

Física I

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

PID_00153790

Material docente de la UOC



Universitat Oberta
de Catalunya

www.uoc.edu


Albert Gras Martí

Miembro del Institut d'Estudis Catalans (IEC). Licenciado en Ciencias Físicas por la Universidad de Valencia en el año 1974. Doctor en Ciencias Físicas por la Universidad Complutense de Madrid en el año 1977. Actualmente, es catedrático de Física Aplicada en el Departamento de Física Aplicada de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Alicante. Interesado especialmente por temas de investigación en didáctica de las ciencias. Dirige tesis doctorales, imparte cursos y prepara materiales didácticos. Es presidente de la AEFiQ-Curie (Associació per a l'Ensenyament de Física i Química, Curie, <http://curiedigital.net>).


Laura Jarauta Rovira

Licenciada en Ingeniería Industrial Intensificada en Medio Ambiente por la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC). En el año 2003, inició su trayectoria laboral en el mundo de la consultoría ambiental en S.B.AMBIAUDIT, donde estuvo hasta el 2006. Desde el año 2006, desarrolla la actividad de ingeniería industrial como autónoma, trabajando en proyectos de medio ambiente y proyectos relacionados con el ahorro y la eficiencia energética y las energías renovables (energía solar térmica y fotovoltaica, biogás, eólica, biomasa y medidas de bioclimatismo en edificios).


Marta Morata Cariñena

Doctora en Ingeniería Electrónica por la Universidad Autónoma de Barcelona (UAB) y licenciada en Ciencias Físicas por la Universidad de Zaragoza. Entre los años 2000 y 2004, hizo su tesis doctoral en el Centro Nacional de Microelectrónica (CNM-CSIC), basada en el diseño, la fabricación y la caracterización de estructuras micromecanizadas para aplicarlas a la detección de gases. Desde 2004 y hasta el año 2009, profesora asociada al Departamento de Ingeniería Electrónica de la Escuela Técnica y Superior de Telecomunicaciones (ETSE) de la UAB. Desde 2008, profesora titular de la Escuela Universitaria Salesiana de Sarriá (EUSS). En 2008 forma parte activa de un grupo de investigación dentro del Departamento de Ingeniería Electrónica de la Universidad Politécnica de Barcelona (UPC). Actualmente, sus intereses son el diseño de estructuras de microondas y circuitos RF combinando MEMS y metamateriales.


Antoni Pérez i Navarro

Doctor en Ciencias Físicas por la Universidad Autónoma de Barcelona (UAB). Fue profesor de Electromagnetismo en el Departamento de Física de la UAB entre los años 1996 y 2000. Entre los años 2000 y 2005, trabajó en AURENSIS (SYSIGSA), en proyectos de sistemas de información geográfica (SIG). Desde 2003, colabora con la UOC, primero como consultor y, desde 2005, como profesor propio de los Estudios de Informática, Multimedia y Telecomunicación, donde es responsable de las asignaturas de Física y SIG, y director académico del posgrado de SIG. Desde 2007 colabora también con la Escuela Universitaria Salesiana de Sarriá como profesor de Física.

El encargo y la creación de este material docente han sido coordinados por el profesor: Antoni Pérez i Navarro (2011).

Primera edición: febrero 2011

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

Todos los derechos reservados

© de esta edición, FUOC, 2011

Av. Tibidabo, 39-43, 08035 Barcelona

Diseño: Manel Andreu

Realización editorial: Eureka Media, SL

Depósito legal: B-28.202-2010

ISBN: 978-84-693-4297-8



Los textos y las imágenes publicadas en esta obra están sujetas –excepto que se indique lo contrario– a una licencia de Reconocimiento (BY) v.3.0 España de Creative Commons. Podéis copiarlos, distribuirlos y transmitirlos públicamente siempre que citéis al autor y la fuente (FUOC. Fundació per a la Universitat Oberta de Catalunya). La licencia completa se puede consultar en <http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/es/legalcode.es>

Introducción

Durante estos módulos estudiaremos los fundamentos de la física, una materia que está presente en la mayoría de planes de estudio de las titulaciones científicotécnicas, especialmente en todas aquellas de la rama más tecnológica. ¿Por qué? Porque tras cualquier fenómeno que nos rodea, desde el aletear de un pájaro hasta el monitor de un ordenador, pasando por la luz del Sol, hay una ley física. Las ciencias e ingenierías no tienen suficiente con conocer la existencia de esta ley, sino que también necesitan trabajar con ella para poder crear toda la tecnología que forma la base de nuestra sociedad.

Por esto en estas disciplinas hay siempre una asignatura de física, porque es fundamental conocer las leyes de la física para poder trabajar con ellas. No conocerlas y entenderlas sería como si un juez supiese llevar un juicio (cuándo deben entrar los litigantes, cuándo dar la palabra a uno u otro), pero no conociese la ley que aplica. Así pues, a lo largo de la titulación aprenderéis la operativa, pero va a ser aquí, en las asignaturas de física, donde conoceréis los fundamentos de la ley.

En esta asignatura os haréis una idea de tres de las ramas de la física: la mecánica, el electromagnetismo y la termodinámica.

La mecánica se fundamenta primero en los trabajos de Galileo pero, sobre todo, de Newton. Podemos considerar que la obra capital de esta rama son los *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* ('Fundamentos matemáticos de filosofía natural') que publicó Newton en 1687. La mecánica estudia tanto el movimiento de los objetos (tema que estudia la cinemática) como las causas que los producen (dinámica). Gracias a los trabajos de estos dos grandes científicos (Galileo y Newton), no solamente se pudieron explicar los fenómenos que trataron, sino también hacer predicciones. En este sentido, aparece un concepto que es capital en la historia de la física: el concepto de *fuerza*. Más adelante, vinieron nuevas maneras de comprender y calcular, y así se llegó a definir el trabajo y la energía: dos conceptos que, si bien forman parte de la vida cotidiana, en física tienen una definición muy precisa.

El electromagnetismo estudia los fenómenos relacionados con las cargas eléctricas, tanto si están quietas como si están en movimiento (en este caso veréis que tenemos una corriente eléctrica). Estos fenómenos están en la base, por ejemplo, del funcionamiento de los teléfonos móviles, de la mayor parte de la electrónica, de la generación, el transporte y el uso de la corriente eléctrica, etc.; y también, aunque no es tan evidente, de la fricción mecánica entre los objetos, de las fuerzas de contacto, de la transmisión neuronal, de buena parte del funcionamiento de las células vivas, y de una infinidad de fenómenos más,

Sir Isaac Newton

Físico, matemático y filósofo inglés (Lincolnshire, 4 de enero de 1643 - Londres, 31 de marzo de 1727). Se le conoce por haber establecido la ley de gravitación universal y las tres leyes de la mecánica en su *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* ('Principios filosóficos matemáticos de la naturaleza'), que publicó en 1687. La unidad de fuerza es el newton (N) y recibe su nombre en honor a este científico.

tanto naturales como artificiales. En resumen, salvo la fuerza de la gravedad, casi todas las otras fuerzas que experimentamos en nuestro día a día son, en el fondo, de origen electromagnético.

Si los padres de la mecánica son Galileo y Newton, Maxwell es el padre del electromagnetismo: en 1873 publicó un trabajo titulado *Treatise on Electricity and Magnetism* ('Tratado de electricidad y magnetismo'), donde "recopiló" todos estos experimentos y lo que de ellos se deducía, lo amplió, y construyó los pilares del electromagnetismo: las leyes de Maxwell. Estas leyes dieron lugar a la unificación de la electricidad y el magnetismo y al descubrimiento de las ondas electromagnéticas.

James Clerk Maxwell

Físico escocés (Edimburgo, 13 de junio de 1831 - Cambridge, 5 de noviembre de 1879) conocido principalmente por haber desarrollado la teoría clásica del electromagnetismo.

En este ámbito son fundamentales los conceptos de *campo eléctrico* y *campo magnético*, que dan lugar también a las ondas electromagnéticas. Esta rama de la física está en el corazón de nuestra tecnología: nos comunicamos mediante ondas electromagnéticas y nuestros aparatos funcionan gracias a su presencia y, por extensión, a la presencia de campos eléctricos y magnéticos. Ahora bien, también se hallan presentes de manera natural: la luz que nos llega del Sol no es, ni más ni menos, que ondas electromagnéticas, por exponer sólo uno de los muchos ejemplos cotidianos en los que el electromagnetismo está presente.

No debemos olvidar que la mecánica yace en el sustrato de la física, sería su "constitución" (siguiendo con el símil legal) y, por tanto, el electromagnetismo debe cumplir lo que en ella se dice. Es decir, los campos eléctrico y magnético (el campo electromagnético) ejercen fuerzas y estas fuerzas deben satisfacer las leyes de la mecánica. Y veréis que, en esta parte, también hablaremos de energía y de trabajo.

Finalmente, la tercera rama que estudiaremos es la de la termodinámica. Esta es la rama de la física que se ha construido de manera más peculiar. En este caso, no encontramos un gran padre, sino grandes científicos que han contribuido a ella (el mismo Maxwell sería un ejemplo). Esta es la rama más experimental de la física, en el sentido de que sus leyes nacen puramente de los fenómenos cotidianos que nos rodean. Aquí encontraremos unas leyes que son aún más básicas que las de la mecánica. Siguiendo con el símil legal, podríamos decir que la termodinámica sería el "código ético", que hasta las leyes de Newton deben cumplir. Para que os hagáis una idea, la termodinámica dice cosas como que si ponemos una cazuela en el fogón ésta se calienta, o que si un vaso cae al suelo y se rompe, el vaso no se arreglará solo.

Asimismo, en la parte de la termodinámica hemos querido dar un paso más allá y enseñaros una de las aplicaciones que más nos afecta: la energía. El electromagnetismo está en el corazón de nuestra tecnología, pero sin energía, sin enchufes donde conectar los aparatos o las baterías con que alimentarlos, nuestra tecnología es totalmente inútil. Es por eso por lo que en la parte dedicada a la termodinámica os explicaremos de donde viene la energía que con-

sumimos. Pero también os mostraremos cuál es el futuro de esta energía, y pondremos un énfasis especial en las energías que son la clave del futuro: las energías renovables. Ésta será la última parte, y la de aplicación más directa, la menos teórica. Pensamos que podría ser útil que veáis las implicaciones de dar el paso de la ciencia a su aplicación.

Y ¿cuál es la parte más importante? Todas lo son, ya que los fenómenos que nos rodean cumplen todas estas leyes. Asimismo, para los estudios de ingeniería que estáis comenzando, veréis que ponemos un énfasis especial en la parte dedicada a electromagnetismo y ondas. No olvidéis que las leyes del electromagnetismo satisfacen las leyes de la dinámica y de la termodinámica y, por otra parte, la energía que nos llega lo hace principalmente en forma de onda electromagnética (la electricidad, el calor, la luz, etc.). Por tanto, ya veis que todo está ligado y no se puede separar.

La asignatura está estructurada en cinco módulos, cada uno con las partes siguientes:

- a) **Introducción:** se indica qué se va a tratar en el módulo.
- b) **Objetivos:** se pone de manifiesto qué se pretende conseguir con aquel módulo.
- c) **Cuerpo del módulo:** es el núcleo del módulo y de las explicaciones.
- d) **Problemas resueltos:** selección de problemas resueltos.
- e) **Ejercicios de autoevaluación:** conjunto de preguntas con sus soluciones.
- f) **Resumen del módulo.**
- g) **Glosario:** recoge las definiciones de palabras clave del módulo.
- h) **Bibliografía:** recoge diversos libros y direcciones web.

Hemos orientado los cinco módulos de manera diferente según cuáles son los objetivos que pretendíamos conseguir con vistas a vuestra formación como ingenieros. Así, de manera resumida, el contenido, la estructura y el enfoque de los diversos módulos será el siguiente:

- 1) **Mecánica.** Esta parte está constituida por un único módulo:

Módulo “Mecánica”. La parte de mecánica está constituida por un único gran módulo que repasa todos los aspectos de la mecánica: comienza haciendo una descripción del movimiento (cinemática) y, seguidamente, se centra en sus causas (dinámica). A tal efecto introduce las tres leyes de Newton y el concepto de *fuerza* . A continuación, hace una descripción alternativa mediante los con-

Observación

Además de las leyes que os vamos a enseñar, tanto la relatividad como, sobre todo, la mecánica cuántica, introdujeron leyes nuevas. Sin embargo, en nuestra vida cotidiana las leyes que estudiaremos son perfectamente válidas.

ceptos de *trabajo* y *energía*. Finalmente, introduce el concepto de *oscilador*, que es útil para explicar muchos fenómenos.

La aproximación a cada una de estas partes es doble: se da primero un enfoque cualitativo en el cual se busca entender, sobre todo, los conceptos, y a continuación se le da un enfoque cuantitativo. También veréis que se pone un énfasis especial en la manera de trabajar: cómo se interpretan gráficas, qué significan las ecuaciones, etc. Ser competente en estas tareas es fundamental no sólo para esta asignatura, sino también para el resto de asignaturas de la titulación y para vuestra vida profesional.

Por otra parte, en este módulo tendréis una recopilación de problemas al final de cada apartado, en lugar de tenerlos todos juntos al final del módulo, como se hace en el resto de módulos, ya que creemos que de esta manera os ayudará a la hora de conseguir las competencias pertinentes.

2) Electromagnetismo y ondas. Esta parte está constituida por tres módulos:

Módulo “Electrostática”. En este primer módulo de electromagnetismo estudiaremos la electrostática. Partiremos de las cargas eléctricas y estudiaremos la interacción entre ellas. Conoceréis el campo y el potencial electrostáticos, que son la base de la electrostática. Todo esto lo haremos tanto en el vacío como en presencia de materia. También veréis la ley de Gauss y aprenderéis la física que hay detrás de un elemento tan habitual en la electrónica como es el condensador de placas paralelas.

Módulo “Magnetostática e inducción magnética”. En este segundo módulo de electromagnetismo estudiaremos la magnetostática de manera paralela a como habíamos estudiado la electrostática. Veremos las corrientes y la interacción entre ellas y aprenderéis qué es el campo de inducción electromagnética. También veremos la ley de Ampère, que es la equivalente a la ley de Gauss, pero en la magnetostática. Todo esto lo haremos en el vacío y en presencia de materia, y veremos que el campo de inducción electromagnética no es el mismo que el campo magnético. También aprenderemos cómo funciona una bobina y la ley de Faraday, lo que nos permitirá conocer cómo funciona un transformador y entender un poco mejor qué pasaba en los circuitos de corriente alterna en las bobinas.

Módulo “Ondas electromagnéticas”. Con este módulo cerraremos la parte de electromagnetismo y lo haremos llegando a las ecuaciones de Maxwell, reproduciendo un poco el proceso que él mismo siguió. Partiremos de los resultados que habremos ido obteniendo en los módulos anteriores y nos daremos cuenta de que habrá que completar la ley de Ampère. De esta manera construiremos el compendio de las leyes de Maxwell que nos permitirán llegar a las ondas electromagnéticas. Veremos cómo describirlas y qué es el espectro electromagnético. Estas ondas que aquí encontraremos os acompañarán du-

rante toda la titulación, ya que desde la transmisión de información hasta el comportamiento de la luz en una separación de medios, son ondas electromagnéticas.

3) Termodinámica. Esta parte está constituida por un único módulo:

Módulo “Termodinámica y energía”. Cerraremos la asignatura con el módulo de termodinámica. Con este módulo os mostaremos, en una primera parte, las leyes básicas de la termodinámica.

Veréis que la energía no se crea ni se destruye, sino que sólo se transforma y, gracias a un concepto nuevo, el de la entropía, entenderéis por qué no se “autorepara” un vaso que cae al suelo y se rompe. En la segunda parte, entraremos en la parte más “de ingeniería” de la termodinámica: estudiaremos el modelo energético que nos afecta y pondremos un énfasis especial en las energías renovables, que serán sin duda el modelo energético del futuro. Entenderéis las dificultades de conectar un elemento nuevo a la red eléctrica o las implicaciones de construir un aerogenerador. Veréis que durante el módulo irán saliendo conceptos que han ido apareciendo en el transcurso de la asignatura y os mostraremos lo que implica pasar de la teoría científica a su aplicación directa.

Finalmente, os hemos incluido un apéndice que resume las unidades de medida más importantes y cómo se llevan a cabo las transformaciones entre unas y otras.

¿Cómo sería conveniente estudiar?

Estudiar es un proceso similar, en muchos aspectos, al proceso de barrer una habitación: cuando abrimos la puerta, vemos el suelo que hay que barrer. Pero también vemos las mesas y las sillas, que son obstáculos que habrá que superar.

Así pues, estáis delante de una habitación con la puerta abierta, pero aún está sucia y llena de mesas y sillas. Necesitaréis una escoba, necesitaréis saber como funciona y no estaría de más que penséis en cuál es la mejor estrategia para limpiarlo todo. ¿Por dónde debéis comenzar? ¿Hacia la derecha? ¿Hacia la izquierda? ¿Como esquivaréis las mesas? ¿Habrá que esquivarlas todas? ¿Encontraréis todos los rincones?

Hay, sin embargo, un par de consideraciones de las cuales nunca nos podremos escapar, y es, por tanto, muy importante, que siempre las tengáis presentes:

- Tanto si tenéis una habitación más grande o más pequeña, encontraréis más o menos dificultades, disponéis de una escoba de última generación o más rudimentaria, seguís más o menos los consejos que os podemos dar... por mucho que os ayudemos, la escoba la debéis coger vosotros. Vosotros debéis entrar en la habitación. Por vuestro pie, a vuestro ritmo y con vuestra voluntad de dejarlo todo bien limpio: ¡vosotros sois los agentes principales del aprendizaje! Todo el resto es de apoyo.
- Para barrer, hay que ir poco a poco. Si estudiáis rápido (o bien sólo los últimos días, corriendo y a toda prisa), sólo conseguiréis levantar el polvo, que enseguida volverá a depositarse en el suelo: no habréis aprendido nada. Estos módulos quieren ser, por un lado, la escoba: el utensilio necesario que os permitirá adentraros en la habitación para ir barriendo. Pero, por otro lado, también pretende ser una guía de la habitación, el plano que os avisará de las dificultades que os encontraréis y de la manera de esquivarlas o bien afrontarlas cuando haga falta.

¿Cómo sería conveniente estudiar estos módulos?

Como veréis a medida que avancéis en la lectura y en el estudio de los módulos, hemos desarrollado los conceptos teóricos y, a continuación, hemos incluido algunos ejemplos de cálculo que permiten consolidar los conocimientos adquiridos. La manera ideal de estudiarlo es ir avanzando con seguridad: es decir, intentad entender con detalle cada apartado antes de continuar con el siguiente. Intentad hacer por vosotros mismos los ejemplos, sin mirar. Y antes de continuar con el módulo siguiente, mirad los problemas resueltos que correspondan a este módulo y ¡hacedlos también!

Un consejo importante, ya antes de comenzar: prestad atención a la notación, especialmente en aquello que se refiere a las magnitudes vectoriales y a los ejes de coordenadas. Si sois cuidadosos en su tratamiento (si no os dejáis las “flechas” que indican vectores), si pensáis todos los problemas tridimensionalmente (o bidimensionalmente, si así os lo indican), vais a tener mucho ganado a la hora de avanzar en el estudio.

Finalmente, cuando ya hayáis estudiado el cuerpo teórico y los ejemplos y los problemas resueltos, intentad hacer las actividades de autoevaluación. Hacedlas sólo al final: las preguntas de autoevaluación deberían servir, más que para saber lo que habéis aprendido, para detectar pequeños conceptos que se os hayan podido escapar, o para detectar detalles a los que no habiáis dado suficiente importancia, o también para corregir algunos malentendidos.

Y contad también con que estos módulos tienen su complementariedad en la figura del consultor, por un lado, que os aclarará cualquier duda que os surja sobre cualquier concepto teórico, problema o actividad; y en la bibliografía que os damos, por otro lado, que os permitirá ampliar los conceptos dados, o bien estudiarlos desde una perspectiva diferente, lo que también enriquecerá vuestros conocimientos.

La tarea que os espera no es sencilla, pero tampoco ha de ser necesariamente compleja: la trampa, el “truco”, es la constancia. ¡Qué tengáis una muy buena asignatura!

Objetivos

Aparte de los objetivos específicos de cada módulo, esta asignatura tiene unos objetivos generales. Estos objetivos que enumeraremos a continuación enmarcan esta asignatura en el conjunto de la titulación y la dotan de sentido:

1. Aprender que la mecánica permite explicar el movimiento y sus orígenes.
2. Saber interpretar gráficas y entender el significado de las ecuaciones.
3. Comprender los conceptos de *trabajo* y *energía* asociados a la mecánica.
4. Comprender la diferencia entre una aproximación cualitativa y una cuantitativa.
5. Conocer y comprender las leyes de la electrostática y sus elementos: campo electrostático, potencial electrostático, ley de Gauss, etc.
6. Conocer y comprender las leyes de la magnetostática y sus componentes: campo de inducción magnética, ley de Ampère, etc.
7. Aprender qué es una onda electromagnética y cómo se comporta en diversas situaciones.
8. Aprender cómo se propaga una onda electromagnética a través de una línea de transmisión.
9. Ser capaces de reconocer el origen electromagnético de muchos de los fenómenos naturales y artificiales.
10. Saber trabajar las expresiones fundamentales de la teoría electromagnética con una base matemática vectorial.
11. Ligar el electromagnetismo y su estudio con otras disciplinas que se estudian en la carrera, como las de campo electromagnético, onda electromagnética, transformador, condensador, etc.
12. Saber qué son las leyes de Maxwell.
13. Saber qué es una onda electromagnética y cómo se describe, y conocer el espectro electromagnético.
14. Conocer las leyes de la termodinámica.
15. Saber qué son, desde un punto de vista termodinámico, el calor, la temperatura, la energía y la entropía.

- 16.** Conocer el modelo energético español como isla tecnológica.
- 17.** Saber qué son las energías renovables.
- 18.** Conocer las ventajas y los inconvenientes de las energías tradicionales y de las renovables.
- 19.** Conocer y saber dimensionar una instalación de un sistema solar fotovoltaico autónomo.

Contenidos

Mecánica. Cinemática y dinámica

Albert Gras Martí

1. Descripción de los movimientos. Los lenguajes de la ciencia
2. Conceptos de cinemática
3. ¿Que causa los movimientos?
4. Leyes de Newton de la dinámica
5. Energía, momento lineal y leyes de conservación
6. Estudio de caso. El oscilador armónico
7. Soluciones de los problemas de ampliación

Ondas electromagnéticas

Antoni Pérez i Navarro

1. Ecuaciones de Maxwell
2. Ondas electromagnéticas
3. Problemas resueltos

Termodinámica y energía

Laura Jarauta Rovira, Marta Morata Cariñena

1. Energía, calor y temperatura
2. Leyes de la termodinámica
3. Acceso a la energía
4. Energía térmica y energía nuclear
5. Energía eólica y fotovoltaica
6. Sistema fotovoltaico autónomo
7. Sistemas generadores aislados
8. Problemas resueltos

Bibliografía

Alonso, M.; Finn, E. J. (1998). *Física. Campos y ondas* (vol. 2). México: 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* (1.^a ed.). México: Alhambra Mexicana.

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

Wikipedia <<http://es.wikipedia.org>>. Última consulta: 7 de marzo de 2010.

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

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

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

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

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

Apéndice

A.1. Unidades y conversión de unidades

En una actividad tan cotidiana como la compra, sabemos que no es suficiente con ir a la frutería y pedir cinco, a secas. “¿Cinco qué?”, nos preguntarán, ya que podrían ser cinco naranjas o cinco plátanos. Podríamos decir entonces: “De cerezas, dame cinco”, y volverían a preguntarnos: “¿Cinco qué?”, porque podrían ser cinco kilogramos, cinco gramos o cinco cerezas. Es decir, no es suficiente con decir un número; es importante saber siempre a qué corresponde ese número, **en qué unidades se mide**.

Las ciencias y las ingenierías no son una excepción a esta regla, por lo que todas las magnitudes (intensidad, resistencia, voltaje, etc.) se miden en unas unidades determinadas.

En el subapartado 1.1 de este anexo, recogeremos cuáles son las unidades de las magnitudes de física. Posteriormente, en el subapartado 1.2 introduciremos la notación científica. En el subapartado 1.3 veremos que se puede trabajar con múltiplos y submúltiplos de estas unidades para poder adaptarlas a los números que tenemos. Finalmente, en el subapartado 1.4, veremos cómo se puede pasar de unas unidades a las otras.

A.1.1. El sistema internacional de unidades

Si habéis visto alguna película ambientada en algún país anglosajón, o habéis estado en alguno de éstos, os habréis dado cuenta de que miden las distancias en millas, no en kilómetros, como nosotros. La milla y el kilómetro forman parte de distintos sistemas de unidades: La primera unidad está en el sistema anglosajón, y la segunda en el sistema internacional (SI). Nosotros trabajaremos con el sistema internacional.

En el sistema internacional, las **unidades básicas** son las que se indican en la tabla 1. En la primera columna podéis ver la magnitud, en la segunda, el nombre de la unidad y en la tercera, el símbolo que se utiliza para la unidad.

Tabla 1. Unidades en el sistema internacional (SI)

Magnitud	Unidad básica	Símbolo
Longitud	metro	m
Masa	kilogramo	kg
Tiempo	segundo	s
Corriente eléctrica	amperio	A
Temperatura	kelvin	K
Intensidad luminosa	candela	cd

Una milla terrestre equivale a 1,609 km.

Los símbolos escritos con mayúscula (A, K, etc.) deben su nombre a algún personaje importante.

Por unidades básicas, se entienden aquéllas a partir de las cuáles se pueden obtener las unidades del resto de las magnitudes, que se denominan **unidades derivadas**. Para esto, se utilizan fórmulas que las relacionan unas con otras. En la tabla 2 podéis ver las unidades derivadas. En la primera columna podéis ver la magnitud a la que corresponden, en la segunda, el nombre de la unidad, en la tercera, su símbolo, y en la cuarta, la fórmula que muestra la relación con las unidades básicas, o con las unidades derivadas cuya relación con las básicas ya se ha mostrado.

Tabla 2. Unidades derivadas en el SI

Magnitud	Unidad	Símbolo	Fórmula
Frecuencia	herzio	Hz	s^{-1}
Fuerza	newton	N	$kg \cdot m / s^2$
Energía o trabajo	julio	J	$N \cdot m$
Potencia	vatio	W	J / s
Carga eléctrica	culombio	C	$A \cdot s$
Potencial eléctrico	voltio	V	J / C
Resistencia eléctrica	ohmio	Ω	V / A
Conductancia eléctrica	siemens	S	A / V
Capacitancia eléctrica	faradio	F	C / V
Flujo magnético	weber	Wb	$V \cdot s$
Inductancia	henrio	H	Wb / A

La notación exponente negativo es equivalente a dividir por la base elevada al exponente, es decir: $x^{-2} = 1/x^2$.



A.1.2. La notación científica

Una mesa puede medir 2 m (dos metros), la distancia entre dos pueblos puede ser de 5.000 m (cinco mil metros), y la longitud de una hormiga puede ser 0,005 m.

Como podéis ver, si medimos cosas muy grandes nos veremos obligados a utilizar muchos ceros. En cambio, en el caso de medir cosas muy pequeñas, tendremos que poner muchos ceros después de la coma, lo que puede conducir a error y es tedioso de escribir. Sería muy cómodo poder disponer de un sistema de representación más compacto. Este sistema existe y se conoce como notación científica.

La notación científica consiste en escribir los números en potencias de 10. En la tabla 3, podéis ver una identificación de distintos números en potencias de 10. De esta manera, los números anteriormente escritos, en notación científica, serán: $5.000 = 5 \cdot 10^3$ y $0,005 = 5 \cdot 10^{-3}$, que es una notación mucho más compacta. La potencia 10^0 no se utiliza porque su valor es 1.

Tabla 3. Escritura en potencias de 10 de algunos valores numéricos

Valor	Potencia de 10
0,000001	$1 \cdot 10^{-6}$
0,00001	$1 \cdot 10^{-5}$
0,0001	$1 \cdot 10^{-4}$

Valor	Potencia de 10
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. Múltiplos y submúltiplos

Cada una de las unidades que habéis visto en el subapartado 1.1, tanto las básicas (tabla 1) como las derivadas (tabla 2), tienen lo que se denominan *múltiplos* y *submúltiplos*. Por ejemplo, la unidad de resistencia es el ohmio (Ω), pero utilizamos a menudo los kiloohmios ($k\Omega$ o K).

¿Por qué son útiles estos múltiplos y submúltiplos? Porque así podemos “adaptar” las unidades a los números con los que estamos trabajando. De hecho, esto ya lo hacemos en nuestra vida cotidiana: pensad que decimos que dos municipios distan veinte kilómetros (20 km) y no veinte mil metros ($2 \cdot 10^4$ m). En este caso, utilizamos el múltiplo “kilo”, que equivale a 1.000 m. En la tabla 4 podéis ver un listado de los múltiplos y submúltiplos. En la primera columna se indica el nombre, en la segunda, el símbolo, y en la tercera, la potencia de 10 a la que corresponde.

Observad que la unidad básica de masa en el sistema internacional no es el gramo, sino el kilogramo.

Tabla 4. Múltiplos y submúltiplos

Prefijo	Símbolo	Potencia
Femto	F	$1 \cdot 10^{-15}$
Pico	P	$1 \cdot 10^{-12}$
Nano	N	$1 \cdot 10^{-9}$
Micro	μ (letra mu)	$1 \cdot 10^{-6}$
Mili	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	$1 \cdot 10^2$
Kilo	k	$1 \cdot 10^3$
Mega	M	$1 \cdot 10^6$
Giga	G	$1 \cdot 10^9$
Tera	T	$1 \cdot 10^{12}$

Uso de múltiplos y submúltiplos

Los múltiplos y submúltiplos se escriben delante de la unidad. De esta manera, hablamos de “kilómetros” para decir que utilizamos la unidad “metro” con el múltiplo “kilo”. Con los símbolos hacemos lo mismo. De este modo, teniendo en cuenta que el símbolo de kilo es “k” y el símbolo de metros es “m”, el símbolo de kilómetro es “km”. Por este motivo, podemos decir que actúan como prefijos.

Hay que tener en cuenta que, en el caso de unidades elevadas a alguna potencia, estos factores de conversión también se elevan a la potencia. De esta manera, por ejemplo, en el caso de metros cuadrados (m^2) se elevarían al cuadrado las potencias indicadas en la tabla 4, y en el caso de (m^3) se elevarían al cubo. En la tabla 5, podéis ver la equivalencia entre $1 m^2$ y algunos de sus múltiplos y submúltiplos; y en la tabla 6, podéis ver lo mismo pero con el m^3 .

Tabla 5. Equivalencia de algunos de los múltiplos y submúltiplos del m^2

Unidad	$1 m^2$
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	$1 \cdot 10^6$

Tabla 6. Equivalencia de algunos de los múltiplos y submúltiplos del m^3

Unidad	$1 m^3$
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. Conversión de unidades

Un tema fundamental es trabajar siempre en el mismo sistema de unidades. No tiene sentido sumar metros y kilómetros. Por este motivo, cuando hagáis un problema debéis tener mucho cuidado de transformar las unidades adecuadamente.

La manera de hacerlo es multiplicar el número por una fracción. En el caso en el que las unidades estén en el numerador (por ejemplo, en el caso de km/h , que queramos transformar los kilómetros a metros), en el numerador ponemos las unidades “a las que queremos ir”, y en el denominador las unidades que queremos transformar, y escribimos la equivalencia entre éstas. De esta manera, teniendo en cuenta que $1 km$ son $10^3 m$, la fracción para transformar kilómetros en metros es:

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

En el caso de que las unidades estén en el denominador (por ejemplo, que queramos transformar las horas a segundos en los km/h), en el denominador ponemos las unidades “a las que queremos ir” y en el numerador, las unidades que queremos transformar, y escribiremos la equivalencia entre éstas. De esta manera, teniendo en cuenta que $1 h$ son $3.600 s$, la fracción para transformar las horas en segundos sería:

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

A continuación, veremos algunos ejemplos en los que podéis ver cómo se opera.

Ejemplo 1

Pasad 0,03 kΩ a Ω.

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

Notad que al estar las unidades que queremos transformar (kΩ) en el numerador, y el numerador y el denominador se simplifican, quedan sólo las que queremos obtener.

Ejemplo 2

Pasad 30.000 mA a A.

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

Observad que al estar las unidades que queremos transformar (mA) en el numerador, y el numerador y el denominador se simplifican, quedan sólo las que queremos obtener.

Ejemplo 3

Pasad 15 km/h a m/s, teniendo en cuenta que una hora son 3.600 s.

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

Notad que las unidades que queremos transformar están puestas en el numerador o el denominador para que se puedan transformar. Observad también que hemos escrito 3.600 en notación científica, como hemos mostrado en el subapartado 1.2.

A.2. Letras griegas

Es muy común utilizar en ciencia y tecnología letras griegas para referirse a distintas magnitudes. Por este motivo, en este apartado incluimos un resumen de las letras griegas, tanto en mayúscula como en minúscula, con sus respectivos nombres

Tabla 7. Letras griegas

Nombre	Símbolo		Nombre	Símbolo	
	Minúscula	Mayúscula		Minúscula	Mayúscula
Alfa	α	Α	Ny / Nu	ν	Ν
Beta	β	Β	Xi	ξ	Ξ
Gamma	γ	Γ	Ómicron	ο	Ο
Delta	δ	Δ	Pi	π	Π
Épsilon	ε	Ε	Rho	ρ	Ρ
Zeta	ζ	Ζ	Sigma	σ, ς	Σ
Eta	η	Η	Tau	τ	Τ
Theta	θ, ϑ	Θ	Ípsilon / Upsilon	υ	Υ
Iota	ι	Ι	Fi	φ, ϕ	Φ
Kappa	κ	Κ	Ji	χ	Χ
Lambda	λ	Λ	Psi	ψ	Ψ
My / Mu	μ	Μ	Omega	ω	Ω

Las letras "my", "ny" e "ípsilon" frecuentemente se denominan por sus nombre en inglés: *mu*, *nu* y *upsilon*, respectivamente.

