

Física I

Albert Gras Martí
Laura Jarauta Rovira
Marta Morata Cariñena
Antoni Pérez i Navarro

PID_00153787

Material docent de la UOC



Universitat Oberta
de Catalunya

www.uoc.edu


Albert Gras Martí

Membre de l'Institut d'Estudis Catalans (IEC). Llicenciat en Ciències Físiques per la Universitat de València l'any 1974. Doctor en Ciències Físiques per la Universitat Complutense de Madrid l'any 1977. Actualment, és catedràtic de Física Aplicada al Departament de Física Aplicada de la Facultat de Ciències de la Universitat d'Alacant. S'interessa especialment per temes de recerca en didàctica de les ciències. Dirigeix tesis doctorals, fa cursos i prepara materials didàctics. És president de l'AEFIQ-Curie (Associació per a l'Ensenyament de Física i Química, Curie, <http://www.curiedigital.net>).


Laura Jarauta Rovira

Llicenciada en Enginyeria Industrial Intensificada en Medi Ambient per la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC). L'any 2003, va iniciar la seva trajectòria laboral en el món de la consultoria ambiental a S.B.AMBIAUDIT, on hi va estar fins al 2006. Des de l'any 2006, desenvolupa l'activitat d'enginyera industrial com a autònoma, treballant en projectes de medi ambient i projectes relacionats amb l'estalvi i l'eficiència energètica i les energies renovables (energia solar tèrmica i fotovoltaica, biogàs, eòlica, biomassa i mesures de bioclimatisme en edificis).


Marta Morata Cariñena

Doctora en Enginyeria Electrònica per la Universitat Autònoma de Barcelona (UAB) i llicenciada en Ciències Físiques per la Universitat de Saragossa. Entre els anys 2000 i 2004, va fer la seva tesi doctoral al Centre Nacional de Microelectrònica (CNM-CSIC), basada en el disseny, la fabricació i la caracterització d'estructures micromecanitzades per a aplicar-les en la detecció de gasos. Des de 2004 i fins a l'any 2009, professora associada al Departament d'Enginyeria Electrònica de l'Escola Tècnica i Superior de Telecomunicacions (ETSE) de la UAB. Des de 2008, professora titular de l'Escola Universitària Salesiana de Sarrià (EUS). El 2009 forma part activa d'un grup de recerca dins del Departament d'Enginyeria Electrònica de la Universitat Politècnica de Barcelona (UPC). Actualment, els seus interessos són el disseny d'estructures de microones i circuits RF combinant MEMS i metamaterials.


Antoni Pérez i Navarro

Doctor en Ciències Físiques per la Universitat Autònoma de Barcelona (UAB). Va ser professor d'Electromagnetisme al Departament de Física de la UAB entre els anys 1996 i 2000. Entre els anys 2000 i 2005, va treballar a AURENSIS (SYSIGSA), en projectes de sistemes d'informació geogràfica (SIG). Des de 2003, col·labora amb la UOC, primer com a consultor i, des de 2005, com a professor propi dels Estudis d'Informàtica, Multimèdia i Telecomunicació, on és responsable de les assignatures de Física i SIG, i director acadèmic del postgrau de SIG. Des de 2007 col·labora també amb l'Escola Universitària Salesiana de Sarrià com a professor de Física.

La revisió d'aquest material docent ha estat coordinada pel professor: Antoni Pérez i Navarro (2011).

Primera edició: febrer 2011

© Albert Gras Martí, Laura Jarauta Rovira, Marta Morata Cariñena, Antoni Pérez i Navarro

Tots els drets reservats

© d'aquesta edició, FUOC, 2011

Av. Tibidabo, 39-43, 08035 Barcelona

Disseny: Manel Andreu

Realització editorial: Eureka Media, SL

Dipòsit legal: B-28.200-2010

ISBN: 978-84-693-4306-7



Els textos i imatges publicats en aquesta obra estan subjectes –llevat que s'indiqui el contrari– a una llicència de Reconeixement (BY) v.3.0 Espanya de Creative Commons. Podeu copiar-los, distribuir-los i transmetre'ls públicament sempre que en citeu l'autor i la font (FUOC. Fundació per a la Universitat Oberta de Catalunya). La llicència completa es pot consultar a <http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/es/legalcode.ca>

Introducció

Al llarg d'aquests mòduls estudiarem els fonaments de la física, una matèria que és present a la majoria de plans d'estudi de les titulacions científicotècniques, especialment en totes aquelles de la branca més tecnològica. Per què? Doncs perquè en qualsevol fenomen que ens envolta, des del batec d'ales d'un ocell fins al monitor de l'ordinador, passant per la llum del Sol, hi ha una llei física al darrere. Les ciències i enginyeries no en tenen prou, de conèixer l'existència d'aquesta llei, sinó que també necessiten treballar-hi per a poder crear tota la tecnologia que és a la base de la nostra societat.

Per això en aquestes disciplines hi ha sempre una assignatura de física, perquè és fonamental conèixer les lleis de la física per a poder-hi treballar. No conèixer-les i entendre-les seria com si un jutge sabés portar un judici (quan han d'entrar els litigants, quan ha de donar la paraula a un o a un altre), però no conegués la llei que aplica. Així, doncs, al llarg de la titulació aprendreu l'operativa, però serà aquí, a les assignatures de física, on coneixereu els fonaments de la llei.

En aquesta assignatura us farem cinc cèntims de tres de les branques de la física: la mecànica, l'electromagnetisme i la termodinàmica.

La mecànica es fonamenta primer en els treballs de Galileu però, sobretot, de Newton. Podem considerar que l'obra cabdal d'aquesta branca són els *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* ('Fonaments matemàtics de filosofia natural') que va publicar Newton el 1687. La mecànica estudia tant el moviment dels objectes (tema que estudia la cinemàtica) com les causes que els produeixen (dinàmica). Gràcies als treballs d'aquests dos grans científics (Galileu i Newton), no solament es van poder explicar els fenòmens de què tracten, sinó també fer-ne prediccions. En aquest sentit, apareix un concepte que és cabdal en la història de la física: el concepte de *força*. Més endavant, van venir noves maneres de comprendre i calcular, i així es va arribar a definir el treball i l'energia: dos conceptes que, si bé formen part de la vida quotidiana, en física tenen una definició molt precisa.

L'electromagnetisme estudia els fenòmens relacionats amb les càrregues elèctriques, tant si estan quietes com si estan en moviment (en aquest cas veureu que tenim un corrent elèctric). Aquests fenòmens estan en el si, per exemple, del funcionament dels telèfons mòbils, de la major part de l'electrònica, de la generació, el transport i l'ús del corrent elèctric, etc.; i també, encara que no és evident, de la fricció mecànica entre els objectes, de les forces de contacte, de la transmissió neuronal, de bona part del funcionament de les cèl·lules viues, i d'una infinitat de fenòmens més, tant naturals com artificials. En resum,

menys la força de la gravetat, gairebé totes les altres forces que experimentem en el nostre dia a dia són, en el fons, d'origen electromagnètic.

Si els pares de la mecànica són Galileu i Newton, Maxwell és el pare de l'electromagnetisme: el 1873, va publicar un treball titulat *Treatise on Electricity and Magnetism* ('Tractat d'electricitat i magnetisme), on va "recopilar" tots aquests experiments i el que se'n deduïa, ho va ampliar, i va construir els pilars de l'electromagnetisme: les lleis de Maxwell. Aquestes lleis van donar lloc a la unificació de l'electricitat i el magnetisme i al descobriment de les ones electromagnètiques.

En aquest camp són fonamentals els conceptes de *camp elèctric* i *camp magnètic*, que donen lloc també a les ones electromagnètiques. Aquesta branca de la física és en el cor de la nostra tecnologia: ens comuniquem mitjançant ones electromagnètiques i els nostres aparells funcionen gràcies a la seva presència i, per extensió, a la presència de camps elèctrics i magnètics. Ara bé, també són presents de manera natural: la llum que ens arriba del Sol no és, ni més ni menys, que ones electromagnètiques, per posar només un dels molts exemples quotidians en què l'electromagnetisme és present.

No cal oblidar, però, que la mecànica rau en el substrat de la física, en seria "la constitució" (seguint amb el símil legal) i per tant l'electromagnetisme ha de satisfer el que allà s'hi diu. És a dir, els camps elèctric i magnètic (el camp electromagnètic) exerceixen forces i aquestes forces han de satisfer les lleis de la mecànica. I veureu que, en aquesta part, també parlarem d'energia i de treball.

Finalment, la tercera branca que estudiarem és la de la termodinàmica. Aquesta és potser la branca de la física que s'ha construït d'una manera més peculiar. En aquest cas, no trobem un gran pare, sinó grans científics que hi han fet contribucions (el mateix Maxwell en seria un exemple). Aquesta és la branca més experimental de la física, en el sentit que les seves lleis neixen purament dels fenòmens quotidians que ens envolten. Aquí trobarem unes lleis que són encara més bàsiques que les de la mecànica. Seguint amb el símil legal, podríem dir que aquesta en seria el "codi ètic", que fins i tot les lleis de Newton han de satisfer. Perquè us en feu una idea, la termodinàmica diu coses com que si posem una cassola al foc la cassola s'escalfa, o que si un got cau a terra i es trenca, el got no s'arreglarà tot sol.

Tanmateix, en la part de la termodinàmica hem volgut fer un pas més enllà i ensenyar-vos una de les aplicacions que més ens afecta: l'energia. L'electromagnetisme és al cor de la nostra tecnologia, però sense energia, sense endolls on connectar els aparells o les bateries amb què alimentar-los, la nostra tecnologia és totalment inútil. És per això que en la part dedicada a la termodinàmica us explicarem d'on ve l'energia que consumim. Però també us mostrarem quin és el futur d'aquesta energia, i farem un èmfasi especial en les energies que són la clau del futur: les energies renovables. Aquesta serà l'última part, i la d'aplicació

Sir Isaac Newton

Físic, matemàtic i filòsof anglès (Lincolnshire, 4 de gener de 1643 - Londres, 31 de març de 1727). Se'l coneix per haver establert la llei de gravitació universal i les tres lleis de la mecànica en el seu *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica* ('Principis filosòfics matemàtics de la natura'), que va publicar el 1687. La unitat de força és el newton (N) i rep el seu nom en honor d'aquest científic.

James Clerk Maxwell

Físic escocès (Edimburg, 13 de juny de 1831 - Cambridge, 5 de novembre de 1879) conegut principalment per haver desenvolupat la teoria clàssica de l'electromagnetisme.

més directa, la menys teòrica. Però hem pensat que podria ser útil que veiéssiu què implica fer el pas de la ciència a la seva aplicació.

I quina és la part més important? Totes ho són, ja que els fenòmens que ens envolten satisfan totes aquestes lleis. Tanmateix, per als estudis d'enginyeria que esteu començant, veureu que fem un èmfasi especial en la part dedicada a electromagnetisme i ones. No oblideu, però, que les lleis de l'electromagnetisme satisfan les lleis de la dinàmica i de la termodinàmica i, d'altra banda, l'energia que ens arriba ho fa principalment en forma d'ona electromagnètica (l'electricitat, la calor, la llum, etc.). Per tant, ja veieu que tot està lligat i no es pot separar.

L'assignatura està estructurada en cinc mòduls, cadascun amb les parts següents:

- a) Introducció: s'indica de què tractarà el mòdul.
- b) Objectius: es posa de manifest què es pretén aconseguir amb aquell mòdul.
- c) Cos del mòdul: és el nucli del mòdul i de les explicacions.
- d) Problemes resolts: selecció de problemes resolts.
- e) Exercicis d'autoavaluació: conjunt de preguntes amb la solució.
- f) Resum del mòdul.
- g) Glossari: s'hi recullen les definicions de paraules clau del mòdul.
- h) Bibliografia: s'hi recullen diversos llibres i adreces web.

Hem orientat els cinc mòduls de manera diferent segons quins són els objectius que preteníem que assolíssiu amb vista a la vostra formació com a enginyers. Així, de manera resumida, el contingut, l'estructura i l'enfocament dels diversos mòduls serà el següent:

- 1) Mecànica. Aquesta part és constituïda per un únic mòdul:

Mòdul "Mecànica". La part de mecànica és constituïda per un únic gran mòdul que repassa tots els aspectes de la mecànica: comença per fer una descripció del moviment (cinemàtica) i, tot seguit, n'entra en les causes (dinàmica). Per a això introdueix les tres lleis de Newton i el concepte de *força*. Tot seguit, en fa una descripció alternativa mitjançant els conceptes de *treball* i *energia*. Finalment, s'introdueix el concepte d'*oscil·lador*, que és útil per a explicar molts fenòmens.

L'aproximació a cadascuna d'aquestes parts és doble: es fa primer un enfocament qualitatiu en el qual es busca entendre, sobretot, els conceptes, i tot se-

Observació

A més de les lleis que us ensenyarem, la relativitat, però sobretot la mecànica quàntica, van introduir noves lleis. Tanmateix, en la nostra vida quotidiana les lleis que estudiarem són perfectament vàlides.

guit se'n fa un enfocament quantitatiu. També veureu que es fa un èmfasi especial en la manera de treballar: com s'interpreten gràfiques, què volen dir les equacions, etc. Ser competent en aquestes tasques és fonamental no tan sols per a aquesta assignatura, sinó també per a la resta d'assignatures de la titulació i per a la vostra vida professional.

D'altra banda, en aquest mòdul tindreu un recull de problemes al final de cada apartat, en lloc de tenir-los tots junts al final del mòdul com es fa en la resta de mòduls, ja que creiem que això us pot anar millor a l'hora d'assolir les competències pertinents.

2) Electromagnetisme i ones. Aquesta part és constituïda per tres mòduls:

Mòdul "Electrostàtica". En aquest primer mòdul d'electromagnetisme estudiarem l'electrostàtica. Partirem de les càrregues elèctriques i estudiarem la interacció entre elles. Coneixereu el camp i el potencial electrostàtics, que són la base de l'electrostàtica. Tot això ho farem tant en el buit com en presència de matèria. També veureu la llei de Gauss i aprendreu la física que hi ha al darrere d'un element tan habitual en l'electrònica com és el condensador de plaques paral·leles.

Mòdul "Magnetostàtica i inducció magnètica". En aquest segon mòdul d'electromagnetisme estudiarem la magnetostàtica de manera paral·lela a com havíem estudiat l'electrostàtica. Veurem els corrents i la interacció entre ells i aprendreu què és el camp d'inducció electromagnètica. També veurem la llei d'Ampère, que és l'equivalent de la llei de Gauss, però en la magnetostàtica. Tot això ho farem en el buit i en presència de matèria, i veurem que el camp d'inducció electromagnètica no és el mateix que el camp magnètic. També aprendrem com funciona una bobina i la llei de Faraday, que ens permetrà conèixer com funciona un transformador i entendre una mica millor què passava en els circuits de corrent altern en les bobines.

Mòdul "Ones electromagnètiques". Amb aquest mòdul tancarem la part d'electromagnetisme i ho farem arribant a les equacions de Maxwell, reproduint una mica el procés que ell mateix va fer. Partirem dels resultats que haurem anat obtenint en els mòduls anteriors i veurem que caldrà completar la llei d'Ampère. D'aquesta manera construirem el compendi de les lleis de Maxwell que ens permetran arribar a les ones electromagnètiques. Veurem com descriure-les i què és l'espectre electromagnètic. Aquestes ones que aquí trobarem us acompanyaran al llarg de tota la titulació, ja que des de la transmissió d'informació fins al comportament de la llum en una separació de medis, són ones electromagnètiques.

3) Termodinàmica. Aquesta part és constituïda per un únic mòdul:

Mòdul "Termodinàmica i energia". Tancarem l'assignatura amb el mòdul de termodinàmica. Amb aquest mòdul us mostrarem, en una primera part, les lleis bàsiques de la termodinàmica.

Veureu que l'energia no es crea ni es destrueix, sinó que només es transforma i, gràcies a un concepte nou, el de l'entropia, entendreu per què no s'“autorepara” un got que cau a terra i es trenca. En la segona part, però, entrarem a la part més “enginyera” de la termodinàmica: estudiarem el model energètic que ens afecta i farem un èmfasi especial en les energies renovables, que seran sens dubte el model energètic del futur. Entendreu les dificultats de connectar un nou element a la xarxa elèctrica o què implica construir un aerogenerador. Veureu que al llarg del mòdul aniran sortint conceptes que han anat apareixent al llarg de l'assignatura i us mostrarem què implica passar de la teoria científica a l'aplicació directa.

Finalment, us hem inclòs un apèndix que resumeix les unitats de mesura més importants i com es fan les transformacions entre unes i altres.

Com seria convenient estudiar?

Estudiar és un procés similar, en molts aspectes, al procés d'escombrar una habitació: quan obrim la porta, veiem el terra que cal escombrar. Però també veiem les taules i les cadires, que són obstacles que caldrà superar.

Doncs bé, sou davant d'una habitació amb la porta oberta, però encara és bruta i plena de taules i cadires. Necessiteu una escombra, necessiteu saber com funciona i no estaria de més que penséssiu en quina és la millor estratègia per a netejar-ho tot. Per on heu de començar? Cap a la dreta? Cap a l'esquerra? Com esquivareu les taules? Les heu d'esquivar totes? Trobareu tots els racons?

Hi ha, però, un parell de consideracions de les quals mai no ens podrem escapar, i és molt important, per tant, que sempre les tingueu en compte:

- Tant si teniu una habitació més gran o més petita, trobeu més o menys dificultats, teniu una escombra d'última generació o més rudimentària, utilitzeu més o menys els consells que us puguem donar... per molt que us ajudem, l'escombra l'heu d'agafar vosaltres. Vosaltres heu d'entrar a l'habitació. Pel vostre peu, al vostre ritme i amb la vostra voluntat de deixar-ho tot ben net: vosaltres sou els agents principals de l'aprenentatge! Tota la resta és de suport.
- Per a escombrar, s'ha d'anar poc a poc. Si estúdieu ràpid (o bé ho feu només els últims dies, corrents i de pressa), només aconseguireu aixecar la pols, que de seguida tornarà a dipositar-se a terra: no haureu après res. Aquests mòduls volen ser, d'una banda, l'escombra: l'estri necessari que us permetrà endinsar-vos dins l'habitació per anar escombrant. Però, d'altra banda, també pretenen ser una guia de l'habitació, el plànol que us avisarà de les dificultats que us trobareu i de la manera d'esquivar-les o bé d'afrontar-les quan faci falta.

Com seria convenient estudiar aquests mòduls?

Com veureu a mesura que avanceu en la lectura i en l'estudi dels mòduls, hem desenvolupat els conceptes teòrics i, tot sovint, hi hem inclòs algun exemple de càlcul que permet afermar els coneixements adquirits. La manera ideal d'estudiar-lo és anar avançant amb seguretat: és a dir, intenteu entendre amb detall cada apartat abans de continuar amb el següent. Intenteu fer, vosaltres mateixos, els exemples, sense mirar. I abans de continuar amb l'altre mòdul, mireu els problemes resolts que corresponguin a aquest mòdul i feu-los també!

Un consell important, ja abans de començar: aneu amb molt de compte amb la notació, especialment en allò que es refereix a les magnituds vectorials i als eixos de coordenades. Si sou curiosos en el seu tractament (si no us deixeu les “fletxes” que indiquen vectors), si penseu tots els problemes tridimensionalment (o bidimensionalment, si així us ho indiquen) tindreu molt de guanyat a l'hora d'avançar en l'estudi.

Finalment, quan ja hàgiu estudiat el cos teòric i els exemples i els problemes resolts, intenteu fer les activitats d'autoavaluació. Feu-ho només al final: les preguntes d'autoavaluació haurien de servir, més que no pas per a saber què heu après, per a detectar petits conceptes que se us han escapat, o per a detectar detalls als quals no havíeu donat prou importància, o també per a corregir alguns malentesos.

I compteu també que aquests mòduls tenen la seva complementarietat en la figura del consultor, per una banda, qui us aclarirà qualsevol dubte que us sorgeixi sobre qualsevol concepte teòric, problema o activitat; i en la bibliografia que us donem, per una altra, que us permetrà ampliar els conceptes donats, o bé estudiar-los des d'una perspectiva diferent, cosa que també enriquirà els vostres coneixements.

La tasca que us espera no és senzilla, però tampoc ha de ser necessàriament complexa: la trampa, el “truc”, és la constància. Que tingueu una molt bona assignatura!

Objectius

A part dels objectius específics de cada mòdul, aquesta assignatura té uns objectius generals. Aquests objectius, que enumerem a sota, emmarquen aquesta assignatura en el conjunt de la titulació i la doten de sentit:

1. Aprendre que la mecànica permet explicar el moviment i els seus orígens.
2. Saber interpretar gràfiques i entendre el significat de les equacions.
3. Comprendre els conceptes de *treball* i *energia* associats a la mecànica.
4. Comprendre la diferència entre una aproximació qualitativa i una de quantitativa.
5. Conèixer i comprendre les lleis de l'electrostàtica i els seus elements: camp electrostàtic, potencial electrostàtic, llei de Gauss, etc.
6. Conèixer i comprendre les lleis de la magnetostàtica i els seus elements: camp d'inducció magnètica, llei d'Ampère, etc.
7. Aprendre què és una ona electromagnètica i com es comporta en diverses situacions.
8. Aprendre com es propaga una ona electromagnètica a través d'una línia de transmissió.
9. Ser capaços de reconèixer l'origen electromagnètic de molts dels fenòmens naturals i artificials.
10. Saber treballar les expressions fonamentals de la teoria electromagnètica amb una base matemàtica vectorial.
11. Lligar l'electromagnetisme i el seu estudi amb les altres disciplines que s'estudien a la carrera, com ara els de camp electromagnètic, ona electromagnètica, transformador, condensador, etc.
12. Saber què són les lleis de Maxwell.
13. Saber què és una ona electromagnètica i com es descriu, i conèixer l'espectre electromagnètic.
14. Conèixer les lleis de la Termodinàmica.

- 15.** Saber què són, des d'un punt de vista termodinàmic, la calor, la temperatura, l'energia i l'entropia.
- 16.** Conèixer el model energètic espanyol com a illa tecnològica.
- 17.** Saber què són les energies renovables.
- 18.** Conèixer els avantatges i els inconvenients de les energies tradicionals i de les renovables.
- 19.** Conèixer i saber dimensionar una instal·lació d'un sistema solar fotovoltaic autònom.

Continguts

Mecànica. Cinemàtica i dinàmica

Albert Gras Martí

1. Descripció dels moviments. Els llenguatges de la ciència
2. Conceptes de cinemàtica
3. Què causa els moviments?
4. Lleis de Newton de la dinàmica
5. Energia, moment lineal i lleis de conservació
6. Estudi de cas. L'oscil·lador harmònic
7. Solucions dels problemes d'ampliació

Ones electromagnètiques

Antoni Pérez i Navarro

1. Equacions de Maxwell
2. Ones electromagnètiques
3. Problemes resolts

Termodinàmica i energia

Laura Jarauta Rovira, Marta Morata Cariñena

1. Energia, calor i temperatura
2. Lleis de la termodinàmica
3. Accés a l'energia
4. Energia tèrmica i energia nuclear
5. Energia eòlica i fotovoltaica
6. Sistema fotovoltaic autònom
7. Sistemes generadors aïllats
8. Problemes resolts

Bibliografia

Alonso, M.; Finn, E. J. (1998). *Física. Campos y ondas* (vol. 2). Mèxic: Addison Wesley Logman.

Chabay, R; Sherwood, B. (1995). *Electric & Magnetic Interations*. John Wiley & Sons, Inc.

Feynman, R. P.; Leighton, R. B.; Sands, M. (1987). *Física: electromagnetismo y materia* (vol. II). Pearson Addison Wesley

Reitz, J. R.; Milford, F. J. (2001). *Fundamentos de la teoría electromagnética* (1a. ed.). Mèxic: Alhambra Mexicana.

Tipler, P. A.; Mosca, G. (2005). *Física para la ciencia y la tecnología* (5a. ed., vol. 1B). Barcelona: Reverté.

Viquipedia <<http://ca.wikipedia.org>>. Última consulta: 7 de març de 2010.

Wikipedia <<http://en.wikipedia.org>>. Última consulta: 7 de març de 2010.

Harrison, David <http://www.meet-physics.net/David-Harrison/index_cat.html>. Última consulta: 7 de març de 2010.

EUN (European Schoolnet)
<http://ca.inspire.eun.org/index.php/Pagina_principal>

Coll, P.; Pretel, C.; Cortés, G. (2003). *Tecnologia energètica* (temes 0 al 4). Barcelona: CPDA-ETSEIB.

Ortega, X.; Batet, Ll.; Coll, P. (2003). *Tecnologia energètica* (temes 5 al 8). Barcelona: CPDA-ETSEIB.

Apèndix

A.1. Unitats i conversió d'unitats

En una activitat tan quotidiana com la compra, sabem que no n'hi ha prou d'anar a la fruiteria i demanar cinc a seques. Cinc què?, ens preguntaran, ja que podrien ser cinc taronges o cinc plàtans. Podríem dir llavors, “de cireres, dóna-me'n cinc”, i tornarien a preguntar-nos, cinc què?, perquè podrien ser cinc quilograms, cinc grams o cinc cireres. És a dir, no n'hi ha prou de dir un nombre, és important saber sempre a què correspon aquest nombre, **en quines unitats es mesura**.

Les ciències i les enginyeries no són una excepció a aquesta regla per la qual cosa totes les magnituds (intensitat, resistència, voltatge, etc.) es mesuren en unes unitats determinades.

En el subapartat 1.1 d'aquest annex, recollirem quines són les unitats de les magnituds de física. Posteriorment, en el subapartat 1.2 introduïrem la notació científica. En el subapartat 1.3 veurem que es pot treballar amb múltiples i submúltiples d'aquestes unitats per a poder adaptar-les als nombres que tenim. Finalment, en el subapartat 1.4, veurem com es pot passar d'unes unitats a les altres.

A.1.1. El sistema internacional d'unitats

Si heu vist alguna pel·lícula ambientada en algun país anglosaxó, o si hi heu estat, us haureu adonat que mesuren les distàncies en milles, no en quilòmetres, com nosaltres. La milla i el quilòmetre formen part de diferents sistemes d'unitats: la primera és del sistema anglosaxó, i la segona del sistema internacional (SI). Nosaltres treballarem amb el sistema internacional.

1 milla terrestre equival a 1,609 km.

En el sistema internacional, les **unitats bàsiques** són les que s'indiquen en la taula 1. En la primera columna podeu veure la magnitud, en la segona, el nom de la unitat i en la tercera, el símbol que s'utilitza per a la unitat.

Taula 1. Unitats en el sistema internacional (SI)

Magnitud	Unitat bàsica	Símbol
Longitud	metre	m
Massa	quilogram	kg
Temps	segon	s
Corrent elèctric	ampere	A
Temperatura	kelvin	K
Intensitat lluminosa	candela	cd

Els símbols escrits en majúscules (A, K, etc.) deuen el seu nom a algun personatge important.

Per unitats bàsiques s'entenen aquelles a partir de les quals es poden obtenir les unitats de la resta de magnituds, que s'anomenen **unitats derivades**. Per a això s'utilitzen fórmules que les relacionen les unes amb les altres, com la llei d'Ohm, que ja hem vist. En la taula 2 podeu veure les unitats derivades. En la primera columna, la magnitud a què corresponen, en la segona, el nom de la unitat, en la tercera, el seu símbol, i en la quarta, la fórmula que mostra la relació amb les unitats bàsiques o amb les unitats derivades, la relació de les quals amb les primeres ja s'ha mostrat.

Taula 2. Unitats derivades en el SI

Magnitud	Unitat	Símbol	Fórmula
Freqüència	hertz	Hz	s^{-1}
Força	newton	N	$kg \cdot m/s^2$
Energia o treball	joule	J	$N \cdot m$
Potència	watt	W	J/s
Càrrega elèctrica	coulomb	C	$A \cdot s$
Potencial elèctric	volt	V	J/C
Resistència elèctrica	ohm	Ω	V/A
Conductància elèctrica	siemens	S	A/V
Capacitància elèctrica	farad	F	C/V
Flux magnètic	weber	Wb	$V \cdot s$
Inductància	henry	H	Wb/A

La notació exponent negatiu és equivalent a dividir per la base elevada a l'exponent, és a dir: $x^{-2} = 1/x^2$.

A.1.2. La notació científica

Una taula pot mesurar 2 m (dos metres), la distància entre dos pobles pot ser de 5.000 m (cinc mil metres), i la longitud d'una formiga pot ser 0,005 m.

Com podeu veure, si mesurem coses molt grans ens veurem obligats a utilitzar molts zeros; en canvi, en el cas de mesurar coses molt petites, haurem de posar molts zeros després de la coma, cosa que pot conduir a error i és tediós d'escriure. Seria molt còmode poder disposar d'un sistema de representació més compacte. Aquest sistema existeix i es coneix com a notació científica.

La notació científica consisteix a escriure els nombres en potències de 10. En la taula 3 podeu veure una identificació de diversos nombres en potències de 10. Així, els nombres que hem escrit abans en notació científica seran: $5.000 = 5 \cdot 10^3$ i $0,005 = 5 \cdot 10^{-3}$, que és una notació molt més compacta. La potència 10^0 no s'utilitza perquè el seu valor és 1.

Taula 3. Escripura en potències de 10 d'alguns valors numèrics

Valor	Potència de 10
0,000001	$1 \cdot 10^{-6}$
0,00001	$1 \cdot 10^{-5}$
0,0001	$1 \cdot 10^{-4}$
0,001	$1 \cdot 10^{-3}$
0,01	$1 \cdot 10^{-2}$
0,1	$1 \cdot 10^{-1}$
1	$1 \cdot 10^0$
10	$1 \cdot 10^1$
100	$1 \cdot 10^2$
1.000	$1 \cdot 10^3$
10.000	$1 \cdot 10^4$
100.000	$1 \cdot 10^5$
1.000.000	$1 \cdot 10^6$

A.1.3. Múltiples i submúltiples

Cadascuna de les unitats que heu vist en el subapartat 1.1, tant les bàsiques (taula 1) com les derivades (taula 2), tenen el que s'anomena múltiples i submúltiples. Per exemple, la unitat de resistència és l'ohm (Ω), però es fan servir sovint els quiloohms ($k\Omega$ o K).

Per què són útils aquests múltiples i submúltiples? Perquè així podem “adaptar” les unitats als nombres amb què estem treballant. De fet, això ja ho fem en la nostra vida quotidiana, penseu si no que diem que dos municipis disten vint quilòmetres (20 km) i no vint mil metres ($2 \cdot 10^4$ m). En aquest cas, utilitzem el múltiple *quilo*, que equival a 1.000 m. En la taula 4 podeu veure un llistat dels múltiples i submúltiples. En la primera columna s'indica el nom, en la segona, el símbol, i en la tercera, la potència de 10 a què correspon.

Taula 4. Múltiples i submúltiples

Prefix	Símbol	Potència
Femto	f	$1 \cdot 10^{-15}$
Pico	p	$1 \cdot 10^{-12}$
Nano	n	$1 \cdot 10^{-9}$
Micro	μ (lletra mu)	$1 \cdot 10^{-6}$
Mil·li	m	$1 \cdot 10^{-3}$
Centi	c	$1 \cdot 10^{-2}$
Deci	d	$1 \cdot 10^{-1}$
Deca	da	$1 \cdot 10^1$
Hecto	h	$1 \cdot 10^2$
Quilo	k	$1 \cdot 10^3$
Mega	M	$1 \cdot 10^6$
Giga	G	$1 \cdot 10^9$
Tera	T	$1 \cdot 10^{12}$

Fixeu-vos que la unitat bàsica de massa en el sistema internacional no és el gram, sinó el quilogram.

Ús de múltiples i submúltiples

Els múltiples i submúltiples s'escriuen davant de la unitat. Així, parlem de *quilòmetres* per a dir que utilitzem la unitat *metre* amb el múltiple *quilo*. Amb els símbols fem el mateix, així, tenint en compte que el símbol de quilo és k i el símbol de metre és m, el símbol de quilòmetre és km. Per això podem dir que actuen com a prefixos.

Cal tenir en compte que en el cas d'unitats elevades a alguna potència, aquests factors de conversió també s'elevan a la potència. Així, per exemple, en el cas de metres quadrats (m^2) s'elevarien al quadrat les potències indicades en la taula 4, i en el cas de metre cúbics (m^3), s'elevarien al cub. En la taula 5 podeu veure l'equivalència entre $1 m^2$ i alguns dels seus múltiples i submúltiples; en la taula 6 podeu veure el mateix, però amb el metre cúbic.

Taula 5. Equivalència d'alguns dels múltiples i submúltiples del metre quadrat (m^2)

Unitat	$1 m^2$
mm^2	$1 \cdot 10^{-6}$
cm^2	$1 \cdot 10^{-4}$
dm^2	$1 \cdot 10^{-2}$
dam^2	$1 \cdot 10^2$
hm^2	$1 \cdot 10^4$
km^2	$1 \cdot 10^6$

Taula 6. Equivalència d'alguns dels múltiples i submúltiples del metre cúbic (m^3)

Unitat	$1 m^3$
mm^3	$1 \cdot 10^{-9}$
cm^3	$1 \cdot 10^{-6}$
dm^3	$1 \cdot 10^{-3}$
dam^3	$1 \cdot 10^3$
hm^3	$1 \cdot 10^6$
km^3	$1 \cdot 10^9$

A.1.4. Conversió d'unitats

Un tema fonamental és treballar sempre en el mateix sistema d'unitats. No té sentit sumar metres i quilòmetres. Per això, quan feu un problema heu d'anar molt amb compte de transformar les unitats adequadament.

La manera de fer-ho és multiplicar el nombre per una fracció. En el cas que les unitats estiguin en el numerador (per exemple, en el cas de km/h , i vulguem transformar els quilòmetres a metres), en el numerador posem les unitats "a les quals volem arribar" i en el denominador, les que volem transformar, i escrivim l'equivalència entre elles. Així, tenint en compte que $1 km$ són $10^3 m$, la fracció per a transformar quilòmetres en metres és:

$$\frac{10^3 m}{1 km} \quad (1)$$

En el cas que les unitats estiguin en el denominador (per exemple, si volem transformar les hores en segons en els km/h), en el denominador posem les unitats "a les quals volem arribar" i en el numerador, les unitats que volem transformar, i escrivim l'equivalència entre elles. Així, tenint en compte que $1 h$ són 3.600 segons, la fracció per a transformar les hores en segons seria:

$$\frac{1 h}{3.600 s} \quad (2)$$

A continuació, veurem alguns exemples on podeu veure com s'opera.

Exemple 1

Passeu 0,03 kΩ a Ω.

$$0,03 \text{ k}\Omega = 0,03 \cancel{\text{k}\Omega} \cdot \frac{10^3 \Omega}{1 \cancel{\text{k}\Omega}} = 30 \Omega \quad (3)$$

Noteu que com que les unitats que volem transformar (kΩ) són en el numerador i el denominador i el denominador se simplifiquen, queden només les que volem obtenir.

Exemple 2

Passeu 30.000 mA a A.

$$30.000 \text{ mA} = 30.000 \cancel{\text{mA}} \cdot \frac{1 \text{ A}}{10^3 \cancel{\text{mA}}} = 30 \text{ A} \quad (4)$$

Noteu que com que les unitats que volem transformar (mA) són en el numerador i el denominador i el denominador se simplifiquen, queden només les que volem obtenir.

Exemple 3

Passeu 15 km/h a m/segon, tenint en compte que 1 hora són 3.600 segons.

$$15 \text{ km/h} = 15 \frac{\cancel{\text{km}}}{\cancel{\text{h}}} \cdot \frac{10^3 \text{ m}}{1 \cancel{\text{km}}} \cdot \frac{1 \cancel{\text{h}}}{3,6 \cdot 10^3 \text{ s}} = 4,17 \text{ m/s} \quad (5)$$

Noteu que les unitats que volem transformar estan posades en el numerador o el denominador perquè es puguin transformar. Fixeu-vos també que hem escrit 3.600 en notació científica, com hem mostrat en el subapartat 1.2.

A.2. Lletres gregues

És molt comú utilitzar en ciència i enginyeria lletres gregues per a referir-se a diverses magnituds. Per això en aquest apartat incloem un resum de les lletres gregues, tant en majúscula com en minúscula, amb els seus respectius noms.

Taula 7. Lletres gregues

Nom	Símbol		Nom	Símbol	
	Minúscula	Majúscula		Minúscula	Majúscula
Alfa	α	A	Ni / Nu	ν	N
Beta	β	B	Ksi	ξ	Ξ
Gamma	γ	Γ	Òmicron	ο	Ο
Delta	δ	Δ	Pi	π	Π
Èpsilon	ε	E	Rho	ρ	Ρ
Zeta	ζ	Z	Sigma	σ, ς	Σ
Eta	η	H	Tau	τ	Τ
Theta	θ, ϑ	Θ	Ípsilon / Upsilon	υ	Υ
Iota	ι	I	Fi	φ, ϕ	Φ
Kappa	κ	K	Khi	χ	Χ
Lambda	λ	Λ	Psi	ψ	Ψ
Mi / Mu	μ	M	Omega	ω	Ω

Les lletres mi, ni i ípsilon se solen anomenar amb el seu nom en anglès: *mu*, *nu* i *upsilon*, respectivament.