{mot}} \cdot t_{\text{au}}}{V \rho p_c} = \frac{4,9 \cdot 10^3 \text{ W} \cdot 4 \text{ h} \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}}}{4,6 \text{ dm}^3 \cdot 0,84 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3} \cdot 43 \cdot 10^6 \frac{\text{J}}{\text{kg}}} = 0,4247$$

$$c) \quad c = \frac{\text{massa combustible (g)}}{\text{energia mecànica produïda (kWh)}} = \frac{V \cdot \rho}{P_{\text{mot}} \cdot t_{\text{au}}} = \frac{4,6 \text{ dm}^3 \cdot 840 \frac{\text{g}}{\text{dm}^3}}{4,9 \text{ kW} \cdot 4 \text{ h}} = 197,1 \frac{\text{g}}{\text{kWh}}$$

Fixeu-vos com estalviem temps fent petits canvis d'unitats al copiar les dades

$$4,6 \text{ l} = 4,6 \text{ dm}^3$$

$$0,84 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3} = 840 \frac{\text{g}}{\text{dm}^3}$$

Energia elèctrica

Sabem de l'ESO que

$$P = I \cdot U$$

on I és la intensitat i U el voltatge.

Si treballem amb resistències, la llei d'Ohm

$$I = \frac{U}{R}$$

ens permet treballar una mica aquesta expressió:

$$P = I \cdot U = I^2 \cdot R = \frac{U^2}{R}$$

Però és possible que a l'ESO no t'expliquessin que aquesta energia es pot emmagatzemar en un

Unitats elèctriques

Al sistema internacional utilitzem les següents unitats a electricitat:

Magnitud	Unitat	Símbol
Intensitat	ampere	A
Voltatge	volt	V
Resistència	ohm	Ω
Càrrega	coulomb	C
Conductància	siemens	S
Capacitat	farad	F

condensador. Aquest dispositiu es caracteritza per tenir una capacitat C , que indica la càrrega elèctrica emmagatzemada per cada volt

$$C \equiv \frac{Q}{U}$$

de forma que si tenim el condensador carregat a un cert voltatge U

$$E = Q \cdot U = C \cdot U^2$$

Energia del corrent altern

A 2n curs de batxillerat veurem amb detall com es treballa amb corrent altern. Per ara, és suficient saber que amb corrent altern es pot treballar amb uns valors eficaços per al voltatge i la intensitat. Únicament cal tenir en compte que, en ser senyals temporals, poden estar desfasades un cert angle φ una respecte de l'altre, de forma que

$$P = I \cdot U \cdot \cos \varphi$$

en el cas de treballar només amb resistències aquest desfasament és zero i podem escriure

$$P = I \cdot U$$

La realitat és més complexa, com veurem el curs vinent. De fet, a corrent altern parlem de:

- S, potència aparent (mesurada en VA, volt ampere) $S = I \cdot U$
- P, potència activa (mesurada en W) $P = I \cdot U \cdot \cos \varphi$
- Q, potència reactiva (mesurada en var, volt ampere reactius) $Q = I \cdot U \cdot \sin \varphi$

Aquest curs treballarem només amb la potència activa, ja que aquesta és la única que intervé en els intercanvis energètics.

Exemple:

Un semàfor modern utilitza uns 100 LEDs per a cada posició en lloc de les antigues bombetes incandescents de 200 W. Si cada LED s'alimenta amb corrent continu de 2,5 V amb una intensitat de 20 mA, calcula la potència P_L consumida per cada LED i la potència P_C consumida pel conjunt de 100 LEDs

$$P_L = I \cdot U = 0,02 \text{ A} \cdot 2,5 \text{ V} = 0,05 \text{ W}$$

$$P_C = 100 \cdot P_L = 100 \cdot 0,05 \text{ W} = 5 \text{ W}$$

Hem passat d'una despesa de 200 W a només 5W. Fixeu-vos en l'estalvi energètic (i de manteniment) que suposa el canvi a la tecnologia de LEDs.

Energia tèrmica

Ja hem comentat que la calor és una forma d'energia. La calor, en realitat, és el moviment microscòpic desordenat d'àtoms, molècules i d'altres partícules. El moviment brownià n'és un exemple, que va ser explicat satisfactòriament per Einstein en un dels seus millors articles.

Conducció, convecció i radiació

Quan escalfem un pot ple d'aigua les molècules d'acer del pot en contacte amb l'aigua vibren i transmeten aquesta vibració a les molècules d'aigua per conducció. El mateix passa quan agafem amb la mà alguna cosa calenta.

Si continuem escalfant aquest mecanisme és insuficient per dissipar la calor a l'aigua i es produeixen al fluid uns corrents de convecció que pugen i baixen en l'ebullició de l'agua. El mateix passa a l'atmosfera amb els vents i huracans.

Si continuem escalfant fins evaporar tota l'aigua veurem que el metall del pot passa a un color vermell. Potser costaria molt fer això a un pot, però que ho aconseguiries amb la punta d'una agulla. La calor es transmet per radiació. És el principi de funcionament dels sistemes de visió nocturna, sensibles a les

radiacions infraroges.

Escalfament d'un objecte

Si deixem un got amb gel sobre la taula observem que el got agafa calor de l'ambient i veurem una barreja de gel i aigua. Si el deixem agafar més calor, tot el gel es converteix en aigua i aquesta es va escalfant fins, que després d'un temps, agafa la temperatura de l'entorn.

Quan es tracta d'una substància pura, el canvi d'estat sòlid-líquid es produeix a una temperatura constant i requereix una calor

$$Q = m \cdot L_f \quad \text{on } L_f \text{ és la calor latent de fusió de la substància}$$

El mateix passa amb la resta de canvis d'estat.

Per escalfar l'aigua un increment de temperatura ΔT es necessita una calor

$$Q = m \cdot C_e \cdot \Delta T \quad \text{on } C_e \text{ és la calor específica de la substància}$$

Energia química

Com sabeu les reaccions químiques porten associades intercanvis d'energia. Bon exemple són els petards de la revetlla de Sant Joan.


Nosaltres estarem especialment interessats en l'energia produïda en la combustió de gas, carbó i d'altres combustibles. La calor produïda típicament és de la forma

$$Q = m \cdot p_c \quad \text{On } p_c \text{ és el poder calorífic}$$

si dividim pel temps

$$P = \dot{m} \cdot p_c$$

Es interessant definir el consum específic com

$$c_e \equiv \frac{\text{combustible utilitzat [g]}}{\text{energia produïda [kW \cdot h]}}$$


Exemple (PAU 2007):

Un escalfador, que funciona amb gas natural de poder calorífic $p_c = 61 \text{ MJ/kg}$, pot arribar a donar un cabal $q = 13,8 \text{ l/min}$ i elevar la temperatura de l'aigua $\Delta T = 25 \text{ }^\circ\text{C}$. La calor específica de l'aigua és $c_e = 4,18 \text{ J/(g }^\circ\text{C)}$. Determineu, en aquestes condicions de funcionament:

a) La potència útil P . (R: 24,04 kW)

b) El rendiment η si el consum del combustible és $q_{com} = 0,51 \text{ g/s}$. (R: 0,7726)

c) El temps t i el combustible m necessaris per a escalfar $25 \text{ }^\circ\text{C}$ un volum d'aigua $V = 150 \text{ l}$. (R: 652,2 s, 332,6 g)

$$\text{a) } Q = m \cdot C_e \cdot \Delta T \Rightarrow P = q \cdot p_c \cdot C_e \cdot \Delta T = 13,8 \frac{\text{l}}{\text{min}} \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} \frac{1000 \text{ g}}{1 \text{ l}} \cdot 4,18 \frac{\text{J}}{\text{g }^\circ\text{C}} \cdot 25^\circ\text{C} = 24,04 \text{ kW}$$

$$\text{b) } \eta = \frac{P}{m p_c} = \frac{P}{q_{comb} p_c} = \frac{24,04 \text{ kW}}{0,51 \frac{\text{g}}{\text{s}} \cdot 61 \frac{\text{kJ}}{\text{g}}} = 0,7726$$

$$\text{c) } t = \frac{V}{q} = \frac{150 \text{ l}}{13,8 \frac{\text{l}}{\text{min}} \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}}} = 652,2 \text{ s} \quad m = q_{comb} \cdot t = 0,51 \frac{\text{g}}{\text{s}} \cdot 652,2 \text{ s} = 332,6 \text{ g}$$

Energia nuclear

Aquesta energia és la que lliga els nucleons (protons i neutrons) al nucli atòmic. Està composta per diferents termes, com les forces nuclears entre nucleons, la repulsió de Coulomb entre protons, els efectes de tensió superficial (model de la gota líquida), la asimetria i la paritat. La fórmula semi-empírica de masses de Weizsäcker n'és una bona aproximació pel seu càlcul.

Si representem gràficament l'energia de lligam per nucleó veurem que el ferro és el nucli més estable.

Els elements més lleugers que el ferro poden reaccionar unint-se per crear nuclis més pesats. Aquestes són les reaccions de fusió nuclear, com les que es produeixen a les estrelles.

Els elements més pesats que el ferro poden dividir-se per crear nuclis més lleugers. Això succeeix als reactors nuclears i a les bombes com la de Hiroshima, en les anomenades reaccions de fissió.

Energia radiant

La llum és una forma de radiació. Com les microones. O la radiació γ que emeten algunes substàncies radioactives. Els seus fotons, com va postular Einstein a l'article pel qual va guanyar el premi Nobel de Física, tenen una energia proporcional a la seva freqüència:

$$E = h \nu$$

On h és la constant de Planck

Aquesta radiació està formada per ones electromagnètiques, on es propaguen variacions dels camps elèctric i magnètic, a la velocitat de la llum.

L'espectre electromagnètic és molt divers, com podeu observar a la taula del costat.

Espectre electromagnètic

Freqüència	Tipus
> 30 EHz	Raigs gamma
>30 PHz	Raigs X
>789 THz	Ultraviolat
>384 THz	Llum visible
>300 GHz	Infraroig
>1 GHz	Microones
>300 MHz	UHF
>30 MHz	VHF
<30 MHz	ràdio

Energia sonora

Els sons que sentim son variacions de pressió de l'aire que es transmeten en forma d'ones, com les produïdes per una pedra que cau a l'aigua d'un estany.

Aquestes ones han estat generades com a vibracions de les nostres cordes vocals, les cordes o les paredes d'un instrument musical, els àtoms d'un objecte que ha rebut un cop... I quan aquestes ones de pressió xoquen amb un objecte el fan vibrar, com un vidre de la finestra quan passa un camió, o les membranes dels nostres timpans

L'oïda humà és sensible als sons entre el 20Hz i els 20 kHz, encara que amb l'edat perdem sensibilitat als aguts (freqüències més altes). Molts animals superen aquests valors (ultrasons), com ara els gossos (xiulets d'ultrasons) o els ratpenats (ecolocalització). Altres animals utilitzen freqüències més baixes, com les balenes, que permeten comunicar-se a distàncies molt llunyanes sota l'aigua (dissortadament amb l'actual contaminació acústica d'avui en dia aquests animals tenen molts problemes per comunicar-se)

Transformacions energètiques

Ja hem dit reiteradament que l'energia es transforma. Moltes vegades de forma industrial, com la transformació d'energia química del combustible en energia elèctrica a les centrals tèrmiques, o de forma domèstica, com la transformació d'energia elèctrica en llum al monitor del teu ordinador. Algunes vegades es tracta de processos astronòmics, com l'emissió de radiació infraroja de Júpiter pel seu col·lapse gravitatori. D'altres vegades a petita escala, com la transformació de l'energia sonora en elèctrica a un micròfon.

Al quadre de la pàgina següent pot veure la diversitat de transformacions amb alguns exemples.

Produïda ► ▼ Consumida	mecànica	elèctrica	tèrmica	química	nuclear	radiant	sonora
mecànica	Biela / manovella Canonada forçada	Dinamo Alternador Piezoelèctric	Fregament	Reacció química	Bombardeig neutrons Estrella	Làser He-Ne	Piano Ona de xoc
elèctrica	Motor CC Piezoelèctric	Transformador	estufa	bateria	Accelerador de partícules	Bombeta Sincrotró	Altaveu Piezoelèctric
tèrmica	Motor Stirling	Efecte Peltier		Reacció química	Reactor de fusió	Ferro roent Cos negre	Cocció
química	Motor 4T	Pila Bateria	Cremador	Reacció química		Fosforescència	Explosió
nuclear	Emissió α	Pila betavoltaica	Reactor nuclear	Bomba de cobalt	Reactor reproductor	Reactor nuclear	Bomba atòmica
radiant	Molí solar	Fotovoltaica	Forn solar Microones	Fotosíntesis	Ressonància Mössbauer	Fluorescència	
sonora	Enregistrament gramofònic	Micròfon Piezoelèctric		Desestabilització estat metaestable			

Bibliografia

Bibliografia

EIN04: Albert Eintein (1905) " Ist die Trägheit eines Körpers von seinem Energieinhalt abhängig?". Annalen der Physik 18(13): 639-641

FER00: Antonio Fernández-Rañada (1993) " Física Básica 1". Pàgs.97-99. Alianza Editorial. ISBN:84-206-0640-5

GUI00: Michael Guillen (2007) " Cinco ecuaciones que cambiaron el mundo". Pàgs.196-207. . ISBN:978-84-9793-358-2

KAK00: Michio Kaku (2011) "Física de lo imposible". .Random House Mondadori. ISBN:978-84-9908-506-7

Índex alfabètic

Energia.....	7, 9	Quantitat de moviment.....	21
Formes d'energia.....	17	Rendiment.....	14
Impuls.....	22	Treball.....	10
Moment lineal.....	21	Xifres significatives.....	16
Potència.....	11	7
Principi de conservació del moment lineal.....	22		

Índex d'il·lustracions

Figura 1: Astronauta prova l'equip SAFER. Font: NASA.....	26
---	----